ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน

นายธีติ สัจจญาณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-1362-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF ENERGY UTILIZATION IN THE CONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL BUILDINGS

Mr. Teeti Satchayan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Construction Management

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001
ISBN 974-17-1362-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน
โดย	นายธีติ สัจจญาณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ลุวีระ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีติ สัจจญาณ : ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน (EFFICIENCY OF ENERGY UTILIZATION IN THE CONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL BUILDINGS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร, 143 หน้า. ISBN 974-17-1362-2.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงแนวคิด และวิธีการหาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถานแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัย โดยทำการศึกษาโบราณสถานในประเทศไทย ได้แก่ ปราสาทหินเจดีย์ วิหาร พระอุโบสถและป้อมปราการ อาคารโครงสร้างไม้ล้วน โบราณสถานประเภทคลองและถนน

ผลการศึกษา ทำให้ทราบถึงแนวคิดที่ใช้ในการหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน โดยค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน คือ สัดส่วนของค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปในการก่อสร้างกับค่าการใช้งานของโบราณสถานนั้นและปรับค่าด้วยปัจจัยที่มีผลกระทบ ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างเกิดจากพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุก่อสร้าง การขนส่งวัสดุและการดำเนินการก่อสร้าง ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุนำมาจากข้อมูลที่มีการวัดไว้ หรือการเทียบเคียงกับพลังงานที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมอื่นๆที่คล้ายคลึงกัน พลังงานการขนส่งวัสดุใช้สมการฟิสิกส์คำนวณหา และพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้างใช้การเทียบเคียงกับพลังงานที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมอื่นๆ ที่มีการศึกษาในปัจจุบันและใช้สมการฟิสิกส์ในการหาค่าพลังงานในการยกวัสดุก่อสร้าง

แนวคิดของการหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถานที่ได้นี้ นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์กรณีศึกษาโบราณสถาน 3 ประเภท คือ ปราสาทศิลาแลง เจดีย์และพระอุโบสถ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา บริหารการก่อสร้าง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545

4370340221 : MAJOR CONSTRUCTION MANAGEMENT
KEY WORD : CONSTRUCTION / ENERGY / EFFICIENCY

TEETI SATCHAYAN : EFFICIENCY OF ENERGY UTILIZATION IN THE CONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL BUILDINGS. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. DR.VISUTH CHOVICHIEN, Ph.D. 143 pp. ISBN 974-17-1362-2.

The objective of the research is to study the concept and the method for comparing the energy utilization in the construction of archaeological structures of various categories and periods. In the study, data were collected from the archaeological sites in Thailand such as stone temples, pagodas, viharns, churches, forts, wood structures, canals, and roads.

From the research, a concept is presented for calculating the energy utilization index in the construction of archaeological structures. The energy utilization index is calculated as the ratio of the utilized energy to the structure service units multipled by the adjustment factors. Energy utilization are involved in the process of extracting the materials from natural state, transporting, and assembling. The energy utilization in transforming the materials is calculated from the presently available information or from comparison with similar activities. The energy utilized in transporting is calculated by means of Physics equations. Finally, energy utilization in assembling is calculated from that used in the present or similar structure and physics equations are applied to find the energy in lifting the materials.

The concept of energy utilization was applied in analyzing the case study of three types of archaeological buildings: stone temple, pagoda and u-bosot(church).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Civil Engineering Student's signature…….
Field of study Civil Engineering Advisor's signature……..
Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งต่อผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

อนึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ คุณสุดชาย พานสุวรรณ รวมทั้งบุคคลอื่นๆในกรมศิลปากร และทุกๆท่าน ที่ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆและผู้ใกล้ชิดทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการวิจัยตลอดการทำงาน ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยดูแลเอาใจใส่สนับสนุนในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา ญาติผู้ใหญ่ ซึ่งสนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญภาพ..... ญ
สารบัญตาราง..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 การสำรวจเชิงเอกสาร..... 5
2.1 โบราณสถาน..... 5
2.2 พลังงาน..... 8
2.3 การวัดประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน..... 11

บทที่ 3 แบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน..... 14
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 15
3.2 การพิจารณาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง..... 18
3.3 การพิจารณาค่าการใช้งานหรือประโยชน์ใช้สอยที่ได้จาก
โบราณสถานประเภทต่างๆ..... 25
3.4 การพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อค่าที่วิเคราะห์
หรือคำนวณได้จากแบบจำลอง..... 26
3.5 การสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ในการก่อสร้างโบราณสถาน..... 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 สมมุติฐานที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง..... 28
3.7 บทสรุป..... 29

บทที่ 4 แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ..... 31
4.1 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตอิฐโบราณสถาน..... 33
4.2 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหิน หรือศิลาทราย..... 33
4.3 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลง..... 36
4.4 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้..... 38
4.5 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด..... 39
4.6 บทสรุป..... 41

บทที่ 5 แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุและดำเนินการก่อสร้าง..... 43
5.1 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ..... 43
5.2 การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง..... 46
5.3 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างปราสาทหิน..... 51
5.4 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างเจดีย์..... 53
5.5 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างพระอุโบสถหรือวิหาร..... 55
5.6 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างอาคารไม้..... 57
5.7 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างคลอง..... 57
5.8 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างถนน..... 58
5.9 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างป้อมปราการ..... 58
5.10 บทสรุป..... 59

บทที่ 6 แนวคิดในการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน
และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง..... 61
6.1 แนวคิดในการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน..... 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 แนวคิดของการหาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง..... 63
6.3 บทสรุป..... 66

บทที่ 7 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป
และประสิทธิภาพที่ได้ในการก่อสร้าง..... 67
7.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ในการก่อสร้างปราสาทหิน..... 67
7.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ในการก่อสร้างเจดีย์..... 73
7.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ในการก่อสร้างพระอุโบสถ..... 79
7.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างโบราณสถาน 3 แห่ง..... 87
7.5 การนำแบบจำลองประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบ..... 89
7.6 ข้อจำกัดในการนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ..... 90
7.7 บทสรุป..... 90

บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 93
8.1 สรุปผลการวิจัย..... 93
8.2 ข้อเสนอแนะ..... 97

รายการอ้างอิง..... 98
ภาคผนวก..... 101
ภาคผนวก ก. ตารางประกอบ..... 102
ภาคผนวก ข. ข้อมูลเบื้องต้นของโบราณสถานที่ใช้วิเคราะห์..... 126
ประวัติผู้เขียน..... 143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

3.1 ขั้นตอนของการก่อสร้าง..... 22

ข.1 แปลนปรางค์ประธาน บรรณาลัย ชานชาลาด้านใน
และกำแพงแก้ว (แบบบูรณะ) กุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 128

ข.2 รูปด้านเหนือ และด้านตะวันออกปรางค์ประธาน (แบบบูรณะ)
กุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 129

ข.3 รูปด้านตะวันตก และด้านใต้ปรางค์ประธาน (แบบบูรณะ)
กุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 130

ข.4 รูปตัดปรางค์ประธาน (แบบบูรณะ) กุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 131

ข.5 แปลนเจดีย์วัดภูเขาทอง..... 133

ข.6 รูปด้าน (ทิศเหนือ) (แสดงค่าพิกัด, การเอียงตัว) เจดีย์วัดภูเขาทอง..... 134

ข.7 รูปด้านเจดีย์วัดภูเขาทอง..... 135

ข.8 รูปตัดขยายองค์เจดีย์แสดงโครงสร้างภายในองค์เจดีย์ภูเขาทอง..... 136

ข.9 รูปแผนที่ สถานที่ตั้งวัดกุฏีดาว..... 138

ข.10 รูปผังพื้นอุโบสถ วัดกุฏีดาว..... 139

ข.11 รูปตั้งพระอุโบสถด้านทิศใต้ และทิศเหนือ วัดกุฏีดาว..... 140

ข.12 รูปตั้งพระอุโบสถด้านทิศตะวันออก และทิศตะวันตก วัดกุฏีดาว..... 141

ข.13 รูปตัด ซุ้มประตูหลอก (โบสถ์) วัดกุฏีดาว..... 142

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปของการผลิตอิฐโบราณสถาน..... 34
4.2 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหินหรือศิลาทราย..... 35
4.3 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลง..... 37
4.4 แสดงการเทียบเคียงกิจกรรมที่ใช้พลังงานไปในการแปรสภาพไม้..... 39
4.5 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปของการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด..... 40
5.1 แสดงสมการฟิสิกส์ที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงที่ใช้ในการขนส่งแต่ละรูปแบบ..... 45
5.2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถาน
ประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้าง..... 48
7.1 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง
กุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 67
7.2 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้
ในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 68
7.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัสดุเพื่อใช้
ในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 69
7.4 แสดงคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย..... 71
7.5 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง
เจดีย์ภูเขาทอง..... 73
7.6 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้
ในการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง..... 74
7.7 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง
(การก่ออิฐ)..... 75
7.8 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง
(การฉาบปูน)..... 77
7.9 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง
พระอุโบสถ วัดกุฏีดาว..... 80
7.10 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้
ในการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฏีดาว..... 80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

7.11 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว (การก่ออิฐ)..... 82
7.12 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว (การฉาบปูน)..... 84
7.13 แสดงการวิเคราะห์และคำนวณค่าพลังงานในการประกอบโครงสร้างหลังคาไม้ และค่าพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้องพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว..... 85
7.14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้และค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในการก่อสร้างโบราณสถานทั้ง 3 แห่ง..... 87
ก.1 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ (หน่วย กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที)..... 103
ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้าง ในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร..... 116
ก.3 สถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน..... 123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

การก่อสร้างเกิดขึ้นและอยู่คู่กับมนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยการก่อสร้างมีหลายประเภท ในแต่ละประเภทมีรูปแบบการก่อสร้างและการใช้วัสดุที่แตกต่างกันไป ซึ่งอาจถูกสร้างในยุคสมัยเดียวกันหรือถูกสร้างคนละยุคสมัย โบราณสถานเหล่านั้นมีความสำคัญต่อคนโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นในด้านของการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นที่อยู่อาศัยหรือการใช้งานต่างๆ รวมทั้งยังมีความสำคัญทางด้านจิตใจอีกด้วย

ถึงแม้ว่า การศึกษาทางด้านประวัติศาสตร์เกี่ยวกับการก่อสร้างที่มีในอดีต จะมีเอกสารที่รวมรวมถึงรูปแบบของการก่อสร้างในอดีตนั้นอยู่เป็นจำนวนมาก แต่เอกสารเหล่านั้น ไม่สามารถอธิบายและทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างในแต่ละประเภทโบราณสถานและในแต่ละยุคสมัยได้ อีกทั้งในเรื่องของความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลทางประวัติศาสตร์ ที่ได้มีการจดบันทึกไว้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างในสมัยนั้น การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการก่อสร้างในแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัยนั้น ยังทำได้ยากหรืออาจทำไม่ได้ เพราะโบราณสถานแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัย มีการใช้วัสดุ เทคนิควิธีการก่อสร้าง และรูปแบบโครงสร้าง รวมถึงการใช้งานโบราณสถานนั้น ที่แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีสิ่งที่สามารถใช้วัดหาประสิทธิภาพในการก่อสร้างโบราณสถานนั้นได้

ดังนั้น หากสามารถหาสิ่งที่ใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพในการก่อสร้างได้ ก็จะทำให้สามารถเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัยได้ รวมทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบเทียบเคียงกับหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ได้มีการจดบันทึกไว้ได้

ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง เป็นค่าที่สามารถใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพที่ใช้ไปในการก่อสร้าง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบได้ เพราะค่าพลังงานเป็นองค์ประกอบหลักที่ต้องใช้ในทุกๆ ขั้นตอนของการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆในการก่อสร้าง เช่น การก่ออิฐ หรือการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น หรือค่า

พลังงานที่เกิดจากการขนส่งวัสดุมาจากแหล่งวัสดุ และค่าพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่มีในสมัยนั้น

การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาถึงแนวคิดและวิธีการหาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อนำเสนอถึงแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถานและค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาถึงแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถาน และค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถานในประเทศไทย โดยแยกประเภทโบราณสถานตามวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ ปราสาทหิน เจดีย์ วิหาร พระอุโบสถและป้อมปราการ อาคารโครงสร้างไม้ล้วน และโบราณสถานอื่นๆ เช่น คลอง ถนน เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ลำดับขั้นตอนในการศึกษาวิจัย ได้แก่

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับประเภทและลักษณะของโบราณสถานในประเทศไทย

2) สร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท

3) เก็บรวบรวมข้อมูล เกี่ยวกับ

2.1) กรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

โบราณสถานแต่ละประเภท จากเอกสารอ้างอิง หรือจากการสัมภาษณ์และจดบันทึกวิธีการทำในปัจจุบัน เพื่อใช้ในการอ้างอิง

2.2) วิธีการขนส่งวัสดุจากแหล่งผลิตวัสดุ มายังสถานที่ก่อสร้าง จากเอกสารอ้างอิง หรือจากการสัมภาษณ์นักโบราณคดี นักประวัติศาสตร์ หรือบุคคลอื่นๆที่มีความรู้ในด้านนี้

2.3) ลักษณะของการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท เทคนิคและวิธีการก่อสร้าง จากเอกสารอ้างอิง หรือจากการสัมภาษณ์นักโบราณคดี นักประวัติศาสตร์ หรือบุคคลอื่นๆที่มีความรู้ในด้านนี้

4) ศึกษาวิธีการวัดพลังงาน และค่าพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ที่มีในปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ และหาแนวคิดที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการประกอบกิจกรรมที่ทำในขั้นตอนต่างๆของการก่อสร้างในอดีต

5) เก็บรวบรวมข้อมูล เกี่ยวกับประโยชน์การใช้งานที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ หรือค่าอื่นๆ ที่อาจใช้แทนได้

6) ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแนวคิดที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการก่อสร้าง และหาแนวคิดของการวัดค่าปัจจัยนี้

7) เลือกโบราณสถานแต่ละประเภท เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง โดยพิจารณาเลือกตัวอย่างที่มีข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์

8) สรุปผลการศึกษาวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นแนวทางในการนำแบบจำลองการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง ไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างโบราณสถานแต่ละประเภท การเปรียบเทียบกับหลักฐานทางประวัติศาสตร์ ที่มีการจดบันทึกไว้ เช่น จากพงศาวดาร หรือจดหมายเหตุ เป็นต้น การเปรียบเทียบระหว่างโบราณสถานที่ก่อสร้างในแต่ละยุคสมัย รวมถึงการนำไปใช้ประยุกต์ใช้เปรียบเทียบกับการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน ทำให้ทราบถึงความถูกต้องและความใกล้เคียงของการจดบันทึกทางประวัติศาสตร์ และสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการจัดการก่อสร้างในยุคสมัยนั้นๆ อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการก่อสร้างในอดีต หรือการนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งก่อสร้างในปัจจุบัน

2) แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถาน เป็นแนวคิดที่สามารถนำไปใช้ในการประมาณจำนวนแรงงาน ระยะเวลา ที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการก่อสร้างอาคารหรืออื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับโบราณสถานนั้น

3) เป็นแนวทาง ในการนำแบบจำลองการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง ไปใช้เป็นพื้นฐานของงานวิจัยอื่นๆต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจเชิงเอกสาร

2.1 โบราณสถาน

"โบราณสถาน" คือ อสังหาริมทรัพย์ ซึ่งโดยอายุหรือโดยลักษณะแห่งการก่อสร้าง หรือโดยหลักฐานเกี่ยวกับประวัติของอสังหาริมทรัพย์นั้นเป็นประโยชน์ในทางศิลปประวัติศาสตร์ และโบราณคดี และให้หมายรวมถึง ศิลปวัตถุที่ติดตั้งประจำกับอสังหาริมทรัพย์นั้นด้วย (กรมศิลปากร, 2528)

2.1.1 ประเภทโบราณสถาน

อาคารในอดีต ได้แก่ โบราณสถาน ศาสนสถานและอาคารพักอาศัยที่มีการก่อสร้างด้วยอิฐ ศิลาชนิดต่างๆ และไม้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (เรืองศักดิ์ กันตะบุตร, 2538 : 485-486) ได้แก่

ประเภทที่หนึ่ง ได้แก่ อาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อล้วน มีระบบโครงสร้างเป็นลักษณะกระจายน้ำหนักและรับน้ำหนักตามพื้นที่ ซึ่งเรียกว่า โครงสร้างรับน้ำหนัก (Bearing Structure)

ศึกษาได้จาก เทวสถานและศาสนสถานต่างๆที่ได้แก่ ปราสาทอิฐ ปราสาทหิน ปรางค์ พระสถูปเจดีย์ เป็นต้น

ประเภทที่สอง ได้แก่ อาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อและวัสดุอื่นผสม มีลักษณะผสมระหว่างโครงสร้างรับน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นเชิงฐาน และผนังผสมกับโครงสร้างอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบเสาและคาน (Post & Lintel) แต่ละระบบมีความสมบูรณ์ในระบบของมันเอง และเป็นระบบของโครงสร้างหลักด้วยกัน สำหรับระบบเสาและคาน ตัวเสาใช้วัสดุก่อ (ศิลาหรืออิฐ) หรือไม้ คานทับหลังใช้ศิลาตัด (Cut Stone) หรือไม้ สำหรับโครงสร้างเป็นหลังคาใช้ไม้เป็นวัสดุ

ศึกษาและวิเคราะห์จาก ราชฐาน โบสถ์ วิหาร พระมณฑป มัสยิด สุเหร่า เป็นต้น

ประเภทที่สาม ได้แก่ อาคารโครงสร้างไม้ล้วน ในลักษณะของโครงสร้าง เสาและคาน หรือโครงองค์ประกอบ (Frame)

ศึกษาและวิเคราะห์จาก ปราสาท โบสถ์ วิหาร ที่สร้างด้วยไม้สักล้วนทางภาคเหนือ ศาลาการเปรียญ กุฏิ บ้านไทยเดิมในภาพต่างๆ เรือนแพ เรือนผูกของภาคกลาง

2.1.2 วัสดุหลักที่ใช้ก่อสร้างโบราณสถาน

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ สามารถแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ซึ่งในแต่ละประเภทมีกรรมวิธีการแปรสภาพ การใช้พลังงานในการแปรสภาพ คุณสมบัติ และอายุการใช้งานที่ต่างกันมาก (สมชาติ จึงสิริอารักษ์, 2540) ได้แก่

(1) อิฐ
(2) หิน หรือศิลาทราย
(3) ศิลาแลง
(4) ไม้
(5) วัสดุก่อ และวัสดุยึด

2.1.2.1 อิฐ

อิฐ คือ ดินเผาในอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มนุษย์ได้ทำขึ้น และรู้จักใช้ในการก่อสร้างมานานหลายพันปีแล้ว อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความทนทานมากอย่างหนึ่ง และถูกนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างหลักของโบราณสถานหลายประเภทในอดีต

2.1.2.2 หินหรือศิลาทราย

หินหรือศิลาทราย เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมแบบเขมร ส่วนมากเป็นสีเทา บางครั้งก็มีสีแดง หรือค่อนข้างสีน้ำเงิน เขียว เหลือง หรือม่วง หิน หรือ ศิลาทรายเป็นวัสดุที่กำเนิดจากธรรมชาติ มิได้ผลิตด้วยเทคนิควิทยาท้องถิ่น เหมือนกับอิฐ มีคุณสมบัติในการคงทนต่อดินฟ้า อากาศ มากกว่าอิฐ มักใช้เป็นวัสดุก่อ ทำเสา ทำวงกรอบประตู และทำคานทับหลัง ผิวของศิลาทราย มีคุณสมบัติเหมาะสมในการปฏิบัติงานปฏิมากรรมบนผิวศิลา

2.1.2.3 ศิลาแลง

ศิลาแลง คือ ดินผสมกับแร่เหล็กรวมทั้งควอร์ซท ไมก้า และหินแข็ง ศิลาแลงมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่ออยู่ใต้ดินมีสภาพค่อนข้างเหลว เมื่อขุดขึ้นมาบนดิน และถูกอากาศ ก็จะแข็งตัว สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับก่อสร้างได้ ศิลาแลงใช้ทำวัสดุก่อ และเสาได้ มีคุณสมบัติในการต้านทานแรงดัด (Bending) และแรงเฉือน (Shear) ต่ำ จึงไม่มีการนำมาทำคานทับหลัง ศิลาแลงไม่สามารถนำมาแกะสลักลวดลายได้อย่างศิลาทราย

2.1.2.4 ไม้

ไม้เป็นวัสดุธรรมชาติที่มนุษย์แปรรูปมาจากไม้ยืนต้น เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน ซึ่งไม้อาจถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลัก สำหรับเป็นองค์ประกอบโครงสร้างอาคารไม้ล้วน ใช้เป็นองค์ประกอบโครงสร้างหลังคา (เครื่องหลังคา) สำหรับอาคารไม้ล้วน และอาคารก่ออิฐล้วน หรืออาจถูกนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ร่วมกับอาคารก่ออิฐล้วน โดยใช้เป็นโครงสร้างภายในอาคาร ได้แก่ เสาแบ่งช่วง เพดาน หรือโครงสร้างรอบนอกอาคารก่ออิฐล้วน ได้แก่ เสาระเบียงรอบพระวิหาร และพระอุโบสถ

ในสถาปัตยกรรมเขมรที่สร้างด้วยอิฐ ศิลาทราย และศิลาแลง ไม้จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุรอง โดยใช้ไม้เพื่อทำบานประตู ทำฝ้าเพดานภายในอาคาร บางครั้งมีการนำไม้มาทำขื่อ โดยขื่อไม้เหล่านี้ บางชั้นใช้ซ่อนอยู่ด้านในของแผ่นทับหลังที่ทำด้วยศิลาทราย หรือใช้เป็นคานไม้ ซึ่งเสียบกับหน้าบรรณรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีการเจาะรูไว้

ไม้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ คือ มีการยืดและหดได้หลายทิศทาง รับและถ่ายเทน้ำกับสภาพแวดล้อม จุลินทรีย์ทำลายได้ และไฟเผาไหม้ได้ ทำให้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เมื่อเวลาผ่านไปถึงระยะเวลาหนึ่ง จะเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าอิฐ หรือศิลาทราย และศิลาแลง

2.1.2.5 วัสดุก่อและวัสดุยึด

วัสดุก่อ และวัสดุยึด เป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการยึดก้อนก่อ เช่น อิฐ เข้าด้วยกัน ซึ่งต้องมีคุณสมบัติของความแข็งแรงใกล้เคียงกับก้อนก่อ วัสดุก่อที่มีคุณภาพดีที่สุด

สำหรับโบราณสถาน คือ ปูนขาว ซึ่งเป็นวัสดุสารพัดประโยชน์ที่คนโบราณใช้ก่ออาคาร โดยเฉพาะใช้ในการฉาบผนังอาคาร และใช้เป็นปูนก่ออิฐสร้างผนัง

ปูนขาวเป็นวัตถุที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ที่ได้มาจากการเผาหินปูน ซึ่งเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์เรารู้จัก ปูนขาวเป็นวัสดุก่อที่มีคุณภาพดี และมีอายุยาวกว่า การก่อด้วยยางไม้ หรือดิน โบราณสถานในประเทศไทยเกือบทั้งหมดล้วนเป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูน และปูนฉาบแบบโบราณ ซึ่งได้มาจากการหมักจากปูนขาว เป็นปูนฉาบที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับโบราณสถาน เพราะมีความแข็งแรง มีความพรุน และยืดหยุ่นค่อนข้างสูง พอเหมาะกับกำแพงอิฐแบบโบราณ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

2.2 พลังงาน (Energy)

พลังงาน (Energy) คือ ความสามารถในการทำงาน ซึ่งมนุษย์ได้พลังงานจากพืชและสัตว์ที่เป็นอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นแหล่งพลังงานและใช้พลังงานจากอาหารนั้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ โดยเมื่อร่างกายทำงาน จะเกิดขบวนการที่ซับซ้อนต่างๆ เพื่อให้ได้สารประกอบที่มีพลังงานสูง ซึ่งเรียกว่า ATP (Adenosine Triphoshate) ATP นี้จะได้จากการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ (สิริพันธ์ จุลกรังคะ, 2542)

2.2.1 หน่วยของพลังงาน

(1) กิโลแคลอรี่ (kilocalories)

1 กิโลแคลอรี่ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ลิตร มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิน้ำเปลี่ยนจาก 15 องศาเซลเซียสเป็น 16 องศาเซลเซียส)

(2) จูล (Joules)

จูล เป็นหน่วยของพลังงานในมาตราเมตริก 1 จูล หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายวัตถุหนัก 1 กิโลกรัม ในระยะทาง 1 เมตร ด้วยแรง 1 นิวตัน

1 กิโลแคลอรี่ (Kcal)	เท่ากับ	4.186 กิโลจูล (KJ)
1 กิโลจูล	เท่ากับ	0.240 กิโลแคลอรี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 การใช้พลังงานของร่างกาย

ร่างกายต้องการจากอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ คือ

1. พลังงานที่ต้องการขั้นพื้นฐาน (Basal Metabolism) คือ พลังงานที่ร่างกายต้องการเพื่อการทำงานของอวัยวะต่างๆในขณะที่ร่างกายพักผ่อน

2. พลังงานที่ร่างกายต้องการเพื่อการประกอบกิจกรรมต่างๆ (Physical Activity ,PA) คือ พลังงานที่ใช้ในการทำงานภายใต้การบังคับของจิตใจ เป็นงานที่ทำโดยกล้ามเนื้อ ทำให้มีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ซึ่งมีทั้งกิจกรรมในชีวิตประจำวันและกิจกรรมอาชีพ เช่น งานเบา งานหนักปานกลางและงานหนัก รวมทั้งกิจกรรมเพิ่มเติมอื่นๆ ได้แก่ การดูแลบ้าน การออกกำลังกาย ฯลฯ

3. พลังงานที่ใช้เพื่อการเปลี่ยนแปลงอาหารภายในร่างกาย (Specific Dynamic Action of Food)

4. พลังงานในการขับของเสียออกจากร่างกาย

ในส่วนของพลังงานที่ร่างกายต้องการเพื่อการประกอบกิจกรรมต่างๆ (Physical Activity ,PA) มีการศึกษาถึงกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงาน ระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร และรวบรวมวิธีการหาค่าพลังงานที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมต่างๆของเด็ก ซึ่งมีวิธีการวัดหลายวิธี (จิรภา, 2542) ได้แก่

1. การสอบถาม (Questionnaires) โดยการใช้แบบสอบถามหรือจากการสัมภาษณ์ ซึ่งความถูกต้องของข้อมูล จะขึ้นกับผู้ตอบ (Bar-Or and Malina,1995 อ้างถึงใน จิรภา น้าคณาคุปต์, 2542:15)

2. นำมาจากบันทึกที่มี (Diaries) ซึ่งมีการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ที่ได้มีการวัดโดยเครื่องมือไว้แล้ว (Bar-Or and Malina, 1995 อ้างถึงใน จิรภา น้าคณาคุปต์, 2542:16)

3. การวิเคราะห์เวลา-การเคลื่อนที่ (Time-and-motion Analyses) โดยการสังเกตโดยตรงจากการพิจารณาจากรูปถ่าย การจับเวลาที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรม และการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไป จะใช้ตารางหรือข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เพื่อใช้เทียบเคียง ซึ่งกิจกรรมที่มีการใช้เวลาและการเคลื่อนไหวร่างกายที่คล้ายคลึงกัน จะมีการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน (Bar-Or and Malina, 1995 อ้างถึงใน จิรภา น้าคณาคุปต์, 2542:16)

4. การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Monitoring) และสร้างความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไป และนำไปคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมได้ (Bar-Or and Malina, 1996)

5. การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยการใช้เครื่องมือวัดโดยตรง ซึ่งได้แก่ Accelerometers, Pedometers and Actometers (Analyses of the Number and Intensity of Body Movement by Motion Analyzers, Accelerometers, Pedometers and Actometers) (Bar-Or and Malina, 1995 อ้างถึงใน จิรภา น้าคณาคุปต์, 2542:17)

6. การวัดปริมาณความร้อนที่ร่างกายผลิตขึ้น (Caloriemetry) ซึ่งมีวิธีการวัดทั้งทางตรงโดยการวัดปริมาณความร้อนที่ร่างกายผลิตขึ้น โดยให้ผู้ทดลองเข้าไปอยู่ในเครื่องมือซึ่งสร้างเป็นห้องที่เรียกว่า แคลอรี่มิเตอร์วัดการหายใจ และการวัดทางอ้อม โดยการวัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปในระยะเวลาที่กำหนด และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ขับออกมา (McArdle et al.,1996 อ้างถึงใน จิรภา น้าคณาคุปต์, 2542:17)

โดยค่าพลังงานที่ร่างกายต้องการเพื่อใช้ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ซึ่งได้มีการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปโดยวิธีต่างๆที่กล่าวไว้ และสามารถนำมาใช้ในการอ้างอิงและเทียบเคียงกับกิจกรรมการก่อสร้างโบราณสถานต่างๆ (Bannister and Brown, 1968; Howley and Glover, 1974; Passmore and Durnin, 1955, cited in Mcardle, Katch, F. I., and Katch, V. L., 1986 : 642-649) แสดงดังตาราง ก.1 ในภาคผนวก ก

รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมบางประเภท ที่ไม่ได้มีการวัดค่าพลังงานไว้ สามารถใช้การเทียบเคียงกับกิจกรรมที่มีการวัดพลังงานที่ใช้ไป ในตาราง ก.1 ในภาคผนวก ก โดยการพิจารณาจากการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อที่คล้ายคลึงกันได้ ซึ่งจะมีการใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมนั้นๆ ใกล้เคียงกัน (Taylor and Mcleod,1949, cited in Guthrie, 1995:202)

นอกจากนี้ในกิจกรรมการก่อสร้างบางประเภท มีการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการประกอบกิจกรรมเหล่านั้นโดยตรง (Durnin and Passmore, 1967, cited in Guthrie, 1995:203) และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานได้ อันได้แก่

Construction Work	ใช้พลังงาน	6.0	Kcal / MIN
Bricklaying	ใช้พลังงาน	3.8	Kcal / MIN
Carpentry	ใช้พลังงาน	4.0	Kcal / MIN

(น้ำหนักมนุษย์ 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานชาย)

2.3 การวัดประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน

ประสิทธิภาพงานก่อสร้าง โดยทั่วไป ได้มีผู้ให้คำจำกัดความ ไว้ดังนี้

Thomas, et al (1990) กล่าวไว้ว่า ประสิทธิภาพในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ ในเทอมของหน่วยการเงินดังสูตรของศูนย์เพิ่มผลผลิตแห่งประเทศไทย ระบุว่าจะมีประโยชน์ในการตัดสินใจเฉพาะเจ้าของโครงการ ดังนั้น จึงได้เสนอสูตรที่ใช้ได้ทั้งเจ้าของโครงการและผู้รับเหมา ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลผลิต (Output)}}{\text{(แรงงาน + เครื่องจักร + วัสดุ)}} \quad \text{หรือ}$$

$$= \frac{\text{พื้นที่เป็นตารางเมตร}}{\text{หน่วยเงิน}}$$

แต่ในโครงการก่อสร้าง ผู้รับเหมาสนใจเฉพาะประสิทธิภาพแรงงาน ดังสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงาน} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{ต้นทุนแรงงาน}} \quad \text{หรือ}$$

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงาน} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{ชั่วโมงการทำงาน}} \quad \text{หรือ}$$

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงาน (หน่วย)} = \frac{\text{ต้นทุนแรงงานหรือชั่วโมงทำงาน}}{\text{ผลผลิต}}$$

ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน สามารถพิจารณาได้หลายวิธี ได้แก่

การพิจารณาจากต้นทุนการก่อสร้างที่ลงทุนไป กับประโยชน์ใช้สอยที่ได้จากอาคารนั้น ซึ่งต้นทุนการก่อสร้าง สามารถทราบได้ในสำหรับการก่อสร้างอาคารทุกประเภท ซึ่งมีการจดบันทึกไว้ ส่วนประโยชน์ใช้สอยมักจะพิจารณาจากพื้นที่ใช้สอยที่ได้จากอาคารนั้น เพราะอัตราส่วนของต้นทุนที่สร้างกับพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ได้ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าของการลงทุนไปในการก่อสร้างอาคารนั้นๆได้ และยังนำไปใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอาคารอื่นๆ ได้

นอกจากนี้ ประเสริฐ(2522) ได้ทำการศึกษาประโยชน์อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยประเมินจากการอัตราการใช้ห้อง อัตราการใช้พื้นที่อาคารนั้น ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของแต่ละห้องโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ และหาค่าพื้นที่ที่ต้องการตามมาตรฐานโดยรวม โดยการคำนวณพื้นที่จากจำนวนชั่วโมงนิสิตในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการ จากการวิเคราะห์รายวิชาของสถิติรายวิชา การประเมินผลการใช้ประโยชน์พื้นที่ห้องอื่นๆ จากอัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ที่ต้องการตามมาตรฐานกับพื้นที่ที่มีอยู่จริง แต่การพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาคารนั้นๆ โดยวิธีนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างกับอาคารอื่นได้ เพราะไม่พิจารณาถึงต้นทุนที่ก่อสร้างไป ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอาคารนั้น เพียงอย่างเดียว

นิวัตต์, ทักษิณ และต่อตระกูล (2525) ทำการวิจัยถึงประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างของอาคารในเขตการศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 2 ปีขึ้นไป เพื่อตรวจสอบโครงสร้างและปัญหาอันเกี่ยวกับการทรุดตัวของอาคาร ตลอดถึงการแตกร้าว อันเป็นเหตุให้เกิดการเสียหายแก่ตัวอาคาร และอาจจะเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้อาคาร รวมทั้งการทำข้อเสนอแนะต่อมหาวิทยาลัย เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขอาคารที่มีปัญหาในด้านโครงสร้างตามลำดับ ซึ่งเป็นการประเมินถึงประสิทธิภาพที่ได้รับจากการก่อสร้างอาคารอีกวิธีหนึ่ง ที่ทำให้ทราบถึงความแข็งแรงทางด้านวิศวกรรม เกี่ยวกับโครงสร้างและฐานรากอาคาร แต่วิธีนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบถึงการก่อสร้างอาคารแต่ละแห่งได้

จะเห็นได้ว่า วิธีการวัดประสิทธิภาพของการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน ที่กล่าวมาข้างต้น โดยการใช้อัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอย สามารถนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันได้ ส่วนการประเมินจากการอัตราการใช้ห้อง อัตราการใช้พื้นที่อาคาร หรือการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างของอาคาร

ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันนั้นๆได้ แต่ไม่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอาคารอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากอาคารที่วิเคราะห์ได้

การวิเคราะห์ประเมินถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน และอาคารโบราณสถาน มีความแตกต่างกันมาก ทั้งในเรื่องของข้อมูลที่มี ซึ่งอาคารในปัจจุบันสามารถหาข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ได้ง่ายกว่า แต่อาคารโบราณสถานหาข้อมูลได้ยาก หรืออาจไม่สามารถหาได้เลย

การวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน โดยการใช้ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอย สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน ซึ่งมีการก่อสร้างในช่วงเวลาเดียวกันได้ ส่วนอาคารที่ก่อสร้างในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมาก ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอย จะไม่สะท้อนถึงค่าที่แท้จริงได้ เพราะการก่อสร้างในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะมีผลจากค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ต้องพิจารณาถึงเรื่องนี้เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งก็อาจทำได้ แต่การก่อสร้างอาคารโบราณสถาน ไม่สามารถทราบถึงช่วงเวลาที่ก่อสร้างที่แน่นอนได้ รวมทั้งไม่สามารถทราบได้ถึงต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ก่อสร้างที่แท้จริงได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน จึงไม่สามารถใช้ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอยได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน โดยการใช้ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอย สามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบันอื่นๆ ซึ่งมีการก่อสร้างในช่วงเวลาเดียวกันได้ แต่อาคารที่ถูกก่อสร้างในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอย ไม่สะท้อนถึงค่าประสิทธิภาพการก่อสร้างที่ได้รับ เพราะผลจากค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ต้องพิจารณาถึงเรื่องนี้เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งอาจทำได้ แต่ในการก่อสร้างอาคารโบราณสถานไม่สามารถทราบถึงช่วงเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างที่แน่นอนได้ รวมทั้งไม่สามารถทราบได้ถึงต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ก่อสร้างที่แท้จริงได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน จึงไม่สามารถใช้ค่าอัตราส่วนของต้นทุนก่อสร้างกับพื้นที่ใช้สอยได้

ในการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน ต้องหาสิ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวัดค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างอาคาร โบราณสถานแต่ละประเภทหรือในแต่ละยุคสมัย รวมถึงการนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัย

ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง เป็นค่าที่สามารถใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพที่ใช้ไปในการก่อสร้าง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบได้ โดยค่าพลังงานเป็นองค์ประกอบหลักที่ต้องใช้ในทุกๆขั้นตอนของการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆในการก่อสร้าง เช่น การก่ออิฐหรือการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น หรือค่าพลังงานที่เกิดจากการขนส่งวัสดุมาจากแหล่งวัสดุ และพลังงานที่มาจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่มีในสมัยนั้น

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการหาแนวคิดในการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน และสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล
2) การพิจารณาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง
3) การพิจารณาค่าการใช้งานหรือประโยชน์ใช้สอยที่ได้จากโบราณสถานประเภทต่างๆ
4) การพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อค่าที่วิเคราะห์หรือคำนวณได้จากแบบจำลอง
5) การสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน

3.1 <u>การเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลถึงกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน และค่าการใช้งานหรือประโยชน์ที่ได้รับของอาคารโบราณสถาน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างโบราณสถาน และค่าการใช้งานหรือประโยชน์ที่ได้รับของอาคารโบราณสถานได้ต่อไป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโดยการจดบันทึกขั้นตอนการแปรสภาพหรือการเตรียมวัสดุ แต่ละชนิด รวมถึงเวลาที่ใช้ไปในการทำ โดยทำการจดบันทึกและสัมภาษณ์จากการทำจริงในปัจจุบันจากแหล่งผลิตวัสดุโบราณซึ่งในปัจจุบันยังมีการผลิตอยู่ เช่น การผลิตอิฐโบราณ เป็นต้น หรือโดยการสัมภาษณ์จากนักโบราณคดีและผู้รับเหมาที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุในการบูรณะซ่อมแซมโบราณสถานในปัจจุบัน เพื่อสามารถนำไปใช้ในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุได้ต่อไป โดยมีสมมติฐานของการศึกษาวิจัยว่าความสามารถของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆในการแปรสภาพวัสดุก่อสร้างในอดีต และในปัจจุบัน ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรเหมือนกัน ทำให้ผลที่ได้จากการจดบันทึกและสัมภาษณ์จากการทำจริงในปัจจุบัน เป็นค่าที่ใช้แทนการทำจริงในอดีตได้

กรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากที่ทำการจดบันทึกและสัมภาษณ์ได้นั้น พิจารณาประเภทของวัสดุหลักๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง และหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุก่อสร้างเหล่านั้น ออกเป็น 5 ชนิด (สมชาติ จึงสิริอารักษ์, 2540) คือ

(1) อิฐ

(2) หินหรือศิลาทราย

(3) ศิลาแลง

(4) ไม้

(5) วัสดุก่อและวัสดุยึด

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ มีกรรมวิธีการแปรสภาพ การใช้พลังงานในการแปรสภาพ คุณสมบัติ รวมถึงอายุการใช้งานที่ต่างกันมาก โดยวัสดุแต่ละประเภทมีกรรมวิธีการผลิตหรือการแปรสภาพวัสดุ ดังต่อไปนี้

ก. กรรมวิธีการผลิตอิฐ

(ชาวบ้านในแหล่งผลิตอิฐโบราณ บ้านลุมพี บริเวณริมคลองสระบัว จ.พระนครศรีอยุธยา, สัมภาษณ์และจดบันทึกจากการทำจริง, 31 กรกฎาคม 2544)

1. เตรียมวัสดุผสม ได้แก่ ดินและแกลบ

2. นำดินมาทุบให้ย่อยลง แล้วนำไปหมักในบ่อ 1 คืน (5 โมงเย็นถึง 7 โมงเช้า,14 ชั่วโมง) โดยใช้แกลบผสม ส่วนผสม แกลบ 3 เข่ง (เข่งกลม ขนาด 80 ถึง 90 เซนติเมตร ลึกประมาณ 70 ถึง 80 เซนติเมตร) ต่อ ดินเกือบเต็มบ่อ และเติมน้ำจนเต็มบ่อ (บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 2.80 x 3.50 x 0.80 เมตร) โดยส่วนผสม 1 บ่อ สามารถปั้นอิฐได้มากสุดประมาณ 400 ก้อน อิฐมีขนาดประมาณ 15 x 30 x 5 เซนติเมตร

3. ย่ำดินในบ่อให้เหนียว โดยการใช้เท้าย่ำ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง / 1 คน

4. ปั้นใส่แบบให้แน่น แล้วยกขึ้น ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง / 1 คน ในการปั้นใส่แบบจนดินหมดบ่อ

5. นำดินที่ปั้นเสร็จ มาตากแดด ประมาณ 3 วัน จนดินแห้งตัว

6. นำอิฐที่ตากแห้งแล้ว มาขูดหรือถาก เพื่อตกแต่ง ใช้เวลาในการทำ 1 วัน, 12 ชั่วโมง / 1 คน แล้วนำไปตากแดดอีกครั้ง ประมาณ 3 วัน

7. นำไปเรียงเข้าเตาเผาครั้งละ ประมาณ 4,000 ก้อน (ใช้เวลาในการเรียงอิฐเข้าเตา 3วัน, 36 ชั่วโมง / 1 คน) โดยใช้แกลบสุมด้านบน และระหว่างช่องว่างอิฐที่เรียง (ใช้เวลาในการยัดและสุมแกลบ 5 ชั่วโมง / 1 คน) และทำการเผา ซึ่งต้องใส่แกลบไปเรื่อยๆให้เต็มตลอดเวลาที่เผา เผาทิ้งไว้ ประมาณ 8 วัน จนกระทั่งแกลบไม่ยุบตัวลง

8. รอให้อิฐเย็นตัวลง ประมาณ 2 วัน แล้วขัดขี้เถ้าทิ้งให้หมด ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง, เซนติเมตร จึงได้อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน มีขนาด 15 x 30 x 5 เซนติเมตร

ข. กรรมวิธีการแปรสภาพหินจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นหินที่ใช้ในการก่อสร้าง
(ทนงศักดิ์ หาญวงศ์, สัมภาษณ์, 18 ธันวาคม 2544)

1. เซาะแนวร่องหินด้วยเครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายแซลง แต่มีปลายแบนตรงและแหลมคม ขนาดประมาณเหล็กข้ออ้อยขนาดใหญ่สุด ยาวประมาณ 2.5-3.0 เมตร โดยการกระแทกในแนวดิ่งลงบนแนวหินที่วางไว้ ให้มีความลึกประมาณ 0.7 เมตร และมีความยาวของการเซาะร่องตามที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการเซาะร่องประมาณ 3 ชั่วโมง ต่อ ความยาวของการเซาะร่องที่ได้ 1 เมตร ต่อ 1 คน

2. ใช้เหล็กหรือไม้ที่แข็ง สอดไปในร่องที่เซาะไว้ โดยสอดไว้หลายอัน และทำการงัดหรือดีดหินขึ้น ใช้เวลาประมาณ 10 นาที ต่อการงัดหิน 1 ก้อน ต่อ 1 คน

3. หลังจากที่ได้หินเป็นก้อนมาแล้ว จึงทำการโกลนเพื่อให้มีขนาดใกล้เคียงหรือเท่าที่ต้องการ หรือการโกลนเพื่อแต่งผิวหน้าให้เรียบ ซึ่งหินที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน เช่น ปราสาทหิน จะมีขนาดไม่เกิน 1x1x0.7 เมตร โดยใช้เวลาในการโกลน 2 ชั่วโมง ต่อ 1 ตารางเมตร

ค. กรรมวิธีการแปรสภาพศิลาแลงจากสภาพธรรมชาติมาเป็นศิลาแลงที่ใช้ในการก่อสร้าง
(ทนงศักดิ์ หาญวงศ์, สัมภาษณ์, 18 ธันวาคม 2544)

1. ขุดดิน เพื่อเปิดหน้าดิน โดยขุดลึกลงไปประมาณ 1 เมตร จากระดับผิวดิน ขนาดพื้นที่ที่ขุดตามปริมาณศิลาแลงที่ต้องการ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการขุดดิน ปริมาณ 2.2 ลูกบาศก์เมตร คือ 8 ชั่วโมง ต่อ 1 คน (ข้อมูลจากสถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน แสดงในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก)

2. ใช้ขวาน ซึ่งมีลักษณะคล้ายมีดอีเตอร์ สับเป็นร่อง มีความลึกของร่องประมาณ 40 เซนติเมตร ตามแนวที่วางไว้ ทั้งแนวขวางและแนวยาว เพราะศิลาแลงที่ใช้ก่อสร้างโบราณสถานมีขนาดประมาณ 50x30x40 เซนติเมตร ใช้เวลาในการสับเป็นร่อง 0.3 ชั่วโมง ต่อความยาว 1 เมตร ของร่องที่สับได้ ต่อ 1 คน

3. ใช้ไม้หรือเหล็กแข็งงัดก้อนศิลาแลง ที่เซาะร่องไว้ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ต่อ 1 คน

4. โกลนศิลาแลงเพื่อตกแต่งให้มีขนาดตามที่ต้องการ ใช้เวลาในการโกลน 40 นาที ต่อ 1 ตารางเมตร ต่อ 1 คน

ง. กรรมวิธีการแปรสภาพไม้ เพื่อใช้เป็นไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง

ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน มีหลายประเภท หลายขนาด จึงไม่สามารถจดบันทึกเวลาที่ใช้ในการแปรสภาพไม้ทุกประเภทและทุกขนาดได้ แต่อย่างไรก็ตาม ไม้ทุกประเภทและทุกขนาดมีขั้นตอนของการแปรสภาพเพื่อนำมาเป็นไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง ที่เหมือนกัน คือ

1. การตัดไม้ คือ กรรมวิธีการตัดต้นไม้จากสภาพธรรมชาติ
2. การลอกเปลือกไม้ คือ การลอกผิวไม้ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้ใช้
3. การเลื่อยไม้ คือ การแบ่งขนาดไม้ออกเป็นขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการ
4. การไสไม้ คือ การตกแต่งไม้เพื่อความสวยงาม

จ. กรรมวิธีการเตรียมปูนตำปูนหมัก

(เล็ก สายประทุมทิพย์, สัมภาษณ์, 15 มกราคม 2545)

1. นำปูนขาวก้อนที่เผาสุก มาแช่ในน้ำ โดยการหย่อนก้อนปูนลงไปเรื่อยๆในถังหรือบ่อที่ใส่น้ำไว้ประมาณ ครึ่งถัง จนปูนละลายและอืดขึ้นมา จึงหยุดการใส่ได้ ปริมาณปูนที่ใช้มีปริมาณประมาณ 130 กิโลกรัม ต่อ 1 ถัง (ถังขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร)
2. ใช้ไม้ยาว แทงในถังหรือบ่อ เพื่อให้น้ำซึมลงไปถึงก้นถัง ถ้าน้ำแห้ง ให้เติมน้ำลงไป จนกระทั่งปูนขาวอิ่มตัว และเติมน้ำให้สูงกว่าปูนขาวในถังหรือบ่อประมาณ 5 เซนติเมตร และทิ้งไว้ 30 วัน โดยใน 30 วันนั้น ต้องถ่ายน้ำ 5 เซนติเมตร ทิ้งทุกๆวัน ใช้เวลาประมาณ 10 วัน
3. นำมากรองหรือร่อนด้วยตะแกรงร่อนหรือผ้าขาวบาง
4. หมักด้วยทรายละเอียดปริมาณ 2.5 ลบ.ม. ต่อ ปูนหมัก 1 ถัง และทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน จึงนำไปใช้ได้

3.2 <u>การพิจารณาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง</u>

การวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดขั้นตอนของการก่อสร้าง เพื่อใช้ในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไป เป็น 3 ขั้นตอน คือ

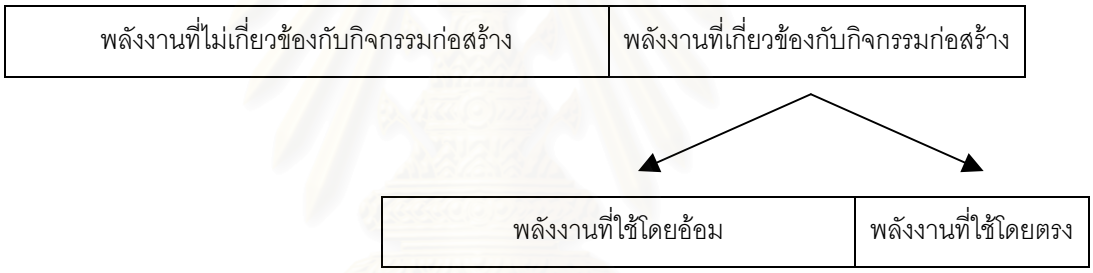
(1) การแปรสภาพวัสดุ
(2) การขนส่งวัสดุ
(3) การดำเนินการก่อสร้าง

ขั้นตอนเหล่านี้ เป็นขั้นตอนหลักๆที่สำคัญของขั้นตอนการก่อสร้างที่ใช้สำหรับการก่อสร้างทุกประเภทโบราณสถานและทุกยุคสมัย ในการวัดค่าพลังงานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างสามารถทำได้โดยการแตกกิจกรรมออกเป็นกิจกรรมย่อยๆ และหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละกิจกรรมย่อย และผลรวมของค่าพลังงานนี้ คือ ค่าพลังงานรวมที่ต้องใช้ไปในกิจกรรมการก่อสร้างทั้งหมด

3.2.1 การจำแนกประเภทของค่าพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประเภทของค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถาน สามารถแบ่งได้เป็น

- ค่าพลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง
- ค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง



(1) พลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง คือ ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงเวลาของการก่อสร้าง แต่ไม่ได้ใช้ในกิจกรรมการก่อสร้างทั้ง 3 ขั้นตอนโดยตรง ซึ่งได้แก่ ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการจัดเตรียมพื้นที่ พลังงานที่ใช้ไปในการวางแผน การบริหารการก่อสร้าง ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ต้องใช้ไปของมนุษย์เพื่อให้การก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ หรือค่าพลังงานที่ใช้ไปของคนงานในการประกอบกิจกรรมอื่นๆ เช่น การเดินเพื่อมายังสถานที่ก่อสร้าง หรืออื่นๆ ซึ่งไม่ได้ทำในกิจกรรมก่อสร้างโดยตรง เป็นต้น

(2) พลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของการก่อสร้าง คือ ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปขณะประกอบกิจกรรมการก่อสร้าง ในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยแบ่งได้เป็น ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างทางตรง และทางอ้อม

ก. ค่าพลังงานที่ใช้โดยตรง คือ ค่าพลังงานที่ใช้ไปในกิจกรรมการก่อสร้างโดยตรง ซึ่งเกิดจากผลรวมของค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้างของแรงงานมนุษย์ เช่น พลังงานในการผลิตหรือแปรสภาพวัสดุ พลังงานในการเคลื่อนวัสดุก่อสร้างหรือพลังงานขนส่ง พลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นที่สูงเพื่อทำการก่อสร้าง เป็นต้น กับค่าพลังงานที่สูญเสียไปจากการทำงาน ซึ่งในกรณีที่ทราบว่ามีการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงไป ทำให้มีการทุ่นแรงเกิดขึ้น ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ จะเกิดจากค่าพลังงานของมนุษย์ที่ใช้ไปจริง(ที่ได้รับการทุ่นแรงไป) กับค่าพลังงานที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรง

พลังงานที่ใช้ในกิจกรรมการก่อสร้างโดยตรง
= พลังงานที่น้อยสุดที่ต้องใช้ + พลังงานที่สูญเสียไปจากการทำงาน
= (พลังงานที่ใช้จริง + พลังงานจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรง)
+ พลังงานที่สูญเสียไปจากการทำงาน

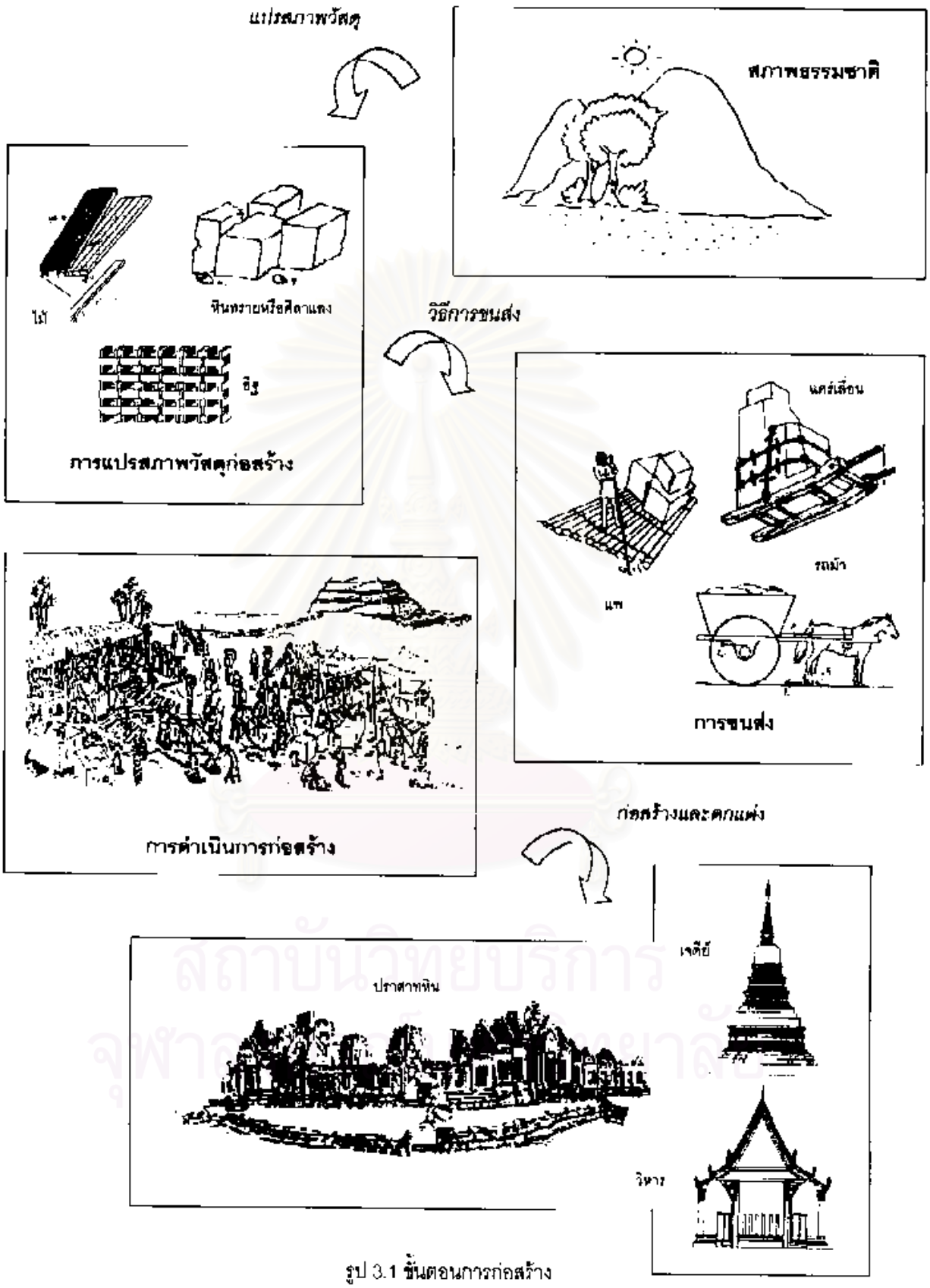
ตัวอย่างเช่น ในการก่อสร้างปราสาทหิน ต้องใช้พลังงานน้อยที่สุดที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้างของแรงงานมนุษย์ คือ พลังงานในการผลิตหรือแปรสภาพวัสดุ พลังงานในการเคลื่อนวัสดุก่อสร้างหรือพลังงานขนส่ง พลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นที่สูงเพื่อทำการก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ถ้าทราบถึงเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ในการยกหินขึ้นไปที่สูง ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดจะเกิดจากผลรวมของค่าพลังงานทั้งสอง คือ ค่าพลังงานที่ใช้จริงกับค่าพลังงานจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรง นั่นเอง หรือกล่าวได้ว่า การใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงจะช่วยในการลดพลังงานที่ต้องใช้จริงของมนุษย์ในกิจกรรมการก่อสร้าง

ข. ค่าพลังงานที่ใช้โดยอ้อม คือ ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในกิจกรรมการก่อสร้างเช่นกัน แต่เป็นค่าพลังงานที่อาจเกิดขึ้น หรืออาจไม่เกิดขึ้น เช่น ในกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้างที่ต้องยกวัสดุขึ้นที่สูง ต้องใช้พลังงานในการยกขึ้น ซึ่งคือ ค่าพลังงานศักย์ ที่คิดจากน้ำหนักของวัสดุที่ยก และระยะทางความสูงที่ยกขึ้น แต่ในการยกวัสดุขึ้นที่สูงจริงๆ เช่นการยกหินขึ้นวางที่สูงในการก่อสร้างปราสาทหิน 1 ก้อน อาจต้องยกหินขึ้นหลายครั้งซ้ำไปมา เพื่อให้หินเข้าที่ที่ต้องการ ซึ่งต้องใช้พลังงานในการยกเช่นเดียวกัน และเป็นค่าพลังงานที่เกิดขึ้นเช่นกัน

ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง จะพิจารณาถึงประเภทของค่าพลังงานที่ทำการวิเคราะห์ โดยการพิจารณาจากข้อมูลที่หาได้และความเป็นไปได้ในการหาค่าพลังงานเหล่านั้น โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาและหาแนวคิดในการหาค่าพลังงานโดย

ตรงที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้าง ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดจากผลลัพธ์ของการทำงาน และเป็นค่าพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการก่อสร้างเพื่อให้เกิดสามารถก่อสร้างและเสร็จสิ้นได้ แต่ในกรณีที่มีข้อมูลประกอบที่เพียงพอ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมต่างๆ ที่ต้องทำในการก่อสร้าง ที่นอกเหนือไปจากกิจกรรมในขั้นตอนการก่อสร้างทั้ง 3 คือ การแปรสภาพวัสดุ การขนส่งวัสดุก่อสร้าง และการดำเนินการก่อสร้าง เป็นต้น หรือข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนั้น และในยุคสมัยนั้น การวิเคราะห์หาค่าพลังงานจะคิดรวมทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง

3.2.2 ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาถึงพลังงานที่เกิดจากการใช้แรงงานมนุษย์ที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างของการก่อสร้างในอดีต จะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในขบวนการแปรสภาพหรือการผลิตวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน โดยไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง

3.2.2 ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ

การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง มีความซับซ้อนกว่าส่วนอื่นๆ เนื่องจากต้องใช้การสันนิษฐานหรือคาดคะเนถึงเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งและ วิธีการขนส่งที่ใช้ในสมัยนั้น ค่าพลังงานที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไป มากกว่าพลังงานที่ใช้ไปในขั้นตอนอื่นๆ พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะกับการก่อสร้างโบราณสถานที่ต้องใช้วัสดุก่อสร้างที่หาไม่ได้ในบริเวณใกล้กับสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งค่าพลังงานในส่วนนี้เป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ในการลากหรือขนวัสดุ โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง เนื่องจากไม่สามารถทราบถึงประเภทของพาหนะที่มีการใช้ในการขนส่งวัสดุก่อสร้างเพื่อการก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนั้นๆ ค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการขนส่ง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งรูปแบบของการขนส่ง เพื่อใช้หาค่าพลังงานที่ใช้ไปออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) การขนส่งทางบก

(2) การขนส่งทางน้ำ

การขนส่งทางบก แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

(1) การยก แบก โดยมนุษย์หรือใช้สัตว์พาหนะ ซึ่งใช้กับการขนส่งระยะทางใกล้ๆ

(2) การลาก ซึ่งต้องมีพื้นผิวหรือเส้นทางที่สะดวกและอำนวยต่อการลากได้

(3) การใช้เครื่องทุ่นแรง เช่น เกวียนหรือพาหนะอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นล้อซึ่งใช้ในการขนส่งวัสดุมาจากสถานที่ไกลๆ

การขนส่งทางน้ำ มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายปัจจัย คือ พลังงานที่ใช้ในการขนวัสดุเพื่อลำเลียงไปในแพหรือพาหนะขนส่ง พลังงานในการเคลื่อนที่ทางน้ำหรือการขนส่งทางน้ำ และพลังงานของมนุษย์ในการประคองแพหรือการบังคับทิศทางของพาหนะ โดยค่าพลังงานหลักในการขนส่งทางน้ำจะเป็นค่าพลังงานในการเคลื่อนที่หรือการขนส่ง ส่วนพลังงานอื่นๆ จะมีค่าน้อยกว่า ซึ่งในการหาค่าพลังงานเหล่านี้จะขึ้นกับความละเอียดของค่าที่ต้องการหา โดยพิจารณาจากข้อมูลทางด้านภูมิประเทศหรือเส้นทางการขนส่ง

3.2.3 ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง เป็นส่วนสำคัญของพลังงานที่ใช้ไปทั้งหมดของการก่อสร้าง ซึ่งในการดำเนินการก่อสร้างในอดีต จะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลัก โบราณสถานแต่ละประเภทมีรูปแบบการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป ค่าพลังงานในการดำเนินการก่อสร้างคิดจากค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ หรือพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างออกเป็น 2 ส่วน คือ

(1) ค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการก่อสร้าง ได้แก่

- พลังงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนหรือก่อหินทราย ศิลาแลง หรืออิฐ
- พลังงานที่ใช้ในการฉาบปูนผนัง
- พลังงานที่ใช้ในการสร้างหลังคาโบสถ์ วิหารหรือพระอุโบสถ ซึ่งประกอบไปด้วยพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้องและพลังงานในการประกอบโครงสร้างไม้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง

ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง พิจารณาในเรื่องของความสูงที่ทำการก่อสร้าง และทำการปรับค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างที่ระดับสูงกว่าให้มีค่ามากขึ้น เพราะการสร้างในที่สูงทำได้ยากกว่าในระดับปกติ จึงต้องใช้พลังงานที่มากกว่า

ส่วนค่าพลังงานที่มาจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ จะต้องทราบถึงลักษณะและประเภทเครื่องมือเครื่องทุ่นแรง เพื่อทำการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปหรือความสามารถในการทุ่นแรงที่ได้จากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงนั้น

3.3 <u>การพิจารณาค่าการใช้งานหรือประโยชน์ใช้สอยที่ได้จากโบราณสถานประเภทต่างๆ</u>

ค่าการใช้งานของโบราณสถานหรือประโยชน์ใช้สอยที่ได้จากโบราณสถานประเภทต่างๆ เป็นค่าที่ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานทั้งหมดไปในการก่อสร้าง โดยโบราณสถานแต่ละประเภทจะมีลักษณะของการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

ค่าการใช้งานของโบราณสถาน พิจารณาได้หลายรูปแบบ โดยกำหนดว่าต้องเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึง สิ่งที่ได้รับจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง ได้แก่ พื้นที่ใช้สอยที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการก่อสร้าง หรือค่าความสามารถในการรับน้ำหนักทั้งในด้านของฐานราก หรือความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดของวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ พิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน 2 ลักษณะ คือ

(1) การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้

(2) การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ คือ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักรูปแบบต่างๆ

3.4 <u>การพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อค่าที่วิเคราะห์หรือคำนวณได้จากแบบจำลอง</u>

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อแบบจำลอง ไว้ 3 ปัจจัย โดยปัจจัยเหล่านี้ได้จากการสัมภาษณ์และสอบถามความคิดเห็นจากวิศวกร นักโบราณคดี ในกรมศิลปากร กรุงเทพมหานคร รวมทั้งผู้รับเหมางานบูรณะซ่อมแซมโบราณสถาน ได้แก่

(1) ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง
(2) ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง
(3) ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 นี้ มีความสำคัญต่อแบบจำลองอย่างมาก คือ เพื่อเพิ่มความถูกต้องของค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานที่หาได้จากแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบกับหลักฐานทางประวัติศาสตร์ การเปรียบเทียบกันระหว่างโบราณสถานในแต่ละยุคหรือแต่ละประเภทและการเปรียบเทียบกับอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน รวมถึงการนำไปใช้ในการประมาณค่าอื่นๆด้วย

ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถาน เพราะค่าพลังงานที่หาจากขั้นตอนทั้ง 3 ของการก่อสร้าง ที่กล่าวมา คือ ขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ขั้นตอนของการขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง และขั้นตอนของการดำเนินการก่อสร้าง นั้น ไม่ได้รวมถึงพลังงานที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลายความสวยงาม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของโบราณสถาน พลังงานที่ใช้ไปในการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง เช่น พลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นในการบากหินเพื่อใช้เป็นสลัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือในการก่อสร้างที่ใช้วัสดุก่อสร้างที่ต่างกัน

โดยปัจจัยเหล่านี้ มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันไป การหาค่าปัจจัยต่างๆเหล่านี้ จึงใช้วิธีที่แตกต่างกันไป

3.4.1 ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง

ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง กล่าวคือ โบราณสถานแต่ละประเภทมีความมั่นคงของโครงสร้างที่แตกต่างกัน เพราะมีรูปแบบของการก่อสร้าง ลักษณะของโครงสร้าง เทคนิควิธีที่ใช้ในการก่อสร้างที่ต่างกัน เช่น ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน 2 ประเภท อาจให้ค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เมื่อไม่พิจารณาถึงปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง แต่จะมีค่าที่ต่างกันมาก เมื่อมีการพิจารณาถึงปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้างนี้ ดังนั้นในการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จึงต้องคำนึงถึง และรวมค่าพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มเข้าไปในส่วนนี้ด้วย

3.4.2 ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง

ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ได้รับจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง เพราะโบราณสถานแต่ะประเภทหรือแต่ละยุคสมัยมีอายุการใช้งานหรือความคงทนถาวรที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ ดังนั้นในการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบ จึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยนี้ด้วย

3.4.3 ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง กล่าวคือ โบราณสถานแต่ละประเภทหรือแต่ละแห่ง มีการตกแต่งลวดลายทางสถาปัตยกรรมเพื่อความสวยงามหลังการก่อสร้าง ที่แตกต่างกันไป ตามยุคสมัยหรือตามแต่ละประเพณีท้องถิ่นที่ตั้งของโบราณสถานนั้นๆ ซึ่งการตกแต่งลวดลายทางสถาปัตยกรรมนี้ ต้องใช้เวลาและแรงงานฝีมือ อย่างมาก ซึ่งทำให้มีผลกระทบอย่างยิ่งต่อค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างจะต้องเพิ่มหรือรวมค่าพลังงานที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลายทางสถาปัตยกรรมนี้ด้วย จึงจะทำให้ค่าประสิทธิภาพที่หาได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.5 <u>การสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน</u>

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดรูปแบบของแบบจำลองสำหรับใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง(Construction Energy Utilization Index) เป็นสัดส่วนระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง(Energy Spent) กับ ค่าการใช้งาน(Service Provided) และปรับค่าด้วย ค่าปัจจัยที่มีผลกระทบ(F) ซึ่งแสดงได้ ดังนี้

$$\text{Construction Energy Utilization Index} = \frac{\text{Energy Spent}}{\text{Service Provided} \times F_1 \times F_2 \times F_3}$$

โดยที่ F_1 = ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง

F_2 = ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง

F_3 = ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

แบบจำลองการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างนี้ ทำให้ทราบถึงผลหรือสิ่งที่ได้รับจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง นั่นคือ ค่าการใช้งานของโบราณสถานนั้น เพราะประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทและในแต่ละยุคสมัย ที่วัดจากสิ่งอื่น เช่น ต้นทุนก่อสร้าง ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้ หรือถ้านำมาเปรียบเทียบกันจะทำได้ยากมากและอาจให้ค่าที่ไม่สะท้อนความจริง แต่การนำค่าพลังงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องใช้ในการประกอบกิจกรรมทุกประเภท และใช้ในทุกยุคสมัย ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อมีการคำนึงถึงค่าปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานและประสิทธิภาพที่ได้รับ มาใช้ในการปรับค่าจะสามารถสะท้อนความเป็นจริงได้ และทำให้สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้

3.6 <u>สมมติฐานที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง</u>

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงแนวคิดและวิธีการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่เกิดขึ้นในอดีต ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงมีสมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. เนื่องจากเป็นการศึกษาถึงการก่อสร้างในอดีต ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงอาศัยข้อมูลที่ได้จากเอกสารหลักฐานการจดบันทึกทางประวัติศาสตร์ รวมถึงข้อมูลจากการสัมภาษณ์นักโบราณคดีและนักประวัติศาสตร์ หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

2. สมมติให้ไม่มีความแตกต่างกัน ในเรื่องของการผลิตหรือการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างในอดีต ในแต่ละยุคสมัย และในแต่ละแห่ง กับวิธีการผลิตหรือแปรสภาพในปัจจุบัน และสมมติให้ความสามารถของคนในอดีตกับคนในปัจจุบันในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างมีใกล้เคียงกันหรือมีค่าเท่ากัน ซึ่งการจดบันทึกการผลิตและการแปรสภาพวัสดุ จะจดบันทึกเฉพาะการผลิตและการแปรสภาพวัสดุที่ใช้แรงงานมนุษย์หรือการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงบางประเภทที่คาดว่ามีการใช้ในสมัยก่อนเท่านั้น ไม่รวมถึงการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรง หรือการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบัน

3.7 บทสรุป

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน โดยการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง กับประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับจากอาคารโบราณสถาน มาสร้างเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวัดค่าประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารโบราณสถานนั้น ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถาน และสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทหรือกับโบราณสถานประเภทเดียวกัน แต่สร้างในคนละยุคสมัยได้ โดยได้ทำการแบ่งประเภทของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการก่อสร้าง โดยแบ่งเป็นพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง และพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของการก่อสร้าง ได้แก่พลังงานที่ใช้ทางตรง และทางอ้อม เพื่อทำให้การวิเคราะห์หาค่าพลังงานสามารถวิเคราะห์ทำได้ครอบคลุมค่าพลังงานทั้งหมด โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาที่ข้อมูลที่มีเป็นหลัก ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงพลังงานที่ใช้โดยตรง คือ ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ไปเพื่อให้สามารถก่อสร้างได้

ในการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนั้น จำเป็นต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท รวมทั้งหาแนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุก่อสร้างเหล่านั้น และแนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง และการดำเนินการก่อสร้างในแต่ละรูปแบบของโบราณสถาน

การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานนั้นทำโดยการสัมภาษณ์และจดบันทึกจากการทำจริง เพราะวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน ในปัจจุบันยังมีการผลิตหรือการแปรสภาพจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลจะพิจารณาเฉพาะการผลิตหรือการแปรสภาพที่ไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตหรือช่วยในการแปรสภาพ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ที่เป็นข้อมูลของกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติในอดีต โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน 5 ประเภท ได้แก่ อิฐ หินหรือศิลาทราย ศิลาแลง ไม้ วัสดุก่อและวัสดุยึด

การศึกษาวิจัยครั้งนี้กำหนดขั้นตอนของการก่อสร้างออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การผลิตหรือแปรสภาพวัสดุ การขนส่งวัสดุ และการดำเนินการก่อสร้าง ขั้นตอนเหล่านี้ เป็นขั้นตอนหลักๆที่สำคัญของขั้นตอนการก่อสร้างที่ใช้สำหรับการก่อสร้างทุกประเภทโบราณสถานและทุกยุคสมัย ในการวัดค่าพลังงานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างสามารถทำได้โดยการแตกกิจกรรมออกเป็นกิจกรรมย่อยๆ และหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละกิจกรรมย่อย และผลรวมของค่าพลังงานนี้คือ ค่าพลังงานรวมที่ต้องใช้ไปในกิจกรรมการก่อสร้างทั้งหมด

รูปแบบของแบบจำลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน คือ สัดส่วนระหว่าง ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง (Energy Spent) กับ ค่าการใช้งาน (Service Provided) และปรับค่าด้วยค่าปัจจัยที่มีผลกระทบ (F) ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\text{Construction Energy Utilization Index} = \frac{\text{Energy Spent}}{\text{Service Provided} \times F_1 \times F_2 \times F_3}$$

โดยที่ F_1 = ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง

F_2 = ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง

F_3 = ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

โดยค่าการใช้งานในปัจจุบัน และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง จะต้องพิจารณาจากประเภทของโบราณสถาน ซึ่งโบราณสถานแต่ละประเภทหรือในแต่ละแห่งจะมีค่าเหล่านี้ไม่เท่ากัน

บทที่ 4

แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พิจารณาหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยพิจารณาตามประเภทของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเป็นหลัก วัสดุแต่ละประเภทจะมีกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุที่แตกต่างกัน โดยได้ทำการแบ่งประเภทของวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน ออกเป็น 5 ชนิด (สมชาติ จึงสิริอารักษ์, 2540) คือ

(1) อิฐ
(2) หินหรือศิลาทราย
(3) ศิลาแลง
(4) ไม้
(5) วัสดุก่อและวัสดุยึด

ค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ที่ใช้โดยตรงในการประกอบกิจกรรมของการแปรสภาพหรือเตรียมวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะได้ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในขบวนการแปรสภาพหรือการผลิตวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน ไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง

แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ จะใช้การเทียบกับค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการวัดหาค่าพลังงานเหล่านี้ได้ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งวิธีการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปออกเป็น 2 วิธี คือ

1) นำค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในกิจกรรมดังตาราง ก.1 ในภาคผนวก ก ที่มีการวัดค่าพลังงานในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ไว้แล้วมาใช้โดยตรง ซึ่งค่าพลังงานนี้จะเป็นค่าพลังงานโดยเฉลี่ยของการประกอบกิจกรรมนั้นๆ

2) ในกิจกรรมบางประเภทของการแปรสภาพวัสดุซึ่งไม่มีการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปนั้นๆ โดยตรง จะคิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมในตาราง ก.1 ในภาคผนวก ก ซึ่งมีการเคลื่อนไหวของการใช้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของอวัยวะร่างกายที่คล้ายคลึงกัน ทำให้สามารถ

ประมาณค่าพลังงานโดยใช้การเทียบเคียงได้ (Taylor and Mcleod, 1949, cited in Guthrie, 1995:202) โดยค่าพลังงานที่ได้นี้จะเป็นค่าพลังงานโดยประมาณของกิจกรรมที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

ความถูกต้องของค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จากแนวคิดในการหาค่าพลังงานนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยประกอบหลายปัจจัย การวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัดสุก่อสร้างโบราณสถานในแต่ละประเภทจึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ได้แก่ การไม่คิดรวมค่าพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงและพลังงานทางอ้อมที่เกิดขึ้น ความคลาดเคลื่อนทางด้านการเก็บข้อมูล เช่น ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมขั้นตอนต่างๆ ซึ่งจดบันทึกมาจากการทำจริงในปัจจุบัน และสมมติฐานให้มีความใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้ในอดีต วิธีการวัดค่าพลังงานในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ในปัจจุบันซึ่งนำมาใช้ในการเทียบเคียงมีหลายวิธี การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม อาจทำให้ค่าที่ได้อาจเกิดการกระจายของข้อมูล ซึ่งไม่ได้ใช้ฐานข้อมูลเดียวกันทั้งหมด ซึ่งมีผลต่อการนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นถึงการนำเสนอแนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุธรรมชาติเพื่อทำวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานเท่านั้น โดยไม่ได้มุ่งเน้นถึงความถูกต้องของค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบถึงการก่อสร้างโบราณสถานได้ต่อไป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุแต่ละประเภท ตามกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุ เพื่อแสดงการนำไปใช้ของแนวคิดและวิธีการวัดและวิเคราะห์ค่าพลังงานในการแปรสภาพวัสดุแต่ะละประเภท โดยวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท จะมีกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุแต่ละประเภท จึงแตกต่างกันไปด้วย ได้แก่

1) พลังงานที่ใช้ไปในการผลิตอิฐ
2) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหิน หรือศิลาทราย
3) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลง
4) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้
5) พลังงานที่ใช้ไปในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด

4.1 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตอิฐโบราณสถาน</u>

อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน ได้มาจากการแปรสภาพดินธรรมชาติ โดยการขุดดิน การย่ำดิน การปั้นดิน การถากตกแต่งและการเผาดิน เพื่อเปลี่ยนสภาพดินมาเป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้าง แสดงในบทที่ 3 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการแปรสภาพเกิดจากการใช้พลังงานของมนุษย์

แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการผลิตอิฐจากสภาพธรรมชาติมาเป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้าง จึงใช้การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปของมนุษย์ในกระบวนการผลิตอิฐ โดยนำค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในกิจกรรมดังตาราง ก.1 ในภาคผนวก ก มาใช้โดยตรงหรือการเทียบเคียงค่าพลังงาน โดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของการใช้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของอวัยวะร่างกายที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งกรรมวิธีการผลิตอิฐ ในบทที่ 3 เกิดจากการประกอบกิจกรรมของมนุษย์ในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตอิฐ สามารถจำแนกเป็นกิจกรรมต่างๆที่ใช้พลังงานไป ได้ดังตารางที่ 4.1

จากแนวคิดในการหาค่าพลังงาน แสดงค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละกิจกรรม ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตอิฐจำนวนประมาณ 4,000 ก้อน ขนาด 15 x 30 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ใช้พลังงานทั้งสิ้น 830,960 / 4,000 = 2.08×10^{2} กิโลจูล ในการผลิตอิฐ 1 ก้อน

4.2 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหิน หรือศิลาทราย</u>

แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพหินจากสภาพธรรมชาติมาเป็นหินที่ใช้ในการก่อสร้าง จะใช้การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป ซึ่งเกิดจากพลังงานมนุษย์ในกระบวนการแปรสภาพหินหรือศิลาทราย มีวิธีการวัดค่าพลังงานโดยการใช้ค่าพลังงานที่มีการวัดไว้ในปัจจุบันอ้างอิงและการเทียบเคียงกับกิจกรรมใกล้เคียง

จากบทที่ 3 กรรมวิธีการแปรสภาพหินหรือศิลาทราย จะใช้พลังงานของมนุษย์เป็นหลักในการเซาะแนวร่องหิน การงัดก้อนหินขึ้น รวมทั้งการโกลนตกแต่ง โดยจำแนกกิจกรรมต่างๆและค่าพลังงานที่ใช้ไป ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปของการผลิตอิฐโบราณสถาน (ต่ออิฐ 4,000 ก้อน)

แหล่งพลังงาน	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม) *	ค่าพลังงานในหน่วย กิโลจูล **	กิจกรรมจาก ตาราง ก.1 ที่ใช้ในการเทียบเคียง
E_{HUMAN}	ขุดดิน	280	0.126	575,000	Gardening Digging
	ย่ำดินในบ่อ	20	0.108 [1]	35,300	Walking, normal pace fields and hillsides Running, horizontal 11 min, 30s per mile
	ปั้นใส่แบบ	30	0.078	38,200	Plastering
	ขูด ถาก	120	0.064 [2]	125,000	Ironing (M)
	เรียงเข้าเตาเผา	36	0.078 [3]	45,800	Plastering
	ยัดแกลบใส่เตา	5	0.042 [4]	3,430	Billiards
	ชักขี้เถ้าออก	12	0.042 [5]	8,280	Billiards
			E_{TOTAL}	830,960	

* ข้อมูลได้จากตาราง ก.1 ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่คิดต่อ คน 1 คน ในการทำแต่ละขั้นตอนของการผลิต

** สมมติให้คนที่ทำการผลิตอิฐ มีน้ำหนักร่างกาย 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานผู้ชาย

ตัวอย่างการคำนวณ

ในขั้นตอนของการขุดดิน ใช้พลังงาน = 280 (ชั่วโมง) x 60 (นาที / ชั่วโมง)
x 0.126 (กิโลแคลอรี่ / นาที / กิโลกรัม)
x 65 (กิโลกรัม) x 4.186 (กิโลจูล / กิโลแคลอรี่)
ได้ค่าประมาณ 575,000 กิโลจูล

[1] คิดค่าพลังงานจากกิจกรรมการเดิน (Walking, normal pace in fields and hillsides)
ใช้พลังงาน 0.082 kcal / min / kg
และกิจกรรมการวิ่งในทางราบ (Running, horizontal 11 min, 30s per mile)
ใช้พลังงาน 0.135 kcal / min / kg
ซึ่งการวิจัยนี้ กิจกรรมการย่ำดินในบ่อ จะคิดค่าพลังงานได้โดยการใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างกิจกรรมทั้งสอง คือ (0.082+0.135) / 2 ได้เท่ากับ 0.108 kcal / min / kg
เพราะ กิจกรรมการย่ำดิน จะใช้อวัยวะในส่วนขาและเท้าในการย่ำดิน ซึ่งมีการเคลื่อนไหวอวัยวะร่างกายที่คล้ายกับการเดินและการวิ่ง โดยจะใช้พลังงานที่มากกว่าการเดิน แต่น้อยกว่าการวิ่ง

จึงกำหนดให้มีการใช้พลังงานที่อยู่ระหว่างกิจกรรมการเดินและการวิ่ง

[2] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการรีดผ้าของผู้ชาย(Ironing (M)) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

[3] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการปั้น(Plastering) เพราะเป็นการประกอบกิจกรรมที่มีลักษณะของการนำไปวางในเตาเผา ซึ่งไม่ได้ใช้แรงในการยก เพราะอิฐมีน้ำหนักเบาและในการปั้นอิฐมีการปั้นอิฐและใส่แบบ ซึ่งต้องมีการยกไปวางเพื่อตากแดดเช่นกัน

[4,5] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรม Billiards เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการแทงไปข้างหน้าและถอยหลังของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหินหรือศิลาทราย

แหล่งพลังงาน	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม) *	ค่าพลังงานในหน่วยกิโลจูล **	กิจกรรมจากตาราง ก.1 ที่ใช้ในการเทียบเคียง
E_{HUMAN}	เซาะแนวร่องหิน	12	0.094	18,400	Coal mining Drilling coal, rock
	งัด หรือดีดหินขึ้น	0.25	0.103 [1]	420	Canoeing Racing
	โกลนหิน	10.80	0.100 [2]	17,600	Steel mill, working in Forging
			E_{TOTAL}	36,400	

* ข้อมูลนำมาจากตาราง ก.1 ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่คิดต่อ คน 1 คนในการทำแต่ละขั้นตอน

** สมมติให้คนที่ทำการผลิตอิฐ มีน้ำหนักร่างกาย 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานผู้ชาย

[1] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการพายเรือ(Canoeing of racing) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน โดยกิจกรรมการงัดหรือก้อนหินขึ้นจะใช้ท่อนแขนกดท่อนไม้ที่ใช้เป็นคานงัดไปด้านหน้าหรือด้านข้าง เช่นเดียวกับกิจกรรมการพายเรือ(Canoeing of racing) ที่พายเรือไปด้านข้าง ดังนั้นการวิจัยนี้จะใช้เทียบเคียงกับกิจกรรมการพายเรือในลักษณะของการแข่งขันซึ่งจะใช้พลังงานมากกว่าการพายเรือตามปกติ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพลังงานที่ใกล้เคียงขึ้น

[2] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการตีเหล็ก(Steel mill, working in forging) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน โดยกิจกรรมการโกลนหินจะใช้อุปกรณ์สำหรับโกลนหินซึ่งคล้ายกับสิ่วในปัจจุบันแต่จะมีลักษณะหน้าคมที่ใหญ่กว่า และจะใช้ค้อนตีลงไปเพื่อตกแต่งหน้าหิน ซึ่งจะคล้ายกับกิจกรรมการตีเหล็กที่ใช้ค้อนตี ซึ่งมีลักษณะของการเคลื่อนไหวอวัยวะท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

พลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละกิจกรรมดังตารางที่ 4.2 เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพหินทรายจำนวน 1 ก้อนขนาด 1 x 1 x 0.7 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 3.64×10^4 กิโลจูล ในการแปรสภาพหินทราย 1 ก้อน ที่มีขนาด 1 x 1 x 0.7 ลูกบาศก์เมตร

ซึ่งในการนำหินทรายไปก่อสร้าง อาจใช้หินทรายที่มีขนาดต่างกันออกไปตามโบราณสถาน ณ ที่ต่างๆ ดังนั้นในการนำค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพหินทรายขนาด 1 x 1 x 0.7 ลูกบาศก์เมตรไปใช้นั้น (ซึ่งเป็นขนาดหินทรายก่อสร้างที่ใหญ่ที่สุดที่พบในโบราณสถานทั่วไป ซึ่งในการแปรสภาพหินทรายจะทำให้ได้ขนาดประมาณนี้ และถ้าต้องการขนาดหินที่แตกต่างไปจากนี้ จะทำการแบ่งหินอีกครั้ง) จะต้องคิดค่าพลังงานของมนุษย์ในการแบ่งขนาดหินให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการแบ่งหินให้ได้ขนาดตามต้องการนั้น จะคิดเช่นเดียวกับกิจกรรมเซาะแนวร่องหิน ซึ่งใช้พลังงาน 0.094 กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม (เทียบเคียงจากกิจกรรมDrilling coal, rock ในตารางที่ 2.1) และจากการจดบันทึกการแบ่งหิน พบว่าใช้เวลาประมาณ 20 นาทีหรือ 20/60 ชั่วโมง

ดังนั้น จะใช้พลังงาน = (20/60) (ชั่วโมง) x 60 (นาที/ชั่วโมง) x 0.094
(กิโลแคลอรี่/นาที/กิโลกรัม) x 65 (กิโลกรัม)
x 4.186 (กิโลจูล/กิโลแคลอรี่)
$= 5.10 \times 10^2$ กิโลจูล

ซึ่งในการนำค่าพลังงานที่ได้จากตารางที่ 4.2 นี้ไปใช้ต่อไป จะต้องทำการปรับค่าพลังงานให้เป็นพลังงานสำหรับหินทรายที่มีขนาดใกล้เคียงกับหินทรายที่พบส่วนใหญ่ในการก่อสร้างโบราณสถานที่พิจารณาในการนำมาวิเคราะห์

4.3 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลง</u>

แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลงจากสภาพธรรมชาติ มาเป็นศิลาแลงที่ใช้ในการก่อสร้าง จะใช้การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป ซึ่งเกิดจากพลังงานมนุษย์ใน

กระบวนการแปรสภาพศิลาแลง มีวิธีการวัดค่าพลังงานโดยการใช้ค่าพลังงานที่มีการวัดไว้ในปัจจุบันอ้างอิงและการเทียบเคียงกับกิจกรรมใกล้เคียง

จากกรรมวิธีการแปรสภาพศิลาแลง ขั้นตอนของการแปรสภาพที่ใช้พลังงาน คือ ขั้นตอนของการสับก้อนหินเป็นแนวร่องลึก การงัดก้อนหินขึ้น และการโกลนตกแต่งก้อนหิน แสดงวิธีการคิดค่าพลังงานในกิจกรรมต่างๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพศิลาแลง

แหล่งพลังงาน	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม) *	ค่าพลังงานในหน่วยกิโลจูล **	กิจกรรมจากตาราง ก.1 ที่ใช้ในการเทียบเคียง
E_{HUMAN}	สับเป็นแนวร่องลึก	0.480	0.091 [1]	713	Forestry Hoeing
	งัดขึ้น	0.083	0.103 [2]	140	Canoeing Racing
	โกลน	0.700	0.033 [3]	377	Ironing (F)
			E_{TOTAL}	1,230	

* ข้อมูลนำมาจากตาราง ก.1 ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่คิดต่อ คน 1 คนในการทำแต่ละขั้นตอน

** สมมติให้คนที่ทำการผลิตอิฐ มีน้ำหนักร่างกาย 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานผู้ชาย

[1] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการสับ พรวน หรือขุดหญ้า(Forestry hoeing) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

[2] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการพายเรือ(Canoeing of racing) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน โดยกิจกรรมการงัดหรือก้อนศิลาแลงขึ้นจะใช้ ท่อนแขนกดท่อนไม้ที่ใช้เป็นคานงัดไปด้านหน้าหรือด้านข้าง เช่นเดียวกับกิจกรรมการพายเรือ(Canoeing of racing) ที่พายเรือไปด้านข้าง ดังนั้นการวิจัยนี้จะใช้เทียบเคียงกับกิจกรรมการพายเรือในลักษณะของการแข่งขันซึ่งจะใช้พลังงานมากกว่าการพายเรือตามปกติ

[3] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการรีดผ้าของผู้หญิง(Ironing (M)) เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน และมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่ากิจกรรมการขูด ถากอิฐ ซึ่งเทียบเคียงกับกิจกรรมการรีดผ้าของผู้ชาย

พลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละกิจกรรมเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพศิลาแลง จำนวน 1 ก้อนขนาด 0.5 x 0.3 x 0.4 ลูกบาศก์เมตร (ซึ่งเป็นขนาดที่ศิลาแลงที่พบมากในการนำไปก่อสร้างโบราณสถาน)

ดังนั้น จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 1.23×10^3 กิโลจูล ในการแปรสภาพศิลาแลง 1 ก้อน

4.4 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้</u>

แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพไม้จากสภาพธรรมชาติมาเป็นไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง จะใช้การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป ซึ่งเกิดจากพลังงานมนุษย์ในกระบวนการแปรสภาพไม้ โดยมีวิธีการวัดดังที่กล่าวมาข้างต้น

แต่เนื่องจากไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายชนิดและหลายขนาด ซึ่งในแต่ละชนิดและแต่ละขนาด จะใช้พลังงานไปในการแปรสภาพที่แตกต่างกันมาก ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงไม่สามารถระบุถึงค่าพลังงานที่เป็นตัวแทนของค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้ทุกชนิด และทุกขนาดได้

การวิจัยครั้งนี้จึงให้แนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้ซึ่งจะกำหนดจากขั้นตอนหลักๆของการแปรสภาพไม้ ซึ่งต้องใช้กับการแปรสภาพไม้ทุกชนิด และทุกประเภท โดยมีขั้นตอนหลักๆ ของการแปรสภาพไม้ ที่สามารถจำแนกเป็นกิจกรรมต่างๆที่ได้ใช้พลังงานไป และเลือกกิจกรรมจากตาราง ก.1 เพื่อใช้ในการเทียบเคียงการใช้พลังงานไปในการแปรสภาพไม้ ดังตารางที่ 4.4

โดยในการนำค่าพลังงานที่เทียบเคียงในตารางที่ 4.4 ไปใช้ในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพไม้ เมื่อทราบชนิดและขนาดของไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง จะทำการจดบันทึกเวลาที่ต้องใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการแปรสภาพไม้ชนิดนั้น และมีขนาดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้ได้ต่อไป

ตารางที่ 4.4 แสดงการเทียบเคียงกิจกรรมที่ใช้พลังงานไปในการแปรสภาพไม้

แหล่งพลังงาน	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม) *	ค่าพลังงานในหน่วยกิโลจูล **	กิจกรรมจากตาราง ก.1 ที่ใช้ในการเทียบเคียง
E_{HUMAN}	ตัดไม้	X1	0.191 [1]	Y1	Forestry ax chopping, fast ax chopping, slow
	ลอกเปลือกไม้	X2	0.123	Y2	Forestry Barking trees
	เลื่อยไม้	X3	0.122	Y3	Forestry Sawing by hand
	ไสไม้	X4	0.129	Y4	Forestry Stacking firewood
			E_{TOTAL}	ΣY	

Xi คือ ค่าที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้ โดยได้จากการจดบันทึกเวลาที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการแปรสภาพไม้แต่ละชนิด และแต่ละขนาดที่พิจารณา

Yi คือ ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการแปรสภาพไม้แต่ละชนิด และแต่ละขนาดที่พิจารณาในหน่วยกิโลจูล

* ข้อมูลนำมาจากตาราง ก.1 ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่คิดต่อ คน 1 คนในการทำแต่ละขั้นตอน

** สมมติให้คนที่ทำการผลิตอิฐ มีน้ำหนักร่างกาย 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานผู้ชาย

[1] คิดค่าพลังงานจากกิจกรรมการตัดไม้ ซึ่งการวิจัยนี้จะคิดค่าพลังงานได้โดยการใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างพลังงานจากกิจกรรมตัดไม้อย่างเร็ว(ax chopping,fast) และอย่างช้า(ax chopping, slow)

โดยการตัดไม้อย่างเร็ว ใช้พลังงาน 0.297 kcal * min^{-1} * kg^{-1}

และการตัดไม้อย่างช้า ใช้พลังงาน 0.085 kcal * min^{-1} * kg^{-1}

ค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทั้งสอง คือ (0.297+0.085) / 2 ได้เท่ากับ 0.191 kcal * min^{-1} * kg^{-1}

4.5 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด

แนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด สำหรับใช้ในการก่อสร้าง จะใช้การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป ซึ่งเกิดจากพลังงานมนุษย์ในกระบวนการเตรียมวัสดุ

ก่อและวัสดุยึด แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยมีแนวคิดในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไป คือ การเทียบเคียงกับกิจกรรมใกล้เคียง ที่มีการเคลื่อนไหวอวัยวะของกล้ามเนื้อร่างกายที่คล้ายคลึงกัน

จากกรรมวิธีการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด ในบทที่ 3 สามารถจำแนกเป็นกิจกรรมต่างๆที่ได้ใช้พลังงานไป ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ไปของการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด

แหล่งพลังงาน	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)	จำนวนคน	ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม) *	ค่าพลังงานในหน่วยกิโลจูล **	กิจกรรมจากตาราง ก.1 ที่ใช้ในการเทียบเคียง
E_{HUMAN}	หย่อนปูนลงถัง	3	4	0.186 [1]	9,110	Forestry carrying logs
	ใช้ไม้ระแนงแทงปูนในถัง	4	6	0.042 [2]	2,740	Billiards
	กรองหรือร่อนปูน	80	2	0.126 [3]	165,000	Steel mill, working in tending furnace
	หมักด้วยทรายหยาบ	81	3	0.091 [4]	120,000	Forestry hoeing
				E_{TOTAL}	296,850	

* ข้อมูลนำมาจากตาราง ก. 1

** สมมติให้คนที่ทำ มีน้ำหนักร่างกาย 65 กิโลกรัม และเป็นแรงงานผู้ชาย

ตัวอย่าง ใช้ไม้ระแนงแทงปูนในถัง ใช้เวลา 4 ชั่วโมง มีคนทำ 6 คน ใช้พลังงาน 0.042 กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที ต่อ กิโลกรัม ต่อ 1 คน

ดังนั้น ใช้พลังงานทั้งสิ้น (4/6) x 0.042 x 6 x 60 x 65 x 4.186 = 2,740 กิโลจูล

[1] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการยกท่อนไม้ (Forestry, Carrying logs) เพราะเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานไปในการยกวัตถุขึ้นเช่นกัน ซึ่งท่อนไม้ใหญ่กับปูนมีน้ำหนักไม่แตกต่างกันมาก

[2] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรม Billiards เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

[3] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการหลอมเหล็กในโรงงาน Steel mill, working in tending furnace เพราะมีการเคลื่อนไหวร่างกายในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

[4] คิดค่าพลังงานโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมการสับ พรวน หรือขุดหญ้า (Forestry hoeing)เพราะมีการเคลื่อนไหวอวัยวะในส่วนของท่อนแขนที่คล้ายคลึงกัน

พลังงานที่ถูกใช้ไปในแต่ละกิจกรรม เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึดปริมาณ 2.60 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 296,850 / 2.60 = 1.14 x 10^5 กิโลจูล ในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึดปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร

4.6 บทสรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน โดยวัสดุที่พิจารณาจะพิจารณาเฉพาะวัสดุหลักๆ ที่ใช้ก่อสร้างโบราณสถาน 5 ประเภท ได้แก่ อิฐ หินหรือศิลาทราย ศิลาแลง ไม้ และวัสดุก่อหรือวัสดุยึด ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทจะมีกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุที่แตกต่างกันไป

แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุแต่ละประเภท จะพิจารณาเฉพาะค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ โดยไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะได้เป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในขบวนการแปรสภาพหรือการผลิตวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน ไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง โดยการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ในการประกอบกิจกรรมนั้นๆซึ่งมีการวัดค่าไว้ในปัจจุบัน ส่วนกิจกรรมบางประเภทซึ่งไม่มีการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปนั้นจะคิดโดยการเทียบเคียงจากกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งมีการเคลื่อนไหวของการใช้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของอวัยวะร่างกายที่คล้ายคลึงกัน ทำให้สามารถประมาณค่าพลังงานโดยใช้การเทียบเคียงได้

การเทียบเคียงค่าพลังงานในการแปรสภาพวัสดุก่อสร้างแต่ละประเภทวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน มีสมมติฐานให้ข้อมูลค่าพลังงานของมนุษย์ที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ของคนไทยมีค่าไม่แตกต่างไปจากการวัดค่าพลังงานของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ จากต่างประเทศซึ่งมีการวัดค่าไว้ในปัจจุบัน ทำให้สามารถทำการเทียบเคียงได้ และในการประมาณหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ ที่เกิดจากการใช้แรงงานมนุษย์ได้

ข้อจำกัดของการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ ที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน คือ การวัดค่าพลังงานที่ใช้ไป ไม่รวมค่าพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องมือเครื่องจักรเครื่องทุ่นแรง และไม่รวมค่าพลังงานทางอ้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งไม่ได้เป็นค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องกับ

กิจกรรมก่อสร้างโดยตรง เพราะไม่สามารถหาค่าพลังงานเหล่านี้ได้ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึงการหาค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของมนุษย์เท่านั้น รวมทั้งในการเก็บรวบรวมข้อมูลกรรมวิธีการแปรสภาพจะใช้การสัมภาษณ์และการจดบันทึกจากการทำจริงในปัจจุบัน ซึ่งสมมติฐานให้ไม่แตกต่างไปจากในอดีต

จากการศึกษาวิจัย ทำให้ทราบถึงแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตหรือแปรสภาพวัสดุก่อสร้างโบราณสถานได้ และทำการแสดงค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ มีค่าดังนี้

- การผลิตอิฐ 1 ก้อน ขนาด15 x 30 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้พลังงานทั้งสิ้น 2.08×10^{2} กิโลจูล

- การแปรสภาพหินทราย 1 ก้อน ขนาด 1 x 1 x 0.7 ลูกบาศก์เมตร ใช้พลังงานทั้งสิ้น 3.64×10^{4} กิโลจูล

- การแปรสภาพศิลาแลง 1 ก้อน ขนาด 0.5 x 0.3 x 0.4 ลูกบาศก์เมตร ใช้พลังงานทั้งสิ้น 1.23×10^{3} กิโลจูล

- การแปรสภาพไม้ เนื่องจากไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายชนิดและหลายขนาด ซึ่งในแต่ละชนิดและแต่ละขนาด จะใช้พลังงานไปในการแปรสภาพที่แตกต่างกันมาก การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงแสดงแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพไม้ และการเทียบเคียงค่าพลังงานจากกิจกรรมการแปรสภาพไม้ กับกิจกรรมเทียบเคียงซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไว้ในปัจจุบัน

- การเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึด ซึ่งคือปูนหมักปูนตำ ใช้พลังงานทั้งสิ้น 1.14×10^{5} กิโลจูล ในการเตรียมวัสดุก่อและวัสดุยึดปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

แนวคิดในการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุและดำเนินการก่อสร้าง

ขั้นตอนของการขนส่งวัสดุและการดำเนินการก่อสร้าง เป็นขั้นตอนสำคัญที่นอกเหนือไปจากขั้นตอนของการผลิตหรือแปรสภาพวัสดุก่อสร้าง ในการศึกษาวิจัยได้ทำการหาแนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในขั้นตอนของการขนส่งวัสดุและการดำเนินการก่อสร้าง เพื่อให้ได้ค่าพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งหนึ่งแห่งใดได้

5.1 การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ

แนวคิดในการวัดพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ กำหนดให้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ในการลากหรือขนวัสดุ โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง เพราะไม่สามารถทราบถึงประเภทของพาหนะที่มีการใช้ในการขนส่งวัสดุก่อสร้างเพื่อการก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนั้นๆ ซึ่งค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการขนส่ง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล โดยแสดงขั้นตอนของการหาค่าพลังงานในการขนส่ง ดังนี้

(1) พิจารณาเส้นทางขนส่ง ที่คาดว่าได้ถูกใช้ไปในการขนส่งวัสดุ โดยทำการศึกษาจากเอกสารอ้างอิงหรือจากการสัมภาษณ์นักโบราณคดีหรือนักประวัติศาสตร์หรือผู้ที่เชี่ยวชาญ

(2) พิจารณาประเภทหรือชนิดของวัสดุก่อสร้างที่ทำการขนส่ง ซึ่งวัสดุก่อสร้าง เช่น หินทรายอาจต้องทำการขนส่งมาจากแหล่งวัสดุหรือจากสถานที่เก็บวัสดุ แต่วัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐ อาจไม่ต้องทำการขนส่ง เพราะมีการผลิต ณ สถานที่ก่อสร้างได้ โดยพิจารณาจากประเภทโบราณสถานและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างนั้น

(3) พิจารณารูปแบบของการขนส่ง ซึ่งสะท้อนมาจากเส้นทางขนส่ง และประเภทของวัสดุก่อสร้าง ทำให้สามารถคาดคะเนได้ถึงวิธีการขนส่ง รวมถึงเครื่องทุ่นแรงหรือยานพาหนะที่คาดว่าได้มีการใช้

แนวคิดและวิธีการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งนี้ ความถูกต้องของค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ จะขึ้นอยู่กับข้อมูล การคาดคะเนถึงวิธีการขนส่ง และเส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากในการหาข้อมูลเหล่านี้ เพราะเป็นข้อมูลในอดีต การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงแสดงแนวคิดของการหาค่าพลังงานในการขนส่ง และในการวิเคราะห์ค่าพลังงาน ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ได้จากเอกสารอ้างอิงที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งการสัมภาษณ์ การคาดคะเนจากนักโบราณคดี และการใช้สมการทางฟิสิกส์วิเคราะห์หาค่าพลังงานมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาในสมการหลายค่า ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์ ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งรูปแบบของการขนส่ง เพื่อพิจารณาหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

(1) การขนส่งทางบก
(2) การขนส่งทางน้ำ

5.1.1 การขนส่งทางบก

ในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุทางบก สามารถคิดได้จากสมการทางฟิสิกส์ คือ

$$W = F.S$$

เมื่อ W = พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุทางบก ,จูล (J)
F = แรงที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบและวิธีการต่างๆของการขนส่ง , นิวตัน (N)
S = ระยะทางที่ขนส่ง ,เมตร (m)

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ได้จำแนกลักษณะการหาค่าแรงที่ใช้ไปแต่ละรูปแบบและแต่ละวิธีการขนส่งทางบก ได้ดังนี้

(1) การขนส่งโดยการยกหรือแบก โดยมนุษย์หรือสัตว์พาหนะ ซึ่งไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรง
(2) การขนส่งโดยการลากสัมผัสกับพื้นผิว
(3) การขนส่งโดยการใช้พาหนะทุ่นแรง ที่มีลักษณะเป็นล้อลาก

ในแต่ละรูปแบบหรือแต่ละวิธีการขนส่ง จะวัดค่าพลังงานได้จากการใช้สมการฟิสิกส์ โดยการพิจารณาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการขนส่งนั้น ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงสมการฟิสิกส์ที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงที่ใช้ในการขนส่งแต่ละรูปแบบ

รูปแบบของการขนส่ง	สมการฟิสิกส์ที่ใช้	ปัจจัยที่พิจารณา	หมายเหตุ
1.การยกหรือแบก	F=mg	- วัสดุที่ทำการขนส่ง - น้ำหนักของวัสดุ	F = แรงที่ใช้ไปในการยก แบก, นิวตัน (N) m= มวลของวัตถุ (วัสดุที่ยก แบก) , กิโลกรัม (Kg)
2.การลากสัมผัสพื้น	$F=\mu_s mg\cos\theta$	- วัสดุที่ทำการขนส่ง - น้ำหนักของวัสดุ - แรงเสียดทานที่พื้นผิว - มุมของการเกาะยึด ของพื้นผิว (กรณีพื้นเอียง)	F = แรงเสียดทานสถิตย์สูงสุด หรือ แรงน้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ , นิวตัน (N) μ_s= สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิตย์ m = มวลของวัตถุ , กิโลกรัม (Kg) g = 9.81 m/s^2 θ = มุมของการเกาะยึดของพื้นผิว (มุมพื้นเอียง) , องศา
3.การใช้พาหนะล้อลาก	F=Na / r	- วัสดุที่ทำการขนส่ง - น้ำหนักของวัสดุ - ขนาดของล้อลาก - ประเภทของล้อ	F = แรงที่ต้องใช้น้อยที่สุดในการเคลื่อนวัตถุหรือแรงเสียดทานของการหมุน , นิวตัน (N) N = น้ำหนักของวัตถุ , นิวตัน (N) a = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบหมุน , นิ้ว r = รัศมีของล้อ , นิ้ว

ซึ่งในการพิจารณาเลือกใช้สมการหาค่าแรงที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบและแต่ละวิธีการขนส่ง (F) จะพิจารณาจากเอกสารอ้างอิงหรือจากการคาดคะเนของผู้ที่เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการเลือกใช้สมการ ที่จะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

ส่วนระยะทางที่ขนส่ง (S) จะพิจารณาหาจากหลักฐานแผนที่ทางประวัติศาสตร์ หรือจากการสมมติฐานหรือจากการคาดคะเนของนักโบราณคดีหรือนักประวัติศาสตร์

5.1.2 การขนส่งทางน้ำ

ในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งทางน้ำ จะพิจารณาในลักษณะเช่นเดียวกับการขนส่งทางบก แต่จะมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งที่แตกต่างกันไป

ในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุทางน้ำ สามารถคิดได้จากสมการทางฟิสิกส์ในลักษณะเช่นเดียวกับการขนส่งทางบก คือ

$$W = F.S$$

เมื่อ W = พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุทางน้ำ ,จูล (J)

F = แรงที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบและวิธีการต่างๆของการขนส่ง , นิวตัน (N)

S = ระยะทางที่ขนส่ง ,เมตร (m)

โดยที่ ค่า F ของการขนส่งทางน้ำ จะต้องพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะเส้นทางน้ำ ทิศทางของกระแสน้ำ ลักษณะของการขนส่ง และแรงเสียดทานทางน้ำที่เกิดขึ้น รวมถึงวิธีการและลักษณะของการขนส่ง เป็นต้น

5.2 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง</u>

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ในการดำเนินการก่อสร้าง โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง ในกรณีที่ไม่สามารถทราบถึงประเภทของเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนั้นๆ ซึ่งค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล โดยการศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในขั้นตอนของการดำเนินการก่อสร้างตามชนิดหรือประเภทของโบราณสถาน เพราะในแต่ละประเภทของโบราณสถานจะมีรูปแบบของการก่อสร้าง รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป โดยการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง จะคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปโดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

(1) ค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้าง ได้แก่

- พลังงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนหรือก่อหินทราย ศิลาแลง หรืออิฐ
- พลังงานที่ใช้ในการฉาบปูนผนัง
- พลังงานที่ใช้ในการสร้างหลังคาโบสถ์ วิหารหรือพระอุโบสถ ซึ่งประกอบไปด้วยพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้องและพลังงานในการประกอบโครงสร้างไม้

ซึ่งค่าพลังงานเหล่านี้สามารถหาได้โดยเทียบเคียงกับการใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไว้ และจะทำการปรับค่าพลังงานเหล่านี้ไปตามระดับความสูงของการก่อสร้างโดยการใช้ข้อมูลของราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร ที่แสดงไว้ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก เป็นตัวปรับค่าพลังงาน เพราะการประกอบกิจกรรมเหล่านี้ในที่สูง จะทำได้ยากกว่าในระดับปกติซึ่งมนุษย์สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องทุ่นแรงในการช่วยผ่อนแรงและยกขึ้นที่สูง จึงมีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันไปตามราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร โดยในแต่ละประเภทของโบราณสถานจะมีการปรับค่าในส่วนนี้ที่แตกต่างกันไป ซึ่งแสดงในหัวข้อถัดไป

(2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง ซึ่งค่าพลังงานในส่วนนี้ จะคิดจากค่าพลังงานศักย์ แต่ในกรณีที่ทราบได้ถึงเครื่องทุ่นแรงที่คาดว่ามีใช้ ซึ่งทำให้เกิดการทุ่นแรงของมนุษย์ไป การคิดค่าพลังงานจะพิจารณาถึงค่าพลังงานที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงรวมกับค่าพลังงานที่มนุษย์ต้องใช้ไปจริง ซึ่งผลรวมของค่าพลังงานทั้งสองคือค่าพลังงานศักย์นั่นเอง

โดยในการพิจารณาเลือกค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบ จะพิจารณาจากประเภทของโบราณสถาน ซึ่งโบราณสถานแต่ละประเภทมีโครงสร้าง และการใช้วัสดุ ที่แตกต่างกันไป ทำให้การหาค่าพลังงานรวมถึงการปรับค่าตามระดับความสูงของการก่อสร้างแตกต่างกันไป โดยการศึกษาวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้างและสรุปได้ดังตารางที่ 5.2 ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้าง

ประเภทโบราณสถาน	ระดับความสูงของการก่อสร้าง	รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงานที่ใช้	หน่วยที่ใช้
ปราสาทหิน	น้อยกว่า 2.00 เมตร	พลังงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนหินทรายหรือศิลาแลง	5.50×10^3	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
	ระหว่าง 2.00-6.00 เมตร		7.30×10^3	
	มากกว่า 6.00 เมตร		9.10×10^3	
เจดีย์	น้อยกว่า 3.00 เมตร	พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐหรือฉาบปูน	1.14×10^4	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
	มากกว่า 3.00 เมตร		พิจารณาความหนาขององค์เจดีย์และปูนฉาบเพื่อเทียบสัดส่วนและปรับค่า	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้าง (ต่อ)

ประเภทโบราณสถาน	ระดับความสูงของการก่อสร้าง	รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงานที่ใช้	หน่วยที่ใช้
พระอุโบสถ หรือวิหาร	น้อยกว่า 3.00 เมตร	พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐหรือฉาบปูน	1.14×10^4	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
	มากกว่า 3.00 เมตร	พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐและฉาบปูน	พิจารณาความหนาของผนังและปูนฉาบ เพื่อเทียบสัดส่วนและปรับค่า	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
		พลังงานที่ใช้ในการทำโครงหลังคาไม้	2.00×10^3	กิโลจูลต่อตารางเมตร
		พลังงานที่ใช้ในการมุงหลังคา	8.00×10^2	
อาคารไม้	พิจารณาตามความสูงของอาคาร	พลังงานที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างไม้	2.00×10^3	กิโลจูลต่อตารางเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้าง (ต่อ)

ประเภทโบราณสถาน	ระดับความสูงของการก่อสร้าง	รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงานที่ใช้	หน่วยที่ใช้
คลอง	ไม่พิจารณาความสูง	พลังงานที่ใช้ในการขุดคลอง	7.50×10^3	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
ถนน	ไม่พิจารณาความสูง	พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐถนน	1.14×10^4	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
ป้อมปราการ	น้อยกว่า 3.00 เมตร	พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐหรือฉาบปูน	1.14×10^4	กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร
	มากกว่า 3.00 เมตร		พิจารณาความหนาของป้อมปราการและปูนฉาบ เพื่อเทียบสัดส่วน และปรับค่า	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท ความถูกต้องของค่าที่วิเคราะห์ได้ อาจคลาดเคลื่อนไป เนื่องจากเหตุผลหลายประการ เช่น การใช้การเทียบเคียงกับค่าพลังงานของมนุษย์ที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง ที่วัดจากคนในปัจจุบัน การปรับค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ตามความยากของการก่อสร้างเนื่องจากความสูงของการก่อสร้างโดยการใช้มาตรฐานราคากลางของกรมศิลปากร ซึ่งอาจไม่สะท้อนถึงสัดส่วนความยากง่ายของการก่อสร้างที่ระดับความสูงต่างๆ ได้อย่างแท้จริง รวมทั้งการใช้สมการทางฟิสิกส์วิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการยกวัสดุขึ้นที่สูง การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึงการนำเสนอแนวคิดของการหาค่าพลังงานและวิธีการปรับค่าเพื่อให้สะท้อนได้ถึงการก่อสร้างโบราณสถานได้ใกล้เคียงมากที่สุด โดยไม่ได้เน้นถึงความถูกต้องของค่าที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลกระทบ ดังที่กล่าวมา และได้แสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบถึงการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละแห่ง หรือในแต่ละประเภทได้ต่อไป

5.3 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างปราสาทหิน</u>

ปราสาทหินเป็นอาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อล้วน โดยการใช้หินทรายหรือศิลาแลง ก่อเป็นอาคาร ดังนั้น การวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างปราสาทหิน จึงพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบชิ้นส่วนก้อนหินทรายหรือศิลาแลง รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง ซึ่งการวัดค่าพลังงานทั้งสองส่วนนี้จะพิจารณาแบ่งตามระดับความสูงของตัวปราสาทนั้น โดยแบ่งตามระดับความสูงที่ใช้เป็นมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร เพราะระดับความสูงที่มากขึ้น จะมีความยากในการก่อสร้างที่มากกว่าและต้องใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งแปรผันไปตามราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร แสดงดังตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก คือ

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 2.00 เมตร
(2) ที่ระดับความสูงระหว่าง 2.00 – 6.00 เมตร
(3) ที่ระดับความสูงมากกว่า 6.00 เมตร

โดยในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้มีการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างปราสาทหินที่ระดับความสูงต่างๆดังนี้ คือ

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 2.00 เมตร

การวัดค่าพลังงานที่ใช้ ในการดำเนินการก่อสร้าง ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 2.00 เมตรนี้ จะคิดจากค่าพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่อวัสดุ เช่น การก่อหินทราย หรือศิลาแลง ซึ่งการวัดค่าพลังงานในส่วนนี้ จะพิจารณาโดยใช้การเทียบเคียงกับการใช้พลังงานของคนงานก่อสร้าง(Construction Work) (6.0 กิโลแคลอรี่ต่อนาที หรือ 1506.960 กิโลจูลต่อชั่วโมง (Durnin and Passmore, 1967, อ้างใน Guthrie, 1995:203)) ซึ่งเป็นค่าเทียบเคียงโดยประมาณ เพราะการก่อหินทรายหรือศิลาแลง ต้องใช้พลังงานไปมากกว่าการก่ออิฐ (Bricklaying) จึงกำหนดให้ใช้เทียบกับพลังงานของคนงานก่อสร้าง(Construction Work) ซึ่งมีการใช้พลังงานมากกว่าการก่ออิฐ (Bricklaying) และจากสถิติการทำงานเกี่ยวกับการประกอบชิ้นส่วนโบราณสถานประเภทหิน, ศิลาแลง ที่ใช้ในการจัดทำประมาณราคากลางของสำนักโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9 นครราชสีมา (2543) กล่าวว่า ปริมาณงานที่ทำได้ใน 1 วัน (8 ชั่วโมง) = 2.2 ลูกบาศก์เมตร หรือ 0.275 ลูกบาศก์เมตร ต่อ การทำงาน 1 ชั่วโมง

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบชิ้นส่วนหินทรายหรือศิลาแลงคือ 5.50×10^3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

(2) ที่ระดับความสูงระหว่าง 2.00 – 6.00 เมตร

การวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้างที่ระดับความสูงระหว่าง 2.00–6.00 เมตรนี้ จะคิดจากค่าพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่อวัสดุ เช่น การก่อหินทราย หรือศิลาแลง รวมกับค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง

โดยพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่อวัสดุจะคิดเช่นเดียวกับพลังงานที่ใช้ในการก่อหรือประกอบชิ้นส่วนหินทรายหรือศิลาแลงที่ระดับความสูงไม่เกิน 2.00 เมตร แต่จะทำการปรับค่าพลังงานที่ใช้ไปให้มีค่ามากกว่าที่ระดับความสูงไม่เกิน 2.00 เมตร โดยการใช้ราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร ที่แสดงไว้ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก เป็นตัวปรับค่าพลังงานเพราะการก่อสร้างในระดับความสูงที่มากกว่า 2.00 เมตร จะมีความยากในการก่อสร้างมากกว่าการก่อสร้างที่ระดับความสูงไม่เกิน 2.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่มนุษย์สามารถยกชิ้นส่วนวัสดุก่อสร้างขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องทุ่นแรง ซึ่งแสดงได้ดังนี้

ที่ความสูงไม่เกิน 2.00 เมตร

ราคาค่าแรงงานในการประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม) คือ 1,500 บาท

ที่ความสูง 2.00 – 6.00 เมตร

ราคาค่าแรงงานในการประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม) คือ 2,000 บาท

ที่ความสูง 2.00 – 6.00 เมตร

ราคาค่าแรงงานในการประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม) คือ 2,500 บาท

ดังนั้น ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อหรือประกอบชิ้นส่วนที่ระดับความสูง 2.00 – 6.00 เมตร คือ $5.50 \times 10^3 \times (2000 / 1500) = 7.30 \times 10^3$ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

และค่าพลังงานศักย์ที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง จะคิดจากสมการทางฟิสิกส์ คือ $W = mgh_{avg}$ โดยที่ h_{avg} คือค่าความสูงของการก่อสร้าง โดยการใช้ความสูงเฉลี่ยของปราสาทหินนั้น

(3) ที่ระดับความสูงมากกว่า 6.00 เมตร

พลังงานที่ใช้ ในการดำเนินการก่อสร้างที่ระดับความสูงมากกว่า 6.00 เมตร จะคิดค่าพลังงานเช่นเดียวกับค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้างที่ระดับความสูงระหว่าง2.00 – 6.00 เมตร ซึ่งได้แก่ พลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่อวัสดุและพลังงานศักย์ที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง

ซึ่งค่าพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่อวัสดุที่ระดับความสูงที่มากกว่า 6.00เมตร นี้ จะปรับค่าพลังงานที่ใช้ไปให้มีค่ามากกว่าที่ระดับความสูงไม่เกิน 2.00 เมตร ดังนี้

ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อหรือประกอบชิ้นส่วนที่ระดับความสูงมากกว่า 6.00 เมตร คือ $5{,}480 \times (2500 / 1500) = 9.10 \times 10^3$ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

5.4 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างเจดีย์</u>

เจดีย์เป็นอาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อล้วน โดยการใช้อิฐก่อเป็นอาคาร และทำการฉาบผิว

ด้วยปูน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงกำหนดให้มีการวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเจดีย์ เช่นเดียวกับในการก่อสร้างปราสาทหินที่ใช้หินทรายหรือศิลาแลงก่อ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างเจดีย์ ได้แก่ พลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการก่ออิฐ และพลังงานในการฉาบปูน รวมกับค่าพลังงานศักย์ที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง ซึ่งการวัดค่าพลังงานของการก่ออิฐจะพิจารณาแบ่งตามระดับความสูงขององค์เจดีย์นั้น ซึ่งใช้การแบ่งตามระดับความสูงซึ่งเป็นมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร ซึ่งแสดงไว้ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก ได้แก่

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร

(2) ที่ระดับความสูงมากกว่า 3.00 เมตร

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร

การศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้มีค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐเจดีย์และฉาบปูนมีค่าเท่ากัน โดยการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐ (Bricklaying) (3.8 กิโลแคลอรี่ต่อนาที หรือ 954.41 กิโลจูลต่อชั่วโมง (Durnin and Passmore, 1967, อ้างใน Guthrie, 1995:203)) เป็นค่าที่ใช้โดยตรง และค่าพลังงานที่ใช้ไปในการฉาบปูนจะใช้การเทียบเคียงกับค่าพลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐ เพราะเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการก่อสร้างที่ทำต่อเนื่องกัน และจากสถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน ในตาราง ก.3 ในภาคผนวก ก งานช่างปูน การก่ออิฐครึ่งแผ่นอิฐระยะสูง 3 เมตร ทำได้ 4.5 ตารางเมตร ต่อ การทำงาน 8 ชั่วโมง หรือ เท่ากับ (4.5 x 0.150) / 8 = 0.084 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง

และการวิจัยครั้งนี้ มีสมมติฐานว่า การก่ออิฐโบราณสถานของคนโบราณหรือในอดีต จะใช้พลังงานและเวลาในการก่อไม่แตกต่างจากการทำในปัจจุบัน เพราะการใช้เวลาในการก่อช้ากว่า แต่ได้ปริมาณงานที่ทำมากกว่า เพราะขนาดอิฐที่ใหญ่กว่า

ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐและฉาบปูน คือ 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

(2) ที่ระดับความสูงมากกว่า 3.00 เมตร

การวัดค่าพลังงานที่ใช้ ในการดำเนินการก่อสร้างที่ระดับความสูงที่มากกว่า 3.00 เมตรนี้

จะคิดจากค่าพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่ออิฐ การฉาบปูน รวมกับค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง โดยการก่อก่ออิฐ การฉาบปูน ที่ระดับความสูงที่มากกว่า 3.00 เมตร จะมีการปรับค่าพลังงานที่ใช้ไปให้มีค่ามากกว่าที่ระดับความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ซึ่งจะเป็นค่าพลังงานที่รวมถึงพลังงานที่ใช้ไปในการสร้างนั่งร้านด้วย เพื่ออำนวยความสะดวกในการก่อสร้างในที่สูง โดยการใช้ราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร ที่แสดงไว้ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก

ซึ่งในการปรับค่าพลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐและฉาบปูนที่ระดับความสูงมากกว่า 3.00เมตร จะต้องพิจารณาถึงความหนาขององค์เจดีย์ ความหนาของผนัง และนำข้อมูลนั้นมาเทียบสัดส่วนเพื่อทำการปรับค่าต่อไป

ตัวอย่าง การปรับค่าพลังงานของการก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์ หนา 0.40 เมตร ที่ระดับความสูงที่มากกว่า 3.00 เมตร คือ 11,362 x (650 / 550) = 1.34 x 10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

และค่าพลังงานศักย์ที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง จะคิดจากสมการทางฟิสิกส์ คือ $W = mgh_{avg}$ โดยที่ h_{avg} คือ ค่าความสูงของการก่อสร้าง โดยการใช้ความสูงเฉลี่ยของเจดีย์นั้น

5.5 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างพระอุโบสถ หรือวิหาร</u>

พระอุโบสถ หรือวิหารเป็นอาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อผนัง โดยการใช้อิฐก่อและฉาบผิวด้วยปูน และการประกอบโครงสร้างหลังคาซึ่งเป็นโครงสร้างไม้และทำการมุงหลังคาด้วยกระเบื้องประเภทต่างๆ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงกำหนดให้มีค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างพระอุโบสถ หรือวิหารคือ พลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการก่ออิฐ พลังงานในการฉาบปูน พลังงานที่ใช้ในการสร้างหรือประกอบโครงสร้างหลังคา และค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง

โดยการวัดค่าพลังงานของการก่ออิฐ และฉาบปูนจะพิจารณาแบ่งตามระดับความสูงของพระอุโบสถ หรือวิหารนั้น โดยแบ่งตามระดับความสูงที่ใช้เป็นมาตรฐานประมาณราคากลาง ของกรมศิลปากร ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก ได้แก่

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร

(2) ที่ระดับความสูงมากกว่า 3.00 เมตร

ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้มีค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐเจดีย์และฉาบปูนมีค่าเท่ากัน โดยการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐ(Bricklaying) (Durnin and Passmore, 1967, cited in Guthrie, 1995:203) เป็นค่าที่ใช้โดยตรง และค่าพลังงานที่ใช้ไปในการฉาบปูนจะใช้การเทียบเคียงกับค่าพลังงานที่ใช้ในการก่ออิฐ เพราะเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการก่อสร้างที่ทำต่อเนื่องกัน โดยการพิจารณาที่ระดับความสูงต่างๆดังนี้ คือ

(1) ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร

ประกอบไปด้วยค่าพลังงานที่เกิดจากแรงงานมนุษย์ในการก่ออิฐและฉาบปูน ซึ่งกำหนดให้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐและฉาบปูนของการสร้าง พระอุโบสถและวิหาร มีค่าเท่ากับการก่อสร้างเจดีย์

(2) ที่ระดับความสูงมากกว่า 3.00 เมตร

การวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการก่อสร้างที่ระดับความสูงที่มากกว่า 3.00 เมตร นี้จะคิดจากค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการก่ออิฐ พลังงานในการฉาบปูน พลังงานที่ใช้ในการสร้างหรือประกอบโครงสร้างหลังคา และค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง โดยการก่อก่ออิฐ การฉาบปูน ที่ระดับความสูงที่มากกว่า 3.00 เมตร จะมีการปรับค่าพลังงานที่ใช้ไปให้มีค่ามากกว่าที่ระดับความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร โดยการใช้ราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร ที่แสดงไว้ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก เช่นเดียวกับการก่อสร้างเจดีย์ แต่ใช้การปรับค่าจากการก่ออิฐผนังเรียบ แทนการพิจารณาถึงความหนาขององค์เจดีย์ ซึ่งแสดงไว้ในข้างต้น

ส่วนค่าพลังงานที่เกิดจากการสร้างหรือประกอบโครงสร้างหลังคา จะคิดเป็นค่าพลังงานที่ใช้ไปในการทำโครงหลังคา ซึ่งรวมทั้งการประกอบโครงสร้างไม้และการมุงหลังคาด้วยกระเบื้องประเภทต่างๆ โดยสมมติฐานว่ากิจกรรมทั้งสองใช้ค่าพลังงานไปใกล้เคียงกัน เพราะเป็นกิจกรรมที่ต้องทำต่อเนื่องกัน และใช้การเทียบเคียงกับการใช้พลังงานของช่างไม้ (Carpentry) ซึ่งใช้พลังงาน

เท่ากับ 4.0 กิโลแคลอรี่ต่อนาที หรือ 1,005 กิโลจูลต่อชั่วโมง (Durnin and Passmore, 1967, อ้างใน Guthrie, 1995:203)

การวิจัยครั้งนี้ สมมติฐานให้เวลาที่ใช้ในการทำโครงสร้างหลังคา ของคนโบราณหรือคนในอดีต กับคนในปัจจุบัน ใช้เวลาเท่ากัน และพลังงานที่ใช้ไปในการทำโครงสร้างหลังคาไม่รวมถึงการตกแต่งความสวยงาม และไม่คำนึงถึงประเภทของไม้และวัสดุมุงหลังคาที่ใช้สำหรับก่อสร้าง โดยจากสถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน ในตาราง ก.2 ในภาคผนวก ก เวลาที่ใช้ในการทำโครงหลังคาไม้ เท่ากับ 0.5 ตารางเมตร ต่อ ชั่วโมง ต่อ คน 1 คน และเวลาที่ใช้ในการมุงหลังคา คือ 1.25 ตารางเมตร ต่อ ชั่วโมง

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ไปในการทำโครงหลังคาไม้ เท่ากับ 2.00×10^3 กิโลจูลต่อตารางเมตร และพลังงานที่ใช้ไปในการมุงหลังคา เท่ากับ 8.00×10^2 กิโลจูลต่อตารางเมตร

และค่าพลังงานศักย์ที่ใช้ในการยกวัสดุขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง จะคิดจากสมการทางฟิสิกส์ คือ $W = mgh_{avg}$ โดยที่ h_{avg} คือ ค่าความสูงของการก่อสร้าง โดยการใช้ความสูงเฉลี่ย

5.6 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างอาคารไม้</u>

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ให้แนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างอาคารไม้โดยเมื่อทราบเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารไม้ทั้งหลัง และใช้การเทียบเคียงค่าพลังงานที่ใช้ไปในของช่างไม้ ก็จะสามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างอาคารไม้ได้ แต่อาจจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะของการก่อสร้างซึ่งมีรูปแบบ และความยากง่ายของการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป หรือ เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่อาจใช้ หรือการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างนั่งร้าน เพื่ออำนวยความสะดวกในการก่อสร้างในที่สูง เป็นต้น ประกอบด้วย ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้น

5.7 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างคลอง</u>

คลองซึ่งถูกก่อสร้างในอดีต เป็นคลองที่ก่อสร้างโดยการใช้แรงงานมนุษย์หรือสัตว์ในการขุดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งแนวคิดของการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขุดคลอง สามารถทำได้โดยการเทียบเคียงกับค่าพลังงานของมนุษย์ที่ใช้ไปในการขุดดินหรือขุดคูในปัจจุบัน ดังตาราง

ก.1 ซึ่งเท่ากับ 8.2 กิโลแคลอรี่ ต่อนาที หรือ2,060 กิโลจูล ต่อ ชั่วโมง ส่วนเวลาที่ใช้ไปในการขุดดินในอดีตจะใช้สถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวันที่มีในปัจจุบันเป็นตัวเทียบเคียง คือ 0.275 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง ซึ่งแสดงค่าในตาราง ก.3 ในภาคผนวก ก

ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ในการขุดคลอง เท่ากับ 7.50×10^3 กิโลจูล ต่อ ลูกบาศก์เมตร

โดยสมมติให้แรงงานและความสามารถของมนุษย์ในอดีตและปัจจุบันที่ใช้ในการขุดดิน มีความสามารถไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นเมื่อทราบขนาดของคลองโบราณ (ซึ่งหาได้จากหลักฐานที่ได้มีการจดบันทึกไว้ในพงศาวดาร หรือจดหมายเหตุ หรือข้อมูลที่ได้จากกรมศิลปากรที่ได้จากการสำรวจขุดค้นโดยตรง) จึงสามารถหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการสร้างหรือขุดคลองได้

5.8 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างถนน</u>

ถนนโบราณ เป็นถนนที่ได้จากการสร้างโดยการปรับสภาพพื้นที่ให้เรียบ หรือในบางแห่งอาจมีการก่อสร้างถนน โดยการใช้อิฐก่อซ้อนกัน ดังนั้นในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างถนน จะพิจารณารูปแบบการก่อสร้างถนนนั้นๆ แล้วจึงเลือกรูปแบบของการวัดพลังงาน ซึ่งใช้การเทียบเคียงกับกับพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐเจดีย์หรือผนังอาคารโบราณสถาน

5.9 <u>การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างป้อมปราการ</u>

ป้อมปราการ เป็นโบราณสถานที่สร้างโดยการใช้อิฐก่อ และฉาบผิวด้วยปูน ซึ่งเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกับการก่อสร้างเจดีย์ หรือการก่อสร้างผนังพระอุโบสถหรือวิหาร ดังนั้นในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง จึงมีแนวคิดในการวัดเช่นเดียวกับการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างเจดีย์ หรือการก่อสร้างผนังพระอุโบสถหรือวิหาร

5.10 บทสรุป

การหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง จะใช้สมการทางฟิสิกส์คำนวณค่า ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ในการลากหรือขนวัสดุ โดยไม่คิดค่าพลังงานที่ใช้ไปจากเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง ซึ่งค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการขนส่ง ไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล ซึ่งต้องมีการคาดคะเนถึงเส้นทางการขนส่ง วิธีการขนส่ง และสภาพภูมิประเทศบริเวณนั้น โดยการคาดคะเนของนักโบราณคดี หรือผู้เชี่ยวชาญ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งประเภทของการขนส่งออกเป็น การขนส่งทางบก และการขนส่งทางน้ำ และใช้สมการทางฟิสิกส์ คือ $W = F.S$ ซึ่งเป็นสมการทางฟิสิกส์ในการหาพลังงานในการเคลื่อนที่ โดยค่าแรงที่ใช้ไปในทำให้เกิดการเคลื่อนที่ จะพิจารณาจากรูปแบบของการขนส่งและปัจจัยที่ต้องพิจารณาร่วม ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบของการขนส่ง

โดยตัวอย่างรูปแบบของการขนส่งทางบก แสดงดังนี้

(1) การขนส่งโดยการยกหรือแบก โดยมนุษย์หรือสัตว์พาหนะ ซึ่งไม่มีการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรง
(2) การขนส่งโดยการลากสัมผัสกับพื้นผิว
(3) การขนส่งโดยการใช้พาหนะทุ่นแรง ที่มีลักษณะเป็นล้อลาก

ซึ่งในแต่ละรูปแบบหรือแต่ละวิธีการขนส่ง จะพิจารณาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการขนส่งนั้น โดยการใช้สมการฟิสิกส์คำนวณหาค่าพลังงาน ดังนี้

รูปแบบของการขนส่ง	สมการฟิสิกส์ที่ใช้
1.การยกหรือแบก	$F=mg$
2.การลากสัมผัสพื้น	$F = \mu_s mg\cos\theta$
3.การใช้พาหนะล้อลาก	$F=Na / r$

แนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง ทำได้โดยการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้างต่างๆ โดยการเทียบเคียงกับการใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมเดียวกัน ซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไว้ในปัจจุบัน และทำการปรับค่าพลังงานเหล่านี้ไปตามระดับความสูงของการก่อสร้าง โดยการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง จะคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปโดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

(1) ค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้าง ได้แก่

- พลังงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนหรือก่อหินทราย ศิลาแลง หรืออิฐ
- พลังงานที่ใช้ในการฉาบปูนผนัง
- พลังงานที่ใช้ในการสร้างหลังคาโบสถ์ วิหารหรือพระอุโบสถ ซึ่งประกอบไปด้วยพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้องและพลังงานในการประกอบโครงสร้างไม้

ซึ่งหาได้โดยเทียบเคียงกับการใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไว้ และจะทำการปรับค่าพลังงานเหล่านี้ไปตามระดับความสูงของการก่อสร้างโดยการใช้ข้อมูลของราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร

(2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูงคิดจากค่าพลังงานศักย์

โดยในการพิจารณาเลือกค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบ จะพิจารณาจากประเภทของโบราณสถาน ซึ่งโบราณสถานแต่ละประเภทมีโครงสร้าง และการใช้วัสดุ ที่แตกต่างกันไป ทำให้การหาค่าพลังงานรวมถึงการปรับค่าตามระดับความสูงของการก่อสร้างแตกต่างกันไป โดยการศึกษาวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ตามระดับความสูงของการก่อสร้างและสรุปได้ดังตารางที่ 5.2

บทที่ 6

แนวคิดในการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง

ค่าการใช้งานของโบราณสถานหรือประโยชน์ใช้สอยที่ได้จากโบราณสถานประเภทต่างๆ เป็นค่าที่ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานทั้งหมดไปในการก่อสร้าง และค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลองมีเพื่อเพิ่มความถูกต้องของค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานที่หาได้จากแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบกับหลักฐานทางประวัติศาสตร์ การเปรียบเทียบกันระหว่างโบราณสถานในแต่ละยุคหรือแต่ละประเภทและการเปรียบเทียบกับอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน รวมถึงการนำไปใช้ในการประมาณค่าอื่นๆ

6.1 แนวคิดในการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน

ค่าการใช้งานของโบราณสถาน เป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะของการใช้ประโยชน์ของโบราณสถานนั้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงสิ่งที่ได้รับจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง โดยพิจารณาได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับประเภทของโบราณสถาน การใช้งานในอดีต จุดมุ่งหมายของการสร้าง หรืออาจใช้ค่าอื่นๆมาใช้เปรียบเทียบ โดยแต่ละค่าอาจมีวิธีการวัดค่า ที่ยากง่ายแตกต่างกันไป การศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดวิธีการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณสถาน โดยพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้

(2) การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ คือ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักรูปแบบต่างๆ

(1) การพิจารณาถึงประโยชน์ใช้สอยของโบราณสถานนั้น เป็นค่าการใช้งานของโบราณสถานที่วัดได้โดยตรง โดยพิจารณาถึงลักษณะและประเภทของโบราณสถานนั้น รวมทั้งการศึกษาถึงประวัติศาสตร์ ที่มีการจดบันทึกไว้ถึงการใช้งานของโบราณสถานนั้น ในอดีต โดยการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าการใช้งานของโบราณสถานตามลักษณะของประโยชน์ใช้สอย คือ พื้นที่ใช้สอย ที่มีหน่วยเป็น ตารางเมตร หรือค่าความสามารถในการใช้พื้นที่ของโบราณสถานนั้นได้

ซึ่งหาได้จากแบบแปลนสันนิษฐานของโบราณสถานนั้น ประกอบการคาดการณ์ของการใช้พื้นที่โบราณสถาน โดยอาจปรึกษากับนักโบราณคดีหรือนักประวัติศาสตร์ หรือผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

โบราณสถานแต่ละประเภทจะมีค่าการใช้งานตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้ต่างกันไป เช่น ปราสาทหิน เจดีย์ โบสถ์ วิหารหรือพระอุโบสถ ส่วนใหญ่จะใช้งานไปในรูปของการใช้เป็นสถานที่ทางศาสนาในการประกอบกิจกรรมต่างๆทางศาสนา ดังนั้นค่าการใช้งานตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้จึงพิจารณาในรูปของพื้นที่ใช้งานหรือพื้นที่ในการรองรับผู้คนที่เข้ามายังโบราณสถานนั้นๆ

ส่วนโบราณสถานประเภทถนน การใช้งานอาจอยู่ในรูปของพื้นที่ที่ใช้ในการสัญจรได้ และคลองมีการใช้งานในรูปของความจุหรือปริมาณน้ำกักเก็บที่ได้ เป็นต้น

(2) การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เป็นค่าการใช้งานของโบราณสถานที่วัดโดยทางอ้อม เพื่อใช้เป็นค่าทดแทนจากการวัดค่าการใช้ประโยชน์ของโบราณสถานโดยตรง ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่าประโยชน์การใช้งานได้ หรือในกรณีที่ต้องการใช้เปรียบเทียบถึงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งมีค่าที่แปรผันไปตามประเภทของโบราณสถาน โดยพิจารณาลักษณะการวิบัติที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้โบราณสถานนั้นๆ เพราะโบราณแต่ละประเภทมีลักษณะหรือสาเหตุของการวิบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ จึงต้องมีความสอดคล้องกับประเภทของโบราณสถาน ซึ่งการศึกษาวิจัยนี้กำหนดค่าความสามารถในการรับน้ำหนักรูปแบบต่างๆ ได้แก่

ก. ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก

จะใช้กับโบราณสถานประเภทปราสาทหิน ซึ่งมีสาเหตุหลักของการวิบัติอยู่ที่กำลังรับน้ำหนักของดินฐานราก ทำให้โครงสร้างปราสาทเกิดการทรุดตัว และเกิดรอยแยกตามผนังและทำให้ชิ้นส่วนประดับหลังคาร่วงหล่นลงมาทั้งหมด

ข. ความสามารถในการรับแรงดึงของอิฐก่อเป็นโครงสร้างต่างๆ

จะใช้กับโบราณสถานประเภทโบสถ์ วิหาร หรือพระอุโบสถ องค์เจดีย์และ

ป้อมปราการ ซึ่งมีโครงสร้างโดยการใช้อิฐก่อ ซึ่งลักษณะการวิบัติที่พบมากที่สุดของโบสถ์ วิหาร หรือพระอุโบสถ คือ โบสถ์ วิหาร หรือพระอุโบสถ จะเกิดการวิบัติโดยเกิดการแยกตัวบริเวณรอยต่อของกำแพง ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของกำแพงทั้งหมด และทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักโครงสร้างหลังคาและเครื่องมุงได้

และลักษณะการวิบัติที่พบมากที่สุดขององค์เจดีย์ คือ เกิดการแตกร้าวขึ้นที่ผิวขององค์เจดีย์ ซึ่งถ้าเพิ่มมากขึ้นและขยายออกไป จะทำให้เกิดปัญหาต่อองค์เจดีย์ได้

โดยค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากในปัจจุบัน หรือความสามารถในการรับแรงดึงของอิฐก่อเป็นโครงสร้างต่างๆ ของโบราณสถานที่พิจารณา สามารถหาได้จากข้อมูลของการบูรณะโบราณสถานนั้น ซึ่งมีการเจาะสำรวจชั้นดิน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากที่มีในปัจจุบัน หรือการวิเคราะห์ทางโครงสร้างของโบราณสถานนั้นๆ โดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ซึ่งทำให้ทราบถึงความสามารถในการรับแรงดึงของอิฐก่อเป็นเป็นโครงสร้างต่างๆ เช่น ความสามารถในการรับแรงดึงของอิฐผนังโบสถ์ วิหาร หรือพระอุโบสถ และองค์เจดีย์ เป็นต้น

6.2 <u>แนวคิดของการหาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง</u>

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถานมีความสำคัญต่อแบบจำลองอย่างมาก คือ เพื่อเพิ่มความถูกต้องของค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานที่หาได้จากแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบกับหลักฐานทางประวัติศาสตร์ การเปรียบเทียบกันระหว่างโบราณสถานในแต่ละยุคหรือแต่ละประเภทและการเปรียบเทียบกับอาคารที่ก่อสร้างในปัจจุบัน รวมถึงการนำไปใช้ในการประมาณค่าอื่นๆ เพราะโดยลำพังการใช้ค่าพลังงานการก่อสร้างและค่าการใช้งานของโบราณสถานมาใช้ในการวัดหาค่าประสิทธิภาพของการก่อสร้างโบราณสถานนั้น ไม่สะท้อนถึงค่าที่แท้จริง และไม่สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้ เพราะค่าพลังงานของการก่อสร้าง ไม่ได้รวมถึงพลังงานที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลายความสวยงาม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของโบราณสถาน พลังงานที่ใช้ไปในการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง เช่น พลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นในการบากหินเพื่อใช้เป็นสลัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือในการก่อสร้างที่ใช้วัสดุก่อสร้างที่ต่างกัน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน และแสดงแนวคิดในการหาค่าปัจจัยเหล่านี้ เพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าจากแบบจำลองได้

6.2.1 ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง

ในการหาค่าปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง เพื่อนำไปปรับค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน ที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้เสนอแนะวิธีที่สามารถทำได้ โดยการสอบถามความคิดเห็นจากผู้ที่มีความรู้ ผู้เชี่ยวชาญ หรือนักโบราณคดี นักประวัติศาสตร์ เพื่อให้ค่า โดยให้เป็นค่าเป็นตัวเลขจำนวนเท่า (อาจเป็นเลขทศนิยมได้) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าคำนึงปัจจัยในส่วนนี้แล้ว จะต้องเพิ่มค่าประสิทธิภาพที่วิเคราะห์ได้ โดยเทคนิควิธีที่เหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้างนี้ คือ เทคนิคเดลฟาย ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ในการหาฉันทามติหรือความคิดเห็นที่สอดคล้องต้องกันในเรื่องใดเรื่องหนึ่งของผู้เชี่ยวชาญโดยอาศัยหลักการการไม่เผชิญหน้าระหว่างผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เพื่อเป็นการขจัดอิทธิพลหรือผลกระทบที่อาจเกิดจากกลุ่มหรืออิทธิพลจากลักษณะเด่นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งอาจส่งผลต่อความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญท่านอื่น (Spitzer,1975; Cocharn,1983;Murry and Hammons,1995 อ้างถึงใน สุวลี ทวีบุตร, 2540) เช่น ถ้าค่าที่ได้จากการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มคนเหล่านี้ ได้ค่าตัวแทน เป็น 1.4 แสดงให้เห็นว่าควรมีการพิจารณาเพิ่มค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถานที่วิเคราะห์ อีก 40 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง

ซึ่งในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละแห่ง จึงควรมีการหาค่าปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง โดยการสอบถามความคิดเห็นจากผู้ที่มีความรู้ ผู้เชี่ยวชาญ หรือนักโบราณคดี นักประวัติศาสตร์ โดยการใช้เทคนิคเดลฟาย มาช่วยในการวิเคราะห์ทุกครั้ง เพื่อความถูกต้องที่มากขึ้น เพราะโบราณสถานแต่ละประเภทและแต่ละแห่งจะมีเทคนิควิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป แต่อาจมีความคล้ายคลึงกันได้ สำหรับโบราณสถานที่อยู่ในยุคสมัยเดียวกัน

6.2.2 ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง

การหาค่าปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้างทำได้โดย การวิเคราะห์ถึงสภาพความคงทนแข็งแรงของรูปแบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ ซึ่งเป็นผลมาจากอายุการใช้งาน ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรง หรือการใช้เอกสารอ้างอิงยืนยัน และสรุปแสดงเป็นค่าที่เปรียบเทียบได้ถึงความคงทนของโครงสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท รวมทั้งการสอบถามความคิดเห็นหรือการระบุค่าเหล่านี้จากผู้เชี่ยวชาญ หรือโดยการใช้เทคนิคเดลฟาย เพื่อสามารถใช้ในการเปรียบเทียบได้ต่อไป

6.2.3 ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

ในการหาค่าปัจจัยเนื่องจากความความสวยงาม เพื่อนำไปปรับค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน ที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้เสนอแนะวิธีที่สามารถทำได้ โดยการพิจารณาถึงลักษณะงานที่ต้องทำในการตกแต่งลวดลายความสวยงามของโบราณสถานที่วิเคราะห์ และวิเคราะห์หาเนื้องานที่ต้องทำในการตกแต่งลวดลายความสวยงาม และทำการจดบันทึกถึงเวลาที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลาย เช่น การทำปูนปั้น การแกะสลัก และอื่นๆ ที่มีในการตกแต่งเพื่อความสวยงาม ของโบราณสถานนั้นๆ ซึ่งในแต่ละประเภทของโบราณสถาน และในแต่ยุคสมัยของโบราณสถานที่สร้าง จะมีการตกแต่งในส่วนนี้ที่แตกต่างกันออกไป โดยในการจดบันทึกเวลาที่ใช้ จะจดบันทึกเทียบเคียงจากช่างฝีมือหรือคนในปัจจุบัน ซึ่งมีสมมติฐานว่า มีความสามารถในการทำ ไม่แตกต่างไปจากคนในอดีต เพราะเป็นสิ่งที่สืบทอดต่อกันมา

ซึ่งเมื่อทราบถึงเวลาที่ใช้ในการตกแต่งลวดลายความสวยงาม ลักษณะของงานที่ทำแล้ว และปริมาณงานที่ต้องทำแล้ว จะนำไปเทียบเคียงกับเวลาที่ใช้ไปในการก่อสร้างก่อนการตกแต่งลวดลาย ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าสัดส่วน เช่น ได้ค่าเท่ากับ 1.8 แสดงว่า ต้องมีการพิจารณาเพิ่มพลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ อีก 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังงานที่ใช้ไป ที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง

โดยในแต่ละประเภทของโบราณสถาน จะมีการตกแต่งลวดลายที่แตกต่างกันไป ดังนั้น ในการจดบันทึกเวลาที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลาย จึงต้องพิจารณาถึงโบราณสถานที่จะวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่นำไปปรับค่า เพื่อความถูกต้องได้ต่อไป

6.3 <u>บทสรุป</u>

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดวิธีการพิจารณาหาค่าการใช้งานของโบราณ 2 แบบ คือ

(1) การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้ โดยกำหนดเป็นค่าพื้นที่ใช้สอย มีหน่วยเป็นตารางเมตร หาได้จากแบบแปลนสันนิษฐานของโบราณสถานนั้น ประกอบการประมาณการใช้พื้นที่โบราณสถาน จากนักโบราณคดีหรือผู้เชี่ยวชาญ

(2) การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยแปรผันไปตามประเภทของโบราณสถาน โดยพิจารณาลักษณะการวิบัติที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้โบราณสถานนั้นๆ ได้แก่ ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก ใช้กับโบราณสถานประเภทปราสาทหิน ซึ่งหาได้จากข้อมูลของการบูรณะโบราณสถานนั้น ซึ่งมีการเจาะสำรวจชั้นดินไว้ และความสามารถในการรับแรงดึงของอิฐก่อเป็นโครงสร้างต่างๆ จะใช้กับโบสถ์ วิหาร หรือพระอุโบสถ องค์เจดีย์และป้อมปราการ หาได้จากการวิเคราะห์ทางโครงสร้างของโบราณสถานนั้นๆ โดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานไว้ 3 ปัจจัย ซึ่งได้มาจากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกร นักโบราณคดี และผู้รับเหมา ที่ทำงานบูรณะซ่อมแซมโบราณสถาน และหาแนวคิดในการหาค่าปัจจัยเหล่านั้นเพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าจากแบบจำลอง ซึ่งมีแนวคิดในการหาค่าที่แตกต่างกันไป ดังนี้

1) ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง หาได้โดยการใช้เทคนิคเดลฟาย ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้างได้

2) ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง หาได้โดยการวัดทดสอบค่าความเสื่อมสภาพ หรือความคงทนของโครงสร้างโดยตรง ในแต่ละโบราณสถานที่วิเคราะห์ หรือการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้ค่าและข้อสรุป หรือการใช้เทคนิคเดลฟาย

3) ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ หาได้โดยการพิจารณาถึงลักษณะงานที่ต้องทำในการตกแต่งลวดลายความสวยงามของโบราณสถานที่วิเคราะห์ และทำการจดบันทึกถึงเวลาที่ใช้ และแปลงค่าเป็นค่าพลังงานที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลาย โดยการเทียบเคียงกับกิจกรรมอื่นๆ

บทที่ 7

ตัวอย่างการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ถูกใช้ไป และประสิทธิภาพที่ได้ในการก่อสร้าง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์โบราณสถาน 3 ประเภท คือ ปราสาทหิน ศิลาแลง เจดีย์ และพระอุโบสถ ซึ่งทำการคัดเลือกโบราณสถานในสมัยต่างๆ ที่รู้จักกันโดยทั่วไป และมีข้อมูลพอเพียงต่อการวิเคราะห์ โดยการใช้แบบจำลองวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน 3 ตัวอย่าง ได้แก่

1) กุฏิฤาษีหนองบัวลาย จังหวัดบุรีรัมย์
2) เจดีย์ภูเขาทอง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และ
3) พระอุโบสถ วัดกุฎีดาว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

7.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างปราสาทหิน

กุฏิฤาษีหนองบัวลาย

สรุปผลการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย

รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงาน	หน่วย
พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ	5.20×10^{6}	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ	1.47×10^{7}	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง	2.10×10^{6}	กิโลจูล
รวม ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	2.20×10^{7}	กิโลจูล
พื้นที่ใช้งาน	5.46	ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง	4.00×10^{6}	กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร
(พิจารณาพื้นที่ใช้งาน)		
ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน	2.40×10^{4}	กิโลกรัม/ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง	9.20×10^{2}	กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)
(พิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนัก)		

7.1.1 การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง

1) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ ศิลาแลง ซึ่งจากแบบแปลนซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถวิเคราะห์และประมาณจำนวนศิลาแลง รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ ได้ดังตารางที่ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.2 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย

ปริมาณศิลาแลงที่ใช้ (ลูกบาศก์เมตร)	ขนาดศิลาแลง 1 ก้อน (ลูกบาศก์เมตร) (0.5 x 0.3 x 0.4 เมตร)	จำนวนศิลาแลง (ก้อน)	พลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพศิลาแลง 1 ก้อน (กิโลจูล)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล)
252	0.06	4,200	1.23×10^3	5.20×10^6

2) พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ

จากการสัมภาษณ์นักโบราณคดี(ทนงศักดิ์, 2544) มีการคาดคะเนว่าการขนส่งวัสดุ คือ ศิลาแลง เพื่อใช้ในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลายแห่งนี้ ใช้เส้นทางขนส่งทางบกและขนส่งโดยการลากจูงมาตามพื้นราบโดยแรงงานคนหรือสัตว์ เพราะพื้นที่แถวนั้นเป็นที่ราบ ไม่มีลำน้ำที่จะใช้เป็นเส้นทางขนส่งวัสดุได้

และในบริเวณนั้น มีปราสาทโคกเมืองที่อยู่ใกล้กับกุฏิฤาษีหนองบัวลาย (ประมาณ 4 กิโลเมตร) ซึ่งมีรูปแบบการก่อสร้าง และก่อสร้างในสมัยเดียวกัน รวมทั้งมีการใช้วัสดุก่อสร้างที่คล้ายคลึงกันกับกุฏิฤาษีหนองบัวลาย และอีกเหตุผลหนึ่งของการประมาณระยะทางการขนส่ง ว่าไม่น่าจะนำมาไกลจากสถานที่ก่อสร้างมากนัก เพราะ ในสมัยนั้น การก่อสร้างอโรคยาศาล ซึ่งเป็นอาคารที่มีขนาดไม่ใหญ่โต เกิดจากการที่กษัตริย์ในสมัยนั้นสั่งให้ตัวแทนไปทำ ซึ่งตัวแทนที่ไปทำนั้น ไม่มีอำนาจมากนัก ในการสั่งการให้ไปนำวัสดุจากที่ห่างไกลได้ จึงไม่สามารถนำวัสดุมาจากสถานที่ไกลๆ หรือแหล่งวัสดุแหล่งอื่นได้ จึงต้องใช้วัสดุที่หาได้ในบริเวณนั้น ซึ่งก็คือศิลาแลง

ดังนั้นจึงสามารถคาดคะเนถึงระยะทางการขนส่งได้ว่า มีระยะทางไม่เกิน 4 กิโลเมตร และขนส่งมาทางบก โดยการวางศิลาแลงบนแคร่ไม้และลากมาโดยแรงงานคนหรือสัตว์(วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 5.1.1 การขนส่งโดยการลากสัมผัสกับพื้นผิว) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย

รูปแบบของการขนส่ง	สมการฟิสิกส์ที่ใช้	μ_s	m (กิโลกรัม)	$\cos\theta$	S (เมตร)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล)
การลากสัมผัสกับพื้น	$W = \mu_s mg\cos\theta \times S$	0.6	6.26×10^5	1	4,000	1.47×10^7

3) พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

แสดงการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 7.4

ดังนั้น ค่าพลังงานรวมที่ใช้ไปในการก่อสร้าง คือ พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง เท่ากับ $(5.20 \times 10^6) + (1.47 \times 10^7) + (2.10 \times 10^6) = 2.20 \times 10^7$ กิโลจูล

7.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง

1) การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้

ค่าที่ใช้แทนประโยชน์ใช้สอยของโบราณสถาน ปราสาทหินกุฏิฤาษีหนองบัวลาย คือ ค่าความสามารถในการใช้พื้นที่ของโบราณสถาน เพราะกุฏิฤาษีหนองบัวลายเป็นอาคารที่สร้างเพื่อใช้เป็นศาสนสถานในโรงพยาบาล จากการวิเคราะห์แบบแปลนที่แสดงในภาคผนวก ข กุฏิฤาษีหนองบัวลาย ประกอบกับการสัมภาษณ์นักโบราณคดี ทำให้สรุปได้ว่า มีพื้นที่ที่ใช้งานได้ คือ 5.46 ตารางเมตร

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ $(2.20 \times 10^7) / 5.46 = 4.00 \times 10^6$ กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร

ซึ่งหมายความว่า เมื่อพิจารณาทางด้านประโยชน์การใช้สอยที่ได้รับจากการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย คือ การใช้พลังงานไปในก่อสร้างทั้งสิ้น 2.20×10^7 กิโลจูล ทำให้ได้พื้นที่ที่สามารถนำไปใช้งานในการประกอบพิธีทางศาสนา เท่ากับ 5.46 ตารางเมตร หรือ การใช้พลังงานไป 4.00×10^6 กิโลจูล ในการได้มาซึ่งพื้นที่ใช้งาน 1 ตารางเมตร

2. การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์

ค่าที่ใช้แทนค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์และทดสอบดินฐานรากในรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน ของสำนักงานโยธาธิการ จังหวัดบุรีรัมย์ (2543) ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินไม่น้อยกว่า 24 ตัน/ตารางเมตร (2.40×10^4 กิโลกรัม/ตารางเมตร)

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ $(2.20 \times 10^7) / (2.40 \times 10^4) = 9.20 \times 10^2$ กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)

ซึ่งหมายความว่า เมื่อพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ในด้านของความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ได้รับจากการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลาย คือ การใช้พลังงานไปในก่อสร้างทั้งสิ้น 2.20×10^7กิโลจูล ทำให้กุฏิฤาษีหนองบัวลายแห่งนี้มีความสามารถในการรับน้ำหนัก เท่ากับ 2.40×10^4 กิโลกรัม / ตารางเมตรหรือการใช้พลังงานไป 9.20×10^2 กิโลจูล ในการได้มาซึ่งกำลังรับน้ำหนักของดิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง 1 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้ทั้งในด้านของประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับ และในด้านความแข็งแรงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นี้ ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ต้องใช้ไปจริง เช่น ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง และปัจจัยเนื่องจากความสวยงาม ซึ่งทำให้พลังงานที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น

และในการนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างกุฏิฤาษีหนองบัวลายนี้ ไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการก่อสร้างกับโบราณสถานประเภทอื่น ต้องคิดถึงค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ได้รับที่นอกเหนือไปจากการใช้พลังงานไป ซึ่งคือ ปัจจัยเนื่องจากความรู้สึกที่มองเห็น และปัจจัยเนื่องจากความสำคัญของการมีโบราณสถานนั้นด้วย

ตารางที่ 7.4 แสดงคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างกุฏิฤาษี หนองบัวลาย

ตำแหน่ง	ชั้นที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก [1] (กิโลกรัม)	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ส่วนฐาน	1	0.4	11.494	28,574	แบบ (1)	62,985.453	0.10	28.031	63,013.484
	2	1.6	37.685	93,685	แบบ (1)	206,508.336	0.60	551.430	207,059.766
		0.9	21.198	52,698	แบบ (2)	154,882.615	1.23	635.870	155,518.485
	3	0.7	12.436	30,916	แบบ (2)	90,863.298	1.63	494.356	91,357.654
ส่วนกลาง	1	2.4	33.638	83,624	แบบ (2)	245,775.139	2.40	1,968.843	247,743.982
	2	7.3	102.314	254,353	แบบ (3)	934,443.175	4.83	12,051.830	946,495.005
ส่วนบน	1	3.0	24.281	60,363	แบบ (3)	221,760.607	7.40	4,381.992	226,142.599
	2	2.5	17.623	43,811	แบบ (3)	160,952.480	8.78	3,773.520	164,726.000
	3	2.0	10.671	26,528	แบบ (3)	97,459.225	9.90	2,576.373	100,035.598
	4	1.5	6.300	15,662	แบบ (3)	57,538.480	10.78	1,656.285	59,194.765
ส่วนยอด	1	3.3	9.953	24,743	แบบ (3)	90,901.665	11.98	2,907.891	93,809.556

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่ง	ชั้นที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก [1] (กิโลกรัม)	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ช่องว่างที่ 1	1	2.0	1.875	4,661	แบบ (2)	-13,699.637	2.20	-100.594	-13,800.231
	2	4.0	3.750	9,323	แบบ (3)	-34,249.095	3.70	-338.397	-34,587.492
	3	2.0	1.875	4,661	แบบ (3)	-17,124.548	5.20	-237.767	-17,362.315
ช่องว่างที่ 2	1	2.0	1.541	3,831	แบบ (3)	-14,074.095	5.70	-214.218	-14,288.313
	2	4.0	3.082	7,662	แบบ (3)	-28,148.190	13.73	-1,032.005	-29,180.195
ช่องว่างที่ 3	1	2.0	4.623	11,493	แบบ (2)	-33,777.825	2.20	-248.042	-34,025.867
	2	4.0	9.245	22,983	แบบ (3)	-84,435.436	3.70	-834.214	-85,269.650
	3	1.0	2.311	5,745	แบบ (3)	-21,106.576	4.95	-278.974	-21,385.550
ช่องว่างที่ 4	1	2.0	1.075	2,672	แบบ (2)	-7,854.458	2.20	-57.667	-7,912.125
	2	4.0	2.150	5,345	แบบ (3)	-19,636.148	3.70	-194.007	-19,830.155
	3	1.0	0.538	1,337	แบบ (3)	-4,913.603	4.95	-64.924	-4,978.572
ช่องว่างที่ 5	1	2.0	0.375	932	แบบ (2)	-2,739.927	2.45	-22.400	-2,762.327
	2	1.3	0.244	607	แบบ (2)	-1,782.780	3.28	-19.531	-1,802.311
								รวม	2.10×10^6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] น้ำหนัก = ปริมาตร x ความถ่วงจำเพาะหินศิลาแลง

(ความถ่วงจำเพาะหินศิลาแลง = 2.486 (สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9, ผลการทดสอบตัวอย่างหินศิลาแลง, หินทรายขาว, หินทรายแดง โครงการออกแบบบูรณะโบราณสถานโคปุระด้านทิศเหนือกำแพงชั้นนอก, 2541))

[2] วิธีวัดพลังงาน ดังแสดงในหัวข้อ 5.3

[3] ปรับค่าพลังงานมนุษย์ ตามระดับความสูงที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 5.3

แบบ (1) ความสูงน้อยกว่า 2.00 เมตร ใช้พลังงาน = 5.50×10^3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (2) ความสูงระหว่าง 2.00-6.00 เมตร ใช้พลังงาน = 7.30×10^3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (3) ความสูงมากกว่า 6.00 เมตร ใช้พลังงาน = 9.10×10^3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[4] พลังงานในการยก (จูล) = น้ำหนัก x 9.81 x ความสูงเฉลี่ย

7.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างเจดีย์

เจดีย์ภูเขาทอง

สรุปผลการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง

รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงาน	หน่วย
พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ	4.73×10^9	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ	ไม่มี	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง	6.47×10^8	กิโลจูล
รวม ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	5.37×10^9	กิโลจูล
พื้นที่ใช้งาน	ไม่มี	ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (พิจารณาพื้นที่ใช้งาน)	-	กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร
ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน	3.79×10^4	กิโลกรัม/ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (พิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนัก)	1.41×10^5	กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)

โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

7.2.1 การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง

1) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ อิฐ และปูนฉาบ ซึ่งจากแบบแปลนซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถวิเคราะห์และประมาณจำนวนอิฐและปูนฉาบที่ใช้ไปทั้งหมดในการก่อสร้างได้ดังตารางที่ 7.6 ดังนี้

ตารางที่ 7.6 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง

ปริมาณวัสดุที่ใช้ (ลูกบาศก์เมตร)		ขนาดอิฐ 1 ก้อน (ลูกบาศก์เมตร) (0.15x0.3x 0.05 เมตร)	จำนวนอิฐ (ก้อน)	พลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุ (กิโลจูล)		พลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อก่อสร้าง (กิโลจูล)		พลังงานที่ใช้รวม
อิฐ	ปูนฉาบ			อิฐ (ต่อ 1ก้อน)	ปูนฉาบ (ต่อ 1 ลบ.ม.)	อิฐ	ปูนฉาบ	
50,900	137	0.00225	22,622,000	2.08×10^{2}	1.14×10^{5}	4.71×10^{9}	1.56×10^{7}	4.73×10^{9}

2) พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ

จากการสัมภาษณ์นักโบราณคดี ทำให้สามารถอนุมานว่าในการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง ซึ่งมีขนาดใหญ่มาก และต้องใช้วัสดุก่อสร้างจำนวนมาก น่ามีจะผลิตอิฐ และเตรียมปูนที่ใช้ในการก่อสร้าง ณ สถานที่ก่อสร้าง ซึ่งไม่ต้องมีการขนส่งวัสดุ เพราะในสมัยอยุธยาแหล่งผลิตอิฐ อยู่ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง และการผลิตอิฐ ทำได้อย่างกว้างขวางทั่วบริเวณเมืองพระนครศรีอยุธยา จึงไม่จำเป็นต้องใช้อิฐจากสถานที่อื่น ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ดังนั้น จึงไม่คิดค่าพลังงานอันเนื่องมาจากการขนส่งวัสดุก่อสร้าง

3) พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

แสดงการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 7.7 และตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.7 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง (การก่ออิฐ)

ตำแหน่ง	ชั้นที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตรอิฐ (ลบ.ม.)	น้ำหนักอิฐ x10^3(กิโลกรัม) [1]	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ฐานเจดีย์	1	2.5	13,621.900	21,795.040	แบบ (1)	154,772,027.800	1.25	267,261.678	155,039,289.500
	2	1.1	4,414.031	7,062.450	แบบ (2)	57,316,823.740	3.05	211,312.035	57,528,135.780
	3	6.8	19,300.168	30,880.269	แบบ (2)	250,615,441.400	7.00	2,120,548.072	252,735,989.500
	4	7.0	10,548.510	16,877.616	แบบ (2)	136,973,910.800	13.90	2,301,414.840	139,275,325.600
ฐานองค์เจดีย์ทรงแปดเหลี่ยม	5	0.6	293.614	469.782	แบบ (2)	3,812,619.777	17.70	81,571.537	3,894,191.314
		8.4	2,928.475	4,685.560	แบบ (2)	38,026,666.650	22.20	1,020,430.628	39,047,097.280
องค์เจดีย์	6	8.6	1,274.864	2,039.782	แบบ (2)	16,554,291.350	30.70	614,315.026	17,168,606.380
	7	7.6	329.734	527.574	แบบ (2)	4,281,760.008	38.80	200,809.436	4,482,569.444
	8	21.4	182.414	291.862	แบบ (2)	2,368,671.875	53.30	152,606.759	2,521,278.634
ช่องว่าง	-	19.0	1,989.675	3,183.480	แบบ (2)	- 25,836,214.400	23.73	- 741,086.448	-26,577,300.850
รวม									6.45×10^8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] น้ำหนัก = ปริมาตร x หน่วยน้ำหนักของอิฐ

(หน่วยน้ำหนักของอิฐ = 1.6×10^3 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร (สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3, ผลการทดสอบตัวอย่างอิฐ วัดกุฎีดาว, 2543))

[2] วิธีวัดพลังงาน ดังแสดงในหัวข้อ 5.4

ในการวัดพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการก่ออิฐเจดีย์ภูเขาทอง จะไม่พิจารณาเช่นเดียวกับการก่ออิฐองค์เจดีย์ตามความหนาและความสูงของการก่อ เพราะเจดีย์ภูเขาทองมีความหนาของอิฐที่ก่อมากกว่า ความหนามากที่สุดที่กำหนดในมาตรฐานประมาณราคากลาง กรมศิลปากร ดังนั้น จึงคิดพลังงานตามปริมาตรของอิฐก่อ ซึ่งจากหัวข้อ 5.4 พลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐ คือ 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[3] จากมาตรฐานประมาณราคากลาง กรมศิลปากร กำหนดให้มีการเพิ่มค่าแรงในการก่ออิฐที่ระดับความสูงที่มากขึ้นของการก่ออิฐผนังเรียบสูง คือ

แบบ (1) ความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 700 บาท

ใช้พลังงาน = 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (2) ความสูงเกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 800 บาท

ใช้พลังงาน = $1.14 \times 10^4 \times (800 / 700) = 1.30 \times 10^4$ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[4] พลังงานในการยก (จูล) = น้ำหนัก x 9.81 x ความสูงเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.8 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง (การฉาบปูน)

ตำแหน่ง	ชั้นที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตรปูน (ลบ.ม.)	น้ำหนัก $x10^3$(กิโลกรัม) [1]	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ฐานเจดีย์	1	2.5	18.278	35.167	แบบ (1)	207,674.636	1.25	431.235	208,105.871
	2	1.1	8.050	15.488	แบบ (2)	102,897.113	3.05	463.409	103,360.522
	3	6.8	37.296	71.758	แบบ (2)	476,726.796	7.00	4,927.622	481,654.418
	4	7.0	34.637	66.642	แบบ (2)	442,738.793	13.90	9,087.236	451,826.029
ฐานองค์เจดีย์ทรงแปดเหลี่ยม	5	0.6	0.96	1.847	แบบ (2)	12,270.960	17.70	320.707	12,591.667
		8.4	12.8	24.627	แบบ (2)	163,612.800	22.20	5,363.317	168,976.117
องค์เจดีย์	6	8.6	12.053	23.190	แบบ (2)	154,064.459	30.70	6,984.063	161,048.522
	7	7.6	5.79	11.140	แบบ (2)	74,009.228	38.80	4,240.196	78,249.424
	8	21.4	7.17	13.795	แบบ (2)	91,648.733	53.30	7,213.033	98,861.766
								รวม	1.76×10^6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] น้ำหนัก = ปริมาตร x หน่วยน้ำหนักของปูนฉาบ (หน่วยน้ำหนักของปูนฉาบ = 1.924×10^3 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร (สุดชาย, 2543))

[2] วิธีวัดพลังงาน ดังแสดงในหัวข้อ 5.4

[3] ปรับค่าพลังงานมนุษย์ ตามระดับความสูงที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 5.4

แบบ (1) ความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร ใช้พลังงาน = 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (2) ความสูงมากกว่า 3.00 เมตร (ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 1-2 เซนติเมตร)

ความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 160 บาท

ความสูงเกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 180 บาท

ใช้พลังงาน = $1.14 \times 10^4 \times (180 / 160)$

= 1.28×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[4] พลังงานในการยก (จูล) = น้ำหนัก x 9.81 x ความสูงเฉลี่ย

พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างทั้งหมด เท่ากับ $(6.45 \times 10^8) + (1.76 \times 10^6) = 6.47 \times 10^8$ กิโลจูล

ดังนั้น ค่าพลังงานรวมที่ใช้ไปในการก่อสร้าง คือ พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

คือ $(4.73 \times 10^9) + (6.47 \times 10^8) = 5.37 \times 10^9$ กิโลจูล

7.2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง

1) การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้

เจดีย์ภูเขาทอง เป็นโบราณสถานที่สร้างเพื่อเป็นอนุสรณ์สถาน โดยสมเด็จพระนเรศวรมหาราชโปรดเกล้าฯ ให้สร้างขึ้น หลังจากการประกาศอิสรภาพ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ไม่ได้สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ใช้สอย ดังนั้นการใช้ค่าประโยชน์ของการใช้งาน เพื่อหาประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง จึงไม่อาจสะท้อนค่าได้

2) การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์

ค่าที่ใช้แทนค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง คือ ค่าสูงสุดของความ

สามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับน้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ (วรศักดิ์, นภดล, ชาญพจน์, พฤทธิพงศ์ อ้างถึงในโยธาสาร, ธันวาคม 2540: 119-125) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.79 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (3.79×10^4 กิโลกรัม/ตารางเมตร)

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ $(5.37 \times 10^9) / (3.79 \times 10^4) = 1.41 \times 10^5$ กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)

ซึ่งหมายความว่า เมื่อพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ในด้านของความสามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับน้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ ที่ได้รับจากการก่อสร้าง ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง คือ การใช้พลังงานไปในก่อสร้างทั้งสิ้น 5.37×10^9 กิโลจูล ทำให้เจดีย์ภูเขาทองแห่งนี้มีความสามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับน้ำหนักขององค์เจดีย์เท่ากับ 3.79×10^4 กิโลกรัม / ตารางเมตรหรือ การใช้พลังงานไป 1.41×10^5 กิโลจูล ในการได้มาซึ่งความแข็งแรงของโครงสร้างในด้านของความสามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับ น้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ 1 กิโลกรัม / ตารางเมตร

โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้ในด้านความแข็งแรงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นี้ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ต้องใช้ไปจริง เช่น ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง และปัจจัยเนื่องจากความสวยงาม ซึ่งทำให้พลังงานที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น

และในการนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทองแห่งนี้ ไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการก่อสร้างกับโบราณสถานอื่นๆ ต้องมีการคิดถึงค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ได้รับที่นอกเหนือไปจากการใช้พลังงานไป ซึ่งคือ ปัจจัยเนื่องจากความรู้สึกที่มองเห็น และปัจจัยเนื่องจากความสำคัญของการมีโบราณสถานนั้นด้วย

7.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างพระอุโบสถ

พระอุโบสถ วัดกุฎีดาว

สรุปผลการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7.9 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว

รูปแบบพลังงาน	ค่าพลังงาน	หน่วย
พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ	1.19×10^{8}	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ	ไม่มี	กิโลจูล
พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง	1.81×10^{7}	กิโลจูล
รวม ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	1.37×10^{8}	กิโลจูล
พื้นที่ใช้งาน	272	ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (พิจารณาพื้นที่ใช้งาน)	5.04×10^{5}	กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร
ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน	2.10×10^{4}	กิโลกรัม/ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (พิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนัก)	6.53×10^{3}	กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)

โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

7.3.1 การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง

1) พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ อิฐ และปูนฉาบ รวมถึงโครงสร้างหลังคา ซึ่งจากแบบแปลนที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถวิเคราะห์และประมาณจำนวนอิฐและปูนฉาบที่ใช้ไปทั้งหมดในการก่อสร้างแสดงดังตารางที่ 7.10 ดังนี้

ตารางที่ 7.10 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว

ปริมาณวัสดุที่ใช้ (ลูกบาศก์เมตร)		ขนาดอิฐ 1 ก้อน (ลูกบาศก์เมตร) (0.15x0.3 x0.05 เมตร)	จำนวนอิฐ (ก้อน)	พลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุ (กิโลจูล)		พลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพวัสดุเพื่อก่อสร้าง (กิโลจูล)		พลังงานที่ใช้รวม
อิฐ	ปูนฉาบ			อิฐ (ต่อ 1ก้อน)	ปูนฉาบ (ต่อ 1 ลบ.ม.)	อิฐ	ปูนฉาบ	
1,260	21.5	0.00225	560,000	2.08×10^{2}	1.14×10^{5}	1.16×10^{8}	2.45×10^{6}	1.19×10^{8}

2) พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ

จากการสันนิษฐานของนักโบราณคดี การก่อสร้างโบราณสถานในเขตบริเวณพระนครศรีอยุธยา วัสดุก่อสร้าง คือ ปูนและอิฐ จะทำการผลิต ณ สถานที่ก่อสร้าง เพื่อใช้ในการก่อสร้างได้เลย ซึ่งไม่ต้องใช้การขนส่งวัสดุ เพราะในสมัยอยุธยา แหล่งผลิตอิฐ อยู่ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างเจดีย์ภูเขาทอง และการผลิตอิฐ ทำได้อย่างกว้างขวางทั่วบริเวณเมืองพระนครศรีอยุธยา จึงไม่จำเป็นต้องใช้อิฐจากสถานที่อื่น ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ดังนั้น จึงไม่คิดค่าพลังงานอันเนื่องมาจากการขนส่งวัสดุก่อสร้าง

3) พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

แสดงการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 7.11 และ ตารางที่ 7.12

รวม พลังงานที่ใช้ไปในการก่ออิฐและฉาบปูน เท่ากับ
$(1.56 \times 10^{7}) + (2.74 \times 10^{5}) = 1.59 \times 10^{7}$ กิโลจูล

ในการก่อสร้างพระอุโบสถจะต้องพิจารณาถึงโครงสร้างหลังคาด้วย ดังนั้น จึงต้องบวก พลังงานในการประกอบโครงสร้างหลังคาไม้ และค่าพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้อง ซึ่งแสดงการวิเคราะห์และคำนวณได้ดังตารางที่ 7.13

รวมค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง คือ $(1.59 \times 10^{7}) + (1.60 \times 10^{6}) + (6.40 \times 10^{5})$ เท่ากับ 1.81×10^{7} กิโลจูล

ดังนั้น ค่าพลังงานรวมที่ใช้ไปในการก่อสร้าง คือ พลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการขนส่งวัสดุ + พลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง

คือ $(1.19 \times 10^{8}) + (1.81 \times 10^{7}) = 1.37 \times 10^{8}$ กิโลจูล

ตารางที่ 7.11 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว (การก่ออิฐ)

ตำแหน่ง	ระดับที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กิโลกรัม) [1]	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ผนัง	1	2.7	520.560	832,896	แบบ (1)	5,914,602.720	1.35	11,030.458	5,925,633.178
	2	3.0	367.920	588,672	แบบ (2)	4,777,493.813	4.20	24,254.464	4,801,748.277
	3	3.8	466.032	745,651	แบบ (2)	6,051,492.163	7.60	55,592.756	6,107,084.919
	4	1.4	42.000	67,200	แบบ (2)	545,376.006	10.20	6,724.166	552,100.172
หน้าต่าง	1	2.4	61.440	98,304	แบบ (2)	-797,807.186	3.40	-3,278.832	-801,086.018
	2	0.8	10.240	16,384	แบบ (2)	-132,967.864	4.87	-782.741	-133,750.605
ประตูใหญ่ด้านหน้า	1	3.0	12.150	19,440	แบบ (2)	-157,769.488	3.10	-591.190	-158,360.678
	2	2.4	9.720	15,552	แบบ (2)	-126,215.590	5.80	-884.878	-127,100.468
	3	1.4	2.835	4,536	แบบ (2)	-36,812.880	7.47	-332.401	-37,145.281
ประตูเล็กด้านหน้า	1	3.6	21.600	34,560	แบบ (2)	-280,479.089	3.40	-1,152.714	-281,631.803
	2	1.0	3.000	4,800	แบบ (2)	-38,955.429	5.53	-260.397	-39,215.826
ประตูด้านหลัง	1	3.6	12.960	20,736	แบบ (2)	-168,287.453	3.40	-691.629	-168,979.082
	2	1.0	1.800	2,880	แบบ (2)	-23,373.257	5.53	-156.238	-23,529.495
								รวม	1.56×10^{7}

[1] น้ำหนัก = ปริมาตร x หน่วยน้ำหนักของอิฐ

(หน่วยน้ำหนักของอิฐ = 1.6×10^3 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร (สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3, ผลการทดสอบตัวอย่างอิฐ วัดกุฎีดาว, 2543))

[2] วิธีวัดพลังงาน ดังแสดงในหัวข้อ 5.5

[3] จากมาตรฐานประมาณราคากลาง กรมศิลปากร กำหนดให้มีการเพิ่มค่าแรงในการก่ออิฐที่ระดับความสูงที่มากขึ้นของการก่ออิฐผนังเรียบสูง คือ

แบบ (1) ความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 700 บาท

ใช้พลังงาน = 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (2) ความสูงเกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 800 บาท

ใช้พลังงาน = $1.14 \times 10^4 \times (800 / 700) = 1.30 \times 10^4$ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[4] พลังงานในการยก (จูล) = น้ำหนัก x 9.81 x ความสูงเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.12 แสดงการคิดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว (การฉาบปูน)

ตำแหน่ง	ระดับที่	ความสูง (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กิโลกรัม) [1]	วิธีวัดพลังงาน [2]	พลังงานมนุษย์ [3] (กิโลจูล)	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	พลังงานในการยก [4] (กิโลจูล)	พลังงานรวม (กิโลจูล)
ผนัง	1	1.2	2.592	4,987.008	แบบ (1)	29,450.304	2.10	102.737	29,553.041
	2	3.0	9.408	18,100.992	แบบ (2)	120,255.408	4.20	745.797	121,001.205
	3	3.8	11.916	22,926.384	แบบ (2)	152,313.291	7.60	1,709.299	154,022.590
	4	1.4	1.120	2,154.880	แบบ (2)	14,316.120	10.20	215.622	14,531.742
หน้าต่าง	1	2.4	1.536	2,955.264	แบบ (2)	-19,633.536	3.40	-98.570	-19,732.106
	2	0.8	0.256	492.544	แบบ (2)	-3,272.256	4.87	-23.531	-3,295.787
ประตูใหญ่ด้านหน้า	1	3.0	0.324	623.376	แบบ (2)	-4,141.449	3.10	-18.957	-4,160.406
	2	2.4	0.260	500.240	แบบ (2)	-3,323.385	5.80	-28.463	-3,351.848
	3	1.4	0.076	146.224	แบบ (2)	-971.451	7.47	-10.715	-982.166
ประตูเล็กด้านหน้า	1	3.6	0.576	1,108.224	แบบ (2)	-7,362.576	3.40	-36.964	-7,399.54
	2	1.0	0.080	153.920	แบบ (2)	-1,022.580	5.53	-8.350	-1,030.93
ประตูด้านหลัง	1	3.6	0.346	665.704	แบบ (2)	-4,422.659	3.40	-22.204	-4,444.863
	2	1.0	0.048	92.352	แบบ (2)	-613.548	5.53	-5.010	-618.558
								รวม	2.74×10^5

[1] น้ำหนัก = ปริมาตร x หน่วยน้ำหนักของปูนฉาบ (หน่วยน้ำหนักของปูนฉาบ = 1.924×10^3 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร (สุดชาย, 2543))

[2] วิธีวัดพลังงาน ดังแสดงในหัวข้อ 5.5

[3] ปรับค่าพลังงานมนุษย์ ตามระดับความสูงที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 5.5

แบบ (1) ความสูงน้อยกว่า 3.00 เมตร ใช้พลังงาน = 1.14×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

แบบ (2) ความสูงมากกว่า 3.00 เมตร (ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 1-2 เซนติเมตร)

ความสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 160 บาท

ความสูงเกิน 3.00 เมตร ค่าแรงงาน 180 บาท

ใช้พลังงาน = $1.14 \times 10^4 \times (180 / 160)$

= 1.28×10^4 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

[4] พลังงานในการยก (จูล) = น้ำหนัก x 9.81 x ความสูงเฉลี่ย

ตารางที่ 7.13 แสดงการวิเคราะห์และคำนวณค่าพลังงานในการประกอบโครงสร้างหลังคาไม้ และค่าพลังงานในการมุงหลังคากระเบื้องพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว

พื้นที่โครงหลังคา (ตารางเมตร)	พลังงานที่ใช้ (กิโลจูลต่อตารางเมตร)		พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (กิโลจูล)	
	การทำโครงหลังคาไม้	การมุงหลังคา	การทำโครงหลังคาไม้	การมุงหลังคา
800	2.00×10^3	8.00×10^2	1.60×10^6	6.40×10^5

ข. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง

1. การพิจารณาตามประโยชน์ใช้สอยที่ได้

พระอุโบสถ ใช้เป็นที่ประกอบกิจกรรมทางศาสนา ดังนั้น ค่าการใช้งานของพระอุโบสถ จึงใช้เป็นพื้นที่ใช้สอย ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบแปลน ในภาคผนวก ข ประกอบการสัมภาษณ์นักโบราณคดี ทำให้ทราบว่าพื้นที่ใช้งานภายในพระอุโบสถ เท่ากับ 272 ตารางเมตร

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ (1.37×10^8) / 272 = 5.04×10^5 กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร

ซึ่งหมายความว่า เมื่อพิจารณาทางด้านประโยชน์การใช้สอยที่ได้รับจากการก่อสร้างพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว คือ การใช้พลังงานไปในก่อสร้างทั้งสิ้น 1.37×10^{8} กิโลจูล ทำให้ได้พื้นที่ที่สามารถนำไปใช้งานในการประกอบพิธีทางศาสนา เท่ากับ 272 ตารางเมตร หรือ การใช้พลังงานไป 5.04×10^{5} กิโลจูล ในการได้มาซึ่งพื้นที่ใช้งาน 1 ตารางเมตร

2. การพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์

ค่าที่ใช้แทนค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง คือ ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของน้ำหนักโครงสร้างร่วมกับแรงลม (รายงานการบูรณะและปรับปรุงภูมิทัศน์วัดกุฎีดาว, 2542.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (2.10×10^{4} กิโลกรัม / ตารางเมตร)

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งนี้ คือ $(1.37 \times 10^{8}) / (2.10 \times 10^{4}) = 6.53 \times 10^{3}$ กิโลจูล / (กิโลกรัม /ตารางเมตร)

ซึ่งหมายความว่า เมื่อพิจารณาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ในด้านของความสามารถในการรับแรงแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของน้ำหนักโครงสร้างร่วมกับแรงลมที่ได้รับจากการก่อสร้าง ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง คือ การใช้พลังงานไปในก่อสร้างทั้งสิ้น 1.37×10^{8}กิโลจูล ทำให้เจดีย์ภูเขาทองแห่งนี้มีความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของน้ำหนักโครงสร้างร่วมกับแรงลม เท่ากับ 2.10×10^{4} กิโลกรัม / ตารางเมตรหรือการใช้พลังงานไป 6.53×10^{3} กิโลจูล ในการได้มาซึ่งความแข็งแรงของโครงสร้างในด้านของความสามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับน้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้ในด้านความแข็งแรงทางวิศวกรรมศาสตร์นี้ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ต้องใช้ไปจริง เช่น ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง และปัจจัยเนื่องจากความสวยงาม ซึ่งทำให้พลังงานที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น

และในการนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างพระอุโบสถวัดกุฎีดาวแห่งนี้ ไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการก่อสร้างกับโบราณสถานอื่นๆ ต้องมีการคิดถึงค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ได้รับที่นอกเหนือไปจากการใช้พลังงานไป ซึ่งคือ ปัจจัยเนื่องจากความรู้สึกที่มองเห็น และปัจจัยเนื่องจากความสำคัญของการมีโบราณสถานนั้นด้วย

7.4 <u>การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างโบราณสถาน 3 แห่ง</u>

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างโบราณสถาน 3 แห่ง คือ กุฏิฤาษีหนองบัวลาย(ปราสาทหินศิลาแลง) เจดีย์ภูเขาทอง และพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว สามารถแสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบถึงค่าพลังงานที่ใช้ไป และประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท ได้ดังตารางที่ 7.14

ตารางที่ 7.14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ และค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานทั้ง 3 แห่ง

โบราณสถาน	กุฏิฤาษีหนองบัวลาย	เจดีย์ภูเขาทอง	พระอุโบสถ วัดกุฎีดาว	หน่วย
พลังงานแปรสภาพวัสดุ	5.20×10^{6}	4.73×10^{9}	1.19×10^{8}	กิโลจูล
พลังงานขนส่ง	1.47×10^{7}			กิโลจูล
พลังงานดำเนินการก่อสร้าง	2.10×10^{6}	6.47×10^{8}	1.81×10^{7}	กิโลจูล
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (พิจารณาพื้นที่ใช้งาน)	4.00×10^{6}		5.04×10^{5}	กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (พิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนัก)	9.20×10^{2}	1.41×10^{5}	6.53×10^{3}	กิโลจูล / (กิโลกรัม / ตารางเมตร)

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการก่อสร้างปราสาทหิน มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการขนส่งมากที่สุด และมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานไปในการแปรสภาพศิลาแลง และพลังงานในการดำเนินการก่อสร้างประมาณ 3 และ 7 เท่า ตามลำดับ เพราะในการก่อสร้างอาคารประเภทปราสาทหิน ต้องใช้วัสดุที่ต้องนำมาจากแหล่งวัสดุ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงแหล่งวัสดุเป็นหลัก เพราะการใช้พลังงานไปในการขนส่งวัสดุจากที่ไกลๆ อาจทำให้เกิดความไม่คุ้มค่าต่อการก่อสร้างได้ จึงควรใช้วัสดุในบริเวณที่หาได้ในสถานที่ๆ ต้องการก่อสร้าง แต่อย่างไรก็ตาม ในการก่อสร้างสมัยก่อน หรือในยุคนั้น อาจไม่ได้คำนึงถึงในเรื่องนี้ เพราะการก่อสร้างจะพิจารณาถึงสิ่งที่ได้หลังจากการก่อสร้าง คือ ปราสาทหิน ที่แสดงให้เห็นถึงความยิ่งใหญ่และอำนาจบารมี ซึ่งเกิดจากคำสั่งของผู้มีอำนาจให้ทำการก่อสร้าง จึงไม่ต้องคำนึงในเรื่องนี้

และในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า ปราสาทหินได้พื้นที่ใช้งานค่อนข้างน้อย แต่ต้องใช้พลังงานในการก่อสร้างที่มาก เมื่อเทียบกับการก่อสร้างโบราณสถานประเภทอื่นๆ จึงอาจกล่าวได้ว่า ได้ค่าการใช้งานไม่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้าง

เมื่อพิจารณาในด้านของกำลังรับน้ำหนักของดิน จะเห็นว่าปราสาทหินให้ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างที่มาก เมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้าง คือใช้พลังงานไปน้อย แต่ได้ความสามารถในการรับน้ำหนักทางวิศวกรรมที่มาก เมื่อเทียบกับการก่อสร้างโบราณสถานประเภทอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง แสดงให้เห็นว่า โบราณสถานประเภทปราสาทหิน จะให้ค่าความคงทนหรือความมั่นคงทางโครงสร้างที่มากกว่าโบราณสถานประเภทอื่น

การก่อสร้างเจดีย์ มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด และมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานไปในการดำเนินการก่อสร้างประมาณ 7 เท่า โดยไม่ได้ใช้พลังงานไปในการขนส่ง ทำให้เห็นว่า การก่อสร้างโบราณสถานประเภทเจดีย์จะต้องคำนึงถึงใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด เพราะในขั้นตอนของการผลิตอิฐ เป็นกรรมวิธีที่ต้องใช้พลังงานมนุษย์ไปค่อนข้างมาก และปริมาณวัสดุที่ต้องใช้ คือ อิฐ มีปริมาณมาก

และในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า การก่อสร้างเจดีย์ ไม่ได้มุ่งเน้นถึงประโยชน์ใช้สอย ในด้านการใช้พื้นที่ แต่ใช้เพื่อประโยชน์ในด้านอื่น คือ ใช้เป็นอนุสรณ์สถาน ซึ่งเป็นคุณค่าทางจิตใจ ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถานประเภทเจดีย์ โดยการพิจารณาถึงประโยชน์การใช้งาน จึงไม่อาจทำได้ หรือกล่าวได้ว่า เจดีย์ ไม่ให้ประโยชน์ในด้านการใช้งาน แต่จะมีความสำคัญของการก่อสร้างในด้านอื่น

เมื่อพิจารณาถึงกำลังสูงสุดของความสามารถในการรับแรงอัด ที่เกิดจากการรับน้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ ซึ่งเป็นการพิจารณาในด้านวิศวกรรม จะเห็นว่า เจดีย์ต้องใช้พลังงานไปมากในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

การก่อสร้างพระอุโบสถ มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด และมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานไปในการดำเนินการก่อสร้าง 7 เท่า โดยไม่ได้ใช้พลังงานไปในการขนส่ง ทำให้เห็นว่า การก่อสร้างโบราณสถานประเภทพระอุโบสถ จะต้องคำนึงถึงใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด เพราะในขั้นตอนของการผลิตอิฐ เป็นกรรมวิธีที่ต้องใช้พลังงานมนุษย์ไปค่อนข้างมาก และปริมาณวัสดุหลักที่ต้องใช้ คือ อิฐ มีปริมาณมาก

ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า พระอุโบสถ ใช้พลังงานในการก่อสร้างที่น้อยกว่าปราสาทหิน

ในการได้พื้นที่การใช้งานที่เท่ากัน หรือกล่าวได้ว่า การก่อสร้างพระอุโบสถ ให้ประโยชน์การใช้งาน คือ พื้นที่ใช้งานที่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างมากกว่า ปราสาทหิน

เมื่อพิจารณาถึงค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้น เนื่องจากผลของน้ำหนักโครงสร้างร่วมกับแรงลม ซึ่งเป็นการพิจารณาในด้านวิศวกรรม จะเห็นว่า พระอุโบสถต้องใช้พลังงานมากกว่า ในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

7.5 <u>การนำแบบจำลองประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>

การนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบถึงค่าพลังงานที่ใช้ไปและประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้างโบราณสถาน สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานได้หลายรูปแบบ ได้แก่

ก. การเปรียบเทียบการก่อสร้างระหว่างยุค

เป็นการนำค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ไปใช้ในการเปรียบเทียบการก่อสร้างที่มีในแต่ละยุคสมัย ซึ่งมีรูปแบบ และวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันไป ซึ่งการใช้ค่าพลังงานเป็นตัวเทียบหาประสิทธิภาพการก่อสร้าง สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้ เพราะการก่อสร้างทุกยุคทุกสมัยมีรูปแบบของการใช้พลังงานในการก่อสร้างที่คล้ายคลึงกันในทุกๆขั้นตอนของการก่อสร้าง โดยการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปรียบและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ดังที่กล่าวมาแล้ว

ข. การเปรียบเทียบกับพงศาวดาร

เป็นการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างที่คำนวณและวิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง ไปประมาณจำนวนคน และเวลาก่อสร้างอย่างคร่าวๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับการจดบันทึกในพงศาวดารถึงการก่อสร้างในอดีต ถึงเรื่องของจำนวนคน และเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ทำให้ทราบถึงความถูกต้อง หรือความคลาดเคลื่อนของการจดบันทึกทางประวัติศาสตร์ได้

ค. การเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท

เป็นการใช้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทที่วิเคราะห์และต้องการนำมาเปรียบเทียบให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการก่อสร้างโบราณสถานประเภทนั้นๆ เมื่อเทียบกับโบราณสถานคนละประเภท ซึ่งมีการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน โดยการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปรียบและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ดังที่กล่าวมาแล้ว

7.6 ข้อจำกัดในการนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

1. แต่ละแนวคิดและวิธีการในการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน จะให้ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีและหาได้ในปัจจุบัน ที่ต้องใช้ในประกอบในการวิเคราะห์ ไม่ว่าจะมาจากหลักฐานการจดบันทึกทางประวัติศาสตร์หรือมาจากการสัมภาษณ์นักโบราณคดี นักประวัติศาสตร์หรือบุคคลที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในเรื่องนี้ ดังนั้นในการนำแบบจำลองไปใช้วิเคราะห์โบราณสถานแห่งใด จะต้องคำนึงถึงข้อมูลที่มีอยู่และหาได้ในปัจจุบันและบุคคลที่สามารถให้คำแนะนำและคำปรึกษาได้ เพื่อความถูกต้องมากขึ้น

2. การนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างโบราณสถาน อาจได้ค่าที่เปลี่ยนแปลง และแตกต่างไปตามผู้ที่ใช้ เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง ซึ่งไม่มีค่าที่เป็นตัวแทนที่แน่นอน

7.7 บทสรุป

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถาน 3 แห่ง คือ กุฏิฤาษีหนองบัวลาย (ปราสาทหินศิลาแลง) เจดีย์ภูเขาทอง และพระอุโบสถ วัดกุฎีดาว ซึ่งเป็นตัวอย่างและเป็นตัวแทนของโบราณสถานประเภทปราสาทหิน เจดีย์ และพระอุโบสถ ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานและประสิทธิภาพที่ได้รับจากการก่อสร้างโบราณสถานประเภทนั้น ดังนี้

โบราณสถาน	กุฏิฤาษีหนองบัวลาย	เจดีย์ภูเขาทอง	พระอุโบสถ วัดกุฎีดาว	หน่วย
พลังงานแปรสภาพวัสดุ	5.20×10^{6}	4.73×10^{9}	1.19×10^{8}	กิโลจูล
พลังงานขนส่ง	1.47×10^{7}			กิโลจูล
พลังงานดำเนินการก่อสร้าง	2.10×10^{6}	6.47×10^{8}	1.81×10^{7}	กิโลจูล
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (พิจารณาพื้นที่ใช้งาน)	4.00×10^{6}		5.04×10^{5}	กิโลจูล ต่อ ตารางเมตร
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (พิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนัก)	9.20×10^{2}	1.41×10^{5}	6.53×10^{3}	กิโลจูล / (กิโลกรัม / ตารางเมตร)

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการก่อสร้างปราสาทหิน มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการขนส่งมากที่สุด ในการก่อสร้างจึงต้องคำนึงถึงแหล่งวัสดุเป็นหลัก และการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า ปราสาทหินได้ค่าการใช้งานไม่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้าง ส่วนเมื่อพิจารณาในด้านของกำลังรับน้ำหนักของดิน จะเห็นว่า โบราณสถานประเภทปราสาทหิน ให้ค่าความคงทนหรือความมั่นคงทางโครงสร้างที่มากกว่าโบราณสถานประเภทอื่น

การก่อสร้างเจดีย์ มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด ทำให้การก่อสร้างโบราณสถานประเภทนี้ต้องคำนึงถึงใช้พลังงานในส่วนนี้มาก และในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า การก่อสร้างเจดีย์ ไม่ให้ประโยชน์ในด้านการใช้งาน แต่มีความสำคัญและความจำเป็นในการก่อสร้างในด้านอื่น เมื่อพิจารณาถึงกำลังสูงสุดของความสามารถในการรับแรงอัดที่เกิดจากการรับน้ำหนักของตัวองค์เจดีย์ ซึ่งเป็นการพิจารณาในด้านวิศวกรรม จะเห็นว่า เจดีย์ต้องใช้พลังงานไปมากในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

การก่อสร้างพระอุโบสถ มีการใช้พลังงานไปในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด ทำให้เห็นว่า การก่อสร้างโบราณสถานประเภทพระอุโบสถ ต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้จากการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในด้านประโยชน์ใช้สอย หรือพื้นที่การใช้งาน จะเห็นว่า พระอุโบสถ ให้ประโยชน์การใช้งาน คือ พื้นที่ใช้งานที่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างมากกว่า ปราสาทหิน และเมื่อพิจารณาถึงค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้น เนื่องจากผลของน้ำหนักโครงสร้างร่วมกับแรงลม ซึ่งเป็นการพิจารณา

ในด้านวิศวกรรม จะเห็นว่า พระอุโบสถต้องใช้พลังงานมากกว่า ในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

การนำแบบจำลองประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบ สามารถเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานได้หลายรูปแบบ ได้แก่

ก. การเปรียบเทียบการก่อสร้างระหว่างยุค
ข. การเปรียบเทียบกับพงศาวดาร
ค. การเปรียบเทียบการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน เป็นสิ่งที่สามารถใช้ในการหาประสิทธิภาพการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทหรือในแต่ละยุคสมัย ทำให้ทราบถึงลักษณะการก่อสร้างโบราณสถานแต่ละประเภทหรือการก่อสร้างในแต่ละยุคสมัย ซึ่งการใช้ค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง เป็นสิ่งที่สามารถใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพที่ใช้ไปในการก่อสร้าง เพื่อทำการเปรียบเทียบได้ เพราะค่าพลังงานเป็นองค์ประกอบหลักที่ต้องใช้ในทุกๆ ขั้นตอนของการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ในการก่อสร้าง เช่น การก่ออิฐ การแปรสภาพวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ค่าพลังงานที่เกิดจากการขนส่งวัสดุมาจากแหล่งวัสดุ และพลังงานที่เกิดจากการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยทำให้ทราบถึงแนวคิดของการหาค่าประสิทธิภาพของการก่อสร้างที่เกิดจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานและประสิทธิภาพที่วิเคราะห์ได้ ดังนี้

1) จากการศึกษาวิจัย ทำให้ทราบถึงแนวคิดของการหาค่าประสิทธิภาพของการก่อสร้างที่เกิดจากการใช้พลังงานไปในการก่อสร้าง โดยอธิบายในรูปของแบบจำลองที่ใช้หาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน ซึ่งเกิดจากการนำค่าพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง โดยมีหน่วยของการวัดในหน่วยเดียวกัน คือ หน่วยจูล มารวมกัน เพื่อเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถานแห่งหนึ่ง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง คือ สัดส่วนของค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปในการก่อสร้าง กับค่าการใช้งานของโบราณสถานนั้น และปรับค่าด้วยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงาน และประสิทธิภาพที่หาได้จากแบบจำลอง โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Construction Energy Utilization Index} = \frac{\text{Energy Spent}}{\text{Service Provided} \times F_1 \times F_2 \times F_3}$$

โดยที่ Construction (Energy) Efficiency Factor = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้าง

Energy Spent = ค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้าง

Service Provided = ค่าการใช้งานในปัจจุบัน

F_1 = ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง

F_2 = ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้าง

F_3 = ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ

2) แนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างโบราณสถาน เกิดจากการหาค่าพลังงานของมนุษย์ที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ของการก่อสร้าง ซึ่งใช้ในขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุจากสภาพธรรมชาติมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และในขั้นตอนของการดำเนินการก่อสร้างในการประกอบกิจกรรมการก่อสร้าง เช่น การก่ออิฐ การฉาบปูน เป็นต้น และการใช้สมการทางฟิสิกส์มาวัดหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง (การเคลื่อนที่) หรือค่าพลังงานศักย์ของการยกวัตถุขึ้น ซึ่งคือ การยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปก่อสร้างในที่สูง ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าพลังงานจะแบ่งประเภทของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการก่อสร้าง เป็นพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง และพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของการก่อสร้าง ได้แก่ พลังงานที่ใช้ทางตรง และทางอ้อม เพื่อทำให้การวิเคราะห์หาค่าพลังงานสามารถวิเคราะห์ทำได้ครอบคลุมค่าพลังงานทั้งหมด โดยในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างมีแนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไป ดังนี้

(1) ในขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุ แนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปจะพิจารณาที่แรงงานมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในขบวนการแปรสภาพหรือการผลิตวัสดุก่อสร้างโบราณสถาน โดยไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล โดยการจดบันทึกขั้นตอนหรือกรรมวิธีการแปรสภาพวัสดุหรือการเตรียมวัสดุก่อสร้างแต่ละประเภท ได้แก่ อิฐ ศิลาแลง หินทราย ไม้ และปูนหมักปูนตำ ซึ่งเป็นวัสดุหลักของการก่อสร้างโบราณสถาน และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนและใช้การเทียบกับค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ที่มีการวัดค่าพลังงานโดยวิธีต่างๆในปัจจุบันไว้แล้วมาใช้โดยตรง ซึ่งค่าพลังงานนี้จะเป็นค่าพลังงานโดยเฉลี่ยของการประกอบกิจกรรมนั้นๆ หรือในกิจกรรมการแปรสภาพวัสดุบางกิจกรรมที่ไม่มีการวัดค่าพลังงานไว้จะใช้การเทียบเคียงจากกิจกรรมอื่นๆ ที่มีการวัดค่าไว้แล้ว โดยพิจารณาการเทียบเคียงที่ลักษณะของการเคลื่อนไหวของการใช้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของอวัยวะร่างกายที่คล้ายคลึงกัน ทำให้สามารถประมาณค่าพลังงานโดยใช้การเทียบเคียงได้ โดยค่าพลังงานที่ได้นี้จะเป็นค่าพลังงานโดยประมาณของกิจกรรมที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุ

(2) ขั้นตอนการขนส่งวัสดุจากแหล่งวัสดุ มายังสถานที่ก่อสร้าง จะวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขนส่ง โดยการใช้สมการทางฟิสิกส์คำนวณค่า ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ในการลากหรือขนวัสดุ โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง เพราะไม่สามารถทราบถึงประเภทของพาหนะที่มีการใช้ในการขนส่งวัสดุก่อสร้างเพื่อการก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนั้นๆ ซึ่งค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการขนส่ง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล ซึ่งต้องมีการคาดคะเนถึงเส้นทางการขนส่ง วิธีการขนส่ง และสภาพภูมิประเทศบริเวณนั้น โดยการคาดคะเนของนักโบราณคดี หรือผู้เชี่ยวชาญ โดยการศึกษาวิจัย แบ่งประเภทของการขนส่งออกเป็น การขนส่งทางบก และการขนส่งทางน้ำ และใช้สมการทางฟิสิกส์ คือ $W = F.S$ ซึ่งเป็นสมการทางฟิสิกส์ในการหาพลังงานในการเคลื่อนที่ โดยแรงที่ใช้ไปในทำให้เกิดการเคลื่อนที่ จะพิจารณาจากรูปแบบของการขนส่ง และปัจจัยที่ต้องพิจารณาร่วม ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบของการขนส่ง

(3) แนวคิดของการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินการก่อสร้าง ทำได้โดยการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้างต่างๆ และค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง ซึ่งค่าพลังงานในส่วนนี้เป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยตรงของแรงงานมนุษย์ดำเนินการก่อสร้าง โดยไม่คิดค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้เครื่องมือเครื่องทุ่นแรงหรือพาหนะขนส่ง ในกรณีที่ไม่สามารถทราบถึงประเภทของเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนั้นๆ ซึ่งค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการดำเนินการก่อสร้าง และไม่รวมค่าพลังงานที่ใช้ทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมอื่นๆ รวมทั้งไม่คิดพลังงานที่ถูกใช้ไปซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการก่อสร้าง เพราะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอและยากต่อการรวบรวมข้อมูล

โดยค่าพลังงานที่ใช้ไปของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้างต่างๆ ทำได้โดยการเทียบเคียงกับการใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมเดียวกัน ซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไว้ในปัจจุบัน และทำการปรับค่าพลังงานเหล่านี้ไปตามระดับความสูงของการก่อสร้าง เพราะการ ก่อสร้างในที่สูงทำได้ยากกว่า ทำให้ต้องใช้พลังงานไปในการก่อสร้างที่มากกว่าการก่อสร้างในที่ปกติ โดยการใช้ข้อมูลของราคาค่าแรงงานในมาตรฐานประมาณราคากลางของกรมศิลปากร

ในส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการยกวัสดุก่อสร้างขึ้นไปประกอบหรือสร้างในที่สูง จะใช้สมการทางฟิสิกส์ คือ W = mgh ในการวัดหาค่าพลังงานในส่วนนี้ ซึ่งจะใช้ความสูงเฉลี่ย ในแต่ละระดับของการก่อสร้างโบราณสถานประเภทต่างๆ ซึ่งมีการแบ่งระดับความสูงของการก่อสร้างที่ต่างกันไป

3) จากการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไปในการก่อสร้างโบราณสถาน 3 แห่ง ดังแสดงในบทที่ 7 คือ กุฏิฤาษีหนองบัวลาย (ปราสาทหินศิลาแลง) เจดีย์ภูเขาทอง และพระอุโบสถ วัดกุฏีดาว ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างและเป็นตัวแทนของโบราณสถานประเภทปราสาทหิน เจดีย์ และพระอุโบสถ ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงลักษณะของการใช้พลังงานและประสิทธิภาพที่ได้รับจากการก่อสร้างโบราณสถานประเภทนั้นๆได้

โดยจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าการก่อสร้างปราสาทหินต้องคำนึงถึงแหล่งวัสดุเป็นหลัก และปราสาทหินได้ค่าการใช้งานไม่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ต้องใช้ไปในการก่อสร้าง และให้ค่าความคงทนหรือความมั่นคงทางโครงสร้างที่มากกว่าโบราณสถานประเภทอื่น

การก่อสร้างเจดีย์ ต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานในการแปรสภาพวัสดุในเป็นหลัก และเห็นว่า การก่อสร้างเจดีย์ ไม่ให้ประโยชน์ในด้านการใช้งาน แต่มีความสำคัญและความจำเป็นในการก่อสร้างในด้านอื่น และต้องใช้พลังงานไปมากในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

ส่วนการก่อสร้างพระอุโบสถ ต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานในส่วนของการแปรสภาพวัสดุมากที่สุด และให้พื้นที่ใช้งานที่คุ้มค่าต่อพลังงานที่ใช้ไปในการก่อสร้างมากกว่า ปราสาทหิน และพระอุโบสถต้องใช้พลังงานมากกว่า ในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง เมื่อเทียบกับปราสาทหิน

4) แบบจำลองการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบในรูปแบบต่างๆได้ ซึ่งได้แก่ การเปรียบเทียบระหว่างยุค การเปรียบเทียบกับพงศาวดาร และการเปรียบเทียบการก่อสร้างระหว่างประเภทโบราณสถาน ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ใช้ไป และต่อประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลอง3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยเนื่องจากความมั่นคงของโครงสร้าง หาได้โดยการใช้เทคนิคเดลฟาย ปัจจัยเนื่องจากความคงทนของโครงสร้างหาได้โดยการวัดทดสอบ

ค่าความเสื่อมสภาพหรือความคงทนของโครงสร้างโดยตรง หรือการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้ค่าและข้อสรุป หรือการใช้เทคนิคเดลฟาย ปัจจัยเนื่องจากระดับงานฝีมือ หาได้โดยการพิจารณาถึงลักษณะงานที่ต้องทำในการตกแต่งลวดลายความสวยงามของโบราณสถานที่วิเคราะห์ และทำการจดบันทึกถึงเวลาที่ใช้ และแปลงค่าเป็นค่าพลังงานที่ใช้ไปในการตกแต่งลวดลาย โดยการเทียบเคียงกับกิจกรรมอื่นๆ

8.2 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

1) ในการศึกษาหาแบบจำลองของการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนี้ พิจารณาการใช้พลังงานไปในการแปรสภาพวัสดุ เฉพาะวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานเท่านั้น ได้แก่ อิฐ หินทราย ศิลาแลง ไม้และปูนหมักปูนตำ ซึ่งในการก่อสร้างโบราณสถานอาจมีการใช้วัสดุก่อสร้างประเภทอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากวัสดุหลักเหล่านี้ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ไปในการแปรสภาพวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานด้วย

2) ในการศึกษาวิจัยนี้ ให้เฉพาะแนวคิดของการหาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง แต่เพื่อความสมบูรณ์ของแบบจำลองที่มากขึ้น จึงควรมีการศึกษาและหาค่าปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน ทั้งปัจจัยที่แสดงในการศึกษาวิจัยนี้ และปัจจัยอื่นที่นอกเหนือไปจากที่แสดงไว้ในการศึกษาวิจัยนี้ โดยควรมีการแสดงออกเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ปรับได้อย่างถูกต้องต่อไป

3) แบบจำลองของการหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถานนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์อาคารในปัจจุบันได้ แต่อาคารในปัจจุบันมีส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่มากกว่าอาคารในอดีตมาก รวมถึงการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม รวมถึงการวัดค่าพลังงานจึงต้องพิจารณาถึงค่าพลังงานของเครื่องมือเครื่องจักรเหล่านี้ด้วย เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารในปัจจุบันได้อย่างถูกต้องต่อไป

4) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการก่อสร้างโบราณสถาน 3 ประเภทๆละ 1 ตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาต่อไป ควรมีการวิเคราะห์ตัวอย่างโบราณสถานเพิ่มอีกหลายๆตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์โบราณสถานหลายๆประเภท ทั้งในยุคสมัยเดียวกัน และคนละยุคสมัย เพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, เมธี หมั่นทำการ. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

จิรภา น้าคณาคุปต์. การศึกษากิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร (ปีการศึกษา 2542). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

แจ็กสัน, เจ. , จอห์น. ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ สถิตยศาสตร์และกลศาสตร์ของวัสดุ. แปลโดย สุทธิพงศ์ ศรีกรารมณ์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2539.

ฉลอง เกิดพิทักษ์, วิทยา เพียรวิจิตร, วรรณศรี บุณยรัตน์พันธุ์. วัสดุการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2524.

ชาติชาย ร่มสนธ์ และคนอื่นๆ. การศึกษาวิวัฒนาการ องค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ของดินเพื่อการตั้งถิ่นฐานในเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา : กรมศิลปากร, 2539.

ทนงศักดิ์ หาญวงศ์. นักโบราณคดี หจก.ปุราณรักษ์. สัมภาษณ์, 18 ธันวาคม 2544.

นิวัตต์ ดารานันท์, ทักษิณ เทพชาตรี, ต่อตระกูล ยมนาค. รายงานการวิจัยสถาบันเรื่องประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างของอาคารในเขตการศึกษา ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: งานวางผังมหาวิทยาลัย กองวางแผน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ประเสริฐ แสงวชิระภิบาล. ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522.

พงศ์พัน วรสุนทรโรสถ. วัสดุก่อสร้าง. ฉบับปรับปรุงและเพิ่มเติม. กุรงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอช-เอน, 2521.

พิภพ สุนทรสมัย. ช่างปูนก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด สีทองกิจพิศาล, 2523.

เรืองศักดิ์ กันตะบุตร. วิทยาการอาคาร.

เล็ก สายประทุมทิพย์. ผู้รับเหมา หจก.ประดิษฐ์ธนานุรักษ์. สัมภาษณ์, 15 มกราคม 2545.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

วรศักดิ์ กนกนุกูลชัย, นภดล เพียรเวช, ชาญพจน์ ตั้งตรงจิตร และพฤทธิพงศ์ สิงหติราช. การวิเคราะห์โครงสร้างเจดีย์ภูเขาทอง เพื่อการบูรณะ. วารสารโยธาสาร (2540) : 119-125.

ศิลปากร. กรม. ทำเนียบโบราณสถานขอมในประเทศไทย. 2 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2536.

ศิลปากร, กรม. แนวทางในการประมาณราคาสถาปัตยกรรมและแบบอนุรักษ์โบราณสถาน. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2542. (อัดสำเนา)

ศิลปากร, กรม. มาตรฐานประมาณราคากลาง. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2542. (อัดสำเนา)

ศิลปากร, กรม. ระเบียบกรมศิลปากรว่าด้วยการอนุรักษ์โบราณสถาน. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2528.

สมชาติ จึงสิริอารักษ์. ปูนหมัก-ปูนตำ. วารสารเมืองโบราณ ฉบับที่ 4 (2540) : 65-74.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. ผลการทดสอบตัวอย่างหินศิลาแลง, หินทรายขาว, หินทรายแดง โครงการออกแบบบูรณะโบราณสถานโคปุระด้านทิศเหนือกำแพงชั้นนอก. นครราชสีมา: กรมศิลปากร, 2541. (อัดสำเนา)

สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : ว.เพ็ชรสกุล, 2543.

สมชาติ จึงสิริอารักษ์. การอนุรักษ์โครงสร้างและวัสดุของโบราณสถาน. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 262-407 การอนุรักษ์อาคารทางประวัติศาสตร์และโบราณสถาน 2 ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2540

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3. รายงานการขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดกุฎีดาว. พระนครศรีอยุธยา: กรมศิลปากร, 2542.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3. รายงานการบูรณะและปรับปรุงภูมิทัศน์วัดกุฎีดาว. พระนครศรีอยุธยา: กรมศิลปากร, 2542.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3. รายงานการศึกษาโบราณสถานวัดภูเขาทอง. พระนครศรีอยุธยา: กรมศิลปากร, 2539.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3. รายงานการสำรวจและออกแบบเพื่อการบูรณะเจดีย์ภูเขาทอง. พระนครศรีอยุธยา: กรมศิลปากร, 2539.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 3. ผลการทดสอบตัวอย่างอิฐ วัดกุฎีดาว. พระนครศรีอยุธยา: กรมศิลปากร, 2543. (อัดสำเนา)

รายการอ้างอิง (ต่อ)

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. รายงานการบูรณะโคปุระด้านทิศใต้ปราสาทเมืองต่ำ. นครราชสีมา: กรมศิลปากร, 2537.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. รายงานการบูรณะโบราณสถานกุฏิฤาษีหนองบัวลาย. นครราชสีมา: กรมศิลปากร, 2544.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดิน โครงการบูรณะกุฏิฤาษีหนองบัวลาย. นครราชสีมา: กรมศิลปากร, 2543.

สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. รายละเอียดประมาณราคากลาง. นครราชสีมา: กรมศิลปากร, 2543. (อัดสำเนา)

สุดชาย พานสุวรรณ. การวิเคราะห์โบราณสถานก่ออิฐในเชิงวิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

สุภัทรดิศ ดิศกุล. หม่อมเจ้า. ศิลปะขอม. 3 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: องค์การค้าของคุรุสภา, 2533.

สุวลี ทวีบุตร. การเปรียบเทียบผลการสร้างฉันทามติและระดับการให้ความร่วมมือของผู้เชี่ยวชาญระหว่างการใช้เทคนิคเดลฟายแบบเดิมและเทคนิคเดลฟายแบบปรับปรุงที่ใช้ในการประเมินความต้องการจำเป็น. ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

Guthrie, H. A., and Piceians, M. F. Human Nutrition. Missouri : Mosby-Years Book, Inc, 1995.

Mcardle, W. D., Katch, F. I., and Katch, V. L. Exercise Physiology. 2 nd ed. Philadelphia : Lea & Febiger, 1986.

Thomas, H.R., Maloney, W.F., Horner, R.M., Smith, Gary R., Handa, Vir K., and Sanders, S.T. Modeling Construction Labor Productivity. Journal of Constrution Engineering and Management .116 (1990):705-726

Wilson, E. D., Fisher, K. H., and Fuqua, M. E. Principles of Nutrition. 3 rd ed. New York : john Wiley and Sons, Inc., 1975.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตารางประกอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ไปในการประกอบกิจกรรมต่างๆ (หน่วย กิโลแคลอรี่ ต่อ นาที)

ACTIVITY	$Kcal.min^{-1}.kg^{-1}$	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Archery	0.065		3.3	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4
Badminton	0.097		4.9	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5
Bakery, general (F)	0.035		1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
Basketball	0.138		6.9	7.3	7.7	8.1	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5
Billiards	0.042		2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1
Boxing																			
In ring	0.222		6.9	7.3	7.7	8.1	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5
sparring	0.138		11.1	11.8	12.4	13.1	13.8	14.4	15.1	15.8	16.4	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21.1	21.8
Canoeing																			
Leisure	0.044		2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.4	3.5	3.7	3.8	3.9	4.0	4.2	4.3
racing	0.103		5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1
Card playing	0.025		1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5
Carpentry, general	0.052		2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1
Carpet sweeping (F)	0.045		2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Carpet sweeping (M)	0.048		2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7
Circuit training																			
Hydra-Fitness	0.132		6.6	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.7	10.2	10.5	10.9	11.4	11.7	12.1	12.5	12.9
Universal	0.116		5.8	6.2	6.5	6.9	7.2	7.5	7.9	8.3	8.6	8.9	9.3	9.6	10.0	10.3	10.7	11.0	11.4
Nautilus	0.092		4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.0	6.3	6.6	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.2	8.5	8.8	9.1
Free Weights	0.086		4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.1	6.3	6.6	6.8	7.1	7.4	7.6	7.9	8.1	8.4
Cleaning (F)	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Cleaning (M)	0.058		2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7
Climbing hills																			
With no load	0.121		6.1	6.4	6.8	7.1	7.5	7.9	8.2	8.6	9.0	9.3	9.7	10.0	10.4	10.8	11.1	11.5	11.9
With 5-kg load	0.129		6.5	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.6
With 10-kg load	0.140		7.0	7.4	7.8	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.5	12.9	13.3	13.7
With 20-kg load	0.147		7.4	7.8	8.2	8.7	9.1	9.6	10.0	10.4	10.9	11.3	11.8	12.2	12.6	13.1	13.5	14.0	14.4
Coal mining																			
Drilling coal, rock	0.094		4.7	5.0	5.3	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9	9.2
Erecting supports	0.088		4.4	4.7	4.9	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.5	6.8	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6
Shoveling coal	0.108		5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.0	7.3	7.7	8.0	8.3	8.6	9.0	9.3	9.6	9.9	10.3	10.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Cooking (F)	0.045		2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
Cooking (M)	0.048		2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7
Cricket																			
Batting	0.083		4.2	4.4	4.6	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.4	6.6	6.9	7.1	7.4	7.6	7.9	8.1
Bowling	0.090		4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.9	6.1	6.4	6.7	6.9	7.2	7.5	7.7	8.0	8.3	8.6	8.8
Croquet	0.059		3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.4	5.6	5.8
Cycling																			
Leisure, 5.5 mph	0.064		3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
Leisure, 9.4 mph	0.100		5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8
Racing	0.169		8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.1	16.6
Dancing																			
Dancing (F)																			
Aerobic, medium	0.103		5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1
Aerobic, intense	0.135		6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2
Ballroom	0.051		2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	5.0
Choreographed			8.4	8.9	9.4	9.9	10.4	10.9	11.4	11.9	12.4	12.9	13.4	13.9	14.4	15.0	15.5	16.0	16.5

ACTIVITY	$Kcal.min^{-1}.kg^{-1}$	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
" twist, " " wiggle "	0.168		5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1
Digging trenches	0.145		7.3	7.7	8.1	8.6	9.0	9.4	9.9	10.3	10.7	11.2	11.6	12.0	12.5	12.9	13.3	13.8	14.2
Drawing (standing)	0.036		1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Eating (sitting)	0.023		1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3
Electrical work	0.058		2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7
Farming																			
barn cleaning	0.135		6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2
driving harvester	0.040		2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9
driving tractor	0.037		1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
feeding cattle	0.085		4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3
feeding animals	0.065		3.3	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
forking straw bales	0.138		6.9	7.3	7.7	8.1	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5
milking by hand	0.054		2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3
milking by machine	0.023		1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3
shoveling grain	0.085		4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Field hockey	0.134		6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1
Fishing	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Food shopping (F)	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Food shopping (M)	0.58		2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7
Football	0.132		6.6	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.7	12.1	12.5	12.9
Forestry																			
ax chopping, fast	0.297		14.9	15.7	16.6	17.5	18.4	19.3	20.2	21.1	22.0	22.9	23.8	24.7	25.5	26.4	27.3	28.2	29.1
ax chopping, slow	0.085		4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3
barking trees	0.123		6.2	6.5	6.9	7.3	7.6	8.0	8.4	8.7	9.1	9.5	9.8	10.2	10.6	10.9	11.3	11.7	12.1
carrying logs	0.186		9.3	9.9	10.4	11.0	11.5	12.1	12.6	13.2	13.8	14.3	14.9	15.4	16.0	16.6	17.1	17.7	18.2
felling trees	0.132		6.6	7.0	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.7	12.1	12.5	12.9
hoeing	0.091		4.6	4.8	5.1	5.4	5.6	5.9	6.2	6.5	6.7	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9
planting by hand	0.109		5.5	5.8	6.1	6.4	6.8	7.1	7.4	7.7	8.1	8.4	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.4	10.7
sawing by hand	0.122		6.1	6.5	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.0	9.4	9.8	10.1	10.5	10.9	11.2	11.6	12.0
sawing, power	0.075		3.8	4.0	4.2	4.4	4.7	4.9	5.1	5.3	5.6	5.8	6.0	6.2	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4
stacking firewood	0.088		4.4	4.7	4.9	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.5	6.8	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6
trimming trees	0.129		6.5	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.6

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
weeding	0.072		3.6	3.8	4.0	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.1
Furriery	0.083		4.2	4.4	4.6	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.4	6.6	6.9	7.1	7.4	7.6	7.9	8.1
Gardening																			
digging	0.126		6.3	6.7	7.1	7.4	7.8	8.2	8.6	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.8	11.2	11.6	12.0	12.3
hedging	0.077		3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5
mowing	0.112		5.6	5.9	6.3	6.6	6.9	7.3	7.6	8.0	8.3	8.6	9.0	9.3	9.6	10.0	10.3	10.6	11
raking	0.054		2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3
Golf	0.085		4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3
Gymnastics	0.066		3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5
Horse-grooming	0.128		6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.5
Horse-racing																			
galloping	0.137		6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4
trotting	0.11		5.5	5.8	6.2	6.5	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.5	8.8	9.1	9.5	9.8	10.1	10.5	10.8
walking	0.041		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0
Ironing (F)	0.033		1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Ironing (M)	0.064		3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
Jodo	0.195		9.8	10.3	10.9	11.5	12.1	12.7	13.3	13.8	14.4	15.0	15.6	16.2	16.8	17.4	17.9	18.5	19.1
Jumping Pope																			
70 per min	0.162		8.1	8.6	9.1	9.6	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9
80 per min	0.164		8.2	8.7	9.2	9.7	10.2	10.7	11.2	11.6	12.1	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6	14.6	15.6	16.1
125 per min	0.177		8.9	9.4	9.9	10.4	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.6	14.2	14.7	15.2	15.8	16.3	16.8	17.3
145 per min	0.197		9.9	10.4	11.0	11.6	12.2	12.8	13.4	14.0	14.6	15.2	15.8	16.4	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3
Knitting, sewing (F)	0.022		1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2
Knitting, sewing (M)	0.023		1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3
Locksmith	0.057		2.9	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.2	5.4	5.6
Lying at ease	0.022		1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2
Machine-tooling																			
Machining	0.048		2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4 .4	4.6	4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Operating lathe	0.052		2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1
Operating punch press	0.088		4.4	4.7	4.9	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.5	6.8	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6
Tapping and drilling	0.065		3.3	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
Welding	0.052		2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1
Working sheet metal	0.048		2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7
Marching, rapid	0.142		7.1	7.5	8.0	8.4	8.8	9.2	9.7	10.1	10.5	10.9	11.4	11.8	12.2	12.6	13.1	13.5	13.9
Mopping floor (F)	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Mopping floor (M)	0.058		2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.0	5.5	5.7
Music playing																			
Accordior (sitting)	0.032		1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1
Cello (sitting)	0.041		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0
Condicting	0.039		2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
Drums (sitting)	0.066		3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.6
Flute (sitting)	0.035		1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
Horn (sitting)	0.029		1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8
Organ (sitting)	0.053		2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.0	5.2
Piano (sitting)	0.040		2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Trumpet (sitting)	0.031		1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0
Violin (sitting)	0.045		2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
Woodwind (sitting)	0.032		1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1
Painting, inside	0.034		1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3
Painting, outside	0.077		3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5
Painting seedlings	0.070		3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.7	6.9
Plastering	0.078		3.9	4.1	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3	5.5	5.8	6.0	6.2	6.5	6.7	6.9	7.2	7.4	7.6
Printing	0.035		1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
Racquetball	0.178		8.9	9.4	10.0	10.5	11.0	11.6	12.1	12.6	13.2	13.7	14.2	14.8	15.3	15.8	16.4	16.9	17.4
Running, cross-country	0.163		8.2	8.6	9.1	9.6	10.1	10.6	11.1	11.6	12.1	12.6	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0
Running, horizontal																			
11 min, 30s per mile	0.135		6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.5	10.9	11.3	1.7	12.1	12.5	12.9	13.3
9 min per mile	0.193		9.7	10.2	10.8	11.4	12.0	12.5	13.1	13.7	14.3	14.9	15.4	16.0	16.6	17.2	17.8	18.3	18.9
8 min per mile	0.028		10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.6	4.2	14.8	15.4	16.0	16.5	17.1	17.7	18.3	18.9	19.4	20
7 min per mile	0.228		12.2	12.7	13.3	13.9	14.5	15.0	15.6	16.2	16.8	17.4	17.9	18.5	19.1	19.7	20.3	20.8	21.4

ACTIVITY	$Kcal.min^{-1}.kg^{-1}$	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
6 min per mile	0.252		13.9	14.4	15.0	15.6	16.2	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.6	20.2	20.8	21.4	22.0	22.5	23.1
5 min, 30s per mile	0.289		14.5	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.5	21.4	22.3	23.1	24.0	24.9	25.7	26.6	27.5	28.3
Scraping pant	0.063		3.2	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
Scrubbing floors (F)	0.109		5.5	5.8	6.1	6.4	6.8	7.1	7.4	7.7	8.1	8.4	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.4	10.7
Scrubbing floors (M)	0.108		5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.0	7.3	7.7	8.0	8.3	8.6	9.0	9.3	9.6	9.9	10.3	10.6
Shoe repair, general	0.045		2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
Sitting quietly	0.021		1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1
Skiing, hard snow																			
Level, moderate speed	0.119		6.0	6.3	6.7	7.0	7.4	7.7	8.1	8.4	8.8	9.2	9.5	9.9	10.2	10.6	10.9	11.3	11.7
Level, walking	0.143		7.2	7.6	8.0	8.4	8.9	9.3	9.7	10.2	10.6	11.0	11.4	11.9	12.3	12.7	13.2	13.6	14.0
Uphill, maximum	0.274		13.7	14.5	15.3	16.2	17.0	17.8	18.6	19.5	20.3	21.1	21.9	22.7	23.6	24.4	25.2	26.0	26.9
speed																			
Skiing, soft snow																			
Leisure (F)	0.111		4.9	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.3	9.6
Leisure (F)	0.098		5.6	5.9	6.2	6.5	6.9	7.2	7.5	7.9	8.2	8.5	8.9	9.2	9.5	9.9	10.2	10.5	10.9
Skindiving, as frogman																			
Considerable motion	0.276		13.8	14.6	15.5	16.3	17.1	17.9	18.8	19.6	20.4	21.3	22.1	22.9	23.7	24.6	25.4	26.2	27.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	$Kcal.min^{-1}.kg^{-1}$	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Moderate motion	0.206		10.3	10.9	11.5	12.2	12.8	13.4	14.0	14.6	15.2	15.9	16.5	17.1	17.7	18.3	19.0	19.6	20.2
Snowshoeing, soft snow	0.166		8.3	8.8	9.3	9.8	10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.3	14.8	15.3	15.8	16.3
Squash	0.212		10.6	11.2	11.9	12.5	13.1	13.8	14.4	15.1	15.7	16.3	17.0	17.6	18.2	18.9	19.5	20.1	20.8
Standing quietly (F)	0.025		1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5
Standing quietly (M)	0.027		1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6
Steel mill, working in																			
Fetting	0.089		4.5	4.7	5.0	5.3	5.5	5.8	6.1	6.3	6.6	6.9	7.1	7.4	7.7	7.9	8.2	8.5	8.7
Forging	0.100		5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8
Hand rolling	0.137		6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4
Merchant mill rolling	0.145		7.3	7.7	8.1	8.6	9.0	9.4	9.9	10.3	10.7	11.2	11.6	12.0	12.5	12.9	13.3	13.8	14.2
Removing slag	0.178		8.9	9.4	10.0	10.5	11.0	11.6	12.1	12.6	13.2	13.7	14.2	14.8	15.3	15.8	16.4	16.9	17.4
Tending furnace	0.126		6.3	6.7	7.1	7.4	7.8	8.2	8.6	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.8	11.2	11.6	12.0	12.3
Tipping molds	0.092		4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	6.0	6.3	6.5	6.8	7.1	7.4	7.6	7.9	8.2	8.5	8.7	9.0
Stock clerking	0.054		2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3
Swimming																			
Back stroke	0.169		8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.1	16.6
Breast stroke	0.162		8.1	8.6	9.1	9.6	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	Kcal.min^{-1}.kg^{-1}	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Crawl, fast	0.156		7.8	8.3	8.7	9.2	9.7	10.1	10.6	11.1	11.5	12.0	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.8	15.3
Crawl, slow	0.128		6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.5
Side stroke	0.122		6.1	6.5	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.0	9.4	9.8	10.1	10.5	10.9	11.2	11.6	12.0
Treading, fast	0.170		8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.1	11.6	12.1	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6	15.1	15.6	16.2	16.7
Treading, normal	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Table tennis	0.068		3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.1	6.3	6.5	6.7
Tailoring																			
Cutting	0.041		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0
Hand-sewing	0.032		1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1
Machine-sewing	0.045		2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
Pressing	0.062		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
Tennis	0.109		5.5	5.8	6.1	6.4	6.8	7.1	7.4	7.7	8.1	8.4	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.4	10.7
Typing																			
Electric	0.027		1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6
Manaul	0.031		1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVITY	$Kcal.min^{-1}.kg^{-1}$	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
		lb	110	117	123	130	137	143	150	157	163	170	176	183	190	196	203	209	216
Volleyball	0.050		2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9
Walking, normal pace																			
Asphalt road	0.080		4.0	4.2	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.4	7.6	7.8
Fields and hillsides	0.082		4.1	4.3	4.6	7.8	5.1	5.3	5.6	5.8	6.1	6.3	6.6	6.8	7.1	7.3	7.5	7.8	8.0
Grass track	0.081		4.1	4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.2	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9
Plowed field	0.077		3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5
Wallpapering	0.048		2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7
Watch repairing	0.025		1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5
Window cleaning (F)	0.059		3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.4	5.6	5.8
Window cleaning (M)	0.058		2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7
Writing (sitting)	0.029		1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
	งานสำรวจจัดทำรูปแบบ				
1	สำรวจทำผังบริเวณ-ภูมิประเทศ	ไร่	500	2,000	แหล่งโบราณคดี / มีโบราณสถาน
2	สำรวจทำผังบริเวณ-ภูมิประเทศ	ไร่	600	3,000	มีโบราณสถานหนาแน่น
3	สำรวจจัดทำรูปแบบก่อนการอนุรักษ์	ตร.ม.	10	45	
4	สำรวจจัดทำรูปแบบหลังการขุดแต่ง	ตร.ม.	10	45	
	งานนั่งร้าน ค้ำยัน				
1	นั่งร้านเหล็ก	ตร.ม.	150	50	
2	นั่งร้านไม้	ตร.ม.	100	50	
3	นั่งร้านไม้ไผ่	ตร.ม.	60	30	
4	หลังคาคลุม (สังกะสี) พร้อมโครงเคร่า	ตร.ม.	150	50	
5	หลังคาคลุม (ผ้าใบ) พร้อมโครงเคร่า	ตร.ม.	50	30	
	งานรื้อถอน กะเทาะ สกัด				
1	รื้อกระเบื้องมุงหลังคา	ตร.ม.	-	40	กระเบื้องดินเผา / ซีเมนต์
2	รื้อไม้โครงสร้างรองหลังคา	ตร.ม.	-	50	ระแนง กลอน เชิงชาย
3	รื้อผนังไม้	ตร.ม.	-	25	
4	รื้อผนังก่ออิฐ ฉาบปูน	ตร.ม.	-	100	รวมค่าขนวัสดุ
5	รื้อทุบผนัง ค.ส.ล.	ตร.ม.	-	150	รวมค่าขนวัสดุ
6	รื้อถอนพื้นไม้เข้าลิ้น / ไม่เข้าลิ้น	ตร.ม.	-	35/25	
7	กะเทาะผิวปูนฉาบพร้อมเซาะร่องแนวปูนสอ	ตร.ม.	-	50	รวมค่าขนเศษวัสดุ
8	สกัดอิฐที่ชำรุดลึก 1-2 แผ่นอิฐ	ตร.ม.	-	100	รวมค่าขนเศษวัสดุ
9	สกัดปูนทับสัน / ขอบ กระเบื้องหลังคา	ม.	-	150/50	รวมค่าขนเศษวัสดุ
10	รื้อไม้ฝ้า เพดาน	ตร.ม.	-	50	

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
11	สกัดผนังอิฐเพื่อเสริมคาน	ตร.ม.	-	150	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
12	สกัดผนังอิฐเพื่อเสริมคาน	ตร.ม.	-	250	สูงเกิน 3.00 ม.
13	รื้อหลังคาสังกะสี / กระเบื้องลอน	ตร.ม.	-	30	
	งานปรับดีดผนัง (ไม่รวมการเสริมโครงสร้าง)				
1	ปรับดีดผนังหนา 0.30 – 0.60 ม.	ม.	1,000	1,000	สูงไม่เกิน 2.00 ม.
2	ปรับดีดผนังหนา 0.30 – 0.60 ม.	ม.	2,000	2,500	สูง 2.00 ม.ขึ้นไป
3	ปรับดีดผนังหนา 0.60 – 1.00 ม.	ม.	1,000	1,500	สูงไม่เกิน 2.00 ม.
4	ปรับดีดผนังหนา 0.60 – 1.00 ม.	ม.	2,000	3,000	สูง 2.00 ม.ขึ้นไป
5	ปรับดีดไม้โครงพื้น – หลังคา	จุด	1,000	1,000	
6	ปรับดีดอาคารไม้ยกสูง 1.00 ม.	ตร.ม.	200	300	
	งานเจาะเย็บ อัดฉีดน้ำปูน				
1	เจาะอัดฉีด Epoxy + ϕ 6 มม. ลึก 0.25 ม.	จุด	50	30	Stainless
2	เจาะอัดฉีดน้ำปูน + ϕ 9.5 มม. ลึก 0.60 ม.	จุด	75	60	ข้ออ้อยเคลือบสังกะสี
3	เจาะอัดฉีดน้ำปูน + ϕ 9.5 มม. ลึก 0.80 ม.	จุด	85	80	ข้ออ้อยเคลือบสังกะสี
4	เจาะอัดฉีดน้ำปูน + ϕ 9.5 มม. ลึก 1.00 ม.	จุด	100	100	ข้ออ้อยเคลือบสังกะสี
5	เจาะอัดฉีดน้ำปูน + ϕ 12 มม. ลึก 1.20 ม.	จุด	120	150	ข้ออ้อยเคลือบสังกะสี
6	เจาะอัดฉีดน้ำปูน + ϕ 16 มม. ลึก 1.50 ม.	จุด	250	200	ข้ออ้อยเคลือบสังกะสี
7	เจาะอัดฉีด Epoxy + ϕ 6 มม. ลึก 0.25 ม.	จุด	150	100	Stainless เย็บคร่อมรอยแตก
8	เจาะอัดฉีด Epoxy + ϕ 9.5 มม. ลึก 0.30 ม.	จุด	250	120	Stainless เย็บคร่อมรอยแตก
	งานก่ออิฐสอปูนหมัก (ไม่ฉาบ)				
1	ก่ออิฐผนังเรียบสูงไม่เกิน 3 ม.	ลบ.ม.	2,800	700	

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
2	ก่ออิฐผนังเรียบสูงเกิน 3 ม.	ลบ.ม.	2,800	800	
3	ก่ออิฐซ่อมแซมส่วนชำรุด (ลึก 1-2 แผ่นอิฐ)	ตร.ม.	600	200	
4	ก่ออิฐฐานบัวอาคาร หนา 0.40 ม.	ตร.ม.	950	350	
5	ก่ออิฐฐานบัวอาคาร หนา 0.60 ม.	ตร.ม.	1,500	450	
6	ก่ออิฐฐานบัวอาคาร หนา 0.80 ม.	ตร.ม.	2,100	550	
7	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.40 ม.	ตร.ม.	1,100	550	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
8	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.60 ม.	ตร.ม.	1,600	650	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
9	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.80 ม.	ตร.ม.	2,250	750	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
10	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 1.00 ม.	ตร.ม.	2,800	850	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
11	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.40 ม.	ตร.ม.	1,100	650	สูงเกิน 3.00 ม.
12	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.60 ม.	ตร.ม.	1.600	750	สูงเกิน 3.00 ม.
13	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 0.80 ม.	ตร.ม.	2,250	850	สูงเกิน 3.00 ม.
14	ก่ออิฐองค์เจดีย์ / ปรางค์หนา 1.00 ม.	ตร.ม.	2,800	950	สูงเกิน 3.00 ม.
15	ก่ออิฐอุดโพรง / ช่องว่าง	ลบ.ม.	2,800	400	
	งานฉาบปูนหมัก - ขัดผิวปูนตำ				
1	ฉาบปูนหมักผนังเรียบ หนา 1-2 ซม.	ตร.ม.	150	120	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
2	ฉาบปูนหมักผนังเรียบ หนา 2-4 ซม.	ตร.ม.	250	180	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
3	ฉาบปูนหมักผนังเรียบ หนา 1-2 ซม.	ตร.ม.	150	140	สูงเกิน 3.00 ม.
4	ฉาบปูนหมักผนังเรียบ หนา 2-4 ซม.	ตร.ม.	250	220	สูงเกิน 3.00 ม.
5	ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 1-2 ซม.	ตร.ม.	165	160	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
6	ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 2-4 ซม.	ตร.ม.	265	220	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
7	ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 1-2 ซม.	ตร.ม.	165	180	สูงเกิน 3.00 ม.
8	ฉาบปูนหมักผิวโค้ง หนา 2-4 ซม.	ตร.ม.	265	240	สูงเกิน 3.00 ม.
9	ฉาบปูนหมักลวดบัว	ตร.ม.	180	420	สูงไม่เกิน 3.00 ม.
10	ฉาบปูนหมักลวดบัว	ตร.ม.	180	480	สูงเกิน 3.00 ม.

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
11	ขัดผิวปูนตำ หน้าเรียบและโค้ง	ตร.ม.	60	100	
12	ขัดผิวปูนตำ ลวดบัว	ตร.ม.	80	160	
13	อนุรักษ์ปูนฉาบ เสริมความมั่นคง	ตร.ม.	180	160	ทำความสะอาด ยาแนวขอบปูน เคลือบน้ำยาวิทยาศาสตร์
	งานหลังคา				
1	มุงกระเบื้องดินเผาไม่เคลือบ	ตร.ม.	450	80	หางมน ปลายแหลม
2	มุงกระเบื้องดินเผาชนิดเคลือบ	ตร.ม.	550	80	
3	มุงกระเบื้องดินเผาเคลือบสี	ตร.ม.	650	80	ยกเว้นสีพิเศษ
4	มุงกระเบื้องว่าวสีซีเมนต์	ตร.ม.	250	80	รวมเจียรแต่งของปูน
5	มุงกระเบื้องว่าวเคลือบสี	ตร.ม.	300	80	รวมเจียรแต่งของปูน
6	กระเบื้องดินเผาลอนกาบกล้วย	ตร.ม.	580	80	ลอนในตัว
7	กระเบื้องดินเผา กระเบื้องจีน	ตร.ม.	580	80	ชนิดแยกลอน
8	มุงไม้แป้นเกล็ดไม้สัก	ตร.ม.	1,800	70	ทาน้ำยาเคลือบ
9	มุงไม้แป้นเกล็ดไม้เนื้อแข็ง	ตร.ม.	1,000	70	ทาน้ำยาเคลือบ
10	ครอบสันหลังคา ปูนปั้น	ม.	300	150	
11	ครอบสันหลังคา กระเบื้องซีเมนต์	ม.	200	100	
12	ครอบสันหลังคา ไม้กรุสังกะสี	ม.	1350	100	
13	ครอบสันหลังคา ไม้กรุสังกะสี	ม.	650	100	
14	ปูนปั้นทับขอบกระเบื้อง	ม.	150	100	
15	ปูแผ่นยางสังเคราะห์	ตร.ม.	750	120	
16	ปูแผ่นสังกะสีแผ่นเรียบบอร์ด 28	ตร.ม.	220	80	
17	ตีไม้ระแนงขนาด 1 ½" x 1 ½" ไม้เนื้อแข็ง	ตร.ม.	200	60	
18	ตีไม้กลอน ขนาด ¾" x 4"	ตร.ม.	180	60	

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
1	ช่อฟ้า ไม้สัก ขนาด 1.0-1.5 ม.	ตัว	22,000	15,000	
2	ช่อฟ้า ไม้สัก ขนาด 1.6-2.0 ม.	ตัว	30,000	18,000	
3	ช่อฟ้า ไม้สัก ขนาด 2.1-2.5 ม.	ตัว	52,000	21,000	
4	ช่อฟ้า ไม้สัก ขนาด 2.6-3.0 ม.	ตัว	77,000	24,000	
5	ช่อฟ้า ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1.0-1.5 ม.	ตัว	9,000	18,000	
6	ช่อฟ้า ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1.6-2.0 ม.	ตัว	12,000	21,000	
7	ช่อฟ้า ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 2.1-2.5 ม.	ตัว	22,000	24,000	
8	ช่อฟ้า ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 2.6-3.0 ม.	ตัว	34,000	27,000	
9	ใบระกา ไม้สัก ขนาด ~ 0.35 ม.	ม.	6,000	3,700	
10	ใบระกา ไม้สัก ขนาด ~ 0.50 ม.	ม.	9,000	4,500	
11	ใบระกา ไม้เนื้อแข็ง ขนาด ~ 0.35 ม.	ม.	4,000	4,500	
12	ใบระกา ไม้เนื้อแข็ง ขนาด ~ 0.50 ม.	ม.	4,500	5,200	
13	หางหงส์ ไม้สัก ขนาด ~ 0.50-1.0 ม.	ตัว	4,500	7,500	
14	หางหงส์ ไม้สัก ขนาด ~ 1.10-1.50 ม.	ตัว	7,500	9,000	
15	หางหงส์ ไม้สัก ขนาด ~ 0.60-2.0 ม.	ตัว	13,800	10,500	
16	หางหงส์ ไม้เนื้อแข็ง ขนาด ~ 0.50-1.0 ม.	ตัว	2,200	9,000	
17	หางหงส์ ไม้เนื้อแข็ง ขนาด ~ 1.10-1.50 ม.	ตัว	3,700	10,500	
18	หางหงส์ ไม้เนื้อแข็ง ขนาด ~ 1.60-2.0 ม.	ตัว	6,200	12,000	
19	ดาวเพดาน ไม้สักแกะสัก φ10 นิ้ว	ดวง	1,000	3,000	ลาย 2 ชั้น
20	ดาวเพดาน ไม้สักแกะสัก φ12 นิ้ว	ดวง	1,500	4,000	ลาย 3 ชั้น
21	ปิดทองพื้นผิวเรียบ	ตร.ม.	5,000	2,500	รวมเตรียมพื้นผิว
22	ประดับกระจกพื้นผิวเรียบ	ตร.ม.	2,500	1,000	รวมเตรียมพื้นผิว
23	ปิดทองพื้นผิวแกะสลัก / ปูนปั้น	ตร.ม.	7,000	3,500	รวมเตรียมพื้นผิว
24	ประดับกระจกพื้นผิวแกะสลัก / ปูนปั้น	ตร.ม.	3,500	1,500	รวมเตรียมพื้นผิว

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
1	ปูกระเบื้องดินเผาแกร่ง 6” x 6” / 8” x 8 “	ตร.ม.	300	120	
2	ปูกระเบื้องดินเผาแกร่ง 10” x 10” / 12” x 12 “	ตร.ม.	450	120	
3	ปูกระเบื้องซีเมนต์ ลวดลายแบบโบราณ 6” x 6”	ตร.ม.	450	120	
4	ปูอิฐขนาดใหญ่ หนา 2 ก้อน	ตร.ม.	200	120	รองพื้น-ยาแนวด้วยปูนหมัก
5	ปูอิฐมอญวางสันตั้ง	ตร.ม.	200	50	ทรายรองพื้น 5-10 ซม.
6	วางคาน - ตง	ตร.ม.		250	
7	ปูพื้นไม้ รวมขัดผิว	ตร.ม.		250	
	งานอนุรักษ์ฯ ประเภทหิน				
1	สำรวจทำผังกรีต / ผังหินตก	ตร.ม.	15	45	
2	สำรวจทำผังกรีตเขียนแบบก่อน-หลังอนุรักษ์	ตร.ม.	10	45	คิดพื้นที่รูปตั้งแต่ละด้าน
3	สำรวจทำผังถอดชิ้นส่วน กำหนดรหัส	ตร.ม.	10	45	ติดพื้นที่ของแต่ละชั้น
4	ทดลองประกอบชิ้นส่วนเพื่อกำหนดรูปแบบ	ลบ.ม.	-	3,000	คิดปริมาตรเฉพาะส่วนที่ทดลอง
5	ประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม)	ลบ.ม.	-	1,500	สูงไม่เกิน 2 ม.
6	ประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม)	ลบ.ม.	-	2,000	สูง 2-6 ม.
7	ประกอบชิ้นส่วนคืนสภาพ (ชิ้นส่วนเดิม)	ลบ.ม.	-	2,500	สูงเกิน 6 ม.
8	หินทรายขนาดใหญ่	ลบ.ม.	3,000	-	ขนาดตามสั่ง
9	ศิลาแลงขนาดใหญ่	ลบ.ม.	3,000	-	ขนาดตามสั่ง
	งานขุดค้น - ขุดแต่ง				
1	ขุดค้นหลุมขนาด 2 x 2 ม. ลึก 2.5 ม.	หลุม	-	45,000	รวมงานวิจัยและรายงาน
2	ขุดค้นหลุมขนาด 3 x 3 ม. ลึก 3.0 ม.	หลุม	-	121,500	รวมงานวิจัยและรายงาน
3	ขุดค้นหลุมขนาด 4 x 4 ม. ลึก 3.0 ม.	หลุม	-	216,000	รวมงานวิจัยและรายงาน
4	ขุดค้นหลุมขนาด 1 x 2 ม. ลึก 2.0 ม.	หลุม	-	18,000	TEST PIT

ตาราง ก.2 มาตรฐานประมาณราคากลาง งานอนุรักษ์โบราณสถานและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่โบราณสถาน กลุ่มงานอนุรักษ์โบราณสถาน ส่วนสงวนรักษาโบราณสถาน สำนักโบราณคดีและพิพิทธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร (ต่อ)

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรงงาน	หมายเหตุ
5	ขุดแต่งโบราณสถาน	ลบ.ม.	-	650	ซากโบราณสถานมาก
6	ขุดแต่งโบราณสถาน	ลบ.ม.	-	450	ซากโบราณสถานปานกลาง
7	ขุดแต่งโบราณสถาน	ลบ.ม.	-	350	ซากโบราณสถานน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.3 สถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน รวบรวมจากการก่อสร้างในปีพ.ศ. 2519 ถึง พ.ศ. 2522 และปีพ.ศ. 2527 ถึงพ.ศ. 2529 จากการสร้างอาคารทาวน์เฮาน์จำนวน 100 คูหา อาคารพักอาศัยจำนวน 6 หลัง และทดลองปฏิบัติของช่างอาชีพในแต่ละแขนงงาน โดยเลือกช่างฝีมืออายุ 25-45 ปี ลูกมืออายุ 18-25 ปี ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง โดยทำการเฉลี่ยผลงานทุก 6 วัน

	ลักษณะงาน		จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
1	งานดิน-การขนย้ายวัสดุทั่วไป					
	1	ขุดดินธรรมดา	1	2.2	$ม^3$	ดินร่วนปนทราย
	2	ขุดหลุมฐานรากขนาด 0.8-0.8-1.0	1	2.5	หลุม	ดินเหนียวปนทราย
	3	ขุดร่องฝังท่อระบายขนาด 0.6-0.6	1	8	ม	ดินร่วนปนทราย
	4	ถมดินระยะห่าง 12 เมตร	2	2.8	$ม^3$	คนหนึ่งตักใส่บุ้งกี๋
	5	ถมดินระยะห่าง 2-3 เมตร	1	3	$ม^3$	พร้อมเกลี่ยเสมอ
	6	โกยหินเบอร์ 2 จากรถลงข้างรถ	1	14	$ม^3$	
	7	โกยทรายจากรถลงข้างรถ	1	45	$ม^3$	
	8	ตักหินเบอร์ 2 จากพื้นขึ้นรถ	2	19	$ม^3$	ห่างกัน 12 เมตร
	9	รื้อทุบทิ้งตึกเก่า (เฉพาะกำแพง)	1	4	$ม^3$	ผนังอิฐหนา 10 ซม.
	10	ย่อยอิฐหักพร้อมกับเกลี่ยถม	1	2	$ม^3$	คนงานหญิง
	11	ยกอิฐมอญขึ้นที่สูง 3 เมตรมีทางลาด	1	150000	ก้อน	ใช้เข่งหาบ 2 ใบ
	12	ยกอิฐบล็อคขึ้นที่สูง 3 เมตรมีทางลาด	1	550	ก้อน	ใช้เข่งหาบ 2 ใบ
*	13	แบกทรายจากเรือมาเทกองพื้น 15 เมตร	5	25-30	$ม^3$	2 คนตัก 3 คนแบก
*	14	ย้ายอิฐมอญจากพื้นขึ้นที่สูง 30 เมตร	3	120000	ก้อน	มีปั้นจั่นช่วยงานตึกสูง
*	15	ย้ายเหล็กเส้นขึ้นวางที่สูง 42 เมตร	4	48-55	ตัน	มีปั้นจั่นช่วย
2	งานช่างปูน					
	1	ก่ออิฐมอญ 1/2 แผ่นอิฐ	1	8	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูน / ส่งอิฐ
	2	ก่ออิฐมอญ 1/2 แผ่นอิฐระยะสูง 3 ม.	1	4.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูน / ส่งอิฐ
	3	ก่ออิฐบล็อกหนา 7 ซม. (ไม่เซาะร่อง)	1	6.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูน / ส่งอิฐ
	4	ก่ออิฐ บปก โชว์แนว	1	3.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูน / ส่งอิฐ
	5	ก่ออิฐมอญโชว์แนว	1	5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูน / ส่งอิฐ

ตาราง ก.3 สถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน		จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
	6	ก่อกำแพงหิน หนา 30 ซม.	2	1.5	$ม^2$	1 คนก่อ 1 คนคัดหิน
	7	บุหินกาบผนัง	1	2.2	$ม^2$	มีผู้ช่วยคัด / จัดหิน
	8	ฉาบปูนผนัง	1	10	$ม^2$	
	9	ทำบัวผนัง	1	5	$ม^2$	บัวอย่างง่าย
	10	ฉาบปูน คาน 3 ด้าน 30x50x50 ซม.	1	0.9	ม	รวมจับเซี้ยมแต่งแนว
	11	ฉาบปูนเสา 4 ด้าน 30x30 ซม.	1	1	ม	รวมจับเซี้ยมแต่งแนว
	12	ฉาบปูนเสากลม เส้นผ่านศ.ก. 0.40 ม.	1	2	ม	
	13	บุกระเบื้องเคลือบผนัง 4 นิ้ว	1	2.2	$ม^2$	ไม่รวมฉาบรองพื้น
	14	ปูกระเบื้องโมเสก 2 นิ้ว	1	2.7	$ม^2$	รวมแต่งปูนทราย
	15	ทำผนังทรายล้าง	1	5	$ม^2$	ไม่รวมรองพื้น
	16	ทำผนังกรวดล้าง	1	4.8	$ม^2$	ไม่รวมรองพื้น
	17	ทำพื้นหินขัด (ไม่รวมขัด / ลงเงา)	2	18	$ม^2$	
	18	ทำหินขัดเสากลม เส้นผ่านศ.ก. 0.40 ม.	2	2	ม	ไม่รวมขัด
	19	ปูกระเบื้อง 8 นิ้ว-8นิ้ว	2	5.5	$ม^2$	ไม่รวมปรับระดับ
	20	ปูกระเบื้องหินขัดสำเร็จรูป 8 นิ้ว-8นิ้ว	2	5.5	$ม^2$	ไม่รวมปรับระดับ
	21	ปูพื้นหินอ่อน 30x50x1 ซม.	2	1.8	$ม^2$	รวมงานปรับระดับ
	22	เทพื้นปูนทรายหนา 5 ซม.	1	12	$ม^2$	
	23	เทพื้นคอนกรีตหนา 10 ซม.	1	10	$ม^2$	เฉลี่ยจากคน 3 คน
	24	เทคอนกรีตเสา 0.3x0.3x3.00	2	13	ม	
*	25	เทคอนกรีตคาน ระดับสูง 3 เมตร	3	1.5	$ม^3$	ส่งถังปูนโดยโยน
*	26	เทคอนกรีตพื้นหนา 14 ซม.ตึกสูง	8	150-180	$ม^2$	มีปั้นจั่นยกปูนให้
	27	ผสมคอนกรีตด้วยกะบะ	3	5	$ม^3$	
	28	ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม	4	22.5	$ม^3$	วัสดุผสมห่าง 3-6 เมตร
3	งานช่างไม้					
	1	ตั้งเสาไม้ 6 " x 4.00 ติดยึด	2	6.5	ตัน	
	2	ทำโครงหลังคาไม้	3	12	$ม^2$	ไม่รวมการมุงหลังคา
	3	มุงหลังคาสังกะสี	1	12	$ม^2$	

ตาราง ก.3 สถิติการทำงานของช่างก่อสร้างต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน		จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
	4	มุงหลังคากระเบื้องลอนคู่	1	10	$ม^2$	ความสูงเท่าบ้าน 2 ชั้น
	5	ตีระแนงไม้	1	2	$ม^2$	
	6	ตีฝาไม้ทับเกล็ด	1	6	$ม^2$	
	7	ตีฝาไม้บังใบ / เข้าลิ้น	1	3	$ม^2$	
	8	ตีฝาตั้งทับเกล็ด	1	4.5	$ม^2$	
	9	ไสไม้ฝา	1	80	$ม^2$	ไสด้านเดียว
	10	ไสไม้พื้น	1	42.5	$ม^2$	ไสด้านเดียว
	11	ปูพื้นไม้ตียึด	1	10	$ม^2$	
*	12	ปูพื้นไม้เข้าลิ้น	1	4	$ม^2$	
	13	ปูพื้นไม้ปาเก้	2	9	$ม^2$	
	14	วาง-ติดตั้ง-คาน ตงไม้	3	20	$ม^2$	ระดับพื้นมีผู้ช่วย 1 คน
*	15	ตีไม้ระแนงฝ้า	1	40	$ม^2$	2 " x 2" x 1.05 ม.
*	16	ทำลูกกรงไม้ (ใช้เครื่องกลึง)	1	20	อัน	ไม่รวมราว
*	17	ทำบันไดไม้ขนาดกว้าง 1.5 ม.	2	6	ขั้น	
*	18	ติดตั้งลูกกรงไม้-ราวไม้	1	1.5	ม	
	19	ติดตั้งวงกบขนาด 1.05-1.60	2	10	วง	ทำด้วยเครื่องจักร
*	20	ทำกรอบบานหน้าต่าง 0.80x1.05	1	5	บาน	ทำด้วยมือ
*	21	ทำประตูไม้ลูกฟัก 0.80x2.00	1	0.8	บาน	บานพับแบบวิสโก้
	22	ติดตั้งบานหน้าต่างขนาด 0.80x1.05	1	8	บาน	
	23	ติดตั้งบานประตูไม้-ลูกบิด 0.90x2.00	2	5	บาน	เคร่าห่าง 0.40-0.40
	24	ทำโครงและตีฝาไม้อัด 6 มม. 2 ด้าน	2	18	$ม^2$	เคร่าห่าง 0.40-0.40
	25	ทำโครงไม้ตีฝ้าเพดานกระเบื้อง 4 มม.	2	10	$ม^2$	บ้านพักอาศัย
*	26	ทำแบบหล่อคอนกรีตคาน-พร้อมติดตั้ง	2	10	$ม^2$	บ้านพักอาศัย
*	27	ทำแบบหล่อคอนกรีตพื้น-พร้อมติดตั้ง	2	8	$ม^2$	อาคาร 17 ชั้น
*	28	ทำแบบหล่อคอนกรีตฐานราก-พร้อมติดตั้ง	3	14	$ม^2$	

* สถิติปี พ.ศ. 2527 – พ.ศ. 2529

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลเบื้องต้นของโบราณสถานที่ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กุฏิฤาษีหนองบัวลาย

ก. ที่ตั้งของโบราณสถาน

ตั้งอยู่ในเขตหมู่ 7 บ้านหนองบัวลาย ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

พื้นที่โบราณสถานได้รับการประกาศขึ้นทะเบียนโบราณสถานในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 99 ตอนที่ 75 วันที่ 8 มีนาคม 2478 และประกาศขอบเขตโบราณสถานในราชกิจจานุเบก-ษา เล่ม 99 ตอนที่ 155 วันที่ 21 ตุลาคม 2525 เนื้อที่ 1 ไร่ 3 งาน 71 ตารางวา

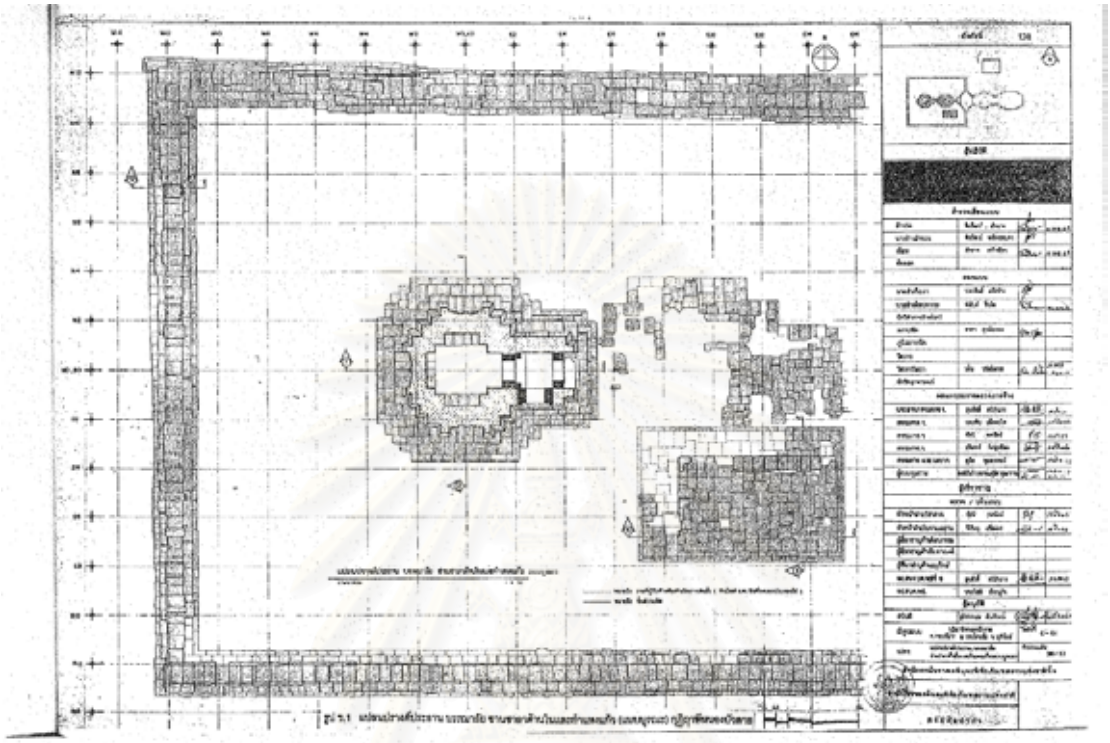
ข. ประวัติของโบราณสถาน

เป็นโบราณสถานที่สร้างขึ้นตามรูปแบบสถาปัตยกรรมเขมรในศิลปแบบบายน ตรงกับรัชกาลพระเจ้าชัยวรมันที่ 7 แห่งอาณาเขมร ในกลุ่มอาคารที่เรียกว่า อโรคยาศาล หรือโรงพยาบาล ซึ่งในประเทศไทยพบอาคารรูปแบบเดียวกันนี้หลายแห่ง เช่น กุฏิฤาษีบ้านโคกเมือง ปราสาทเมืองโต๊จ จังหวัดสุรินทร์ เป็นต้น

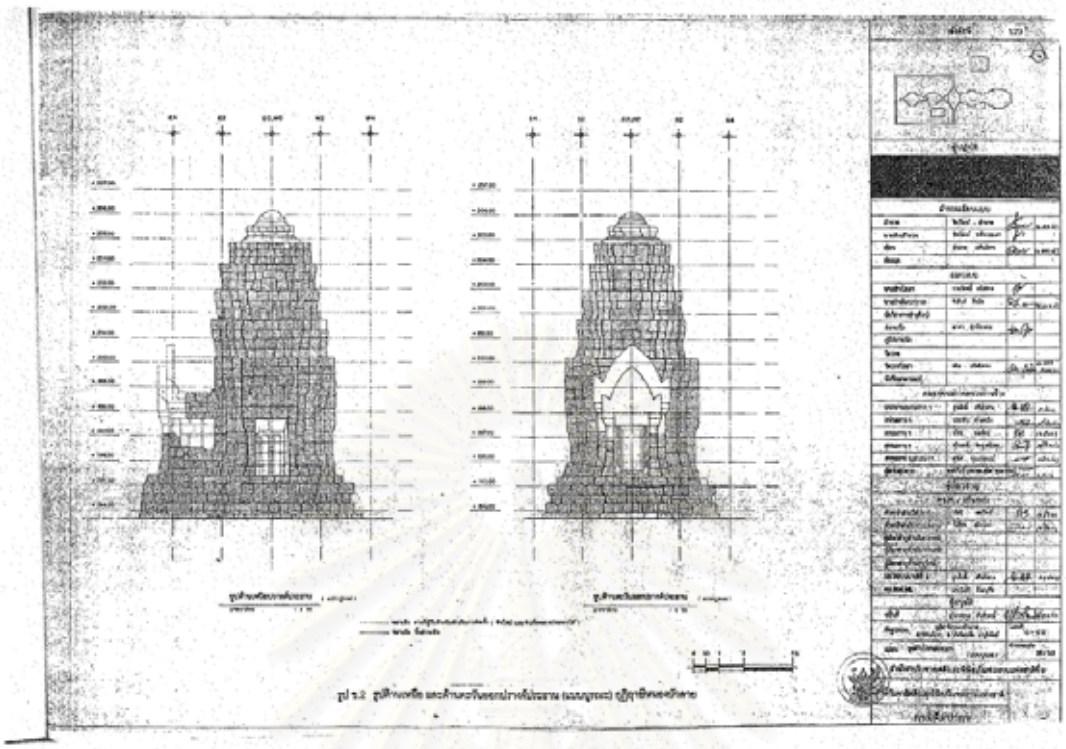
ค. ลักษณะของโบราณสถานและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

ปราสาทมีรูปแบบสถาปัตยกรรมตามแบบวัฒนธรรมเขมร ก่อสร้างด้วยศิลาแลงเป็นวัสดุหลัก อาคารมีแผนผังรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง ยาว 5x5 เมตร ความสูงของฐาน 1.10 เมตร เป็นชุดฐานบัวรองรับเรือนธาตุ หรือผนังซึ่งจำหลักเป็นประตูหลอก ส่วนประตูที่แท้จริงอยู่ทางทิศตะวันออก ซึ่งแผนผังมีลักษณะยื่นเป็นมุขทางเข้าออกไปด้านหน้า มีโครงสร้างหลังคาเป็นทรงปราสาท ซ้อนเป็นชั้นลดหลั่นขึ้นไป 5 ชั้น ส่วนยอดประดับด้วยบัวกลุ่ม ชั้นเชิงบาตรแต่ละชั้นประดับด้วยบันแถลงสลักภาพฤาษีเทพประจำทิศ

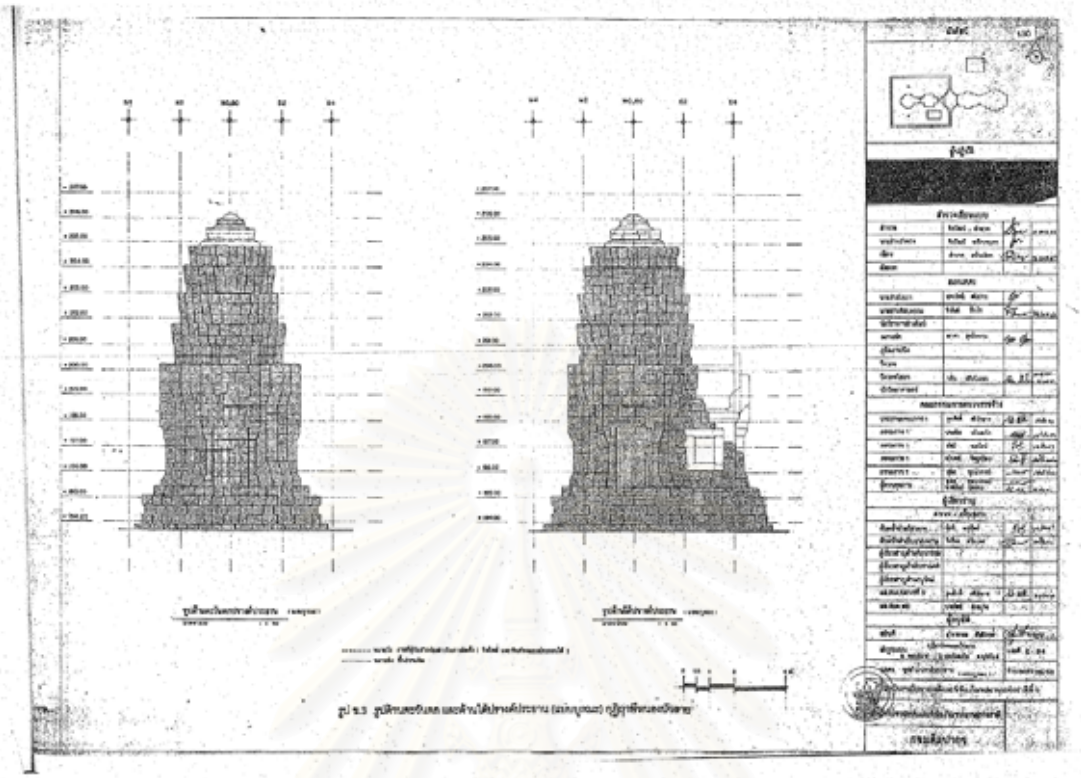
ง. แบบสันนิษฐานประกอบการวิเคราะห์



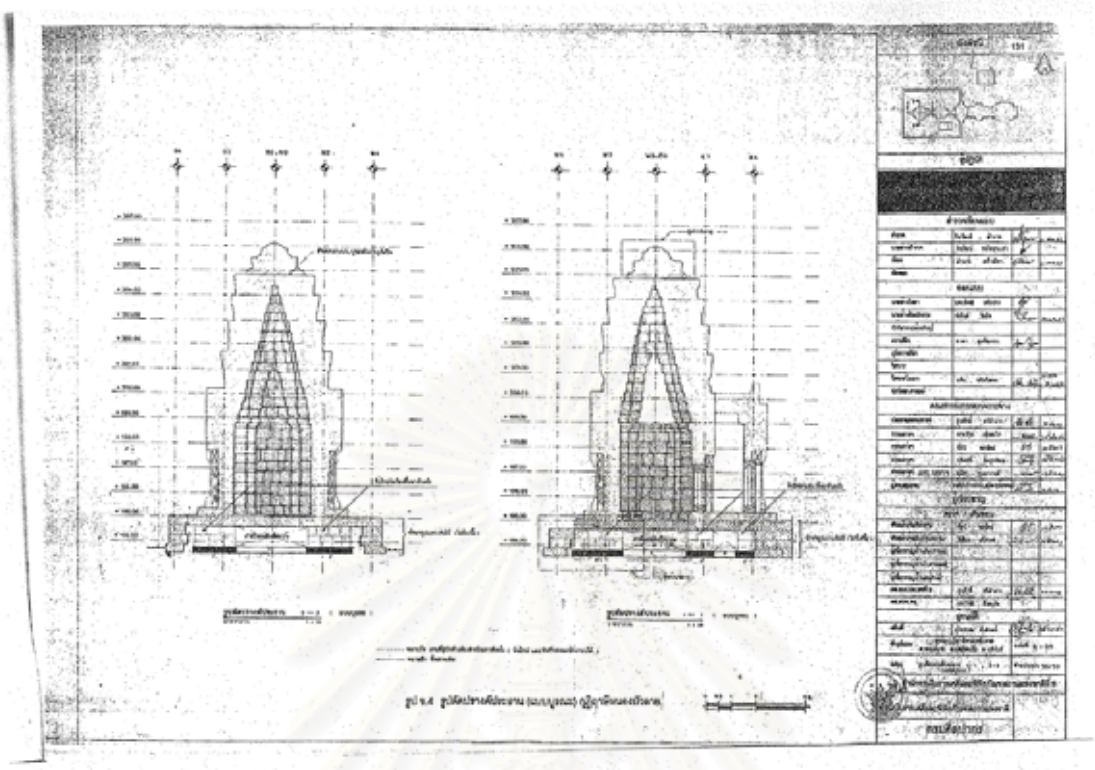
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เจดีย์ภูเขาทอง

ก. ที่ตั้งของโบราณสถาน

วัดภูเขาทอง ตั้งอยู่ในทุ่งทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะเมือง ที่ตำแหน่งพิกัด 47 PPR 663888 หรือประมาณ รุ้งที่ 14 องศา 22 ลิปดา ฟิลิปดาเหนือ และแวงที่ 100 องศา 32 ฟิลิปดา ตะวันออก

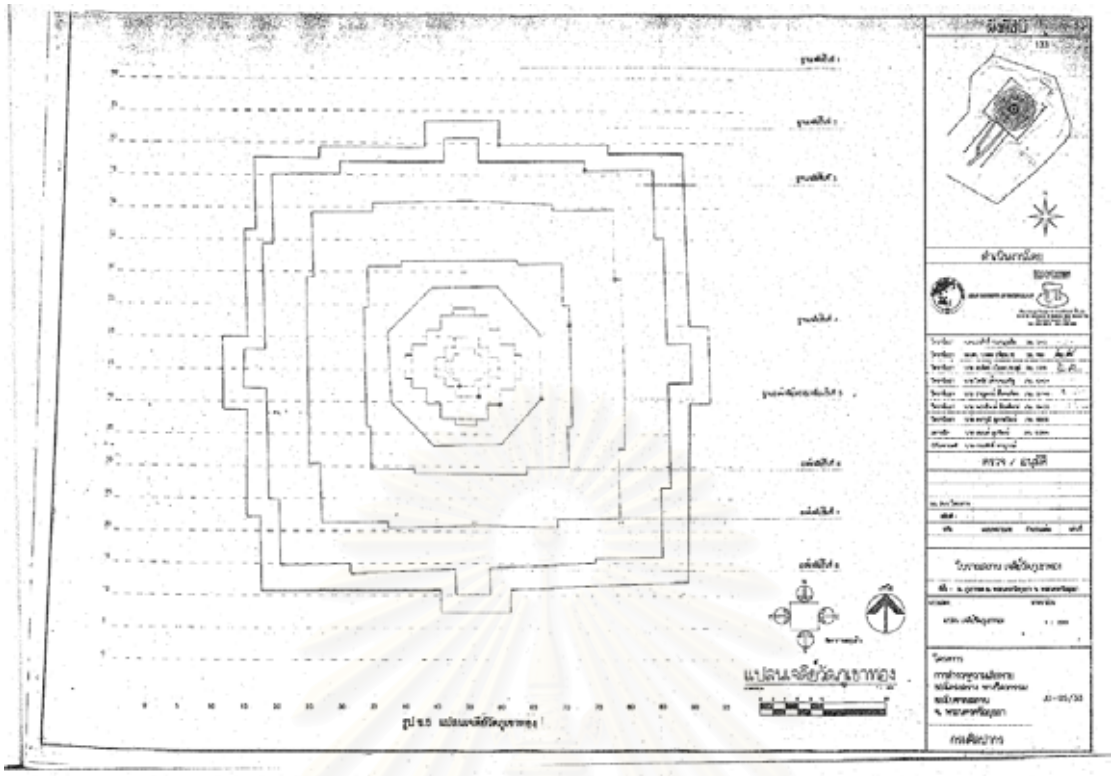
ข. ประวัติของโบราณสถาน

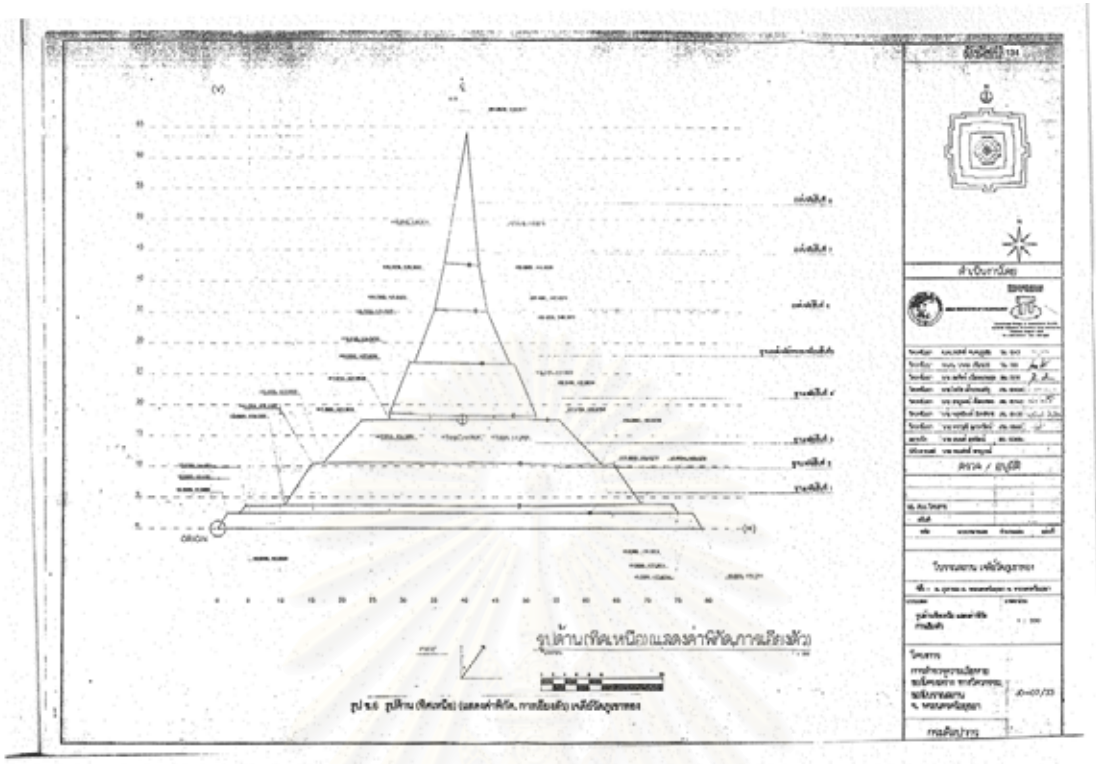
จากเอกสารทางประวัติศาสตร์ สรุปถึงประวัติศาสตร์การสร้างวัดและองค์พระเจดีย์ภูเขาทองได้ดังนี้ สมเด็จพระราเมศวรทรงสถาปนาวัดภูเขาทองขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 1930 แต่องค์พระเจดีย์ซึ่งเป็นหลักของวัดนั้นชั้นเดิม อาจเป็นได้ว่า สมเด็จพระราเมศวรสร้างไว้เพียงองค์ขนาดเล็ก ต่อมาเมื่อพระเจ้าหงสาวดีบุเรงนองมีชัยชนะเหนือกรุงศรีอยุธยาเมื่อ พ.ศ. 2112 จึงโปรดให้สร้างเจดีย์ทับเจดีย์เก่าของพระราเมศวรอีกชั้นหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2287 สมเด็จพระเจ้าบรมโกศโปรดให้ปฏิสังขรณ์องค์พระเจดีย์และพระอารามวัดภูเขาทอง 10 เดือนจึงแล้วเสร็จ ต่อจากนั้นยังไม่พบหลักฐานว่ามีพระมหากษัตริย์พระองค์ใดที่ครองกรุงศรีอยุธยาโปรดให้บูรณะปฏิสังขรณ์วัดหรือพระเจดีย์นี้อีกเลย ครั้นในราวปี พ.ศ. 2471 วัดนี้ได้ชำรุดทรุดโทรมมากจนไม่มีพระภิกษุพำนักอยู่เลยจึงกลายเป็นวัดร้างเรื่อยมา จนเมื่อปลายปี พ.ศ. 2499 ทางราชการได้บูรณะองค์พระเจดีย์ให้อยู่ในสภาพเดิม โดยต่อเติมปล้องไฉน ปลี และลูกแก้ว โดยเฉพาะลูกแก้วทำด้วยทองคำหนัก 2,500 กรัม

ค. ลักษณะของโบราณสถานและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

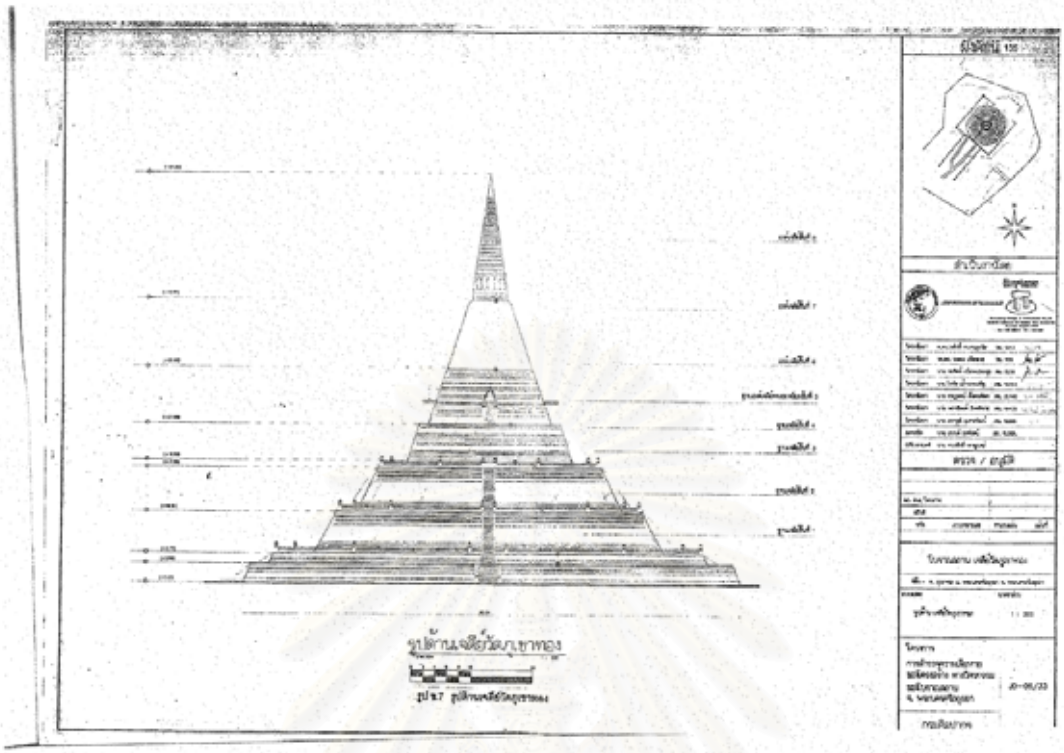
องค์เจดีย์เป็นเจดีย์ย่อมุมไม้สิบสองกว้างด้านละ 12 เมตร ตั้งบนฐานสี่เหลี่ยมกว้างประมาณ 80 เมตร สูงตั้งแต่พื้นดินจรดยอดประมาณ 64 เมตร ฐานเจดีย์กว้าง 75 เมตร องค์เจดีย์ใช้อิฐเป็นวัสดุในการก่อสร้างทั้งหมด ใช้เทคนิคการก่อเรียงอิฐ โดยมีปูนเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างอิฐ ผิวนอกของเจดีย์ประธานจะฉาบปูนตลอดทั้งองค์ บริเวณพื้นฐานของเจดีย์จะปูอิฐเรียงกันเป็นพื้น โดยไม่มีตัวเชื่อมประสาน อิฐที่ใช้ปูพื้นฐานเจดีย์นั้น มีความยาวประมาณ 30-32 เซนติเมตร กว้างประมาณ 15-16 เซนติเมตร หนาประมาณ 4-6 เซนติเมตร

ง. แบบสันนิษฐานประกอบการวิเคราะห์

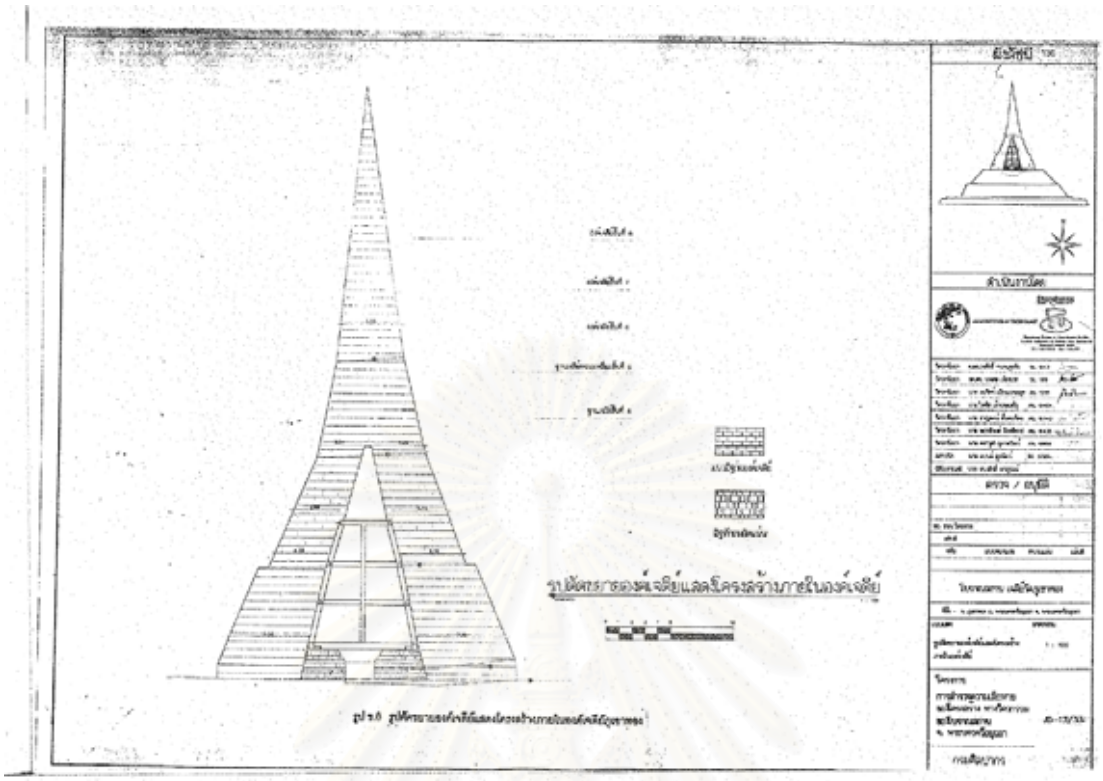

แปลนฐานชั้นล่าง
แปลนฐานชั้นบน
แปลนฐานชั้นที่ ๑
แปลนฐานชั้นที่ ๒
แปลนฐานชั้นที่ ๓
แปลนฐานชั้นที่ ๔
แปลนฐานชั้นที่ ๕
แปลนฐานชั้นที่ ๖
แปลนฐานชั้นที่ ๗
แปลนฐานชั้นที่ ๘
แปลนฐานชั้นที่ ๙
แปลนฐานชั้นที่ ๑๐
แปลนฐานชั้นที่ ๑๑
แปลนฐานชั้นที่ ๑๒
แปลนฐานชั้นที่ ๑๓
แปลนฐานชั้นที่ ๑๔
แปลนฐานชั้นที่ ๑๕
แปลนฐานชั้นที่ ๑๖
แปลนฐานชั้นที่ ๑๗
แปลนฐานชั้นที่ ๑๘
แปลนฐานชั้นที่ ๑๙
แปลนฐานชั้นที่ ๒๐
แปลนฐานชั้นที่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. พระอุโบสถ วัดกุฎีดาว

ก. ที่ตั้งของโบราณสถาน

วัดกุฎีดาวอยู่ในพื้นที่ตำบลไผ่ลิง อำเภอเมืองพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นอกเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา หรืออยู่ทางด้านทิศตะวันออกของสถานีรถไฟพระนครศรีอยุธยา มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ประมาณเส้นรุ้งที่ 14 องศา 21 ลิปดา 50 ฟิลิปดา และเส้นแวงที่ 100 องศา 35 ลิปดา 60 ฟิลิปดาตะวันออก

กรมศิลปากรประกาศขึ้นทะเบียนวัดกุฎีดาวเป็นโบราณสถานของชาติ โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 52 ตอนที่ 75 ลงวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ.2478 หน้า 3679-3731

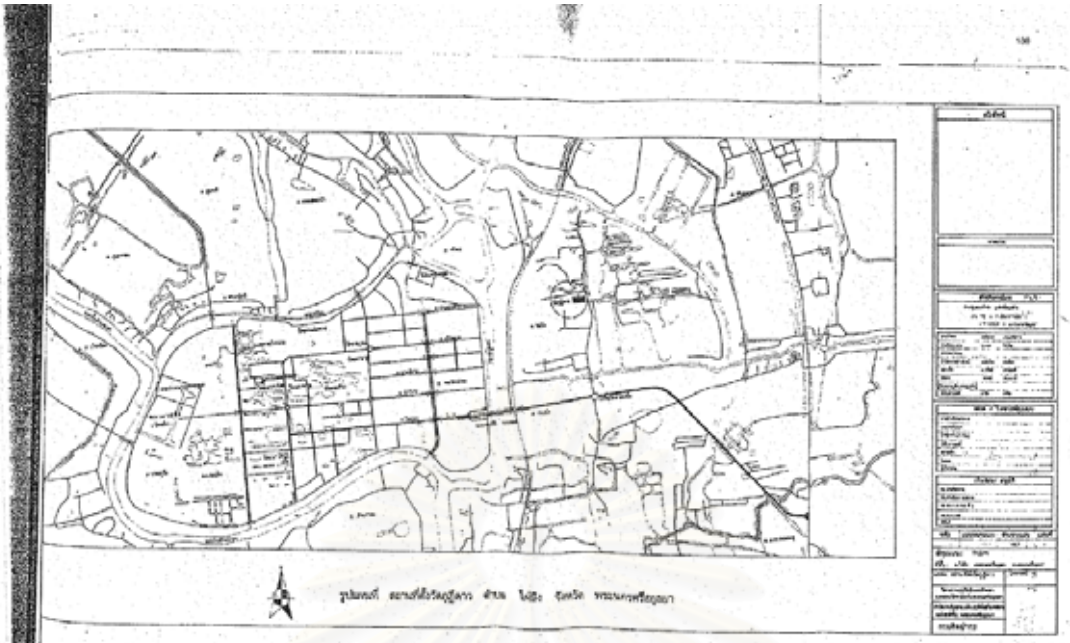
ข. ประวัติของโบราณสถาน

จากพงศาวดารฉบับต่างๆ สรุปได้ว่า วัดกุฎีดาวน่าจะเป็นวัดที่มีความสำคัญมากที่สุดวัดหนึ่งนอกเขตพระนครมาแต่โบราณ เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกันกับพระมหาอุปราชทั้งในด้านการบูรณะปฏิสังขรณ์และการออกผนวช นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับวัดมเหยงค์ ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากรูปแบบศิลปกรรมและเรื่องราวที่ปรากฏในเอกสารทางประวัติศาสตร์ ซึ่งกล่าวว่าได้มีการบูรณะปฏิสังขรณ์โดยพระมหากษัตริย์ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน คือ วัดกุฎีดาวได้รับการปฏิสังขรณ์ช่วงแผ่นดินพระเจ้าอยู่หัวท้ายสระ ระหว่างพ.ศ.2254-2258 โดยพระอนุชาของพระองค์ คือ กรมพระราชวังบวรสถานมงคล (วังหน้า) ซึ่งต่อมาได้ครองราชย์ทรงพระนามสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวบรมโกศ อันเป็นกษัตริย์ลำดับที่ 31 แห่งกรุงศรีอยุธยา ซึ่งพระราชพงศาวดารกรุงศรีอยุธยาทุกฉบับล้วนกล่าวตรงกัน

ค. ลักษณะของโบราณสถานและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

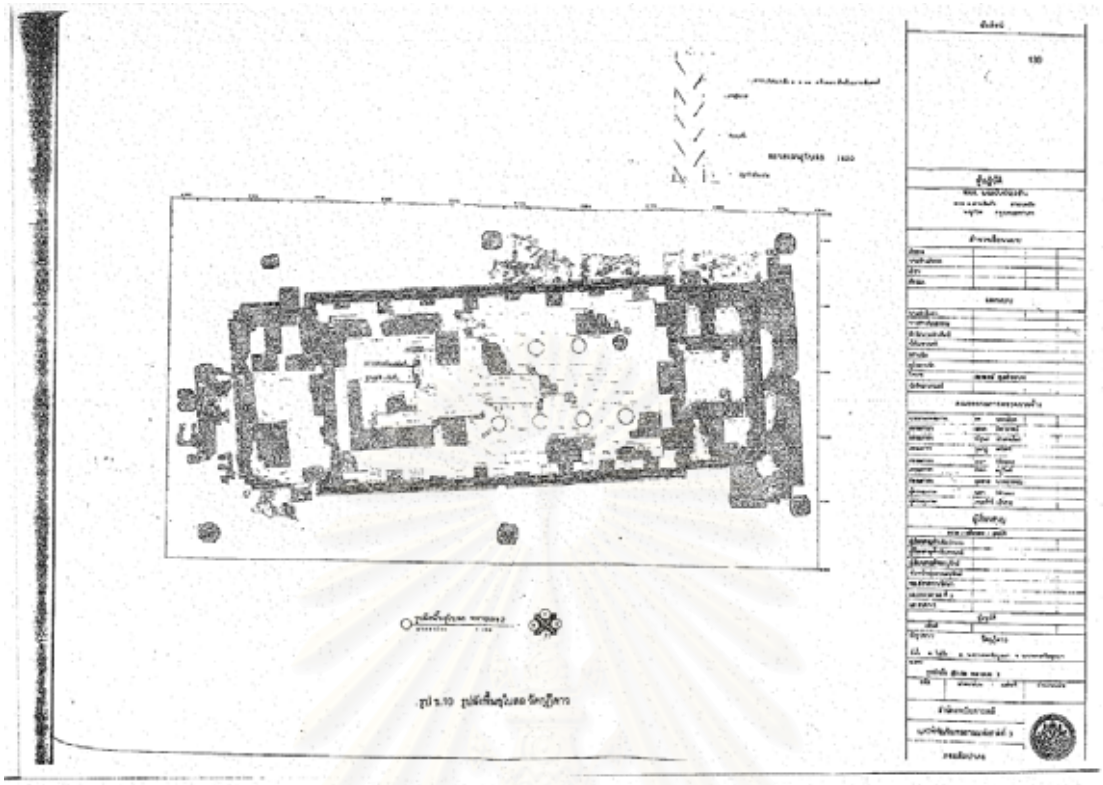
พระอุโบสถวัดกุฎีดาว มีลักษณะเป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูน ตัวอาคารตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันออก แผนผังของตัวอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดพระอุโบสถ แบ่งเป็นห้องเสาตามความยาว 8 ห้องเสา และกว้าง 3 ห้องเสา ห้องเสาละ 3.16 เมตร ห้องเสาแรกทางทิศตะวันออกและห้องเสาสุดท้ายทางทิศตะวันตก จะมีความกว้างมากที่สุด คือ 3.30 เมตร

ง. แบบสันนิษฐานประกอบการวิเคราะห์

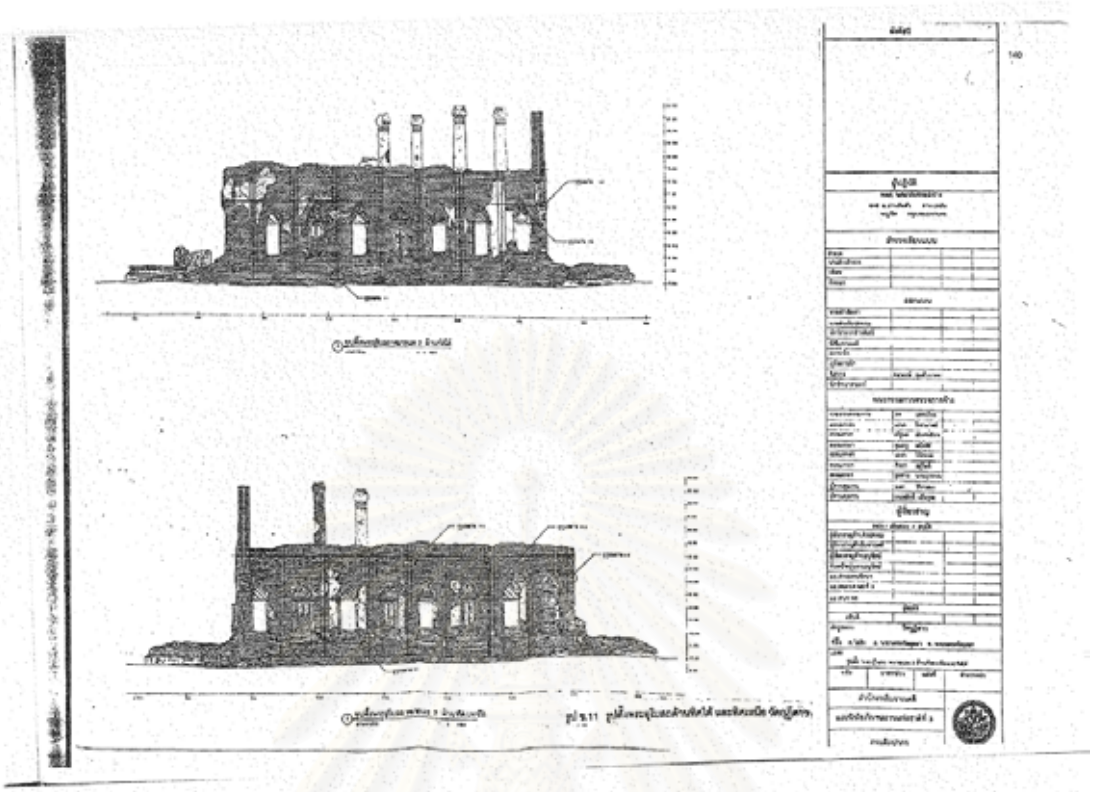


รูปที่ 3.2 รูปแบบผังที่ตั้งกรุงเทพ

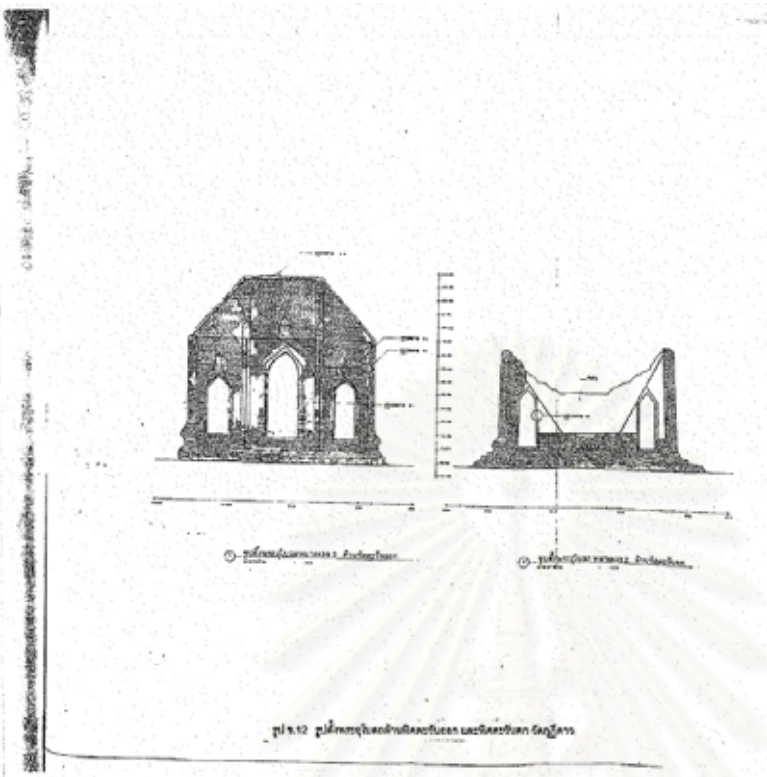
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



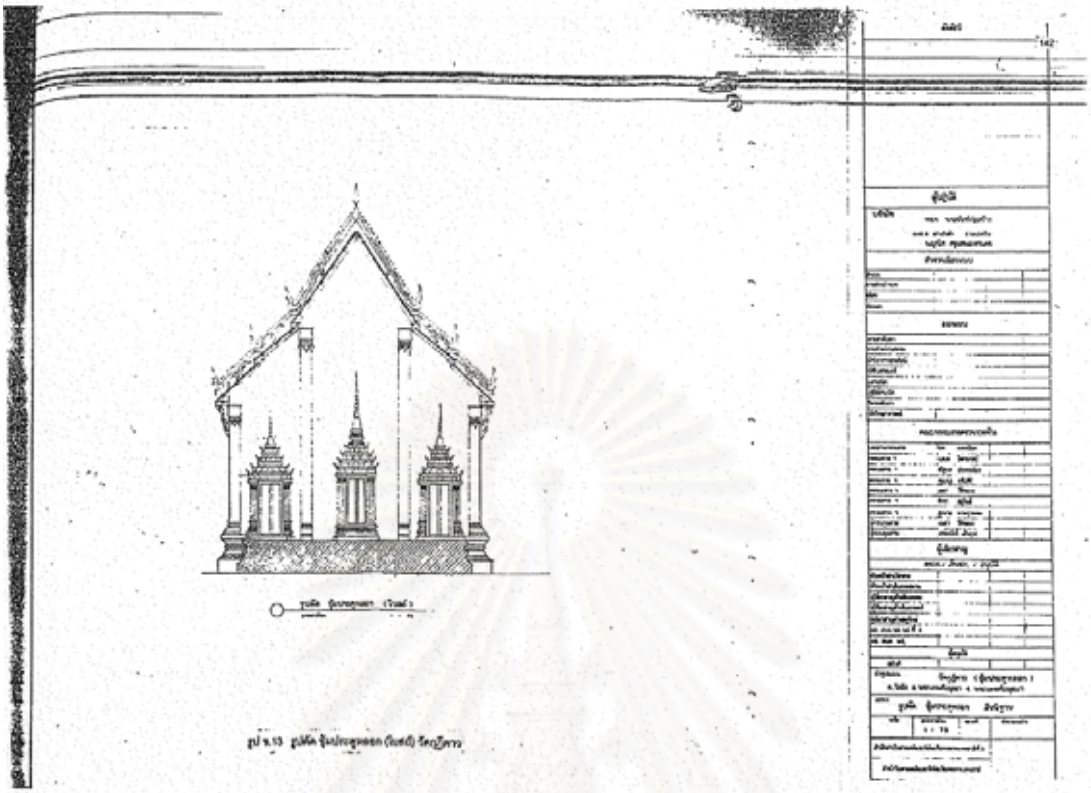
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายธีติ สัจจญาณ เกิดวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย