พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย

นางสาวพรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-53-1715-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF THAI ARCHAEOLOGICAL BUILDING CONSTRUCTION

Miss Pornthip Tangcharoensab

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1715-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย
โดย	นางสาวพรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ)

..... กรรมการ
(ดร. สุวิชญ์ รัศมิภูติ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์: พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย. (DEVELOPMENT OF THAI ARCHAEOLOGICAL BUILDING CONSTRUCTION) อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร, 198 หน้า. ISBN 974-53-1715-2.

ประเทศไทยมีประวัติศาสตร์ยาวนานหลายร้อยปี โบราณสถานที่สร้างขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ล้วนแสดงถึงระดับเทคโนโลยีการก่อสร้างในอดีตได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันโบราณสถานเหล่านี้ได้เสื่อมสภาพลง การบูรณปฏิสังขรณ์นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลด้านวิศวกรรมในการออกแบบเพื่อการบูรณะ ซึ่งปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาข้อมูลเหล่านี้ ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาโบราณสถานในเชิงวิศวกรรมโดยอ้างอิงถึงยุคสมัย ซึ่งจะมีประโยชน์ในการซ่อมแซมบูรณะโบราณสถานและงานด้านวิศวกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ โดยเฉพาะรายงานการขุดแต่งโบราณสถานของกรมศิลปากร และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาจัดเรียงตามลำดับเวลาการก่อสร้าง และการวิเคราะห์ส่วนของโครงสร้างฐานราก โครงสร้างตัวอาคาร และโครงสร้างหลังคา แล้วจึงนำมาวิเคราะห์พัฒนาการของแต่ละส่วนโครงสร้าง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างฐานรากมีการบดอัดชั้นดินเพื่อรับน้ำหนักตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย และมีการก่อฐานแผ่รับน้ำหนักซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ต่อมาจนสมัยรัตนโกสินทร์ นอกจากนี้โครงสร้างฐานรากในสมัยรัตนโกสินทร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้ไม้ซุงวางเป็นตารางในฐานแผ่ การใช้โอ่งในการทำฐานราก รวมไปถึงการใช้เข็มไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นฐานรากลึกด้วย

โครงสร้างหลักของอาคารประเภทเจดีย์ ป้อม ประตูเมือง พบว่ามีการใช้ระบบผนังรับน้ำหนักตั้งแต่ก่อนสุโขทัยและใช้ต่อเนื่องมาจนถึงสมัยรัตนโกสินทร์ ส่วนในอาคารประเภทโบสถ์วิหารสมัยก่อนสุโขทัยใช้ระบบผสม ต่อมาสมัยสุโขทัยจึงใช้ระบบเสา-คาน และในสมัยรัชกาลที่ 5 ได้มีการใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเสา-คาน ส่วนโครงสร้างหลังคาพบว่ามีการใช้โครงสร้างระบบก่อเหลื่อมมาตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย และใช้โครงสร้างหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุซึ่งใช้ต่อเนื่องมาจนสมัยอยุธยา โดยในสมัยอยุธยาได้ใช้ร่วมกับระบบจันทันด้วย ในสมัยรัตนโกสินทร์มีการใช้โครงสร้างเหล็กและคอนกรีตเสริมเหล็กในการก่อสร้างโครงหลังคา รวมทั้งระบบโครงถักด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา บริหารการก่อสร้าง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

457034821 : MAJOR CONSTRUCTION MANAGEMENT
KEY WORD : ARCHAEOLOGY STRUCTURE / ANCIENT FOUNDATION / ANCIENT ROOF

PORNTHIP TANGCHAROENSAB: DEVELOPMENT OF THAI ARCHAEOLOGICAL BUIILDING CONSTRUCTION. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. VISUTH CHOVICHIEN, Ph.D. 198 pp. ISBN 974-53-1715-2.

Thailand has a history spanning over several hundred years. Several ancient buildings display the construction technology in their corresponding times. At present, those buildings were deteriorated by time, and the restoration process needs the input regarding their construction history. These data are not readily available at the present time, resulting in the need for this research aiming to study the construction of the ancient buildings.

There are two steps in this study: first, collecting the primary data and secondary data from data sources, especially from the exploration and restoration reports done by Fine Arts Department; secondly, organizing data by construction period and analysis of the structures: the foundation, main structure and roof structure. From the research it was found that site preparation and soil improvement were done since pre-Sukhothai period. Before Rattanakosin period all foundation structures are spread foundations. Development of foundation structures after Rattanakosin period includes using wooden grid and terra-cotta water vessels as part of the foundation, wood driven piles and reinforced concrete bored piles.

The wall bearing system was continuously used as main structure from pre-Sukhothai period until Rattanakosin period, particularly for pagodas, fortresses and city gates. The mixed system (post and lintel system and wall bearing system) was used for Bot and Wihan since pre-Sukhothai period. The post and lintel system has been used from Sukhothai period until now and reinforced concrete was first used as columns and beams in King Rama V period. Some of the roof structures in pre-Sukhothai period were corbelled arch and gable with short posts. They have been continuously used until Ayutthaya period when they were mixed with rafters in the gable. The steel structure, reinforced concrete structure and truss were used after King Rama V period.

Department Civil Engineering Student's signature……..……..

Field of Study Civil Engineering Advisor's signature…….……

Academic Year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ดูแลและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ช่วยแนะแนวทางแก้ไขปัญหารวมทั้งให้กำลังใจในการทำงาน และขอกราบขอบพระคุณท่าน ดร.สุวิชญ์ รัศมิภูติ ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำ ตรวจทานและขัดเกลาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยมีความสำนึกในพระคุณของคณาจารย์ทุกท่าน และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ บิดามารดาของผู้วิจัย ที่ได้ให้กำลังใจและส่งเสริมผู้วิจัยในด้านการศึกษาตลอดมา รวมทั้งญาติพี่น้อง และเพื่อนพ้องของผู้ทำวิจัย ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 รูปแบบโครงสร้าง..... 5

2.2 เทคนิคการก่อสร้าง..... 8

2.3 วัสดุก่อสร้าง..... 12

3. ภาพรวมของการก่อสร้างโบราณสถานไทย..... 14

3.1 สมัยก่อนสุโขทัย..... 17

3.2 สมัยสุโขทัย..... 18

3.3 สมัยล้านนา..... 22

3.4 สมัยกรุงศรีอยุธยา..... 24

3.5 สมัยรัตนโกสินทร์..... 25

บทที่ หน้า

4. พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย..... 28

4.1 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย..... 28

4.2 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย..... 37

4.3 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยล้านนา..... 43

4.4 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยกรุงศรีอยุธยา..... 47

4.5 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์..... 53

4.6 วิเคราะห์โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย..... 61

4.7 สรุปพัฒนาการของโครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย..... 66

5. พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย..... 71

5.1 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย..... 71

5.2 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย..... 80

5.3 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยล้านนา..... 89

5.4 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยกรุงศรีอยุธยา..... 94

5.5 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์..... 106

5.6 วิเคราะห์โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย..... 114

5.7 สรุปพัฒนาการของโครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย..... 117

6. พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย..... 120

6.1 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย..... 120

6.2 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย..... 123

6.3 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยล้านนา..... 130

6.4 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยกรุงศรีอยุธยา..... 131

6.5 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์..... 135

6.6 วิเคราะห์โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย..... 140

6.7 สรุปพัฒนาการของโครงสร้างหลังคาของโบราณสถานไทย..... 143

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 147

บทที่ หน้า

7.1 สรุปผลการวิจัย..... 147

7.2 ข้อเสนอแนะ..... 153

รายการอ้างอิง..... 155

บรรณานุกรม..... 166

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก..... 168

ภาคผนวก ข..... 188

ภาคผนวก ค..... 196

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 198

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 โบราณสถานที่ใช้ในการวิเคราะห์พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย..... 14

4.1 ขนาดของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานในสมัยก่อนสุโขทัย..... 31

4.2 ขนาดของศิลาแลงที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานศรีมโหสถ..... 34

4.3 ขนาดของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานในสมัยสุโขทัย..... 39

4.4 การเปรียบเทียบขนาดอิฐจากการวิจัยและแหล่งข้อมูลอื่น 51

4.5 สรุปพัฒนาการรูปแบบฐานราก..... 68

4.6 สรุปพัฒนาการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน..... 69

4.7 สรุปพัฒนาการของขนาดอิฐที่ใช้ในการก่อสร้าง..... 70

5.1 ขนาดตะปูจีนที่พบในโบราณสถานต่างๆ..... 103

5.2 สรุปรูปแบบโครงสร้างอาคารประเภทที่ไม่ใช้พื้นที่ภายในอาคาร (เจดีย์ ป้อม ประตูเมือง) ในแต่ละยุคสมัย..... 118

5.3 สรุปรูปแบบโครงสร้างอาคารประเภทที่ใช้พื้นที่ภายในอาคาร (วิหาร อุโบสถ ตำหนัก พระราชวัง) ในแต่ละยุคสมัย..... 118

5.4 สรุปรูปแบบช่องเปิดของอาคารในแต่ละยุคสมัย..... 119

6.1 สรุปพัฒนาการของโครงสร้างหลังคาประเภทอาคารที่ใช้สอยพื้นที่ภายใน..... 145

ภาคผนวก ข

ข.1 ขนาดของฐานรากแผ่ที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสมัยก่อนสุโขทัย..... 189

ข.2 ขนาดของฐานรากแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสมัยก่อนสุโขทัย..... 190

ข.3 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยก่อนสุโขทัย..... 191

ข.4 ขนาดของฐานรากแผ่ที่ก่อวัสดุก่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสมัยสุโขทัย..... 191

ข.5 ขนาดของฐานรากแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสมัยสุโขทัย..... 192

ข.6 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยสุโขทัย..... 192

ข.7 ขนาดของศิลาแลงที่ใช้ก่อฐานรากแผ่ในสมัยสุโขทัย..... 193

ข.8 ขนาดของตัวอย่างฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในสมัยล้านนา..... 193

ข.9 ขนาดของตัวอย่างฐานรากแผ่ที่ก่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในสมัยล้านนา..... 193

ตารางที่ หน้า

ข.10 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากในสมัยล้านนา..... 194

ข.11 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยกรุงศรีอยุธยา..... 195

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	องค์ประกอบของโครงหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุ.....	21
4.1	ผังฐานแผ่แบบเอ็นอิฐก่อรูปรัศมี (รูปแบบสันนิษฐาน)……..	48
4.2	ผังฐานเอ็นอิฐก่อเป็นรัศมีแบบสี่เหลี่ยม (รูปแบบสันนิษฐาน). ……..……..	49
4.3	ผังฐานอาคารแบบเอ็นอิฐก่อรูปกากบาท (รูปแบบสันนิษฐาน) ……..…….	49
4.4	ผังฐานอาคารแบบขั้นบันไดและผังฐานพระตำหนักท้ายพิกุล (รูปแบบสันนิษฐาน).	50
4.5	ฐานแพท่อนซุง……...	54
4.6	ฐานรากแบบถมโปร่งโดยใช้โอ่งดินเผา……..…	55
4.7	“การทำรากตึกอย่างดี” [95]……..……	57
4.8	“การทำรากตึกอย่างกลาง” [95]……..……..	57
4.9	“การทำรากตึกอย่างเลว” [95]……..…….	58
4.10	การก่อสร้างฐานรากพระที่นั่งอนันตสมาคม [88]……..	59
5.1	ประตูปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญใช้หินทรายในการก่อสร้าง[25]……	73
5.2	ร่องรอยการสกัดหินเป็นร่องรูปตัว T และการใช้เหล็กรูปตัว I ในการก่อศิลาแลง [26]……	74
5.3	การใช้เหล็กรูปปลิงเชื่อมศิลาแลง [35]……..……...	74
5.4	รูเจาะบนศิลาแลง เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายหิน……..……	75
5.5	การเข้ากรอบประตูแบบแผ่นหินที่ปราสาทภูมิโพน[26]……....	76
5.6	การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 3 แนวที่ปราสาทยายเหงา [26]……..	76
5.7	การเข้าเดือยกรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ [25]..	77
5.8	การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทบ้านไพล [26]……...	77
5.9	การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทเมืองต่ำ [25]……	77
5.10	การก่อผนังศิลาบนคานทับหลังและถ่ายแรงโครงสร้างส่วนบนลงสู่เสา [96]……	78
5.11	การก่อผนังอิฐบนคานทับหลัง [20]……	78
5.12	รูเต้าบนหัวเสาศิลาแลงสำหรับเสียบคานไม้…….....	81
5.13	ตำแหน่งของเสานางเรียง และเสาพาไลในอาคารสถาปัตยกรรมไทย……..	82
5.14	ช่องเปิดแบบลูกมะหวดในอาคารสมัยสุโขทัย……...	83

รูปที่		หน้า
5.15	การเจาะช่องเปิดตลอดผนังอาคารวิหารวัดศรีสวาย จังหวัดสุโขทัย…….……...	83
5.16	ช่องเปิดแบบสันเหลื่อมที่ประตูทางเข้ามณฑปวัดศรีชุม…….……..	84
5.17	ช่องเปิดแบบสันเหลื่อมที่ทางเข้าวัดพระพายหลวง……	85
5.18	ช่องเปิดทางเข้าศาลตาผาแดง(ถ่ายจากภายใน) ……..	85
5.19	การก่อซุ้มประดับ ไม่ได้รับน้ำหนักของโครงสร้างอื่น……..……..……	86
5.20	เสาเขียงศิลาแลง เปรียบเทียบขนาดกับกระดาษขนาด 21 x 29.7 เซนติเมตร…….	87
5.21	เสาเขียงและร่องรอยการสอปูนและฉาบปูน (ภาพปัจจุบัน) ……..…..	87
5.22	ตะปูที่ใช้ในการยึดตรึงไม้ ในสมัยสุโขทัย…….……..	89
5.23	อาคารโถงในสมัยล้านนา [46]……..	90
5.24	โค้งอุโมงค์เจดีย์เจ็ดยอด วัดเจดีย์เจ็ดยอดจังหวัดเชียงใหม่ [9]……	91
5.25	ประตูโขงวัดพระธาตุลำปางหลวง [9]……	91
5.26	การก่อโค้งเป็นซุ้มจระนัมของเจดีย์หลวง วัดเจดีย์หลวง จังหวัดเชียงใหม่ [9]……..	92
5.27	เหล็กยึดรูปก้ามปู (ปลิงเหล็ก) ที่ใช้ในการยึดโครงสร้าง[47]……	94
5.28	โครงอิฐก่อรูปกากบาทภายในเจดีย์วัดมหาธาตุ (ขณะทำการบูรณะ)……..….	95
5.29	การใช้ไม้ยันโครงสร้างเจดีย์วัดจงกลม [64]……..……	96
5.30	เสาอิงของอาคาร……	97
5.31	ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีเสาร่วมนอก…….……..	97
5.32	ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีเสาร่วมใน…….…….	98
5.33	ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีทั้งเสาร่วมนอกและเสาร่วมใน…….……	98
5.34	ผังเสารับน้ำหนักโครงสร้างหลังคาแบบ 4 แถว…….……	99
5.35	ซุ้มโค้งที่อุโบสถวัดไลย์ [57]…….……	100
5.36	ร่องรอยคานไม้เหนือช่องเปิด [57]……	101
5.37	ช่องโค้งแหลมที่พระตำหนักวัดกุฎีดาว [57]……..	102
5.38	ลักษณะการเรียงอิฐเป็นเสารูปแปดเหลี่ยม……..….	104
5.39	การเข้าไม้แบบปากกบ……..	106
5.40	การใช้ท่อนซุงเป็นแกนองค์เจดีย์และใช้โซ่รัดรอบองค์เจดีย์……..	107
5.41	สะพานปรีดาธำรง สะพานคอนกรีตอัดแรงแห่งแรกของประเทศไทย [103]…….	109
5.42	โค้งต่อเนื่องในสมัยรัตนโกสินทร์[75]……..……..	110

รูปที่		หน้า
5.43	การก่อเรียงอิฐระหว่างแผ่นผนังที่มาชนกันเป็นมุมฉากในระบบ English Bond.....	113
5.44	การก่อเรียงอิฐระหว่างแผ่นผนังที่มาชนกันเป็นมุมฉากในระบบ Flemish Bond.....	113
6.1	ระยะเหลื่อมของการก่ออิฐแบบ Corbelling.....	121
6.2	กระเบื้องกาบกล้วยที่ใช้ในสมัยสุโขทัย[104].....	122
6.3	กระเบื้องหางมนที่ใช้ในสมัยสุโขทัย [104].....	122
6.4	การลดชั้นและซ้อนชั้นหลังคาในสมัยสุโขทัย [85].....	124
6.5	รูเจาะบนเสาศิลาแลงเพื่อรับองค์ประกอบโครงหลังคาที่วิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85].....	124
6.6	รูปตัดโครงหลังคาด้านหน้าจั่วของวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85].....	125
6.7	รูปตัดโครงหลังคาด้านข้างของวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85].....	125
6.8	รูปสันนิษฐานด้านหน้าวิหารรูปที่วิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85].....	126
6.9	รูปสันนิษฐานด้านข้างวิหารรูปที่วิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85].....	126
6.10	โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนผนัง [85].....	127
6.11	โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนเสาประธาน [85].....	128
6.12	โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีไม้ยึดโครง [85].....	128
6.13	โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีจันทันต่อรับแปเสริม[85].....	129
6.14	กระเบื้องดินขอในสมัยสุโขทัย [104].....	130
6.15	การเข้าไม้วิหารจามเทวี วัดปงยางคก [46].....	131
6.16	โครงหลังคาเครื่องประดุที่วัดกุฎีดาว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [105].....	132
6.17	โครงหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุผสมจันทัน [85].....	133
6.18	การก่อผนังด้านหุ้มกลองไปรับน้ำหนักอกไก่[57].....	133
6.19	การมุงกระเบื้องกาบกล้วยหรือกระเบื้องกาบู [104].....	134
6.20	การมุงกระเบื้องดินขอ [104].....	134
6.21	โครงสร้างหลังคาระบบใช้จันทัน[74].....	135
6.22	โครงสร้างหลังคาระบบจันทันแบบมีไม้ค้ำยัน [74].....	136
6.23	โครงสร้างระบบผสมโดยวางเสาตุ๊กตาและวางแปแบบที่ 1.....	137
6.24	โครงสร้างระบบผสมโดยวางเสาตุ๊กตาและวางแปแบบที่ 2.....	137
6.25	โครงถักที่อุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ[78].....	138

รูปที่ หน้า

6.26 โครงหลังคาทรงโดมที่หอชัชวาลเวียงชัย[75]..... 138

6.27 การถ่ายน้ำหนักของโครงจั่วแบบมีเสาตุ๊กตา..... 141

6.28 การถ่ายน้ำหนักของโครงจั่วแบบมีจันทัน..... 142

ภาคผนวก ก

ก.1 ฐานรากแบบง่วและกงพัด..... 169

ก.2 กระเบื้องไม้..... 170

ก.3 กระเบื้องว่าว..... 170

ก.4 กลอนขอ..... 171

ก.5 กระเบื้องกาบู..... 172

ก.6 แกงแนง..... 173

ก.7 ซุ้มประตูวัดพระเชตุพน อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย..... 178

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทย เป็นประเทศที่มีประวัติศาสตร์อันยาวนาน ได้มีการเปลี่ยนแปลงการปกครองมาหลายยุคสมัย และในแต่ละยุคสมัยก็ได้มีการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม สถาปัตยกรรม และสิ่งก่อสร้างซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงสภาพสังคมวัฒนธรรมของยุคสมัยนั้นๆ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความรู้ ความสามารถ และภูมิปัญญาในงานด้านต่างๆ ของคนไทยในสมัยนั้นได้อีกด้วย โดยเฉพาะในส่วนของงานก่อสร้างโบราณสถานซึ่งมีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ และยังมีหลักฐานให้เห็นกันจนถึงทุกวันนี้ โบราณสถานเป็นอาคารที่มีรูปแบบเป็นงานสถาปัตยกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรมของชุมชนในยุคสมัยนั้นๆ โดยการก่อสร้างโบราณสถานเหล่านี้มีพัฒนาการซึ่งอาจเกิดจากประสบการณ์ของช่าง และจากการได้รับอิทธิพลจากภายนอก นอกจากนี้การก่อสร้างโบราณสถานยังแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในหลักการทางวิศวกรรมของคนไทยในแต่ละยุคสมัย ดังที่ รศ. โชติ กัลยาณมิตร [1] ได้เคยกล่าวไว้ว่า

“การรู้ถึงระบบวิธีการทางเทคโนโลยีการก่อสร้าง ได้มีส่วนให้ความรู้ประกอบการศึกษาด้านสังคมศาสตร์เป็นอย่างมาก เพราะจะทำให้เราได้รู้ถึงระดับความสามารถทางเทคโนโลยีที่มีมาพร้อมกับความเจริญของชาติบ้านเมืองในแต่ละยุคแต่ละสมัย ทำให้ทราบถึงสภาพเศรษฐกิจของสังคม ทำให้ทราบถึงความรู้หรือความคิดในการแก้ปัญหาทางธรรมชาติ และความสามารถดัดแปลง วัสดุทางธรรมชาติให้เป็นคุณประโยชน์ในการดำรงชีพและวัฒนธรรม หรือทำให้ทราบถึงระดับปัญญาในการคิดประดิษฐ์ในทางสร้างสรรค์ ฯลฯ”

โบราณสถานที่อยู่มาจนถึงปัจจุบันนี้มักมีปัญหาในด้านขาดความมั่นคงทางโครงสร้าง เพราะได้ผ่านสภาพดินฟ้าอากาศ การขุดทำลาย หรือแม้กระทั่งการใช้สอยตัวอาคาร ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้ความพยายามที่จะอนุรักษ์ บูรณะซ่อมแซมโบราณสถาน โดยการบูรณะโบราณสถานนั้นจะต้องมีการศึกษาโครงสร้างทางวิศวกรรมควบคู่ไปกับการศึกษาทางสถาปัตยกรรม [2] ซึ่งวิศวกรควรจะมีความรู้เกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างโบราณสถานเป็นอย่างดี เพราะไม่เช่นนั้นแล้ว อาจจะมีผลทำให้บูรณะโบราณสถานผิดรูปแบบ และอาจทำลายคุณค่าทางสถาปัตยกรรม ศิลปกรรม และประวัติศาสตร์ของโบราณสถานได้ จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าเรื่องของโบราณสถานเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมและวิศวกรควรจะมีความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างโบราณสถานเป็นอย่างยิ่ง

การขาดความรู้ในการซ่อมแซมโบราณสถานนั้น มีผลเสียให้เห็นดังตัวอย่างขององค์เจดีย์ประธานวัดภูเขาทอง อำเภอพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นเจดีย์ขนาดใหญ่มีมาแต่สมัยอยุธยา ซึ่งจากหลักฐานภาพถ่ายเมื่อสมัยรัชกาลที่ 5 องค์เจดีย์ภูเขาทองนี้ยังตั้งตรงอยู่ [3] และใน พ.ศ. 2499 จอมพล ป. พิบูลสงคราม ได้บูรณะเจดีย์ภูเขาทองนี้โดยมีการต่อเติมเครื่องยอด ก่ออิฐเป็นผนังหนา 1 เมตร สูง 2 เมตร รอบห้องภายในองค์เจดีย์ เทคอนกรีตรอบองค์เจดีย์และฐานประทักษิณและยังเทพื้นคอนกรีตทับบนฐานประทักษิณด้วย หลังจากการบูรณะเพียง 1 ปี คือพ.ศ. 2501 ก็ปรากฏว่าเจดีย์ทรุดเอียง ซึ่งพิจารณาได้ว่าในการบูรณะในปี พ.ศ. 2499 นั้นได้เพิ่มน้ำหนักในส่วนขององค์ระฆังของเจดีย์มากขึ้น แต่กลับไม่มีการเสริมความมั่นคงของฐานราก ซึ่งเป็นฐานกลวง จึงเป็นผลให้เกิดการทรุดตัวของฐานราก และทำให้องค์ภูเขาทองเอียงตามมา ซึ่งปัจจุบันได้รับการบูรณะจนมีสภาพที่ดีขึ้นแล้ว

นอกจากเรื่องของโครงสร้างแล้ว วัสดุก็เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการบูรณะโบราณสถาน เพราะโบราณสถานแต่ละแห่งย่อมมีการใช้วัสดุแตกต่างออกไป หรือแม้แต่ในโบราณสถานเดียวกัน ก็มีการใช้วัสดุหลายๆ อย่างร่วมกัน ซึ่งการบูรณะบางครั้งพบว่าการพังทลาย เสื่อมสภาพของโบราณสถาน มีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของวัสดุ ซึ่งก็เป็นผลมาจากเทคนิคการก่อสร้าง หรือการใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมในการอนุรักษ์ซ่อมแซมในอดีต [4] เช่น การใช้เดือยเหล็กเสริมความมั่นคงภายใน แล้วต่อมาเหล็กเป็นสนิม บวมขยายดันให้วัสดุแตกร้าว หรือการใช้ปูนซีเมนต์ที่อาจมีผลต่อการทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่นได้ ดังนั้นก่อนที่จะทำการซ่อมแซม จึงควรรู้ถึงวัสดุที่ใช้ในโบราณสถานนั้นก่อน แล้วจึงพิจารณาในแง่คุณสมบัติวัสดุต่อไป ประกอบการพิจารณาการใช้วัสดุใหม่ หรือการใช้เทคนิคในการซ่อมแซม

การอนุรักษ์ซ่อมแซมโบราณสถานนั้น จะต้องศึกษาสาเหตุของการเสื่อมสภาพจากเอกสารประวัติการก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้าง และการซ่อมแซมในอดีตเสียก่อน และอาจจะต้องใช้ข้อมูลทั้งทางด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม ศิลปกรรม ประวัติศาสตร์ร่วมกัน เพราะบางครั้งหลักฐานทางด้านวิศวกรรมที่มีอยู่ไม่มากพอที่จะสรุปรูปร่าง โครงสร้างของโบราณสถานได้ ต้องอาศัยหลักฐานด้านอื่นๆ โดยเฉพาะข้อมูลที่อ้างอิงถึงยุคสมัยมักจะถูกนำมาใช้อยู่เสมอ ทำให้การรวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรมของโบราณสถานทั้งในแง่ของรูปแบบโครงสร้าง วัสดุ เทคนิคการก่อสร้าง โดยอ้างอิงถึงยุคสมัย จะมีประโยชน์ในการใช้เป็นหลักฐานอ้างอิง เพื่อการซ่อมแซมบูรณะโบราณสถานและงานด้านวิศวกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้น จึงควรจะมีการศึกษารวบรวมข้อมูลทางด้านวิศวกรรมของโบราณสถาน ทั้งรูปแบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้าง และควรจะศึกษาพัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานในประเด็นดังกล่าวด้วย เพื่อใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมของโบราณสถานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานในประเทศไทย โดยพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ รูปแบบโครงสร้าง เทคนิคการก่อสร้าง และวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาระบบการก่อสร้างของโบราณสถานประเภท เจดีย์ วิหาร โบสถ์ มณฑป และปราสาทหินที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย

1.3.2 ศึกษาโบราณสถานตั้งแต่ยุคทวาราวดีจนถึงรัตนโกสินทร์ ซึ่งมีอายุการก่อสร้างโดยประมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 1000 จนถึง ปี พ.ศ. 2445 (เนื่องจากอาคารที่จะถือว่าโบราณสถานได้นั้นจะต้องมีอายุอย่างน้อย 100 ปีขึ้นไป [5])

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงวิวัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงการก่อสร้างโบราณสถานในยุคสมัยต่าง ๆ จนถึงปัจจุบัน

1.4.2 ให้ผลการศึกษานี้เป็นตัวกระตุ้นให้วิศวกรเห็นถึงความสำคัญและคุณค่าของโบราณสถานในแง่ของความเจริญทางวิศวกรรมในอดีต ซึ่งเป็นรากฐานอันสำคัญของการสร้างสรรค์เทคโนโลยีการก่อสร้างในปัจจุบันและอนาคต

1.4.3 เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อในรายละเอียด และในการออกแบบเพื่อบูรณะซ่อมแซมโบราณสถานในอนาคต

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 รวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับการศึกษางานวิศวกรรมในโบราณสถานที่มีอยู่ และข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้าง เทคนิคการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานไทย เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการนำข้อมูลมาจัดลำดับวิวัฒนาการ และเป็นแนวทางในการศึกษาและการรวบรวมข้อมูลต่อไป

1.5.2 รวบรวมข้อมูลรูปแบบโครงสร้าง เทคนิคการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ หนังสือ วารสาร วิทยานิพนธ์ รายงานการขุดค้น-ขุดแต่งโบราณสถาน จดหมายเหตุ พงศาวดาร ไมโครฟิล์ม หรือแหล่งบันทึกข้อมูลอื่น จากสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้

- หอสมุดแห่งชาติ
- หอจดหมายเหตุ

- หอสมุดของมหาวิทยาลัยต่างๆ
- หน่วยงานของกรมศิลปากร ได้แก่ กองสถาปัตยกรรม กองโบราณคดี

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลจากการสัมภาษณ์วิศวกร หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับโบราณสถาน และจากการสำรวจสถานที่จริง

1.5.3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยแยกวิเคราะห์ในแต่ละประเด็นดังนี้

- รูปแบบโครงสร้าง วิเคราะห์รูปแบบของโครงสร้างฐานราก โครงสร้างตัวอาคาร และโครงสร้างหลังคาของโบราณสถานแต่ละแห่ง โดยใช้หลักการโครงสร้างทั่วไปในการแบ่งรูปแบบโครงสร้าง
- เทคนิคการก่อสร้าง แยกข้อมูลที่เกี่ยวกับเทคนิควิธีการก่อสร้างในส่วนต่างๆ ของโบราณสถานมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับเทคนิคในสมัยปัจจุบัน พิจารณาแง่คิดแนวทางที่น่าสนใจ ข้อดีข้อเสียของเทคนิคการก่อสร้างแบบต่างๆ
- วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง นำข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ทั้งส่วนของวัสดุหลักในโครงสร้าง และวัสดุอื่นๆ ที่ช่วยในการยึด เสริมโครงสร้างโบราณสถาน มาวิเคราะห์ จำแนกตามลักษณะการใช้งาน และ/หรือ ชนิดของวัสดุ

1.5.4 จัดกลุ่มข้อมูล โดยแยกกลุ่มตามองค์ประกอบของโครงสร้างคือ โครงสร้างฐานราก โครงสร้างตัวอาคาร และโครงสร้างหลังคา โดยนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ในข้อ 1.5.3 มาจัดเรียงตามลำดับเวลาการก่อสร้าง โดยไม่คำนึงถึงสกุลช่างหรืออาณาจักรที่โบราณสถานนั้นตั้งอยู่

1.5.5 วิเคราะห์หาพัฒนาการหรือการเปลี่ยนแปลงของการก่อสร้างในแต่ละประเด็น โดยนำข้อมูลที่ได้จัดเรียงแล้วมาวิเคราะห์ เพื่อหาลักษณะงานวิศวกรรมที่เกิดขึ้นหรือหายไปในแต่ละช่วงเวลา ชี้ถึงลักษณะทางวิศวกรรมที่มีนัยสำคัญในช่วงเวลาต่างๆ โดยพิจารณาร่วมกับข้อมูลทางด้านสถาปัตยกรรม ศิลปกรรม และประวัติศาสตร์การเมืองการปกครอง รวมถึงสภาพที่ตั้งของโบราณสถาน

1.5.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้จะทบทวนงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับรูปแบบโครงสร้าง วัสดุ และเทคนิควิธีการก่อสร้างของโบราณสถานในแต่ละยุคสมัย ในการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโบราณสถานนั้นได้ค้นคว้าจากเอกสารหลายๆ รูปแบบ ทั้งหนังสือ วารสาร วิทยานิพนธ์ เอกสารประกอบการสัมมนา จดหมายเหตุ เอกสารประกอบการเรียนการสอน เป็นต้น

การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโบราณสถานย่อมจะต้องมีการอ้างอิงถึงยุคสมัยในประวัติสถาปัตยกรรมไทย หรือช่วงเวลาในอดีต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะถือเอาการแบ่งยุคสมัยและช่วงเวลาดังนี้

1. สมัยก่อนสุโขทัย ก่อน พ.ศ. 1800
2. สมัยสุโขทัย ประมาณ พ.ศ. 1780 – 1981
3. สมัยล้านนา ประมาณ พ.ศ. 1839 – 2417
4. สมัยกรุงศรีอยุธยา ประมาณ พ.ศ. 1893 – 2325
5. สมัยรัตนโกสินทร์ ประมาณ พ.ศ. 2325 – ปัจจุบัน

งานวิจัยนี้จะแบ่งวิวัฒนาการตามยุคสมัย เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโบราณสถานมักเกี่ยวพันกับช่วงเวลาและยุคสมัยเหล่านี้อยู่เสมอ ดังจะเห็นได้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมากล่าวถึงต่อไปในที่นี้ ซึ่งจะแบ่งการทบทวนเอกสารออกเป็น 3 หัวข้อหลักคือ

1. รูปแบบโครงสร้าง
2. เทคนิคการก่อสร้าง
3. วัสดุก่อสร้าง

2.1 รูปแบบโครงสร้าง

รูปแบบโครงสร้างโบราณสถานนั้น โดยทั่วไปอาจแบ่งองค์ประกอบหลักๆ ทางโครงสร้างได้เป็น 3 ส่วน คือ ฐานราก ตัวอาคาร และหลังคา ซึ่งงานวิจัยทั่วไปก็มักศึกษาตามองค์ประกอบ 3 ส่วนนี้ และอาจมีการแยกย่อยลงไปอีกหรือเพิ่มเติมในรายละเอียดมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบโครงสร้างของโบราณสถาน ได้แก่

โชติ กัลยาณมิตร [6] ได้ศึกษาโครงสร้างสถาปัตยกรรมในประวัติศาสตร์ พบว่าโครงสร้างหลังคาใช้โครงจั่ว ส่วนโครงสร้างอาคารแบ่งเป็นโครงสร้างไม้และโครงสร้างวัสดุก่อ ซึ่งโดยทั่วไปโครงสร้างวัสดุก่อจะเป็นระบบผนังรับน้ำหนัก นอกจากนี้ก็มีการเจาะช่องเปิดส่วนต่างๆ ของอาคาร รวมทั้งผนังก่อ ซึ่งมักใช้ผนังก่อในการรับน้ำหนัก แต่บางครั้งก็มีการใช้เสาอิงเข้าช่วยในการรับน้ำหนักด้วย และโครงสร้างส่วนฐานมีการทำฐานรากในลักษณะคลองราก และฐานรากตารางอิฐก่อ

นอกจากนี้ โชติ กัลยาณมิตร [1] ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีการก่อสร้างสถาปัตยกรรมไทยตั้งแต่สมัยสุโขทัย ล้านนา อยุธยา จนถึงรัตนโกสินทร์ โดยแยกวิเคราะห์แต่ละยุคสมัย และวิเคราะห์ทั้งระบบโครงสร้างอาคาร โครงสร้างหลังคา การทำช่องเปิด การทำฐานราก การใช้โลหะ วัสดุก่อ และเทคนิคการก่อสร้าง โดยกล่าวในเชิงบรรยาย ไม่มีการจัดเรียงข้อมูล แต่ก็ทำให้ได้ทราบข้อมูลและแนวคิดของวิวัฒนาการในแต่ละสมัย

ส่วนการแบ่งลักษณะโครงสร้างนั้น เรืองศักดิ์ กันตะบุตร [7] ซึ่งได้จัดทำเอกสารการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารในประเทศไทยในอดีต ได้แบ่งประเภทอาคารโดยอาศัยลักษณะโครงสร้างเป็นตัวแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. อาคารวัสดุก่อล้วน ซึ่งเป็นโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนัก
2. อาคารวัสดุก่อและวัสดุอื่นผสม เป็นการผสมระหว่างระบบผนังรับน้ำหนักและระบบเสาคาน
3. อาคารไม้ล้วน เป็นลักษณะโครงสร้างระบบเสาคาน

และยังได้วิเคราะห์อาคารในประเทศไทยในอดีตทั้งในด้านวัสดุก่อสร้าง วิธีการก่อสร้าง เทคนิคการก่อสร้าง ระบบโครงสร้าง พฤติกรรมของโครงสร้างหลักและโครงสร้างรอง และชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยไม่ได้วิเคราะห์ตามยุคสมัยหรือตามรูปแบบใดๆ

อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [8] ได้แบ่งลักษณะโครงสร้างอาคารโบราณสถานไทยตั้งแต่สมัยทวาราวดีจนถึงสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลายไว้ว่าโบราณสถานที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นใช้ระบบโครงสร้างหลัก 5 แบบ คือ

1. ผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall)
2. สันเหลื่อม (Corbelled Arch)
3. สันโค้งกลม (Arch)
4. สันโค้งแหลม (Pointed Arch)
5. โค้งอุโมงค์ (Vault)

นอกจากนี้ อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [9] ยังได้ศึกษาโครงสร้างแบบสันโค้งกลมเพิ่มเติม พบว่าเกิดขึ้นในประเทศไทยครั้งแรก ในสมัยของพระเจ้าติโลกราชในอาณาจักรล้านนา ประมาณ พ.ศ. 1985-2030 ต่อมาในพุทธศตวรรษที่ 22 ชาวตะวันตกได้นำโครงสร้างนี้มาก่อสร้างในสมัยอยุธยาตอนปลาย ตราบจนถึงสมัยรัตนโกสินทร์รัชกาลที่ 4 ชาวตะวันตกได้นำวิทยาการนี้เข้ามาเผยแพร่อีก โดยมีการทำสันโค้งกลมต่อเนื่องกันหลายๆ โค้ง ซึ่งเป็นการพัฒนามาจากสมัยอยุธยา โครงสร้างสันโค้งกลมนี้ นับว่ามีบทบาทสำคัญส่วนหนึ่งในประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรมไทย ทั้งทางด้านโครงสร้างและทางศิลปะ ส่วนการใช้สันเหลื่อมในสมัยล้านนาแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ใช้ในลักษณะของโครงสร้างอย่างแท้จริง เป็นลักษณะของโค้งอุโมงค์ และใช้เป็นโครงสร้างกึ่งประดับ ส่วนใหญ่ทำซุ้มจระนำที่มีความลึกมาก และใช้เป็นซุ้มจรนำขนาดเล็ก

ส่วนของการศึกษาระบบโครงสร้างในอาคารโบราณสถานที่ต่างๆ จะพบในการศึกษาเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมของอาคารเป็นส่วนใหญ่ จึงมักกล่าวถึงระบบโครงสร้างอาคารไม่ละเอียดนัก แต่ก็สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้ โดยงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลจากการศึกษาเหล่านี้มาใช้ในการศึกษาต่อไป ได้แก่

สมัยทวาราวดี นิคม หิรัญนำโชค และคณะ [10] ได้ศึกษาการก่อสร้างสมัยทวาราวดี โดยใช้กรณีศึกษาเมืองเสมา ได้ศึกษาในลักษณะของสถาปัตยกรรมสิ่งปลูกสร้าง แต่ไม่ได้ระบุรูปแบบโครงสร้างไว้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ชาญเจริญ นาคะนนท์ และคณะ [11] ซึ่งศึกษาการก่อสร้างสมัยทวาราวดีเช่นกัน แต่เป็นกรณีศึกษาโบราณสถานคอกช้างดิน

สมัยสุโขทัย วิรัชต์ ทองรวย [12] ได้ศึกษารูปแบบโครงสร้างมณฑปอิฐก่อในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และทำการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยใช้มณฑปวัดศรีชุมเป็นตัวอย่างในการทำวิจัย เนื่องจากได้มีการศึกษาพบว่ามณฑปวัดศรีชุมเป็นมณฑปที่มีเสถียรภาพทางโครงสร้างต่ำสุด และเป็นมณฑปอิฐก่อที่ใหญ่ที่สุดด้วย งานวิจัยนี้ได้พยายามวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างของมณฑปที่สัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการอนุรักษ์ซ่อมแซมต่อไป

สมัยอยุธยาตอนต้น ปิ่นเพชร สาตราวาหะ[13] ได้ทำการศึกษาพระปรางค์ในสมัยอยุธยาตอนต้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของพระปรางค์ที่มีหลักฐานทางโบราณคดียืนยันว่าได้ถูกสร้างขึ้นในสมัยอยุธยาตอนต้น ที่อยู่ในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้แก่ วัดพุทไธสวรรย์ วัดพระราม วัดมหาธาตุ วัดราชบูรณะ นอกจากนี้ยังมีวัดพระศรีรัตนมหาธาตุที่จังหวัดลพบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรีด้วย ซึ่งใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบวิวัฒนาการก่อนและหลังการสถาปนากรุงศรีอยุธยา ข้อมูลที่ศึกษาในส่วนของ

โครงสร้างอาคารคือ ข้อมูลฐานราก กำแพง และหลังคา ซึ่งในสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนต้นนั้น ยังไม่เห็นพัฒนาการทางด้านโครงสร้างที่ชัดเจนนัก

สมัยอยุธยาตอนปลาย สุรศักดิ์ รอดเพราะบุญ [14] ได้ทำการศึกษาการออกแบบพระอุโบสถและพระวิหารสมัยอยุธยาตอนปลายในเมืองเพชรบุรี และได้กล่าวถึงพัฒนาการของระบบโครงสร้างอาคารของพระอุโบสถและพระวิหารที่สร้างขึ้นในสมัยอยุธยาว่า มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในระยะเวลากว่า 112 ปี คือตั้งแต่ พ.ศ. 2198 – 2310 โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลระบบโครงสร้างของพระวิหารและพระอุโบสถที่สร้างขึ้นในสมัยอยุธยาตอนปลายที่อยู่ในเมืองเพชรบุรีทั้งหมด 5 วัด โดยเป็นพระอุโบสถ 5 หลัง และพระวิหาร 1 หลัง

สมัยรัตนโกสินทร์ ไขแสง ศุขะวัฒนะ [15] ได้ศึกษาอิทธิพลของสถาปัตยกรรมตะวันตกที่มีต่อแบบอย่างของงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2208 – 2475 โดยแยกพิจารณาแต่ละยุคสมัย ตั้งแต่สมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช และสมัยรัตนโกสินทร์ในรัชกาลที่ 1 - 7 ได้ศึกษาในแง่ของวิธีการก่อสร้าง และวัสดุก่อสร้าง รวมถึงลักษณะทางสถาปัตยกรรมต่าง ๆ โดยนำเอาตัวอย่างอาคารที่สร้างขึ้นในแต่ละสมัยมาวิเคราะห์หาอิทธิพลทางสถาปัตยกรรมจากตะวันตก และหาวิวัฒนาการจากยุคสมัยดังกล่าวข้างต้น ในส่วนที่เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนก็คือส่วนของโครงสร้างในสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวซึ่งเปลี่ยนจากการใช้โครงสร้างกำแพงก่ออิฐรับน้ำหนักมาเป็นการใช้ระบบเสาคานมากขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านวัสดุ เช่นคอนกรีต เหล็ก ซึ่งเริ่มนำเข้ามาจากต่างประเทศ และอุปกรณ์การก่อสร้าง เช่น เครื่องเจาะแผ่นดิน เป็นต้น

นอกจากนี้ ประชา แสงสายัณห์ [16] ได้ทำการศึกษาพัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยเครื่องก่อ ที่สร้างขึ้นระหว่างสมัยรัชกาลที่ 2 และรัชกาลที่ 5 ส่วนหนึ่งได้ศึกษาโครงสร้างของงานสถาปัตยกรรมและวัสดุก่อสร้างโดยใช้ตัวอย่างในการศึกษาเป็นกุฏิพระสงฆ์ในบริเวณเกาะรัตนโกสินทร์ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ระบบโครงสร้างอาคาร โครงสร้างฐานราก โครงสร้างผนังรับน้ำหนัก การเจาะช่องเปิด ลักษณะผังพื้น โครงหลังคาไม้ การเข้าไม้ในจุดต่างๆ ของอาคาร และการยึดโครงสร้างไม้กับผนังก่ออิฐถือปูน วิธีการเรียงอิฐเพื่อทำช่องเปิด วัสดุและวิธีการก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งได้ชี้ให้เห็นเทคนิคการก่อสร้างกุฏิก่ออิฐถือปูนในช่วงเวลานั้น ๆ

2.2 **เทคนิคการก่อสร้าง**

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่าปัจจุบันมีผู้รวบรวมข้อมูลเทคนิคการก่อสร้างพร้อมทั้งเสนอแนวคิดจากการสันนิษฐานไว้พอสมควร โดยเฉพาะงานฐานรากและการก่ออิฐ ดังนี้

2.2.1 เทคนิคการทำฐานราก

อับดุลเราะห์มัน จาริง และคณะ [60] ได้ศึกษาเรื่องราวของงานฐานรากโบราณสถาน โดยศึกษาประวัติของงานวิศวกรรมฐานรากในประเทศไทย และแบ่งตามยุคสมัยเป็น 3 สมัย นั่นคือ สมัยสุโขทัย สมัยอยุธยา และสมัยรัตนโกสินทร์ พบว่า ระบบโครงสร้างฐานรากของโบราณสถานเพิ่งจะมีให้เห็นชัดเจนในสมัยอยุธยา โดยมีการใช้เสาเข็มไม้ในการก่อสร้างกำแพงเมือง ส่วนในสมัยรัตนโกสินทร์จะมีระบบโครงสร้างฐานรากที่ชัดเจนมากและมีพัฒนาการที่รวดเร็วมาก โดยเฉพาะในระยะหลังสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นไปแล้ว มีการใช้ฐานรากและเสาเข็มคอนกรีตมากขึ้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของวิวัฒน์ ทวีรัตน์ และคณะ [17]

โชติ กัลยาณมิตร [1] ได้กล่าวถึงเทคนิคการสร้างฐานรากเจดีย์แบบโปร่งในสมัยอยุธยา ซึ่งมีโครงสร้างฐานเป็นรูปกงล้อธรรมจักร มีแกนรวมที่ศูนย์กลางองค์เจดีย์เป็นแกนรับน้ำหนัก ช่องโปร่งระหว่างซี่ล้อธรรมจักรจะมีดินหรือทรายบรรจุอยู่ หรือในส่วนขององค์เจดีย์มีการใช้อิฐก่อเป็นช่องตารางบรรจุกรุและถมทรายจากนั้นจึงก่อส่วนยอด นอกจากนี้ฐานรากแบบตารางก็มีพบในสมัยนี้ด้วยเช่นกัน

สุนิสา มั่นคง [18] ได้บันทึกเทคนิคการสร้างกำแพงเมืองในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นไว้ในรายงานการขุดแต่งโบราณสถานบริเวณวังหน้า ได้อธิบายขั้นตอนการทำฐานรากของกำแพงเมือง โดยพบว่ามีการใช้เสาเข็มไม้ การก่ออิฐ และการบดอัดเศษวัสดุสลับกันหลายชั้นเป็นฐานราก

2.2.2 เทคนิคการเรียงอิฐ

ระเบียบการก่ออิฐเป็นเทคนิคที่มีการศึกษาค่อนข้างมากและชัดเจนกว่าเทคนิคอื่น มีการรวบรวมแต่ไม่มีการศึกษาในด้านวิวัฒนาการของการก่ออิฐ มี้พียงการรวบรวมข้อมูลเท่านั้น การศึกษาดังกล่าว ได้แก่

อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [19] ได้ศึกษาระเบียบการก่ออิฐของโบราณสถานไทยตั้งแต่สมัยทวาราวดีจนถึงอยุธยา และพยายามสรุปลักษณะการก่ออิฐโดยเทียบเคียงกับระบบสากลได้เป็น 5 ลักษณะ คือ

1. การก่อแบบทวา-อยุธยา ในสมัยทวาราวดีใช้ดินสอเป็นตัวประสาน ในสมัยอยุธยาใช้ปูนสอ
2. การก่อแบบสุโขทัย-อู่ทอง (English Bond) ใช้ดินสอเป็นตัวประสาน
3. การก่อแบบเรียงหัวอิฐ (Header Bond)
4. การก่อแบบเชียงใหม่ ใช้ดินสอหรือปูนสอเป็นตัวประสาน

5. ระเบียบผสม (Mixed-ordered Bond) ใช้น้ำยาในลักษณะกาวเป็นตัวประสานและดินสอบ้างบางแห่ง

โดยได้ศึกษาลึกลงในรายละเอียดของแต่ละระเบียบวิธีว่ามีการใช้ที่ใดบ้าง และได้กล่าวถึงการใช้ระเบียบการก่ออิฐและเทคนิคการก่อสร้างโบราณสถานเพื่อการประเมินยุคสมัยที่สร้างโบราณสถานนั้นไว้ด้วย

อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [20] ได้ศึกษาระเบียบการก่ออิฐของสกุลช่างเขมรและศรีวิชัย โดยศึกษาจากปราสาทอิฐ 33 ตำแหน่ง ในบริเวณที่มีความสัมพันธ์ด้านอารยธรรมกับสกุลช่างเขมรภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยตรง พบว่าระเบียบการก่ออิฐนั้นมีทั้งก่อเป็นระเบียบแบบ English Bond และแบบไม่เป็นระเบียบ ขนาดของอิฐมีหลายขนาด ส่วนประกอบของอิฐ คุณภาพการเผาอิฐก็มีหลายรูปแบบ ทั้งเผาสุกดีทั้งก้อนบ้าง เผาไม่สุก ไส้ดำบ้าง มักก่ออิฐสอดินบาง บางครั้งมีการขัดแต่งผิวอิฐก่อนการก่ออิฐด้วย

เรืองศักดิ์ กันตะบุตร [7] ได้กล่าวถึงวัสดุก่อของอาคารในประเทศไทยในอดีตว่ามี 2 ประเภทคือ อิฐ ศิลาแลง ซึ่งมีเทคนิคการเรียงอิฐทั้งแบบขัดผิวก่อนก่อ และไม่ขัดผิว และได้สรุปแบบของการเรียงอิฐไว้ 4 แบบ คือ

1. เรียงสลับตามความยาวของอิฐทุกชั้น แบบ Stretcher Bond*
2. เรียงสลับตามความกว้างของอิฐทุกชั้นแบบ Header Bond*
3. เรียงสลับทุกชั้นระหว่างอิฐตามยาวและอิฐตามกว้าง ซึ่งเรียกว่า English Bond*
4. เรียงสลับกันในชั้นเดียวกันระหว่างอิฐตามยาวและอิฐตามกว้าง เรียกว่า Flemish Bond*

นอกจากนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับระเบียบการก่ออิฐจะสามารถรวบรวมได้จากรายงานการขุดค้นขุดแต่งเพื่อการบูรณะโบราณสถานที่ต่างๆ ทั้งนี้การสรุปรูปแบบการก่ออิฐและบันทึกในรายงานการขุดแต่งเป็นวิจารณญาณของผู้บันทึกข้อมูลเท่านั้น

2.2.3 เทคนิคอื่น ๆ

โชติ กัลยาณมิตร [1] ได้ทำการศึกษาวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของสถาปัตยกรรมไทยตั้งแต่สมัยเริ่มก่อตั้งอาณาจักรสุโขทัยจนถึงสมัยรัตนโกสินทร์ ศึกษาวิธีการก่อสร้าง และวิธีการแก้ปัญหาทางธรรมชาติประจำท้องถิ่น ซึ่งการพิจารณาเทคโนโลยีในแต่ละสมัยจะต้องพิจารณาในเรื่องของวัสดุในท้องถิ่น และวิชาการที่ปฏิบัติกันอยู่ในขณะนั้นประกอบกันด้วย ได้แก่ การทำช่อง

---

* ดูภาพที่ภาคผนวก ค

กว้างเป็นทางเข้าออกของสมัยสุโขทัย โดยยอดของช่องเปิดจะใช้วิธีก่ออิฐหรือศิลาแลงซ้อนเหลื่อมเข้าหากันด้วยวิธีรักษาศูนย์ถ่วงของอิฐไว้ภายในก้อนถัดลงไปเสมอ และในสมัยสุโขทัย ช่างยังไม่รู้จักการใช้ระบบผนังรับน้ำหนักร่วมกับระบบเสาคาน ระบบฐานรากมักเป็นเพียงการบดอัดดินบริเวณที่ทำการก่อสร้าง

ในสมัยล้านนาจะมีการหุ้มองค์เจดีย์ด้วยโลหะเพื่อช่วยปกป้องวัสดุก่อจากแดด ฝน ทำให้โบราณสถานมีอายุยาวนานขึ้น ในสมัยล้านนานี้มีเทคโนโลยีการก่ออิฐเป็นซุ้มประทุนและก่อเป็นอุโมงค์เป็นแบบก่ออิฐที่ใช้วางสันอิฐเบียดอัดกันไปตามวงโค้งของเพดานซุ้มหรืออุโมงค์ ซึ่งจะมีความคงทนสูง

ส่วนสมัยอยุธยาในยุคต้นๆ จะมีปัญหาของอาคารก่ออิฐ คือการทรุดตัวของดินไม่เท่ากัน ช่างอยุธยาจึงใช้ก้อนศิลาแลงก่อเป็นแนวระดับขนานกับพื้น ก่อสลับกับชั้นก่ออิฐไปเป็นช่วงๆ ตามความสูงของผนัง ส่วนอยุธยาตอนปลาย ชาวตะวันตกได้นำเอาเทคนิคการก่อสร้างเข้ามาเผยแพร่ในกรุงศรีอยุธยามากกว่าสมัยใดๆ โดยเฉพาะงานก่ออิฐ ได้นำเอาวิธีก่อซุ้มโค้งครึ่งวงกลมและซุ้มปลายแหลมที่ใช้สันอิฐรับแรงอัดเข้ามาเผยแพร่

ในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น จะมีลักษณะงานช่างเหมือนกับสมัยอยุธยา ส่วนของงานฐานรากจะใช้วิธีทำคลองรากโดยขุดดินเป็นร่องตามแนวที่จะทำผนัง กระทุ้งดินให้แน่น แล้ววางซุงทั้งต้นหรือผ่าซีกวางตามคลองรากแล้วจึงก่ออาคาร ในรัชกาลที่ 4 ได้สร้างพระปฐมเจดีย์ด้วยการตั้งซุงเป็นวงล้อม และรัดด้วยโซ่เป็นวงกลมรอบ เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุตอนล่างที่รับน้ำหนักวัสดุตอนบนถีบตัวระเบิดออก และยังมีการใช้โอ่ง ไห คว่ำทับซ้อนกันและถมด้วยดินทรายวัสดุถม เป็นการลดน้ำหนักของฐานราก นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการกำหนดแนวตั้งฉากทางความสูงโดยใช้เงาที่ปรากฏบนร่องน้ำ และการทำนั่งร้านไม้ไผ่ด้วย

ไขแสง ศุขะวัฒนะ [15] ได้ศึกษาเทคนิคการก่อสร้างที่ได้รับอิทธิพลจากชาติตะวันตกในสมัยสมเด็จพระนารายณ์และสมัยรัตนโกสินทร์ ดังนี้

สมัยสมเด็จพระนารายณ์ฯ ได้มีการนำเอาวิธีการก่อสร้างช่องโค้งซึ่งเชื่อว่าได้รับเทคนิคมาจากชาวตะวันตกที่เข้ามาในประเทศไทยขณะนั้น มาประยุกต์ใช้ทำให้อาคารมีช่องหน้าต่างโตขึ้นและมากขึ้น มีการก่อสร้างช่องโค้งยอดแหลม

สมัยรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 5 ตอนปลายรัชกาลได้มีการใช้เฟอร์โรคอนกรีต หรือคอนกรีตเสริมเหล็กแพร่เข้าสู่เมืองไทย และมีการนำเครื่องทุ่นแรงมาใช้โดยบริษัทของชาวต่างประเทศ เช่น เครื่องตอกเข็มด้วยไอน้ำเดือด เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น

กชกร รอดประเสริฐ และคณะ [21] ได้ศึกษาการก่อสร้างปราสาทเมืองขอมยุคพระนคร โดยใช้ปราสาทเมืองต่ำเป็นกรณีศึกษา และเน้นในเรื่องของเทคนิคการก่อสร้าง ได้แก่เทคนิคการทำรองพื้นก่อนการก่อสร้าง เทคนิคการเรียงอิฐ เทคนิคการเรียงหรือใช้ศิลาแลง เทคนิคที่ใช้ในการก่อสร้างหินทราย การตัด และขนย้ายหิน เครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น

2.3 วัสดุก่อสร้าง

ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างโบราณสถานนั้น ยังไม่ค่อยมีการรวบรวมไว้มากนัก ข้อมูลมักจะกระจัดกระจายอยู่ตามเอกสารเกี่ยวกับโบราณสถานแต่ละแห่งเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามได้มีผู้ที่ศึกษาถึงวัสดุก่อสร้างอยู่บ้าง ได้แก่

เชษฐา พลายชุม [22] ได้จำแนกวัสดุก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยในอดีตไว้เป็น 2 ชนิด คือ

1. วัสดุธรรมชาติ ได้แก่ วัสดุประเภทไม้ ดิน ดินเผา อิฐ หิน ใบไม้ เป็นต้น
2. วัสดุประดิษฐ์ คือวัสดุที่มนุษย์นำมาจากธรรมชาติ และนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่ต้องอาศัยความรู้และเทคนิควิธีการที่ซับซ้อน จึงออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หรือวัสดุก่อสร้าง เช่น โลหะ กระจก เป็นต้น

นอกจากนี้ เฉลิม รัตนทัศนีย์ [23] ยังได้สรุปการใช้วัสดุก่อสร้างในสมัยต่างๆ ไว้ดังนี้

ยุคก่อนประวัติศาสตร์ไทย

สมัยทวาราวดี (พ.ศ. 500-1200) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี อิฐ หิน

สมัยศรีวิชัย (พ.ศ. 1200-1700) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี อิฐ หิน และปูนปั้น

สมัยลพบุรี (พ.ศ. 1500-1800) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี อิฐ หิน ศิลาแลง ปูนปั้น

ยุคประวัติศาสตร์ไทย

สมัยล้านนา (พ.ศ. 1600-2100) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี อิฐ หิน ไม้

สมัยสุโขทัย (พ.ศ. 1800-1900) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี ศิลาแลง อิฐ ปูนปั้น ไม้ ดินเผา และโลหะ

สมัยอยุธยา (พ.ศ. 1900-2300) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี อิฐ หิน ศิลาแลง ปูนปั้น ไม้ โลหะ ดินเผาเคลือบ

สมัยรัตนโกสินทร์ (พ.ศ. 2300-ปัจจุบัน) วัสดุก่อสร้างที่ใช้มี คอนกรีต เหล็ก โลหะ กระจก ฯลฯ

โดยสรุปแล้ว แต่เดิมคนไทยใช้อิฐ หิน ศิลาแลงในการก่อสร้างโดยเฉพาะพุทธสถานเท่านั้น แต่ในปัจจุบันพบว่ามีการใช้อิฐ หิน ในการก่อสร้างบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้น

ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างโบราณสถานนั้นจะสามารถรวบรวมได้จากรายงานการขุดค้นขุดแต่งเพื่อการบูรณะโบราณสถานที่ต่างๆ รวมถึงจากการรวบรวมของผู้ที่เคยทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องด้วย

จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าข้อมูลที่เกี่ยวกับการก่อสร้างโบราณสถานนี้มีอยู่แต่อยู่อย่างกระจัดกระจาย ขาดการรวบรวม และการจัดเรียง ซึ่งหากนำมาจัดเรียงแล้ว น่าที่จะสามารถวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของลักษณะของการก่อสร้างกับช่วงเวลาที่ก่อสร้างได้ และรวมไปถึงสามารถนำไปวิเคราะห์พัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงของการก่อสร้างในเชิงวิศวกรรมได้นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่รวบรวมได้ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลในเชิงกว้าง ไม่ใช่ข้อมูลเชิงลึกทางด้านวิศวกรรม เพราะการศึกษาเกี่ยวกับโบราณสถานในประเทศไทยนั้น ยังค่อนข้างขาดการศึกษาในเชิงวิศวกรรมอยู่ ทั้งที่อาคารโบราณสถานเป็นสิ่งก่อสร้างและมีความจำเป็นที่ควรจะอนุรักษ์ ซ่อมแซมเพื่อประโยชน์ในการศึกษาเชิงประวัติศาสตร์โบราณคดีต่อไป และงานวิศวกรรมก็เป็นงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการรักษาสภาพโบราณสถานให้คงอยู่ จึงเป็นการสมควรอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงเรื่องราวของโบราณสถานในเชิงวิศวกรรม นอกจากนี้ยังจะเป็นประโยชน์ในส่วนของการกระตุ้นให้คนรุ่นหลังได้ตระหนักถึงคุณค่า ความสำคัญของโบราณสถานในแง่วิศวกรรมและประวัติศาสตร์ ทำให้ได้ทราบถึงความรู้ความสามารถ เทคนิควิธีการก่อสร้างที่มีมาแต่สมัยโบราณและอาจสามารถเป็นรากฐานที่จะพัฒนาเทคนิควิธีให้ดียิ่งขึ้นได้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ภาพรวมของการก่อสร้างโบราณสถานไทย

การวิจัยพัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทยนี้ ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ โครงสร้างฐานราก โครงสร้างตัวอาคาร และโครงสร้างหลังคา โดยการศึกษาได้รวบรวมข้อมูลจากโบราณสถานแหล่งต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 โบราณสถานที่ใช้ในการวิเคราะห์พัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทย

ยุคสมัย	แหล่งโบราณสถาน	ประเภทอาคาร
สมัยก่อนสุโขทัย	วัดพระเมรุ [24]	เจดีย์
	บ้านใหม่ไทยเจริญ [25]	ปราสาท
	ปราสาทยายเหงา [26]	ปราสาท
	ปราสาทบ้านไพล สุรินทร์ [26]	ปราสาท
	วัดมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี [27]	ปรางค์
	เขาคา [28]	ไม่ระบุ
	บ้านคูเมือง [29]	เจดีย์
	เมืองเสมา [10]	ไม่ระบุ
	เมืองโบราณศรีมโหสถ [30]	เจดีย์ วิหาร ศาลา
	พระธาตุพนม [31]	เจดีย์
	ทุ่งเศรษฐี จ.เพชรบุรี [32]	เจดีย์
	ปราสาทเมืองสิงห์ [33]	ปราสาท
	เมืองต่ำ [34] [35] [36] [21]	ปราสาท เจดีย์
สมัยสุโขทัย	วัดมหาธาตุ [37	เจดีย์
	ประตูอ้อ [38]	ประตูเมือง
	ศาลตาผาแดง	ศาสนสถาน
	วัดพระนอน กำแพงเพชร [39]	วิหาร โบสถ์
	วัดศรีชุม [40] [41]	มณฑป
	วัดร้าง At.A.1 – 3 [42]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์

	วัดช้างรอบ กำแพงเพชร [39] [43]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วิหารวัดร้าง At.B.1 - 6 [44]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดศรีสวาย	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดพระพายหลวง	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดเจดีย์เจ็ดแถว สุโขทัย [45]	โบสถ์ วิหาร ปรางค์
สมัยล้านนา	วิหารน้ำแต้ม [46]	วิหาร
	วัดเจ็ดยอด [47]	เจดีย์
	วัดสันกู่ [48]	เจดีย์ วิหาร
	วัดหลวงราชสัณฐาน [49]	วิหาร
	วัดเจดีย์หลวง [50]	เจดีย์
	กู่ช้าง [51]	เจดีย์
	วัดร่มโพธิ์ [52]	เจดีย์
	วัดสังการาม [53]	เจดีย์
	วิหารวัดป่าสัก [54]	วิหาร
	วัดหนองหล่ม [55]	เจดีย์
	ประตูท่าแพ [56]	ประตูเมือง
สมัยอยุธยา	วัดกุฎีดาว [57]	วิหาร โบสถ์
	วัดหัสดาวาส [58]	เจดีย์
	วัดจันทร์ [59]	เจดีย์
	วัดสังขปัต [60]	เจดีย์
	วัดช้าง [61]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์ กำแพงวัด
	วัดเจ้าย่า [62]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์ ตำหนัก
	วัดสีกาสมุด [63]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดจงกลม [64]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดมเหยงคณ์ [65]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดสุวรรณาวาส [66]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดพระงาม [67]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	ปราสาทนครหลวง [68]	ปราสาท
	อุโบสถวัดพระยาแมน [69]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์

	ป้อมเพชร [68]	ป้อมเมือง
	วัดหลังคาขาว [70]	เจดีย์
	พระตำหนักท้ายพิกุล [1]	ตำหนัก
	วัดมหาธาตุ	เจดีย์
	วัดธรรมิกราช [57]	โบสถ์
	วัดไลย์ จังหวัดลพบุรี [57]	โบสถ์
	วัดพระศรีสรรเพชญ์ [57]	วิหาร
	วัดตะไกร [71]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดปรางค์หลวง [68]	ปรางค์
สมัยรัตนโกสินทร์	วัดกวิศราราม [72]	โบสถ์
	วัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร [68]	วิหาร โบสถ์
	อุทยานชายทะเลหัวหิน [73]	อาคารราชการ
	พระนครคีรี [74] [75]	พระที่นั่ง อาคารราชการ
	วัดพระศรีรัตนศาสดาราม [68]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วัดพระเชตุพน [76]	เจดีย์ วิหาร โบสถ์
	วังสมเด็จบูรพาภิรมย์ [77]	วัง
	วัดราชประดิษฐ์ [72] [78]	วิหาร กุฏิ
	วัดราชบพิธสถิตมหาสีตาราม [79]	โบสถ์
	วัดนิเวศธรรมประวัติ [68] [78]	โบสถ์
	ป้อมพระสุเมรุ [80]	ป้อมเมือง
	พระราชวังบวรสถานมงคล [18] [68]	วัง กำแพงวัง
	ภูเขาทอง วัดสระเกศ [81] [82]	เจดีย์
	วัดอรุณราชวราราม [68]	ปรางค์
	พระที่นั่งอนันตสมาคม [82]	พระที่นั่ง
	บ้านพระยาวิชิตสงคราม ภูเก็ต [83]	บ้าน
	กุฏิวัดกษัตริยาธิราชฯ [16]	กุฏิ
	พระราชวังนารายณ์ราชนิเวศน์ [9]	พระที่นั่ง
	วัดราชาธิวาสราชวรวิหาร [78]	วิหาร
	กระทรวงนครบาล [84]	อาคารราชการ

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาจากข้อมูลโบราณสถานดังกล่าว ดังนั้นผลการศึกษาและการสรุปผลการศึกษานี้ จะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของระยะเวลาในการศึกษาและข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ในระยะเวลานี้ ซึ่งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปจะช่วยยืนยันผลการศึกษานี้ได้เป็นอย่างดี และก่อนที่จะนำไปสู่รายละเอียดของผลการศึกษาแต่ละส่วนของโครงสร้างอาคาร ในบทที่ 3 นี้ได้นำเสนอในภาพรวมของการก่อสร้างโบราณสถานไทยในแต่ละยุคสมัย โดยมิได้แยกส่วนโครงสร้าง ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจลักษณะการก่อสร้างโดยรวมของแต่ละยุคสมัย และเห็นภาพพัฒนาการของการก่อสร้างโบราณสถานไทยโดยรวม ก่อนที่จะนำเสนอพัฒนาการของการก่อสร้างแต่ละส่วนของอาคารในรายละเอียดในบทต่อไป

3.1 **สมัยก่อนสุโขทัย**

สมัยก่อนสุโขทัยคือช่วงเวลาก่อนพุทธศตวรรษที่ 18 ดินแดนไทยได้มีอาณาจักรหลายอาณาจักรตั้งอยู่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน การตั้งอยู่ของอาณาจักรเหล่านี้ได้ก่อให้เกิดการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ทั้งทางด้านการศาสนา การเมือง การปกครอง เทคนิควิทยาการที่ใช้ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเหล่านี้ มีผลตกทอดมาถึงการก่อสร้างในสมัยต่อมาด้วย

เนื่องจากช่วงเวลาก่อนสมัยสุโขทัย เป็นช่วงเวลาที่มีอาณาจักรหลายอาณาจักรเจริญรุ่งเรืองอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน จึงจะเห็นได้ว่าโบราณสถานในช่วงสมัยนี้ตั้งอยู่กระจัดกระจายทั่วพื้นที่ประเทศไทย เช่น เมืองอู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี เมืองคูบัว จังหวัดราชบุรี พระธาตุพนม จังหวัดนครพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี และปราสาทหินต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นต้น

การก่อสร้างในสมัยนี้ ส่วนใหญ่พบหลักฐานเป็นศาสนสถาน ส่วนที่เหลือหลักฐานเป็นโครงสร้างหิน โดยเฉพาะศิลาแลงและหินทราย มีโครงสร้างอิฐร่วมด้วย ระบบโครงสร้างเป็นระบบผนังรับน้ำหนัก และระบบผสม เนื่องจากพบร่องรอยของเสาในอาคาร ทั้งร่องรอยของเสาไม้และเสาวัสดุก่อ

ในส่วนของการก่อสร้างฐานรากของอาคารโบราณสถานนั้น เป็นส่วนของโครงสร้างที่มีหลักฐานหลงเหลือให้ศึกษาได้มากกว่าส่วนอื่นๆ เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ติดกับพื้นดินและค่อนข้างมีความมั่นคงกว่าโครงสร้างส่วนอื่น จากการศึกษาพบว่ามีการก่อสร้างฐานรากแผ่แล้วในสมัยนี้ และยังพบร่องรอยของการบดอัดชั้นดินที่รับน้ำหนักอาคารด้วยวัสดุที่แข็งแรงกว่าดินเดิมด้วย เช่น หินปูน [32] ทรายละเอียด [36] เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างส่วนฐานรากเป็นที่ตระหนักดีถึงความสำคัญต่อเสถียรภาพของโครงสร้างทั้งหมดของอาคาร

โครงสร้างตัวอาคาร ไม่พบการก่อสร้างระบบเสาและคานรับน้ำหนักล้วน แต่มีการใช้ร่วมกับผนังรับน้ำหนัก และพบว่ามีการใช้ระบบเสาและคานในการก่อสร้างช่องเปิด ซึ่งเป็นระบบเสาและคานช่วงสั้น นั่นคือ การใช้เสาเอ็น และคานทับหลังในช่องเปิด [26] วัสดุที่ใช้เป็นเสาเอ็นและคานทับหลังนี้คือหินทราย นอกจากนี้ยังพบว่า ช่างสมัยนี้มีเทคนิคการเชื่อมต่อโครงสร้างหินด้วยการทำเป็นสลักเดือย ทำให้โครงสร้างช่องเปิดเหล่านี้มีความมั่นคงอยู่จนกระทั่งปัจจุบัน

โครงสร้างหลังคาของอาคารสมัยนี้มีทั้งแบบวัสดุก่อ และแบบโครงจั่ว โดยระบบวัสดุก่อใช้ระบบก่อแบบสันเหลื่อม ซึ่งการก่อสันเหลื่อมในสมัยนี้ พบว่าเป็นไปตามหลักการของการก่อ นั่นคือจุดศูนย์ถ่วงน้ำหนักของวัสดุก่อก้อนบนตกลงบนวัสดุก่อก้อนล่าง ทำให้โครงสร้างสามารถทรงตัวอยู่ได้ ส่วนระบบโครงจั่ว พบว่ามีร่องรอยการใช้คานไม้สอดบนผนังด้านหน้าและด้านหลัง [21] โดยไม้คานนี้สอดเข้าในรูที่เจาะบนผนัง จุดที่สอดคานนั้นเรียงกันเป็นรูปจั่วสามเหลี่ยม สันนิษฐานว่าไม้ทั้งสามนี้ คืออกไก่ และแป ซึ่งรับน้ำหนักเครื่องมุงหลังคา และถ่ายลงสู่ผนังรับน้ำหนักต่อไป

จากหลักฐานการก่อสร้างในสมัยนี้ เห็นได้ว่าช่างสมัยนี้มีความรู้และความชำนาญในการก่อสร้างด้วยหินเป็นอย่างดี ถึงแม้จะไม่ได้ใช้วัสดุเชื่อมประสานในการก่อหิน แต่การเชื่อมในแนวนอน ช่างสมัยนี้กลับใช้เหล็กรูปตัวไอ (I) ในการเชื่อมหินเข้าด้วยกัน และยังสันนิษฐานว่ามีการใช้ตะกั่วหลอมละลายร่วมด้วย เพื่อให้การเชื่อมหินแน่นยิ่งขึ้น [21]

3.2 **สมัยสุโขทัย**

ในสมัยสุโขทัย หรือในช่วงเวลาประมาณ พ.ศ. 1762 ถึง พ.ศ. 1981 เป็นยุคสมัยที่นักประวัติศาสตร์ถือว่าเป็นยุคเริ่มประวัติศาสตร์ไทย ศูนย์กลางของอาณาจักรสุโขทัยในยุคนั้นอยู่ที่เมืองสุโขทัย หรือจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบัน และเมืองที่มีบทบาททั้งทางการเมือง ศิลปวัฒนธรรม และการศาสนาได้แก่ เมืองศรีสัชชนาลัย เมืองกำแพงเพชร เมืองนครชุม เป็นต้น ดังนั้นโบราณสถานในสมัยนี้จึงกระจายอยู่ตามเมืองเหล่านี้ โดยเฉพาะศูนย์กลางของอาณาจักร ย่อมจะเป็นศูนย์กลางของศิลปวัฒนธรรม และเทคโนโลยีด้านต่างๆ ด้วย

โบราณสถานสมัยสุโขทัย ในเมืองต่างๆ มักจะมีรูปแบบสถาปัตยกรรมการก่อสร้างหรือที่เรียกว่า สกุลช่าง ของแต่ละแห่ง เช่น สกุลช่างสุโขทัย สกุลช่างศรีสัชนาลัย สกุลช่างกำแพงเพชร ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความเป็นเอกลักษณ์ของตน อย่างไรก็ตามสกุลช่างเหล่านี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันและในบริเวณใกล้เคียงกัน เพียงแต่อาจจะแตกต่างกันที่สภาพภูมิประเทศ ทรัพยากรสำหรับการก่อสร้างซึ่งมีผลต่อการสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรม โบราณสถานในสมัยสุโขทัยช่วงต้นๆ ได้แก่ ศาลตาผาแดง ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่มีอารยธรรมของขอม สร้างขึ้นในช่วงก่อนการสถาปนาสุโขทัย คือช่วงปลายพุทธศตวรรษที่ 17 ถึงต้นพุทธศตวรรษที่ 18 ต่อมาเมื่อบ้านเมืองมีการ

เปลี่ยนแปลง และรับเอาอารยธรรมอื่นๆ มาผสมผสาน ก็ก่อให้เกิดสถาปัตยกรรมเช่น การปรับปรุงวัดพระพายหลวง การสร้างวัดศรีสวายที่มีอิทธิพลของศาสนาฮินดู เป็นต้น

ในสมัยสุโขทัย การก่อสร้างบ้านเรือนหรือพระราชวังของกษัตริย์นิยมทำด้วยไม้ [1] ซึ่งสิ่งก่อสร้างด้วยไม้มักไม่อยู่คงทนให้เห็นได้จนถึงปัจจุบัน ส่วนที่จะสามารถพบเห็นได้มักมีเพียงส่วนของตอม่อที่ฝังอยู่ในดิน หลักฐานที่แสดงถึงการใช้ไม้ในการก่อสร้างมักจะเป็นลักษณะของช่องโพรงในผนังอิฐหรือหิน ซึ่งมีไว้สำหรับเป็นจุดรองรับไม้ โดยเฉพาะโครงสร้างหลังคาซึ่งมีหลักฐานปรากฏตามส่วนบนของอาคารโบราณสถาน

ในการใช้ไม้ในการก่อสร้างนั้น ย่อมมีผลไปถึงขนาดของโครงสร้าง เนื่องจากในการก่อสร้างด้วยไม้ มักใช้ไม้ท่อนเดียว ไม่นิยมนำไม้มาต่อความยาว ทำให้ขนาดของอาคารถูกจำกัดด้วยขนาดของไม้ที่สามารถหาได้ และอาจขึ้นกับความสามารถในการขนส่งไม้จากแหล่ง ซึ่งอาจหมายถึงกำลังของช้างหรือเทคโนโลยีของการขนส่งในสมัยนั้น นอกจากนี้ ขนาดของอาคารยังอาจเกี่ยวพันกับความศรัทธา ความมั่นคงของสถาบันพระมหากษัตริย์ ศาสนา เพราะหากผู้ปกครองมีอำนาจบารมีมาก ก็จะหมายถึงความสามารถในการกะเกณฑ์ไพร่พล เชลยศึกไปทำงานก่อสร้างได้มาก [6]

เดิมชนชาติไทยนิยมก่อสร้างอาคารด้วยไม้ ต่อมาเมื่อได้รับอิทธิพลศิลปกรรมอิฐจากมอญ และศิลาจากขอมซึ่งเคยมีอิทธิพลทางด้านวัฒนธรรมอยู่ในแผ่นดินนี้ ไทยจึงเปลี่ยนแปลงคล้อยตามไป โดยวัสดุเช่น อิฐ หรือศิลาแลงก็เป็นวัสดุที่หาง่ายเช่นเดียวกับไม้ แต่มีความมั่นคงสามารถสร้างอาคารที่มีขนาดใหญ่กว่า จึงมักนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่สำคัญ เช่น สถาปัตยกรรมอันเกี่ยวกับพระศาสนา แต่ยังไม่นิยมใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย บ้านเรือน ซึ่งอาจเป็นเหตุจากการก่อสร้างด้วยอิฐหรือศิลาแลงนั้นจำเป็นต้องใช้แรงงานในการก่อสร้างมาก และการก่อสร้างด้วยวัสดุเหล่านี้ ส่งผลให้อาคารหนาทึบ ซึ่งไม่เหมาะแก่การอยู่อาศัย

การทำฐานรากในสมัยสุโขทัย ในส่วนของฐานรากของเรือนไม้ไม่มีหลักฐานที่แน่ชัด จากการขุดค้นพบแต่เพียงตอเสาฝังอยู่อย่างไม่มีวิธีการซับซ้อนแต่อย่างใด และอาจสันนิษฐานได้ว่าคงมีวิธีการฝังเสาลงไปในดินอย่างตรงไปตรงมา [1] อาศัยความฝืดรอบผิวเสาในการรับแรง หรือทำ งัว-แระ* รองรับตีนเสาในกรณีที่ดินอ่อนมาก

การทำงัว-แระ หมายถึงการดัดแปลงฐานรากเข็มหรือเสาเข็มไม้ให้กลายเป็นฐานรากแผ่โดยใช้ไม้หนาๆ ทำเป็นแผ่นรองตีนเสาเรียกว่า แระ และมีไม้กระหนาบข้างตีนเสายึดติดกับแระเรียกว่า งัว ซึ่งจะสามารถเพิ่มกำลังของเสาเข็มบนดินอ่อนได้

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

ส่วนการทำฐานรากสิ่งก่อสร้างสถาปัตยกรรมประเภทอิฐหรือศิลาแลง พบว่านิยมเลือกสถานที่ที่เป็นที่ดอน หรือท้องที่ที่มีหินอยู่ใต้แผ่นดิน จากการขุดค้นพบว่าดินชั้นล่างสุดของโบราณสถานมักเป็นดินแข็ง (ดินเหนียว) มีการบดอัดด้วยเศษลูกรังซึ่งน่าจะกระทำเป็นชั้นๆ โดยใช้ช้างเหยียบ บริเวณที่ทำการก่อสร้างมักกั้นขอบเขตด้วยศิลาแลงก่อให้มีความหนาพอที่ศิลาแลงภายในจะไม่พังลงเมื่อถูกอัดแน่น [44]

ส่วนการก่อสร้างตัวอาคารศาสนสถานในสมัยสุโขทัยนี้ ส่วนใหญ่เป็นระบบผนังรับน้ำหนัก ซึ่งใช้อิฐหรือศิลาแลงแถวล่างรองรับน้ำหนักอิฐหรือศิลาแลงแถวบน ซึ่งความแข็งแรงของอาคารจะอยู่ที่ความแข็งแรงของการเชื่อมต่อระหว่างอิฐหรือศิลาแลงเป็นผืนแผ่นทึบ ดังนั้นการเจาะช่องว่างในผนังจึงไม่นิยมทำเพราะจะเป็นสาเหตุที่สำคัญที่บั่นทอนความมั่นคงแข็งแรงของการก่อสร้างแบบนี้ [1]

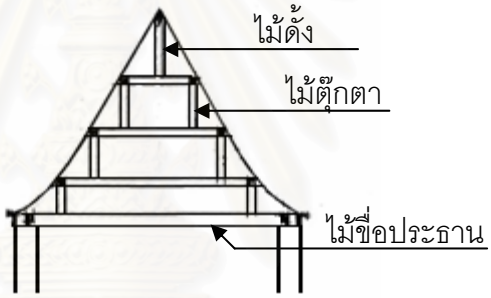
อิฐหรือศิลาแลงที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารมักมีรูปทรงปริมาตรสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวประมาณสองเท่าของความกว้าง และกว้างประมาณสองเท่าของความหนา ดังนั้นการก่อสร้างช่องแสง หรือช่องระบายอากาศในโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักจึงถูกจำกัดด้วยขนาดความยาวของอิฐหรือวัสดุก่อ เพราะหากเปิดช่องกว้างกว่าขนาดอิฐ ช่องเปิดจะมีรอยต่อเชื่อมทำให้โครงสร้างอ่อนแอได้ ด้วยเหตุนี้ในการเปิดช่องแสงจึงนิยมทำเป็นช่องแคบๆ ตามความสูงของผนัง [6] และจะทำช่องเปิดแบบนี้เฉพาะในโครงสร้างอาคารที่มีเสารับโครงจั่วหลังคาเท่านั้น หากเป็นอาคารที่มีหลังคาก่อทึบตัน ก็จะไม่มีการเจาะช่องว่างในผนังเลย เพราะเกรงว่าจะทำให้เสียกำลังในการรับน้ำหนักของผนัง

อย่างไรก็ตามอิทธิพลของสถาปัตยกรรมแบบขอมในการใช้ท่อนหินพาดเป็นคานบนช่องเปิด [20] ทำให้ได้ช่องเปิดกว้างกว่าความยาวของวัสดุก่อปรากฏอยู่ในสถาปัตยกรรมไทยในท้องถิ่นบ้าง แต่ไม่มีตัวอย่างมากนัก อาจเพราะสาเหตุในเรื่องของคุณสมบัติของหินหรือความยากลำบากในการใช้งาน

การก่อสร้างช่องเปิดของอาคารนั้น ช่างสุโขทัยรู้จักการทำช่องกว้างเป็นทางเข้าออกในผนังด้านสกัด (ด้านหน้าหรือหลังอาคาร) โดยส่วนยอดของช่องเปิดจะใช้วิธีก่ออิฐหรือศิลาแลงซ้อนเหลื่อมเข้าหากัน ด้วยวิธีรักษาศูนย์ถ่วงน้ำหนักวัตถุก่อไว้ภายในก้อนวัตถุชั้นถัดลงไป แต่ช่างสุโขทัยกลับไม่ได้ใช้วิธีนี้ในการก่อช่องเปิดผนังด้านข้าง [1] ซึ่งน่าจะเกิดจากการก่อช่องเปิดวิธีนี้จะต้องใช้พื้นที่ในแนวตั้งมาก เพราะต้องก่อยอดของช่องเปิดขึ้นเป็นสามเหลี่ยม หากนำไปใช้ในผนังด้านข้าง อาจจะทำให้เหลือพื้นที่ผนังก่อทึบจากปลายช่องเปิดถึงขอบบนของอาคารน้อย ส่งผลให้ส่วนที่รับน้ำหนักไม่แข็งแรง บั่นทอนความมั่นคงของผนังด้านข้างได้

การก่อสร้างด้วยอิฐหรือศิลาแลงนั้นรวมไปถึงโครงสร้างหลังคาด้วย ในสมัยสุโขทัยจะมีหลังคาลักษณะโค้งหงายและอ่อนช้อยในลักษณะเดียวกับหลังคาไม้ วัสดุมุงสมัยนี้เป็นกระเบื้องเคลือบ ซึ่งมีอายุการใช้งานนานกว่ากระเบื้องดินเผา

ลักษณะโครงสร้างหลังคาในสมัยสุโขทัยเป็นโครงสร้างเสา-คาน ถ่ายน้ำหนักอย่างตรงไปตรงมา โครงจั่วของสมัยสุโขทัยสันนิษฐานว่าเป็นแบบ “เครื่องประดุ”* [85] โดยอาศัยหลักฐานจากส่วนของโครงสร้างอื่นๆ เช่น เสา ร่องรอยของการสอดคานไม้ โดยโครงจั่วแบบเครื่องประดุนี้ จะประกอบด้วยไม้ที่ทำหน้าที่หลัก 3 อย่างคือ ไม้ดั้ง ไม้ตุ๊กตา และไม้ขื่อ ซึ่งขื่อจะมีมากกว่า 1 ตัว มีขื่อเอกซึ่งจะวางอยู่บนผนังรับน้ำหนัก หรือวางบนเสาประธาน และมีขื่อรองที่วางอยู่บนเสาตุ๊กตา ในกรณีที่ต้องการความกว้างของอาคารมากขึ้น โครงหลังคาไม้จะถูกขยายโดยวิธีการลดชั้นหลังคา* และการซ้อนชั้นหลังคา*



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของโครงหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุ

วิธีการก่อสร้างหลังคา โชติ กัลยาณมิตร [1] ได้สันนิษฐานว่าน่าจะใช้วิธีคล้ายกับช่างท้องถิ่นในปัจจุบัน นั่นคือ ประกอบโครงสร้างหลังคาบนพื้นดินก่อน จนเป็นที่พอใจแล้วจึงถอดออกเป็นชิ้นๆ และนำขึ้นไปติดตั้งบนอาคารจริง

กล่าวโดยรวมแล้ว การก่อสร้างในสมัยสุโขทัย มีการใช้ระบบผนังรับน้ำหนักและหลังคาก่อทึบ หรือผนังรับน้ำหนักโครงหลังคาซึ่งเป็นโครงจั่วไม้ ในสมัยหลังๆ มีการใช้ระบบผสมคือใช้ผนังรับน้ำหนักร่วมกับการใช้เสารับโครงจั่วหลังคา ซึ่งเสามีทั้งเสาไม้และเสาศิลาแลงก่อ วัสดุในการก่อสร้างนิยมใช้อิฐและศิลาแลงในการก่อสร้างโบราณสถาน ส่วนการทำฐานรากของโบราณสถานมีการปรับพื้นดินให้แน่น และการก่อศิลาแลงเป็นคล้ายกับกำแพงที่โอบดินบริเวณที่ก่อสร้างไว้ไม่ให้เกิดการพังทลาย

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

3.3 **สมัยล้านนา**

สมัยล้านนาหรือช่วงเวลาที่อาณาจักรล้านนาดำรงอยู่ คือช่วงเวลาตั้งแต่พญามังรายสถาปนาเมืองเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางอาณาจักรเมื่อประมาณ พ.ศ. 1839 จนกระทั่งเมื่อประมาณ พ.ศ. 2101 ล้านนาตกอยู่ใต้อิทธิพลของพม่าอยู่ถึงสองร้อยกว่าปี จึงได้กลับมาเป็นของไทยในช่วงสมัยรัตนโกสินทร์ประมาณ พ.ศ. 2317 โดยในช่วงนี้ล้านนายังอยู่ในฐานะเป็นเมืองประเทศราชของสยาม แต่ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2417 ล้านนาจึงถือเป็นของสยามโดยสมบูรณ์จากการที่เมืองหลวงส่งข้าราชการมาประจำที่เชียงใหม่และรับคำสั่งการปกครองจากเมืองหลวงเช่นจังหวัดอื่นๆ [86]

จากประวัติศาสตร์ของล้านนาดังกล่าวนี้ จะเห็นได้ว่า ล้านนาเป็นอาณาจักรที่ถือได้ว่ามีอายุยาวนานนับตั้งแต่ยุคสมัยสุโขทัย อยุธยา จนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ เพียงแต่ฐานะของอาณาจักรมีความเปลี่ยนแปลงไปมาหลายครั้ง ซึ่งในเชิงประวัติศาสตร์ได้ถือว่ายุคของล้านนา คือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มสถาปนาเมืองเชียงใหม่เป็นเมืองหลวง จนกระทั่งเสียเอกราชให้แก่พม่า คือประมาณ พ.ศ. 1839 – 2101 ซึ่งช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่ล้านนาได้มีการทะนุบำรุงบ้านเมืองจนมีความเจริญรุ่งเรืองในหลายด้าน เกิดการสร้างสรรค์วัฒนธรรมต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะด้านพุทธศาสนา ซึ่งจากประวัติศาสตร์ได้มีการบันทึกไว้ว่า พุทธศาสนาในล้านนาเคยมีความเจริญรุ่งเรืองสูงสุด โดยได้มีการสังคายนาพระไตรปิฎกครั้งที่ 7 เกิดขึ้นในสมัยพระเจ้าติโลกราช ประมาณ พ.ศ. 2020

นอกจากนี้ สิ่งก่อสร้างในอาณาจักรล้านนา ก็เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความเจริญในสมัยนั้นได้เช่นกัน สิ่งก่อสร้างทั้งที่เป็นอาคารทางพุทธศาสนา หรืออาคารเพื่อการใช้สอยอื่นๆ ในล้านนามีให้เห็นมากมายในปัจจุบัน ได้แก่ พระเจดีย์หลวง วัดเจดีย์หลวง วัดเจ็ดยอดที่ใช้เป็นที่กระทำการสังคายนาพระไตรปิฎก วัดพระธาตุดอยสุเทพ ที่จังหวัดเชียงใหม่ เมืองโบราณเชียงแสน และวัดป่าสักที่จังหวัดเชียงราย วัดพระธาตุลำปางหลวงที่จังหวัดลำปาง วัดจามเทวีที่จังหวัดลำพูน พระธาตุแช่แห้งที่จังหวัดน่าน เป็นต้น

ส่วนลักษณะของการก่อสร้างในสมัยล้านนานั้น สภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศได้มีผลต่อการก่อสร้างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการสร้างบ้านเรือนถิ่นฐาน เนื่องจากสภาพเมืองในอาณาจักรนี้มีอากาศค่อนข้างหนาวเย็น และภูมิประเทศเป็นดอยสูงหลายแห่ง แต่อย่างไรก็ตามความถนัดของช่าง รวมถึงการรับอิทธิพลทางศิลปะจากอาณาจักรใกล้เคียงก็มีผลต่อการก่อสร้างเช่นกัน

เทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยล้านนา จะใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย บ้านเรือนเช่นเดียวกับสุโขทัย แต่จะใช้ไม้ที่มีขนาดใหญ่กว่าสมัยสุโขทัย นิยมปลูกสร้างด้วยไม้ขนาดใหญ่และหนาเกินปริมาณที่ต้องการรับแรงและน้ำหนักจริง แม้โบสถ์ วิหารก็นิยมใช้

โครงสร้างไม้ทั้งสิ้น ส่วนการก่อสร้างพุทธสถาปัตยกรรมจะใช้วัสดุถาวรเช่น อิฐ ส่วนศิลาแลงนั้น จะใช้เพียงการทำพื้นฐานของบางอาคารเท่านั้น

โครงสร้างของสิ่งก่อสร้างล้านนามักจะเน้นที่โครงสร้างหลังคา ซึ่งโครงจั่วของล้านนาก็ใช้ระบบโครงสร้างแบบเสา-คาน นิยมใช้ค้ำยันวางทะแยงจากโคนใบดั้งไปยังกึ่งกลางอกไก่และนิยมใช้ไม้ยิงลม* ยึดจั่วเพื่อช่วยให้จั่วมีการทรงตัวอย่างมั่นคง และมีโครงสร้างส่วนหลังคาและเสาของวิหารล้านนา ที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “ขื่อม้าตั่งไหม”* ซึ่งนำชื่อมาจากลักษณะการบรรทุกผ้าไหมบนหลังม้าไปขายของพ่อค้าม้าต่างบนเส้นทางสายไหม โครงสร้างชนิดนี้ปรากฏชื่อในตำนานตั้งแต่สมัยของพญามังรายเมื่อราวพุทธศตวรรษที่ 19 นับว่าโครงสร้างชนิดนี้เป็นโครงสร้างที่มีการสืบทอดแต่โบราณมากว่า 600 ปี [46]

ส่วนผนังของวิหารล้านนา พบว่าสร้างด้วยวัสดุ 2 ประเภท คือไม้และปูน [87] บ่อยครั้งจะพบการสร้างวิหารที่ผนังครึ่งบนเป็นไม้ในลักษณะการเข้าฝาปะกน ครึ่งล่างเป็นปูน และในบริเวณห้องที่ประดิษฐานพระประธานมักมีการเจาะช่องหน้าต่างเป็นรูปกากบาทที่เรียกว่า ช่องตีนกา* หรือปล่องจงกลเพื่อรับแสงหรือระบายอากาศ

สำหรับวิหารโถงจะมีการสร้างผนังปูนด้านท้ายของห้องวิหารส่วนบริเวณโดยรอบจะมีการกั้นผนังที่มีการสร้างเพียงครึ่งเดียวของเสารับน้ำหนักด้านนอกสุด ที่มีชื่อเฉพาะว่า “ฝาหยาบ” หรือ “ฝาย้อย” ซึ่งปล่อยส่วนล่างให้โล่งจึงไม่จำเป็นต้องมีการสร้างหน้าต่าง [46]

ส่วนการก่อสร้างพระเจดีย์ของล้านนานั้นจะใช้ระบบก่ออิฐทึบตัน หุ้มกรุไว้ข้างใน ส่วนฐานรากใช้การบดอัดพื้นให้แน่นด้วยชั้นดิน ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีที่เท่าเทียมกับสุโขทัย แต่เจดีย์ของล้านนาจะมีจุดเด่นคือ มักจะหุ้มองค์พระเจดีย์ด้วยโลหะบุผิวให้ดูคล้ายทอง ที่เรียกว่า “แผ่นทองจังโก” * ซึ่งคงจะทำเพื่อให้เกิดความงาม แต่ผลพลอยได้จากการบุผิวนี้ กลับช่วยป้องกันผิวปูนจากแดดและฝน ทำให้อายุของเจดีย์ยาวนานกว่าปกติ [6]

เทคโนโลยีการก่อช่องเปิดในล้านนาคือ การก่ออิฐเป็นซุ้มโค้งและก่อเป็นอุโมงค์ [9] ซึ่งการก่อซุ้มของล้านนาเป็นแบบก่ออิฐที่ใช้วางสันอิฐเบียดอัดกันไปตามวงโค้งของเพดานซุ้มหรืออุโมงค์ วิธีเดียวกับการก่อสันโค้งของตะวันตก (Arch)* ซึ่งซุ้มแบบนี้มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับซุ้มแบบสุโขทัยคือ สามารถลดความสูงของซุ้มได้มากกว่าและมีความคงทนแข็งแรงสูงกว่า เพราะแผ่นอิฐมีการอัดตัวกันแน่น ซึ่งเทคนิคนี้ น่าจะได้รับอิทธิพลมาจากพวกมอญ

โดยสรุปแล้ว การก่อสร้างของล้านนาในรุ่นแรกเริ่มนิยมใช้ไม้เป็นโครงสร้างหลัก โดยต่อมามีการใช้วัสดุก่อร่วมด้วย แต่ใช้ในลักษณะที่เป็นอิสระต่อกัน คือมีเสาไม้รับน้ำหนัก และมีผนัง

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

ก่ออิฐแต่ไม่ช่วยรับน้ำหนักหลังคา และมีการใช้วัสดุที่ต่างจากสมัยอื่นๆ คือนิยมใช้โลหะซึ่งช่วยป้องกันการผุกร่อนของผิวปูนได้ ปัจจุบันยังไม่พบหลักฐานที่จะระบุได้ว่าช่างล้านนามีความรู้ความเข้าใจในประโยชน์ของการบุโลหะข้อนี้หรือไม่ นอกจากนี้สมัยล้านนายังรู้จักการก่อซุ้มโค้งครึ่งวงกลมแบบใช้สันอิฐตั้งรับแรงอัดแล้ว

3.4 **สมัยอยุธยา**

กรุงศรีอยุธยาได้รับการสถาปนาเป็นศูนย์กลางการปกครองของไทยมาตั้งแต่สมัย พ.ศ. 1893 จนกระทั่งถึง พ.ศ. 2310 เป็นเวลานานถึง 417 ปี มีพระมหากษัตริย์ปกครองถึง 34 พระองค์ ตั้งแต่สมเด็จพระรามาธิบดีที่ 1 จนกระทั่งถึงรัชกาลสมเด็จพระเจ้าเอกทัศ มีความเจริญทางด้านศิลปวัฒนธรรมเป็นอย่างมาก มีการสืบทอดความรู้ทางด้านงานช่างอย่างต่อเนื่อง และมีการก่อสร้างอาคารทางศาสนาขึ้นมากมายด้วยความอุดมสมบูรณ์ของประชากรในสมัยนั้น

ปัจจุบันยังคงมีหลักฐานทางโบราณคดีในสมัยอยุธยาเหลืออยู่ให้ศึกษา ถึงแม้ว่าจะถูกเผาทำลายจากการพ่ายศึกเสียกรุงครั้งที่สอง เมื่อปีพ.ศ. 2310 ไปมากก็ตาม การก่อสร้างโบราณสถานในสมัยนี้ ได้มีการพัฒนาเทคนิคเพิ่มขึ้นจากสมัยสุโขทัยอย่างเห็นได้ชัด อันเนื่องมากจากการแก้ปัญหาเรื่องของสภาพพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง วัสดุอุปกรณ์ในพื้นที่ รวมถึงการรับอิทธิพลจากตะวันตกที่เข้ามาในรัชสมัยต่างๆ ด้วย

วัสดุก่อสร้างพุทธสถาปัตยกรรมในสมัยนี้ ใช้อิฐเป็นวัสดุหลัก ส่วนหลังคาหรือส่วนประกอบทางโครงสร้างบางส่วนมีการใช้ไม้ เช่น คานทับหลัง โครงหลังคา เป็นต้น ศิลาแลงมีการใช้เพียงเล็กน้อย อาจจะเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ยาก และช่างสมัยอยุธยามีความชำนาญในการก่อสร้างด้วยศิลาแลงน้อยเช่นเดียวกับการใช้หินในการก่อสร้าง [1]

การก่อสร้างพระเจดีย์ในสมัยอยุธยามีการก่อฐานพระเจดีย์เป็นรูปกงล้อพระธรรมจักร [65] มีแกนอยู่ที่ศูนย์กลางพระเจดีย์ เดิมในสมัยก่อนนี้จะก่อพระเจดีย์แบบทึบตัน ทำให้เปลืองวัสดุและทำให้องค์เจดีย์มีน้ำหนักมาก ดินทรุดตัวได้ง่าย แต่การก่อแบบกงล้อพระธรรมจักรนั้นจะก่อแบบโปร่ง นั่นคือ ก่อเป็นแกนรับน้ำหนักที่ศูนย์กลาง และมีแกนกระจายเป็นรัศมีออกไป ส่วนที่เป็นช่องโปร่งก็ถมวัสดุถม เช่น ดิน ทราย แทนการก่ออิฐทั้งหมด ส่วนนี้ถือเป็นส่วนของโครงสร้างเจดีย์ ส่วนยอดก็จะก่อทึบต่อไปจากองค์เจดีย์

นอกจากฐานแบบพระธรรมจักรแล้ว ฐานตารางก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในสมัยอยุธยา แต่จะใช้กับการก่อสร้างสถาปัตยกรรมอาคาร เช่น วิหาร ปราสาท ดังเช่นฐานพระที่นั่งสรรเพชญปราสาท [1] ซึ่งได้ก่ออิฐเป็นช่องตาราง ส่วนช่องโปร่งก็ถมด้วยวัสดุอื่นๆ ซึ่งด้วยการทำ

ฐานรากแบบนี้ทำให้อาคารสามารถก่อได้สูง เนื่องจากช่วยลดน้ำหนักของฐานลง แต่ยังคงรับน้ำหนักได้เช่นเดิม

การก่อผนังในสมัยอยุธยาช่วงแรกนั้นมีความหนามาก เนื่องจากเป็นการก่อแบบใช้ผนังรับน้ำหนัก และมีการเจาะช่องแสงในลักษณะเดียวกับผนังสมัยสุโขทัย แต่สมัยต่อมาชาวอยุธยาก็สามารถก่อผนังได้บางลง เนื่องจากมีการนำเอาระบบเสา-คาน มารับโครงจั่ว โดยใช้เสาอิฐก่อร่วมกับผนังอิฐก่อช่วยในการรับน้ำหนัก กลายเป็นระบบผสมโดยเสาอิงที่ก่อติดผนังจะช่วยให้ผนังมีความแข็งแรงมากขึ้น และยังช่วยรับน้ำหนักของโครงหลังคา หรือน้ำหนักของพื้นชั้นสอง ซึ่งในสมัยนี้ได้มีการก่อสร้างอาคารสองชั้นขึ้นแล้ว [57]

เนื่องจากในสมัยอยุธยาใช้อิฐเป็นวัสดุก่อ จึงประสบปัญหาเรื่องความชื้นในดินขึ้นมาสู่ผนัง และปัญหาการทรุดตัวของอิฐก่อในผืนผนังขนาดใหญ่ เมื่อเกิดการทรุดตัวของดินไม่เท่ากัน ดินส่วนที่ทรุดก็จะทำให้ผนังส่วนนั้นทรุดไปด้วย ช่างอยุธยาได้ใช้เทคนิคแก้ปัญหาโดยการใช้ก้อนศิลาแลงก่อเป็นแนวระดับขนานกับพื้น โดยก่อศิลาแลงเป็นช่วงๆ ตามความสูงของผนัง สลับกับการก่ออิฐ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุเพื่อให้เหมาะสมกับการแก้ปัญหานี้ด้วย นั่นคือ ใช้ปูนตำ* เป็นปูนฉาบผิวหนัง ซึ่งปูนตำมีคุณสมบัติการระบายอากาศสูง จึงช่วยในการระเหยความชื้นออกจากผนัง [1]

หลังคาเป็นโครงจั่วไม้ ใช้ระบบเสา-คาน และระบบโครงจั่วแบบผสม คือมีทั้งจันทันและเสาตุ๊กตาอยู่ในโครงจั่ว ซึ่งมีลักษณะผืนหลังคาไม่อ่อนโค้งเท่าของสุโขทัย และหากต้องการขยายพื้นที่อาคารก็ใช้การลดชั้นหลังคาเช่นเดียวกัน ส่วนช่องเปิดของอาคารนั้น พบว่าชาวอยุธยา รู้จักการใช้ไม้ทำเป็นคานทับหลังเพื่อให้ช่องเปิดสามารถทำได้กว้าง และไม่จำเป็นว่าจะต้องทำช่องเปิดเฉพาะด้านสกัดเหมือนแต่ก่อนด้วย

3.5 **สมัยรัตนโกสินทร์**

สมัยรัตนโกสินทร์คือสมัยปัจจุบันซึ่งต่อเนื่องมาจากสมัยอยุธยา โดยที่มีช่วงเวลาที่มีกรุงธนบุรีเป็นราชธานีมาคั่นกลางอยู่เพียง 15 ปี คือช่วงเวลา พ.ศ. 2310 – 2325 และเริ่มสมัยรัตนโกสินทร์ที่มีกรุงเทพมหานครเป็นราชธานีเมื่อปี พ.ศ. 2325 นับเป็นเวลา 222 ปีแล้วจนถึงปัจจุบัน ตั้งแต่มีการย้ายเมืองมาที่กรุงเทพมหานครนั้น ต้องมีการก่อสร้างอาคาร เพื่อการอยู่อาศัยและการป้องกันราชธานีมากมาย ทั้งพระที่นั่ง ป้อมปราการ แต่ในระยะแรกนั้นการก่อสร้างเป็นไปด้วยความเร่งรีบ เพื่อการปกป้องราชธานีและป้องกันการรุกรานจากประเทศเพื่อนบ้านในขณะนั้น

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

การก่อสร้างจึงมักก่อสร้างด้วยวัสดุที่ไม่ถาวรมั่นคง แต่สามารถก่อสร้างได้รวดเร็วกว่า นั่นคือใช้ไม้ในการก่อสร้าง ซึ่งต่อมาก็ได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้มีความมั่นคงถาวรขึ้น

หลังจากที่บ้านเมืองสงบสุข ได้มีการก่อสร้างศาสนสถาน และอาคารต่างๆ มากมาย ทั้งยังเป็นช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลทั้งด้านวัฒนธรรมและเทคโนโลยีจากต่างประเทศเป็นอย่างมาก จึงเกิดสถาปัตยกรรมสิ่งก่อสร้างที่มีพัฒนาการมากขึ้น ประเทศไทยได้มีการสืบทอดความรู้ทางด้านการก่อสร้างโดยระบบการศึกษาที่มีรูปแบบชัดเจนมากขึ้น มีการก่อตั้งมหาวิทยาลัย และมีการศึกษาในสาขาวิชาด้านการก่อสร้างโดยเฉพาะ ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีโดยความคิดของคนไทยเองร่วมกับการรับเทคโนโลยีที่คิดค้นโดยชาวต่างชาติ ผสมผสานทำให้เกิดความรุ่งเรืองทางเทคโนโลยีการก่อสร้างจนถึงปัจจุบันนี้

ในสมัยรัตนโกสินทร์นี้ การก่อสร้างบ้านเรือน กลับมาใช้ระบบผนังรับน้ำหนักอีกครั้ง แต่ในส่วนของการก่อสร้างพระตำหนัก พระที่นั่งในช่วงแรกสร้างด้วยไม้ เนื่องจากเป็นช่วงรีบเร่งสร้างเมือง จนกระทั่งล่วงเลยมาถึงรัชกาลที่ 3 จึงมีการแก้ไขให้เป็นพระที่นั่งก่ออิฐถือปูน ซึ่งต่อมาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 4 เป็นต้นมา ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางวิทยาการจากการรับเอาอิทธิพลของต่างชาติที่ประเทศไทยติดต่อค้าขายในสมัยนั้น และรับเอาเทคโนโลยีและวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ เข้ามาใช้ในประเทศ ทำให้มีการพัฒนาระบบโครงสร้างขึ้นโดยเฉพาะระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กที่ได้นำเข้ามาใช้ในสมัยรัชกาลที่ 5 ซึ่งนับว่าเป็นยุคเริ่มแรกของโครงสร้างลักษณะดังกล่าวในประเทศไทย และทำให้เกิดโครงสร้างอาคารที่มีขนาดใหญ่และสูงขึ้น

โครงสร้างฐานรากในสมัยนี้ มีการพัฒนาระบบฐานรากลึก หรือเสาเข็มใช้กันในสมัยรัชกาลที่ 1 โดยใช้ไม้เป็นเสาเข็ม [18] อาศัยเพียงความฝืดรอบผิวเสาเข็มในการรับแรง ส่วนฐานรากตื้นยังคงถูกใช้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการทำฐานรากแผ่เฉพาะจุดที่รับน้ำหนักแบบที่เรียกว่าฐานรากแบบคลองราก [16] โดยการขุดดินเป็นร่องตามแนวที่จะก่อเป็นผนัง กระทุ้งดินให้แน่นแล้ววางท่อนซุงทั้งต้นหรือซุงผ่าซีกก่อนจะปรับพื้นที่ให้เรียบและก่อผนังขึ้นมา จากนั้นช่วงรัชกาลที่ 4 มีการใช้วัสดุที่มีปริมาตรมากแต่น้ำหนักเบาเช่นโอ่งหรือตุ่มดินเผามาถมแทนวัสดุถมทึบเช่น ดินทราย [15] เรียกฐานรากแบบนี้ว่า ฐานรากแบบถมโปร่ง ส่วนในสมัยรัชกาลที่ 5 มีการพัฒนาไปจนถึงฐานรากลึกคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเข็มเจาะ [82] ซึ่งใช้ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

การก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กได้มีผลมาถึงโครงสร้างหลังคาด้วย ช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้น การก่อสร้างโครงสร้างหลังคายังแตกต่างจากเดิมไม่มากนัก คือใช้ระบบโครงจั่ว ทั้งแบบเครื่องประดุ หรือแบบจันทัน และยังมีแบบผสมด้วย แต่ช่วงรัชกาลที่ 5 มีการพัฒนาโครงสร้างหลังคาแบบโครงถัก หลังคาทรงโดม และโครงสร้างหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นมา ทำให้มีโครงสร้างที่รูปร่างหลากหลายมากขึ้น

ส่วนวัสดุมุงในสมัยนี้ มีการพัฒนาเพื่อความสวยงามมากขึ้น มีการเคลือบสีกระเบื้องและการใช้กระจกในการมุงหลังคาทรงโดม ทำให้ได้อาคารที่มีสีสันมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าพัฒนาการของการก่อสร้างจากยุคหนึ่งสู่ยุคหนึ่ง เป็นการพัฒนาที่เกิดรูปแบบการก่อสร้างใหม่ๆ ขึ้น โดยที่รูปแบบเดิมยังถูกใช้อย่างต่อเนื่อง หรืออาจหายไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปแบบและเทคนิค รวมถึงสภาพพื้นที่และลักษณะอาคารที่ก่อสร้าง ปัจจัยสำคัญของพัฒนาการของรูปแบบการก่อสร้างในทุกยุคสมัยคือวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากการพัฒนาวัสดุก่อสร้างเป็นองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนารูปแบบวิธีการก่อสร้าง

นอกจากนี้ สภาพพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อรูปแบบการก่อสร้างในแต่ละยุคสมัย โดยความแตกต่างของด้านสภาพพื้นดิน สภาพภูมิอากาศ และทรัพยากรบริเวณใกล้เคียง ส่งผลให้ข้อจำกัดในการก่อสร้างแตกต่างกันไปด้วย การที่ช่างโบราณได้พบเจอสภาพแวดล้อมของการก่อสร้างใหม่ๆ ย่อมนำเทคนิควิชาความรู้ที่มีมาใช้ และหากพบว่าไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของการทำงาน ย่อมมีการพัฒนาหาเทคนิคอื่นๆ มาแทนที่ ทำให้เกิดเป็นพัฒนาการขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย

โครงสร้างฐานราก เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งที่สำคัญต่อเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารทั้งหมด เนื่องจากเป็นตัวถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินด้านล่าง การมีโครงสร้างฐานรากที่แข็งแรงและเหมาะสมกับสภาพของชั้นดินย่อมส่งผลให้โครงสร้างอาคารนั้นมั่นคงอยู่ได้เป็นเวลานาน เนื้อหาในบทนี้เป็นรายละเอียดของการก่อสร้างฐานรากในแต่ละสมัย ซึ่งได้มาจากการรวบรวมข้อมูล ผ่านกระบวนการจัดเรียง และวิเคราะห์ข้อมูลระบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้าง และเทคนิคที่ใช้ในการก่อสร้างฐานราก โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์พร้อมตัวอย่างโบราณสถานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสรุปพัฒนาการของการก่อสร้างฐานรากจากอดีตสู่ปัจจุบัน

4.1 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย

จากการที่โบราณสถานในสมัยนี้กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ประเทศไทยนั้น มีผลต่อการก่อสร้างฐานรากอย่างมาก เพราะคุณสมบัติการรับน้ำหนักของดินในพื้นที่ต่างๆ ย่อมต่างกัน การก่อสร้างฐานรากที่เหมาะสมกับพื้นที่จึงแตกต่างกันตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม จากการรวบรวมข้อมูลฐานรากของโบราณสถานในสมัยนี้เป็นรูปแบบฐานรากแผ่ทั้งสิ้น ฐานแผ่นี้จะรองรับน้ำหนักของอาคารทั้งหมด และถ่ายลงสู่ชั้นดินที่รองรับอยู่ โดยลักษณะของฐานรากแบบนี้ที่พบในสมัยก่อนสุโขทัยก็มีลักษณะดังนี้

4.1.1 ลักษณะทางโครงสร้าง ฐานแผ่ถือเป็นองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมส่วนหนึ่งของอาคารสถาปัตยกรรมไทย โดยมักเป็นองค์ประกอบส่วนที่เรียกว่า ฐานเขียง ฐานประทักษิณ หรือฐานไพที* ของกลุ่มอาคาร ลักษณะทางโครงสร้างของฐานแผ่ในสมัยนี้มี 2 ลักษณะที่เห็นชัดเจน ซึ่ง 2 ลักษณะนี้มีความแตกต่างกันในแง่ของโครงสร้าง หรือการรับน้ำหนักด้วย ได้แก่

ก) ฐานแผ่ที่ก่อวัสดุเป็นกรอบแล้วบดอัดวัสดุภายใน ฐานแผ่แบบนี้มักพบในปราสาทหินแถบตะวันออกเฉียงเหนือของไทย และโบราณสถานของสมัยทวาราวดีหลายแห่ง เช่น โบราณสถานที่เมืองโบราณศรีมโหสถ [30] โบราณสถานที่เมืองเสมา [10] โบราณสถานหมายเลข 8 ที่บ้านคูเมือง อ.อินทร์บุรี จ. สิงห์บุรี [29] และโบราณสถานเขาคา [28] เป็นต้น โดยพบฐานแผ่ที่

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

เกิดจากการก่อวัสดุก่อให้เป็นกรอบตามรูปร่างของฐาน โดยมีความหนาผนังต่างๆ กัน มีช่องว่างภายในกรอบ และช่องว่างเหล่านี้จะถูกเติมเต็มหรือบดอัดด้วยวัสดุถม (ดังจะกล่าวในหัวข้อ 4.1.3) จากนั้นจึงทำการปูผิวด้วยวัสดุก่อ เพื่อก่อสร้างองค์อาคารต่อไป ดังนั้นจะเห็นว่าฐานรากแบบนี้จะถ่ายน้ำหนักผ่านวัสดุถมลงสู่ชั้นดินที่รับน้ำหนัก

ข) ฐานแผ่ก่อวัสดุทึบ พบที่พระธาตุพนม [31] และโบราณสถานเมืองต่ำ [34] ลักษณะเป็นฐานแผ่ที่ก่อด้วยวัสดุก่อทึบตลอดฐาน ไม่มีช่องว่างใต้ฐานราก วัสดุก่อเหล่านี้จะวางอยู่บนชั้นดิน และวัสดุก่อจะเป็นตัวกลางที่ถ่ายน้ำหนักจากด้านบนลงสู่ด้านล่างในลักษณะมวลต่อเนื่อง โดยอาศัยความสามารถรับแรงอัดของวัสดุ ฐานอาคารที่เป็นรูปแบบนี้จะพบน้อยกว่าแบบฐานรากแผ่ก่อเป็นกรอบ

ลักษณะฐานแผ่บางแห่ง ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นฐานแผ่ในเชิงโครงสร้าง นั่นคือ ไม่ได้รับน้ำหนักขององค์อาคารถ่ายลงสู่พื้นดิน ได้แก่ เจดีย์ทุ่งเศรษฐี ที่ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี [32] ซึ่งเป็นเนินเจดีย์ขนาดใหญ่ โดยที่ฐานชั้นล่างสุดของเจดีย์แห่งนี้ จะเป็นฐานประทักษิณ ซึ่งเป็นลักษณะของฐานที่ยื่นออกจากองค์เจดีย์หรือฐานชั้นบนออกมา 3.4 เมตร ทำให้มีพื้นที่สำหรับนมัสการองค์เจดีย์ ความสูงของฐานประทักษิณนี้ประมาณ 1 เมตร ซึ่งฐานประทักษิณนี้เชื่อว่าถูกสร้างขึ้นหลังจากสร้างองค์เจดีย์เสร็จแล้ว โดยฐานแผ่นี้จะก่อผนังด้วยอิฐล้อมรอบองค์เจดีย์ โดยห่างจากฐานเจดีย์ออกมา 3.4 เมตร ก่อเป็นผนังหนา 1.1-1.2 เมตร สูง 1 เมตร และยังมีผนังบางอีกชั้นเป็นผนังชั้นในสูง 1 เมตรเช่นกัน แต่ความหนาเพียงความกว้างของอิฐ 1 แผ่น คือ 17 เซนติเมตร ทำให้เกิดช่องว่าง 2 ช่อง คือระหว่างองค์เจดีย์กับผนังชั้นใน และระหว่างผนังชั้นในและผนังชั้นนอก ซึ่งทั้งสองช่องว่างถูกเติมเต็มด้วยวัสดุถม ซึ่งจากการที่พบว่ากรอบของฐานประทักษิณนี้ก่อล้อมฐานองค์เจดีย์นั้น ย่อมหมายความว่าฐานประทักษิณนี้ ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากองค์เจดีย์ เพียงแต่สร้างขึ้นเพื่อความสวยงามเท่านั้น

ฐานแผ่ทั้งสองแบบนี้ แตกต่างกันที่วัสดุตัวกลางในการถ่ายน้ำหนักจากอาคารลงสู่ชั้นดิน ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางโครงสร้างของฐานราก 2 แบบนี้ จึงจะเปรียบเทียบได้จากคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งต้องพิจารณาถึงชนิดและคุณสมบัติของวัสดุเติมเต็มด้วย

รูปร่าง และขนาดของฐานแผ่ เป็นคุณลักษณะที่มักจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประเภทอาคารโบราณสถาน และการออกแบบสถาปัตยกรรมของอาคาร ฐานแผ่ที่เกิดจากการการก่อวัสดุก่อเป็นกรอบนี้ทั่วไปมักมีรูปร่างเป็นเรขาคณิต อาจมีรายละเอียดในส่วนของการตกแต่งการย่อมุมเพื่อความสวยงามบ้าง แต่ก็ยังจัดอยู่ในรูปแบบเรขาคณิตได้ โดยเป็นฐานสี่เหลี่ยม หรือวงกลม เช่นฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่พระธาตุพนม ปรางค์ที่โบราณสถานปราสาทเมืองต่ำ เจดีย์ที่เมือง

เสมา เป็นต้น ส่วนใหญ่มักเป็นฐานอาคารประเภทเจดีย์ เนื่องจากเจดีย์มักมีผังวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีลักษณะสมมาตร

ฐานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนใหญ่เป็นฐานของอาคารประเภทวิหาร โบสถ์ หรือปราสาท เช่น วิหารที่เมืองเสมา [10] ปราสาทเมืองต่ำ [35] เป็นต้น ส่วนฐานแผ่รูปวงกลมและแปดเหลี่ยมล้วนเป็นฐานของเจดีย์ทั้งสิ้น ยังไม่พบว่ามีฐานแผ่รูปวงกลมหรือแปดเหลี่ยมรองรับโบราณสถานประเภทอื่น เจดีย์ฐานแปดเหลี่ยมได้แก่ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี ฐานแผ่รูปวงกลมมีตัวอย่างอยู่ที่โบราณสถานเมืองเสมา [10] ซึ่งเป็นฐานของเจดีย์ทรงกลม

ขนาดของฐานแผ่ไม่แน่นอนขึ้นกับขนาดของอาคารที่วางอยู่บนฐานนั้น จากการรวบรวมข้อมูลไม่พบความสัมพันธ์ของขนาดฐานและตัวอาคาร (เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนจำกัด)* แต่สันนิษฐานว่าขนาดของฐานรากถูกกำหนดให้มีสัดส่วนสวยงามเข้ากับสัดส่วนของอาคารมากกว่าที่จะคำนึงถึงการถ่ายน้ำหนักกระจายลงสู่ดิน และความลึกของฐานโบราณสถานส่วนใหญ่ถูกวัดจากระดับพื้นดินขึ้นมา ส่วนที่อยู่ใต้ดินมิได้ถูกวัดไว้ จึงไม่สามารถนำขนาดของฐานรากมาวิเคราะห์ได้

จากข้อมูลฐานแผ่ดังกล่าวมาแล้วนั้น จะสังเกตได้ว่าฐานแผ่เหล่านี้เป็นฐานแผ่ที่วางอยู่บนดิน โดยถือเป็นส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรมอาคาร การทำฐานแผ่รองรับอาคารโบราณสถานนั้นยังมีความไม่ชัดเจนอยู่บ้าง นั่นคือการก่อสร้างโบราณสถานนั้น มักมีคติความเชื่อในเรื่องของการยกพื้นอาคารให้สูงกว่าระดับพื้นดิน เนื่องจากอาคารโบราณสถานมักเป็นอาคารที่มีความสำคัญทางศาสนา มีความศักดิ์สิทธิ์ ประดิษฐานรูปเคารพหรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ตามความเชื่อ ดังนั้นการก่อฐานอาคารขึ้นมาก่อนจะก่อตัวอาคารนั้น อาจเกิดจากการออกแบบของช่างโบราณเพื่อการกระจายน้ำหนักของอาคารลงสู่ชั้นดิน หรืออาจเป็นเพียงการออกแบบตามความเชื่อก็ได้

อย่างไรก็ตาม การก่อฐานอาคารนั้น หากก่อสร้างขึ้นก่อน แล้วจึงก่อสร้างอาคารส่วนอื่นของอาคารทับลงมา ก็ถือว่ามีผลในเรื่องของการกระจายน้ำหนักของอาคารและน้ำหนักที่เกิดจากการใช้งานของอาคาร ถ่ายลงสู่ชั้นดินได้ตามหลักของโครงสร้างฐานรากทั่วไป เนื่องจากฐานรากอาคารเหล่านี้มักมีขนาดใหญ่กว่าตัวอาคาร หมายถึงฐานจะถูกก่อให้ยื่นออกมาจากตัวอาคาร ซึ่งจากหลักการโครงสร้างฐานรากทั่วไปย่อมจะทำให้หน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ลดลง และยังมีส่วนช่วยให้โครงสร้างเกิดความมั่นคง เนื่องจากมีฐานกว้างเชื่อมกับตัวอาคารที่ทำให้ตัวอาคารสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้ม

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ข

4.1.2 **วัสดุและเทคนิคการก่อ** ฐานรากแผ่ที่สร้างจากการก่อวัสดุเป็นกรอบฐานหรือเป็นฐานก่อทึบทั้งหมด ดังนั้นวัสดุก่อและเทคนิคการก่อจึงเป็นส่วนสำคัญของการก่อสร้างฐานราก วัสดุก่อส่วนใหญ่จะเป็นอิฐและศิลาแลง

ก) <u>อิฐ</u> อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานสมัยก่อนสุโขทัย มีลักษณะดังนี้

- *<u>ขนาดและส่วนประกอบของอิฐ</u>* ขนาดอิฐที่ใช้ในการก่อฐานรากแบบนี้มีขนาดไม่แน่นอน แต่โดยรวมถือว่ามีขนาดค่อนข้างใหญ่ คือความกว้างประมาณ 14 – 22 เซนติเมตร ความยาว 25 – 38 เซนติเมตร และความหนา 5.7 - 10 เซนติเมตร[*] ที่โบราณสถานเขาคาขนาดอิฐใหญ่มากและไม่ค่อยแน่นอน คือกว้างถึง 12 – 24 เซนติเมตร ยาว 32 – 50 เซนติเมตร และหนา 6 – 10 เซนติเมตร [28] และที่โบราณสถานศรีมโหสถ [30] ใช้อิฐใหญ่เช่นกัน คือขนาด 22 x 50 x 8 เซนติเมตร ธาดา สุทธิธรรม [89] ได้ระบุว่าอิฐสมัยทวาราวดีมีความกว้างประมาณ 16 - 22 เซนติเมตร ยาว 35 - 42 เซนติเมตร และหนา 6 - 9 เซนติเมตร ส่วนอนุวิทย์ เจริญศุภกุล [20] ระบุว่าอิฐทวาราวดีมีขนาด 16 x 32 x 8 เซนติเมตรขึ้นไป และมีขนาดเป็นสัดส่วนกันเป็นสองเท่าเสมอ นั่นคือยาวเป็นสองเท่าของความกว้าง และความกว้างเป็นสองเท่าของความหนา รูปทรงอิฐจึงมีลักษณะเป็นก้อนปริมาตร ซึ่งเป็นผลให้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับเทคนิคการก่อสร้าง การเปรียบเทียบขนาดอิฐสมัยก่อนสุโขทัยจากแหล่งข้อมูลต่างๆ แสดงในตาราง 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลขนาดอิฐจากการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลจากแหล่งอื่น

ตารางที่ 4.1 ขนาดของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานในสมัยก่อนสุโขทัย

แหล่งที่มาของข้อมูลขนาดอิฐ	**ความกว้าง**[**]	**ความยาว**[**]	**ความหนา**[**]
ตารางที่ 1[*] (ผู้วิจัย)	14 - 22	25 - 38	5.7 - 10
โบราณสถานเขาคา [39]	12 - 24	32 - 50	6 - 10
ธาดา สุทธิธรรม [43]	16 - 22	35 - 42	6 - 9
อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [20]	16	32	8

ส่วนเนื้ออิฐพบว่าอิฐจะมีขนาดใหญ่ แต่ส่วนมากจะมีการเผาอย่างดี ไส้สุกตลอด เนื้ออิฐแข็งพอสมควร มีแกลบเป็นส่วนผสมของเนื้ออิฐ เช่นอิฐที่โบราณสถานเขาคา [28]

---

[*] ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ข

[**] เซนติเมตร

ลักษณะของแกลบข้าว นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้ให้รายละเอียดว่าเป็นแกลบข้าวเหนียวปลูก ประเภทข้าวเมล็ดกลมและข้าวเมล็ดใหญ่* ซึ่งข้อมูลจากเอกสารดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะอิฐที่รวบรวมจากการเก็บข้อมูลครั้งนี้ แต่ในส่วนของสถาปัตยกรรมที่อยู่ในเขตอารยะธรรมแบบเขมรนั้น เช่นที่พระธาตุพนม ฐานรากไม่ก่อด้วยอิฐล้วน แต่ใช้อิฐก่อร่วมกับศิลาแลง โดยอิฐขนาดเล็กกว่าที่กล่าวมา คือ ขนาดประมาณ 11-19 x 29 x 8 เซนติเมตร [31]

- *<u>วัสดุสอและฉาบ</u>* การก่ออิฐในสมัยนี้พบว่าใช้วัสดุสอทั้งดิน และปูน แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้ดินมากกว่า โดยอนุวิทย์ เจริญศุภกุล [20] กล่าวว่าดินสอจะเป็นส่วนผสมของหินไข่ปลา (คล้ายหินอ่อน) บดค่อนข้างละเอียดผสมกับดินทรายและยางไม้ชนิดหนึ่งซึ่งเหนียวคล้ายกาว ส่วนธาดา สุทธิธรรม [89] ได้กล่าวถึงวัสดุสอในสมัยทวาราวดีไว้ว่า เป็นดินทรายแป้ง ที่น่าจะมีการผสมกาวหนังสัตว์เพื่อให้ดินเหนียว และมีการยึดเกาะดีขึ้น แต่เนื่องจากกาวหนังสัตว์เป็นวัสดุชีวภาพ จึงสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนและความชื้น ดังนั้นหากไม่มีการฉาบผิวของอิฐก่อเพื่อป้องกันผิวจากความร้อนและความชื้นแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปวัสดุสอเหล่านี้ก็จะสลายตัว ทำให้อิฐหมดสภาพการยึดประสาน จึงเกิดความเสียหายได้

อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นดินผสมวัสดุชนิดใด ข้อมูลโบราณสถานบางแห่งไม่ได้ระบุวัสดุสอไว้ สันนิษฐานว่าน่าจะใช้ดินสอบางมาก หรืออาจจะไม่ใช้วัสดุสอใดๆ เลย เพียงแต่ขัดอิฐให้เรียบ วางแนบสนิทกันเท่านั้น ซึ่งเป็นรูปแบบการก่ออิฐที่พบในสถาปัตยกรรมแบบเขมร [89] ส่วนการฉาบผิวฐานรากนั้น ในแหล่งข้อมูลส่วนใหญ่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งสันนิษฐานว่าไม่นิยมฉาบ เนื่องจากฐานอาคารไม่ได้ต้องการความสวยงามหรือการตกแต่งมากนัก ช่างโบราณจึงอาจละเลยส่วนนี้ไปเพื่อความรวดเร็วในการก่อสร้าง โดยมิได้คำนึงถึงคุณค่าของการฉาบผิวในแง่ของการป้องกันความเสียหายของโครงสร้างแต่อย่างใด

- *<u>เทคนิคการเรียงอิฐ</u>* ช่างทวาราวดีนิยมก่อด้วยอิฐที่สมบูรณ์เฉพาะภายนอก ส่วนภายในอาจใช้อิฐที่คุณภาพด้อยกว่าในการก่อ สันนิษฐานว่าน่าจะเพื่อเป็นการประหยัดวัสดุก่อ การก่ออิฐสมัยนี้ไม่นิยมตัดอิฐ จะใช้การสกัดออกหลังจากก่อเสร็จแล้วเพื่อความสวยงาม [20] ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการที่ไม่ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเสียไป ยกเว้นแต่ว่าการสกัดอิฐบางตำแหน่ง หากสกัดออกมากเกินไปจนทำให้โครงสร้างบางลง จะลดกำลังของโครงสร้างก่ออิฐได้

จากการรวบรวมข้อมูล ยังไม่สามารถสรุปการเรียงอิฐของฐานรากสมัยนี้ได้ชัดเจน แต่อนุวิทย์ เจริญศุภกุล [20] ได้กล่าวว่า ส่วนใหญ่จะรักษาระเบียบเฉพาะด้านนอก โดย

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

เรียงกว้างสลับยาวทุกแนว ความยาวด้านต่างๆ ของอิฐสมัยทวาราวดีจะมีความสัมพันธ์กัน ทำให้ในการก่ออิฐมีการใช้อิฐตามระบบหน่วยพิกัด โดยใช้อิฐหนึ่งแผ่นเป็นพิกัดมาตรฐาน ทำให้เกิดความเหมาะสมพอดีในการก่ออิฐ ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างที่ก้าวหน้าที่สุดในสมัยนั้น นอกจากนี้ช่างทวาราวดียังก่ออิฐโดยไม่ขัดผิวอิฐ แต่ก็ก่อประณีต รอยต่อแนบสนิทดี โดยสรุปถือว่าเทคนิคการเรียงอิฐนั้นในสมัยนี้ยังไม่ชัดเจน มีรูปแบบที่ยังไม่สามารถจัดได้ว่าเป็นรูปแบบใด

ข) ศิลาแลง การใช้ศิลาแลงเป็นฐานราก พบมากในอาคารประเภทปราสาทหิน ดังตัวอย่างที่โบราณสถานเมืองต่ำ [36] ฐานของปรางค์ก่อด้วยศิลาแลงก่อทึบ หรือโบราณสถานที่เมืองโบราณศรีมโหสถ [30] ซึ่งฐานอาคารโบราณสถานแทบทุกแห่งในเมืองโบราณศรีมโหสถล้วนใช้ศิลาแลงในการก่อเป็นกรอบทั้งสิ้น

- *ขนาดและส่วนประกอบของศิลาแลง* ขนาดของศิลาแลงที่พบที่โบราณสถานศรีมโหสถ อาจแบ่งได้ 2 ขนาดคือขนาดเล็ก กว้าง 30-40 เซนติเมตร ยาว 40 – 65 เซนติเมตร และสูง 10-20 เซนติเมตร และขนาดใหญ่ คือ กว้าง 50 – 60 เซนติเมตร ยาว 100-120 เซนติเมตร และสูง 30-40 เซนติเมตร [30] ซึ่งจะเห็นได้ว่า แม้ในโบราณสถานแห่งเดียวกัน หรือแม้แต่อาคารเดียวกัน ขนาดของศิลาแลงที่ใช้ก็มีหลายขนาดต่างกัน แสดงว่ายังไม่มีการกำหนดขนาดของศิลาแลงที่ใช้ก่อสร้าง สันนิษฐานว่าเนื่องจากความยากลำบากของการตัดและนำศิลาแลงมาใช้ ทำให้ไม่สามารถตัดศิลาแลงให้มีขนาดสม่ำเสมอได้ ขนาดของศิลาแลงโบราณสถานศรีมโหสถแสดงดังตาราง 4.2

การใช้ศิลาแลงในการก่อฐานอาคารนั้น นับว่าเป็นความฉลาดของช่างโบราณ เนื่องจากศิลาแลงมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดี และมีรูพรุน ไม่อุ้มน้ำ [90] ทำให้ความชื้นจากดินไม่สามารถซึมขึ้นไปบนตัวอาคารได้ และเมื่อถูกน้ำท่วมจะไม่บวมขยายทำให้โครงสร้างเสียหาย แต่เนื้อศิลาแลงอาจจะเปื่อยยุ่ยได้

- *วัสดุสอและฉาบ* การก่อศิลาแลงเป็นฐานอาคาร เช่นที่โบราณสถานศรีมโหสถ [30] และพระธาตุพนมไม่ใช้วัสดุสอ [47] แต่ใช้น้ำหนักของศิลาแลงเองกดทับวัสดุส่วนล่าง โดยไม่มีการทำการยึดระหว่างศิลาแลง ดังนั้นเมื่อดินที่รับน้ำหนักฐานรากมีการเคลื่อนตัวจะทำให้อาคารพังทลายลงมาได้ แต่ที่ปราสาทเมืองต่ำพบว่ามีวัสดุประเภทดินเลนสออยู่ระหว่างก้อนศิลา [36] และฉาบปูนขาวทับหน้า

- *เทคนิคการเรียงศิลาแลง* การเรียงศิลาแลงมักไม่ได้ถูกระบุในแหล่งข้อมูล มีเพียงบางแห่งเช่น ที่ปราสาทเมืองต่ำพบศิลาแลงถูกนำมาเรียงซ้อนกันในแนวดิ่ง พยายามรักษาระดับในแนวราบไว้ ให้รอยต่อในแนวดิ่งแต่ละชั้นเหลื่อมกันไว้เท่านั้น [36]

ตารางที่ 4.2 ขนาดของศิลาแลงที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานศรีมโหสถ

ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
โบราณสถานหมายเลข 86	40.00	70.00	-
โบราณสถานหมายเลข 223	30.00	50.00	15.00
อาคารหมายเลข 2	50-60	100-120	30-40
อาคารหมายเลข 7	30-35	40-50	8 - 13
สิ่งก่อสร้างหมายเลข 15	30-35	50-60	13-20
สิ่งก่อสร้างหมายเลข 16	30-35	50-60	13-20
อาคารหมายเลข 1	30.00	40.00	-
อาคารหมายเลข 3	30-40	50-65	10-20
สิ่งก่อสร้างหมายเลข 14	30-35	50-60	13-20

ที่มา: [30]

4.1.3 การบดอัดวัสดุภายในกรอบฐานแผ่ ภายในกรอบฐานแผ่ที่ก่อด้วยวัสดุก่อชนิดต่างๆ จะมีการเติมเต็มวัสดุภายในกรอบ หรือมีการบดอัดวัสดุด้วย อาจจะเพื่อการประหยัดวัสดุก่อ หรือเพื่อความรวดเร็วในการก่อสร้าง [30] ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเติมเต็มและบดอัดนี้มีหลายชนิด โดยจะแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

ก) ดิน และดินลูกรัง พบที่เมืองโบราณศรีมโหสถ [30] โบราณสถานหมายเลข 8 ที่บ้านคูเมือง อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี [29] ดินและดินลูกรังที่ใช้ในการบดอัดภายในกรอบฐานแผ่นี้สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นดินในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง โดยการใช้วัสดุชนิดนี้เติมเต็มน่าจะเพื่อความสะดวก ไม่เสียเวลาในการขนย้ายวัสดุจากแหล่งอื่น

ข) เศษอิฐหัก เศษหินผสมดิน ที่โบราณสถานทุ่งเศรษฐี พบว่ามีการใช้เศษอิฐหักและดินบดอัดในช่องว่างระหว่างผนังชั้นนอกและชั้นใน [32] เศษอิฐหักซึ่งน่าจะมาจากเศษวัสดุที่เหลือใช้ หรืออิฐที่ไม่สมบูรณ์ไม่สามารถใช้ในการก่อได้ และที่โบราณสถานเขาคาที่ภายในฐานแผ่มีการบดอัดด้วยดินและเศษหิน โดยเป็นเศษหินขนาดย่อม และขนาดเล็กผสมดินลูกรัง [28] ซึ่งเศษหินผสมดินสันนิษฐานว่ามาจากบริเวณที่ก่อสร้างนั่นเอง

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ค) ทราย หินทราย ตัวอย่างได้แก่ ปราสาทเมืองสิงห์ ซึ่งใช้ทราย หินทราย ดิน และหินกรวดแม่น้ำในการบดอัด [33] ส่วนที่โบราณสถานเมืองเสมา [10] ใช้หินทรายสีม่วงขนาดเล็ก ขนาดก้อนค่อนข้างสม่ำเสมอ เศษอิฐ และทราย ถมอัดภายในกรอบอิฐก่อ จากข้อมูลดังกล่าวนี้ สันนิษฐานได้ว่าช่างโบราณน่าจะมีความรู้ดีเกี่ยวกับคุณสมบัติของทราย ว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเป็นวัสดุที่มีความแน่น แข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ทำให้ฐานอาคารรับน้ำหนักได้ดี รวมทั้งหินทรายและหินกรวดด้วย แหล่งที่มาของวัสดุเหล่านี้อาจมาจากแหล่งน้ำใกล้สถานที่ก่อสร้างโบราณสถาน

4.1.4 ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานราก ชั้นดินใต้ฐานแผ่ก็มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของอาคารโบราณสถาน เนื่องจากแต่ละพื้นที่ก็มีสภาพพื้นที่ และสภาพดินที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักแตกต่างกัน ช่างโบราณได้การพยายามแก้ปัญหาเมื่อพบว่าพื้นที่ก่อสร้างมีปัญหาเรื่องการรับน้ำหนัก โดยชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานรากแผ่นี้ จะแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

ก) ชั้นดินธรรมชาติ โบราณสถานหลายแห่ง เช่น เมืองโบราณศรีมโหสถ [30] โบราณสถานที่บ้านคูเมือง [29] ปราสาทเมืองสิงห์ [33] และโบราณสถานเขาคา [28] เป็นโบราณสถานที่ตั้งอยู่บนชั้นดินที่มีความแข็งแรงพอ หรือไม่มีปัญหาเรื่องความลาดเอียงของพื้นที่มากนัก จึงไม่มีความจำเป็นต้องแก้ปัญหาใดๆ เพียงแต่ตกแต่งผิวดินให้ปราศจากพืช หรือเศษวัสดุที่ไม่พึงประสงค์เท่านั้น ที่โบราณสถานเขาคานี้ สภาพดินในบริเวณที่ก่อสร้างโบราณสถานน่าจะมีหินปนอยู่มาก จึงมีการนำหินนั้นมาวางใต้ฐานรากร่วมกับการบดอัดเศษดินและเศษหิน จากแหล่งข้อมูลได้กล่าวถึงการใช้แกนหินธรรมชาติเป็นฐานราก [28] ซึ่งน่าจะหมายถึงการนำหินจากบริเวณใกล้เคียงมาตกแต่งรูปร่างให้อยู่ในรูปทรงที่มีเสถียรภาพ และวางใต้ฐานแผ่ ซึ่งหินก็จะรับน้ำหนักจากฐานแผ่และดินบดอัด ถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินธรรมชาติ

ข) ชั้นดินเดิมถูกปรับให้ได้ระดับและอัดให้แน่น ที่โบราณสถานเมืองเสมา [10] ก่อนจะก่อกรอบอิฐเป็นฐานแผ่มีการปรับถมดินให้แน่น ในการสำรวจของกรมศิลปากรได้ระบุว่าชั้นดินเดิมถูกปรับถมให้แน่น โดยอาศัยข้อมูลของชั้นดินในบริเวณใต้อาคาร ที่พบว่ามีความแน่นมากกว่าบริเวณใกล้เคียง แต่วัสดุหรือชนิดของดินเป็นชนิดเดียวกัน การปรับชั้นดินแบบนี้ใช้ในกรณีที่ชั้นดินเดิมมีระดับที่ไม่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง ซึ่งกระทำโดยการถมหรือขุดออก เมื่อปรับระดับแล้ว จะทำการปรับให้ชั้นดินบริเวณผิวดินแน่นขึ้น เนื่องจากการปรับระดับอาจทำให้บริเวณผิวดินลดความแข็งแรงลงไป การทำให้ดินแน่นสันนิษฐานว่าใช้การทุบดินด้วยวัสดุต่างๆ หรืออาจจะเป็นการใช้คนเหยียบ หรือช้างเหยียบ

ค) ปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน การปรับปรุงคุณภาพชั้นดินแต่ละแห่ง ใช้วัสดุและวิธีการต่างกัน เช่น โบราณสถานทุ่งเศรษฐี [32] ใช้ก้อนหินปูนวางเรียงก่อน แล้วบดอัดด้วยทราย

ปรับระดับบนชั้นหินปูน ส่วนที่พระธาตุพนมปรับปรุงโดยการขุดหลุมลึกลงไปและบดอัดดินเหนียว จากนั้นถมด้วยดินลูกรังอัดแน่นอีกชั้น ชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 0.80 เมตร แล้วจึงก่ออิฐเป็นฐาน ซึ่งความกว้างของพื้นที่ที่ทำการปรับปรุงชั้นดินนั้น กว้างแผ่ออกจากฐานแผ่ถึงด้านละ 1 เมตร [91]

นอกจากนี้ ที่โบราณสถานเมืองต่ำ [36] ชั้นดินที่รองรับฐานแผ่นั้นได้มีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการขุดลอกดินเดิมออกลึกประมาณ 3 - 4 เมตร และนำทรายละเอียดจากแม่น้ำมาถมเป็นชั้นหนาประมาณ 10 - 20 เซนติเมตร ปรับให้เรียบ และบดอัดโดยเอาน้ำราดและใช้เสากระทุ้งให้แน่น [21] แล้วใช้กรวดจากภูเขาที่มีลักษณะกลมมน หรือหินที่มีลักษณะกลมมนวางเรียงจนเต็มพื้นที่ แล้วนำทรายแม่น้ำมาถมอีก ราดน้ำและอัดแน่น ทำสลับกันไปจนเต็มพื้นที่และความลึก จากนั้นจึงนำศิลาแลงมาปูทับเป็นฐานแผ่

จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่าวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานรากนั้นแตกต่างกันออกไป ซึ่งน่าจะมีความเกี่ยวข้องกับวัสดุที่หาได้ในแต่ละพื้นที่ รวมถึงความรู้ของช่างโบราณในเรื่องของกำลังวัสดุด้วย อีกทั้งความเข้าใจในประโยชน์ของการบดอัดวัสดุให้แน่นเพื่อรับน้ำหนัก จะเห็นว่าช่างโบราณมีความเข้าใจเป็นอย่างดี จึงถือได้ว่า เทคโนโลยีในด้านฐานรากของสมัยนี้มีจุดเด่นอยู่ที่ความเข้าใจในคุณสมบัติการรับน้ำหนักของวัสดุต่างๆ การเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินเดิม

โดยสรุปแล้วลักษณะของฐานรากในสมัยก่อนสุโขทัยเป็นฐานแผ่วางบนชั้นดินรับน้ำหนัก ซึ่งฐานแผ่ก็จะมีลักษณะเป็นฐานแบบก่อเป็นกรอบแล้วบดอัดวัสดุภายใน หรือก่อทึบด้วยวัสดุก่อทั้งหมด รูปร่างเป็นเรขาคณิต ขนาดของบานขึ้นกับขนาดของอาคารที่ตั้งอยู่ วัสดุที่ใช้มีทั้ง อิฐ และศิลาแลง โดยอิฐจะมีส่วนผสมของแกลบข้าว มีขนาดไม่ค่อยแน่นอน แต่โดยรวมขนาดค่อนข้างใหญ่ ประมาณ 15 x 30 x 8 เซนติเมตรขึ้นไป สอด้วยดิน การเรียงอิฐไม่มีระบบตายตัว ส่วนศิลาแลงมีขนาดตั้งแต่ 30 – 60 เซนติเมตร ยาว 40 – 120 เซนติเมตร และสูง 10-40 เซนติเมตร ไม่สอด้วยวัสดุใด และไม่มีระบบการเรียงอิฐที่แน่นอน ฐานแผ่แบบก่อวัสดุเป็นกรอบฐานนั้น จะใช้วัสดุในการบดอัดเช่น ดิน ดินลูกรัง เศษอิฐ หิน ทราย หินทราย ซึ่งขึ้นกับแหล่งวัสดุที่อยู่ใกล้โบราณสถานนั้น

การเลือกรูปแบบของฐานรากโบราณสถานแต่ละแห่ง ช่างโบราณคงจะมีการคำนึงถึงการรับน้ำหนักของชั้นดินอยู่บ้าง โดยพอจะสรุปได้ว่า ช่างโบราณมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องกำลังของวัสดุ(ดิน)พอสมควร เนื่องจากช่างโบราณได้พยายามทำให้ชั้นดินมีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นโดยการนำเอาวัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่ามาบรรจุแทน โดยการใช้วัสดุต่างๆ โดยการคำนึงถึงวัสดุที่หาได้ไม่ยากในบริเวณที่ก่อสร้าง เพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง รวมทั้งมีความเข้าใจว่า การบดอัดจะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงขึ้นกว่าการถมเพียงอย่างเดียวด้วย

ในส่วนของฐานรากแผ่ ถึงแม้จะยังไม่สามารถสรุปวัตถุประสงค์ของการก่อฐานอาคารดังที่กล่าวมาแล้ว แต่การก่อฐานอาคารก็มีผลในเรื่องของการกระจายน้ำหนักของอาคาร และน้ำหนักที่เกิดจากการใช้งานของอาคาร ถ่ายลงสู่ชั้นดินได้ตามหลักของโครงสร้างฐานรากทั่วไป เนื่องจากฐานอาคารเหล่านี้ มักมีขนาดกว้างใหญ่กว่าตัวอาคาร ซึ่งจะทำให้หน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ลดลง และยังมีส่วนช่วยให้โครงสร้างเกิดความมั่นคง เนื่องจากมีฐานที่ทำให้ตัวอาคารสามารถตั้งอยู่ได้ แต่ทั้งนี้ก็ยังอาจมีข้อขัดแย้ง นั่นคือ การก่อฐานอาคารซึ่งใช้วัสดุก่อ เช่น อิฐ ศิลาแลง อาจจะทำให้น้ำหนักของอาคารโดยรวม (รวมน้ำหนักฐานรากด้วย) เพิ่มมากขึ้น อาจเป็นการเพิ่มน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่ดินก็เป็นได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียด จึงยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ว่าแท้ที่จริงการก่อฐานอาคารให้ประโยชน์ในแง่ของโครงสร้างหรือไม่ จึงควรมีการศึกษาในแต่ละกรณีต่อไป

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ช่างสมัยก่อนสุโขทัยจะมีความรู้ในเรื่องฐานรากอยู่บ้าง แต่ในการก่อสร้างฐานรากดังกล่าวมาข้างต้น บางจุดยังแสดงถึงขาดความเข้าใจและมีผลต่อความมั่นคงของโครงสร้าง เช่นที่กุฏิฤาษีเมืองต่ำ บ้านโคกเมือง อ. ประโคนชัย จ. บุรีรัมย์ และปราสาทสระกำแพงน้อย จ. ศรีสะเกษ พบการก่อศิลาแลงเป็นฐานอาคารที่ขาดการเชื่อมประสานที่ดี วัสดุก่อแยกตัวจากกันได้ง่าย ทำให้โครงสร้างส่วนบนไม่สามารถคงอยู่ได้ และทลายลงมา [20]

จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าเทคโนโลยีฐานรากในสมัยนี้มีความเจริญในระดับหนึ่ง ช่างได้ตระหนักถึงความสำคัญของฐานรากและการถ่ายน้ำหนักลงสู่ดิน ถึงแม้ว่าในการก่อสร้างฐานแผ่จะยังไม่เป็นที่ชัดเจนดังกล่าว แต่หลักฐานการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินก็เป็นหลักฐานส่วนที่สำคัญเพียงพอแล้วที่จะเชื่อว่าช่างสมัยนี้มีความเข้าใจเรื่องฐานรากอยู่ในระดับหนึ่ง

4.2 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย

สมัยสุโขทัยมีราชธานีอยู่ที่เมืองสุโขทัย ซึ่งเป็นเมืองโบราณที่มีโบราณสถานตั้งกระจัดกระจายอยู่ทั้งภายในและภายนอกกำแพงเมือง เฉพาะภายในเขตกำแพงเมืองมีโบราณสถานกว่า 70 แห่ง จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2524 พบว่าโบราณสถานภายในกำแพงเมืองที่ยังไม่ขุดแต่ง (ในขณะนั้น) ประมาณ 21 แห่ง และเนื่องจากพื้นที่ภายในกำแพงเมืองนั้น มีอาณาบริเวณกว้างขวาง มีพื้นที่ประมาณ 2000 ไร่ ดังนั้นเพื่อการสะดวกต่อการจัดแบ่งโบราณสถานจึงแบ่งพื้นที่ภายในเมืองทั้งหมดออกเป็น 4 เขต (Zone) [42] คือ

1. Zone A ได้แก่ บริเวณพื้นที่ส่วนตะวันตกเฉียงเหนือ
2. Zone B ได้แก่ บริเวณพื้นที่ส่วนตะวันออกเฉียงเหนือ
3. Zone C ได้แก่ บริเวณพื้นที่ส่วนตะวันตกเฉียงใต้

4. Zone D ได้แก่ บริเวณพื้นที่ส่วนตะวันตกเฉียงใต้

ดังนั้น ในการกล่าวอ้างถึงโบราณสถานในบริเวณเหล่านี้ จึงจะใช้รหัสเช่น วัดร้าง At.A1 หมายถึงวัดร้างที่อยู่ใน Zone A แห่งที่ 1 เป็นต้น

โบราณสถานในสมัยสุโขทัยบางแห่งได้มีการศึกษาและทดสอบทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อที่จะหาคุณสมบัติของดิน และคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง รวมถึงวิเคราะห์สภาพความมั่นคงของโครงสร้างเพื่อนำไปพิจารณาประกอบการบูรณะบ้างแล้ว ซึ่งนับว่าเป็นอีกก้าวหนึ่งของการศึกษาทางวิศวกรรมของโบราณสถาน และมีประโยชน์ในส่วนของการศึกษาฐานรากของโบราณสถานด้วย โดยจากการรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้ พบว่ามีรูปแบบหลักเหมือนกับสมัยก่อนสุโขทัยคือ ฐานรากแผ่วางบนชั้นดิน โดยลักษณะของฐานรากแบบนี้ที่พบในสมัยสุโขทัยก็มีลักษณะดังนี้

4.2.1 **ลักษณะทางโครงสร้าง** ฐานรากของสมัยนี้ยังคงคล้ายกับในสมัยก่อนสุโขทัย ลักษณะทางโครงสร้างของฐานแผ่โดยทั่วไปมี 2 ลักษณะเช่นกัน คือ

ก) ฐานแผ่ที่ก่อวัสดุเป็นกรอบแล้วบดอัดวัสดุภายใน พบที่วัดพระนอน กำแพงเพชร [39] เป็นตัวอย่างของฐานแผ่แบบนี้ในสมัยสุโขทัย ซึ่งลักษณะของฐานรากแบบนี้ยังไม่ต่างไปจากสมัยก่อนหน้านี้นัก

ข) ฐานแผ่ก่อวัสดุทึบ แหล่งที่พบได้แก่ ฐานมณฑปวัดศรีชุม [40] และวิหารวัดร้าง At.A2 [42] มีลักษณะเหมือนกับฐานรากแบบก่อทึบในสมัยก่อนสุโขทัย ฐานอาคารที่เป็นรูปแบบนี้จะพบน้อยกว่าแบบฐานรากแผ่ก่อเป็นกรอบ

รูปร่าง และขนาดของฐานแผ่ จากการสำรวจข้อมูลฐานรากแผ่ในสมัยสุโขทัยนี้ พบว่ามีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ได้แก่ โบสถ์วัดช้างรอบ กำแพงเพชร [39] และวิหารวัดร้าง At.A.1 – 3 และ At.B.1-3 [42] เป็นต้น ส่วนฐานของอาคาประเภทเจดีย์ในแห่งโบราณสถานเดียวกันนี้จะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.2.2 **วัสดุและเทคนิคการก่อ** วัสดุก่อในสมัยสุโขทัย มีลักษณะไม่ต่างจากสมัยก่อนสุโขทัยมากนัก คือมีทั้งอิฐ และศิลาแลง แต่มีส่วนที่แตกต่างคือบางแห่งใช้วัสดุทั้งสองชนิดร่วมกันในการก่อฐานอาคาร ทั้งนี้อาจมีเหตุผลทางใดทางหนึ่งซ่อนอยู่ เช่น ช่างอาจมีความรู้ทางด้านคุณสมบัติของวัสดุมากขึ้น จึงเลือกใช้วัสดุแต่ละชนิดทำหน้าที่แต่ละอย่าง หรือเหตุผลเกี่ยวกับความยากง่ายในการจัดหาวัสดุ เป็นต้น

ก) อิฐ

- *<u>ขนาดและส่วนประกอบของอิฐ</u>* อิฐที่ใช้ในการก่อฐานอาคารสมัยนี้มีขนาดเล็กกว่าสมัยก่อนสุโขทัย ขนาดโดยรวมกว้างประมาณ 14 – 20 เซนติเมตร ยาว 19 – 32 เซนติเมตร และความหนา 3 – 7 เซนติเมตร และขนาดเฉลี่ย 14 x 24 x 4 เซนติเมตร แต่จากการรวบรวมข้อมูลของ ศิริชัย หวังเจริญตระกูล และสมศักดิ์ เพ็ญชาติ [41] ได้สรุปขนาดอิฐในสุโขทัยไว้ 5 ขนาด ดังตาราง 4.3 โดยได้ทำการทดสอบความหนาแน่นของอิฐแต่ละกลุ่มไว้ด้วย ซึ่งจากผลการศึกษานี้ก็สอดคล้องกับข้อมูลที่ผู้วิจัยได้สรุปไว้

ตารางที่ 4.3 ขนาดของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานในสมัยสุโขทัย

แหล่งที่มาของข้อมูลขนาดอิฐ	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
ผู้วิจัย	14 -20	19 - 32	3 - 7
ผู้วิจัย (ค่าเฉลี่ย)	14	24	4
มะลิ โคกสันเทียะ [45]	11.5 - 15	16 - 20	3.8 - 6.7
อิฐเก่าวัดมหาธาตุ-ขนาดที่พบมากที่สุด [41]	14.5	24.5	4.7
อิฐใหญ่ขนาดที่ 1 จากกลุ่มวัดช้าง [41]	15.8	26.7	7
อิฐใหญ่ขนาดที่ 2 จากกลุ่มวัดร้าง [41]	15.4	27.3	3.9
อิฐใหญ่ขนาดที่ 1 จากวัดศรีชุม [41]	17.2	26.9	6.5
อิฐใหญ่ขนาดที่ 2 จากวัดศรีชุม [41]	19.3	31.3	7.8

นอกจากนี้ มะลิ โคกสันเทียะ [45] ได้กล่าวไว้ว่าแผ่นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างสมัยสุโขทัย มีความหนา เป็น 1 ใน 3 ของความกว้าง และมีความกว้าง 3 ใน 4 ของความยาว และมีความกว้างประมาณ 4.5 นิ้ว ถึง 6 นิ้ว หรือ 11.25 เซนติเมตร ถึง 15 เซนติเมตร ซึ่งก็ค่อนข้างสอดคล้องกับข้อมูลในตารางข้างต้น

ส่วนองค์ประกอบของอิฐในสมัยสุโขทัยนี้ ศิริชัย หวังเจริญตระกูล [41] ได้เก็บข้อมูลจากวัดมหาธาตุและวัดพระพายหลวง และได้สรุปว่าในเนื้ออิฐมีสารประกอบหลักคือ ทราย หรือ SiO_2 ถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักอิฐ ส่วนที่เหลือเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) นอกจากนั้นเป็นสิ่งเจือปนต่างๆ และยังกล่าวถึงการผลิตอิฐด้วย โดยขั้นตอนเริ่มจากผสมดินเหนียว ทราย และแกลบหรือดินโคลนผสมแกลบ นวดผสมน้ำให้เข้ากัน

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

แล้วอัดลงแบบพิมพ์ จึงทำให้ได้อิฐที่มีขนาดค่อนข้างแน่นอนใกล้เคียงกันเป็นกลุ่มๆ ส่วนที่ขนาดต่างกันบ้างอาจจะเนื่องจากมาจาแบบพิมพ์หลายอัน และทำในเวลาที่ต่างกัน

- <u>*วัสดุสอและฉาบ*</u> การก่ออิฐในสมัยสุโขทัยนิยมสอด้วยดินมากกว่าสอปูนมะลิ โคกสันเทียะ [45] ได้กล่าวถึงวัสดุเชื่อมประสานในการก่ออิฐหรือศิลาแลงสมัยสุโขทัยว่า ใช้ปูนขาว ทราย น้ำอ้อย หนังสัตว์ และเปลือกไม้ชนิดหนึ่งที่มีน้ำฝาดออกเมื่อแช่น้ำ คือไม้ประดู่หรือเปลือกไม้อย่างอื่น วิธีทำคือ เอาหนังสัตว์แห้งมาเคี่ยวจนเปื่อยเป็นน้ำเหนียว แล้วนำน้ำอ้อย ทราย และปูนขาวมาผสมกัน ตำคลุกเคล้าจนเหนียว และผสมน้ำแช่เปลือกไม้เพื่อช่วยให้แห้ง จึงนำไปก่ออิฐ แต่ส่วนที่เป็นโครงภายใน มักใช้ดินผสมแกลบย่ำจนเละเป็นวัสดุประสาน ส่วนผสมดังกล่าวข้างต้นจะใช้ก่อบริเวณที่รับน้ำหนัก หรือผนังริมนอก ส่วนการฉาบนั้น ผิวภายนอกนิยมฉาบปูนทับ

- <u>*เทคนิคการเรียงอิฐ*</u> เทคนิคการเรียงอิฐฐานรากในสมัยนี้ ส่วนใหญ่ไม่รักษาระเบียบการก่ออย่างสม่ำเสมอนัก แต่พบว่าบางแห่งเช่น มณฑปวัดศรีชุม [41] และวิหารวัดร้าง At.B.3 [44] เป็นต้น มีระบบก่อคล้ายแบบ English Bond* นอกจากนี้ยังมีระบบผสม คือแบบ Common Bond และ Header Bond ที่วิหารวัดร้าง At.A3 โดยการก่อทุกแบบจะพยายามก่อให้แต่ละชั้นเหลื่อมกัน ฐานของเจดีย์วัดร้าง At.B.4 จะก่อฐานเป็นกรอบภายนอกทีละชั้น โดยลดชั้นเข้าไปบนพื้นดินอัดแน่นจนเสร็จ

ข) ศิลาแลง ศิลาแลงเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในสมัยสุโขทัย โดยเฉพาะโบราณสถานบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร [39] ซึ่งเป็นแหล่งที่มีศิลาแลงเป็นจำนวนมาก และช่างกำแพงเพชรมักก่อศิลาแลงเป็นกรอบ และภายในอัดด้วยลูกรัง และอิฐกระเบื้อง

- <u>*ขนาดและส่วนประกอบของศิลาแลง*</u> ขนาดของศิลาแลงที่พบ กว้างประมาณ 15 เซนติเมตร ยาว 35 – 45 เซนติเมตร และสูง 25 - 30 เซนติเมตร คุณสมบัติของศิลาแลงจากการศึกษาของ ศิริชัย หวังเจริญตระกูล และสมศักดิ์ เพ็ญชาติ [45] ได้หาค่าความหนาแน่นของศิลาแลงที่พบในวัดมหาธาตุ วัดศรีสวาย วัดพระพายหลวง และวัดช้างรอบได้ค่าความหนาแน่น 2.49 2.5 2.60 และ 2.55 ตามลำดับ หรือโดยเฉลี่ย 2.53 นอกจากนี้ยังมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละของน้ำหนักด้วย โดยศิลาแลงเหล่านี้มีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.99 ของน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่าอิฐที่ได้จากแหล่งเดียวกัน คือประมาณ 12.57 จึงจะเห็นได้ว่า ศิลาแลงมีคุณสมบัติการดูดซึมน้อยกว่าอิฐ

- <u>*วัสดุสอและฉาบ*</u> การก่อศิลาแลงเป็นฐานอาคารไม่ได้ระบุไว้ว่าใช้วัสดุสอชนิดใด แต่สันนิษฐานว่าไม่ใช้วัสดุสอ หรือใช้ดินสอ และใช้น้ำหนักของศิลาแลงเองกดทับกันลงมา

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ค

- *<u>เทคนิคการเรียงศิลาแลง</u>* การเรียงศิลาแลงไม่เป็นระบบ เพียงแต่พยายามอัดเรียงศิลาแลงให้เหลื่อมกันเท่านั้น บางแห่งพบการเรียงที่อาจจะจัดเข้ารูปแบบ Flemish Bond ได้ เช่นที่วัดพระนอน เขตอรัญญิก [39] หรือแบบ English Bond เช่นที่ฐานปรางค์วัดร้าง At.B.2 [44] เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบการแก้ปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ลาดเอียงไม่เท่ากันโดยการเรียงศิลาแลงเป็นแถวไม่เท่ากันด้วยคือในส่วนที่ดินต่ำกว่าส่วนอื่น อาจก่อศิลาแลงให้จำนวนแถวมากกว่าบริเวณพื้นดินส่วนที่สูงกว่า

นอกจากการใช้อิฐ หรือศิลาแลงก่อเป็นฐานแล้วนั้น ยังมีการก่อฐานอาคารที่ใช้วัสดุทั้งสองชนิดร่วมกันอีกด้วย เช่นที่ฐานวิหารวัดร้าง At.B.2 ซึ่งกรอบฐานอาคารก่อด้วยอิฐขนาดใหญ่ขนาด 20 x 32 x 6.5 เซนติเมตร และบางส่วนแซมด้วยศิลาแลง หรือที่วิหารวัดร้าง At.B.6 ซึ่งฐานอาคารในแต่ละด้านใช้วัสดุต่างกัน คืออิฐขนาด 14 x 23 x 4.5 เซนติเมตร ร่วมกับศิลาแลงขนาดกว้าง 25 x 45 x 14 เซนติเมตร สอด้วยดิน ซึ่งเหตุผลของการก่อด้วยวัสดุต่างชนิดกันในแต่ละด้านนั้น ยังไม่มีผู้ใดเสนอเหตุผลที่น่าสนใจไว้

4.2.3 การบดอัดวัสดุภายในกรอบฐานแผ่ ในสมัยสุโขทัยนี้นิยมใช้วัสดุเพียงอย่างเดียวในการถมอัด คือ *ดินหรือดินลูกรัง* ส่วนใหญ่การบดอัดภายในกรอบฐานแผ่ของอาคารในสมัยสุโขทัย มักใช้ดินลูกรังหรือดินบริเวณที่ทำการก่อสร้างนั้นเอง อาจเป็นเพราะบริเวณพื้นที่แถบสุโขทัย หรือบริเวณใกล้เคียงมีชั้นดินที่ดี มีคุณภาพอยู่แล้ว อาจมีบางแห่งที่อัดด้วยดินลูกรังผสมอิฐกระเบื้องด้วย โดยเฉพาะในโบราณสถานที่จังหวัดกำแพงเพชร

4.2.4 ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานราก พื้นที่ที่ตั้งของโบราณสถานสมัยสุโขทัย ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดตาก จังหวัดพิษณุโลก เป็นต้น บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีชั้นดินคุณภาพดีอยู่แล้ว ดังที่การุญ จันทรางศุ [92] ได้ระบุไว้ในรายงานผลการวิจัยการวิเคราะห์โครงสร้างของโบราณสถาน ในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ว่าลักษณะภูมิประเทศของอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยนั้น พื้นที่ตั้งเมืองลาดเทไปทางตะวันตก ดินเป็นดินปนทรายและลูกรัง ดินชั้นบนเป็นดินแข็ง มีกำลังรับน้ำหนักสูง มีความแข็งดีเมื่อแห้ง แต่อ่อนตัวลงเมื่อเปียกชื้น เพราะมีเลน (silt) ปนอยู่

จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่ชั้นดินเดิมที่รับน้ำหนักของพื้นที่นี้ค่อนข้างแข็งแรงอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ช่างโบราณก็ได้มีวิธีการในการปรับแต่งพื้นที่ก่อนการก่อสร้าง โดยชั้นดินที่รับน้ำหนักของฐานแผ่ในสมัยนี้ ที่พบพอจะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบดังนี้

ก) ชั้นดินเดิมถูกปรับให้ได้ระดับและปรับให้แน่น ที่วัดมหาธาตุ มณฑป วัดศรีชุม [40] วัดเจดีย์เจ็ดแถว [45] และวัดร้างอื่นๆ [44] อีกหลายแห่งล้วนแต่มีการปรับถมเตรียมพื้นที่ที่จะก่อสร้างให้ราบเรียบ โดยอาจจะใช้วัสดุในบริเวณนั้นเอง แล้วจึงทำการบดอัดพื้นชั้นดินที่ปรับถมนั้นอีกครั้งให้แน่น อัจฉรา แข็งสารีกิจ [93] ได้กล่าวถึงการก่อสร้างฐานโบราณสถานทั่วไปที่จังหวัดกำแพงเพชร ว่าในการอัดดินก่อสร้างอาคารนั้น ช่างได้เทพื้นให้แน่นชั้นหนึ่งก่อน ดินที่นำมาอัดนั้น เป็นดินทราย มีปริมาณเม็ดศิลาแลงอยู่มาก ซึ่งก็น่าจะเป็นดินในบริเวณแถบนั้นเอง และนำดินมาอัดถมลงแทนที่ ใช้ช้างเหยียบให้แน่น ส่วนวัสดุที่นำมาใช้ในการบดอัดให้แน่นนั้น ไม่มีข้อมูลใดกล่าวถึงวัสดุอื่นนอกจากดินลูกรังหรือดินทรายเท่านั้น

ข) ชั้นดินธรรมชาติ ชั้นดินแบบนี้ไม่ค่อยพบในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมสมัยสุโขทัย แต่ที่พบนั้นเป็นการสันนิษฐานว่าที่วิหารวัดร้าง At.A.1 [42] ไม่น่าจะมีการบดอัดชั้นดินก่อนการก่อสร้าง โดยสันนิษฐานจากสภาพในปัจจุบัน ซึ่งด้านหนึ่งของวิหารเกิดการทรุดต่ำลงกว่าด้านอื่น หรือเรียกว่าเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันทำให้ฐานวิหารทรุดเอน และแนวอิฐฐานวิหารด้านที่รับน้ำหนักมากแตกออก

ในสมัยสุโขทัยนี้ จะเห็นว่าไม่พบการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินรับน้ำหนักเหมือนกับการก่อสร้างฐานรากสมัยก่อนสุโขทัย เพราะชั้นดินมีคุณภาพดีอยู่แล้ว แสดงว่าช่างโบราณเองก็มีความรู้ความเข้าใจดีถึงสภาพความแข็งแรงของชั้นดินที่จะก่อสร้าง และเลือกที่จะไม่กระทำการอื่นใดนอกจากปรับถมและบดให้แน่นเท่านั้น

จากข้อมูลดังกล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าลักษณะของฐานรากในสมัยสุโขทัยนี้ส่วนใหญ่เป็นฐานแผ่วางบนชั้นดินรับน้ำหนัก ซึ่งฐานแผ่ยังคงมีลักษณะที่ต่อเนื่องจากฐานแผ่ของสมัยก่อนหน้านี้ วัสดุที่ใช้ก่อฐานแผ่มีทั้งอิฐ ศิลาแลง รวมถึงการใช้ทั้งอิฐและศิลาแลงก่อร่วมกันด้วย ขนาดของอิฐสมัยสุโขทัยจะเล็กกว่าอิฐสมัยก่อนสุโขทัย โดยกว้างประมาณ 14 – 20 เซนติเมตร ยาว 19 - 32 เซนติเมตร และหนา 3 – 7 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นของอิฐในสมัยนี้ซึ่งได้มีการศึกษาไว้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอิฐที่สุโขทัย คือทราย และค่าความหนาแน่นของอิฐ มีค่าประมาณ 1.9 – 2.25 กรรมวิธีทำอิฐคือ ผสมดินเหนียว ทราย และแกลบหรือดินโคลนผสมแกลบนวดผสมน้ำให้เข้ากัน แล้วอัดลงแบบพิมพ์ซึ่งทำให้ได้อิฐขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ มักสอด้วยดิน การเรียงอิฐพบว่าส่วนใหญ่คล้ายกับระบบ English Bond ในระบบสากล แต่ก็ไม่สม่ำเสมอมากนัก

ส่วนศิลาแลงเป็นวัสดุที่นับว่ามีบทบาทสำคัญในการก่อสร้างสมัยสุโขทัย เพราะพบว่ามีการใช้ศิลาแลงอย่างมากในสถาปัตยกรรมสมัยสุโขทัย โดยเฉพาะในบางเขต เช่น จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งมีแหล่งศิลาแลงธรรมชาติอยู่มากมาย ขนาดของศิลาแลงที่ใช้กว้างประมาณ 15

เซนติเมตร ยาว 35 – 45 เซนติเมตร และสูง 25 - 30 เซนติเมตร ส่วนวัสดุสอไม่สามารถระบุได้แน่นอน และการเรียงศิลาแลง พบแบบ Flemish Bond และแบบ English Bond

การบดอัดวัสดุภายในกรอบฐานแผ่ใช้ดินลูกรังเป็นหลัก และชั้นดินที่รองรับฐานแผ่มี 2 ลักษณะคือ แบบที่ทำการปรับถมพื้นที่และบดอัดด้วยดินลูกรังให้แน่น และแบบที่ไม่ได้ทำการบดอัด และไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดิน ทั้งนี้เนื่องจากชั้นดินในพื้นที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่จะเป็นชั้นดินที่มีความแข็งแรง มีกำลังรับน้ำหนักได้ดีอยู่แล้ว จึงไม่พบว่ามีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีใด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเมื่อไม่มีปัญหา ก็ไม่ทำให้เกิดการคิดแก้ปัญหาและไม่เกิดเทคโนโลยีใหม่ขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการที่ช่างโบราณไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณนี้ สันนิษฐานได้ว่าช่างโบราณมีความรู้และเข้าใจดีว่าดินบริเวณนี้มีความแข็งแรงอยู่แล้ว แสดงให้เห็นถึงความรู้ทางปฐพีวิทยาได้อีกทางหนึ่ง

เทคโนโลยีฐานรากในสมัยนี้มีความแตกต่างจากสมัยทวาราวดีอยู่บ้าง โดยเฉพาะในส่วนของชั้นดินที่รับน้ำหนัก อันเนื่องมาจากสภาพภูมิประเทศที่ทำการก่อสร้างของทั้งสองสมัยนี้มีความแตกต่างกัน เทคโนโลยีการก่อสร้างรวมถึงการใช้วัสดุก่อสร้างย่อมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง สิ่งที่เห็นได้ชัดว่ามีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้นจากสมัยทวาราวดีก็คือ เทคนิคการก่อเรียงอิฐ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่ามีความเป็นระบบมากขึ้นกว่าสมัยก่อน ถึงแม้จะยังไม่เป็นระบบที่แน่นอนตายตัวทั้งหมด แต่ก็แสดงให้เห็นว่าช่างสมัยนี้มีความพยายามที่จะก่อเรียงให้เป็นระเบียบ แต่ด้วยปัญหาในการใช้วัสดุที่ยังไม่มีมาตรฐานดีพอหรือปัญหาเรื่องรูปทรงสถาปัตยกรรมการตกแต่ง ทำให้ไม่สามารถรักษาระเบียบไว้ได้อย่างเคร่งครัด

4.3 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยล้านนา

ในส่วนแรกของการก่อสร้าง คือการก่อสร้างส่วนฐานรากในสมัยล้านนานั้น เนื่องจากเป็นอาณาจักรที่ร่วมสมัยกับสุโขทัย จึงมีความคล้ายคลึงกับฐานรากสมัยสุโขทัยอยู่บ้าง คือเป็นฐานรากแผ่วางบนชั้นดิน โดยลักษณะของฐานรากแบบนี้ที่พบในสมัยก่อนสุโขทัยก็มีลักษณะดังนี้

4.3.1 **ลักษณะทางโครงสร้าง** ลักษณะทางโครงสร้างของฐานแผ่ในสมัยล้านนานี้มี 2 ลักษณะคล้ายกับในสมัยสุโขทัย คือ

ก) ฐานแผ่ที่ก่อวัสดุเป็นกรอบแล้วบดอัดวัสดุภายใน มีทั้งที่เป็นฐานเขียงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสของเจดีย์หรือกู่ และฐานเขียงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของวิหาร ได้แก่ฐานเจดีย์วัดเจ็ดยอด [47] ฐานวิหารวัดสันกู่ [48] ฐานวิหารวัดหลวงราชสัณฐาน [49] ความหนาของผนังไม่แน่นอน

ฐานเจดีย์วัดเจ็ดยอด ก่อกรอบหนาประมาณ 3 - 4 ชั้นอิฐ ส่วนเจดีย์สันกู่ก่อกรอบหนา 50 เซนติเมตร

ฐานเจดีย์กู่ม้านั้นก่อวัสดุเป็นกรอบฐานเช่นกัน แต่ก่อกรอบขึ้นล้อมรอบตัวอาคารที่ก่อสร้างแล้ว และบดอัดเศษวัสดุในช่องว่างระหว่างอาคารกับกรอบ จึงไม่ได้รับน้ำหนักของอาคาร การก่อฐานแบบนี้คล้ายคลึงกับการก่อฐานเจดีย์ทุ่งเศรษฐีในสมัยก่อนสุโขทัย ซึ่งเหตุผลของการก่อสร้างฐานของทั้งสองเจดีย์ อาจเกิดจากความต้องการความสวยงามทางสถาปัตยกรรมมากกว่าการทำหน้าที่ในเชิงโครงสร้าง

ข) ฐานแผ่ก่อวัสดุทึบ อาจก่อด้วยอิฐหรือศิลาแลงเหมือนกับในสมัยสุโขทัย บางแห่งมีลักษณะของฐานแผ่หลายชั้น โดยเป็นฐานลดขนาดขึ้นไปรับองค์เจดีย์ ดังเช่นที่เจดีย์สันกู่ ซึ่งฐานชั้นล่างจะมีความหนา 1.2 เมตร และมีฐานหน้ากระดานอีก 3 ชั้นถัดขึ้นไปโดยมีความหนาเพียงชั้นละ 0.2 – 0.6 เมตร และความกว้างลดลงชั้นละ 0.4 เมตร ซึ่งถือเป็นการกระจายน้ำหนักลงสู่ดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป

รูปร่าง และขนาดของฐานแผ่ โดยจากการสำรวจข้อมูลฐานรากแผ่ในสมัยล้านนานี้ พบว่ามีฐานแผ่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้เป็นฐานของเจดีย์ เช่นที่พระเจดีย์หลวง วัดเจดีย์หลวง [50] ซึ่งมีฐานขนาดกว้างถึง 60 เมตร ฐานสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้แก่ฐานของวิหารสันกู่ กว้าง 6.2 เมตร ยาว 12 เมตร และสูง 1.2 เมตร และยังมีฐานแผ่รูปวงกลม ได้แก่ฐานของเจดีย์กู่ช้าง [51] ซึ่งเป็นฐานแบบก่อทึบ ขนาดฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร สูง 1.2 เมตร

4.3.2 วัสดุและเทคนิคการก่อ

ก) อิฐ อิฐเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างฐานรากอาคารสมัยนี้ เพราะส่วนใหญ่ จะก่อด้วยอิฐ จะมีการใช้ศิลาแลงในการก่อฐานรากบ้างบางแห่ง แต่ก็เป็นการใช้เพื่อเสริมบางส่วนไม่ใช่เป็นวัสดุหลักแต่อย่างใด

- *<u>ขนาดและส่วนประกอบของอิฐ</u>* ขนาดอิฐที่ใช้ในการก่อฐานรากมีขนาดแตกต่างกันในแต่ละอาคาร แต่ภายในอาคารเดียวกันมักมีขนาดไม่ต่างกันมากนัก แต่โดยรวมมีขนาดปานกลาง ใหญ่กว่าสมัยสุโขทัย แต่เล็กกว่าสมัยก่อนสุโขทัย คือความกว้างประมาณ 12 – 21 เซนติเมตร ความยาว 26 – 35 เซนติเมตร และความหนา 3 - 9 เซนติเมตร หรือแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ อิฐใหญ่ขนาด 15-21 เซนติเมตร ยาว 30-35 เซนติเมตร และหนา 4.5-14 เซนติเมตร และขนาดเล็กคือกว้าง 12 - 17 เซนติเมตร ยาว 26 - 29 เซนติเมตร และหนา 3 – 4.5 เซนติเมตร มีเพียงอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างเจดีย์กู่ช้างในส่วนของเปลือกนอกของฐานก่อด้วยอิฐขนาดใหญ่มาก

คือกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และหนา 15 เซนติเมตร ซึ่งขนาดของอิฐนี้ใหญ่กว่าอิฐสมัยก่อนสุโขทัยเสียอีก

เนื้ออิฐและส่วนประกอบของอิฐสมัยล้านนา ยังไม่พบหลักฐานว่าทำมาจากส่วนผสมใดบ้าง แต่สันนิษฐานว่าน่าจะคล้ายกับอิฐในสมัยสุโขทัย เนื่องจากเป็นอาณาจักรที่อยู่ใกล้กัน และอยู่ในช่วงเวลาร่วมสมัยกันด้วย

อิฐหัก [51] เป็นอิฐรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการก่อสร้างฐานราก และมักพบว่าใช้เฉพาะกับโครงสร้างส่วนฐานราก ส่วนอื่นของอาคารจะไม่ใช้ อิฐหักเป็นอิฐที่ไม่สมบูรณ์เต็มแผ่น มักใช้ในการก่อส่วนแกนที่ไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ใช้ในการก่อเรียงให้เต็มพื้นที่ เป็นการใช้วัสดุอย่างคุ้มค่า บางทีก็ใช้ในการก่อลดช่องว่างที่ไม่สามารถก่ออิฐเต็มแผ่นได้ พบว่าอิฐหักเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างฐานประตูท่าแพ และใช้ในการก่อฐานของเจดีย์กู่ม้า

นอกจากอิฐแล้ว ศิลาแลงเป็นวัสดุก่อชนิดหนึ่งที่ถูกใช้ในการก่อฐานอาคาร ในสมัยล้านนานี้มีการใช้ศิลาแลงเพียงเล็กน้อย ไม่ถือเป็นวัสดุหลักในสมัยนี้ จากหลักฐานพบอาคารที่ใช้ศิลาแลงในการก่อฐาน ได้แก่ โบราณสถานสันกู่ ซึ่งใช้ศิลาแลงเป็นหลักในการก่อสร้างฐานอาคาร ส่วนพระเจดีย์หลวง ก็ใช้ศิลาแลงก่อฐานหน้ากระดานเพียง 2 – 3 ชั้นแรกเท่านั้น [48]

- *<u>วัสดุสอและฉาบ</u>* การก่ออิฐในสมัยล้านนาพบว่าส่วนใหญ่ใช้ดินโคลนเป็นวัสดุสอ และฉาบด้วยปูน เช่นที่เจดีย์วัดเจ็ดยอด [47] เจดีย์วัดร่มโพธิ์ [52] เป็นต้น ดินโคลนในที่นี้หมายถึงดินเหนียวนำมาผสมกับน้ำ ให้มีลักษณะเป็นของเหลวข้น แล้วจึงนำมาใช้ในการก่ออิฐ ส่วนปูนนั้นก็มีการใช้บ้าง แต่มักจะใช้ในส่วนของการตกแต่งหรือส่วนที่สำคัญ ใช้ฉาบผิวนอกของอาคารให้สวยงาม ที่เจดีย์กู่ช้างพบว่าการก่ออิฐชั้นในของเจดีย์สอด้วยดิน แต่ชั้นผิวนอกสอด้วยปูน ส่วนผสมของปูนสอคือ ปูนขาว น้ำ และทรายหยาบ การฉาบด้วยปูนที่เจดีย์วัดเจ็ดยอดฉาบหนาถึง 4 ซม.

- *<u>เทคนิคการเรียงอิฐ</u>* การเรียงอิฐในสมัยนี้ ยังไม่เป็นระบบนัก การก่อขึ้นกับขนาดอิฐ และจังหวะของการวางอิฐไปตามรูปทรงโครงสร้าง แต่มีบางแห่งที่พบว่ามีการก่ออิฐที่คล้ายกับระบบสากลแบบ Flemish Bond เช่นที่ฐานเจดีย์วัดสังการาม[59] ฐานวิหารวัดป่าสัก [54] ฐานเจดีย์กู่ม้า [30] และฐานเจดีย์วัดร่มโพธิ์ [52] เป็นต้น แต่ไม่ได้รักษาระบบอย่างเคร่งครัดนัก นอกจากนี้ ยังมีแบบอื่นๆ เช่น ฐานเจดีย์วัดเจ็ดยอดก่อแบบสั้น 2 สลับยาว 1 คือด้านสั้นสองแผ่น และด้านยาว 1 แผ่น แต่ไม่สม่ำเสมอ หรือฐานวิหารวัดหลวงราชสัณฐาน [49] ก่อด้วยอิฐก้อนเดียวเป็นแนวกรอบฐาน แล้วบดอัดด้วยดินภายในกรอบ ซึ่งถือว่าเป็นการก่ออิฐที่ไม่แข็งแรงพอ เพราะเมื่อบดอัดด้วยดินจะมีแรงดันของดินด้านข้าง ทำให้ฐานแบะออก เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอื่นด้วย

4.3.3 การบดอัดวัสดุภายในกรอบฐานแผ่ จากฐานวิหารวัดหลวงราชสัณฐาน [49] ฐานวิหารสันกู่ [48] และฐานเจดีย์วัดเจ็ดยอด [47] พบว่าวัสดุที่ใช้ในการถมอัดภายในกรอบฐานแผ่คือ ดิน และดินผสมเศษอิฐหัก และเศษปูน

4.3.4 ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานราก ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานรากจากการสำรวจข้อมูลพบว่าเป็นชั้นดินที่มีการปรับปรุงคุณภาพแทบทั้งสิ้น โดยฐานรากจะไม่ได้วางอยู่บนชั้นดินธรรมชาติเดิม แต่จะวางอยู่บนชั้นดินที่มีการบดอัด วัสดุที่นำมาบดอัดเพื่อปรับปรุงชั้นดินจะเป็นดินเหนียว เช่นที่เจดีย์วัดเจ็ดยอด [47] เจดีย์วัดร่มโพธิ์ [52] วิหารวัดสังการาม [53] เจดีย์กู่ม้า [30] โดยชั้นดินใต้ฐานรากเจดีย์กู่ม้า มีการบดอัดเป็นชั้นมากกว่า 1 ชั้น โดยนำดินเหนียวจากที่อื่นมาถมประมาณ 10-20 เซนติเมตร ทุบอัดดินให้แน่น แล้วนำดินผสมอิฐหักมาถมอัดทับลงไปอีกชั้น หนาประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร

นอกจากดินเหนียวแล้ว ยังมีหินกรวดแม่น้ำที่ถูกใช้ในการบดอัดผสมกับดินเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของชั้นดินใต้ฐานรากด้วย เช่นที่เจดีย์วัดหนองหล่ม [55] และประตูท่าแพ [56] โดยที่ประตูท่าแพนั้น ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินบดอัดหนา 40 เซนติเมตร อยู่บนชั้นทรายร่วนหนา 40 เซนติเมตร แต่บางจุดพบว่ามีการอัดพื้นด้วยหินกรวดประเภท Quartzite, Gneiss, Stone Sand ที่ถูกขัดโดยการกลิ้งตามแม่น้ำจนกลมมน ซึ่งการบดอัดด้วยกรวดแม่น้ำนี้ยังพบที่วัดปู่เปี้ย เวียงกุมกาม [56]

วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่พบว่าใช้ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินใต้ฐานรากก็คือ หินธรรมชาติ ซึ่งใช้ร่วมกับ ดิน อิฐ และศิลาแลง โดยพบที่ฐานเจดีย์สันกู่ จังหวัดเชียงใหม่ [48] ซึ่งเริ่มจากการขุดหลุมลึก 4.3 เมตร บรรจุของมีค่าลงไป (ตามความเชื่อในการก่อเจดีย์) แล้วจึงถมด้วยหินธรรมชาติผสมดิน อิฐ และศิลาแลงบดอัดส่วนชั้นบนสุด เรียงด้วยหินขนาดใกล้เคียงกัน โดยที่หินที่ใช้ในการบดอัดนี้ขนาดประมาณ 15 - 40 เซนติเมตร

ฐานรากสมัยล้านนา เป็นฐานรากแผ่ซึ่งมีทั้งแบบก่อวัสดุเป็นกรอบ และแบบก่อทึบตัน แต่ส่วนใหญ่ไม่นิยมใช้ศิลาแลงในการก่อสร้าง เพราะแหล่งวัสดุมีไม่มากนัก วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่คืออิฐ ความกว้างประมาณ 12 – 21 เซนติเมตร ความยาว 26 – 35 เซนติเมตร และความหนา 3 - 9 เซนติเมตร ซึ่งใหญ่กว่าสมัยสุโขทัย ก่ออิฐสอด้วยดิน การเรียงอิฐยังไม่เป็นระบบ แต่พบว่ามีความใกล้เคียงกับระบบ Flemish bond นอกจากนี้มีการก่อแบบสั้น 2 สลับยาว 1 และก่อแบบเรียงอิฐแถวเดียวเป็นกรอบฐานอาคารด้วย ส่วนการบดอัดภายในกรอบฐานนั้น ใช้ดินเหนียวและมีเศษอิฐปนบ้าง ชั้นดินใต้ฐานรากมีการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการนำวัสดุมาบดอัดได้แก่ ดินเหนียว อิฐหัก กรวดแม่น้ำ หินธรรมชาติ ศิลาแลง โดยบดอัดเป็นชั้นๆ

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่า การก่อสร้างฐานรากในสมัยล้านนานี้ ยังคงเทคโนโลยีในระดับที่ไม่แตกต่างจากสุโขทัยนัก แต่จะมีความแตกต่างกันในแง่ของวัสดุและเทคนิคบ้าง อันเกิดจากสภาพพื้นที่ ภูมิประเทศ และภูมิอากาศ สังเกตจากวัสดุที่ใช้ในล้านนาก็ไม่นิยมใช้ศิลาแลง เพราะไม่มีแหล่งวัสดุมากเหมือนสุโขทัย เทคนิคการก่อเรียงอิฐก็ยังไม่เป็นระบบอย่างเด่นชัด แต่พบแบบ Flemish bond อยู่บ้าง ต่างจากสุโขทัย ซึ่งพบแบบ English bond ความแตกต่างนี้ น่าจะเกิดจากความถนัดของช่างที่ทำต่อกันมา

การปรับปรุงชั้นดินใต้ฐานรากนั้นมีความแตกต่างจากสมัยสุโขทัยเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณอาณาจักรสุโขทัยเป็นบริเวณที่มีพื้นดินที่มีกำลังรับน้ำหนักดี จึงมักไม่มีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินรับน้ำหนัก แต่บริเวณล้านนากลับพบว่ามีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินก่อนการก่อสร้างฐานรากและอาคารทั้งสิ้น ซึ่งเทคโนโลยีแบบนี้พบตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัยแล้ว วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่พบแตกต่างจากสุโขทัยคือ กรวดแม่น้ำ ล้านนาเป็นดินแดนที่มีแม่น้ำปิงไหลผ่าน การหาวัสดุกรวดเหล่านี้จึงไม่ยากนัก จึงพบว่ามีการใช้กรวดแม่น้ำในการบดอัด แต่น่าสังเกตว่าเทคนิคการใช้หินกรวดนี้ พบในสมัยก่อนสุโขทัยเช่นกัน คือที่โบราณสถานเมืองต่ำ แต่ใช้กรวดภูเขาแทน [21]

อาคารบางแห่งในสมัยนี้ ช่างล้านนาไม่เห็นความจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างฐานอาคารใดๆ หรือปรับปรุงคุณภาพดินแต่อย่างใด เพียงแต่บดอัดทรายให้แน่นเพื่อรองรับอาคารเท่านั้น และปูพื้นด้วยวัสดุบางอย่าง [46] ช่างล้านนาอาจเห็นว่าพื้นดินไม่ได้รับน้ำหนักของอาคารมากนัก เพียงแต่รับน้ำหนักของผู้มาใช้สอยอาคาร หรือน้ำหนักจรที่มีค่าไม่มากจึงไม่จำเป็นต้องก่อสร้างฐานราก ซึ่งจากผลสรุปฐานรากสมัยล้านนานี้ สอดคล้องกับคำกล่าวของโชติ กัลยาณมิตร [1] ที่กล่าวว่าในสมัยล้านนา มีเทคโนโลยีการทำฐานรากโดยการบดอัดพื้นดินให้แน่น

4.4 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยอยุธยา

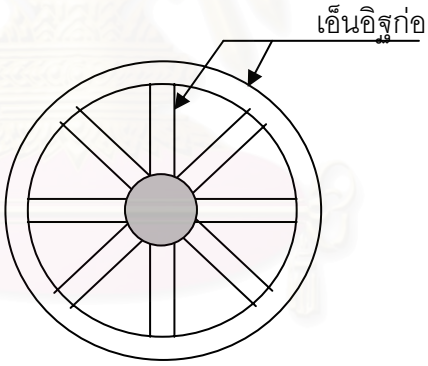
โดยการก่อสร้างฐานรากในสมัยอยุธยานั้น รูปแบบโครงสร้างฐานรากส่วนใหญ่ ยังคงเป็นฐานรากแผ่ กระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน แต่ลักษณะและเทคนิคการก่อสร้างฐานรากแผ่นั้น มีเทคนิคเพิ่มขึ้น ดังต่อไปนี้

4.4.1 ลักษณะทางโครงสร้าง ลักษณะทางโครงสร้างของฐานแผ่ในสมัยอยุธยา พบว่ามีรูปแบบมากกว่าสมัยสุโขทัย โดยนอกจากฐานแผ่ที่เกิดจากการก่อวัสดุทึบ และก่อวัสดุเป็นกรอบเพื่อบดอัดวัสดุภายในกรอบแล้ว ยังมีการก่ออิฐเป็นเอ็นโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก ลักษณะคล้ายเป็นคาน และถมอัดด้วยวัสดุภายในช่องว่าง ดังนี้

ก) ฐานแผ่ก่อวัสดุทึบ ฐานแผ่แบบนี้ไม่ต่างกับฐานแผ่ในสมัยสุโขทัยนัก คือก่อฐานแผ่ด้วยวัสดุก่อ บางแห่งก่อเป็นฐานรากใต้ดินรองรับฐานเจดีย์อีกชั้นหนึ่ง เช่น ที่เจดีย์แปดเหลี่ยม วัดหัสดาวาส [58] เจดีย์โบราณสถานหมายเลข 1 3 และ 4 ที่วัดจันทร์ [59] ซึ่งรองรับฐานหน้ากระดานของเจดีย์ โดยฐานหน้ากระดานอยู่เหนือดิน แต่ฐานรากอยู่ใต้ดิน บางแห่งก่อเป็นฐานเขียงวางอยู่เหนือระดับพื้นดิน ได้แก่ เจดีย์วัดสังขปัต [60] เจดีย์ประธานวัดช้าง [61] เจดีย์รายที่วัดหัสดาวาส [58] ตำหนักที่วัดเจ้าย่า [62] เป็นต้น

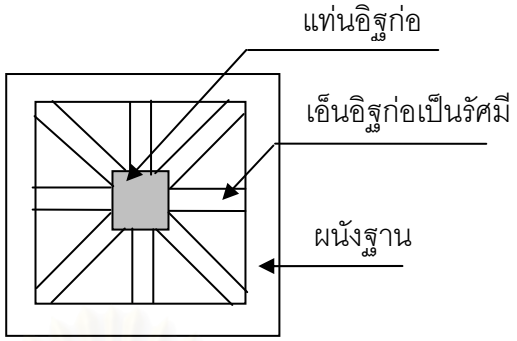
ข) ฐานแผ่ก่ออิฐเป็นเอ็นรับน้ำหนักแล้วบดอัดวัสดุภายใน ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปลายสมัยอยุธยาตอนต้น คือประมาณสมัยสมเด็จพระบรมราชาธิราชที่ 2 (เจ้าสามพระยา) อ้างอิงจากหลักฐานที่เจดีย์ช้างล้อม วัดมเหยงคณ์ [65] ลักษณะของฐานแผ่แบบนี้มี 4 แบบ คือ

1) <u>*เอ็นอิฐก่อรูปรัศมี*</u> มีแกนอิฐก่อ และแนวรัศมีกระจายออกไปคล้ายกับซี่กงล้อธรรมจักร ดังรูป 4.1 จะพบในฐานรากเจดีย์วัดสีกาสมุด[63] เจดีย์ประธานวัดจงกลม [64] และเจดีย์ช้างล้อม วัดมเหยงคณ์ [65] เป็นต้น ซึ่งมีผังเป็นรูปวงกลม เอ็นอิฐก่อนี้จะทำหน้าที่รับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร และช่องว่างระหว่างซี่กงล้อนี้จะนำเศษวัสดุ ดิน หินทราย มาถมอัดให้เต็ม ถือว่าเป็นการประหยัดวัสดุก่อสร้างด้วย เพราะช่วยลดการใช้วัสดุก่อไปได้มาก



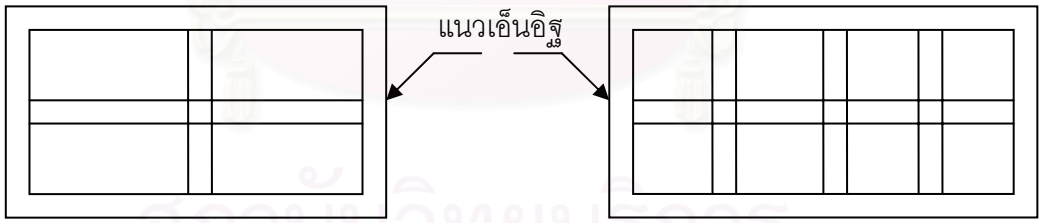
รูปที่ 4.1 ผังฐานแผ่แบบเอ็นอิฐก่อรูปรัศมี (รูปแบบสันนิษฐาน)

นอกจากนี้ที่ฐานเจดีย์ประธานวัดช้าง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่ามีเอ็นอิฐก่อแบบรัศมีรูปสี่เหลี่ยมด้วย สันนิษฐานว่ามีลักษณะดังรูป 4.2 โดยแท่นตรงกลางจะเป็นแท่นสี่เหลี่ยม และมีแกนอิฐกระจายออกจากแท่นสี่เหลี่ยมนั้น ซึ่งก่อแท่นสี่เหลี่ยมตรงกลางขนาด 20 x 20 เมตร ผนังฐานกว้าง 2 เมตร และมีแนวเอ็นอิฐก่อกระจายออกไป โดยเอ็นมีความกว้าง 1.2 เมตร ความสูงของฐาน 2.8 เมตร [61]



รูปที่ 4.2 ผังฐานเอ็นอิฐก่อเป็นรัศมีแบบสี่เหลี่ยม (รูปแบบสันนิษฐาน)

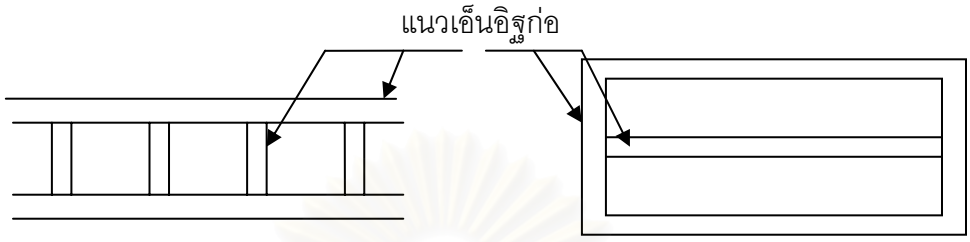
2) <u>เอ็นอิฐก่อรูปกากบาท</u> ฐานแบบนี้มักพบเป็นฐานของอุโบสถ วิหาร หรือเจดีย์ที่มีฐานเขียงรูปสี่เหลี่ยม ได้แก่ อุโบสถวัดสีกาสมุด [63] อุโบสถวัดพระงาม [67] เจดีย์รายที่วัดมเหยงคณ์ [65] เจดีย์วัดเจ้าย่า [62] ปราสาทนครหลวง [68] อุโบสถวัดพระยาแมน [69] เป็นต้น พบในฐานอาคารที่มีผังเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยรูปแบบนี้จะมีแนวอิฐก่อเป็นกรอบตามผังอาคาร และมีแนวอิฐสองแนวตั้งฉากกันอยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยม ภายในช่องว่างถมด้วยวัสดุเติมเต็มเช่นเดียวกับแบบแรก บางแห่งมีแนวเอ็นตั้งฉากภายในกรอบสี่เหลี่ยมมากกว่า 2 แนว จึงทำให้เกิดเป็นห้องสี่เหลี่ยมเล็กๆ หลายห้อง ดังรูป 4.3 จากนั้นอัดดินภายในห้องเหล่านั้น



รูปที่ 4.3 ผังฐานอาคารแบบเอ็นอิฐก่อรูปกากบาท (รูปแบบสันนิษฐาน)

3) <u>เอ็นอิฐก่อรูปขั้นบันได</u> ที่กำแพงวัดช้าง [61] และป้อมเพชร [68] พบฐานรากรูปแบบนี้ โดยก่อแนวอิฐขนานกัน 2 แนว และก่อแนวอิฐขวางเป็นเหมือนขั้นบันได ลักษณะฐานก่อแบบนี้จะพบในฐานอาคารที่มีลักษณะเป็นแนวยาว ที่กำแพงวัดช้างก่อแนวอิฐหนา 45 เซนติเมตร และก่อเอ็นตามแนวขวางทุกระยะ 2.5 เมตร ภายในช่องว่างอัดดินเหนียวแน่น

นอกจากนี้ ยังมีฐานอีกรูปแบบที่คล้ายคลึงกับแบบนี้ คือฐานพระตำหนักท้ายพิกุล [1] ซึ่งมีลักษณะเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีแนวอิฐอีก 1 แนวอยู่ภายใน โดยขนานกับแนวยาวของกรอบ ดังรูป 4.4 และช่องว่างจะถมด้วยอินอัด



รูปที่ 4.4 ผังฐานอาคารแบบขั้นบันไดและผังฐานพระตำหนักท้ายพิกุล (รูปแบบสันนิษฐาน)

ค) ฐานแผ่ก่อวัสดุเป็นกรอบแล้วบดอัดวัสดุภายใน พบในอาคารสมัยอยุธยา ได้แก่ วิหารวัดหัสดาวาส [58] อุโบสถวัดมเหยงคณ์ [65] กลุ่มโบราณสถานในวัดพระยาแมน [69] วัดตะไกร [71] และโบสถ์คณะนักบุญโดมินิกัน [94] เป็นต้น ฐานแผ่แบบนี้ ต่างจากแบบก่อเอ็นอิฐรับน้ำหนักตรงที่ฐานแผ่แบบดังกล่าวใช้แนวแกนอิฐเป็นตัวรองรับน้ำหนักอาคาร แต่แบบนี้กรอบอิฐคงจะก่อเพื่อให้สามารถบดอัดวัสดุภายในได้แน่น และไม่แบะออกเท่านั้น ฐานแบบนี้มักใช้เป็นฐานของอาคารประเภทโบสถ์ วิหาร หรืออาคารประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ฐานรากโบสถ์คณะนักบุญโดมินิกันนั้น ไม่ได้ใช้อิฐก่อเป็นกรอบเพียงอย่างเดียว แต่บางส่วน(ทิศเหนือและตะวันออก) ใช้หินแกรนิตวางเป็นคู่ ได้ความกว้าง 70 เซนติเมตรเป็นกรอบร่วมกับกรอบอิฐก่ออีกสองด้าน แล้วบดอัดดินและเศษอิฐหักภายใน แล้วจึงก่ออิฐไม่สอปูนขึ้นเป็นฐานรากของกำแพงโบสถ์

ง) ฐานรากแบบคลองราก พบที่ฐานพระที่นั่งสรรเพชญ์ปราสาท [1] ซึ่งถือได้ว่าเป็นพัฒนาการที่สำคัญในสมัยอยุธยา โดยจะใช้เป็นฐานรากของอาคารส่วนที่รับน้ำหนักมากหรือบริเวณผนังก่อ วิธีการก่อสร้างฐานรากแบบนี้จะทำการขุดดินเป็นคลองหรือเป็นร่องตามแนวอาคารที่รับน้ำหนัก แล้วใช้ท่อนซุงวางขัดเป็นตาราง แล้วจึงก่ออิฐเป็นผนังฐานอาคาร

4.4.2 วัสดุและเทคนิคการก่อ

ก) อิฐ วัสดุก่อฐานรากสมัยนี้ ใช้อิฐเป็นวัสดุก่อแทบทั้งสิ้น ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่ของอยุธยาไม่ใช่แหล่งศิลาแลง หากต้องการใช้ศิลาแลงจะต้องนำมาจากแหล่งอื่น ซึ่งสร้างความลำบากในการก่อสร้าง ส่วนวัสดุอื่น เช่น หิน ก็พบในการก่อฐานรากน้อยมาก ส่วนใหญ่พบว่าใช้ในการสร้างงานศิลปกรรม ตกแต่งสถาปัตยกรรมมากกว่า

- *ขนาดและส่วนประกอบของอิฐ* ขนาดของอิฐในสมัยอยุธยาค่อนข้างสม่ำเสมอ จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีขนาดกว้างประมาณ 14 – 18 เซนติเมตร ยาวประมาณ 28 – 34 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 4 – 7 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยของขนาดอิฐในสมัยอยุธยา กว้าง 15.5 เซนติเมตร ยาว 31.2 เซนติเมตร หนา 4.8 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าความกว้างกับความยาวของอิฐในสมัยนี้มีความสัมพันธ์กัน นั่นคือความยาวเป็นสองเท่าของความกว้าง ส่วนความหนานั้น มีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของความกว้าง โดยประมาณ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไขแสง ศุขะวัฒนะ [15] ซึ่งกล่าวว่า อิฐมีขนาดหนา 1/3 ของความกว้าง และกว้างประมาณ 12 – 15 เซนติเมตร แต่ความยาวเป็น 4 เท่าของความหนา ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลงานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าว รวบรวมข้อมูลเพียงช่วงสมัยอยุธยาตอนปลายเท่านั้น การเปรียบเทียบขนาดอิฐจากงานวิจัยอื่น แสดงดังตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบขนาดอิฐจากการวิจัยและแหล่งข้อมูลอื่น

แหล่งที่มา	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
ผู้วิจัย	15.5	31.2	4.8
ไขแสง ศุขะวัฒนะ [15]	12-15	16-20	4-5

- *วัสดุสอและฉาบ* ส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้สออิฐฐานรากในสมัยนี้จะมีทั้งปูนและดิน บางแห่งไม่สอเลย เพียงก่อเรียงอิฐซ้อนกันเฉย ๆ ทั่วไปจะสอปูนหนา 0.5 – 1.5 เซนติเมตร หรืออาจจะสอหนามากเช่นที่ อุโบสถวัดมเหยงคณ์ พบว่าสอปูนหนาถึง 4 เซนติเมตร ส่วนการฉาบปูน หนาตั้งแต่ 1 – 3 เซนติเมตร

- *เทคนิคการเรียงอิฐ* การเรียงอิฐในสมัยนี้ เริ่มมีความเป็นระบบมากขึ้นกว่าสมัยก่อนนี้ โดยพบว่ามีโบราณสถานหลายแห่งที่มีการเรียงอิฐที่เป็นระบบอย่างเห็นได้ชัดเจน แม้บางครั้งอาจจะไม่ได้รักษาระบบตลอด เพราะถูกกำหนดโดยรูปทรงของโบราณสถาน รูปแบบการเรียงอิฐที่พบมีหลายแบบ เช่นที่อุโบสถวัดพระงาม [67] และวัดมเหยงคณ์ [65] พบแบบสั้นสลับยาวในแถวเดียวกัน หรือตรงกับระบบสากลแบบ Flemish bond ที่วิหารวัดเจ้าย่า [62] พบแบบเรียงหันด้านยาวออกตลอด หรือแบบ Stretcher bond ที่มีระยะเหลื่อมของอิฐแถวบนและล่าง ¼ ก้อน ที่เจดีย์วัดช้าง [61] พบแบบ English Bond เป็นต้น

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

นอกจากนี้ การก่ออิฐฐานรากนั้น ยังมีเทคนิคการก่อแบบแนวตั้งด้วย คือ ฐานรากของอุโบสถ วัดจงกลม [64] ซึ่งใช้อิฐก่อเป็นชั้นตั้งแต่ใต้ดิน เมื่อพ้นพื้นดิน จะวางอิฐตั้งขึ้นเรียงกันไปแล้วก่อสั้นสลับยาวทับบนอิฐวางทางตั้ง ซึ่งการวางอิฐทางตั้งนี้ น่าจะเพื่อปิดแนวก่อที่ไม่เป็นระเบียบด้านล่างมากกว่าความแข็งแรงทางโครงสร้าง

4.4.3 **การบดอัดวัสดุภายในกรอบฐานแผ่** วัสดุที่ใช้ในการบดอัดภายในกรอบฐานแผ่หรือบดอัดภายในช่องว่างระหว่างเอ็น ทุกแห่งจะใช้ดินเหนียวอัดแน่น และบางแห่งเช่นที่เจดีย์วัดจันทร์ จะมีเศษอิฐหักกากปูนร่วมด้วย [59] ส่วนที่วัดมเหยงคณ์นอกจากจะมีดินเหนียวอัดแน่นแล้วยังมีการถมด้วยทรายอีกชั้นด้วย นอกจากนี้ยังมีการใช้เศษชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมในการบดอัดด้วย [65]

4.4.4 **ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานราก** ชั้นดินที่รับน้ำหนักฐานรากอิฐก่อนั้น แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

ก) เตรียมดินโดยการถมอัดดินเหนียว ดินใต้ฐานรากเจดีย์วัดจันทร์มีการบดอัดดินเหนียวหนาถึง 0.6 เมตร ส่วนชั้นดินใต้ฐานรากเจดีย์ และอุโบสถวัดช้างมีความหนาของชั้นดินบดอัดประมาณ 1.5 – 2 เมตร โดยไม่ใช้วัสดุอื่นร่วมในการบดอัด [61] แต่อาจจะมีการปูพื้นด้วยทรายละเอียดก่อนการก่ออิฐ ชั้นของดินเหนียวบดอัดจะมีความหนาต่างๆ กัน วิธีการเตรียมดินแบบนี้พบมากที่สุดในสมัยนี้

ข) บดอัดชั้นดินโดยใช้วัสดุหลายชนิดและบดอัดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นอาจมีความหนาต่างกัน วัสดุหลักที่ใช้คือ ดินเหนียว และใช้วัสดุอื่นร่วม เช่น

- <u>ดินเหนียวและทราย</u> ที่วิหารวัดเจ้าย่า พบการปรับปรุงชั้นดินโดยบดอัดดินเหนียวท้องนาสลับกับชั้นทรายถมหนา 10 เซนติเมตร [62]

- <u>ดินเหนียวและเศษอิฐหัก</u> ชั้นดินใต้ฐานเจดีย์โบราณสถานหมายเลข 1 วัดจันทร์ใช้ดินเหนียวร่วมกับเศษอิฐหัก โดยบดอัดดินเหนียวหนา 0.6 เมตร แล้วบดอัดเศษอิฐหักอีก 0.3 เมตร [59]

- <u>ดินเหนียว ทราย และอิฐหัก</u> คือที่โบราณสถานหมายเลข 3 (เจดีย์) วัดจันทร์ ชั้นล่างสุดเป็นชั้นดินเหนียวปนเศษอิฐอัดแน่น 0.56 เมตร ถัดขึ้นมา 0.25 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวปนเศษอิฐหัก ปนทรายละเอียดอัด แต่ที่โบราณสถานหมายเลข 2 (เจดีย์) วัดจันทร์ใช้วัสดุ 3 ชนิดนี้เช่นกัน แต่ใช้ต่างกัน คือเริ่มจากบดอัดดินเหนียวเป็นชั้นหนา 0.7 ม. แล้วทับด้วยชั้นดินผสมเศษดินเผา อิฐหักอัดแน่น หนา 0.2 ม.แล้วปูพื้นด้วยทราย [59]

ค) <u>บดอัดชั้นดินโดยใช้วัสดุหลายชนิดผสมกัน</u> บดอัดโดยไม่แยกชั้น เช่นชั้นดินใต้เจดีย์ประธานวัดจงกลม บดอัดชั้นดินโดยใช้ดินเหนียวเนื้อละเอียดผสมเศษอิฐขนาดเล็กเพื่อรองรับฐานราก ส่วนชั้นดินใต้ฐานพระปรางค์วัดปรางค์หลวง ใช้ดินเหนียวเนื้อละเอียดสีเทาเข้มผสมกับอิฐหัก บดอัดแน่น และปูทรายเป็นชั้นหนา 5 - 10 เซนติเมตรเพื่อปรับระดับหน้าดิน เนื้อทรายค่อนข้างละเอียด [64]

เทคโนโลยีฐานรากในสมัยอยุธยานี้ ยังคงเป็นรูปแบบฐานรากแผ่ ซึ่งมีทั้งฐานรากแผ่ที่ก่ออิฐเป็นกรอบเพื่อบดอัดวัสดุภายใน และฐานรากแผ่แบบก่อวัสดุทึบเหมือนดังสมัยก่อนหน้านี้ แต่ส่วนที่ต่างออกไป และเป็นรูปแบบที่ไม่มีมาก่อนในอดีตก็คือ ฐานแผ่ที่มีเอ็นอิฐก่อรับน้ำหนักด้านในพบในอาคารที่ก่อสร้างในช่วงปลายสมัยอยุธยาตอนต้นเป็นครั้งแรก จึงถือเป็นพัฒนาการของโครงสร้างฐานรากที่ชัดเจนที่สุดนับจากอดีต โดยเอ็นอิฐก่อนี้มีทั้งรูปแบบเอ็นกระจายเป็นรัศมี เอ็นอิฐก่อเป็นตาราง และเป็นขั้นบันไดในฐานรากลักษณะ Strip Foundation หรือฐานรากกำแพง

ส่วนพัฒนาการในการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่รับน้ำหนักใต้ฐานรากนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยจะมีวิธีการบดอัดดินมากขึ้น มีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติต่างๆ กันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของดิน มีการบดอัดชั้นดินเป็นชั้น โดยแต่ละชั้นใช้วัสดุต่างกัน และเทคนิคการบดอัดนั้น น่าจะใช้เทคนิคในระดับเดียวกับยุคสุโขทัย และล้านนา เพราะยังไม่ปรากฏเครื่องมือในการก่อสร้างในยุคนี้

4.5 โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์

โครงสร้างฐานรากเป็นส่วนหนึ่งที่เห็นพัฒนาการได้ชัดเจนมากในสมัยนี้ โดยเฉพาะพัฒนาการของการใช้วัสดุในการก่อสร้างฐานราก ดังต่อไปนี้

4.5.1. ฐานรากแผ่ เป็นฐานรากก่ออิฐเหมือนในสมัยอยุธยา หรือใช้คอนกรีตแทนการก่ออิฐในช่วงหลังรัชกาลที่ 4 โดยก่อเป็นกรอบหรือเป็นช่อง แล้วบดอัดวัสดุภายใน เช่น อาคารในวัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร [68] ก่ออิฐกว้าง 1 เมตร เป็นตารางห่างกัน 3-4 เมตร ส่วนที่ตึกที่พักมหาดเล็กที่พระราชอุทยานชายทะเลหัวหิน [73] ซึ่งสร้างในสมัยรัชกาลที่ 6 นั้น ใช้คอนกรีตในการทำฐานราก โดยขุดคลองรากแล้วเทคอนกรีตเป็นตาราง (ถังคอนกรีต) แล้วอัดกระทุ้งดินให้แน่น

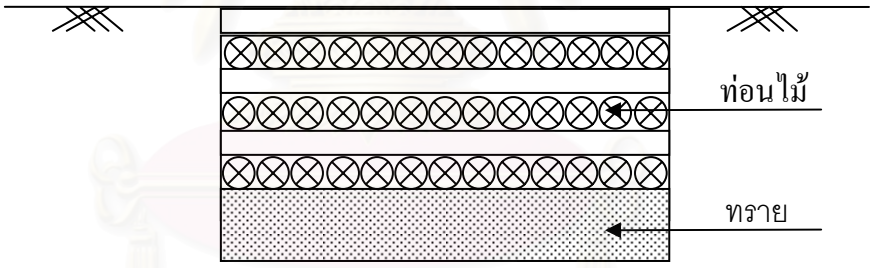
ฐานรากที่พระนครคีรีพบว่ามีการทำฐานราก 3 แบบ [74] คือ

1. ฐานที่ตั้งหรือฐานทักษิณ สำหรับตั้งกลุ่มอาคาร สร้างบนพื้นหินแข็ง (Bed Rock) เสริมฐานรากบางจุดแบบคลองราก จะใช้กับบริเวณที่เป็นโครงหินแข็งและมีระดับไม่ต่างกันมากนัก ใช้ก้อนหินถมตามแนวที่จะก่อสร้าง ยึดด้วยปูน แล้วก่อกำแพงคลองรากล้อมพื้นที่ ถมให้เรียบเป็นลานเพื่อก่อสร้างอาคาร

2. ฐานรากแผ่ เป็นถังคอนกรีต พื้นที่ว่างภายในอัดด้วยทรายบดอัดแน่นที่ชั้นล่างสุดหลายๆ ชั้น ชั้นบนถมด้วยหินย่อย อิฐหักอัดแน่นคลุกเคล้ากับปูนขาวให้จับตัวเป็นคอนกรีต หรือใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสาน กระทุ้งให้แน่น

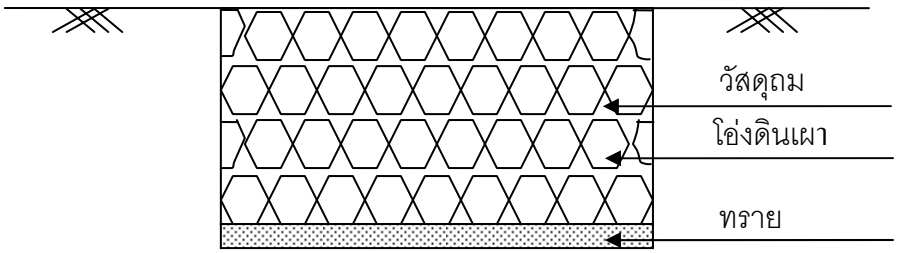
3. ฐานรากแบบตาราง เป็นฐานรากก่ออิฐแบบคลองรากวางแนวเป็นตารางสี่เหลี่ยมระยะห่างตามช่องกว้างของโครงสร้างเรือน คือก่อกำแพงตามแนวผนังหรือแนวเสาของอาคารทำให้เกิดเป็นแนวตาราง แล้วถมช่องว่างด้วยทรายอัดแน่นปรับระดับก่อนเทปูนพื้น หรืออาจปล่อยที่ว่างให้โล่งแล้วปูด้วยพื้นไม้ มักใช้กับอาคารที่มีผังแบบมีพาไลรอบ และมีเสาร่วมในหรืออาคารที่มีขนาดใหญ่มาก

4.5.2 **ฐานแพวางบนดิน** จากข้อมูลฐานรากของวัดพระศรีรัตนศาสดาราม [68] ฐานรากอุโบสถวัดพระเชตุพน [76] พบว่าเป็นฐานแพวางบนดิน โดยใช้ท่อนซุงในการรับน้ำหนักและกระจายน้ำหนักลงสู่ดิน ก่อนจะวางท่อนซุงอาจจะมีการรองพื้นด้วยทราย ปรับพื้นที่ให้เรียบก่อน ส่วนที่วังสมเด็จบูรพาภิรมย์ [77] ได้ใช้ไม้ซุงมัดติดกันเป็นแพขนาดเท่าตัวอาคาร แล้วฝังแพซุงนั้นไว้เป็นฐานรากของฐานอาคาร ลักษณะดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 ฐานแพท่อนซุง

4.5.3 **การใช้โอ่ง ตุ่มดินเผาในการลดน้ำหนักฐานราก** พบที่วัดราชประดิษฐ์ในสมัยรัชกาลที่ 4 โดยมีวิธีการทำคือขุดลอกดินเดิมออกไปแล้วปรับระดับ ด้วยการปูด้วยทราย หรือใช้ท่อนซุงขนาดใหญ่วางขัดสลับกันเป็นตารางสี่เหลี่ยมเป็นชั้นๆ ยึดให้แน่น [72] แล้วจึงถมด้วยโอ่งไห หรือตุ่มดินเผา โดยวางคว่ำลงให้สับหว่างกัน และระหว่างช่องว่างระหว่างโอ่งแต่ละใบจะใช้ดินถมอัดจนได้ระดับที่ต้องการจึงปูอิฐหรือบดอัดดินเพื่อปรับระดับแล้วจึงก่ออิฐเป็นฐานหรือพื้นอาคารต่อไป ลักษณะการถมด้วยโอ่งดินเผา แสดงดังรูป 4.6 ฐานรากที่ใช้ตุ่ม หรือโอ่งดินเผาในการลดน้ำหนักของฐานนี้ มักใช้ในบริเวณที่ชั้นดินที่รับน้ำหนักเป็นชั้นดินอ่อน มีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอ หากใช้การถมอัดแบบเก่า จึงได้มีการพัฒนาเพื่อแก้ปัญหานี้



รูปที่ 4.6 ฐานรากแบบถมโปร่งโดยใช้โอ่งดินเผา

การใช้โอ่ง ไหถมแทนวัสดุถมทึบนั้น เป็นการลดน้ำหนักของฐานรากที่จะถ่ายลงสู่ดินชั้นล่าง ตัวอย่างของการใช้เทคนิคถมโปร่งแบบนี้ได้แก่

- วิหารวัดราชประดิษฐ์ [72] ซึ่งใช้ท่อนซุงขนาดใหญ่วางเป็นแนวขัดสลับกันเป็นตารางยึดด้วยโซ่เหล็ก แล้วถมด้วยไหกระเทียมที่นำมาจากเมืองจีน [78]
- อุโบสถวัดราชบพิธสถิตมหาสีตาราม [79] ก่อนถมด้วยโอ่ง มีการรองพื้นด้วยอิฐ ศิลาแลง และลูกรังก่อน
- อุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ [78] ใช้ตุ่มในการถมโปร่ง
- ป้อมพระสุเมรุ [80] สันนิษฐานว่าใช้เทคนิคการถมโปร่งในการแก้ปัญหาการทรุดตัวของป้อมด้านที่ติดกับแม่น้ำเจ้าพระยาเมื่อสมัยรัชกาลที่ 4 หรือหลังจากนั้น โอ่งดินเผาที่ใช้มีขนาด ความกว้างปากด้านใน 18-20 เซนติเมตร ปากด้านนอก 25-27 เซนติเมตร ความกว้างมากที่สุด 53 - 58 เซนติเมตร ฐานกว้าง 25 - 27 เซนติเมตร และเรียงซ้อนกันแบบสลับฟันปลา ซ้อนกันขึ้นมาเป็นชั้นๆ โดยชั้นบนจะวางคว่ำลงไปในช่องระหว่างโอ่งชั้นล่างและในช่องว่าง ที่เหลือใช้ดินอัดแทรกลงไป แล้วปรับระดับ ปูอิฐทับ 1 ชั้น ที่ความลึก 105 เซนติเมตร จากพื้นดินปัจจุบัน แล้วบดอัดดินเพื่อปรับระดับอีกและปูอิฐทับอีก 1 ชั้นที่ความลึก 50 เซนติเมตรจากพื้นดิน จากการขุดตรวจพบว่ามีการวางเรียงโอ่งมากกว่า 2 ชั้น

นอกจากนี้ในในปี 2534 ได้พบว่ามีการนำเทคนิคการถมโปร่งด้วยโอ่งดินเผามาใช้ในการซ่อมฐานรากโบสถ์คริสตจักรวัฒนา โดยได้ใช้โอ่งจากราชบุรีวางเรียงเป็นฐานราก แล้วกลบด้วยทราย ซึ่งทำให้น้ำหนักลดลงจากการใช้ดินอัดถึง 1 ตัน ต่อ 1 ตารางเมตร ในความลึกเท่ากัน

ในกรณีวัดนิเวศธรรมประวัติ [68] ซึ่งใช้ตุ่มในการถม จากการคำนวณน้ำหนักเมื่อเทียบกับดินแล้วจะหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่งในความสูงเท่ากัน

4.5.4 ฐานรากลึก หรือฐานรากเสาเข็ม ในสมัยนี้การใช้ฐานรากลึก หรือฐานรากแบบเข็มนิยมใช้กันมาก ซึ่งฐานรากลึกในสมัยรัตนโกสินทร์นี้ จะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามวัสดุที่ใช้ คือ

ก) ฐานรากแบบเข็มไม้ พบตั้งแต่ในสมัยรัชกาลที่ 1 โดยเป็นลักษณะเข็มตอก โดยอาจจะขุดดินลงไปให้ถึงระดับที่เข็มจะสามารถถ่ายแรงลงไปสู่ชั้นดินแข็งได้ แล้วจึงตอกเข็มไม้ลงไป จากนั้นทำการปูอิฐหรือวางไม้ซุง และทำฐานรากแผ่ โดยการถมอิฐหรือก่ออิฐขึ้นไปจนได้ระดับพื้นอาคาร ตัวอย่างฐานรากแบบนี้ได้แก่

- พระราชวังบวรสถานมงคล(วังหน้า) ใช้เข็มไม้รองรับคานของฐานอาคาร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มไม้ 0.12 เมตร ยาว 1.4 เมตร เข็มแต่ละต้นห่างกัน 30 เซนติเมตร [68]

- กำแพงพระนครบริเวณพระราชวังบวรสถานมงคล(วังหน้า) เริ่มจากขุดดินเป็นแนวยาวก้นสอบเข้าขนาดความกว้างของหลุมที่ชั้นล่างสุด 4.8 เมตร ชั้นบนสุด 5.4 เมตร ตอกเสาเข็มไม้เสลาเรียงติดกันไปตลอดแนว โดยตอกเป็นแนว 2 ด้านของกำแพง ปลายล่างสุดจะสอดเข้าใต้กำแพง เพื่อค้ำยันแนวกำแพงอิฐ ไม้จะวางตัวในแนว 15 องศา ยาว 1.5 เมตร จากนั้นวางเรียงอิฐก้อนใหญ่บนพื้นดินเหนียว เป็นชั้นที่ 1 เรียงสั้นสลับยาวทีละ 2 ก้อน อัดด้วยเศษอิฐหัก และอิฐป่นเป็นชั้นหนาประมาณ 30 เซนติเมตร ปรับหน้าชั้นเศษอิฐหักให้เรียบ วางเรียงอิฐขนาดใหญ่สภาพไม่สมบูรณ์เป็นชั้นที่ 2 สั้นสลับยาวทีละ 2 ก้อน และถมด้วยเศษอิฐหัก อิฐป่นหนา 30 เซนติเมตร ปรับหน้าให้เรียบและเรียงอิฐชั้นที่ 3 ด้วยก้อนขนาดบาง เอาสันตั้ง กว้างสลับยาว ทีละ 4 ก้อน แล้วถมอิฐหักเช่นเดิม และเรียงอิฐแบบชั้นที่ 3 อีกครั้งเป็นชั้นที่ 4 ขนาดอิฐที่ใช้กว้าง 15.5 - 18 เซนติเมตร ยาว 33 - 33.5 เซนติเมตร และหนา 7.5 -10 เซนติเมตร และกว้าง 15.5 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร ความสูงของแนวฐานราก 1.5 ม. [18]

- เจดีย์วัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม ใช้ฐานรากลึกโดยขุดคลองราก กว้าง 20 เมตร ลึก 2.5 เมตร ตอกเสาไม้ติดกันในลักษณะเข็มพืด (Sheet pile) และใช้ไม้ตะเคียนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 0.5 เมตร ยาว 18 เมตร วางเรียงเป็นตาราง 2 ชั้นที่เรียกว่าแกงแนง* แล้วทำการขุดดินอ่อนออก เพื่อใส่อิฐหักและทรายลงไปอัดให้แน่นแทน ในลักษณะฐานรากแผ่ (Raft Foundation) จากนั้นจึงก่ออิฐถือปูนหนา 2 - 3 เมตร ทำเป็นแท่นรองรับองค์พระ [68]

- ภูเขาทอง วัดสระเกศ การก่อสร้างภูเขาทองนั้น เริ่มก่อสร้างตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 3 โดยเริ่มจากขุดดินลึกถึงโคลน ตอกเสาเข็มลงไปจนเต็ม นำเอาไม้ซุงมาปูเป็นตาราง แล้วก่อศิลาแลงขึ้นมาเกือบเสมอดิน จากนั้นก่ออิฐองค์พระเจดีย์ เอาศิลามาถมก่อฐานอิฐขึ้นไป แต่ในสมัยนั้นก่อไปได้ถึงฐานทักษิณที่ 2 อิฐข้างในก็ทรุดลงประมาณ 18 เมตร และองค์เจดีย์ร้าว จึงแก้ไขด้วย

---

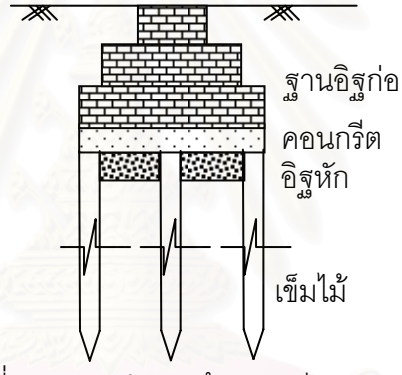
* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก

การ ปักเสาใหม่อีกหลายชั้นแต่ไม่สำเร็จ โครงสร้างฐานรากยังมีการทรุดตัวฐานแตกร้าว จึงหยุดการก่อสร้างไปในครั้งนั้น [81] แล้วจึงดำเนินการก่อสร้างต่อในสมัยรัชกาลที่ 4 โดยใช้วิธีถมด้วยโอ่ง

- รากกระทรวงนครบาลด้านใต้ ใช้เข็มยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ในระยะ 2 เมตร (1 วา) ใช้เข็ม 24 ต้น [84]

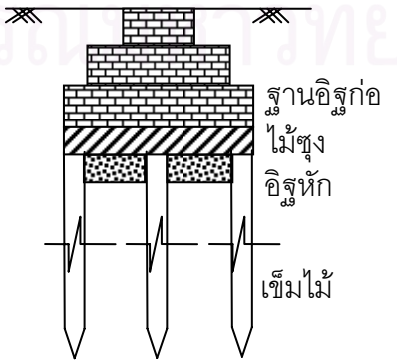
ในสมัยรัตนโกสินทร์นี้ เทคนิคการใช้เข็มเป็นฐานรากนั้นเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น ในสมัยรัชกาลที่ 5 สังเกตจากตำราก่อสร้างที่แต่งขึ้นโดยร้อยโท พลอย จุ ในสมัยนั้น ได้กล่าวถึงวิธีการก่อสร้างรากตึกว่ามีวิธีการ 3 อย่าง [95] คือ

1. “การทำรากตึกอย่างดี” ขุดคลองราก โดยขุดให้ปากหลุมกว้างกว่าก้นหลุม เอาเข็มตีลงไปในคลองราก โกยเอาดินที่หัวเข็มออก เอาอิฐหักใส่กระทุ้งให้เสมอหัวเข็ม เทคอนกรีต แล้วก่ออิฐลดเป็นชั้นๆ ขึ้นไป ดังรูป 4.7



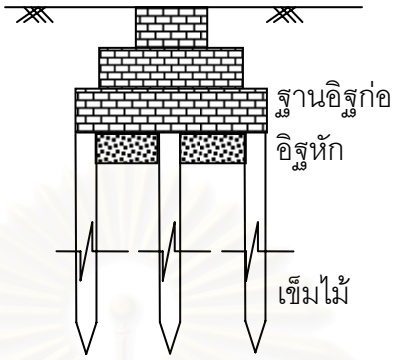
รูปที่ 4.7 “การทำรากตึกอย่างดี” [95]

2. “การทำรากอย่างกลาง” ขุดเหมือนคลองรากอย่างดี ตีเข็ม แล้วเอาดินที่หัวเข็มขึ้น ใส่อิฐหักกระทุ้งให้เสมอหัวเข็ม แล้วเอาหมอนวางลำดับกันไปให้ได้ระยะ เรียกว่า สลิปเปอร์ แล้วจึงก่ออิฐขึ้นไปจนเสมอพื้นดิน ดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 “การทำรากตึกอย่างกลาง” [95]

3. “การทำรากอย่างเลว” ขุดคลองราก และตีเข็ม เอาอิฐหักใส่กระทุ้งให้เสมอหัวเข็ม แล้วก่ออิฐลดกันไปจนถึงพื้นดิน ดังรูป 4.9

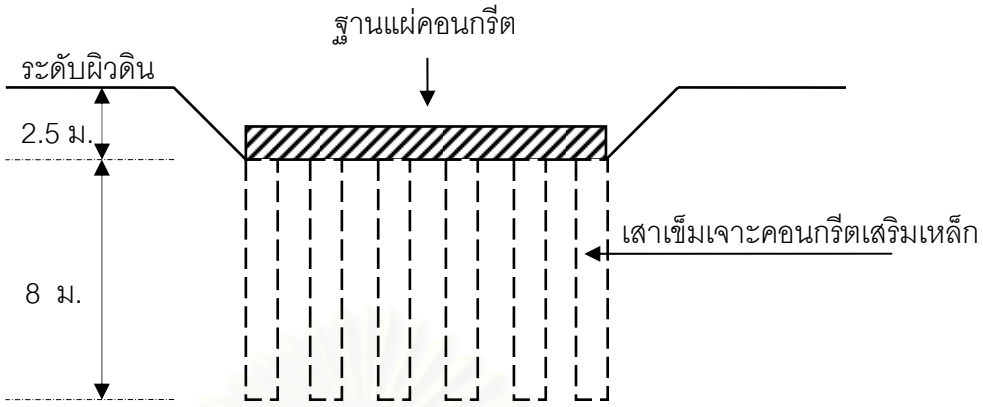


รูปที่ 4.9 “การทำรากตึกอย่างเลว” [95]

ข) ฐานรากเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก พบครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 5 ที่กุฏิวัดราชประดิษฐ์ [72] และที่พระที่นั่งอนันตสมาคม [82] คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุที่เริ่มมีการนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำมาใช้เป็นฐานรากแบบเข็ม โดยเฉพาะที่พระที่นั่งอนันตสมาคม ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่ และได้นำเอาเทคโนโลยีจากต่างชาติเข้ามาใช้ในการก่อสร้าง วิธีการก่อสร้างฐานรากพระที่นั่งอนันตสมาคมมีวิธีการดังนี้

- เปิดหน้าดินขุดหลุมลึก 2.5 ม. จากผิวดินเดิม
- เจาะพื้นดินโดยกระทุ้งให้เป็นหลุมลึกประมาณ 8 เมตร เพื่อทำเข็มเจาะ
- เทคอนกรีตลงหลุม (เข็มเจาะ) เป็น Pure friction pile เพราะยังอยู่ในชั้นดินอ่อน
- หล่อฐานรากคอนกรีตต่อกันไปเป็นฐานแผ่ เพื่อช่วยกระจายน้ำหนักจากอาคารให้ลงสู่ชั้นดินอย่างสม่ำเสมอ หากเกิดการทรุดตัว ก็จะทรุดตัวสม่ำเสมอเท่ากันทั้งอาคาร จะทำให้ไม่เกิดรอยแตกร้าวขึ้น
- หล่อกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กกันดินติดกับฐานราก (เป็นกำแพงห้องใต้ดิน ที่ทำเป็นห้องๆ) เพื่อให้ฐานรากแข็งแรงขึ้น
- ปรับถมที่ เพื่อเทพื้น

ลักษณะการทำเสาเข็มเจาะของพระที่นั่งอนันตสามาคม แสดงดังรูป 4.10



รูปที่ 4.10 การก่อสร้างฐานรากพระที่นั่งอนันตสมาคม [88]

นอกจากรูปแบบฐานรากเหล่านี้แล้ว ที่ป้อมพระสุเมรุ [80] ยังพบเทคนิคการทำกำแพงรัดรอบดินใต้ฐานราก เพื่อป้องกันการเลื่อนตัวของดิน โดยที่ฐานรากของป้อมพระสุเมรุในสมัยรัชกาลที่ 1 นั้น ได้บดอัดด้วยอิฐหัก และก่ออิฐเป็นกำแพง 2 ด้าน เว้นช่องกลางไว้ถมเศษอิฐหักบดอัด โดยส่วนล่างจะบดอัดด้วยอิฐขนาดเล็กถมก่อนเพื่อความแน่นหนา แล้วชั้นบนใช้อิฐขนาดใหญ่บดอัด แล้วพบเสาเข็มไม้ เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 - 25 เซนติเมตร ยาว 160 เซนติเมตร ปักเป็นเข็มแผ่ทั้งใต้ผนังป้อมและนอกป้อมห่างจากป้อม 3 เมตร ซึ่งเข็มแผ่เหล่านี้คาดว่าน่าจะเป็นกำแพงรัดรอบดินใต้ฐานรากและรองรับแนวผนังป้อม

4.5.5 วัสดุในการก่อสร้างฐานราก

ก) อิฐ สมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น จนถึงช่วงรัชกาลที่ 5 อิฐยังคงเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างฐานราก เช่นที่ ป้อมพระสุเมรุ [80] พระนครคีรี [74] เป็นต้น ในสมัยหลังบทบาทความสำคัญของอิฐในการก่อสร้างฐานรากนั้นได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะมีการใช้วัสดุอื่นเป็นวัสดุหลักในการรับน้ำหนักและถ่ายน้ำหนักมากกว่าอิฐแล้ว

อิฐที่พบที่ป้อมพระสุเมรุ พบว่าเป็นอิฐสีแดงเข้ม ทำจากดินเหนียวผสมทราย ผ่านการเผาสุกอย่างดีทั่วทั้งก้อน เนื้ออิฐมีรูพรุนค่อนข้างมาก และมีช่องว่างหรือโพรงขนาดใหญ่กระจัดกระจาย แสดงว่าไม่ได้มีการนวดและอัดก้อนอิฐอย่างดี [80] ส่วนอิฐที่พบที่พระนครคีรีนั้น มีขนาด 16.25 x 31.25 x 6.25 เซนติเมตร [74] และมีขนาดสม่ำเสมอ จึงสันนิษฐานได้ว่า ในสมัยรัตนโกสินทร์การผลิตอิฐค่อนข้างมีมาตรฐาน ทั้งในเรื่องของขนาดและคุณภาพ

ข) วัสดุบดอัด วัสดุที่ใช้ในการบดอัดมีบทบาทมากในการก่อสร้างฐานรากในสมัยนี้ เพราะใช้ในการทำฐานรากทุกรูปแบบ วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ คือดิน ทราย และเศษอิฐหักอาจจะใช้ผสมกัน หรือแยกใช้เป็นชั้นๆ

ค) วัสดุถมโปร่ง วัสดุถมโปร่งที่ใช้ก็คือ โอ่งดินเผา ไห ตุ่ม ลักษณะปากแคบ ก้นแคบ ตรงกลางจะกว้างมากกว่าปากและก้นโอ่ง โอ่งดินเผาที่พบที่ป้องพระสุเมรุ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.7 เมตร และสูงประมาณ 0.7 เมตร [80]

ง) ไม้ ไม้ได้กลายเป็นวัสดุสำคัญในการก่อสร้างฐานรากในสมัยนี้ ใช้ทั้งในลักษณะเป็นเข็มไม้ และเป็นฐานแพ ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างได้แก่ ไม้เสลา [18] ไม้ตะเคียน เป็นต้น

จ) คอนกรีต วัสดุที่มีบทบาทต่อพัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงของการก่อสร้างฐานรากมากที่สุดในสมัยนี้ คือ คอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้อย่างดี และสามารถทำการก่อสร้างได้ง่าย ถึงแม้ว่าในช่วงแรกที่นำมาใช้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงมาก แต่ก็ให้ผลที่คุ้มค่า ทั้งในด้านกำลังรับน้ำหนัก และอายุการใช้งาน ประเทศไทยได้เริ่มผลิตปูนซีเมนต์ออกจำหน่ายตามท้องตลาดเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2458 โดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ในช่วงแรกที่มีการผลิตออกจำหน่ายยังมีการใช้ในวงจำกัด ด้วยในสมัยนั้น ไม้เป็นวัสดุที่แพร่หลาย และราคาต่ำกว่า รวมทั้งช่างก่อสร้างก็มีความชำนาญในการก่อสร้างงานไม้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการก่อสร้างหลังจากช่วงเวลานี้ ได้มีการพัฒนาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างรวดเร็ว และใช้กันอย่างแพร่หลายภายในเวลาเพียงไม่นานจนกระทั่งยุคสมัยปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาต่อเนื่องทั้งเทคโนโลยีด้านคุณสมบัติของวัสดุและระบบโครงสร้าง

จ) เหล็กดอกเห็ด ที่วัดพระเชตุพน พบเหล็กรูปร่างคล้ายดอกเห็ด ใช้สำหรับการยึดไม้ซุงแกงแนงที่ใช้เป็นโครงสร้างฐานราก ไม่ทราบขนาดที่แน่นอน แต่สันนิษฐานได้ว่า จะมีขนาดใหญ่พอที่จะยึดโครงสร้างไม้ซุงที่มีขนาดใหญ่ได้

ฐานรากในสมัยรัตนโกสินทร์นี้ มีความหลากหลายทางโครงสร้างมากขึ้น โดยมีทั้งฐานรากแบบตื้น และแบบลึก ฐานรากแบบตื้นมีทั้งฐานรากแผ่แบบคลองราก ตาราง ฐานรากแพที่ใช้ไม้ซุงวางสลับกันเพื่อรับน้ำหนัก และฐานรากแบบก่อและบดอัดวัสดุแทนชั้นดินเดิมที่กำลังรับน้ำหนักต่ำกว่า ส่วนฐานรากลึก มีการใช้เสาเข็ม ทั้งไม้และคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่มีกำลังสูงกว่าซึ่งอยู่ในระดับลึกลงไป

จากรูปแบบฐานรากที่แพร่หลายมากขึ้นดังกล่าว ทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าสมัยรัตนโกสินทร์นี้ ได้มีการพัฒนาความรู้ความสามารถทางด้านวิศวกรรมการก่อสร้างในส่วนของงานฐานรากอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว มีการรับเอาเทคโนโลยีจากต่างประเทศมาประยุกต์ใช้อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ เกิดจากพื้นที่ของเมืองราชธานี คือกรุงเทพมหานคร

ซึ่งชั้นดินในกรุงเทพมหานครนั้นเป็นชั้นดินอ่อน โดยเฉพาะบริเวณใกล้แม่น้ำ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการก่อสร้าง จึงต้องมีการพยายามแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

การใช้เทคนิคการถมโปร่งด้วยโอ่ง ไห สันนิษฐานว่าจะเกิดจากการพยายามแก้ไขปัญหานี้ เนื่องจากในการออกแบบสถาปัตยกรรม มักมีความต้องการที่จะสร้างสิ่งก่อสร้างที่มีคุณค่าทางจิตใจ หรือทางศาสนา ด้วยลักษณะที่มีฐานสูง ด้วยเหตุนี้ การทำฐานสูงจำเป็นต้องมีการนำวัสดุมาถมให้สูงขึ้น แต่หากใช้วัสดุถมทึบ ก็จะถมได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ยิ่งถมมาก ที่ฐานล่างสุดก็จะมีแรงอัดมาก รวมทั้งน้ำหนักที่กดลงชั้นดินก็มากขึ้นด้วย ช่างจึงหาทางแก้ปัญหานี้โดยหาวัสดุที่จะทำให้ก่อฐานสูงได้ แต่มีน้ำหนักเบากว่าการถมวัสดุทึบ นั่นคือการถมโปร่งนั่นเอง และนับเป็นเทคนิคที่ประสบความสำเร็จ เพราะได้ทำให้โครงสร้างอาคารสามารถทรงตัวอยู่ได้ และไม่เกิดการทรุดตัวจนพังทลาย [68]

ส่วนเทคโนโลยีการใช้เสาเข็มนั้น อาจเป็นไปได้ว่าได้มีการใช้ฐานรากเสาเข็มมาตั้งแต่สมัยก่อนหน้านี้ แต่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน หรืออาคารที่มีอายุไม่ยืนยาวนัก โดยเฉพาะกับการก่อสร้างบ้านเรือนของคนไทยในสมัยก่อนๆ ซึ่งสร้างด้วยไม้ และทำฐานรากโดยใช้ไม้ทั้งท่อนตอกเป็นเข็ม และเป็นเสาเรือนด้วย หรืออาจใช้เทคนิคแบบ งัว และ* ก็เป็นได้ แต่ในการก่อสร้างอาคารก่ออิฐถือปูน หรืออาคารที่ถาวรนั้น เพิ่งจะปรากฏว่าใช้ไม้เป็นเสาเข็มในสมัยนี้ แสดงให้เห็นว่า ช่างได้รู้ถึงคุณสมบัติการรับน้ำหนักของไม้เป็นอย่างดี ไม้เป็นวัสดุที่รับน้ำหนักได้ดีทั้งแรงอัดและแรงดึง (โมเมนต์ดัด) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของไม้ และสภาพการใช้งานด้วย ดังจะเห็นได้ว่าช่างได้ใช้ไม้ทั้งเป็นเสาเข็มรับแรงอัด และเป็นฐานแพ โดยการวางไม้แนวนอนสลับกันเป็นตาราง

4.6 วิเคราะห์โครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากอาคารโบราณสถานไทย ซึ่งรูปแบบฐานรากดังกล่าวอาจสามารถนำมาจัดแบ่งตามพฤติกรรมทางโครงสร้างได้เป็น 2 ลักษณะ คือฐานรากตื้น ได้แก่ ฐานรากแผ่ ฐานรากแบบคลองราก ฐานรากแพซุง และฐานแผ่ถมโปร่ง และฐานรากลึก มีแบบเข็มไม้ และเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีพฤติกรรมทางโครงสร้างดังนี้

4.6.1 ฐานรากตื้น เป็นฐานรากที่ถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างลงสู่ชั้นดินในระดับตื้น และมีความกว้างยาวมากกว่าขนาดของโครงสร้างตัวอาคาร ทำให้แรงกระทำจากโครงสร้างส่วนบน

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

กระจายลงสู่พื้นที่ฐานราก มีผลให้แรงต่อหน่วยพื้นที่มีค่าลดลงจนมีค่าไม่เกินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินใต้อาคาร ฐานรากตื้นที่พบในอาคารโบราณสถานไทยได้แก่

- *ฐานรากแผ่ (Spread Foundation) และฐานแผ่ถมโปร่ง* เป็นฐานที่ขยายพื้นที่ของฐานให้กว้างกว่าตัวอาคาร เพื่อลดแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ให้กำลังของดินสามารถรับได้

- *ฐานคลองรากหรือฐานกำแพง (Strip Foundation or Wall Foundation)* เป็นฐานรากแผ่ยื่นออกมามีความกว้างมากกว่าผนัง และยาวตามแนวผนัง มีความหนาของฐานเท่ากันตลอดแนว

- *ฐานแพซุง (Raft Foundation or Mat Foundation)* เป็นฐานรากที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดแรงกระทำเป็นจุดซึ่งมีขนาดหนักมากให้ลดลง โดยการใช้ฐานแพซึ่งมีลักษณะแข็งเกร็ง กระจายน้ำหนักจากเสาหรืออาคารส่วนบนให้เฉลี่ยลงพื้นที่ฐานแพทั้งหมด โดยฐานแพซุงนั้น ถือเป็นฐานแพแบบแผ่พื้นเต็มตัน (solid slab raft foundation)

ฐานรากเหล่านี้มีพฤติกรรมทางโครงสร้างคล้ายคลึงกัน คือถ่ายน้ำหนักสู่ดินในลักษณะแรงแบกทาน ลักษณะแรงกดหรือความเค้นที่เกิดขึ้นกับฐานรากและชั้นดินใต้ฐานราก ขึ้นอยู่กับลักษณะความแข็งของฐานราก กล่าวคือ หากฐานรากมีความแข็งเกร็งมาก เช่นฐานแบบแพซุง หรือฐานรากที่ใช้ไม้ถ่ายน้ำหนักลงสู่ดิน รวมทั้งฐานอิฐก่อที่มีการเชื่อมประสานแน่นจนกลายเป็นมวลอิฐตัน ฐานเหล่านี้จะกระจายน้ำหนักลงสู่ดินอย่างสม่ำเสมอ ตัวฐานรากไม่มีการแอ่นตัว ดังนั้นการทรุดตัวของอาคารจึงเท่ากันตลอดทั้งอาคาร แต่หากฐานรากมีลักษณะยืดหยุ่น เช่นฐานอิฐก่อที่ไม่มีการเชื่อมแน่นจนเป็นมวลตัน จะมีผลให้การทรุดตัวบริเวณกึ่งกลางฐานรากมีค่ามากกว่าการทรุดตัวที่มุมฐาน ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างตัวอาคารได้

การบดอัดชั้นดินใต้ฐานราก นับว่าเป็นส่วนที่ช่วยให้ฐานรากกระจายน้ำหนักลงสู่ดินได้อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการก่อสร้างฐานรากในอดีต หลังจากขุดชั้นดินลงไปถึงระดับที่ต้องการแล้ว พบว่ามีการถมชั้นดินด้วยดิน ทราย หิน อิฐหัก หรือกรวด และบดอัดให้แน่นแล้วจึงก่ออิฐฐานรากหรือวางวัสดุอื่นเป็นฐานรากต่อไป

ฐานรากตื้นเหมาะสำหรับการก่อสร้างอาคารบริเวณที่ชั้นดินที่มีกำลังรับน้ำหนักอยู่ไม่ลึกนัก คือประมาณไม่เกิน 3 เมตร โดยในอดีตการก่อสร้างฐานรากจะต้องขุดดินเดิมโดยใช้กำลังคน ดังนั้นการทำฐานรากตื้นในอดีต สันนิษฐานว่าจะวางฐานรากในระดับที่แรงงานคนสามารถขุดลงไปได้เท่านั้น โดยมิได้พิจารณาถึงกำลังรับน้ำหนักของดินเป็นหลัก

นอกจากนี้ ฐานรากตื้นแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งสันนิษฐานว่าน่าจะมีผลต่อการเลือกรูปแบบฐานรากของอาคารในสมัยโบราณด้วย โดยข้อดีข้อเสียของฐานรากแต่ละแบบมีดังนี้

ก) ฐานรากแผ่ การก่อสร้างฐานแผ่นั้นมีเทคนิคที่ไม่ยุ่งยากนัก ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ก่อสร้างที่ซับซ้อน และใช้วัสดุก่อซึ่งสามารถหาได้ตั้งแต่สมัยอดีตเช่นอิฐ หรือศิลาแลง ฐานแผ่แบบก่อทึบตันนั้นใช้วัสดุก่อจำนวนมาก และสันนิษฐานว่าน่าจะใช้เวลาในการก่อสร้างมากด้วย ส่วนฐานแบบก่อวัสดุเป็นกรอบนั้นใช้วัสดุก่อน้อยกว่าแบบทึบ แต่คุณภาพของการบดอัดดินภายใน อาจมีผลต่อเสถียรภาพการก่อสร้างได้ และยังอาจเป็นแหล่งกำเนิดของรากไม้ชอนไชเข้าไปภายในโครงสร้างได้ด้วย น้ำหนักของโครงสร้างจะถ่ายผ่านวัสดุถมอัดลงสู่ชั้นดินรับน้ำหนัก ดังนั้นกำลังรับแรงอัดของอิฐจึงไม่จำเป็นต่อฐานรากแบบนี้ แต่เทคนิคการก่ออิฐเป็นกรอบกลับเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากดินที่บดอัดภายในจะก่อให้เกิดแรงดันด้านข้างต่อกรอบฐาน ดังนั้นการก่อกรอบฐานจึงต้องมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ

ส่วนฐานแผ่แบบก่อเอ็นอิฐนั้น มีข้อเสียเช่นเดียวกับแบบก่อวัสดุเป็นกรอบ คืออาจเกิดรากไม้ภายในฐานรากได้ แต่ฐานแผ่แบบนี้ใช้ทั้งกำลังของอิฐก่อ และดินบดอัดในการรับน้ำหนัก เทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างในอดีตนั้น มีเพียงอิฐและศิลาแลง ดังนั้นฐานแผ่จึงเป็นฐานรากที่เหมาะสม

ข้อเสียที่สำคัญของการใช้ฐานรากแผ่เป็นฐานรากโบราณสถานนั้นคือ การที่ฐานรากแผ่อยู่ในระดับที่น้ำใต้ดินสามารถท่วมถึง เนื่องจากน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของอิฐ ทำให้อิฐอุ้มน้ำ น้ำหนักของฐานรากจึงเพิ่มขึ้น และทำให้อิฐบวม เปื่อยยุ่ยและยังมีผลต่อปูนก่อซึ่งในสมัยนั้น มักใช้ดินสอ ทำให้โครงสร้างอิฐก่อขาดการเชื่อมประสาน โครงสร้างฐานรากจึงพังทลายได้ นอกจากนี้น้ำจากดินยังอาจมีผลไปถึงโครงสร้างอาคาร เช่นผนังก่อ หรือโครงสร้างไม้ภายในได้ด้วย

ข) ฐานแบบคลองราก การก่อสร้างฐานแบบคลองราก นับว่าเป็นการประหยัดวัสดุก่อ เนื่องจากเป็นการก่อสร้างฐานรากเฉพาะจุดที่รับน้ำหนักมากเท่านั้น และเนื่องจากอาคารในสมัยก่อนนี้มีน้ำหนักจรไม่มากนัก ฐานรากสำหรับพื้นอาคารจึงไม่จำเป็น ข้อเสียของการใช้ฐานรากแบบนี้ คืออาจมีผลให้การทรุดตัวของพื้นอาคารและผนังมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการแยกตัวของผนังและพื้นได้ อย่างไรก็ตามการก่อสร้างพื้นและผนังของอาคารโบราณ ไม่มีการต่อเชื่อมกัน ดังนั้นการทรุดตัวไม่เท่ากันนี้จึงไม่มีผลต่ออาคารโดยรวม นอกจากนี้ฐานแบบคลองรากยังมีข้อเสียเช่นเดียวกับแบบฐานแผ่ข้างต้น ในส่วนของการก่ออิฐใต้ดิน ซึ่งมีความชื้นที่อาจเข้าสู่โครงสร้างได้

ค) ฐานแพซุง การใช้แพซุงแบบนี้ ในทางหลักการวิชาการแล้วจะเห็นว่าเป็นการลดแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อชั้นดินบริเวณใกล้เคียง โดยอาคารที่ใช้ฐานแบบนี้มักเป็นอาคารที่อยู่ติดริมฝั่งน้ำ โดยการนำดินเดิมออกจะทำให้ดินบริเวณใกล้เคียงรับแรงดันด้านข้างน้อยลง และการใช้แพซุงวางแทนดินเหนียวที่ขุดออกไปนั้น ไม่ทำให้เกิดแรงดันด้านข้างต่อดินใกล้เคียงด้วย ส่วนการป้องกันการทรุดตัว ฐานแพนี้ไม่มีผลต่อการช่วยลดการทรุดตัว เพราะชั้นดินในกรุงเทพซึ่งโบราณสถานสมัยรัตนโกสินทร์ตั้งอยู่นั้นเป็นชั้นดินอ่อน ชั้นดินที่แข็งแรงอยู่ลึกกว่าระดับที่วางฐาน

แพมาก ดังนั้นปริมาณการทรุดตัวจึงไม่แตกต่างจากฐานรากแบบอื่นที่วางบนชั้นดินอ่อน แต่จะทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นเท่ากันทั้งอาคาร เนื่องจากแพซุงมีลักษณะเป็นฐานรากแข็งเกร็ง จึงช่วยกระจายน้ำหนักลงสู่ดินตลอดพื้นที่ใต้ฐานราก

นอกจากนี้ ฐานแพซุงยังมีข้อเสียที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ นั่นคือการก่อสร้างฐานรากใต้ดินในอดีตนั้น ซุงไม้อาจจะอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินหรือใต้ระดับน้ำใต้ดิน แต่เมื่อเวลาผ่านไประดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ไม้ซุงอยู่ในสภาวะที่เปลี่ยนไป คือเปียกแล้วแห้ง หรือแห้งแล้วเปียก ซึ่งมีผลทำให้ไม้ผุได้ ดังนั้นเมื่อมีการขุดสำรวจฐานรากโบราณสถานในปัจจุบัน จึงพบว่าฐานแพซุงมีสภาพที่ไม่เหมาะสมที่จะรับน้ำหนักอาคารต่อไป และจำเป็นต้องมีการบูรณะซ่อมแซมฐานราก

ง) ฐานรากแผ่ถมโปร่ง วิธีการถมโปร่งนี้ช่วยทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อชั้นดินด้านล่างลดลงกว่าครึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการบดอัดดินหรือวัสดุถมอื่นเต็มพื้นที่ จึงช่วยลดการทรุดตัวของชั้นดินได้ ในปัจจุบันพบว่าได้มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ในการซ่อมแซมฐานรากของโบสถ์คริสตจักรวัฒนาในปีพ.ศ. 2534 แต่ฐานแบบนี้น่าจะเหมาะสำหรับการใช้เป็นฐานของพื้นอาคารเท่านั้น เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักของโอ่งไห อาจไม่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักโครงสร้างหนักๆ ได้ และการถมโปร่งควรจะมีการยึดยันที่แข็งแรง มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดช่องโพรงภายในเป็นจุดอ่อนของโครงสร้างได้

4.6.2 ฐานรากลึก (Pile Foundation) ฐานรากลึกหรือเสาเข็มจะใช้หลักการถ่ายน้ำหนักผ่านเสาเข็มซึ่งสามารถรับแรงกดได้ แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินในลักษณะกำลังแบกทาน ซึ่งจะถือว่าเป็น End bearing pile หรือโดยอาศัยแรงพยุงผิวรอบพื้นที่ผิวของตัวเสาเข็มที่เรียกว่า Friction pile หรือใช้การถ่ายแรงทั้งสองลักษณะร่วมกัน ซึ่งเสาเข็มแบบ End bearing pile นั้น จะต้องตอกเข็มลงไปให้ลึกถึงระดับชั้นดินแข็ง หรือชั้นหินที่มีกำลังมากพอที่จะสามารถรับน้ำหนักได้ ฐานรากลึกที่พบในอาคารโบราณสถานมีทั้งเข็มไม้และเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งวิธีการทำฐานรากเหล่านี้สันนิษฐานว่าใช้การตอกสำหรับเข็มไม้ และการเจาะสำหรับเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากในอดีตยังไม่มีเครื่องมือสำหรับตอกเข็มขนาดใหญ่

ฐานรากลึก เหมาะสำหรับการก่อสร้างในบริเวณที่ชั้นดินแข็งอยู่ลึกเกินกว่าจะสามารถขุดเพื่อวางฐานแผ่ได้ หรือการทำฐานรากแผ่ไม่ประหยัด แต่อย่างไรก็ตามการทำฐานรากเสาเข็มนั้นจะต้องอาศัยการคำนวณออกแบบโดยอาศัยค่าคุณสมบัติของดินและกำลังของเสาเข็มด้วย การทำฐานรากลึกมักจะมีฐานแผ่ร่วมด้วย โดยการทำฐานแผ่รองรับน้ำหนักจากอาคารก่อนจะส่งผ่านฐาน

รากลึกลงสู่ดินนั้น ช่วยในเรื่องของการทรุดตัวของอาคาร ทำให้อาคารมีการทรุดตัวเท่ากันทั้งอาคาร ไม่ส่งผลต่อโครงสร้างส่วนอื่น

ฐานรากเสาเข็มไม้ และคอนกรีตเสริมเหล็ก ต่างมีข้อดีข้อเสียในการก่อสร้าง อันเกิดจากข้อจำกัดของวัสดุ ดังนี้

ก) เสาเข็มไม้ ฐานรากแบบนี้มีข้อเสียเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้เช่นเดียวกับฐานแพซุง คือการที่ไม้อยู่ในสภาพไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผุพังได้ และบางครั้งไม้ที่สามารถหาได้ ยังยาวไม่เพียงพอที่จะถ่ายน้ำหนักลงไปถึงชั้นดินแข็งได้ นอกจากนี้การตอกเข็มไม้ ยังอาจทำให้หัวเข็มแตกหรือทำให้เข็มไม้แตกหักกลางได้หากการตอกไม่ได้ระดับดิ่ง อย่างไรก็ตาม การใช้เข็มไม้ในอดีตนั้นมีข้อดีที่มีราคาการก่อสร้างถูก และไม้ยังคงเป็นวัสดุที่หาง่ายกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กมากนัก

ข) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก การใช้คอนกรีตเสริมเหล็กทำให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น สามารถก่อสร้างเสาเข็มได้ความลึกมาก เหมาะกับชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีชั้นดินแข็งอยู่ลึก และยังทำให้สามารถป้องกันน้ำใต้ดินขึ้นไปทำลายโครงสร้างอาคารได้ คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างที่รับได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด ทั้งยังสามารถก่อสร้างตามรูปแบบที่ต้องการได้อีกด้วย แต่การใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสมัยนั้น น่าจะเป็นการก่อสร้างที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก อีกทั้งยังต้องใช้วิศวกรจากต่างประเทศอีกด้วย

จากลักษณะทางโครงสร้างของฐานราก สรุปได้ว่าโครงสร้างฐานรากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการรับน้ำหนักจากฐานรากตื้นมาเป็นฐานรากลึก โดยฐานรากตื้นได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ฐานรากแผ่วางบนดินซึ่งเป็นฐานแผ่แบบยืดหยุ่น (Flexible) ซึ่งอาจเกิดปัญหาการทรุดตัวไม่เท่ากันของอาคารทำให้โครงสร้างอาคารเกิดความเสียหาย จึงได้พัฒนามาใช้ฐานรากแบบฐานแพซุง ซึ่งเป็นฐานรากแบบแข็งเกร็ง สามารถกระจายน้ำหนักเท่ากันตลอดพื้นที่อาคาร ทำให้การทรุดตัวมีค่าเท่ากันทั้งอาคาร นอกจากนี้อาคารโบราณสถานไทยมักก่อสร้างฐานอาคารสูง การบดอัดวัสดุทึบหรือก่อวัสดุทึบจึงทำให้น้ำหนักของโครงสร้างฐานเพิ่มขึ้นมาก ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินใต้อาคารมาก ช่างโบราณจึงพยายามลดน้ำหนักของฐานราก โดยการพัฒนาฐานรากแบบถมโปร่งขึ้น ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคที่ช่วยลดน้ำหนักของฐานรากลงได้มาก แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาที่ระบุถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของโอ่งหรือไหในการใช้เป็นโครงสร้างฐานราก เนื่องจากฐานอาคารที่ใช้แบบถมโปร่งนั้น มักเป็นฐานพื้นอาคารเท่านั้น จึงไม่ได้รับน้ำหนักโครงสร้างอื่นมากนัก ฐานรากที่ใช้โอ่งไหถมโปร่ง จึงสามารถอยู่ได้จนถึงปัจจุบัน

ในสมัยรัตนโกสินทร์ พบว่าได้มีการพัฒนาระบบโครงสร้างฐานรากจากฐานรากตื้นมาเป็นฐานรากลึก ซึ่งอาจเกิดจากพื้นที่ที่ก่อสร้างมีชั้นดินแข็งอยู่ในระดับที่ต่างกัน เนื่องจากพื้นที่ตั้ง

ของอาคารโบราณสถานไทยในสมัยรัตนโกสินทร์ คือบริเวณกรุงเทพมหานครเป็นบริเวณที่มีชั้นดินแข็งอยู่ในระดับลึก จึงทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างที่เหมาะสมกับชั้นดินมากขึ้น และอาจเป็นผลจากการพัฒนาของเทคนิคและวัสดุก่อสร้างจากต่างชาติ ทำให้มีทางเลือกในการพัฒนาโครงสร้างมากขึ้นด้วย

4.7 **พัฒนาการของโครงสร้างฐานรากโบราณสถานไทย**

พัฒนาการของการก่อสร้างฐานรากโบราณสถานไทย จะสามารถแบ่งออกเป็น ระบบโครงสร้างฐานราก เทคนิคการปรับปรุงชั้นดิน และเทคนิคการก่อสร้างซึ่งรวมถึงการใช้วัสดุก่อสร้างด้วย

4.7.1 **ระบบฐานราก**

ก) ฐานแผ่ ตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัยได้มีการก่อสร้างฐานรากแบบฐานแผ่เพื่อกระจายน้ำหนักลงสู่ดิน โดยลักษณะฐานแผ่จะมี 2 ลักษณะ คือ ฐานแผ่แบบก่ออิฐทึบตัน และฐานแผ่แบบก่อวัสดุก่อเป็นกรอบ และบดอัดเศษวัสดุ เช่น ดิน เศษอิฐหัก เป็นต้น ทั้งสองแบบไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่มีการก่อสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกได้อย่างชัดเจน แต่จากลักษณะการก่อสร้างแบบก่ออิฐทึบตันควรจะเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงมีการพัฒนาเป็นแบบก่อวัสดุเป็นกรอบต่อมา เพื่อเป็นการประหยัดวัสดุก่อ และเพื่อความรวดเร็วของการก่อสร้างด้วย

จนกระทั่งต่อมาในสมัยอยุธยา ช่วงรัชกาลสมเด็จเจ้าสามพระยา (พ.ศ. 1967 – 1991) ได้มีการพัฒนาระบบฐานรากแผ่แบบก่อเอ็นอิฐรับน้ำหนักขึ้นมา โดยก่ออิฐเป็นกรอบฐานก่อน แล้วก่อแนวเอ็นอิฐภายในกรอบฐาน ผังของเอ็นอิฐเหล่านี้มีหลายรูปแบบ เช่น รูปกากบาท รูปรัศมีกงล้อธรรมจักร รูปขั้นบันได เป็นต้น และในช่องว่างระหว่างแนวเอ็นเหล่านั้น จะถูกถมด้วยวัสดุถมเช่นเดียวกับแบบก่ออิฐเป็นกรอบ ลักษณะทางโครงสร้างของฐานเหล่านี้ ยังคงเป็นฐานแผ่รับน้ำหนัก เพียงเปลี่ยนแปลงวิธีการก่อสร้างเท่านั้น

ข) คลองราก เป็นการทำฐานรากของอาคารส่วนที่รับน้ำหนักมาก เป็นแนวยาว ได้แก่บริเวณผนังรับน้ำหนัก ลักษณะการทำฐานแบบนี้จะขุดเป็นคลอง (ตามแนวที่รับน้ำหนัก) แล้วหาวัสดุที่แข็งแรงกว่าดินเดิมมาบรรจุแทน เช่น ท่อนซุงวางขัดกันเป็นตาราง อิฐก่อเป็นตาราง เป็นต้น ฐานแบบนี้พบว่าถูกใช้ครั้งแรกเมื่อสมัยอยุธยาตอนปลาย ที่พระที่นั่งสรรเพชญปราสาท

ฐานอาคารแบบนี้ยังคงมีลักษณะเป็นฐานรากตื้น เพียงแต่ทำการก่อสร้างฐานเฉพาะส่วนของอาคารที่รับน้ำหนักมากกว่าส่วนอื่นๆ เช่นผนังรับน้ำหนัก ซึ่งวัสดุส่วนล่างจะรับน้ำหนักของวัสดุก่อส่วนบนที่กดทับไว้ และรับน้ำหนักโครงสร้างหลังคาด้วย ชั้นดินใต้ผนังนี้จึงรับ

น้ำหนักมาก จึงเพิ่มความกว้างของฐานเพื่อลดน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของฐานและชั้นดิน ขณะที่ชั้นดินใต้อาคารส่วนอื่นรับน้ำหนักของวัสดุปูพื้นและน้ำหนักจรเท่านั้น จึงไม่ต้องมีการเสริมฐานราก

ค) ฐานแพซุง ฐานชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น (รัชกาลที่ 1) ที่วัดพระศรีรัตนศาสดาราม และวัดพระเชตุพน โดยใช้ท่อนซุงวางพาดเป็นตารางเพื่อรองรับน้ำหนักของอาคาร แพซุงดังกล่าวอาจวางบนชั้นดินหรือฝังในพื้นที่ที่ก่อสร้างโดยขุดดินเดิมออกก่อน

ง) ฐานรากลึก (ไม้) ฐานรากลึกถูกใช้ในการก่อสร้างอาคารโบราณสถานครั้งแรกในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น (รัชกาลที่ 1) โดยใช้ไม้เป็นเสาเข็มตอกที่พระราชวังบวรสถานมงคล วิธีการจะเริ่มจากขุดดินลงไปก่อน แล้วจึงตอกเข็มไม้ลงไปจนถึงระดับที่คาดว่าดินจะสามารถรับน้ำหนักได้ จากนั้นปูอิฐหรือวางซุงเพื่อทำฐานแผ่บนหัวเข็ม แล้วจึงก่ออาคารขึ้นไป อาคารบางแห่งขุดเป็นคลองราก แล้วตอกเข็มเพื่อรับฐานคลองราก ในสมัยรัชกาลที่ 5 มีหลักฐานว่าการใช้เข็มไม้เป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น สังเกตจากตำราก่อสร้างที่แต่งขึ้นในสมัยนั้น ระบุว่าการก่อสร้างฐานรากอาคาร มี 3 แบบ คือ ฐานรากอย่างดี อย่างกลาง และอย่างเลว ซึ่งทั้งสามแบบ ต่างก็ใช้เข็มไม้ทั้งสิ้น

จ) ฐานแผ่ถมโปร่ง (โอ่ง ตุ่มดินเผา) ฐานชนิดนี้เกิดขึ้นหลังฐานรากลึกแบบเสาเข็มไม้ โดยเกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 4 ที่วัดราชประดิษฐ์ และพระเจดีย์ภูเขาทองวัดสระเกศ ซึ่งได้พยายามก่อสร้างฐานรากด้วยวิธีอื่นมาหลายวิธี แต่ก็พังทลายทุกครั้ง จึงนำวิธีการถมโปร่งมาใช้ องค์เจดีย์จึงตั้งอยู่ได้ โดยฐานแบบนี้ช่วยลดน้ำหนักที่กระทำต่อชั้นดินด้านล่างที่รับน้ำหนัก โดยขุดดินลงไปให้ถึงชั้นดินที่รับน้ำหนัก รองพื้นด้วยวัสดุถม เช่น อิฐ ศิลาแลง ดินลูกรัง หรือใช้ท่อนซุงวางเป็นตาราง แล้วจึงนำโอ่ง ไห ตุ่มดินเผา มาวางคว่ำ เรียงซ้อนกันและถมภายในช่องว่างด้วยดินอัด

ฉ) ฐานรากลึก (คอนกรีตเสริมเหล็ก) ในสมัยรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 5 ได้มีการนำเข้าวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กเข้ามาใช้ในประเทศไทย ซึ่งได้นำมาใช้ในการทำฐานรากด้วย โดยเฉพาะในการก่อสร้างพระที่นั่งอนันตสมาคม ซึ่งใช้เทคโนโลยีที่ถือว่าใหม่มากในสมัยนั้น โดยการใช้เข็มเจาะคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น Pure friction pile

ในสมัยต่อมาฐานรากได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยวัสดุที่สำคัญคือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักซึ่งมากกว่าเข็มไม้ และด้านความสะดวกในการก่อสร้างด้วย โดยเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงแบบ Pretension ซึ่งได้มีการผลิตใช้ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2498 ซึ่งถือเป็นอีกความก้าวหน้าที่สำคัญของการก่อสร้างฐานราก ทั้งนี้เทคนิคเก่าๆ บางครั้งยังถูกนำมาใช้ในกรณีที่เหมาะสม แต่บางเทคนิคก็กลายเป็นเทคนิคโบราณที่ล้าสมัยและถูกลืมไปแล้ว

สรุปพัฒนาการระบบโครงสร้างฐานรากแสดงดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปพัฒนาการรูปแบบฐานราก

ยุคสมัย	รูปแบบฐานรากที่ถูกพัฒนาขึ้น
ก่อนสุโขทัย	ฐานแผ่ - แบบก่อทึบตัน - แบบก่อวัสดุเป็นกรอบ
อยุธยา (สมเด็จเจ้าสามพระยา 1967 - 1991) อยุธยาตอนปลาย	ฐานแผ่ - ก่อเอ็นอิฐรับน้ำหนัก คลองราก
ร. 1	ฐานแพซุง ฐานรากลึก(เข็มไม้)
ร. 4	ฐานแผ่ ถมโปร่ง (โอ่ง ตุ่ม ดินเผา)
ร. 5	ฐานรากลึก (คอนกรีตเสริมเหล็ก)
พ.ศ. 2498	เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง Pretension

4.7.2 **เทคนิคการปรับปรุงชั้นดิน**

ก) ไม่มีการเตรียมดิน นอกจากตกแต่งผิวดินเท่านั้น เทคนิคแบบนี้ สันนิษฐานว่าเป็นเทคนิคที่ใช้ทั่วไปในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ เป็นการใช้ดินธรรมชาติในการรองรับอาคาร การที่ช่างโบราณไม่ทำการปรับปรุงคุณภาพดินเลย อาจเนื่องจากเห็นว่าชั้นดินมีความแข็งแรง คาดว่าจะสามารถรับน้ำหนักอาคารได้ เทคนิคแบบนี้พบมากในสมัยสุโขทัย เนื่องจากเมืองในอาณาจักรสุโขทัย ส่วนใหญ่มีชั้นดินที่ค่อนข้างแข็งแรง

ข) ปรับระดับดินและบดอัดแน่นโดยใช้วัสดุเดิม พบในฐานอาคารตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัยแล้ว การบดอัดไม่สามารถระบุได้ว่าใช้วิธีการใด แต่สันนิษฐานจากวัสดุที่สามารถหาได้ในขณะนั้น วิธีที่เป็นไปได้ ได้แก่ การใช้ช้างเหยียบ ใช้ท่อนซุงกระทุ้ง ใช้คนเหยียบ เป็นต้น

ค) ปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้วัสดุอื่น โดยใช้วัสดุอื่นบดอัดเป็นชั้น เป็นเทคนิคที่พบตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย พบว่ามีการใช้วัสดุต่างๆ เข้ามาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน ได้แก่ ก้อนหินปูน ทรายละเอียดจากแม่น้ำ กรวดภูเขา ดินลูกรัง เป็นต้น โดยนำมาแทนที่วัสดุดินเดิม เนื่องจากวัสดุใหม่สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าวัสดุเดิม โดยการบดอัดในระยะแรกพบว่าใช้วัสดุ 1 – 2 ชนิด ต่อมาในสมัยอยุธยามีการใช้วัสดุมากกว่า 2 ชนิดในการบดอัด และแต่ละชั้นอาจมีวัสดุมากกว่า 1 ชนิดผสมกันก็ได้

ง) ปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้วัสดุหลายชนิดผสมกัน และบดอัดไม่แยกชั้นวัสดุ คล้ายกับแบบ ค) แต่เป็นการบดอัดวัสดุหลายชนิดรวมกันในแต่ละชั้น และทุกชั้นใช้วัสดุเหมือนกัน พบในสมัยอยุธยา

การปรับปรุงคุณภาพชั้นดินในแต่ละยุคสมัยสรุปดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 สรุปพัฒนาการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน

ยุคสมัย	บดอัดดินเดิม	บดอัดวัสดุอื่น
ก่อนสุโขทัย	X	X ลูกรัง ทราย และกรวด
สุโขทัย	X	-
ล้านนา	-	X ดินเหนียว กรวดแม่น้ำ และหินธรรมชาติ
อยุธยา	X	X ดินเหนียว ทราย และอิฐหัก
รัตโกสินทร์	X	X

หมายเหตุ: X หมายถึง ปรากฏหลักฐานรูปแบบโครงสร้างดังกล่าวในสมัยนั้น

4.7.3 เทคนิคการก่อสร้างฐานราก

ก) เทคนิคการก่อ การก่อวัสดุก่อในโครงสร้างฐานราก พบว่าบ่อยครั้งที่ช่างโบราณให้ความสำคัญในการก่อส่วนฐานรากน้อยกว่าส่วนอื่นของอาคาร ทั้งเรื่องระเบียบการก่อ ความสวยงาม การเลือกใช้วัสดุก่อ การเชื่อมประสาน โดยบางแห่งไม่ใช้วัสดุเชื่อมประสานในการก่อฐานราก แต่โครงสร้างส่วนอื่น สอดิน หรือปูน ส่วนการใช้วัสดุพบว่าบางแห่งมีการใช้อิฐที่ไม่สมบูรณ์ในการก่อฐานราก หรือใช้อิฐขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ระเบียบการก่ออิฐไม่คงที่ด้วยขนาดอิฐในแต่ละสมัย แสดงดังตาราง 4.7

ระเบียบการก่ออิฐโดยส่วนใหญ่ไม่เป็นระบบที่ชัดเจนนัก แต่มีบางแห่งที่พิจารณาการเรียงอิฐแล้วมีความคล้ายคลึงกับระบบสากล เช่น Flemish bond ซึ่งพบในอาคารสมัยก่อนสุโขทัย และล้านนา English Bond, Common bond, Header Bond พบในสมัยสุโขทัย ส่วนสมัยอยุธยาพบทุกระบบดังกล่าว และยังพบการก่อเรียงอิฐแบบ Stretcher Bond ที่มีระยะเหลื่อมของอิฐแถวบนและล่าง ¼ ก้อน

ตารางที่ 4.7 สรุปพัฒนาการของขนาดอิฐที่ใช้ในการก่อสร้าง

ยุคสมัย	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
ก่อนสุโขทัย	15-18	30-38	8-10
สุโขทัย	14-20	19-32	3-7
ล้านนา	12-21	26-35	3-9
อยุธยา	14-18	28-34	4-7
รัตนโกสินทร์	16.25	31.25	6.25

อย่างไรก็ตาม ระเบียบการก่ออิฐที่พบดังกล่าว พบว่าไม่ได้รักษาระเบียบอย่างต่อเนื่องนัก โดยเฉพาะบริเวณมุมอาคารหรือแนวต่อเชื่อม ซึ่งมักพบการพังทลายเนื่องจากการก่อวัสดุที่ไม่สามารถเชื่อมต่อแนวก่อได้แข็งแรงพอ

ข) เทคนิคอื่น ๆ ในสมัยรัตนโกสินทร์ ที่ป้อมพระสุเมรุพบว่ามีการทำกำแพงรัดรอบดินใต้ฐานราก เพื่อป้องกันการเลื่อนตัวของดิน โดยการบดอัดอิฐหักและก่อกำแพง 2 ด้าน เว้นช่องกลางไว้ถมเศษอิฐบดอัด และยังใช้เสาเข็มไม้ปักเป็นเข็มแผ่ทั้งใต้ผนังป้อมและนอกป้อมห่างออกไป 3 เมตร เป็นกำแพงรัดรอบดินใต้ฐานรากและรองรับแนวผนังป้อม

จากพัฒนาการของการก่อสร้างงานฐานราก พบว่านอกจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างฐานรากแล้ว ยังมีพัฒนาการของการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน และเทคนิคการก่อสร้างฐานรากด้วย พัฒนาการเหล่านี้เกิดจากการพัฒนาองค์ประกอบหลายด้านประกอบกัน ทั้งการพัฒนาความรู้ในเชิงโครงสร้าง การพัฒนาวัสดุและอุปกรณ์การก่อสร้าง รวมไปถึงความสามารถในการประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นในการแก้ปัญหา จนเกิดเป็นรูปแบบโครงสร้างใหม่ขึ้นในแต่ละยุคสมัย ซึ่งพัฒนาการเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงระดับความรู้ความเข้าใจในหลักการทางวิศวกรรมของโครงสร้างฐานรากของช่างสมัยโบราณ และยังแสดงให้เห็นถึงระดับเทคโนโลยีงานโครงสร้างฐานรากของประเทศไทยในแต่ละช่วงเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

บทที่ 5

พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย

โครงสร้างส่วนตัวอาคาร หมายถึงโครงสร้างที่รับน้ำหนักโครงสร้างส่วนหลังคา และถ่ายลงสู่โครงสร้างฐานราก โครงสร้างส่วนนี้ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของอาคารเช่น ผนัง เสา และช่องเปิดของอาคาร เป็นต้น ในการศึกษาพัฒนาการของโครงสร้างตัวอาคารนี้ จะพิจารณารูปแบบโครงสร้างตัวอาคาร เทคนิคการก่อสร้างองค์ประกอบอาคาร และการใช้วัสดุในการก่อสร้างองค์ประกอบของตัวอาคารแต่ละยุคสมัย ซึ่งได้จากการนำข้อมูลมาจัดเรียงและวิเคราะห์ในแต่ละประเด็น ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำเสนอในบทนี้ โดยนำเสนอตามลำดับเวลาของการก่อสร้าง พร้อมกับการอ้างอิงถึงข้อมูลโบราณสถานที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงนำเสนอพัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างตัวอาคาร

5.1 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างหลักของอาคารโบราณสถานในช่วงสมัยก่อนสุโขทัย โดยจะแยกตามประเภทของอาคาร คืออาคารประเภทที่ไม่ใช้ประโยชน์พื้นที่ภายในอาคาร เช่น เจดีย์ ป้อม ประตูเมือง และอาคารประเภทใช้พื้นที่ภายใน เช่น โบสถ์ วิหาร ศาลา ปราสาท เป็นต้น และศึกษาถึงโครงสร้างองค์ประกอบส่วนอื่นของอาคาร และเทคนิคการก่อสร้างส่วนประกอบดังกล่าวด้วย

5.1.1 รูปแบบโครงสร้างหลัก

ก) อาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง สมัยก่อนสุโขทัยมีอาคารประเภทสถูปเจดีย์อยู่มาก และลักษณะโครงสร้างของตัวอาคารประเภทนี้จะเป็นแบบผนังรับน้ำหนักทั้งสิ้น โดยในสมัยนี้ จะมีการก่อสร้างเจดีย์ 2 แบบ คือ

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อวัสดุทึบตัน* ได้แก่เจดีย์ทุ่งเศรษฐี ซึ่งเป็นเจดีย์ขนาดใหญ่ ก่ออิฐทึบตัน สอด้วยดิน และฉาบปูน [32] ผังสี่เหลี่ยมจัตุรัส 25x25 เมตร สูง 5 เมตร เป็นเจดีย์ที่ก่อด้วยวัสดุก่อจากฐานอาคารขึ้นไปแบบทึบตัน วัสดุก่อด้านล่างจะรับน้ำหนักของวัสดุก่อชั้นบนอย่างต่อเนื่อง การก่อแบบนี้จะใช้วัสดุเป็นจำนวนมาก

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อผนังโปร่ง* องค์เจดีย์ก่อด้วยวัสดุก่อจากฐานอาคารขึ้นไปรับส่วนยอด โดยใช้การถ่ายน้ำหนักผ่านวัสดุก่อลงสู่ฐานราก โดยก่อเป็นลักษณะผนังหนาซึ่ง

ความหนาของผนังนี้ ขึ้นกับความกว้างของช่องเปิดภายในและลักษณะของเครื่องยอด หรือเครื่องบนหลังคาอาคารด้วย มีผังเป็นรูปวงกลม เช่นที่เจดีย์วัดพระเมรุ [24] หรือผังสี่เหลี่ยม เช่น พระธาตุพนม [91] ปรางค์ประธานของโบราณสถานเมืองต่ำ ที่มีผนังหนา 40 -120 เซนติเมตร [36]

ข) อาคารประเภทวิหาร โบสถ์ ศาลา ปราสาท กลุ่มอาคารประเภทนี้ที่ยังคงมีหลงเหลือให้เห็นอยู่ส่วนใหญ่เป็นประเภทปราสาท ซึ่งมีโครงสร้างรูปแบบผนังรับน้ำหนัก และระบบผสม ดังมีรายละเอียดดังนี้

- *ผนังรับน้ำหนัก* พบที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ ผนังหนา 3 แผ่นอิฐ คือประมาณ 47- 81 เซนติเมตร [25] และที่เมืองโบราณศรีมโหสถ พบว่ามีผนังหนาอย่างน้อย 2 แผ่นอิฐ คือประมาณ 90 เซนติเมตรขึ้นไป [30] โดยมีทั้งผนังที่ก่อด้วยอิฐ และศิลาแลง โดยใช้ผนังที่ก่อด้วยวัสดุก่อให้มีความหนามากทำหน้าที่รับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนยอด หรือหลังคา เพื่อส่งน้ำหนักถ่ายไปยังฐานราก

- *ระบบผสม* หมายถึงระบบที่ใช้ทั้งระบบผนังรับน้ำหนักและระบบเสา-คานร่วมกันในการรับน้ำหนักหลังคา ในสมัยนี้พบรูปแบบโครงสร้างระบบผสมที่โบราณสถานหมายเลข 14 และ 19 ในเมืองโบราณศรีมโหสถ [30] โดยพบเสาก่อด้วยศิลาแลง 2 แถวๆ ละ 5 ต้น ระยะห่างต้นละ 3.5 เมตร ขนาดเสากว้าง 80 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบหลักฐานการใช้เสาไม้ เช่นที่โบราณสถานหมายเลข 25 ซึ่งมีรอยบากศิลาแลงเป็นรูปวงกลม ซึ่งน่าจะมีไว้สำหรับใส่เสาไม้ ซึ่งหลักฐานลักษณะนี้ยังพบที่โบราณสถานหมายเลข 86 และ 23 อีกด้วย

5.1.2 โครงสร้างช่องเปิดของอาคาร ในปราสาทหินแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เช่น ปราสาทเมืองต่ำ [35] และปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ [25] พบการก่อสร้างช่องเปิดโดยใช้ระบบ *เสา-คานช่วงสั้น (Post-Lintel)* เป็นการก่อสร้างช่องเปิดของอาคารโดยใช้องค์ประกอบที่เรียกว่า คานทับหลัง และเสาเอ็น ประกอบกันเป็นกรอบประตูหรือกรอบหน้าต่าง โดยวัสดุที่ใช้เป็นคาน อาจเป็นแท่งหินทราย [26] หรือไม้ [33] ส่วนวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเสาได้แก่ แท่งหินทราย ศิลาแลงก่อ หรืออาจเป็นอิฐก่อเป็นผนังธรรมดา และใช้ไม้วางพาด ตัวอย่างกรอบประตูหินทรายแสดงดังรูป 5.1

5.1.3 เทคนิคการก่อสร้างตัวอาคาร

ก) การก่อเรียงอิฐ การก่ออิฐในสมัยนี้ยังไม่เป็นระบบมากนัก พบการก่อเรียงแบบสั้น 2 ก้อนสลับยาว 1 ก้อน หรือสั้น 1 ก้อน สลับยาว 2 ก้อนที่เมืองโบราณศรีมโหสถ [30] และแบบระบบ English Bond ที่วัดมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี [27] แต่ไม่ได้รักษาระเบียบตลอดการก่อ

เรียง เพียงแต่บางช่วงเท่านั้นที่มีลักษณะการก่อเรียงแบบนี้ การก่อเรียงอิฐในสมัยนี้ มีการฝนอิฐทุกด้านก่อนการก่อเรียงอิฐจนผิวสัมผัสเรียบมาก เมื่อวางเรียงจึงดูแนบสนิมแทบไม่เห็นรอยต่อ ช่างสมัยนี้มักใช้ยางไม้เป็นวัสดุประสาน หรือที่เรียกว่าสอดิน และสอค่อนข้างบาง

รูปที่ 5.1 ประตูปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญใช้หินทรายในการก่อสร้าง [25]

การก่อเรียงอิฐที่มุมผนังชนกันเป็น 90 องศาที่โบราณสถานเมืองต่ำ [35] พบว่าใช้วิธีการก่ออิฐธรรมดาแล้วเซาะให้เป็นฉากทั้งมุมที่หักเข้าและหักออก ซึ่งเทคนิคแบบนี้ไม่เป็นผลดีต่อโครงสร้าง เพราะการเซาะอิฐอาจจะทำให้อิฐที่ก่อไปแล้วเปราะ แตก หรือมีกำลังรับน้ำหนักลดลงได้

ข) การก่อเรียงศิลาแลงและหินทราย ในการก่อเรียงศิลาแลงและหินทราย เช่น ที่ปราสาทเมืองสิงห์ [33] ปราสาทเมืองต่ำ [35] และอีกหลายแห่ง มักจะไม่มีการสอด้วยดินหรือปูน โดยศิลาแลงแต่ละก้อนจะถูกสกัดเป็นร่องรูปตัวที (T) ซึ่งเมื่อนำมาต่อกับศิลาแลงอีกก้อน ร่องนี้ก็จะกลายเป็นรูปตัวไอ แล้วจึงใช้เหล็กรูปตัวไอวางไปตามร่องนั้นเพื่อช่วยยึดระหว่างก้อนศิลาแลง ดังรูป 5.2 นอกจากนี้ ในการใช้เหล็กรูปตัวไปเชื่อมศิลาแลงนั้นยังใช้ตะกั่วหลอมละลายแล้วเททับเหล็กที่วางอยู่ในร่องศิลาแลง เพื่อเสริมความแข็งแรงอีกชั้น การที่สันนิษฐานเช่นนี้เนื่องจากศิลาแลงที่พบว่ามีร่องและเหล็กรูปตัวไอนั้น มีตะกั่วติดแน่นอยู่ และที่ตะกั่วก็มีฟองอากาศปรากฏอยู่ด้วย [33] ซึ่งเทคนิคแบบนี้ พบว่าเป็นเทคนิคของช่างลพบุรีที่อาจได้รับอิทธิพลมาจากขอมในสมัยนั้น นอกจากเหล็กรูปตัวไอแล้ว ที่ปราสาทเมืองต่ำพบว่าใช้เหล็กในการเชื่อมระหว่างศิลาแลงหรือระหว่างหินทราย โดยใช้เหล็กรูปปลิง ลักษณะดังรูป 5.3

ค) การเคลื่อนย้ายศิลาแลงและหินทราย ก้อนศิลาแลงและหินทรายที่ใช้ในการก่อสร้างนี้ มักมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถยกด้วยกำลังของคนเพียงคนเดียวได้ ดังนั้นในการเคลื่อนย้ายหินและศิลาแลงไปวางในจุดที่ก่อสร้าง และยกขึ้นก่อเรียงนั้นจึงต้องมีเทคนิคการทำงาน

ซึ่งจากหลักฐานที่พบในก้อนศิลาแลงจากโบราณสถานหลายแห่ง เช่น ปราสาทเมืองต่ำ [34] ปราสาทเมืองสิงห์ [33] พบว่าเกือบทุกก้อนมีรอยเจาะเป็นรูที่ปลาย

รูปที่ 5.2 ร่องรอยการสกัดหินเป็นร่องรูปตัว T และการใช้เหล็กรูปตัว I ในการก่อศิลาแลง [26]

รูปที่ 5.3 การใช้เหล็กรูปปลิงเชื่อมศิลาแลง [35]

รูเจาะเหล่านี้ อาจมีไว้เพื่อใช้ไม้เป็นลิ่มตอกเข้าไปแล้วใช้เชือกผูกคล้องลิ่มทั้งสองข้างยกขึ้น หรืออาจจะใช้เหล็กที่มีลักษณะเป็นคีมจับ โดยใช้ส่วนปลายจับยึดตรงรูเจาะไว้ รูที่เจาะบนก้อนศิลานั้นมักจะเจาะในแนวต่ำกว่าแกนกลางของหินเพื่อสะดวกในการขยับ หรือพลิกเพื่อทำการกรอขัดผิวด้านข้างก่อนนำไปวางเรียงซ้อนกันให้ได้แนบสนิท จากนั้นหากขนาดหินที่วางเรียงซ้อนกันมีขนาดไม่เหมาะสม ทำให้การเรียงหินไม่ได้ระดับ อาจจะมีการตัดหินออกบางส่วนให้ได้ระดับ จึงทำให้ส่วนปลายด้านที่เจาะรูถูกตัดออกไปบ้าง บางก้อนที่เจาะรูไว้ลึกอาจมีร่องรอยเหลือให้เห็นอยู่ ลักษณะรูเจาะบนก้อนศิลาแลงแสดงดังรูป 5.4

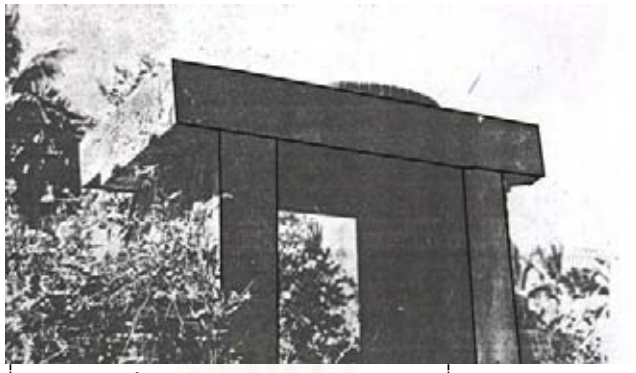
รูปที่ 5.4 รูเจาะบนศิลาแลง เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายหิน

นอกจากนี้ ในส่วนของการตัดหินจากแหล่งหินและเคลื่อนย้ายจากแหล่งวัสดุมาสู่ที่ทำการก่อสร้างนั้น ได้มีผู้เสนอว่าการตัดหินจากธรรมชาตินั้นช่างน่าจะกำหนดแนวการตัดออกเป็นโครงตาข่าย แล้วสกัดให้ได้ความลึกที่ต้องการ ตอกลิ่มไม้ลงไปในร่องแยกของหิน แล้วเทน้ำลงไปเพื่อให้ไม้ขยายตัว หินก็จะแยกตัวออกจากกัน [21]

ส่วนการขนย้ายจากแห่งหินมายังสถานที่ก่อสร้าง สันนิษฐานว่าจะตัดแต่ง สกัดให้เป็นก้อนตามขนาดแล้วทำการงัดให้หลุดแยกออกจากกัน กลิ้งตกไปตามความลาดชัน แล้วใช้วิธีการล่องแพในหน้าน้ำหลาก จากนั้นนำขึ้นบกโดยใช้แรงงานคน สัตว์ ชักลากขึ้นสู่บริเวณที่ก่อสร้าง ใช้เสาไม้กลมหนุนเป็นล้อ

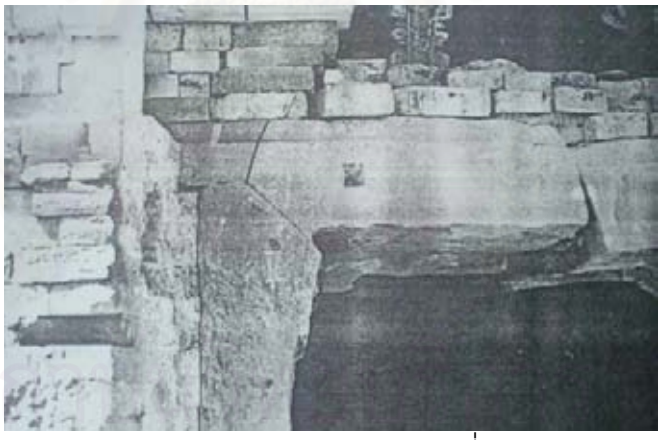
ง) การเข้ากรอบประตู ในการทำช่องเปิดที่ใช้ระบบเสาคานช่วงสั้นที่ใช้หินทรายเป็นวัสดุก่อสร้างหลัก มีเทคนิควิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันในแต่ละแห่ง ซึ่งสามารถจัดรูปแบบได้ 3 แบบ [26] คือ

- *<u>แบบแผ่นหิน</u>* พบที่กรอบประตูของปราสาทภูมิโพน ซึ่งใช้แผ่นหินทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยแผ่นตั้ง 2 แผ่นเป็นกรอบและรับน้ำหนักของแผ่นนอนที่วางอยู่บนแผ่นตั้งและรับน้ำหนักของวัสดุก่อหรือองค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่อยู่บนทับหลังด้วย ดังรูป 5.5 รูปแบบนี้พื้นที่รับแรงกด (Bearing area) จะเท่ากับความหนาคูนกับความกว้างของหินแผ่นตั้ง โดยการเข้ากรอบแบบนี้ บางแห่งมีการเจาะรูสำหรับใส่เดือยหัวท้ายของแผ่นหินบนข้างละ 1-2 รู เพื่อรับเดือยจากกรอบแผ่นตั้ง



รูปที่ 5.5 การเข้ากรอบประตูแบบแผ่นหินที่ปราสาทภูมิโพน[26]

- *แบบรอยต่อ 3 แนว* รูปแบบนี้พบเพียงแห่งเดียว ที่ปราสาทยายเหงา [26] ดังรูป 5.6 เป็นการเข้ากรอบโดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ คานทับหลัง เสาเอ็น และคานที่แทรกเข้าไปในผนังอิฐก่อ โดยชิ้นส่วนทั้งสามนี้จะมาต่อกันเป็นแนว 3 แนว แต่การวางคานทับหลังรูปแบบนี้ทำให้พื้นที่รับแรงกดระหว่างคานทับหลังและเสาเอ็นน้อยกว่าแบบแรก ถ้าขนาดขององค์อาคารเท่ากัน แต่น้ำหนักของอิฐก่อส่วนบนส่วนริมจะถูกถ่ายไปสู่คานที่แทรกเข้าไปในผนังอิฐก่อและถ่ายน้ำหนักสู่เสาเอ็นต่อไป ทำให้น้ำหนักที่กดลงบนคานทับหลังลดลงได้บ้าง

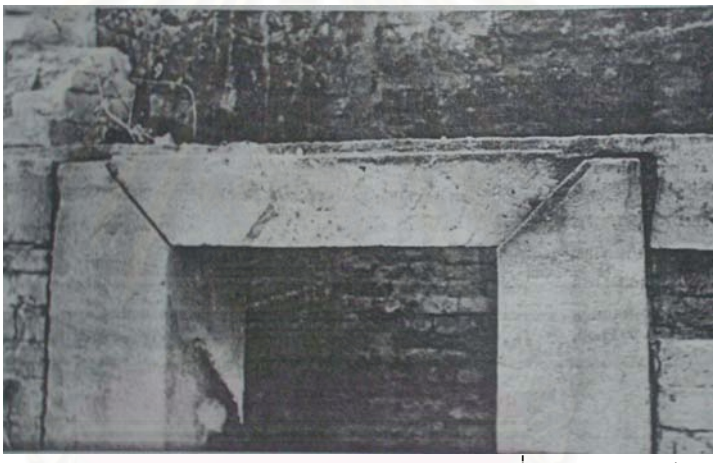


รูปที่ 5.6 การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 3 แนวที่ปราสาทยายเหงา [26]

- *แบบรอยต่อ 45 องศา* แผ่นอิฐนอนที่ใช้เป็นคานทับหลังจะถูกบากปลายเป็นมุม 45 องศา เช่นที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ ซึ่งหินแผ่นตั้งถูกบากปลายเป็น 45 องศา แล้วสกัดร่องกลางให้เดือยกรอบตัวบนมาวางทับลงร่องได้สนิท แต่ก็ยื่นปลายเดือยล้ำเข้ามาในส่วนที่เป็นผนังอิฐ ดังรูป 5.7 นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นระนาบของกรอบประตูด้านติดผนังอิฐ จะสกัดเป็นร่องให้ผนังอิฐจับได้ การเข้ากรอบประตูแบบนี้พบในโบราณสถานหลายแห่ง เช่นที่ปราสาทบ้าน

ไพล สุรินทร์ [26] ปราสาทเมืองต่ำ [25] ก็ใช้กรอบประตูลักษณะ 45 องศาเช่นกัน แต่อาจจะแตกต่างในรายละเอียดดังรูป 5.8 และ 5.9

รูปที่ 5.7 การเข้าเดือยกรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ [25]

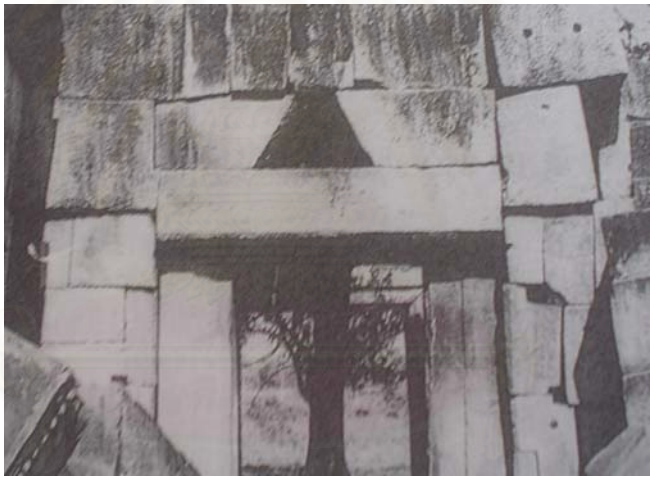


รูปที่ 5.8 การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทบ้านไพล [26]

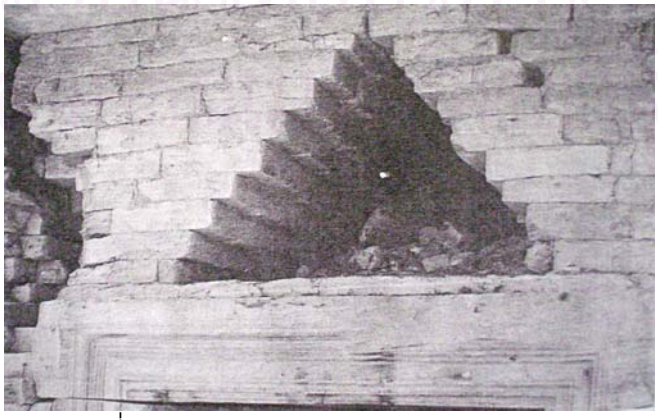
รูปที่ 5.9 การเข้ากรอบประตูแบบรอยต่อ 45 องศาที่ปราสาทเมืองต่ำ [25]

จ) การก่อผนังบนคานทับหลัง เนื่องจากการทำช่องเปิดที่ใช้ระบบเสาคานช่วงสั้นนั้น น้ำหนักของเครื่องบน รวมทั้งน้ำหนักของผนังที่อยู่เหนือคานทับหลังหรือกรอบประตูแผ่นนอนจะถ่ายลงสู่คานทับหลังหรือกรอบประตูแผ่นนอนโดยตรง ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างคานทับหลังในสมัยนั้น มีเพียงแท่งหินหรือไม้ ซึ่งช่างโบราณไม่มั่นใจว่าจะสามารถรับน้ำหนักของผนังส่วนบน จึงได้คิดค้นวิธีการที่จะถ่ายน้ำหนักของเครื่องบนผ่านลงสู่ผนังและถ่ายน้ำหนักไปยังเสาหรือกรอบประตูแผ่นตั้ง แทนที่จะถ่ายลงสู่คานทับหลัง ด้วยการเว้นช่องการก่อหินเป็นรูปสามเหลี่ยมเหนือคานทับหลัง ดังรูป 5.10

ในอาคารที่ก่อด้วยอิฐ ช่างจะแก้ปัญหาโดยการก่ออิฐบนคานทับหลังโดยเว้นเป็นช่องรูปสามเหลี่ยมเช่นกัน ด้วยการก่ออิฐเหลื่อม ดังรูป 5.11 ซึ่งทำให้คานทับหลังไม่ต้องรับน้ำหนักวัสดุก่ออีกต่อไป และผนังด้านบนก็สามารถทรงตัวได้อย่างมั่นคง เพราะการก่อเหลื่อมนั้น ถ่ายน้ำหนักลงสู่วัสดุก่อด้านล่างได้อย่างดี



รูปที่ 5.10 การก่อผนังศิลาบนคานทับหลังและถ่ายแรงโครงสร้างส่วนบนลงสู่เสา [96]



รูปที่ 5.11 การก่อผนังอิฐบนคานทับหลัง [20]

5.1.4 **วัสดุก่อสร้างตัวอาคาร**

ก) อิฐ จากการรวบรวมข้อมูล พบว่าอิฐสมัยก่อนกรุงสุโขทัยมักมีขนาดใหญ่มาก ขนาดของอิฐจะเป็นสัดส่วนกัน คือ ความยาวเป็นสองเท่าของความกว้าง และความกว้างเป็นสองเท่าของความหนาโดยประมาณ เนื้ออิฐมีการผสมแกลบมาก ลักษณะโดยรวมเหมือนกับอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานราก

ข) ศิลาแลง พบว่าถูกใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างโบราณสถานบางแห่ง เช่น ปราสาทเมืองสิงห์ [33] และบางแห่งใช้ก่อสร้างเป็นส่วนโครงสร้างของอาคาร ร่วมกับอิฐก่อเช่น ปรางค์วัดมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี [27] ซึ่งศิลาแลงที่ใช้มักถูกนำมาตัดเป็นก้อนปริมาตรใหญ่ ขนาดไม่แน่นอน ใช้ในการก่อผนังหรือก่อโครงสร้างทึบ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำศิลาแลงมาก่อเป็นเสารับน้ำหนักโครงสร้างส่วนบนด้วย โดยตัดศิลาแลงเป็นท่อนเรียงซ้อนกันขึ้นไป จะก่อโดยใช้น้ำหนักตัวมันเองกดทับวัสดุส่วนล่างไว้

ค) หินทราย หินทรายที่พบมีหลายสี ได้แก่ หินทรายขาวพบที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ [25] และหินทรายสีชมพูที่ปราสาทเมืองต่ำ [21] หินทรายนั้นถือว่าเป็นวัสดุชั้นสูง [10] ซึ่งต้องใช้อย่างประหยัดและคุ้มค่า เพราะการขนส่งยากลำบาก จึงจะใช้หินทรายเฉพาะในส่วนที่สำคัญที่ต้องรับน้ำหนัก โดยพบว่าหินทรายถูกใช้มากในองค์ประกอบหน้าต่าง ประตู โดยเฉพาะกรอบประตู และกรอบหน้าต่าง โดยที่ขนาดของหินทรายนั้น ขึ้นอยู่กับการใช้สอย หากนำมาใช้เป็นกรอบประตูมักมีสัดส่วนค่อนข้างแบน เช่นที่ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ พบหินทรายขนาด กว้าง 0.67 เมตร หนา 0.3 เมตร สูง 1.4 เมตร เป็นกรอบประตู

ขนาดและรูปร่างของหินทรายและศิลาแลงนั้น มักมีขนาดใหญ่เนื่องจากในระบบผนังรับน้ำหนัก ช่างต้องการความมั่นคง จึงใช้ก้อนหินก้อนใหญ่เพื่อให้มีน้ำหนักมาก จะได้กดทับวัสดุก่อส่วนล่างให้มั่นคงอยู่ได้ ดังนั้นการที่โบราณสถานบางแห่งใช้หินทรายหรือศิลาแลงก้อนเล็กมาต่อเติมในส่วนต่าง จะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการขาดแคลนหิน หรือแสดงว่าแหล่งสกัดหินนั้นอยู่ไกลจากสถานที่ก่อสร้าง [96]

ง) วัสดุเชื่อมประสาน วัสดุสอในสมัยนี้ใช้ดินสอ มีลักษณะเหมือนกับวัสดุสอในงานฐานรากสมัยเดียวกัน โดยทำมาจากเปลือกยางบงซึ่งเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่งมีเปลือกหนา นำเปลือกมาตากแห้งบดละเอียด เมื่อถูกน้ำจะเป็นยางเหนียวใช้เชื่อมอิฐได้ นอกจากนั้นอาจใช้น้ำอ้อยเคี่ยวให้เหนียวข้น อาจผสมดินเหนียวหรือปูนขาวเข้าไปด้วย [34] นายปิแอร์ ดูปองต์ นักโบราณคดีได้กล่าวถึงวัสดุสอว่าใช้วัสดุชนิดหนึ่งคล้ายหินอ่อน หรือที่เรียกว่าหินไข่ปลา บดค่อนข้างละเอียดผสมกับทรายและยางไม้ชนิดหนึ่งซึ่งเหนียวคล้ายกาว [20] ซึ่งจากข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวัสดุเชื่อมประสานของผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือเป็นวัสดุจากธรรมชาติ

จำพวกยางไม้ เปลือกไม้ น้ำตาลโตนด [10] ผสมกับ ดินหรือทราย และปูนขาว ที่อาจได้จากการบดหินไข่ปลา

จ) เหล็กเชื่อมศิลาแลง พบการใช้เหล็กรูปตัวไอ (I) เป็นตัวช่วยยึดระหว่างก้อนศิลาแลง นอกจากเหล็กรูปตัวไอแล้ว ที่ปราสาทเมืองต่ำพบว่าใช้เหล็กรูปปลิงในการเชื่อมระหว่างศิลาแลงหรือระหว่างหินทรายด้วย

ฉ) ไม้ หลักฐานการใช้ไม้ในการก่อสร้างนี้พบที่ปราสาทเมืองสิงห์ [33] ซึ่งพบทั้งไม้ที่สอดอยู่เหนือประตู และร่องรอยการสกัดศิลาแลงเป็นรูเพื่อสอดไม้เป็นคานที่ผนังของปราสาทเมืองต่ำด้วย [35] ในส่วนของโครงสร้างตัวอาคารไม้ถูกใช้ในการก่อสร้างช่องเปิดที่เป็นโครงสร้างแบบ Post and lintel หรือเสาคานช่วงสั้น โดยใช้เป็นคานพาดระหว่างเสาหรือผนังที่รองรับเพื่อรับน้ำหนักของผนังส่วนที่อยู่เหนือช่องเปิดและถ่ายลงสู่เสาหรือผนังอิฐก่อต่อไป

5.2 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย

โครงสร้างตัวอาคารสมัยสุโขทัยมีความต่อเนื่องจากสมัยก่อนสุโขทัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.1 รูปแบบโครงสร้างหลัก

ก) อาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อทึบ* ตัวอย่างการก่อสร้างด้วยระบบนี้ในสมัยสุโขทัยได้แก่ เจดีย์ประธานวัดมหาธาตุ [37] เจดีย์วัดร้าง AT.B.6 และปรางค์วัดร้าง AT.B.2 [44] โดยการก่ออิฐหรือวัสดุก่อทึบไม่มีช่องว่างหรือโพรงภายใน โดยวิธีการก่ออาจก่อเป็นแกนก่อนแล้วค่อยก่อพอกออกมาให้ได้ขนาดที่ต้องการ

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อกรอบและถมดินเหนียวภายในตัวอาคาร* อาคารที่ก่อสร้างโดยวิธีนี้ มีทั้งเจดีย์และป้อมประตูเมือง เช่น เจดีย์ที่วัดร้าง AT.B.4 เจดีย์วัดร้าง AT.B.7 [44] และประตูอ้อซึ่งเป็นประตูเมืองด้านทิศตะวันตกของกรุงสุโขทัย [38] โดยรูปแบบนี้จะเป็นการก่อสร้างโดยถ่ายแรงผ่านผนังรับน้ำหนักหรือมวลต่อเนื่องที่ทำขึ้นจากวัสดุ 2 ชนิดร่วมกัน นั่นคือมวลของดินเหนียวหรือวัสดุบดอัด และมวลของอิฐก่อหรือหินก่อ โดยการก่อสร้างจะก่ออิฐเป็นกรอบผนังก่อนแล้วจึงอัดดินภายในจนถึงระดับที่ก่อกรอบอิฐไว้ จากนั้นจึงก่อผนังอิฐชั้นต่อไป โดยผนังอิฐก่อชั้นบนจะก่ออยู่บนผนังอิฐชั้นล่างและบนดินเหนียวอัด ดังนั้นน้ำหนักของอิฐก่อชั้นบน จึงจะถ่ายลงสู่ทั้งอิฐก่อชั้นล่างและดินเหนียวอัด

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อโปร่ง* พบในเจดีย์วัดช้างรอบที่จังหวัดกำแพงเพชร [43] เป็นการก่อผนังรับน้ำหนักและภายในกลวง โดยภายในทำเป็นลักษณะห้องกรุ* สี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 2.5 เมตร ซึ่งน่าจะมีหลายห้อง ลักษณะกรุแบบนี้เกิดจากการกั้นผนังห้องภายใน ซึ่งผนังห้องเหล่านี้จะเป็นเสมือนคานรับน้ำหนักจากส่วนบนและถ่ายลงสู่ฐาน แต่ยังไม่พบรายละเอียดของขนาดผนังภายในกรุ

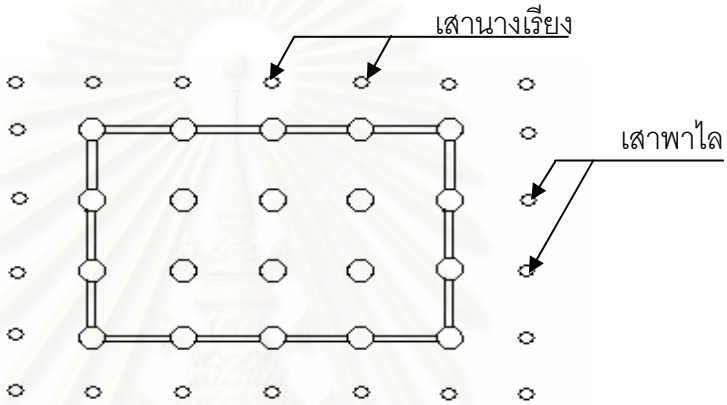
ข) อาคารประเภทวิหาร โบสถ์ ศาลา ปราสาท พระที่นั่ง

- *ผนังรับน้ำหนัก* รูปแบบการก่อสร้างแบบนี้พบมากในอาคารประเภทมณฑปของสมัยสุโขทัยได้แก่ มณฑปวัดศรีชุม มีแผนผังเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 24 เมตร สูง 15 เมตร และผนังก่ออิฐหนา 3 เมตร และภายในผนังยังอุโมงค์หนา 0.5 เมตร ซึ่งเป็นทางเดินให้สามารถเดินขึ้นไปถึงหลังคาได้ [12] ผนังที่ใช้รับน้ำหนักมีความหนาตั้งแต่ 1 เมตร ขึ้นไป [89] และอาจมีเสาอิงที่ก่อขึ้นมาเพื่อประดับตกแต่งอาคาร หรือแบ่งอาคารให้เป็นห้องๆ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักเพราะไม่มีคานถ่ายน้ำหนักด้านบน การก่อสร้างในระบบผนังรับน้ำหนักแบบนี้ อาจจะมีโครงสร้างหลังคาที่สร้างด้วยวัสดุก่อ หรือโครงสร้างไม้ก็ได้

- *เสา-คาน* อาคารประเภทโบสถ์วิหารในสมัยนี้ เช่น วิหารวัดร้าง At.B.2 At.B.5 และ At.B.6 เป็นต้น [44] ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบเสา-คานแบบมีช่วงกว้างไม่มากนัก เพราะโครงสร้างเสาอาจก่อด้วยศิลาแลงหรือใช้ไม้เป็นโครงสร้าง ส่วนคานที่รับโครงสร้างหลังคานั้นสันนิษฐานว่าเป็นไม้ทั้งหมด เนื่องจากพบหลักฐานที่หัวเสาว่ามีรูเต้าไว้เสียบคานดังแสดงในรูป 5.12 และพบร่องฐานเสาสำหรับวางเสาไม้ ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมไทยโบราณนิยมใช้ไม้ท่อนเดียวในการก่อสร้าง ไม่นิยมต่อความยาวของไม้ ดังนั้นขนาดของอาคารจึงถูกกำหนดด้วยความยาวของไม้ที่สามารถหาได้ [1]

รูปที่ 5.12 รูเต้าบนหัวเสาศิลาแลงสำหรับเสียบคานไม้

เสาที่ใช้มีหน้าตัดทั้งรูปสี่เหลี่ยม วงกลม และแปดเหลี่ยม เสาไม้ จะมีขนาดไม่ใหญ่นักเช่น 0.25 เมตร ที่วิหารวัดพระนอน [39] จนถึง 0.5 เมตร ที่วิหารวัดร้าง AT.B.4 [44] เพราะขนาดไม้จำกัด แต่เสาศิลาแลง จะมีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 0.5 เมตร ถึง 1 เมตร และมีจำนวนเสาต่างกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของช่างโบราณ ว่าจะให้เสารับน้ำหนักโครงสร้างหลังคาตรงจุดใดบ้าง พบว่าส่วนใหญ่มีจำนวนมากกว่า 4 แถว รองรับโครงสร้างจั่วหลังคาและรองรับหลังคาปีกนก หรือเรียกว่า เสานางเรียง และอาจมีเสามารับหลังคามุขหน้า หรือเรียกว่า เสาพาไล ซึ่งขึ้นกับลักษณะผังของอาคาร ดังรูป 5.13



รูปที่ 5.13 ตำแหน่งของเสานางเรียง และเสาพาไลในอาคารสถาปัตยกรรมไทย

ดังนั้น ลักษณะอาคารประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นห้อง โดยแบ่งตามช่วงเสา ความกว้างของช่วงเสาประมาณ 3-5 ห้อง และยาวประมาณ 5-7 ห้อง โดยแต่ละห้องมีความกว้างยาวตามระยะห่างระหว่างแนวเสา และระยะระหว่างเสาแต่ละต้น (ขึ้นอยู่กับความยาวของคานไม้ด้วย) ระยะระหว่างแนวเสาหากเป็นช่วงของเสานางเรียง อาจจะมีระยะห่างไม่มากนัก เช่นที่ศาลาวัดร้าง AT.A.3 มีระยะเพียง 0.75 เมตร ที่วิหารวัดร้างAT.B.4 มีระยะระหว่างแนวเสานางเรียงกับแนวเสารับโครงจั่วถึง 2.15 เมตร ห้องเสาช่วงกลางจะมีความกว้างมากกว่าแนวเสาริม เพราะเป็นการแบ่งพื้นที่ใช้สอย โดยมีความกว้างประมาณ 2 – 3.6 เมตร [44]

โครงสร้างอาคารชนิดที่ใช้ระบบเสา-คานนี้อาจมีผนังก่อหรือไม่มีก็ได้ ส่วนใหญ่ในสมัยสุโขทัย อาคารที่ใช้โครงสร้างระบบนี้มักไม่มีผนังเป็นวิหารโถงโล่ง หรือศาลาโล่ง ส่วนอาคารที่มีผนังก็จะเป็นผนังที่มีความหนาน้อย เช่น ที่โบสถ์วัดพระนอน [39] มีความหนาผนัง 0.3-0.4 เมตร ซึ่งไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักโครงสร้างหลังคา บางแห่งมีผนังด้านเดียวหรือสองด้าน โดยมักเป็นด้านหน้าและหลัง ส่วนด้านข้างเปิดโล่ง หรือก่อผนังด้านหลังอย่างเดียว [44]

5.2.2 **การทำช่องเปิดของอาคาร** ในสมัยนี้การทำช่องเปิด 3 รูปแบบ ได้แก่

ก) ช่องเปิดแนวตั้ง เป็นช่องเปิดแคบๆ แต่ยาวตามแนวความสูงของอาคาร แบบที่เรียกว่า “ลูกมะหวด”* พบในหลายอาคาร เช่นวิหารวัดพระนอน กำแพงเพชร [39] วิหารวัดศรีสวาย สุโขทัย เป็นต้น ซึ่งการเจาะช่องแบบนี้ทำให้มีแสงสว่างส่องเข้าไปในอาคารได้บ้าง และอากาศถ่ายเทได้พอสมควร แต่การเจาะช่องแบบนี้จะไม่ลดกำลังของผนังรับน้ำหนักมากนัก การเจาะช่องหน้าต่างนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผนังอาคาร รวมไปถึงความต้องการแสงสว่าง ถ้าพื้นที่จำกัด เช่นผนังด้านสกัดหรือด้านหุ้มกลอง จะเจาะช่องหน้าต่างด้านละ 2 ช่อง แต่ถ้าเป็นผนังด้านข้างอาจเจาะมากถึงด้านละ 5 ช่อง หรือแต่ละช่วงเสาอาจมีถึง 5-6 ช่อง ความสูงของช่องแสง ¾ ของผนัง ลักษณะของช่องเปิดในสมัยสุโขทัยแสดงดังรูป 5.14 และ 5.15

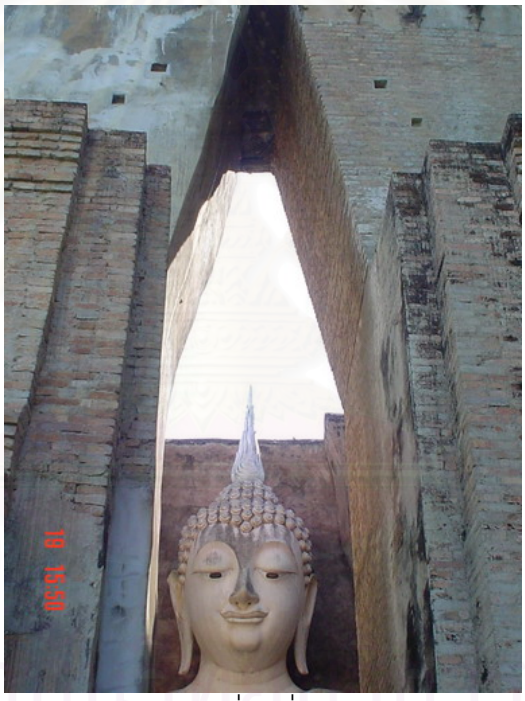
รูปที่ 5.14 ช่องเปิดแบบลูกมะหวดในอาคารสมัยสุโขทัย

รูปที่ 5.15 การเจาะช่องเปิดตลอดผนังอาคารวิหารวัดศรีสวาย จังหวัดสุโขทัย

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

อาคารโบสถ์ วิหาร ส่วนใหญ่ในสุโขทัยมักเป็นอาคารโถงโล่ง ส่วนที่เป็นอาคารมณฑปมักมีผนังหนามาก มีการเปิดช่องแสงน้อย หน้าต่างแบบบานเปิดไม่มีในสมัยนี้ และการเปิดช่องแสงจะพบในอาคารที่เป็นโครงสร้างระบบเสา – คานเท่านั้น

ข) การทำช่องเปิดโดยก่ออิฐแบบสันเหลื่อม หรือ *Corbelled arch* ที่วัดพระพายหลวงพบการใช้อิฐหรือศิลาแลงก่อเหลื่อมยื่นออกมา โดยจะก่อให้ศูนย์กลางน้ำหนักของก้อนวัสดุก่อยังอยู่บนก้อนวัสดุก่อก้อนข้างล่างที่อยู่ถัดไป จนกลายเป็นช่องเปิดที่มียอดสามเหลี่ยม ทำให้น้ำหนักของวัสดุก่อ หรือโครงสร้างส่วนบนสามารถถ่ายลงสู่วัสดุก่อชั้นล่างต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง อาคารจึงสามารถรักษาความมั่นคงอยู่ได้ การก่อแบบสันเหลื่อมนี้พบได้ที่ประตูมณฑปวัดศรีชุมดังรูป 5.16 ที่วัดพระพายหลวง ดังรูป 5.17 และ ศาลตาผาแดง ดังรูป 5.18



รูปที่ 5.16 ช่องเปิดแบบสันเหลื่อมที่ประตูทางเข้ามณฑปวัดศรีชุม

การเปิดช่องแบบสันเหลื่อม หากเปิดช่องกว้างมากจะทำให้ช่องเปิดเป็นสามเหลี่ยมแหลมและสูง ดังนั้นในการก่อสร้างช่องเปิด จึงต้องวางแผนว่าจะก่อสร้างตรงส่วนใดของผนัง เพราะหากก่อสร้างบริเวณที่มีความสูงของผนังไม่เพียงพอ อาจทำให้ผนังพังทลายได้

รูปที่ 5.17 ช่องเปิดแบบสันเหลื่อมที่ทางเข้าวัดพระพายหลวง

รูปที่ 5.18 ช่องเปิดทางเข้าศาลตาผาแดง (ถ่ายจากภายใน)

ค) แบบซุ้มโค้งหรือซุ้มโค้งแหลม พบได้ในเจดีย์ เช่น ที่เจดีย์วัดตระพังทองหลาง จังหวัดสุโขทัย เจดีย์ช้างล้อม ที่วัดช้างล้อม ศรีสัชชนาลัย เป็นต้น ลักษณะดังรูป 5.19 ส่วนใหญ่เป็นการก่อซุ้มเพื่อใช้ในการประดับอาคาร ไม่ได้ใช้ในเป็นส่วนของโครงสร้างอย่างแท้จริง

ซุ้มที่มีความลึกมากเป็นลักษณะอุโมงค์ บางส่วนของซุ้มอาจจะต้องรับน้ำหนักวัสดุก่อด้านบนด้วย ดังนั้นซุ้มเหล่านี้จึงต้องก่อสร้างให้มีความแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักด้านบนถ่ายลงสู่ผนังหรือส่วนของอาคารด้านข้างได้ โดยการก่อสร้างซุ้มเหล่านี้ใช้วัสดุก่อ เช่นอิฐ หรือศิลาแลง วิธีการก่อจะก่อเป็นสันเหลื่อมแล้วใช้ปูนฉาบให้ได้รูปโค้ง

รูปที่ 5.19 การก่อซุ้มประดับ ไม่ได้รับน้ำหนักของโครงสร้างอื่น

5.2.3 เทคนิคการก่อสร้างตัวอาคาร

ก) เทคนิคการก่อเสา เสาอาคารส่วนใหญ่ใช้ศิลาแลงมี 2 ลักษณะ คือ

- *เสาเขียง* พบมากในเสาอาคารสมัยนี้ เช่น วัดมหาธาตุ วัดอโศการาม เมืองสุโขทัย วัดพระแก้ว วัดพระสิงห์ กำแพงเพชร [39] เป็นต้น ตัวอย่างเสาเขียงที่วัดมหาธาตุ จังหวัดสุโขทัยแสดงดังรูป 5.20 และ 5.21 โดยเป็นเสาที่ใช้ก้อนศิลาแลงลักษะทรงกระบอกสั้นๆ เหมือนเขียงมาเรียงซ้อนกัน มีหน้าตัดกลม หรือแปดเหลี่ยม และอาจผ่าครึ่งก่อนนำมาซ้อนกัน หรืออาจเป็นก้อนสี่เหลี่ยมมาก่อเป็นเสาสี่เหลี่ยม ระหว่างก้อนอาจจะมีการยึดด้วยปูนสอ

- *เสาศิลาแลงทั้งต้น* ลักษณะแบบนี้จะเป็นเสาที่มีขนาดใหญ่ เช่น ที่วัดพระนอน จังหวัดกำแพงเพชร เป็นเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดหน้าตัด 1x1 เมตร

ส่วนการก่อเสาอิฐ จะก่อเหมือนกับการก่อผนังหรือการก่อเจดีย์ และมักมีขนาดใหญ่ มักเป็นเสาสี่เหลี่ยม เช่นที่วัดศรีโทล เมืองสุโขทัย หอเทวาลัยมหาเกษตร

รูปที่ 5.20 เสาเขียงศิลาแลง เปรียบเทียบขนาดกับกระดาษขนาด 21 x 29.7 เซนติเมตร

รูปที่ 5.21 เสาเขียงและร่องรอยการสอปูนและฉาบปูน (ภาพปัจจุบัน)

ข) เทคนิคการเรียงอิฐและศิลาแลง การก่อเรียงอิฐส่วนใหญ่คล้ายระบบ English bond หรือก่อหันด้านสั้นออก 1 แถว สลับกับหันด้านยาวออก 1 แถว โดยเฉพาะการก่อมณฑปในศรีสัชนาลัย [97] รวมถึงโบราณสถานวัดร้างต่างๆ ในสุโขทัยด้วย สอด้วยดินหรือยางไม้และฉาบปูน ส่วนศิลาแลงก็เช่นกัน พบว่ามีระเบียบคล้ายแบบ English bond มากที่สุด แต่ขนาดของศิลาแลงไม่สม่ำเสมอ ระเบียบการก่อจึงไม่แน่นอนนัก การก่อศิลาแลงส่วนใหญ่สอปูน และฉาบปูนด้วย

5.2.4 **วัสดุก่อสร้างตัวอาคาร**

ก) อิฐ ขนาดของอิฐที่ใช้ในการก่อโครงสร้างตัวอาคารนั้นไม่แตกต่างจากอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างฐานราก ดังแสดงในตาราง 4.3

จากขนาดอิฐดังกล่าว จะเห็นได้ว่าสามารถหาสัดส่วนของขนาดอิฐได้ คือความกว้างต่อความยาวของอิฐมีค่า 0.6 และสัดส่วนความหนาต่อความกว้างเท่ากับ 0.25 – 0.44 และในแต่ละวัดจะใช้อิฐขนาดต่างๆ กัน แม้แต่ในวัดเดียวกันก็พบอิฐหลายขนาด ส่วนประกอบของอิฐได้แก่ ดินเหนียวผสมกรวด ทราย และแกลบ นวดให้เข้ากันดีแล้วนำมาอัดลงพิมพ์

ข) ศิลาแลง ในสมัยสุโขทัยนี้พบว่ามีการใช้ศิลาแลงในการก่อสร้างอาคารอยู่มาก โดยเฉพาะในเขตเมืองกำแพงเพชรซึ่งพบว่าใช้ศิลาแลงเป็นวัสดุก่อสร้างหลัก ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอรัญญิก จังหวัดกำแพงเพชร และภายในกำแพงเมือง อาจเนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งศิลาแลง ขนย้ายได้ง่าย หรืออาจเกิดจากวัฒนธรรมของช่างในสายกำแพงเพชรก็ได้ การใช้ศิลาแลงในการก่อสร้างมักฉาบปูน เนื่องจากศิลาแลงมีผิวขรุขระไม่สวยงาม แต่มีความคงทนต่อการสึกกร่อน การนำศิลาแลงมาใช้ในการก่อสร้างจะมีขนาดใหญ่กว่าอิฐมาก เช่น ศิลาแลงจากวัดร้าง At.B.6 มีขนาด 22 x 45 x 14 เซนติเมตร ที่วัดร้าง At.B.2 มี 3 ขนาด ขนาดใหญ่ 42 x 84 x 29 เซนติเมตร ขนาดกลาง 27 x 51 x 20 เซนติเมตร และขนาดเล็ก 19 x 45 x 17.5 เซนติเมตร [44] แสดงให้เห็นว่าศิลาแลงมีขนาดไม่แน่นอนแม้แต่ในโบราณสถานแห่งเดียวกัน และเนื่องจากขนาดที่ไม่แน่นอน จึงไม่สามารถหาสัดส่วนความกว้าง ความยาว และความหนาของศิลาแลงได้

ค) ไม้ จากร่องรอยตามผนังอาคารและเสา พบว่าไม้ถูกใช้เป็นเสาและคานรองรับโครงสร้างหลังคา ไม่พบว่ามีการใช้ไม้ในการทำช่องเปิด ส่วนการใช้ไม้เป็นเสาและคานนั้นไม่ได้พบไม้ในการสำรวจ แต่การพบร่องรอย เช่น รูบนเสาศิลาแลง ก็แสดงถึงการใช้ไม้เป็นคานได้อย่างดี และร่องรอยฐานเสา ซึ่งหาเป็นเสาศิลาแลงก็น่าที่จะมีหลักฐานเป็นเสาศิลาแลงอยู่ใกล้ๆ เพราะศิลาแลงเป็นวัสดุที่สลายผุพังได้ยาก และไม่น่าที่จะสูญหายด้วยเพราะมีน้ำหนักมาก จึงเป็นไปได้อย่างมากที่จะเป็นเสาไม้ ขนาดของเสาไม้ไม่ใหญ่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นเสาไม้กลม ขนาดระหว่าง 0.25 – 0.5 เมตร ความสูงอาจสูงถึง 6 เมตร ส่วนขนาดของคาน จากการสำรวจไม่มีการระบุขนาดรูของเต้าที่เชื่อว่ามีไว้เสียบคานไม้เอาไว้ จึงไม่ทราบขนาดที่ใช้ แต่จากลักษณะของรู หน้าตัดของไม้จึงควรมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าแนววางตั้งและแห่งเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ง) เหล็ก ตะปู จากการที่โครงสร้างในสมัยนี้มีการใช้ไม้เป็นเสาและคาน ดังนั้นในการเชื่อมต่อที่จุดรอยต่อส่วนใหญ่ สันนิษฐานว่าเป็นการเข้าปากไม้โดยการบากร่อง และใช้สลักเดือย แต่จากการสำรวจขุดแต่งโบราณสถาน โดยกรมศิลปากรพบว่ามีการใช้ตะปูรูปสี่เหลี่ยมปลายแหลม หัวเป็นขอสำหรับตรึงยึด บางแห่ง ห่วงเป็นวงกลม [45] ดังแสดงในรูป 5.22

รูปที่ 5.22 ตะปูที่ใช้ในการยึดตรึงไม้ ในสมัยสุโขทัย

จ) วัสดุเชื่อมประสาน มีลักษณะเหมือนกับวัสดุสอฐานรากในสมัยเดียวกัน

5.3 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยล้านนา

ในสมัยนี้นิยมการก่อสร้างด้วยไม้ อาจเนื่องมากจากสภาพพื้นที่มีป่าไม้มาก สามารถหาไม้ได้ง่าย แต่ศิลาแลง และหิน กลับไม่นิยมในสมัยนี้ โดยการก่อสร้างตัวอาคารสมัยล้านนามีลักษณะดังนี้

5.3.1 รูปแบบโครงสร้างหลัก

ก) อาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อกรอบอาคารและถมด้วยดินเหนียวภายในอาคาร*

ตัวอย่างการก่อสร้างแบบนี้ได้แก่ เจดีย์กู่ช้าง [51] ซึ่งผนังที่ก่อเป็นกรอบหนา 20 – 50 เซนติเมตร และก่อองค์เจดีย์สูงถึง 8.5 เมตร เป็นรูปแบบการก่อสร้างหลักของอาคารประเภทเจดีย์และป้อมของสมัยล้านนา โดยเริ่มจากก่ออิฐเป็นแกนแล้วถมดินผสมเศษอิฐหักให้ขนาดใหญ่ขึ้น แล้วจึงก่ออิฐเต็มแผ่นที่ผิวนอก ใช้มวลของวัสดุถมและมวลของอิฐก่อในการรับน้ำหนักและถ่ายลงสู่ฐานราก หรือบางแห่งอาจะก่อเป็นกรอบขึ้นมา แล้วถมดินภายในให้แน่น แล้วจึงก่ออิฐปิดด้านบน [98] วัสดุที่ใช้ถมภายในมีทั้ง อิฐหัก ก้อนหิน ศิลาแลงหัก

ข) อาคารประเภทวิหาร โบสถ์ ศาลา ปราสาท พระที่นั่ง

- *เสา-คาน* ตัวอย่างโครงสร้างระบบนี้ ได้แก่ วิหารจามเทวี และวิหารน้ำแต้ม [46] ซึ่งถือเป็นรูปแบบโครงสร้างหลักที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารในสมัยล้านนา โดยในสมัยนี้มีการใช้โครงสร้างไม้ที่มีขนาดใหญ่เป็นหลัก มีบางแห่งใช้เสาศิลาแลง เช่น เสาศิลาแลงที่พบที่วัดสังกามเป็นลักษณะเสาเขียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร หนาประมาณ 30

เซนติเมตร ผนังหนา 50 เซนติเมตร [53] และเสาหินทรายพบที่วิหารวัดมหาธาตุ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเสาเขียงเช่นกัน หน้าตัดกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร หนา 35 เซนติเมตร มีรูเจาะตรงกลาง ซึ่งน่าจะเป็นรูสำหรับฝังแกนสำหรับยึดเชื่อมระหว่างท่อนของเสา [99] และส่วนใหญ่มักเป็นลักษณะอาคารโถง คือไม่มีผนัง ดังรูป 5.23 หรือมีผนังเตี้ย ไม่สูงตลอดจนถึงหลังคา บางแห่งมีผนังไม้แบบที่เรียกว่า “ฝาย้อย” หรือ “ฝาหยาบ” ซึ่งเป็นลักษณะฝาไม้ที่ปิดเฉพาะด้านบนลงมาเพียงครึ่งหนึ่งของความสูง ไม่ปิดตลอดถึงพื้น ถ้าเป็นผนังทึบมักก่อด้วยอิฐ และสันนิษฐานว่าอาจจะมีผนังบางส่วนสร้างด้วยไม้

รูปที่ 5.23 อาคารโถงในสมัยล้านนา [46]

5.3.2 การทำช่องเปิดของอาคาร

อาคารในสมัยล้านนาไม่นิยมก่อผนังทึบ จึงไม่ค่อยมีเทคนิคการทำช่องเปิดของอาคาร แต่ก็มีเทคนิคการก่ออิฐเป็นซุ้มที่องค์เจดีย์ โดยการก่อโค้งที่ใช้เป็นส่วนของโครงสร้างรับน้ำหนักอย่างแท้จริง เป็นลักษณะโค้งอุโมงค์ (Vault) เช่น โค้งอุโมงค์วัดร่มโพธิ์ [52] โค้งอุโมงค์ที่วัดอุโมงค์เถรจันทร์ ซึ่งก่อด้วยอิฐ และที่เจดีย์วัดเจ็ดยอด [9] ดังรูป 5.24 ซึ่งก่อด้วยศิลาแลง ก่อลึกเข้าไปเป็นโครงสร้างรับชานชาลาและองค์เจดีย์ด้านบน และยังมีการก่อโค้งเพื่อใช้เป็นประตูวัด เรียกว่า “ประตูโขง” เช่นที่วัดพระธาตุลำปางหลวง จังหวัดลำปาง ดังรูป 5.25 และวัดชมพู จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น [9]

รูปที่ 5.24 โค้งอุโมงค์เจดีย์เจ็ดยอด วัดเจดีย์เจ็ดยอดจังหวัดเชียงใหม่ [9]

รูปที่ 5.25 ประตูโขงวัดพระธาตุลำปางหลวง [9]

นอกจากนี้ยังมีการก่อสร้างโค้งช่องเปิดที่เรียกว่า “ซุ้มจรนัม” ซึ่งเป็นกึ่งโครงสร้างแล้วกึ่งประดับ มักใช้เพื่อบรรจุพระพุทธรูป เช่น ที่พระเจดีย์หลวง ที่วัดเจดีย์หลวงวรวิหาร [50] และเจดีย์ในวัดเจ็ดยอด จังหวัดเชียงใหม่ [47] ซึ่งก็เป็นการก่อสร้างช่องเปิดที่ก่อโค้งซ้อนกันหลายชั้น ดังรูป 5.26 ทำให้เกิดความแข็งแกร่งพอที่จะพยุงตัวเอง และรับน้ำหนักของผนังหรือวัสดุก่อด้านบนของวงโค้งได้ มีวิธีการก่อซุ้มแบบ Arch ของล้านนาจะหันหน้าอิฐแบนออก ไม่ใช้สันอิฐ วางอิฐเบียดอัดกันไปตามวงโค้งของเพดานซุ้ม และถ่ายแรงในลักษณะแรงอัดระหว่างแผ่นอิฐที่ก่อโค้งถ่ายไป

ถึงเสาหรือผนังที่อยู่ด้านข้าง อิฐที่ใช้จะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู คือ ที่ปลายสองด้านมีความกว้างไม่เท่ากัน เรียกอิฐแบบนี้ว่า “อิฐหน้าวัว” นอกจากนี้ยังมีการก่อซุ้มโปร่งเป็นอุโมงค์ทะลุถึงกันที่เจดีย์วัดร่มโพธิ์ด้วย [52]

รูปที่ 5.26 การก่อโค้งเป็นซุ้มจรนัมของเจดีย์หลวง วัดเจดีย์หลวง จังหวัดเชียงใหม่ [9]

5.3.3 เทคนิคการก่อสร้างตัวอาคาร

ก) เทคนิคการเรียงอิฐและศิลาแลง พบการก่อเรียงอิฐที่เป็นระบบคล้ายระบบสากลแบบ Flemish bond ที่วัดสังการาม [53] ผสมกับการก่อเรียงแบบไม่เป็นระบบ วัสดุสอส่วนใหญ่ใช้ปูนสอ ส่วนศิลาแลงพบในโบราณสถานมันนี้ไม่มากนัก เทคนิคที่น่าสนใจในการก่อสร้างด้วยวัสดุก่อในสมัยล้านนานี้คือ

ข) การหุ้มองค์พระเจดีย์ด้วยโลหะ โดยบุผิวด้วยโลหะดูคล้ายทอง เรียกว่า “แผ่นทองจังโก”* [47] ซึ่งการบุโลหะนี้มีส่วนช่วยป้องกันผิวปูนของพระเจดีย์จากแดด ฝน ทำให้อายุของสถาปัตยกรรมเหล่านี้มีความคงทนต่อการผุกร่อนของโครงสร้างวัสดุก่อ [1]

5.3.4 วัสดุก่อสร้างตัวอาคาร

ก) อิฐ มีขนาดเหมือนกับขนาดอิฐที่ใช้ก่อฐานราก โดยจากขนาดของอิฐจะเห็นได้ว่า ความกว้างและความยาวของอิฐมีความสัมพันธ์กัน โดยความยาวมีขนาดเป็นสองเท่าของความกว้าง ส่วนความหนานั้น มีขนาดประมาณ 1/4 - 1/3 ของความกว้าง นอกจากนี้ ยังมีอิฐบางแห่งที่มีขนาดแตกต่างจากที่อื่นๆ มาก คืออิฐที่ใช้ในการก่อสร้างเจดีย์สันกู่ จังหวัดเชียงใหม่ [48] ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่อื่นมาก โดยมีขนาดกว้าง 21 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และหนา 14 เซนติเมตร

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

นอกจากอิฐมอญรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ว ที่วัดปาสัก เมืองเชียงแสน ยังมีอิฐมอญรูปอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อเสาอาคาร ได้แก่ อิฐแปดเหลี่ยม ยาวด้านละ 13-15 เซนติเมตร หนา 5.5-6 เซนติเมตร อิฐรูปหกเหลี่ยม ยาวด้านละ 18 เซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร [54]

ข) ศิลาแลง พบที่โบราณสถานวัดสังการาม จังหวัดเชียงใหม่ [53] ว่าใช้เป็นเสาสั้นๆ สำหรับรองรับเสาไม้ โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร หนา 30 เซนติเมตร

ค) ไม้ โครงสร้างอาคารโบราณสถานในสมัยล้านนามักใช้ไม้ที่มีขนาดใหญ่ หนาหนัก เสาที่ใช้ก่อสร้างแต่แรกนั้น เป็นเสาไม้ตลอดทั้งต้น อาจเป็นพวกไม้สักไม้จันทน์ โดยใช้เป็นเสาคาน หรือแม้แต่ผนัง แต่โครงสร้างไม้ส่วนใหญ่ได้ผุสลายไปแล้ว การบูรณะซ่อมแซมจึงใช้ก่ออิฐสอปูนเสริมเข้าไปเป็นฐานเสาบางแห่ง เช่นที่วิหารจามเทวี [46] เป็นต้น โชติ กัลยาณมิตรได้ตั้งข้อสังเกตว่า ช่างสมัยล้านนามักใช้ไม้ที่มีขนาดใหญ่ในการก่อสร้าง และมักจะใหญ่เกินความจำเป็นมาก น่าจะเนื่องจากบริเวณภาคเหนือที่เป็นที่ตั้งขออาณาจักรล้านนานั้น เป็นบริเวณที่มีไม้ใหญ่อุดมสมบูรณ์ และช่างอาจจะยังไม่แน่ใจในการรับน้ำหนักของไม้ภายระบบเสา-คานด้วย [1]

ง) วัสดุประสาน ใช้ดินเหนียวผสมน้ำ เชื่อมระหว่างก้อนอิฐ ไม่พบข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุสอในสมัยล้านนาที่ชัดเจน แต่เนื่องจากอาณาจักรล้านนาเป็นอาณาจักรที่ร่วมสมัยกับอาณาจักรสุโขทัย จึงเป็นไปได้ที่จะมีเทคโนโลยีในระดับไม่ต่างกันนัก จึงสันนิษฐานว่าใช้ดินเหนียวผสมแกลบย่ำจนเละ เป็นวัสดุประสานอิฐ ส่วนวัสดุฉาบใช้ปูนขาว

จ) โลหะ การใช้โลหะสมัยล้านนาถือเป็นเทคนิคที่สำคัญ โดยเฉพาะการใช้โลหะหุ้มผิวองค์เจดีย์ ใช้แผ่นโลหะที่เรียกว่า “แผ่นทองจังโก” หรือ “แผ่นทองสักโก” ในการปิดองค์เจดีย์ก่อนจะปิดด้วยทองคำเปลวอีกชั้นภายนอก [47] นอกจากนี้ยังมีการใช้โลหะเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเชื่อมต่อโครงสร้างไม้ และโครงสร้างสถาปัตยกรรมอื่นๆ ได้แก่

- <u>*ตะปู*</u> พบในวิหารแทบทุกแห่ง โดยตะปูเหล่านี้เกิดจากการทุบ มิใช่การหล่อ ลักษณะเป็นแท่งเหล็กที่ถูกทุบจนมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายด้านหนึ่งทำเป็นปม ขนาดไม่สม่ำเสมอ มีความยาวตั้งแต่ 7-16 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.5-0.7 เซนติเมตร [54] [47] ใช้ในการเชื่อมโครงสร้างไม้ และยังพบตะปูสำหรับยึดแผ่นทองจังโกเข้ากับองค์เจดีย์ที่วัดเจดีย์หลวง มี 4 ชนิด คือ

1. ชนิดหัวมนเป็นรูปสามเหลี่ยม ตัวเป็นเหลี่ยม ปลายแหลม มี 3 ขนาด คือ 4.5 5.7 และ 8 เซนติเมตร
2. ชนิดหัวมนกลม ตัวกลม ปลายแหลม ยาว 5.5 เซนติเมตร
3. ชนิดหัวมนครึ่งวงกลม ตัวสี่เหลี่ยม ปลายแหลม ยาว 5 เซนติเมตร

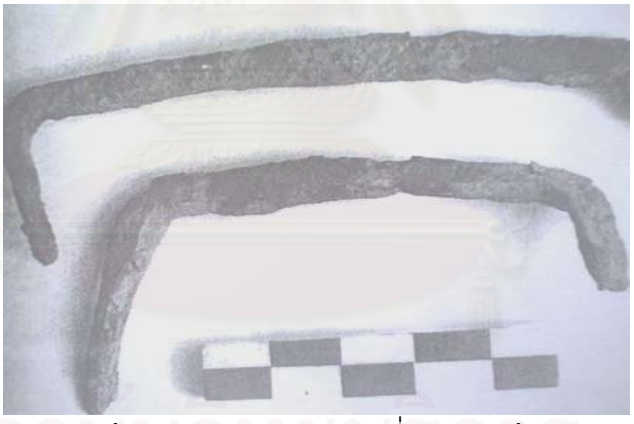
4. ชนิดหัวสี่เหลี่ยม ตัวสี่เหลี่ยม ปลายแหลม มี 3 ขนาดคือ ยาว 4 5 และ 6.5 เซนติเมตร

นอกจากนี้ยังพบตะปูเหล็กที่มีลักษณะค่อนข้างแบน ปลายแหลมทั้งสองข้าง ความยาว 16 เซนติเมตร และปลายแหลมข้างเดียวความยาว 4.8 7.5 10.5 และ 12 เซนติเมตร [50]

- *เหล็กเส้น* ปลายทั้งสองด้านแหลม ขนาดยาว 18-30 เซนติเมตร ไม่ทราบแน่ชัดว่าใช้ในส่วนใดของโครงสร้าง พบที่วิหารวัดป่าสัก จังหวัดเชียงราย [54]

- *เหล็กยึดเครื่องไม้แบบงอ* เป็นเหล็กแผ่นยาว งอบริเวณกึ่งกลางจนเป็นรูปวงกลม ด้านปลายของเหล็กทั้งสองจะขนานแนบกันออกมาเล็กน้อย แล้วจึงดัดให้แยกออกจากกันในแนวตรงข้าม

- *เหล็กยึดรูปก้ามปู (ปลิงเหล็ก)* พบที่วิหารวัดป่าสัก เป็นแท่งเหล็กที่ถูกทุบจนเป็นแท่งสี่เหลี่ยมปลายทั้งสองด้านแหลมและงอเป็นมุมฉากลักษณะคล้ายก้ามปู ยาวประมาณ 24 เซนติเมตร [54] มีลักษณะดังรูป 5.27



รูปที่ 5.27 เหล็กยึดรูปก้ามปู (ปลิงเหล็ก) ที่ใช้ในการยึดโครงสร้าง [47]

5.4 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยอยุธยา

สมัยอยุธยา มีองค์ประกอบภายนอกที่มีผลต่อพัฒนาการของการก่อสร้างอย่างมาก โดยเฉพาะความสัมพันธ์กับชาวต่างชาติ ซึ่งมีผลต่อการรับเอารูปแบบสถาปัตยกรรม และเทคโนโลยีด้านต่างๆ เข้ามาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่สำคัญในสมัยนี้

5.4.1 รูปแบบโครงสร้างหลัก

ก) อาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อทึบ* รูปแบบนี้ยังมีลักษณะคล้ายกับสมัยก่อนหน้านี้ เจดีย์ที่วัดหลังคาขาว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [70] พบว่ามีใช้ขนาดอิฐแตกต่างกัน โดยการก่อชั้นในใช้อิฐขนาดเล็ก ชั้นนอกใช้อิฐขนาดใหญ่ ส่วนปรางค์วัดพระราม จังหวัดพระนครศรีอยุธยาใช้ศิลาแลงก่อชั้นล่าง และใช้อิฐก่อชั้นบน บางแห่งใช้ศิลาแลงก่อตลอดทั้งองค์เจดีย์ เช่นที่วัดพระศรีมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี [13]

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อโปร่งมีโครงอิฐก่อภายใน* ข้อมูลจากเจดีย์ประธานวัดพระงาม เจดีย์ช้างล้อมวัดมเหยงคณ์ เจดีย์วัดสีกาสมุด เจดีย์ประธานวัดช้าง พบการก่อโครงสร้างที่มีลักษณะแบบนี้ซึ่งมีมากในสมัยอยุธยา โครงภายในหมายถึงแกนอิฐก่อรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแนวเอ็นรัศมีที่กระจายออกออกจากแกนไปจนถึงขอบอิฐที่เป็นผิวองค์เจดีย์ ซึ่งจะมีการก่อกรอบเจดีย์ขึ้นไป ภายในมีดินถมอัดอยู่ โดยกรอบหรือรูปทรงเจดีย์จะก่อขึ้นไปพร้อมกับการอัดดิน ที่เจดีย์ประธานวัดช้างนั้น ก่อแกนเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 0.2 x 0.2 เมตร และแนวเอ็นกว้าง 0.3 เมตร ยาว 1.2 เมตร และหนา 2.8 เมตร [61]

นอกจากโครงภายในแบบมีแกนและมีแนวเอ็นกระจายออกแล้ว ที่เจดีย์วัดสุวรรณาวาส ยังพบรูปแบบอื่นๆ อีก ได้แก่ แบบไม่มีแกนตรงกลาง มีแต่แนวเอ็นอิฐก่อรูปกากบาทหรือกากบาทซ้อนกันเป็น 8 แฉก โดยที่วัดสุวรรณาวาสนี้มีแนวเอ็นอิฐก่อมีความหนา 0.4 เมตร [66] ที่เจดีย์วัดเจ้าย่า และเจดีย์หมายเลข 1 วัดจันทร์ พบโครงสร้างแบบมีแนวเอ็นอิฐก่ออยู่ด้านล่าง แล้วก่ออิฐเป็นห้องกรุ ถมดินภายใน ซึ่งที่เจดีย์วัดจันทร์ได้ก่อเอ็นอิฐกว้างถึง 0.5 เมตร หนา 0.8 เมตร ยาว 3.5 เมตร [59] โครงแบบมีเอ็นเป็นรูปกากบาทแสดงดังรูป 5.28

รูปที่ 5.28 โครงอิฐก่อรูปกากบาทภายในเจดีย์วัดมหาธาตุ (ขณะทำการบูรณะ)

โครงสร้างแบบนี้ จะถ่ายน้ำหนักจากส่วนบน ลงสู่แกนอิฐและเอ็นอิฐก่อรวมถึงวัสดุถมอัดภายในด้วย แต่หากว่าการถมดินภายในมีความแน่นไม่เพียงพอ ดินภายในอาจทรุดตัวลงไป ทำให้น้ำหนักส่วนบนทั้งหมดถ่ายลงสู่แกนอิฐและแนวเอ็นแทน

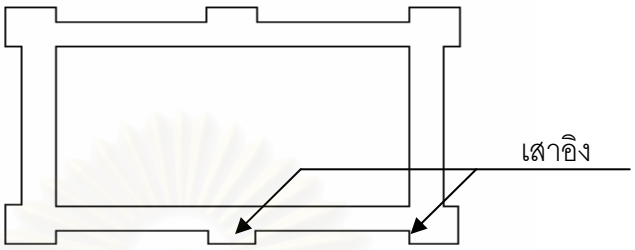
- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อโปร่งมีโครงไม้ภายใน* รูปแบบนี้พบที่เจดีย์วัดจงกลม [64] ซึ่งจากรายงานการขุดแต่ง ได้ระบุว่าโครงสร้างจะก่อกลวง และภายใน มีโครงไม้ ยันโครงสร้างผนังเอาไว้เพื่อความมั่นคงของผนัง ดังรูป 5.29 ซึ่งภายในมีโครงสร้างไม้เนื้อแข็งขนาดใหญ่ และหนา น้ำหนักส่วนบนจะถ่ายลงสู่ผนังรับน้ำหนักซึ่งหนา 0.9 เมตร และผนังจะค่อยๆ สอบขึ้นไปตามรูปร่างของเจดีย์ โดยการก่ออิฐเหลื่อมแบบสันเหลื่อม Corbelled Arch จนถึงยอด

รูปที่ 5.29 การใช้ไม้ยันโครงสร้างเจดีย์วัดจงกลม [64]

ข) อาคารประเภทวิหาร โบสถ์ ศาลา ปราสาท พระที่นั่ง

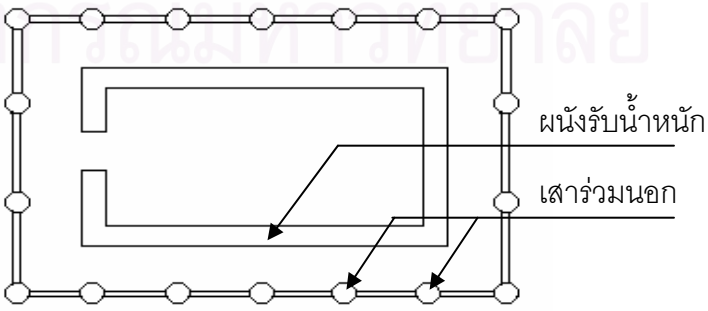
- *ผนังรับน้ำหนัก* พบในสมัยนี้ที่อุโบสถวัดสีกาสมุด [63] และวัดอื่นๆ อีกหลายวัดโดยเฉพาะที่ก่อสร้างในช่วงปลายสมัย คือในช่วงสมัยพระนารายณ์ อันเนื่องจากการรับอิทธิพลจากตะวันตก โดยใช้ระบบผนังรับน้ำหนัก ซึ่งมีผนังก่อด้วยวัสดุก่อ มีขนาดผนังค่อนข้างหนาไม่น้อยกว่า 0.6 เมตร [100] เนื่องจากต้องใช้ความแข็งแรงของผนังในการรับน้ำหนักจากส่วนบนของอาคาร ในอาคารบางแห่ง มีเสาติดผนังที่เรียกว่า “เสาอิง” หมายถึงเสาที่ก่ออิฐยื่นออกมาจากผนังเล็กน้อย มีความกว้างต่างๆ กันในแต่ละแห่งซึ่งหากมีขนาดเล็ก ก็จะไม่มีผลในเชิงรับน้ำหนัก เพียงแต่ช่วยช่วยให้ผนังมีเสถียรภาพมากขึ้น และกำหนดโครงสร้างอาคารออกเป็นห้องๆ ดังรูป 5.30

อาคารที่ใช้ระบบผนังรับน้ำหนักนี้ จะเป็นอาคารที่ปิดทึบมีการเจาะช่องเปิดในลักษณะช่องแสงมากกว่าเจาะช่องหน้าต่าง เพราะจะทำให้เสียกำลังของผนังจนอาจไม่สามารถรับน้ำหนักเครื่องบนได้ก็ได้

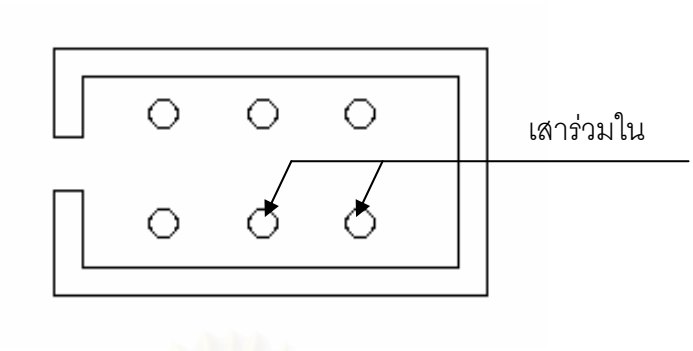


รูปที่ 5.30 เสาอิงของอาคาร

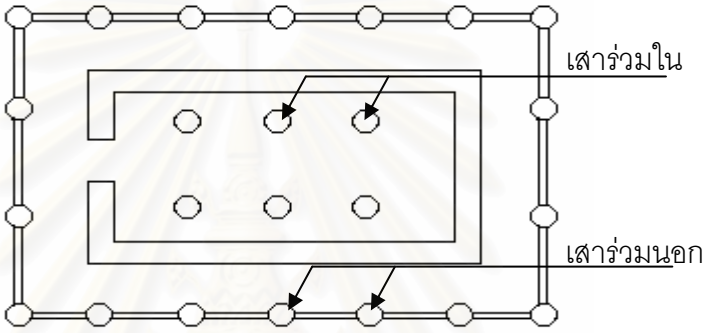
- *<u>ระบบผสม (เสาร่วมใน เสาร่วมนอก)</u>* ระบบผสมหมายถึงระบบโครงสร้างที่ใช้ทั้งผนังรับน้ำหนักและระบบเสา-คานในการรับน้ำหนักโครงสร้างส่วนบน การใช้ระบบผสมในการรับน้ำหนัก จะมีเสา ร่วมกับผนังหนา พบที่อุโบสถวัดช้าง [61] และอุโบสถวัดมเหยงคณ์ [65] โดยเสาที่ใช้ในระบบผสมนี้ จะมีชื่อเรียกตามตำแหน่งที่ตั้งอยู่ คือ เสาร่วมนอก และเสาร่วมใน โดยเสาร่วมนอกคือ เสาที่อยู่ด้านนอกอาคาร (นอกผนังอาคาร) มีหน้าที่รับโครงสร้างหลังคาในส่วนปลายชายคา หรือระเบียง ดังรูป 5.31 จึงมีชื่อเรียกอื่นๆ อีกเช่น เสาพาไล เสาระเบียง เป็นต้น ส่วนเสาร่วมใน หมายถึงเสาที่อยู่ด้านในอาคาร มีหน้าที่รับโครงสร้างหลังคาส่วนกลาง ซึ่งทำให้มีพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารมากกว่าแบบเสาร่วมนอก ดังรูป 5.32 โดยอาคารในสมัยนี้ ได้แก่ วิหารและตำหนักวัดเจ้าย่า อุโบสถวัดช้าง วิหารวัดจงกลม และอุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม พบว่ามีเสารับน้ำหนักทั้งสองแบบร่วมกัน ลักษณะดังรูป 5.33 และเสาร่วมนอก กับเสาร่วมในนั้น ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน หรือตำแหน่งเดียวกันเสมอไป เช่นที่อุโบสถวัดวัดใหญ่สุวรรณาราม มีเสาร่วมในขนาด 0.72x0.72 เมตรและเสาร่วมนอกขนาด 0.48x0.48 เมตร [14]



รูปที่ 5.31 ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีเสาร่วมนอก



รูปที่ 5.32 ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีเสาร่วมใน



รูปที่ 5.33 ผังโครงสร้างระบบผสมแบบมีทั้งเสาร่วมนอกและเสาร่วมใน

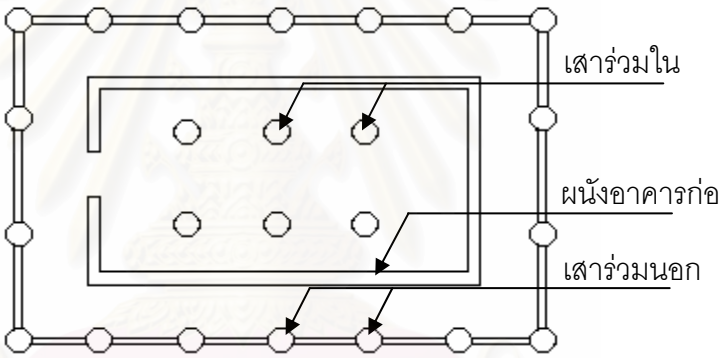
นอกจากนี้ ที่วัดสุวรรณาวาส พบว่าเสาอิงยังทำหน้าที่รับน้ำหนักด้วย โดยมีเสาอิงกว้าง 0.7 เมตร [66] ซึ่งเสานี้จะช่วยให้ผนังมีเสถียรภาพมากขึ้น เสมือนเป็นโครงให้แผ่นผนังและรับน้ำหนักจากโครงหลังคาร่วมกับผนัง เพราะน้ำหนักจากส่วนบนนั้นกระจายแผ่ตลอดผนังอาคาร หรือบางแห่งส่วนบนเป็นหลังคาก่ออิฐ น้ำหนักของโครงสร้างส่วนบนทั้งหมดจึงตกลงสู่ผนังตลอดความยาว และถ่ายลงสู่เสาอิงด้วย

ส่วนที่ ตำหนักวัดเจ้าย่า [62] นั้นมีเสาอิงติดผนังซึ่งทำหน้าที่รองรับน้ำหนักพื้นไม้กระดานชั้นบน ดังนั้น จึงสันนิษฐานได้ว่าน้ำหนักของพื้นไม้ และตง จะถ่ายลงสู่เสาโดยตรง เว้นเสียแต่ว่ากระดานพื้นไม้จะวางบนผนังโดยตรง ซึ่งจะทำให้น้ำหนักกระดานถ่ายลงสู่ผนัง และมีเพียงกระดานที่วางตรงตำแหน่งของเสาอิงเท่านั้นที่ถ่ายลงสู่เสาอิง แต่เป็นไปลักษณะน้ำหนักกระจายตลอดผนัง มิได้เป็นการใช้คานถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา

ผนังในระบบโครงสร้างแบบนี้ยังคงมีความหนาอยู่ แต่โดยรวมจะมีความหนาน้อยกว่าแบบผนังรับน้ำหนัก อาจจะหนาเพียง 0.4 เมตร เช่นที่ อุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม [14] ก่อด้วยวัสดุก่อเช่นอิฐ หรือศิลาแลง ส่วนเสาก่อด้วยวัสดุก่อเช่นกัน มีทั้งเสากลม เสาแปดเหลี่ยม และเสาสี่เหลี่ยม ขนาดตั้งแต่ 0.4 – 0.72 เมตร [67] ซึ่งเกิดจากวัสดุก่อรูปร่างต่างๆ มาก่อ

ประกอบกัน ดังจะกล่าวในหัวข้อการก่อเสาต่อไป บางแห่งเป็นเสาไม้ แต่เสาในสมัยอยุธยาไม่นิยมใช้ไม้ในการก่อสร้างมากนัก ซึ่งอาจเป็นเพราะช่างอยุธยาไม่แน่ใจในกำลังรับน้ำหนักของไม้ หรืออาจจะเพราะไม้ที่มีหน้าตัดใหญ่พอที่จะนำมาทำเสาได้นั้น หายากในบริเวณที่ก่อสร้าง

- *ระบบเสา-คาน* เป็นระบบที่พบน้อยกว่าระบบอื่นในสมัยอยุธยา การใช้ระบบนี้มักใช้เสามากกว่า 2 แถว คือมีทั้งเสารับโครงสร้างหลังคาช่วงกลาง และเสารับหลังคาช่วงริม หรือชายคา ดังรูป 5.34 เพราะหากมีเสารับโครงสร้างหลังคาเพียงคู่เดียว จะทำให้อาคารมีขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากขนาดและความยาวของขื่อไม้ในโครงสร้างหลังคาด้วย โดยเสาที่ใช้มีทั้งเสาวัสดุก่อและเสาไม้ ทั้งหน้าตัดกลม แปดเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยม ขนาดของเสาไม้ที่พบที่วิหารวัดเจ้าย่ามีทั้งขนาดเล็ก 0.3 x 0.3 เมตร และขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ซึ่งเสาที่รับโครงสร้างส่วนกลางมักจะมีขนาดใหญ่กว่าเสาที่รับโครงสร้างชายคา



รูปที่ 5.34 ผังเสารับน้ำหนักโครงสร้างหลังคาแบบ 4 แถว

ผนังในอาคารที่ใช้ระบบเสา-คานจะมีความหนาน้อย โดยก่อให้หนาเพียงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเองได้โดยไม่พังทลายเท่านั้น เช่นที่ วิหารวัดเจ้าย่า ซึ่งก่ออิฐผนังหนาเพียง 0.30-0.32 เมตรเท่านั้น [70] รูปแบบผังโครงสร้างจึงไม่แตกต่างจากโครงสร้างระบบผสมนัก

การใช้ระบบเสาและคานในสมัยอยุธยาจะค่อนข้างแตกต่างจากสมัยสุโขทัย โดยในสมัยสุโขทัยเมื่อใช้ระบบเสา-คานในการรับน้ำหนักมักไม่ก่อผนัง ปล่อยอาคารโล่งเป็นอาคารโถงส่วนในสมัยอยุธยา ถึงแม้จะใช้ระบบเสา-คานในการรับน้ำหนัก แต่ก็ยังมีผนังอาคาร ทำให้เป็นอาคารแบบปิด และมีการเปิดช่องเปิดแบบหน้าต่างมากขึ้นด้วย

5.4.2 โครงสร้างช่องเปิดของอาคาร การทำช่องเปิดในสมัยนี้ก้าวหน้าขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยช่องเปิดในสมัยนี้ แบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่

ก) ช่องเปิดแบบลูกมะหวด ที่อุโบสถวัดธรรมิกราช วิหารวัดพระศรีสรรเพชญ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอุโบสถวัดไลย์ จังหวัดลพบุรี [57] พบว่ายังคงก่อช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นช่องแสงแคบๆ ยาวในแนวตั้ง ความกว้างของช่องแสงไม่เกินความยาวของอิฐ เนื่องจากใช้อิฐก่อวางปิดช่องแสงด้านบนและรับน้ำหนักโครงสร้างผนังด้านบนด้วย อาคารที่ใช้ช่องแสงแบบนี้จะเป็นอาคารที่มีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก เนื่องจากโครงสร้างแบบนี้การเปิดช่องกว้างจะทำลายความแข็งแรงของผนังรับน้ำหนักมากกว่า ดังนั้นจึงจะพบช่องแสงแบบลูกมะหวดในอาคารที่ผนังหนา อาจมีเสาอิงหรือไม่มี อาคารจะค่อนข้างทึบ

ข) ช่องเปิดอิฐก่อแบบสันเหลื่อม การเจาะช่องเปิดแบบนี้ยังมีให้เห็นอยู่มาก โดยเฉพาะในการก่อสร้างปรางค์ เช่นที่ปรางค์วัดราชบูรณะ โดยหลักการและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากสมัยก่อนหน้านี้นัก พบทั้งในเจดีย์และอาคารประเภทโบสถ์ วิหาร เช่นที่ เจดีย์วัดจงกลมที่ใช้สันเหลื่อมในการก่อช่องภายในเจดีย์เพื่อประดิษฐานพระพุทธรูปหรือเจดีย์เล็ก [64] หรือที่อุโบสถวัดมเหยงคณ์ [65] เป็นต้น

ค) ช่องเปิดแบบซุ้มโค้งกลม *Arch* มักใช้ในการเจาะช่องประตู ไม่ว่าจะเป็นประตูโบสถ์ วิหาร หรือประตูเข้าวัด เช่นที่โบสถ์วัดไลย์ จังหวัดลพบุรี [57] โดยช่องเปิดแบบนี้เป็นช่องเปิดแบบที่พบในล้านนา คือมีลักษณะซุ้มด้านบนเป็นครึ่งวงกลม โดยการเรียงอิฐหรือหินที่มีขนาดเท่าๆ กัน เรียงให้แน่นตามแนวสันโค้ง มีแนวก่อพุ่งเข้าหาศูนย์กลางของวงกลมและมีก้อนหินก้อนกลางของโค้งที่เรียกว่า keystone ซึ่งอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าก้อนอื่นๆ อัดตรึงอยู่คล้ายลิ่ม โดยวิธีนี้ อาจไม่ต้องใช้วัสดุสอระหว่างอิฐก็ได้ เพราะแรงอัดระหว่างอิฐจะทำให้โครงสร้างมีความมั่นคง ดังรูป 5.35

รูปที่ 5.35 ซุ้มโค้งที่อุโบสถวัดไลย์ [57]

ง) เสาเอ็น-คานทับหลัง เป็นการเจาะช่องเปิดที่พัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในสมัยนี้ โดยการเจาะประตู หน้าต่างจะใช้คานไม้รองรับน้ำหนักอิฐส่วนบน เรียกว่า คานทับหลัง ซึ่งมักใช้แผ่นไม้เนื้อแข็งใหญ่หนา และคานทับหลังจะวางอยู่บนเสาเอ็นซึ่งอาจเป็นไม้ หรืออิฐก่อในลักษณะเสาอิง หรืออาจจะวางอยู่บนผนังอาคารก็ได้ เช่น อุโบสถวัดจงกลม [64] และอุโบสถวัดเกาะแก้วสุทธาราม [14] โดยร่องรอยคานไม้บนช่องเปิดแสดงดังรูป 5.36

นอกจากนี้ มีบางแห่งที่สร้างช่องเปิดด้วยหินทรายซึ่งคล้ายกับการเจาะช่องเปิดของอาคารในสมัยก่อนสุโขทัย นั่นคือที่วัดมหาธาตุ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [13] การทำช่องเปิดแบบนี้ไม่ได้พบเฉพาะในอาคารประเภทที่ใช้สอยภายในอาคารได้เช่น โบสถ์ วิหาร เท่านั้น ยังพบในการก่อสร้างปรางค์ เจดีย์ด้วย

รูปที่ 5.36 ร่องรอยคานไม้เหนือช่องเปิด [57]

จากการขุดแต่งอุโบสถที่วัดจงกลม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้ระบุว่าที่กรอบหน้าต่างและประตู มีรูเต้าสำหรับบานไม้ปิด-เปิดได้ [64] และที่อาคารในพระนารายณ์ราชนิเวศน์ก็เช่นกัน [57] ดังนั้น ในสมัยนี้การเจาะช่องหน้าต่าง ประตู น่าจะพัฒนาถึงการใช้บานหน้าต่างเปิดปิดได้แล้ว แต่ทั้งนี้ ไม่มีการพบหลักฐานบานประตู เพราะหากมีจริงและทำด้วยไม้ ก็คงจะสลายไปตามกาลเวลาแล้ว เหลือแต่ร่องรอยในกรอบโครงสร้างให้สันนิษฐานกันต่อไป

จ) ช่องเปิดแบบโค้งแหลม ที่พระตำหนักในวัดกุฎีดาว ซึ่งเป็นอาคารสองชั้นมีการเจาะช่องโค้งแหลมหลายช่องเรียงรายกัน ดังรูป 5.37 รวมถึงโบสถ์วัดกุฎีดาวด้วย [57] ซึ่งโค้ง

แหลม แท้ที่จริงมีมาแต่สมัยก่อนหน้านี้แล้ว แต่เป็นการก่อสร้างโดยใช้ลักษณะการก่ออิฐแบบสันเหลื่อมมาก่อให้เป็นรูปโค้งแหลมเท่านั้น แต่ในสมัยนี้ ได้มีชาวตะวันตกนำเทคนิคการก่อโค้งแหลมแบบที่ใช้สันอิฐรับแรงเข้ามาเผยแพร่ โดยลักษณะการก่อเรียงอิฐ จะคล้ายกับแบบสันโค้งกลม แต่ตรงกลางกลับก่อให้เป็นรูปปลายแหลมขึ้นไป ลักษณะโค้งแบบนี้จะแตกต่างจากช่องเปิดแบบสันเหลื่อมตรงที่ไม่ใช้เนื้อที่ในแนวตั้งมากเหมือนอย่างการก่อสันเหลื่อม ดังนั้นจึงเปิดช่องได้กว้างกว่าแบบสันเหลื่อม ดังแสดงในรูป 5.37

รูปที่ 5.37 ช่องโค้งแหลมที่พระตำหนักวัดกุฎีดาว [57]

5.4.3 **วัสดุก่อสร้างตัวอาคาร**

ก) อิฐ วัสดุหลักของการก่อสร้างอาคารในสมัยสุโขทัยยังคงเป็นอิฐ ใช้เป็นวัสดุก่อผนัง เสา รวมถึงสถาปัตยกรรมส่วนต่างๆ โดยอิฐในสมัยนี้มีขนาดใหญ่กว่าสมัยสุโขทัย

ข) ศิลาแลง ในสมัยนี้มักไม่ใช้ศิลาแลงเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างอาคาร แต่จะใช้เสริมโครงสร้างส่วนต่างๆ เช่น ฐานอาคาร ก่อแทรกในผนังอาคาร หรือเสาอาคาร เป็นต้น เช่นที่ปรางค์วัดพระราม ใช้ศิลาแลงขนาด 40 x 70 x 37.5 เซนติเมตร [13] ในการก่อฐาน วัดสุวรรณาวาสใช้ศิลาแลงขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 70 – 100 เซนติเมตร และหนาประมาณ 20 เซนติเมตร [66] ส่วนอาคารที่ใช้ศิลาแลงเป็นวัสดุหลัก ได้แก่ ปรางค์วัดพระศรีรัตนมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี ปรางค์วัดมหาธาตุ และปรางค์วัดราชบูรณะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นต้น ซึ่งการที่ช่าง

ในสมัยอยุธยาไม่นิยมใช้ศิลาแลงในการก่อสร้าง อาจเนื่องจากอยู่ห่างจากแหล่งศิลาแลง และขนย้ายลำบาก จึงใช้อิฐ และไม้ สะดวกกว่า ขนาดของศิลาแลงที่พบไม่แน่นอน มีหลายขนาดคละกัน สันนิษฐานว่าเนื่องจากการตัดหินมาใช้นั้นทำได้ยาก จึงไม่อาจตัดให้เป็นก้อนขนาดที่ต้องการได้

ค) ไม้ ถูกใช้เป็นเสาและคานรองรับโครงสร้างหลังคา แม้ไม่ได้พบไม้จากการสำรวจ แต่พบร่องรอยเช่น รูบนเสาศิลาแลง ซึ่งแสดงถึงการใช้ไม้เป็นคานได้อย่างดี ร่องรอยเสาไม้ที่พบที่วิหารวัดเจ้าย่ามีขนาด 0.30 x 0.30 เมตร รับโครงสร้างหลังคาด้านนอกอาคาร ส่วนด้านในมีเสากลางเป็นไม้หน้าตัดกลม ขนาด 0.70 เมตร ซึ่งการใช้เสาทั้งสองกลุ่มนี้รับน้ำหนักทำให้ผนังของวิหารบางเพียง 0.3 เมตร และในสมัยนี้ยังนิยมทำช่องเปิดแบบเสา-คาน จึงพบว่ามีการใช้ไม้เป็นคานทับหลังและกรอบของช่องเปิดเช่น ที่ตำหนักมเหยงคณ์ [101] พบร่องรอยรูเต้าสำหรับเสียบคานไม้บริเวณที่คาดว่าเป็นช่องหน้าต่าง ขนาดรูกว้าง 0.2 เมตร และยาว 0.38 เมตร และขนาดรูเสียบคานไม้รองรับพื้นชั้นสองขนาดความกว้าง 0.18 เมตร และยาว 0.30 เมตร

นอกจากนี้ สมัยอยุธยายังมีการนำไม้มาใช้เป็นแผ่นกระดานวางพื้นชั้นสองด้วย เนื่องจากในสมัยนี้มีการพัฒนาอาคารเป็นสองชั้นแล้ว โดยเฉพาะตำหนักหลังสมัยพระนารายณ์ เช่นที่ตำหนักมเหยงคณ์ ตำหนักวัดเจ้าย่า [62]

ง) เหล็ก ตะปู ตะปูที่พบในสมัยนี้มีหลายแบบได้แก่

- <u>*ตะปูจีน*</u> มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ปลายด้านหนึ่งแหลม อีกด้านหนึ่งม้วนเป็นหัวตะปู มีขนาดต่างๆ กันเพื่อใช้ในงานตอก พบขนาดยาวตั้งแต่ 3 – 14 เซนติเมตร หนา 0.4 – 1.02 [72] [71] ขนาดตะปูที่พบในแหล่งโบราณสถานแห่งต่างๆ แสดงดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ขนาดตะปูจีนที่พบในโบราณสถานสมัยพระนครศรีอยุธยา

โบราณสถาน	**ความหนา***	**ความยาว***
วัดตะไกร	-	12 - 14
วัดพระยาแมน	0.8	7 – 11.5
วัดจงกลม	0.4	3 - 7
วัดเซ ขนาดที่ 1	1.02	13
วัดเซ ขนาดที่ 2	1	15
วัดเซ ขนาดที่ 3	0.8	7

ที่มา: [64], [69], [71], [100]

*หน่วยเป็นเซนติเมตร

- *ตะปูกลม* เป็นแท่งทรงกระบอกปลายแหลม หัวกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.7 เซนติเมตร ยาว 10 – 15 เซนติเมตร พบที่ระราชวังหลวง [102]

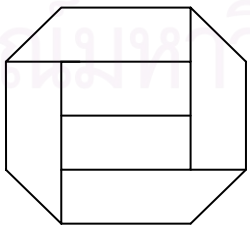
- *ตะปูปลิง* ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมปลายแหลมทั้งสองด้าน และหักงอทั้งสองด้าน ใช้ยึดรอยต่อของไม้ให้แข็งแรงยิ่งขึ้น [71] ที่วัดพระยาแมนพบขนาดหนา 0.5 เซนติเมตร ยาว 7 – 9.5 เซนติเมตร [69] ที่วัดจงกลมพบขนาด 0.2 เซนติเมตร ยาว 7 – 13 เซนติเมตร [64]

- *เหล็กยึดโครงสร้าง* มีหลายรูปแบบ เช่น แท่งยาวแหลม งอเป็นห่วง หรือปลายงอด้านเดียวเป็นต้น และยังมีตะปูรูปทรงคล้ายพีรามิดยาวๆ แต่หัวกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.3 เซนติเมตร ด้านของพีรามิดกว้างประมาณ 0.6 - 1.0 เซนติเมตร ยาว 11 – 12 เซนติเมตร ซึ่งสันนิษฐานว่าใช้ยึดโครงสร้างไม้

จ) วัสดุเชื่อมประสาน ในสมัยนี้พบว่าโครงสร้างภายในที่มองไม่เห็น มักใช้ดินเหนียวผสมแกลบย่ำจนเละ เป็นวัสดุประสานอิฐ ส่วนภายนอกใช้ปูนขาว ทราย น้ำอ้อย หนังสัตว์ และเปลือกไม้ชนิดที่มีน้ำฝาดออกเมื่อแช่น้ำ เช่นไม่ประดู่ โดยมีการผสมไม่ต่างจากสมัยก่อนนี้

5.4.4 เทคนิคการก่อสร้างตัวอาคาร

ก) เทคนิคการก่อเสา เสาที่พบมากในสมัยนี้ คือเสาอิฐก่อ เกิดจากการนำอิฐรูปร่างต่างๆ มาก่อเรียงกันขึ้นไป สอด้วยดินหรือปูน โดยเสาอิฐก่อนี้ มีรูปร่างต่างๆ ได้แก่ เสากลม เสาแปดเหลี่ยม เสาสี่เหลี่ยม โดยเสากลมที่พบที่อุโบสถวัดพระงาม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ซึ่งก่อด้วยอิฐ 8 เหลี่ยมด้านไม่เท่า หนาก้อนละ 18 เซนติเมตร [67] เสาแปดเหลี่ยม เช่น ที่อุโบสถวัดช้างซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.70 เมตร [61] และที่วิหารวัดสุวรรณาวาส พบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และอิฐที่ใช้ก่อเสานี้กว้าง 16 เซนติเมตร และยาว 36 เซนติเมตร โดยตัดมุมมุมหนึ่งเหลือด้านยาว 25 เซนติเมตร ซึ่งจะหันด้านนั้นเป็นด้านของเสา หนา 5 ซม. [65] ดังรูป 5.38



รูปที่ 5.38 ลักษณะการเรียงอิฐเป็นเสารูปแปดเหลี่ยม

ส่วนเสาสี่เหลี่ยมเป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด โดยเฉพาะเสาอิง เสาอิฐก่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่พบมีขนาดตั้งแต่ 0.4 x 0.4 เมตร จนถึง 0.95 x 0.95 เมตร [67] และมีเสาอิฐก่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมักเป็นเสาอิงที่ยื่นออกจากผนัง เช่นที่ตำหนักวัดเจ้าย่า มีความกว้าง 0.7 เมตร และยื่นออกจากผนัง 0.5 เมตร [62] และที่วิหารวัดสุวรรณาวาสเสาอิงมีความกว้าง 0.7 เมตร แต่ยื่นออกจากผนังเพียง 0.1 เมตร [66] ซึ่งทั้งสองแห่งนี้ไม่ได้ระบุความหนาผนัง ส่วนที่อุโบสถวัดพระงาม มีเสาอิงกว้าง 0.54 เมตร ไม่ได้ระบุระยะยื่นจากผนัง สันนิษฐานว่ายื่นเพียงเล็กน้อย โดยผนังหนา 0.9 เมตร [67]

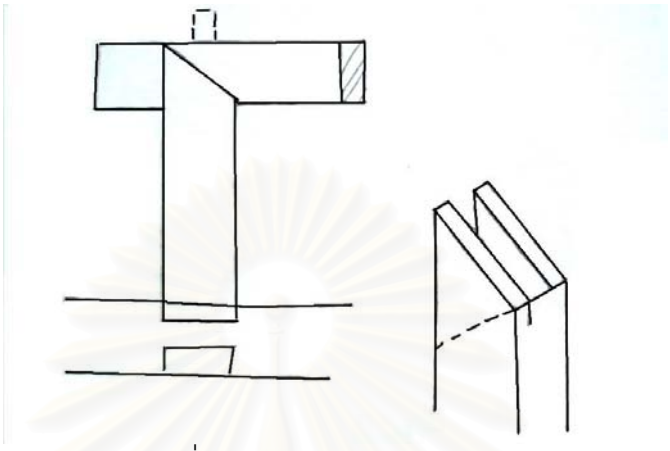
การก่อเสาพบว่ามีการก่อโคนใหญ่กว่าส่วนปลาย คือเสาจะมีลักษณะสอบขึ้นไป ซึ่งมีผลดีตามหลักของโครงสร้าง เพราะเสาที่อยู่ส่วนล่างจะต้องรับน้ำหนักของวัสดุก่อเสาส่วนบนด้วย ดังนั้นเสาส่วนล่างจึงควรมีหน้าตัดใหญ่กว่าเสาส่วนบน และการที่ลดขนาดของเสาส่วนบนเป็นการช่วยให้วัสดุที่อยู่ด้านล่างรับน้ำหนักน้อยกว่าการก่อเท่ากันทั้งหมด และเสามีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย เพราะการที่วัตถุมีฐานใหญ่กว่าส่วนยอดในลักษณะสามเหลี่ยม ย่อมมีเสถียรภาพดีกว่าวัตถุที่ฐานและยอดเท่ากัน

ข) เทคนิคการก่อผนัง การก่อผนังในสมัยอยุธยามีสิ่งที่สำคัญคือ มีเทคนิคการก่อแบบล้มเอียงเข้าภายในอาคาร โดยพบหลักฐานที่อุโบสถวัดใหญ่สุวรรณาราม ซึ่งผนังทุกด้านจะเฉียงล้มเข้าภายในอาคารในองศาเดียวกันทุกด้าน คือเอียงถึง 0.22 เมตรจากเส้นตั้งฉาก ซึ่งในอุโบสถนี้พบว่าทั้งเสาร่วมใน และเสาร่วมนอกของอาคาร ก็ก่อล้มเข้าภายในอาคารด้วยองศาเดียวกัน [14] ซึ่งการที่เส้นตั้งของอาคารล้มเข้าหาศูนย์กลางนี้มีผลทางโครงสร้างคือ ทำให้โครงสร้างมีลักษณะคล้ายโครงสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างที่มีเสถียรภาพมากที่สุด และแรงอัดจากโครงสร้างส่วนบนจะช่วยยึดโครงสร้างไม่ให้แบะออก ซึ่งเหมาะกับอาคารที่ก่อด้วยวัสดุก่อที่มีความสามารถในการรับแรงอัด เช่น อิฐ ศิลาแลง

ค) เทคนิคการเรียงอิฐ เทคนิคการเรียงอิฐที่พบในสมัยนี้ พบว่าโดยรวมค่อนข้างสอดคล้องกับระบบสากล โดยเฉพาะระบบที่พบมากที่สุดคือ ระบบ Flemish Bond หรือก่อเรียงแบบ สั้นสลับยาวในแถวเดียวกัน และระบบ Stretcher คือก่อหันด้านยาวออกทุกแถว โดยส่วนใหญ่จะมีระยะเยื้องของแถวถัดไป ¼ ของความยาวอิฐ และระบบ English Bond หรือการก่อแบบสั้น 1 แถว สลับ ยาว 1 แถว ซึ่งพบน้อยลงตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงพบการก่อเรียงอิฐแบบไม่มีระบบอยู่ด้วย

ง) เทคนิคการเข้าไม้กรอบประตู หน้าต่าง เนื่องจากในสมัยนี้มีการใช้ไม้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างช่องเปิด จึงมีเทคนิคการเข้าไม้เช่นที่ปรางค์วัดพุทไธสวรรย์ และปรางค์

วัดพระราม พบการเข้าไม้แบบปากกบที่กรอบประตูของปรางค์ [13] โดยการเข้าไม้แบบปากกบมีลักษณะดังรูป 5.39



รูปที่ 5.39 การเข้าไม้แบบปากกบ

5.5 โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์

การก่อสร้างสมัยนี้เป็นช่วงที่มีพัฒนาการสูงมาก เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะการศึกษา ซึ่งเป็นระบบแบบแผนมากขึ้น ทำให้เกิดการคิดค้น และสร้างสรรค์เทคโนโลยีการก่อสร้างได้มากขึ้นด้วย โดยการก่อสร้างสมัยรัตนโกสินทร์มีลักษณะดังนี้

5.5.1 รูปแบบโครงสร้างหลัก

ก) อาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อทึบ* โครงสร้างแบบนี้พบที่ป้อมพระสุเมรุซึ่งมีผนังป้อมเป็นกำแพงรับน้ำหนัก มีผนังหลายชั้น และแต่ละชั้นจะมีกำแพงอิฐก่อเชื่อมอยู่ด้วย เหมือนใยแมงมุม [81] ซึ่งทำให้โครงสร้างผนังแข็งแรง ไม่ล้มหรือแบะออกง่าย

เจดีย์ภูเขาทอง หรือพระบรมบรรพตนั้นก็ถือว่าเป็นผนังรับน้ำหนักแบบทึบ เพราะก่อสร้างโดยใช้ตุ่มดินเผาคว่ำถมจนเต็มแล้วถมช่องว่างด้วยทราย แล้วจึงก่อส่วนที่เป็นเจดีย์บนภูเขา [68] ซึ่งการกระทำแบบนี้ทำให้น้ำหนักของอาคารส่วนบนถ่ายลงสู่วัสดุที่อยู่ชั้นในล่างลักษณะมวลต่อเนื่องตลอด ถึงแม้ภายในตุ่มดินเผาที่คว่ำอยู่จะเป็นช่องว่าง แต่ตัวตุ่มดินเผาเองก็เป็นตัวส่งถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นถัดไป ซึ่งถือเป็นความฉลาดของช่างโบราณที่รู้จักนำวัสดุโปร่งน้ำหนักเบามาถมแทนการก่ออิฐหรือศิลาแลงตลอดทั้งองค์

นอกจากการก่อทึบเป็นองค์เจดีย์แล้ว ยังมีเทคนิคการใช้ท่อนซุงเป็นแกนเจดีย์ โดยการใช้ท่อนซุงหลายท่อนปักเป็นแกนและร้อยด้วยโซ่เหล็ก แล้วจึงก่ออิฐล้อมรอบแกน

เหล่านั้น เป็นรูปร่างเจดีย์ขึ้นมา [1] เทคนิคแบบนี้พบในการซ่อมแซมพระปฐมเจดีย์ในสมัยรัชกาลที่ 4 การตั้งแกนซุงแบบนี้อาจจะตั้งจากระดับปากระฆังขึ้นไปยังปล้องไฉน หรือถ้าหากองค์เจดีย์ขนาดใหญ่มาก อาจตั้งท่องซุงตั้งแต่ระดับฐานบัลลังก์จนถึงปล้องไฉน ดังรูป 5.40

รูปที่ 5.40 การใช้ท่อนซุงเป็นแกนองค์เจดีย์และใช้โซ่รัดรอบองค์เจดีย์ [1]

- *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อโปร่งมีโครงอิฐก่อภายใน* โครงสร้างเจดีย์หรือปรางค์ส่วนใหญ่ในสมัยรัตนโกสินทร์สันนิษฐานว่าจะใช้โครงสร้างแบบนี้ เช่นที่เจดีย์วัดพระเชตุพน ซึ่งได้มีการระบุว่ามีการอัญเชิญพระบรมธาตุเข้าไปบรรจุในห้องพระมหาเจดีย์ [76] แสดงว่าภายในองค์เจดีย์จะต้องมีห้องกรุโปร่งอยู่

ข) อาคารประเภทวิหาร โบสถ์ ศาลา ปราสาท พระที่นั่ง อาคารประเภทนี้ในสมัยรัชกาลที่ 1-2 นั้น การก่อสร้างเป็นไปอย่างรีบเร่ง จึงมักใช้ไม้ในการก่อสร้าง อาคารจึงอาจไม่มั่นคงแข็งแรงพอ [6] ในเวลาต่อมาเมื่อบ้านเมืองสงบสุขจากการสู้รบแล้ว ช่วงรัชกาลที่ 3 จึงมีการบูรณะซ่อมอาคารต่างๆ รวมถึงก่อสร้างใหม่ทดแทน เพื่อให้มีความมั่นคงถาวรมากขึ้น นอกจากนี้อาคารในช่วงสมัยรัตนโกสินทร์ยังได้รับอิทธิพลจากชาติต่างๆ มากขึ้นกว่าสมัยก่อน เนื่องจากการติดต่อทางการค้าและทางการทูตกับต่างชาติ โดยเฉพาะประเทศทางตะวันตก และประเทศจีน

- *ผนังรับน้ำหนัก* รูปแบบโครงสร้างนี้ยังคงมีอยู่โดยเฉพาะช่วงสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น โดยใช้อิฐก่อสอปูนแทบทั้งสิ้น [16] อาคารที่รับอิทธิพลจากตะวันตกก็ยังเป็นผนังรับน้ำหนักอยู่ จนกระทั่งปลายสมัยรัชกาลที่ 5 จึงเริ่มลดลง เนื่องจากการแพร่หลายของคอนกรีตและเครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้างจากตะวันตกเข้ามาในประเทศไทย

อาคารที่ใช้ระบบผนังรับน้ำหนัก ใช้เทคนิคเท่าเทียมกับปลายสมัยอยุธยา ใช้การก่ออิฐสอปูน แต่ผนังไม่ได้ล้มเข้าหาศูนย์กลางอาคารอย่างในสมัยอยุธยา เส้นแนวตั้งมีแนวตั้งฉากกับพื้นดิน เช่นที่พระนครคีรี [74] และกุฏิที่ก่อสร้างขึ้นในช่วงรัชกาลที่ 2 ถึงรัชกาลที่ 4 ซึ่งความหนาผนังประมาณ 35 – 50 เซนติเมตร [16] อย่างไรก็ตาม ยังพบอาคารที่มีผนังหนาถึง 1 เมตร ที่กุกิพระครูฐานานุกรม สังเกตว่าความหนาของผนังรับน้ำหนักในสมัยนี้จะน้อยกว่าในอดีต ส่วนหนึ่งเกิดจากระบบโครงสร้างหลังคาสมัยนี้เป็นโครงสร้างจั่วมากกว่าหลังคาอิฐก่อ นอกจากนี้อาคารจำพวกกุฏินั้นมีขนาดเล็ก ดังนั้นขนาดและน้ำหนักของหลังคาจึงลดลงไปด้วย

ส่วนการทำช่องเปิดที่พบในอาคารที่มีผนังรับน้ำหนักในสมัยนี้ พบการทำช่องเปิดทุกแบบที่เคยมีมา นั่นคือช่องเปิดแบบช่องแสงแนวตั้ง ช่องเปิดแบบเสาเอ็น-คานทับหลัง ช่องเปิดแบบสันเหลื่อม และช่องเปิดแบบสันโค้งกลมด้วย

- *<u>ระบบผสม</u>* อาคารในสมัยนี้พบว่าใช้โครงสร้างระบบผสมค่อนข้างน้อย เช่นโบราณสถานบ้านพระยาวิชิตสงคราม จังหวัดภูเก็ต [83] ซึ่งมีกำแพงหนา และเสาก่ออิฐสอปูนร่วมกันรับน้ำหนักโครงสร้างหลังคา มีทั้งแบบเสาร่วมในและเสาร่วมนอก และยังมีเทคนิคที่เพิ่มขึ้นมาคือ การก่ออิฐหุ้มเสาไม้ เช่น และที่กลุ่มอาคารพิมานเพชรมเหศวร์ ศาลาราชวัลลภ หอจตุเวทปริตพัจน์ ในพระนครคีรี ซึ่งมีเสาไม้หน้าตัดกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.16 – 0.20 เมตร และก่ออิฐหุ้มให้เสามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 – 0.70 เมตร หรือใช้ไม้เสริมในผนังรับน้ำหนัก โดยใช้ไม้แทรกอยู่ภายในผนัง แล้วก่อผนังหนา 0.36 - 0.60 เมตรโอบล้อมแกนไม้เอาไว้ แล้วใช้ไม้วางพาดระหว่างเสารับน้ำหนัก และก่ออิฐบนไม้เพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างหลังคา [72]

- *<u>ระบบเสา-คาน</u>* เป็นระบบที่พบมากที่สุดในช่วงรัตนโกสินทร์ โดยเฉพาะในช่วงรัชกาลที่ 1 - 2 ซึ่งการก่อสร้างอาคารที่สำคัญใช้โครงสร้างไม้เพื่อความรวดเร็วในการก่อสร้าง จึงมักใช้ระบบเสา-คาน โดยเสาในสมัยนี้มีทั้งอิฐก่อ ศิลาแลง และไม้ โดยมากมักใช้ไม้และก่อผนังชนเข้ากับเสาหรือใช้แผ่นไม้เป็นผนังก็มี และยังมีการใช้เสาไม้แล้วใช้อิฐก่อหุ้มเสาไม้ไว้ด้วย เช่นที่อุโบสถวัดราชบพิธสถิตมหาสีตาราม [79] เป็นต้น โดยที่อุโบสถนี้จะก่ออิฐล้อมเสาไม้ไว้และก่อผนังเข้ามาชนเหมือนกับลักษณะของเสาอิง แต่โครงหลังคาจะพาดทับตรงเสาอิง ดังนั้นโครงสร้างส่วนบนจะถ่ายน้ำหนักลงเสาโดยตรง จึงถือเป็นโครงสร้างระบบเสา-คาน

การก่ออิฐหุ้มเสาไม้นี้ ช่วยให้เนื้อไม้มีอายุยาวนานขึ้น และแกนไม้ยังช่วยให้การก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และการใช้ไม้ทำให้สะดวกในการเชื่อมกับหลังคา เนื่องจากคานที่ใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวกันนั่นคือ ไม้ [74] ซึ่งวิธีการก่อสร้างแบบนี้ พบในสมัยรัชกาลที่ 3 หลังจากที่การก่อสร้างเปลี่ยนแปลงจากการใช้โครงสร้างไม้ล้วนในช่วงรัชกาลที่ 1 - 2 กลายมาเป็นงาน

ก่อสร้างก่ออิฐสอปูน และถูกใช้จนกระทั่งรัชกาลที่ 4 ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านวัสดุก่อสร้างและอิทธิพลจากตะวันตกทำให้งานโครงสร้างไม้ลดลง

- *<u>ระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคอนกรีตอัดแรง</u>* ในรัชกาลที่ 5 เมื่อเฟอร์โรคอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถูกนำเข้ามาแพร่หลายในไทย ระบบเสาคานถูกนำมาใช้ คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาการก่อสร้าง ในช่วงสมัยรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 5 โดยในช่วงแรกยังต้องสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ สิ่งก่อสร้างในยุคนี้ได้แก่ พระที่นั่งอนันตสมาคม ซึ่งก่อสร้างขึ้นในช่วงปีพ.ศ. 2450 – 2458 [82] และสะพานเฉลิมโลก บริเวณประตูน้ำ [103]

ต่อมามีการผลิตคอนกรีตใช้ในประเทศไทยเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2458 โดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย ในช่วงแรกนี้คอนกรีตยังมีราคาแพงและช่างผู้มีความรู้ความชำนาญในการก่อสร้างงานคอนกรีตยังมีน้อย จึงยังไม่แพร่หลายมากนัก มีใช้ในวงจำกัดเฉพาะผู้มีฐานะดีและงานของหลวง เช่นสะพานปรีดาธำรง สะพานข้ามแม่น้ำป่าสักที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังรูป 5.41 สร้างเมื่อปีพ.ศ. 2483 จนแล้วเสร็จเมื่อพ.ศ. 2485 ซึ่งเป็นสะพานโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแห่งแรกในประเทศไทย เป็นรูปแบบ Arch หรือโค้งกลมช่วงสะพานยาว 64 เมตร มีการดึงเหล็กเพื่ออัดแรงคอนกรีตในคานรับพื้นสะพาน นับว่าเป็นความก้าวหน้าอย่างมากในสมัยนั้น เพราะแม้แต่ในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา คอนกรีตอัดแรงก็เพิ่งจะแพร่หลายในช่วงปีพ.ศ. 2494 แม้แต่ PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute) ก็เพิ่งเริ่มมีการกำหนดมาตรฐานงานคอนกรีตอัดแรงเมื่อปีพ.ศ. 2497 ดังนั้น การก่อสร้างสะพานปรีดีธำรงนี้ กรมทางหลวงจึงต้องสร้างเครื่องมือขึ้นใช้เองภายในประเทศ และต่อมาจึงได้นำเครื่องมือจากฝรั่งเศสมาใช้ คือเครื่อง ”เฟรสซิเนท” (Freyssinet ซึ่งเป็นชื่อของชาวฝรั่งเศสที่เข้ามาเผยแพร่หลักการของคอนกรีตอัดแรงสู่ประเทศไทยในปี พ.ศ. 2476) [103]

รูปที่ 5.41 สะพานปรีดีธำรง สะพานคอนกรีตอัดแรงแห่งแรกของประเทศไทย [103]

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะเป็นผู้รับเอาวิทยาการคอนกรีตอัดแรงจากต่างชาติเข้ามาใช้ตั้งแต่ยุคแรกเริ่ม และใช้มาอย่างต่อเนื่อง แต่ความเจริญก้าวหน้าในงานทางด้าน Pretension นั้น ประเทศไทยอาจจะกล่าวได้ว่า “ไม่มียุคใดเลยที่จะด้อยกว่าประเทศอื่นใด” [103] หลังจากนั้น ได้มีการพัฒนาวัสดุคอนกรีตและเหล็กในรูปแบบอื่นอีกมาก เช่นแผ่นพื้นสำเร็จรูป แผ่นพื้นอัดแรง ไปจนถึงบ้านสำเร็จรูปหรือ Prefab-house ในปี พ.ศ. 2496 และหลังจากนี้ก็ได้มีการใช้งานคอนกรีตอย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งงานอาคารและสาธารณูปโภค เช่น ถนน สะพาน เสาไฟฟ้า ท่อน้ำ เป็นต้น

5.5.2 **โครงสร้างช่องเปิดของอาคาร** การทำช่องเปิดในสมัยนี้ก้าวหน้าขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยช่องเปิดในสมัยนี้ แบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่

ก) ช่องเปิดแบบลูกมะหวด ช่องเปิดแบบนี้ยังพบอยู่บ้างในอาคารที่เป็นผนังรับน้ำหนัก เช่นที่กุฏิวัดกษัตริยาธิราชฯ ซึ่งก่อช่องเปิดแนวตั้งกว้างประมาณ 15 เซนติเมตร หรือเท่ากับความยาวของแผ่นอิฐ และช่อง(ลม)แสงนี้สูง 1.50 เมตร [16]

ข) ช่องเปิดแบบซุ้มโค้งกลม *Arch* หลังจากในสมัยพระนารายณ์มหาราชได้มีการนำเทคนิคการก่อมันโค้งกลมแบบอัดลิ่มมาใช้อย่างแพร่หลาย ในสมัยหลังจากพระนารายณ์จนกระทั้งรัตนโกสินทร์ตอนต้นนั้นเทคนิคนี้ก็ไม่ได้ถูกใช้มากนัก จนกระทั่งเมื่อรัชกาลที่ 4 ซึ่งประเทศไทยมีเหตุการณ์ทางการเมือง ที่ทำให้จำเป็นต้องปรับปรุงบ้านเมืองและคบค้ากับประเทศตะวันตกมากขึ้นอีกครั้ง ทำให้มีเทคนิควิทยาการและอารยธรรมจากตะวันตกเข้ามามากขึ้น ในลักษณะคล้ายกับสมัยพระนารายณ์ โดยเฉพาะการใช้สันโค้งกลมซึ่งการใช้สันโค้งในสมัยรัชกาลที่ 4 นี้ เป็นสันโค้งกลม (arch) ทั้งสิ้น แต่พัฒนาขึ้นมาอีกขั้นโดยการใช้สันโค้งกลมต่อเนื่องกันหลายโค้ง ดังรูป 5.42 เช่นที่พระนครคีรี จังหวัดเพชรบุรี [74] นารายณ์ราชนิเวศน์ จังหวัดลพบุรี [9] เป็นต้น

รูปที่ 5.42 โค้งต่อเนื่องในสมัยรัตนโกสินทร์[75]

ค) เสาเอ็น-คานทับหลัง รูปแบบช่องเปิดแบบนี้ในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้นนั้นไม่มีเทคนิคที่แตกต่างไปจากสมัยพระนครศรีอยุธยามากนัก ยังคงใช้ไม้ และอิฐก่อเป็นวัสดุในการก่อสร้าง [16] แต่ช่วงที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือช่วงที่มีการนำเข้าคอนกรีตเสริมเหล็กมาใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย ซึ่งได้นำมาใช้ในการก่อสร้างช่องเปิดแบบเสาเอ็นและคานทับหลังแทนการใช้ไม้และอิฐก่อ หรือศิลาแลงก่อ เนื่องจากคุณสมบัติการรับแรงอัดของคอนกรีตและสมบัติการรับแรงดึงของเหล็ก ซึ่งเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างเสาเอ็นสำหรับรับแรงอัดและคานรับแรงอัดและแรงดึง ดังนั้นจึงมีการใช้โครงสร้างช่องเปิดแบบนี้กันอย่างแพร่หลาย

ในสมัยนี้มีการใช้บานหน้าต่าง และประตูกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ไม้ในการก่อสร้าง มีการใช้เหล็กเป็นบานพับประตู พบหลักฐานที่ป้อมพระสุเมรุ [80]

5.5.3 วัสดุก่อสร้างตัวอาคาร

ก) อิฐ อิฐยังคงเป็นวัสดุหลักของการก่อสร้างอาคารในช่วงสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น อิฐที่พบที่ป้อมพระสุเมรุมีขนาด 15 x 28-30 x 5-9 เซนติเมตร [80] อิฐที่ใช้ในการก่อสร้างกุฏิก่ออิฐถือปูนในสมัยรัชกาลที่ 2-4 มีขนาดประมาณ 12 x 24 x 6 เซนติเมตร [16] ซึ่งบางส่วนเป็นอิฐที่ได้มากำแพงกรุงเก่าพระนครศรีอยุธยา และกำแพงเมืองธนบุรี ส่วนที่พระนครคีรีมีขนาดค่อนข้างมาตรฐานมากคือ 16.25 x 31.25 x 6.25 เซนติเมตร [74]

ข) วัสดุเชื่อมประสาน สมัยนี้ใช้ปูนก่อ และปูนฉาบ โดยทำจากปูนดิบผสมกับทราย และน้ำกาวที่เคี่ยวจากหนังควายเพื่อให้ส่วนผสมเหนียวขึ้น ส่วนปูนฉาบสมัยนี้ใช้ส่วนผสมของหินปูน ทราย น้ำกาวเช่นน้ำตาลทรายแดงหรือน้ำอ้อย และเนื้อกระดาษสาหรือกระดาษฟางเพื่อป้องกันการแตกร้าว [80]

การเตรียมปูนก่อและปูนฉาบนี้ใช้เวลานาน โดยเริ่มตั้งแต่การเผาหินปูนจนได้ก้อนปูนขาว แล้วนำไปหมักในน้ำอย่างน้อย 2 สัปดาห์ และถ้าจะให้เหนียวมากต้องหมักทิ้งไว้ 2 เดือนขึ้นไป และต้องเก็บรักษาไว้ใต้น้ำตลอด เมื่อจะใช้จึงค่อยนำปูนหมักนี้ขึ้นมาตำผสมกับวัสดุอื่นต่อไป ปูนฉาบจะมีสองแบบ คือปูนฉาบรองพื้นที่ใช้ฉาบชั้นใน หรือชั้นแรกๆ จะใช้ปูนหมักผสมทรายในอัตราส่วน 1:3 ฉาบหนาประมาณ 5 เซนติเมตร ส่วนชั้นนอกสุด จะใช้ปูนตำอย่างเดียว คือปูนหมักที่นำมาตำจนละเอียดที่สุด แล้วนำมาฉาบหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร [74]

ค) ไม้ มีการใช้มากในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้น ส่วนใหญ่ใช้ไม้เนื้อแข็งท่อนเดียวเกือบทั้งหมดเป็นไม้สัก แต่ส่วนเสามักใช้ไม้เต็ง ไม้จะถูกใช้ในโครงสร้างเสา คาน ตง พื้น เพดาน รวมถึงประตูหน้าต่างด้วย ในสมัยนี้มีการแปรรูปไม้เพื่อใช้ในการก่อสร้างได้อย่างมีคุณภาพ ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการดีกว่าสมัยก่อน และการบอกขนาดของหน้าไม้ใช้หน่วยสากลคือ

“เมตร” และ “นิ้วฟุต” มากขึ้น โดยก่อนหน้านี้ ส่วนใหญ่การวัดจะใช้สเกลนิ้วไทย ในหน่วย “ศอก” “วา” เป็นต้น โดยการเขียนขนาดหน้าไม้ใช้สัญลักษณ์ x เช่น หน้าไม้ขนาด 3 นิ้ว ใช้ 1” x 3” หรือ 3” x 1” เป็นต้น [95]

ง) คอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตเป็นวัสดุที่สะดวกในการก่อสร้างทั้งการผลิตและการขนย้าย สามารถก่อสร้างรูปแบบต่างๆ ตามต้องการได้ สามารถก่อสร้างองค์ประกอบของอาคารขนาดใหญ่และรับแรงอัดได้ดี ทั้งยังสามารถใช้เหล็กเสริมในการเพิ่มกำลังรับแรงดัดและแรงดึง ดังนั้นตั้งแต่มีการนำเข้าคอนกรีตมาใช้ในประเทศไทย จึงพบว่าได้มีการก่อสร้างที่ใช้คอนกรีตแพร่หลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่นพระราชวัง พระที่นั่ง อาคารที่ทำการต่างๆ รวมถึงสาธารณูปโภคและอาคารบ้านเรือนด้วย [103]

ง) เหล็ก เป็นวัสดุที่มีพัฒนาการมากในช่วงสมัยนี้ โดยเฉพาะการใช้โซ่เหล็กรัดรอบปากระฆังองค์พระปฐมเจดีย์ในสมัยรัชกาลที่ 4 ซึ่งถือว่าเป็นการใช้เหล็กในส่วนสำคัญของโครงสร้าง ซึ่งสมัยต่อมาได้มีการนำเหล็กรูปพรรณต่างๆ มาใช้เป็นโครงสร้างเสา-คาน

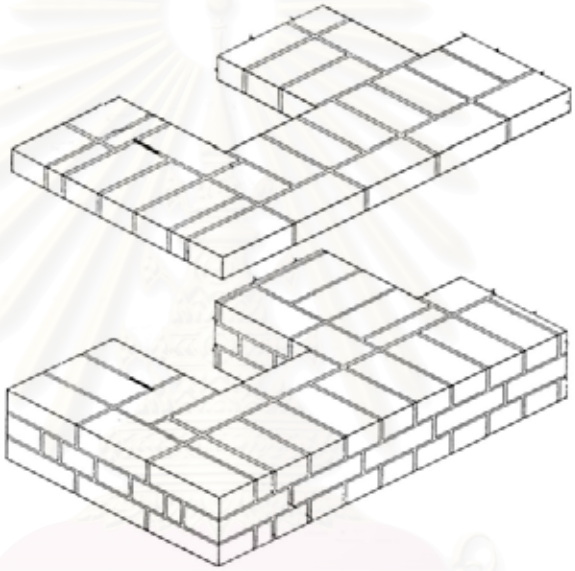
5.4.4 เทคนิคการก่อสร้างตัวอาคาร

ก) เทคนิคการก่ออิฐหุ้มเสาไม้ เทคนิคที่พบเพิ่มขึ้นจากสมัยก่อนหน้านี้คือ การก่ออิฐหุ้มเสาไม้ ทั้งนี้ ไม่มีหลักฐานที่ระบุเหตุผลแน่ชัดในการกระทำนี้ แต่อย่างไรก็ตาม การก่ออิฐหุ้มเสาไม้นี้ ก็มีผลต่อการก่อสร้างอยู่หลายข้อ ได้แก่ ช่วยทำให้โครงสร้างเสามีความคงทนมากขึ้น เพราะอิฐป้องกันไม้จากบรรยากาศ ป้องกันความชื้น และอันตรายจากการสัตว์ต่างๆ นอกจากนี้ การก่อสร้างด้วยโครงไม้ภายใน ยังทำให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าการก่ออิฐทั้งหมด เนื่องจากมีโครงหรือแกนเป็นแนวในการก่อ ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างวัสดุโครงสร้างไม้ที่ใช้เป็นคานและเสา ก็เชื่อมต่อกันได้ดีกว่าการเชื่อมต่อระหว่างวัสดุต่างชนิดกันด้วย

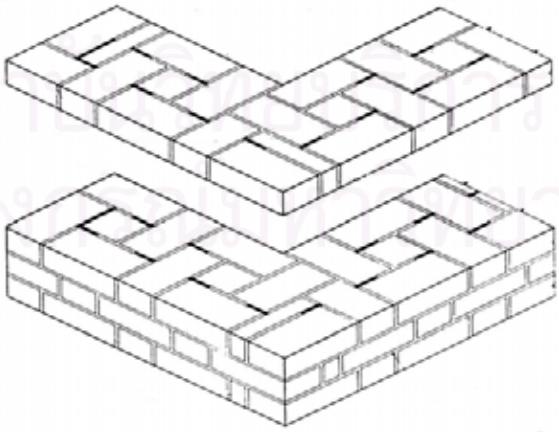
ข) เทคนิคการก่อผนัง การก่อผนังในสมัยนี้ พบว่ามีเทคนิคที่สำคัญคือ การก่ออิฐหุ้มแกนไม้ เพื่อเป็นผนังรับน้ำหนัก พบที่อาคารพิมานเพชรมเหศวร์ และอาคารอื่นๆ ในพระนครคีรี ซึ่งเหตุที่ใช้ไม้เป็นแกน สันนิษฐานว่าเพื่อความแข็งแรงและความสะดวกในการเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างไม้ด้วยกัน (คาน และส่วนประกอบโครงสร้างหลังคา) และอาจจะต้องการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างผนังในลักษณะเดียวกับการใช้เสาอิง เทคนิคการเรียงอิฐก่อผนังบริเวณที่ผนังสองแนวมาชนกันเป็นมุมฉาก ยังไม่มีเทคนิคที่ดีพอ จึงมีผลทำให้ผนังอาคารทั้งสองแยกออกจากกัน เนื่องจากผลของน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน เมื่อเวลาผ่านไปผนังแยกออกจากกันมากขึ้นจนเห็นเป็นรอยแตก (Crack) ชัดเจน [74] ซึ่งหากใช้การเรียงอิฐสอดร้อยระหว่างผนังเช่นใน

ระบบ English Bond หรือ Flemish Bond ดังรูป 5.43 และ 5.44 แล้วจะไม่เกิดปัญหานี้ขึ้น เนื่องจากการก่อที่ถูกต้องจะทำให้มีการเชื่อมต่อระหว่างอิฐอย่างดี

ค) เทคนิคการเรียงอิฐ เทคนิคการเรียงอิฐในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นนั้น ถือว่ายังไม่พัฒนาจากสมัยอดีตมากนัก ยังคงมีทั้งรูปแบบที่เป็นระเบียบ เช่น แบบ English Bond และ Stretcher Bond ซึ่งพบมากกว่าแบบอื่น แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่าการเรียงอิฐแบบอื่น [74] และแบบไม่เป็นระเบียบ ยังคงมีให้เห็น โดยเฉพาะการเรียงอิฐที่ไม่ระวังจังหวะการเรียงอิฐในแต่ละชั้น ทำให้รอยต่อแนวดิ่งซ้ำรอยกัน มีผลให้โครงสร้างฉีกขาดได้



รูปที่ 5.43 การก่อเรียงอิฐระหว่างแผ่นผนังที่มาชนกันเป็นมุมฉากในระบบ English Bond



รูปที่ 5.44 การก่อเรียงอิฐระหว่างแผ่นผนังที่มาชนกันเป็นมุมฉากในระบบ Flemish Bond

ง) เทคนิคการก่อโค้ง การใช้สันโค้งโครงสร้างที่สำคัญในสมัยนี้คือ การใช้โค้งต่อเนื่องหรือที่เรียกว่า Arcade เช่น อาคารในกลุ่มอาคารพระนครคีรี [74] ซึ่งได้แก่ อาคารหมายเลข 1 ของพระตำหนักสันถาคารสถาน ที่มี 3 โค้งติดกัน และที่พระที่นั่งเพชรภูมิไพโรจน์ มีแบบ 5 โค้งติดกัน จนกระทั่งถึงโค้งที่พระที่นั่งราชธรรมสภา ซึ่งมีถึง 24 โค้งต่อเนื่องกัน เป็นต้น ซึ่งการก่อโค้งคิดกันนั้น ใช้สันอิฐเรียงในแนวตั้ง โดยหันหน้าแคบออก เรียงอัดแน่นตามแนวโค้ง ที่พระนครคีรีนี้ ไม่พบการใช้อิฐลิ่ม หรือ Key Brick เหมือนอย่างโค้งสถาปัตยกรรมตะวันตกแท้ๆ

การใช้โค้งต่อเนื่องที่อาคารในพระนครคีรีนี้ ผู้ออกแบบยังขาดความเข้าใจถึงแรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ปลายโค้งตัวสุดท้าย จึงไม่ได้ออกแบบให้โครงสร้างที่อยู่ริมโค้งตัวสุดท้ายมีความหนาและแข็งแรงพอ เนื่องจากแรงถีบของโค้งแต่ละโค้งจะส่งมายังที่หัวเสา แต่เสาที่อยู่ระหว่างโค้งนั้น แรงถีบเหล่านี้จะหักล้างกันไป หากเสาที่อยู่ริมติดกับโค้งตัวสุดท้าย จะไม่มีแรงมาหักล้าง จึงต้องการขนาดที่ใหญ่ขึ้นเพื่อมาต้านทานแรงถีบนี้ ดังนั้นจึงจะพบว่า อาคารที่ใช้โค้งโครงสร้างแบบนี้ จะเกิดความเสียหายเกือบทุกหลัง ด้วยสาเหตุเดียวกัน [74]

5.6 วิเคราะห์โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย

โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทยสามารถสรุปตามลักษณะการรับน้ำหนักได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผนังรับน้ำหนัก และระบบเสา-คาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างได้ดังนี้

5.6.1 ผนังรับน้ำหนัก โครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักเป็นโครงสร้างที่ใช้ผนังก่อในการรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบน โดยวัสดุก่อจะต้องรับทั้งน้ำหนักของตัวเอง น้ำหนักของวัสดุก่อส่วนบน และน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา โครงสร้างแบบนี้จะมีความหนามาก ซึ่งความหนาจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโครงสร้างส่วนบน ความสูงของผนัง ระยะของผนังที่มาค้ำยัน หรือโครงสร้างค้ำยันอื่นๆ ช่วงกว้างของอาคาร ช่องเปิดบนผนัง และการก่อผนัง

โดยเฉพาะระยะของโครงสร้างที่มาค้ำยัน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้ต้องมีค้ำยันผนังทุกๆ ระยะ 18 – 24 เท่าของความหนาผนัง [114] ในอาคารโบราณสถานไทยได้ใช้ “เสาอิง” เป็นโครงสร้างที่ช่วยค้ำยันให้ผนังมีความแข็งแรงมากขึ้น รวมทั้งผนังด้านตั้งฉากก็เป็นตัวค้ำยันซึ่งกันและกันด้วย ส่วนการเปิดช่องของอาคารผนังรับน้ำหนัก ได้มีกำหนดว่าหากผนังมีการเปิดช่องมากกว่าร้อยละ 25 – 55 ของพื้นที่ผนังทั้งหมด ความหนาของผนังจะต้องเพิ่มขึ้น 10 เซนติเมตร [114] ซึ่งจากข้อมูลอาคารโบราณสถานที่ใช้ระบบผนังรับน้ำหนัก มักไม่เปิดช่องกว้างนักอยู่แล้ว จะเปิดเพียงช่องแสงแคบๆ เท่านั้น

นอกจากนี้ ชนิดและเทคนิคการก่อวัสดุยังเป็นสิ่งที่มีผลต่อโครงสร้างผนังรับน้ำหนักด้วย รูปแบบการเรียงอิฐที่เป็นระบบ เช่น Stretcher bond Common bond English bond และ Flemish bond ล้วนทำให้เกิดการถ่ายน้ำหนักอย่างทั่วถึงและเกิดการเชื่อมประสาน (Bond) ที่แน่นหนาทำให้ผนังมีลักษณะเป็นมวลทึบแน่น และมีกำลังรับน้ำหนักได้ดี ผนังรับน้ำหนักที่พบในอาคารโบราณสถานส่วนใหญ่ระบบการก่อเรียงอิฐยังไม่ชัดเจนนัก บางส่วนพบว่าคล้ายกับระบบดังกล่าวบ้าง แต่โดยรวมยังเป็นการก่อตามความสะดวกของช่าง ซึ่งทำให้มวลผนังแยกออกจากกัน กำลังรับน้ำหนักของผนังจึงลดลงด้วย โดยเฉพาะการต่อเชื่อมผนังสองแนวที่เชื่อมกันในแนวตั้งฉาก ซึ่งเมื่อไม่ประสานกันอย่างดีแล้ว แรงจากโครงสร้างส่วนบน อาจจะเป็นแรงถีบให้ผนังสองด้านแยกออกจากกันได้ ระบบผนังรับน้ำหนักในอาคารโบราณสถานไทย มีลักษณะวิธีการก่อสร้างหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียต่างกัน ดังนี้

ก*) *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อทึบ ตัวโครงสร้างที่มีน้ำหนักมาก และสิ้นเปลืองวัสดุก่อมาก การเสื่อมเสถียรภาพของโครงสร้างแบบนี้ มักเกิดจากการที่วัสดุก่อสร้างเช่น อิฐ ปูนสอ ซึ่งถูกแดด ฝน ทำให้เสื่อมสภาพ หรืออิฐอุ้มน้ำมากทำให้น้ำหนักของโครงสร้างเพิ่มขึ้นมาก และอาจเกิดการบวม ขยายปริมาตรดันโครงสร้างให้ขยายออกได้ รูปแบบนี้ทำให้โครงสร้างมีรูปร่างค่อนข้างทึบ อาคารแบบนี้มักมีฐานรากอิฐก่อ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายจากน้ำที่ซึมขึ้นมาจากฐานราก และทำให้วัสดุก่อเสื่อมคุณภาพลงไปได้

ข*) *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อกรอบและถมดินภายใน เป็นรูปแบบโครงสร้างที่ประหยัดวัสดุและเวลาก่อสร้างมากกว่าแบบแรก นอกจากนี้ยังใช้ดินเป็นแกนของโครงสร้างทำให้การก่ออิฐขึ้นเป็นรูปทรงง่ายขึ้นด้วย แต่การก่อแบบนี้มีข้อเสียคือ ดินภายในอาจก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของรากไม้ ทำให้โครงสร้างเสียหายได้ง่าย

ค*) *ผนังรับน้ำหนักแบบก่อโปร่ง ข้อเสียที่สำคัญของการก่อสร้างแบบนี้ คือการที่ความชื้นสามารถเข้าไปภายในอาคารได้ โดยอาศัยการควบแน่นกลายเป็นของเหลวภายใน ทำให้เกิดน้ำขังภายในอาคาร จึงเพิ่มน้ำหนักของโครงสร้าง และมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุก่ออีกด้วย โครงสร้างก่อโปร่งนี้มีความมั่นคงน้อยกว่าการก่อทึบหรือการบดอัดภายใน และหากผนังก่อมีความหนาน้อยเกินไปจะไม่สามารถพยุงผนังไว้ได้ ต้องอาศัยการใช้โครงสร้างไม้หรืออิฐยันผนังเอาไว้ ซึ่งจะช่วยยันโครงสร้างผนังไม่ให้ล้มลงมา

5.6.2 **ระบบเสา-คาน** โครงสร้างระบบนี้ น้ำหนักโครงสร้างส่วนบนจะส่งผ่านลงที่คาน จากน้ำหนักคานส่งลงมาที่โครงสร้างเสา และส่งถ่ายไปยังโครงสร้างฐานรากต่อไป โดยโครงสร้างเสาและคานในอาคารโบราณสถานจะเป็นลักษณะอิสระ (Freely supported) เนื่องจากการวาง

คานบนเสา จะวางบนรูเจาะของเสาโดยไม่มีการยึดแน่นระหว่างเสากับคาน คานจะเป็นโครงสร้างที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด ดังนั้นจึงพบว่าโครงสร้างระบบเสาและคานมักใช้โครงสร้างไม้ในการก่อสร้าง เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้มากที่สุดเท่าที่มีในสมัยนั้น ส่วนโครงสร้างเสานั้นรับแต่แรงอัดเพียงอย่างเดียว จึงพบว่าใช้วัสดุทั้งไม้ และวัสดุก่อ เสาในอาคารโบราณสถานบางแห่งพบว่าใช้เทคนิคการตั้งเสาให้ล้มเอียงเข้าหาภายในอาคารเล็กน้อย ทำให้โครงสร้างมีลักษณะการถ่ายแรงแบบสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะกับวัสดุรับแรงอัด และมีเสถียรภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ เสาในโครงสร้างอาคารโบราณสถานไทยยังมีการลดขนาดของเสาตามความสูง ซึ่งทำให้เสาส่วนล่างรับน้ำหนักของเสาส่วนบนน้อยลง เนื่องจากหน้าตัดเสาเล็กลงนั่นเอง ระบบเสา-คานในอดีตนี้ มีลักษณะประการหนึ่งที่คล้ายคลึงกับระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในปัจจุบัน คือการที่โครงสร้างหลักของอาคารกับฝาผนังเป็นอิสระจากกัน กล่าวคือ โครงสร้างเสา-คาน กับผนังอิฐก่อไม่มีการเชื่อมต่อกันทางโครงสร้าง

นอกจากระบบโครงสร้างเสา-คานแล้ว ยังมีโครงสร้างระบบเสา-คานผสมกับผนังรับน้ำหนัก และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นระบบเสา-คานเช่นเดียวกัน และแต่ละรูปแบบพบว่ามีข้อดีและข้อเสียในการก่อสร้าง ดังนี้

ก) ระบบเสา-คาน การใช้เสา-คานรับน้ำหนัก ทำให้สามารถก่อสร้างอาคารได้ความกว้างมากขึ้น แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับขนาดและความแข็งแรงของไม้ที่สามารถหาได้ และยังสามารถก่อสร้างได้เร็วกว่าการก่อวัสดุ โครงสร้างที่ใช้ไม้เป็นเสาและคานจะมีอายุไม่ยืนยาวนัก เนื่องจากไม้เป็นวัสดุไม่คงทนเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่สม่ำเสมอ (เปียก-แห้ง) ส่วนเสาที่ทำจากวัสดุก่อนั้น จะต้องก่อเสาให้ได้แนวดิ่ง หรือเยื้องศูนย์ไม่เกิน 1/3 ของ

โครงสร้างเสา-คานในสมัยรัตนโกสินทร์ มีการใช้เสาไม้ และก่ออิฐหุ้มเสาไม้ ทำให้ไม้ไม่ผุเร็ว เนื่องจากไม้ไม่ได้สัมผัสกับอากาศ จึงอยู่ในสภาพที่สม่ำเสมอ และการใช้ไม้เป็นเสานั้นเชื่อมต่อกับโครงสร้างหลังคาซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกันได้ดีกว่าการเชื่อต่อวัสดุต่างชนิดกัน อีกทั้งทำให้การก่อสร้างเป็นไปได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากสามารถก่อสร้างโครงหลังคาได้ทันทีที่ตั้งเสาไม้แล้วโดยไม่ต้องเสียเวลารอก่ออิฐ

ข) ระบบผสม ระบบนี้มีข้อดีและข้อเสียดังระบบผนังรับน้ำหนักและระบบเสา-คานดังกล่าวมาแล้ว การใช้ระบบนี้ทำให้สามารถก่อสร้างอาคารได้พื้นที่มากขึ้น และผนังหนาน้อยลง และสามารถเปิดช่องเปิดของอาคารได้กว้างมากขึ้นด้วย

ค) คอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบโครงสร้างนี้มีความสะดวกในการก่อสร้างมาก และสามารถก่อสร้างได้ตามรูปแบบที่ต้องการ รวมทั้งสร้างรูปแบบสถาปัตยกรรมได้หลากหลายขึ้น

ด้วย ข้อดีของระบบนี้ คือการที่โครงสร้างสามารถรับได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด สามารถเชื่อมต่อกับวัสดุอื่นและวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยกันได้อย่างดี แต่ต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้นกว่าแบบอื่น

โครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานมีพัฒนาการในเชิงโครงสร้างไม่มากนัก โดยระบบผนังรับน้ำหนักยังคงเป็นระบบที่ใช้กันอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ก่อนสมัยสุโขทัยจนกระทั่งสมัยรัตนโกสินทร์ โดยเฉพาะกับอาคารประเภทเจดีย์ ป้อมประตูเมือง เนื่องมาจากเป็นระบบที่ช่างโบราณมีความถนัดในการก่อสร้าง และเป็นระบบที่เหมาะสมกับการก่อสร้างด้วยวัสดุก่อซึ่งเป็นวัสดุที่มีมาตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย ต่อมามีการนำระบบเสา-คานเข้ามาร่วมกับระบบผนังรับน้ำหนัก แต่เป็นลักษณะการทำงานแยกกันของสองระบบ คือใช้โครงสร้างแต่ละระบบในการรับโครงหลังคาแต่ละส่วน การที่ช่างโบราณนำโครงสร้างสองระบบมาใช้ร่วมกัน อาจเกิดจากช่างยังไม่มั่นใจในการรับน้ำหนักของโครงสร้างระบบเสา-คาน ซึ่งต่อมาในสมัยสุโขทัยพบว่าได้มีการใช้โครงสร้างระบบเสา-คานอย่างชัดเจน สังเกตจากการที่อาคารสมัยนี้มักเป็นอาคารโล่งที่ไม่มีผนังอาคาร

การที่รูปแบบโครงสร้างตัวอาคารมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อาจเกิดจากช่างโบราณไม่ค่อยพบปัญหาหรืออุปสรรคในการก่อสร้างโครงสร้างอาคาร จึงไม่เกิดการแก้ปัญหาอันจะนำไปสู่การพัฒนา และการพัฒนาของวัสดุและอุปกรณ์การก่อสร้างยังไม่มีมากในช่วงก่อนรัตนโกสินทร์ ซึ่งน่าจะมีผลต่อการพัฒนารูปแบบโครงสร้างด้วย

5.7 **สรุปพัฒนาการของโครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทย**

โครงสร้างตัวอาคารนั้น ช่างไทยโบราณรู้จักโครงสร้างระบบเสาและคานมานานแล้ว แต่คาดว่าคงจะหลังจากโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนัก โดยในอดีตวัสดุที่มีอยู่ หรือสามารถหาได้เหมาะกับโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักมากกว่าระบบเสาและคาน แต่ช่างโบราณก็พยายามที่จะใช้ระบบเสาและคาน โดยในการทำช่องเปิดตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย ได้มีการใช้ระบบเสาและคานทับหลังแล้ว โดยใช้หินทรายเป็นคานทับหลัง และเนื่องจากหินทรายเป็นวัสดุที่ไม่เหมาะสำหรับรับแรงดึง จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยการก่อผนังบนคานทับหลังเป็นช่องสามเหลี่ยม เพื่อถ่ายเทแรงลงสู่เสาหรือผนังด้านข้าง ซึ่งนับว่าเป็นความรู้อันน่าทึ่งของช่างโบราณ

ช่วงก่อนสมัยอยุธยา อาคารทั้งหมดเป็นอาคารที่ใช้สอยพื้นที่เพียงชั้นเดียว คือชั้นพื้นดิน แต่ในสมัยอยุธยาตอนปลายนั้น ได้มีการก่อสร้างอาคาร 2 ชั้น ได้แก่ อาคารตำหนักมเหยงคณ์ [101] และอาคารในพระราชวังนารายณ์ราชนิเวศน์ [57] โดยใช้โครงสร้างเสาและคาน หรือระบบผสมในการรับน้ำหนักพื้นชั้นบน และยังก่อผนังต่อเนื่องจากชั้นล่างไปถึงชั้นบนด้วย ดังนั้นผนังจึงมีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาความมั่นคงของตัวเองไว้

นับจากสมัยก่อนสุโขทัยมาจนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ ระบบโครงสร้างทั้งสองระบบถูกใช้ควบคู่กันมาโดยตลอด โดยในสมัยหลังนี้ระบบผนังรับน้ำหนักถูกใช้ลดลง เนื่องมาจากการพัฒนาของวัสดุก่อสร้าง ซึ่งมีผลทำให้การก่อสร้างระบบเสาและคานกระทำได้สะดวกรวดเร็ว ได้พื้นที่ใช้สอยของอาคารมากกว่า และยังสามารถออกแบบอาคารรูปทรงตามต้องการได้ด้วย

รูปแบบโครงสร้างอาคารแสดงดังตาราง 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 สรุปรูปแบบโครงสร้างอาคารประเภทที่ไม่ใช้พื้นที่ภายในอาคาร (เจดีย์ ป้อม ประตูเมือง) ในแต่ละยุคสมัย

ยุคสมัย	ก่อวัสดุทึบ	ก่อวัสดุโปร่ง	ก่อกรอบ และถมดินภายใน
ก่อนสุโขทัย	X	X	-
สุโขทัย	X	X	X
ล้านนา	-	-	X
อยุธยา	X	X - โครงไม้ยันโครงสร้าง - โครงอิฐ	X
รัตนโกสินทร์	X	X - โครงอิฐ	-

หมายเหตุ: X หมายถึง ปรากฏหลักฐานรูปแบบโครงสร้างดังกล่าวในสมัยนั้น

ตารางที่ 5.3 สรุปรูปแบบโครงสร้างอาคารประเภทที่ใช้พื้นที่ภายในอาคาร (วิหาร อุโบสถ ตำหนักพระราชวัง) ในแต่ละยุคสมัย

ยุคสมัย	ผนังรับน้ำหนัก	เสา-คาน	ระบบผสม	คอนกรีตเสริมเหล็ก
ก่อนสุโขทัย	X	-	X	-
สุโขทัย	X	X	-	-
ล้านนา	-	X	-	-
อยุธยา	X	-	X	-
รัตนโกสินทร์ ร. 5	X	X X	-	X

หมายเหตุ: X หมายถึง ปรากฏหลักฐานรูปแบบโครงสร้างดังกล่าวในสมัยนั้น

การก่อโค้ง แท้ที่จริงแล้ว ช่างไทยโบราณได้ใช้โครงสร้างสันโค้งกลมมาตั้งแต่สมัยล้านนาแล้ว แต่การก่อสร้างอาจจะไม่ได้มาตรฐานการก่อโค้งมากนัก โดยก่อใช้สันอิฐเบียดกันไป แต่ไม่ได้มีการใช้อิฐลิ่มตอกตรงกลางโค้ง เหมือนอย่างโค้ง Arch ของตะวันตก ซึ่งในเวลาต่อมา ช่วงสมัยพระนารายณ์ ชาวตะวันตกก็ได้นำเทคนิคการก่อโค้งโดยการตอกอิฐลิ่มนี้มาเผยแพร่ ซึ่งทำให้พบว่าในสมัยนี้มีการก่อโค้งในช่องเปิดต่างๆ มากมาย รวมทั้งโค้งแหลมด้วย

โดยในสมัยรัตนโกสินทร์ก็ได้มีพัฒนาการที่ต่อเนื่องมาอีก โดยการก่อสร้างโค้งต่อเนื่องในสมัยรัชกาลที่ 4 ซึ่งในครั้งแรกนั้น การก่อโค้งต่อเนื่องยังไม่มีความเข้าใจถึงแรงถีบของโค้งตัวริมมากนัก จึงทำให้โครงสร้างริมโค้งตัวนอกมักจะพังทลายเนื่องจากไม่สามารถต้านแรงถีบนี้ไว้ได้ ในเวลาต่อมาจึงได้นำคอนกรีตไปก่อโค้ง ซึ่งให้รูปทรงที่สวยงามกว่า และความแข็งแรงมากกว่า

สรุปรูปแบบช่องเปิดของอาคารในแต่ละยุคสมัยแสดงดังตาราง 5.4

ตารางที่ 5.4 สรุปรูปแบบช่องเปิดของอาคารในแต่ละยุคสมัย

ยุคสมัย	ลูกมะหวด	เสา-คาน	สันเหลื่อม	ซุ้มโค้ง
ก่อนสุโขทัย	X	X	-	-
สุโขทัย	X	-	X	X
ล้านนา	-	X	-	X
อยุธยา	X	X	X	X
รัตนโกสินทร์	X	X	-	X
ร. 5		X		X

หมายเหตุ: X หมายถึง ปรากฏหลักฐานรูปแบบโครงสร้างดังกล่าวในสมัยนั้น

พัฒนาการของรูปแบบโครงสร้างตัวอาคารโบราณสถานไทยมีไม่มากนัก โดยรูปแบบโครงสร้างหลักมีเพียงระบบผนังรับน้ำหนัก ระบบเสา-คาน ระบบผสม และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ในรายละเอียดของการก่อสร้างได้มีการพัฒนาขึ้น เช่น เทคนิคการก่อสร้างช่องเปิดที่เหมาะสมกับโครงสร้างอาคาร การก่ออิฐหุ้มเสาไม้ การขึ้นโครงเจดีย์ด้วยแกนใน และการเชื่อมต่อโครงสร้างไม้และหินด้วยการสลักเดือย รวมถึงการก่อเสาหรือตั้งเสาให้มีแนวเอียงเข้าหาภายในอาคารเล็กน้อย ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีส่วนช่วยให้โครงสร้างอาคารมีความมั่นคง และการก่อสร้างเป็นไปได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากขึ้น จึงนับว่าเป็นภูมิปัญญาของช่างไทยที่ได้พยายามแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จนกลายเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างในแต่ละสมัยขึ้น

บทที่ 6

พัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย

โครงสร้างหลังคาหรือโครงสร้างส่วนยอดของอาคาร เป็นโครงสร้างส่วนที่เหลือหลักฐานให้ศึกษาน้อยที่สุด โดยเฉพาะส่วนที่เป็นผลจากการใช้วัสดุที่ไม่ถาวร เช่น ไม้ หรือยางไม้ การศึกษาพัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย จึงต้องอาศัยการสันนิษฐานจากหลักฐานเท่าที่เหลืออยู่รวมทั้งร่องรอยบนโครงสร้างส่วนอื่น โดยที่โครงสร้างหลังคาจะมีลักษณะแตกต่างกันตามแต่ลักษณะของอาคาร ลักษณะของตัวอาคารดังบทที่ 5 ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักในบทนี้ คืออาคารประเภทเจดีย์ ป้อม ประตูเมือง ซึ่งเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้สอยภายนอกอาคารหรือเป็นอาคารประเภทอนุสาวรีย์ และอีกประเภทหนึ่งคือ อาคารที่ใช้สอยพื้นที่ภายในอาคาร เช่น วิหาร อุโบสถ มณฑป ศาลา พระราชวัง และพระที่นั่ง เป็นต้น

ในบทนี้ ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างหลังคาของโบราณสถานในยุคสมัยต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลจากส่วนของโครงสร้างที่เหลืออยู่ ประกอบกับการสันนิษฐานจากผู้เชี่ยวชาญด้านประวัติศาสตร์ และศิลปสถาปัตยกรรม ผลที่ได้จึงเป็นรูปแบบสันนิษฐานจากหลักฐานข้อมูลเท่าที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังนำเสนอเทคนิค และวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนหลังคาของอาคารในแต่ละยุคสมัย พร้อมกับการอ้างอิงถึงอาคารที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาและรูปประกอบซึ่งจะทำให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น โดยผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะนำไปสรุปพัฒนาการของการก่อสร้างโครงสร้างหลังคาด้วย

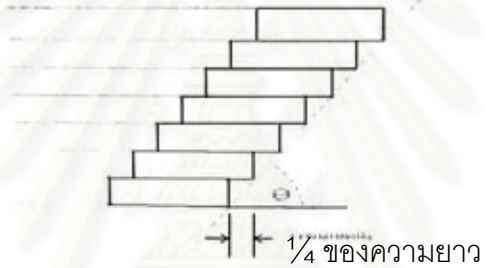
6.1 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยก่อนสุโขทัย

โบราณสถานสมัยนี้มีสภาพโครงสร้างหลังคาเหลือให้ศึกษาน้อย และมักเป็นส่วนของโครงสร้างอิฐ หรือหิน การศึกษาจึงต้องอาศัยข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ประกอบกับการสันนิษฐาน ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นจึงเป็นการวิเคราะห์และสันนิษฐานด้วยเหตุผลและข้อมูลเท่าที่มีอยู่เท่านั้น

6.1.1 **หลังคาระบบโครงสร้างรับน้ำหนัก** หมายถึงโครงสร้างหลังคาที่มีการถ่ายแรงในรูปแบบมวลต่อเนื่อง เหมือนกับกับโครงสร้างผนังรับน้ำหนักในตัวอาคาร กระทำโดยก่อวัสดุก่อจากระดับผนังค่อยๆ เหลื่อมเข้าหากันจากทุกทิศทาง และมาบรรจบกันตรงส่วนยอด เป็นเทคนิคการก่อเหลื่อมเป็นที่เรียกว่า Corbelled Vault วิธีนี้มักใช้กับอาคารประเภทเจดีย์ หรือปรางค์ และปราสาท การก่อจากผนังขึ้นไปนั้น มักจะก่อเหลื่อมเข้าไปจากทุกด้านเท่าๆ กัน โดยยังคงรักษารูปร่างของผัง

อาคารไว้ แต่ลดขนาดลง การก่อเหลื่อมจะมีระยะเหลื่อมต่างๆ กัน เช่นที่ ปรางค์อิฐที่ปราสาทเมืองต่ำ พบว่ามีระยะก่อเหลื่อมของยอดปรางค์เป็น 1 ใน 10 ของความยาวอิฐ แต่ในส่วนที่ต้องการความลาดเอียงมาก จะใช้ระยะเหลื่อม 1 ใน 4 ของความยาวอิฐ [34] ตัวอย่างของการก่อสร้างยอดอาคารรูปแบบนี้ได้แก่ ปรางค์วัดมหาธาตุ จังหวัดลพบุรี [27] และปราสาทเมืองสิงห์ จังหวัดกาญจนบุรี [33]

การก่อสร้างส่วนยอดแบบนี้ทำให้อาคารมีความสูงมาก โดยเฉพาะหากมีระยะเหลื่อมของการก่ออิฐน้อย แต่อย่างไรก็ตามระยะเหลื่อมของการก่อเหลื่อมนั้นจะต้องไม่มากกว่า 1 ใน 4 ของความยาวอิฐ ดังรูป 6.1 มิฉะนั้นแรงกระทำจากวัสดุก่อส่วนบน จะไม่ตกลงบนวัสดุก่อก้อนข้างล่าง ทำให้โครงสร้างไม่สามารถคงอยู่ได้ ดังนั้นจะพบว่าหากก้อนอิฐที่ใช้ในการก่อมีความหนามาก จะยิ่งทำให้โครงสร้างส่วนยอดสูงมากตามไปด้วย



รูปที่ 6.1 ระยะเหลื่อมของการก่ออิฐแบบ Corbelling

การก่อสร้างส่วนยอดของอาคารแบบก่อเหลื่อมนี้ไม่นิยมใช้คลุมอาคารที่มีพื้นที่กว้างมาก เนื่องจากการก่อเหลื่อมให้ได้พื้นที่กว้าง จะทำให้ยอดอาคารสูงมากและมีน้ำหนักมาก ทำให้จำเป็นต้องใช้ผนังที่มีความแข็งแรงมากมารองรับน้ำหนักวัสดุก่อส่วนบนด้วย ดังนั้นจึงพบว่าอาคารก่อหลังคาแบบนี้จะเป็นอาคารที่มีลักษณะแคบ ลึก และมีโครงสร้างตัวอาคารแบบผนังรับน้ำหนักเท่านั้น และไม่นิยมทำช่องเปิดในอาคารเหล่านี้ด้วย ส่วนการใช้วัสดุ พบทั้งอิฐ และศิลาแลง เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงอัดได้ดี โดยขนาดของวัสดุก่อไม่แตกต่างจากวัสดุก่อผนังและใช้วัสดุสอเหมือนกัน

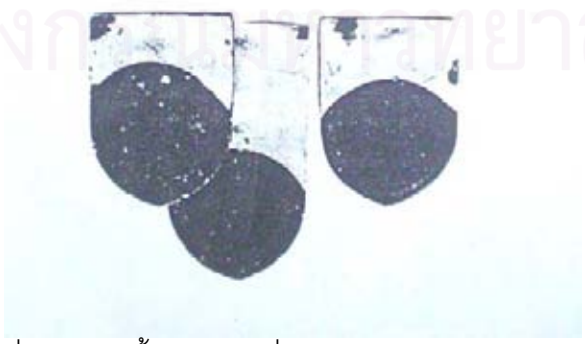
6.1.2 **หลังคาระบบโครงสร้างจั่ว** หรือระบบเสาและคาน มักใช้กับอาคารที่ต้องการใช้พื้นที่ใช้สอยภายใน เนื่องจากสามารถก่อสร้างตัวอาคารที่มีพื้นที่มากกว่าแบบก่อเหลื่อม หลักฐานที่ยังคงเหลืออยู่คือร่องรอยการเจาะผนังรับน้ำหนัก หรือเสาเป็นรูเพื่อสอดคานไม้ เช่นที่อาคารปราสาทเมืองต่ำ ซึ่งพบรูสำหรับใส่คานไม้ 3 รูในลักษณะสามเหลี่ยม [21] บนผนังรับน้ำหนัก ทำ

ให้เชื่อได้ว่าโครงสร้างหลังคาใช้โครงสร้างไม้เป็นโครงจั่ว วางพาดโครงสร้างตัวอาคารซึ่งอาจเป็นผนังรับน้ำหนักเพียงอย่างเดียว หรือมีเสาร่วมรับน้ำหนัก และมุงด้วยกระเบื้องที่ผลิตจากวัสดุต่างๆ โดยที่โครงสร้างรายละเอียดของจั่วนั้น ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน เนื่องจากไม้ซึ่งเป็นวัสดุในการก่อสร้างนั้น ได้พังทลายไปแล้ว

จำนวนโครงจั่วของแต่ละอาคาร อาจสังเกตได้จากจำนวนคู่ของเสาที่รับน้ำหนัก แต่หากโครงสร้างตัวอาคารเป็นระบบผนังรับน้ำหนักล้วนอาจจะไม่สามารถระบุได้ จากร่องรอยรูสำหรับสอดคานไม้ที่ปราสาทเมืองต่ำ ทำให้สันนิษฐานได้ว่า โครงหลังคาน่าจะจะถ่ายน้ำหนักจากเครื่องมุงลงสู่ระแนง กลอน และแป(คาน) ตามลำดับ [34] ซึ่งรูที่พบนั้นคงจะเป็นรูสำหรับใส่ไม้แปนั่นเอง โดยที่อาคารมีขนาดไม่กว้างนัก จึงเป็นลักษณะจั่วชั้นเดียวอาจมีขื่อยึดโครงสามเหลี่ยม และแปไม้อาจจะมีเสารองรับร่วมด้วย หากอาคารมีความยาวมาก

วัสดุมุง วัสดุมุงที่พบในสมัยนี้ได้แก่ กระเบื้องกาบกล้วย หรือเรียกว่า กระเบื้องกาบู กระเบื้องแผ่นเรียบ กระเบื้องหางมน กระเบื้องเชิงชาย พบที่โบราณสถานศรีมโหสถ [30] ซึ่งกระเบื้องเหล่านี้ เป็นกระเบื้องดินเผาลักษณะดังรูป 6.2 และ 6.3

รูปที่ 6.2 กระเบื้องกาบกล้วยที่ใช้ในสมัยก่อนสุโขทัย[104]



รูปที่ 6.3 กระเบื้องหางมนที่ใช้ในสมัยก่อนสุโขทัย [104]

6.2 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยสุโขทัย

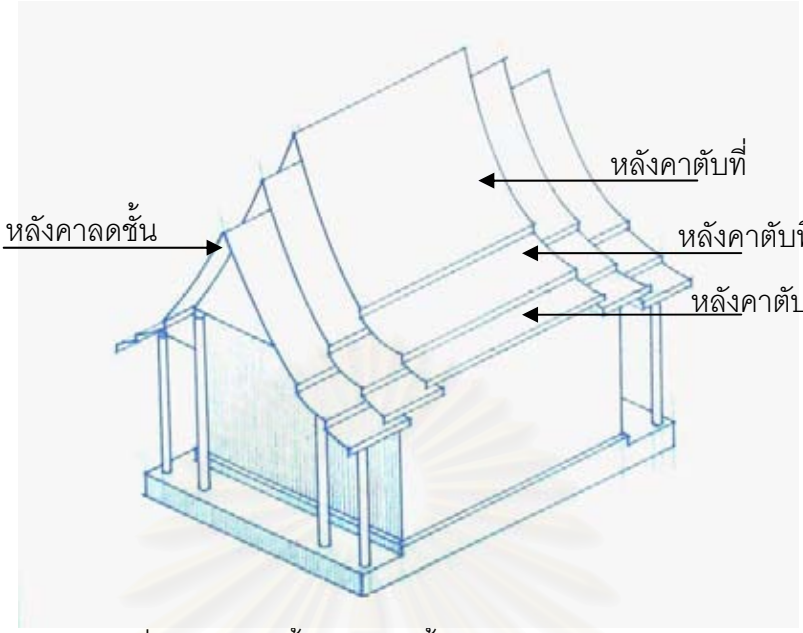
6.2.1 **หลังคาระบบโครงสร้างรับน้ำหนัก** ลักษณะของโครงหลังคาแบบนี้ยังคงเหมือนกันในสมัยก่อนสุโขทัย โดยพบมากในอาคารประเภท เจดีย์ ปรางค์ และมณฑป โดนเฉพาะมณฑปนั้น พบว่ามีการก่อหลังคาขึ้นไปชนกันเป็นโครงจั่ว เช่นที่ มณฑปวัดชมชื่น มณฑปวัดสระปทุม ศรีสัชนาลัย เป็นต้น ซึ่งไม่ได้ก่อเหลื่อมทุกทิศจนมาบรรจบกันเป็นยอดตรงกลางอาคารดังสมัยก่อน

การก่ออิฐ หรือศิลาแลงนั้น พบว่าเมื่อใกล้ถึงยอด จะมีการเปลี่ยนด้านหันด้านโดยก่อหันหัวออก (Header bond) เช่นที่มณฑปวัดกุฏิราย 1 และ 2 ในศรีสัชนาลัย เป็นต้น โดยส่วนอื่นของหลังคาอาจจะก่อแบบไม่มีระเบียบ [97]

6.2.2 **หลังคาระบบโครงสร้างจั่ว** ในสมัยนี้พบระบบโครงสร้างจั่วชัดเจนขึ้น เนื่องจากโครงสร้างตัวอาคารของอาคารประเภทที่สามารถเข้าไปใช้สอยพื้นที่ภายในอาคารได้ ส่วนใหญ่เป็นระบบเสาและคาน และยังพบหลักฐานวัตถุชัดเจนขึ้นด้วย โครงสร้างหลังคาโครงจั่วนั้นถือว่าเป็นตัวกำหนดความกว้างของอาคาร โดยความกว้างของอาคารจะถูกจำกัดด้วยขนาดของไม้ขื่อ หรือคานที่สามารถหาได้ [1] ช่างโบราณได้แก้ปัญหานี้ เมื่อต้องการอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น จึงได้นำเทคนิคที่เรียกว่า “การลดชั้นหลังคา” หรือ “การซ้อนชั้นหลังคา” มาช่วยเพิ่มพื้นที่อาคาร

การลดชั้นหลังคา คือการยื่นชายคาออกมาทางด้านหน้าหรือด้านหลังของอาคาร ดังรูป 6.4 โดยมีรูปร่างเป็นโครงจั่วสามเหลี่ยมเหมือนโครงจั่วประธาน แต่มีขนาดเล็กกว่า ต้องใช้เสาเพิ่มขึ้น เพื่อมารับน้ำหนักชายคา ทั้งนี้โครงสร้างจั่วจะเชื่อมต่อกับโครงสร้างจั่วประธานด้วย การลดชั้นหลังคาแบบนี้ทำให้พื้นที่ใช้สอยของอาคารยาวขึ้น หรือลึกขึ้น [85]

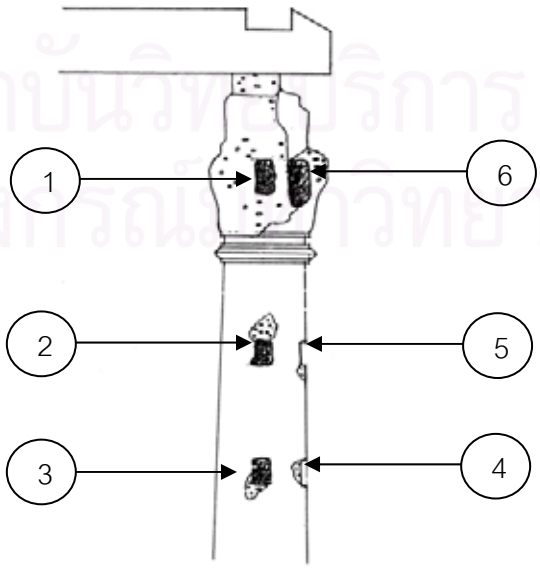
การซ้อนชั้นหลังคา คือการเพิ่มตับหลังคาออกมาทางด้านข้าง ดังรูป 6.4 หลังคาที่มีโครงจั่วเพียงชั้นเดียวปกติจะมีตับหลังคา(หรือผืนหลังคา)อยู่ 2 ตับ ตับหลังคานี้ โดยทั่วไปมีความยาวเท่ากับความยาวของอาคาร (หรือความยาวของตับหลังคาหลัก) การซ้อนชั้นหลังคาจะเพิ่มตับหลังคาออกไปด้านละ 1 หรือ 2 ตับ รวมเป็น 4 หรือ 6 ตับ ตามลำดับ การซ้อนชั้นหลังคาจะช่วยเพิ่มพื้นที่ของอาคารทางด้านข้าง โดยมีเสาเพิ่มขึ้นอีก 1 แถว สำหรับตับหลังคา 1 ตับ [85]



รูปที่ 6.4 การลดชั้นและซ้อนชั้นหลังคาในสมัยสุโขทัย [85]

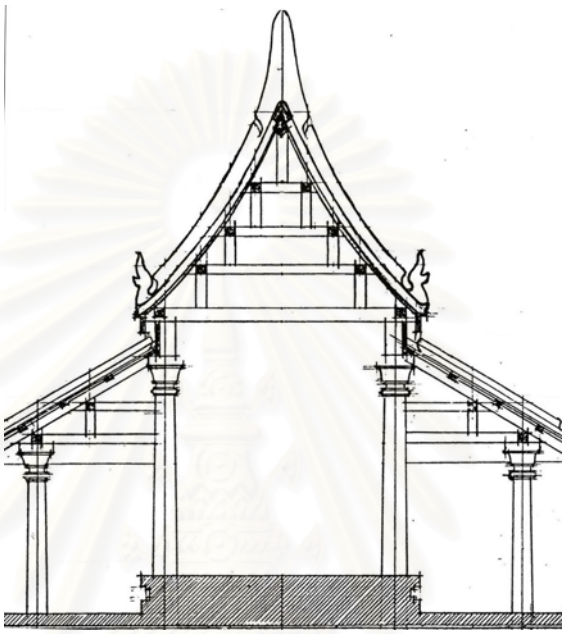
จากร่องรอยการเจาะเสาศิลาแลงในโบราณสถานสมัยสุโขทัย ทำให้สามารถสันนิษฐานโครงสร้างหลังคาของอาคารได้ เช่นที่วิหารวัดเขาพระบาทน้อย จังหวัดสุโขทัย พบร่องรอยรูเจาะบนเสาศิลาแลงต้นมุมวิหาร พบว่ามีรูเจาะ 6 รู [85] โดย 3 รู จะอยู่ในแนวดิ่งเดียวกันเป็นรูสำหรับใส่โครงไม้รับชายคาระเบียง (หมายเลข 1 2 และ 3 ในรูป 6.5)

ส่วนรูเจาะ 2 รูที่อยู่ริมด้านนอกของวิหาร มีเพื่อสอดโครงไม้รับชายคาระเบียงด้านข้าง (หมายเลข 4 และ 5 ในรูป 6.5) และอีก 1 รู อยู่ในแนว 45 องศาระหว่างด้านหน้ากับด้านข้างของวิหาร เพื่อสอดโครงไม้ส่วนที่เป็นตะเข้สัน (หมายเลข 6 ในรูป 6.5)

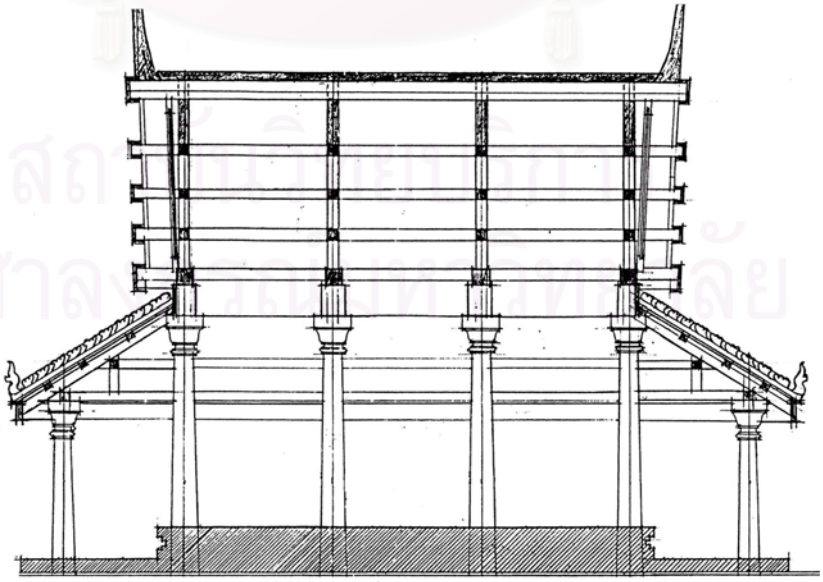


รูปที่ 6.5 รูเจาะบนเสาศิลาแลงเพื่อรับองค์ประกอบโครงหลังคาที่วิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85]

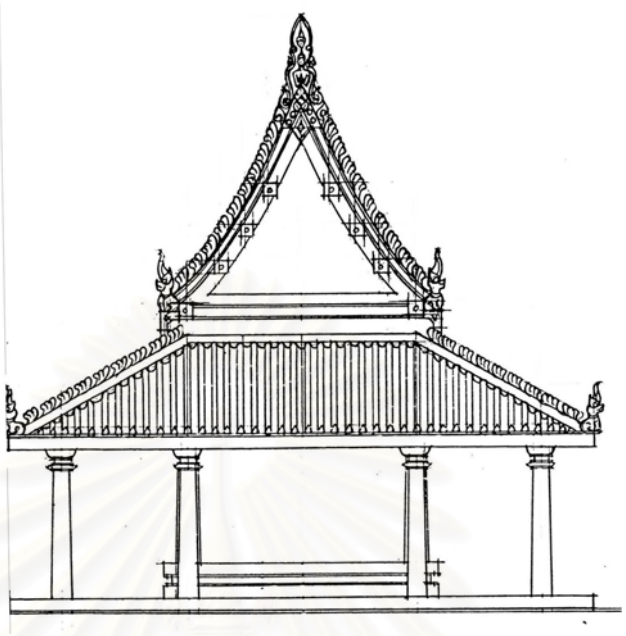
จากรูเจาะบนเสาศิลาแลงดังกล่าว จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าโครงหลังคาวิหารเขาพระบาทน้อยนี้มีลักษณะเป็นโครงจั่วที่มีการยื่นชายคาระเบียงออกมาทั้ง 4 ทิศ โดยใช้เสารับน้ำหนัก 4 แถวในการรับโครงสร้างหลังคา ดังรูป 6.6 และรูป 6.7 จึงทำให้สันนิษฐานรูปอาคารดังรูป 6.8 และ 6.9



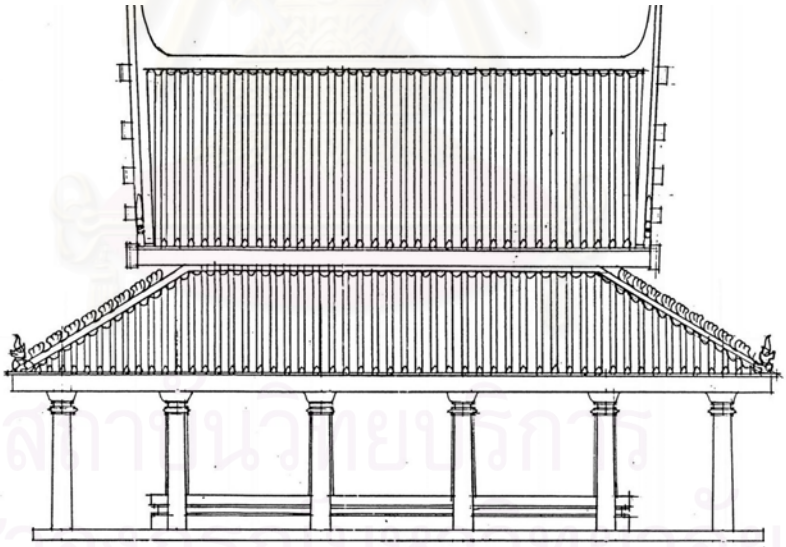
รูปที่ 6.6 รูปตัดโครงหลังคาด้านหน้าจั่วของวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85]



รูปที่ 6.7 รูปตัดโครงหลังคาด้านข้างของวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85]



รูปที่ 6.8 รูปสันนิษฐานด้านหน้าวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85]



รูปที่ 6.9 รูปสันนิษฐานด้านข้างวิหารวัดเขาพระบาทน้อย [85]

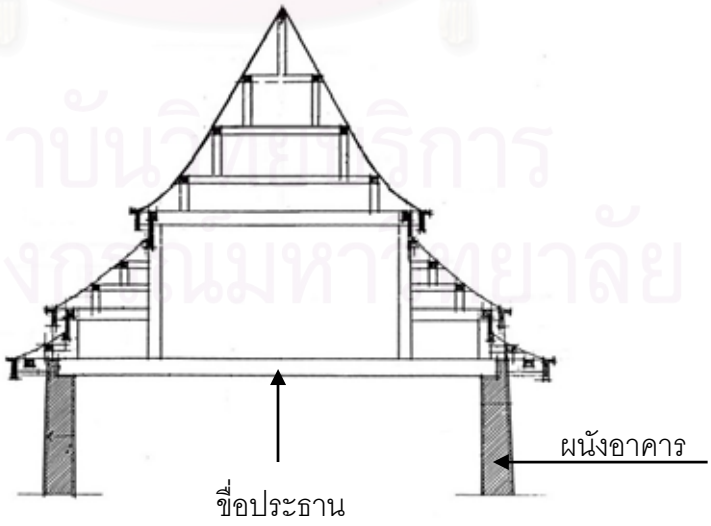
จากร่องรอยโครงสร้างหลังคาที่พบบนเสาศิลาแลง แม้ไม่มีหลักฐานว่าโครงจั่วประธานจะมีลักษณะอย่างไร แต่จากลักษณะโครงหลังคาที่รองรับชายคาระเบียงซึ่งใช้ตุ๊กตารับน้ำหนักเครื่องมุงและถ่ายลงสู่ขื่อระเบียง ดังนั้นโครงสร้างจั่วประธานจึงควรจะใช้ระบบเดียวกันคือใช้เสาตุ๊กตาในการรับน้ำหนัก และถ่ายลงสู่ขื่อประธานในรูปแบบที่เรียกว่า เครื่องประดุ [85] หรือเรียกอีก

ชื่อหนึ่งว่า “แบบขื่อเอกขื่อโท” หรือ “แบบใช้ตุ๊กตารับน้ำหนัก” คือโครงจั่วแบบไม่มีจันทัน โครงสร้างจะถ่ายน้ำหนักจากเครื่องมุง ระแนง กลอน อกไก่ ดั้ง แป ขื่อโท เสาตุ๊กตา และถ่ายลงขื่อเอก หรือขื่อประธาน แล้วจึงถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาหรือผนังต่อไป ซึ่งวิธีการก่อสร้างโครงหลังคาแบบนี้ จะไม่ใช้จันทันในการถ่ายน้ำหนักแป แต่จะใช้เสาตุ๊กตารับแทน การวางแปของโครงจั่วแบบนี้จึงวางให้ด้านของแปขนานกับพื้นดินไม่เอียงเหมือนกับวางบนจันทัน จึงเรียกแปที่วางแบบนี้ว่า “แปเหลี่ยม” และเส้นแนวลาดหลังคา จึงเป็นแนวของไม้กลอนทำให้โครงสร้างหลังคาในสมัยสุโขทัยนี้ดูแอ่นโค้งเล็กน้อย

จำนวนของเสาตุ๊กตาคงจะขึ้นอยู่กับความกว้างของอาคาร และขนาดของขื่อประธานหรือขื่อเอก รวมถึงขนาดของกลอนด้วย เพราะหากกลอนมีหน้าตัดเล็กการวางช่วงเสาตุ๊กตาห่างจะทำให้กลอนแอ่นมาก หรือรับน้ำหนักไม่ได้

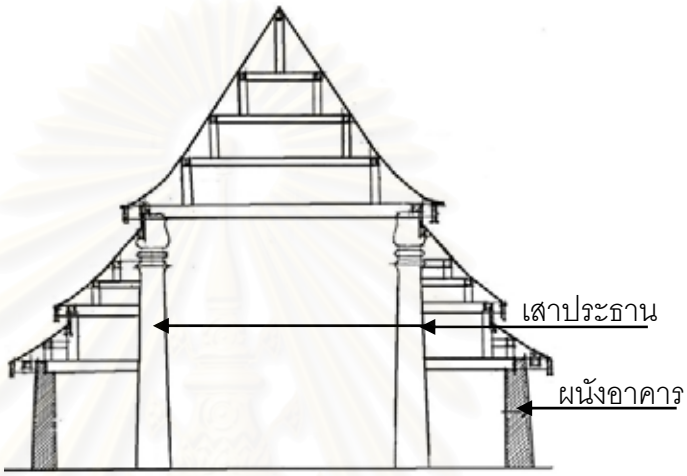
โครงหลังคาในสมัยสุโขทัยนั้น รศ. สมใจ นิ่มเล็ก [85] ได้กล่าวว่ามีการพัฒนารูปแบบต่อมาจากการพยายามคิดค้นดัดแปลงแก้ไขจนทำให้เกิดโครงสร้างจั่วแบบเครื่องประดุ 4 แบบซึ่งทำให้เกิดรูปแบบสถาปัตยกรรมหลังคาที่ต่างกันด้วย ได้แก่

1. แบบขื่อประธานวางบนผนัง โดยมีช่วงกว้างของอาคารเท่ากับระยะระหว่างผนังของอาคาร ขื่อประธานจะวางอยู่บนผนังสองด้าน และมีเสาตุ๊กตาขึ้นไปรับขื่อโท ซึ่งมีโครงจั่วอีกโครงวางอยู่ ซึ่งโครงแบบนี้ ทำให้เกิดผืนหลังคาด้านละ 2 – 3 ผืน รูปแบบโครงหลังคานี้แสดงดังรูป 6.10 โดยโครงหลังคาแบบนี้จะสังเกตได้จากร่องรอยที่ซากอาคาร ซึ่งไม่มีแนวเสาหรือฐานเสาอยู่ภายในอาคาร



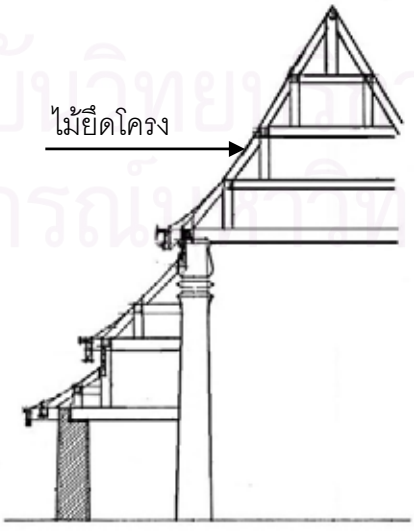
รูปที่ 6.10 โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนผนัง [85]

2. แบบขื่อประธานวางบนเสาประธาน ช่วงกว้างของอาคารที่มีโครงหลังคาแบบนี้จะเท่ากับระยะห่างระหว่างผนัง และจะกว้างกว่าระยะระหว่างเสาประธาน ขื่อประธานจะวางอยู่บนเสาร่วมใน ส่วนช่วงระหว่างผนังกับเสาร่วมในจะมีขื่อร่วมนอก ซึ่งวางอยู่บนผนังและฝากไว้กับเสา ขื่อร่วมนอกนี้ จะรับน้ำหนักโครงจั่วชั้นนอกไว้ ดังรูป 6.11 และจะทำให้ได้ผืนหลังคา ด้านละ 2-3 ผืนเช่นกัน อาคารที่มีโครงหลังคาแบบนี้ จะพบร่องรอยของเสาอยู่ภายในอาคาร



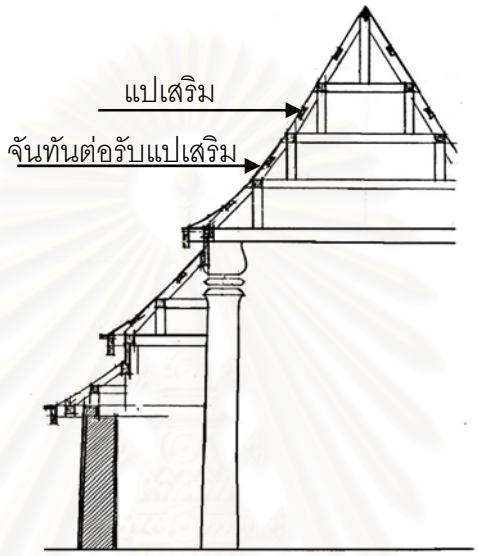
รูปที่ 6.11 โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนเสาประธาน [85]

3. แบบมีไม้ยึดโครง รูปแบบนี้มีองค์ประกอบของโครงสร้างเพิ่มขึ้น คือ ไม้ยึดโครง ซึ่งเป็นไม้พาดทะแยงในแนวลาดหลังคา โดยยึดระหว่างแปกับอกไก่ และระหว่างแปแต่ละตัว ทำให้โครงจั่วมีความมั่นคงขึ้น ส่วนประกอบของโครงจั่วมีลักษณะเหมือนกับ 2 แบบข้างต้นดังรูป 6.12



รูปที่ 6.12 โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีไม้ยึดโครง [85]

4. แบบมีจันทันต่อรับแปเสริม รูปแบบนี้นอกจากจะมีแปเหลี่ยมที่วางรับวัสดุมุงแล้ว ยังมีการเพิ่มแป อาจเนื่องจากระยะระหว่างแปเหลี่ยมนั้นห่างมากเกินไป โดยการใช้ไม้จันทัน วางบนเสาตุ๊กตา และวางแปเสริมบนจันทันนั้น ซึ่งแปจะมีลักษณะเอียงตามแนวลาดหลังคาหรือแนวจันทัน จึงเรียกแปแบบนี้ว่า “แปเอียง” ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนแปได้ถี่ขึ้น ดังรูป 6.13



รูปที่ 6.13 โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีจันทันต่อรับแปเสริม [85]

ก) การเชื่อมต่อโครงหลังคา การเชื่อมต่อในสมัยนี้ใช้การบากไม้ และการทำเดือย* เพื่อยึดโครงสร้างไม้ด้วยการสับ และสอดเดือย ซึ่งทำให้เนื้อไม้หายไปจนกลายเป็นจุดอ่อนของโครงสร้าง

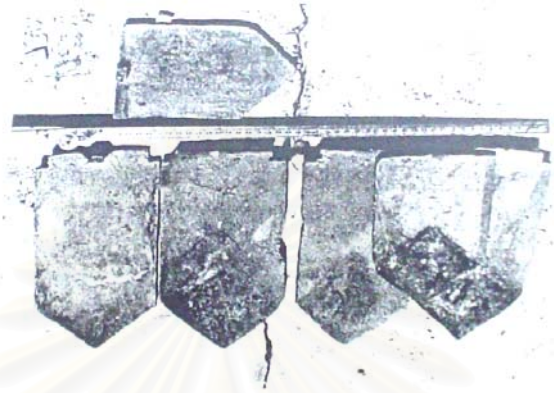
ในการขุดแต่งสำรวจโบราณสถานหลายแห่งที่สร้างขึ้นในสมัยสุโขทัย พบโลหะที่มีลักษณะปลายแหลม หัวเป็นปม คล้ายตะปู ที่เรียกว่า ตะปูจีน แต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่า ตะปูนั้นถูกใช้ในยุคสมัยแรกสร้างอาคารเลยหรือไม่ เนื่องจากไม่มีหลักฐานอื่นยืนยัน แต่อย่างไรก็ตาม ตะปูที่พบที่โบราณสถานแต่ละแห่งมีไม่มากนัก ซึ่งถ้าหากช่างสุโขทัยใช้ตะปูยึดโครงสร้างจริง น่าจะใช้เฉพาะส่วนที่สำคัญเท่านั้น เช่นที่วิหารวัดร้าง At.A.2 พบตะปูเหล็กจำนวน 32 ตัว [42]

ข) วัสดุมุง วัสดุมุงในสมัยนี้ยังคงเป็นกระเบื้องดินเผา และยังพบกระเบื้องดินเผาเคลือบสีด้วย เช่นที่วิหารวัดร้าง At.A.2 พบกระเบื้องดินเผาเคลือบสีแดง ขนาดกว้าง 12 เซนติเมตร และยาว 22.5 เซนติเมตร และกระเบื้องเคลือบสีเหลืองปนแดง ขนาดความกว้าง 12.5 เซนติเมตร

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

และยาว 13.5 เซนติเมตร [42] ซึ่งขนาดของวัสดุมุงจะสามารถบ่งบอกถึงระยะห่างของเดือยบนไม้กลอนได้ โดยระยะห่างนี้ควรจะน้อยกว่าความยาวของกระเบื้อง กระเบื้องที่พบในสมัยสุโขทัยแสดงดังรูป 6.14



รูปที่ 6.14 กระเบื้องดินขอในสมัยสุโขทัย[104]

6.3 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยล้านนา

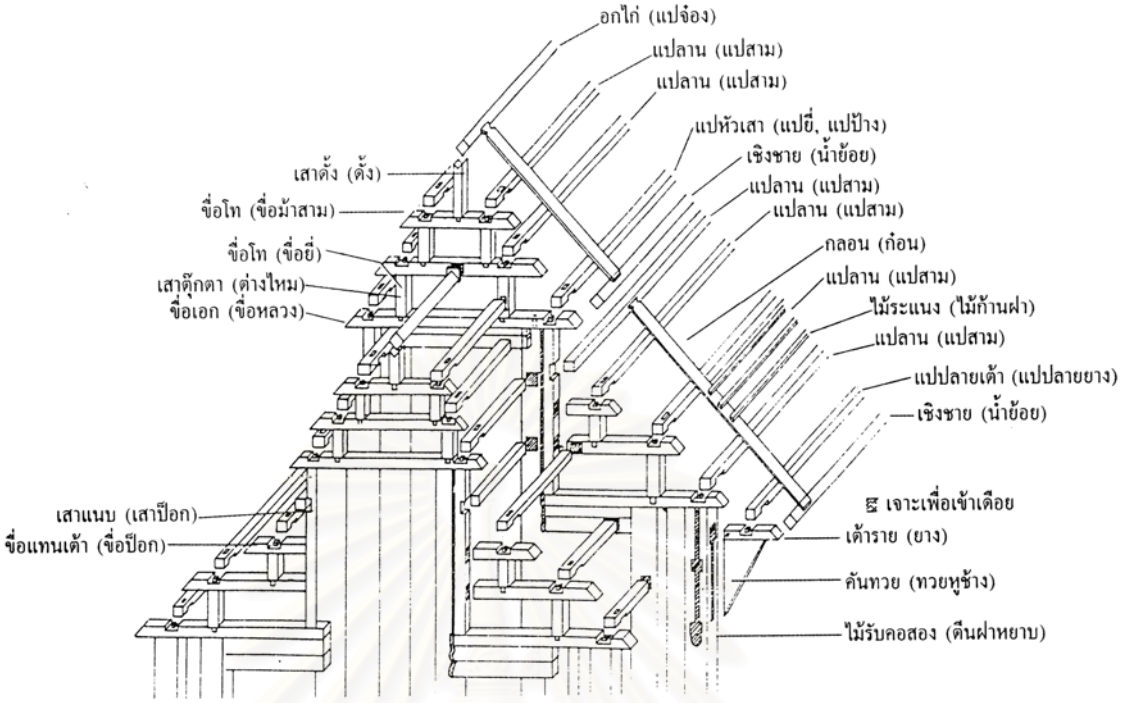
โครงสร้างหลังคาในสมัยล้านนายังคงมี 2 รูปแบบคล้ายสมัยสุโขทัย มีลักษณะดังนี้

6.3.1 **หลังคาระบบโครงสร้างรับน้ำหนัก** ลักษณะของโครงสร้างส่วนยอดอาคารประเภทไม่ใช้พื้นที่ภายในอาคารนั้นยังคงใช้รูปแบบเดิม คือการก่อเหลื่อมแบบ Corbelled arch นั่นเอง ส่วนใหญ่ใช้กับอาคารประเภทเจดีย์

6.3.2 **หลังคาระบบโครงสร้างจั่ว** ในสมัยนี้โครงสร้างหลังคาอาคารประเภทใช้สอยพื้นที่ภายในโดยรวมยังคงไม่แตกต่างจากสมัยสุโขทัย คือโครงจั่วแบบเครื่องประดุ แต่ในภาษาล้านนามีชื่อเรียกอีกอย่างว่า “ม้าตั่งไหม” ซึ่งใช้อกไก่ที่อยู่ตรงกลาง รับน้ำหนักโครงสามเหลี่ยมไว้ทั้งหมด และถ่ายลงสู่เสาเนื่องจากอาคารส่วนใหญ่ในสมัยนี้มักเป็นอาคารโถง [46]

โครงจั่วของเรือนสมัยลานนา พบว่ามีการพัฒนาให้โครงมีความมั่นคงขึ้น โดยใช้ค้ำยันวางทแยงจากโคนใบดั้งไปยังกึ่งกลางอกไก่ และนิยมใช้ *ไม้ยิงลม* ยึดจั่วให้มั่นคงด้วย

ก) การเชื่อมต่อโครงหลังคา การยึดตรึงโครงสร้างไม้ของหลังคา สันนิษฐานว่าเป็นวิธีเดียวกับสมัยสุโขทัย คือการเข้าไม้แบบบากร่องและใช้สลักเดือยเป็นตัวยึด ส่วนตะปูและโลหะต่างๆ ที่พบในการสำรวจนั้นน่าจะถูกใช้ร่วมด้วย การเข้าไม้ที่วิหารจามเทวีเป็นตัวอย่างของการเข้าไม้ในสมัยล้านนาแสดงดังรูป 6.15



รูปที่ 6.15 การเข้าไม้วิหารจามเทวี วัดปงยางคก [46]

ข) วัสดุมุง ที่พบที่วิหารสันกู่เป็นกระเบื้องดินเผาเนื้อเดียวกับอิฐ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านหนึ่งมีขอเกาะ ขนาดโดยทั่วไปกว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร [48] ซึ่งเป็นกระเบื้องแบบเดียวกับที่พบในสมัยสุโขทัย แบบที่เรียกว่า กระเบื้องดินขอ กระเบื้องที่พบที่วิหารสันกู่นั้นถือว่ามีขนาดใหญ่ ที่อุโบสถวัดป่าสักพบกระเบื้องแบบเดียวกันแต่ขนาดเล็กกว่าคือ กว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และหน้า 0.5 – 1 เซนติเมตร เนื้อดินเผาเป็นสีส้มและสีดำ [54]

6.4 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยอยุธยา

6.4.1 หลังคาระบบโครงสร้างรับน้ำหนัก เจดีย์ในสมัยนี้ พบว่ามีการใช้แผ่นไม้วางเป็นเพดานภายในที่ปรางค์วัดพระราม แต่ระบุไม่ได้ว่าได้ใช้ไม้ในการรับโครงสร้างส่วนยอดหรือไม่ เพราะแผ่นไม้ที่พบนั้น มิได้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ [36] ซึ่งหากมีการก่ออิฐอยู่บนแผ่นไม้ก็คงจะไม่มีเหลือสภาพเดิมให้เห็นแล้ว ในเบื้องต้นจึงสรุปได้เพียงแต่ว่ามีการทำเพดานไม้ในเจดีย์ และยอดอาคารเจดีย์ยังคงใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบเดิม คือการก่อเหลื่อม Corbelled arch ตามรูปทรงของอาคาร

6.4.2 **หลังคาระบบโครงสร้างจั่ว** รูปแบบโครงสร้างหลังคาจั่วได้พัฒนาขึ้นจากการใช้โครงหลังคาแบบเครื่องประดุในสมัยก่อนนี้ ที่มีความยาวของขื่อประธานเท่ากับระยะระหว่างผนังหรือเสาประธาน ในสมัยนี้มีการยื่นขื่อประธานออกเพื่อให้จั่วกว้างขึ้น และทำให้ได้ผืนหลังคาเป็นแนวสอดคล้องกันกับตับหลังคาชั้นซ้อน ดังเช่นโครงหลังคาเครื่องประดุของวัดกุฎีดาว [105] ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังรูป 6.16

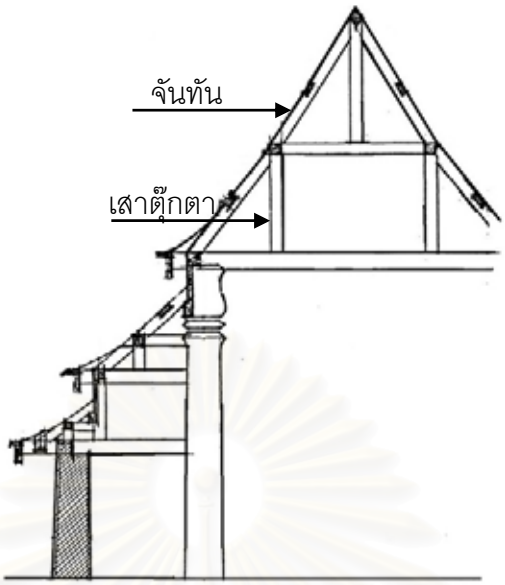
รูปที่ 6.16 โครงหลังคาเครื่องประดุที่วัดกุฎีดาว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [105]

ต่อมาพบว่ามีการพัฒนาระบบจันทันเข้ามาเสริมเป็นแบบเครื่องประดุผสมจันทัน โดยจะมีแปเหลี่ยมวางบนเสาตุ๊กตา และมีแปเอียงวางบนจันทัน ซึ่งก็วางอยู่บนเสาตุ๊กตาด้วยเช่นกัน ทั้งบนจั่วประธานและจั่วปีกนก (จั่วริมระหว่างเสากับผนัง) โดยโครงสร้างแบบนี้จะทำให้รูปของหลังคาดูไม่อ่อนช้อยเหมือนสมัยสุโขทัย ดังรูป 6.17

นอกจากนี้ ในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ได้มีการรับเอาอิทธิพลสถาปัตยกรรมยุโรปเข้ามา โดยในส่วนของโครงสร้างหลังคานั้น ได้มีการก่อผนังด้านหุ้มกลอง* จากระดับแปที่วางบนผนัง ขึ้นไปจนสุดถึงอกไก่ ดังรูป 6.18 และรับน้ำหนักของอกไก่ไว้ ซึ่งผนังส่วนนี้ จึงได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักของโครงหลังคาด้วยทำให้ไม่ต้องใช้เสาร่วมในอีก 2 แถวมารับน้ำหนัก ทำให้พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารโล่งขึ้น [106]

---

* ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

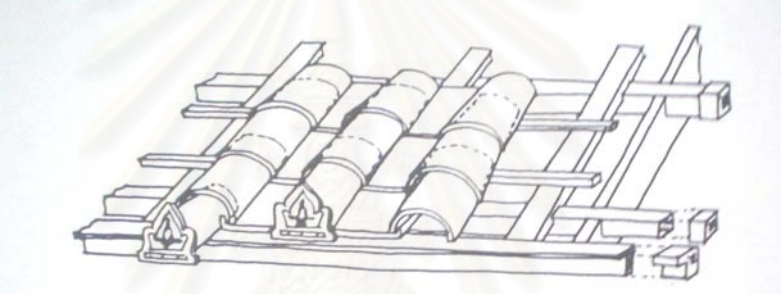


รูปที่ 6.17 โครงหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุผสมจันทัน [85]

รูปที่ 6.18 การก่อผนังด้านหุ้มกลองไปรับน้ำหนักอกไก่ [57]

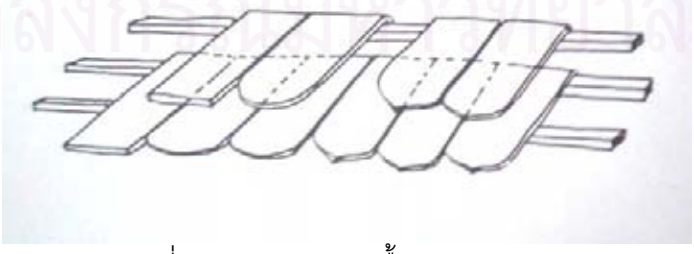
ก) การเชื่อมต่อโครงหลังคา ในช่วงต้นของยุคนี้ การเชื่อมต่อน่าจะเหมือนกับสมัยสุโขทัย คือมีการบากร่อง เจาะสลักเดือย แต่ในช่วงสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ได้มีการนำตะปูมาใช้ในการยึดไม้ โดยตะปู สันนิษฐานว่าจะนำมาจากประเทศทางตะวันตก [1]

ข) วัสดุมุง ยังคงเป็นกระเบื้องดินเผาแบบที่เรียกว่า กระเบื้องกาบกล้วย ซึ่งจะมีตัวผู้และตัวเมีย โดยกระเบื้องกาบกล้วยตัวผู้มีลักษณะเป็นลอนโค้งคล้ายกาบกล้วย ปลายเรียว ส่วนกระเบื้องตัวเมียเป็นรางแบนยกขอบทั้งสองข้าง ปลายขึ้นเรียว กระเบื้องทั้งตัวผู้และตัวเมีย จะมีเดือยเอาไว้เกี่ยวกับไม้ระแนง เวลามุงจะใช้กระเบื้องตัวผู้แถวหนึ่งสลับกับกระเบื้องตัวเมียแถวหนึ่ง โดยกระเบื้องตัวผู้จะครอบอยู่บนกระเบื้องตัวเมีย ดังรูป 6.19 ที่อุโบสถวัดช้างพบกระเบื้องตัวผู้ขนาดความกว้างของด้านแคบ 9 เซนติเมตร และด้านกว้าง 13-14 เซนติเมตร ยาว 28-30 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร หนัก 800 กรัม ส่วนกระเบื้องตัวเมียกว้าง 21 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร โดยมีเดือยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ไว้ใช้สำหรับเกี่ยวไม้ระแนง [61] ซึ่งขนาดใกล้เคียงกับที่วิหารวัดตะไกรด้วย [71]



รูปที่ 6.19 การมุงกระเบื้องกาบกล้วยหรือกระเบื้องกาบู [104]

นอกจากกระเบื้องกาบกล้วยแล้วในสมัยนี้ยังพบกระเบื้องเกล็ดปลา และกระเบื้องดินขอ ซึ่งเป็นกระเบื้องแผ่นเรียบดังที่พบในสมัยสุโขทัยและล้านนาด้วย ขนาดกว้าง 9.5 เซนติเมตร ยาว 22 เซนติเมตร [71] ลักษณะการมุงดังรูป 6.20 และพบหลักฐานกระเบื้องเชิงชาย กว้าง 12.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ซึ่งมีลวดลายศิลปกรรมต่างๆ เอาไว้ปิดตรงชายคา มิให้น้ำฝนเข้าภายในโครงไม้ได้ และเพื่อความสวยงามอีกด้วย



รูปที่ 6.20 การมุงกระเบื้องดินขอ [104]

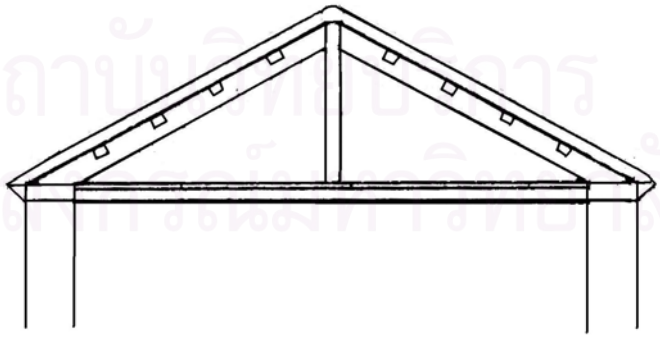
ส่วนสันหลังคา พบว่าใช้กระเบื้องกาบกล้วยตัวเมียมาวางเรียงต่อกันตามสันหลังคา แล้วฉาบปูนหนา 5-7 เซนติเมตร ทับอีกชั้น เพื่อป้องกันการรั่วซึมด้วย [61]

ค) ตะปู เป็นส่วนประกอบของการก่อสร้างโครงสร้างไม้ เนื่องจากสำรวจพบในบริเวณอาคาร โดยรูปร่างและขนาดดังหัวข้อ 5.4

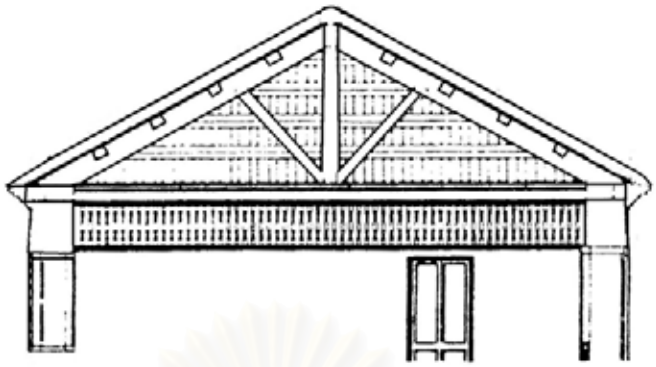
6.5 โครงสร้างหลังคาโบราณสถานไทย สมัยรัตนโกสินทร์

6.5.1 **หลังคาระบบโครงสร้างรับน้ำหนัก** รูปแบบโครงสร้างหลังคาวัสดุก่อนี้พบในสมัยรัตนโกสินทร์เช่นกัน โดยนอกจากจะพบในเจดีย์แล้ว ยังพบที่พระมณฑปยอดปรางค์ในวัดพระศรีรัตนศาสดาราม และพระที่นั่งเวชยันต์วิเชียรปราสาทในพระนครคีรีด้วย [74]

6.5.2 **หลังคาระบบโครงสร้างจั่ว** หลังจากสิ้นสมัยอยุธยา เข้าสู่ยุคสมัยกรุงธนบุรี โครงสร้างหลังคาของอาคารได้เปลี่ยนจากโครงจั่วแบบเครื่องประดุมาเป็นโครงหลังคาจั่วแบบผสมมากขึ้น จนกระทั่งในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น โครงสร้างหลังคาจึงค่อยๆ เปลี่ยนไปใช้ระบบขื่อกับจันทัน โดยใช้จันทันรับน้ำหนักจากแปและถ่ายลงสู่อกไก่และเสา โดยอกไก่จะถ่ายน้ำหนักลงไปที่ใบดั้งและลงขื่อประธาน ซึ่งพาดอยู่บนเสา หรือผนัง ดังรูป 6.21 ตัวอย่างของโครงหลังคาแบบนี้พบได้ที่อุโบสถและวิหารวัดปทุมวนาราม อุโบสถและวิหารวัดมหาพฤฒาราม เป็นต้น นอกจากนี้อาคารในพระนครคีรี ได้มีการเพิ่มไม้ค้ำยันจันทันเข้าไปในโครงหลังคาด้วย ซึ่งพบที่พระที่นั่งราชธรรมสภา และพระที่นั่งปราโมทย์มไหสวรรย์ [74] ดังรูป 6.22



รูปที่ 6.21 โครงสร้างหลังคาระบบใช้จันทัน [74]



รูปที่ 6.22 โครงสร้างหลังคาระบบจันทันแบบมีไม้ค้ำยัน [74]

ตัวอย่างของโครงสร้างหลังคาแบบเครื่องประดุ ได้แก่ อุโบสถวัดกวิศราราม [72] เป็นต้น รูปแบบโครงสร้างหลังคาจั่วทั้งสองแบบ คือแบบเครื่องประดุ และแบบใช้จันทันนั้น ถูกใช้ควบคู่กันไปในสมัยนี้ และมีการพัฒนาโครงสร้างระบบผสมให้เปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเรื่อยๆ เช่นโครงจั่วระบบผสมมีการวางตำแหน่งเสาตุ๊กตาและแปแตกต่างกัน ดังนี้

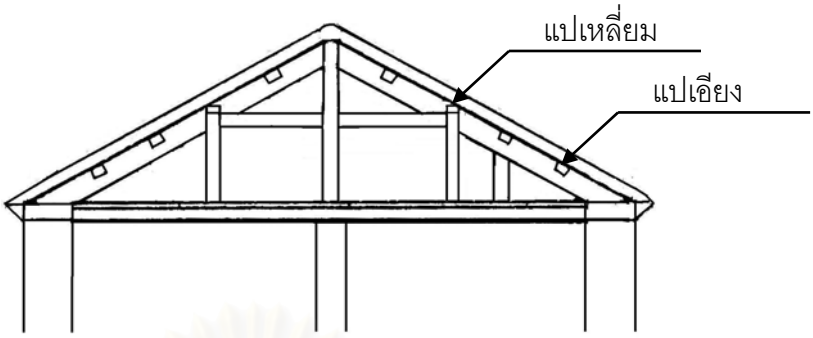
แบบที่ 1 วางเสาตุ๊กตากึ่งกลางขื่อประธาน ซึ่งการวางเสาตุ๊กตาแบบนี้ จะต้องใช้ขื่อประธานที่มีความแข็งแรงมาก หรืออาจต้องเพิ่มเสาแถวกลาง มารับน้ำหนักที่ถ่ายตรงจากใบดั้งมิฉะนั้น ขื่อจะแอ่นมาก และเกิดแรงดึงมากจนหักได้ ซึ่งหากเพิ่มเสาแถวกลางขึ้นมาก็จะทำให้สามารถใช้ขื่อไม้ที่มีหน้าตัดเล็กลงและสั้นลงด้วย ดังเช่นที่กุฏิเจ้าคณะ วัดสุทัศน์เทพวราราม [16]

แบบที่ 2 วางเสาตุ๊กตาชิดริมเสาประธานหรือริมผนัง ขื่อประธานแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้เสาแถวกลางมาช่วยรับน้ำหนัก เนื่องจากการวางเสาตุ๊กตาให้ถ่ายแรงลงใกล้กับจุดปลายขื่อ ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและแรงดึงในขื่อน้อยกว่า

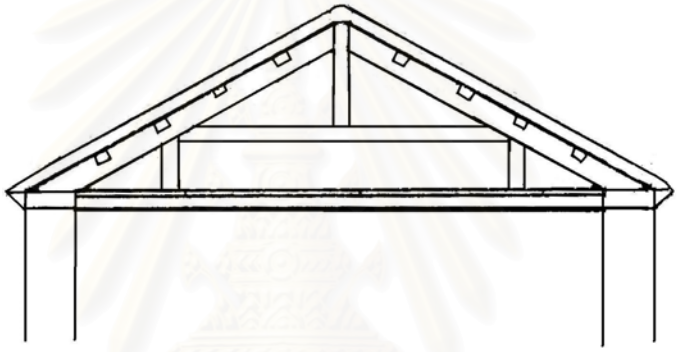
การวางแปของโครงสร้างระบบผสม นั้นมี 2 แบบเช่นกัน คือ

แบบที่ 1 มีแปเหลี่ยม โดยแปตัว 1 ตัววางอยู่บนหัวเสาตุ๊กตา ส่วนแปตัวอื่นจะวางอยู่บนจันทันจึงเป็นแปเอียง ตัวอย่างการวางแปแบบนี้พบที่วัดราชบพิธสถิตมหาสีตาราม [79] และกุฏิพระตำหนักสมเด็จพระมหาสมณเจ้ากรมพระปรมานุชิตชิโนรส ที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม [16]

แบบที่ 2 ไม่มีแปเหลี่ยม โดยแบบนี้แปทุกตัวจะวางอยู่บนจันทัน จึงเป็นแปเอียงทุกตัว รูปแบบการวางเสาตุ๊กตาและแปเอียงแสดงดังรูป 6.23 และ 6.24



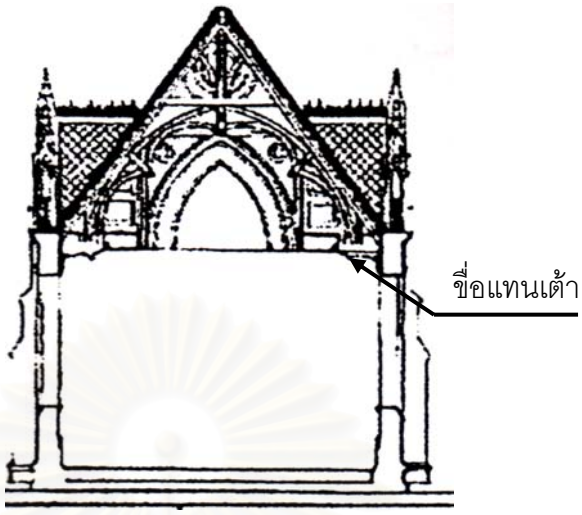
รูปที่ 6.23 โครงสร้างระบบผสมโดยวางเสาตุ๊กตาและวางแปแบบที่ 1



รูปที่ 6.24 โครงสร้างระบบผสมโดยวางเสาตุ๊กตาและวางแปแบบที่ 2

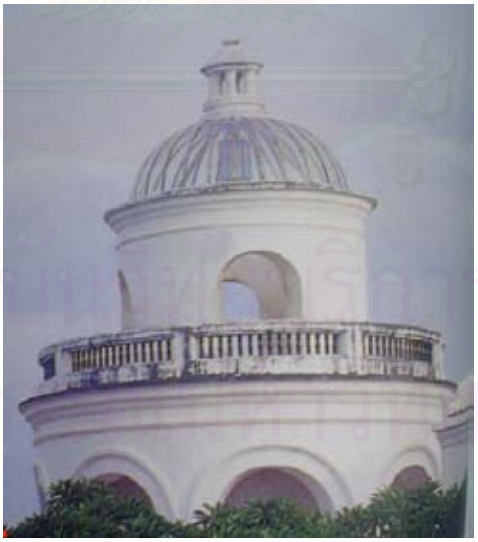
6.5.3 โครงถัก (Truss) ในช่วงสมัยรัชกาลที่ 4 ประเทศไทยมีความสัมพันธ์อันดีกับชาติตะวันตก ไทยจึงได้รับเอาอิทธิพลการก่อสร้างเข้ามาใช้ในการก่อสร้างอาคารสำคัญด้วย โดยเริ่มมีการนำโครงถักเข้ามาประยุกต์กับระบบจันทันเป็นครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 5 ที่อุโบสถวัดราชาธิวาสราชวรวิหาร และที่อุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ ซึ่งพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้โปรดให้สร้างขึ้นในปีพ.ศ. 2421 โดยมีการใช้ขื่อเต้าสั้นๆ ที่อยู่บนหัวเสาอิง รับโครงของคานโค้งที่ต่อลงมาจากอกไก่ โดยไม่มีการใช้ขื่อรับน้ำหนักถ่ายลงบนเสาอิง [78] ดังรูป 6.25

สมัยปลายรัชกาลที่ 5 ประเทศไทยได้มีการนำเข้าวัสดุประเภทเหล็ก คอนกรีตเข้ามาใช้ในการก่อสร้าง ทำให้โครงสร้างแบบโครงถักนี้เปลี่ยนจากวัสดุเดิมคือ ไม้ มาเป็นโครงสร้างเหล็ก ซึ่งทำให้ได้ช่วงกว้างของอาคารมากขึ้น และใช้ต่อมาจนกระทั่งทุกวันนี้



รูปที่ 6.25 โครงถักที่อุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ[78]

6.5.4 **หลังคาทรงโดม** หลังคาวัสดุก่อในสมัยนี้พบหลังคาในลักษณะโดมด้วย คือก่อเหลื่อมเป็นโค้ง และมีเสาแกนในร่วมรับน้ำหนัก ซึ่งวิธีนี้ช่วยทำให้ลดแรงถีบจากส่วนยอดลงสู่ผนังที่รับน้ำหนักด้านข้าง แต่จะส่งผ่านเสาแกนในนั้น รูปแบบนี้พบที่ พระธาตุจอมเพชร [74] และยังมีโดมที่ทำจากวัสดุอื่นเช่น โครงสร้างเหล็ก ที่หอชัชวาลเวียงชัย [74] ดังรูป 6.26



รูปที่ 6.26 โครงหลังคาทรงโดมที่หอชัชวาลเวียงชัย[75]

6.5.5 **โครงสร้างคอนกรีตรับหลังคา** เป็นการนำเอาคอนกรีตเสริมเหล็กมาก่อสร้างเป็นคานรับหลังคา เนื่องจากคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุที่รับได้ทั้งแรงอัด และแรงดึง โดยได้นำ

คอนกรีตมาใช้ในการทำคานยื่นแบบแคนติลิเวอร์ (Cantilever beam) หลังคาอัฒจันทร์สนามกีฬาแห่งชาติ โดยมีพระเจริญวิศวกรรมเป็นผู้ออกแบบโครงสร้าง ซึ่งเป็นคานยื่นถึง 18 เมตร [103] ถือเป็นความก้าวหน้าของการก่อสร้างอย่างมากของการก่อสร้างในสมัยนั้น ซึ่งต่อมา คอนกรีตก็ถูกใช้เป็นเสา คาน อกไก่ ขื่อ และโครงสร้างส่วนอื่นๆ ของหลังคาอย่างแพร่หลาย

6.5.6 **วัสดุโครงสร้าง**

ก) ไม้ สมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น จนกระทั่งถึงรัชกาลที่ 6 นั้น การก่อสร้างโครงหลังคายังคงเป็นโครงสร้างไม้เหมือนสมัยก่อน เนื่องด้วยสมัยนั้นไม้ยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และราคาถูก อีกทั้งช่างก่อสร้างก็ยังมีความชำนาญในการก่อสร้างงานไม้มาแต่อดีต โดยใช้เป็นโครงจั่วรูปแบบต่างๆ ดังนั้น ถึงแม้ว่าช่วงรัชกาลที่ 5 จะมีคอนกรีตและเหล็กใช้สำหรับก่อสร้างมากขึ้น แต่การก่อสร้างส่วนใหญ่ยังคงเป็นไม้อยู่ และเวลาต่อมาจึงค่อยลดน้อยลงตามลำดับ

ข) คอนกรีต เมื่อมีการนำเข้าคอนกรีตเสริมเหล็กเข้ามาใช้ในประเทศไทยในช่วงรัชกาลที่ 4-5 คอนกรีตเสริมเหล็กนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นคานของโครงสร้างต่างๆ ได้อย่างดี ในการก่อสร้างโครงหลังคาก็เช่นกัน คอนกรีตสามารถหล่อเป็นคาน เสา และโครงสร้างหลังคาเช่น อกไก่ ขื่อ แปหัวเสาเป็นต้น โดยส่วนใหญ่การใช้โครงสร้างคอนกรีต จะร่วมกับการใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ โดยในช่วงแรกจะใช้ในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ แต่ต่อมาก็เริ่มแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากมีช่างผู้ชำนาญการก่อสร้างด้วยคอนกรีตและเหล็กมากขึ้น ทั้งวัสดุราคาถูกลง ทำให้แพร่หลายในหมู่ประชาชนทั่วไป ไม่ใช้เฉพาะในหมู่เจ้านายเหมือนอย่างสมัยก่อนนี้

ค) เหล็ก ในระยะหลังมีการนำเหล็กเข้ามาใช้ในการก่อสร้างโดยเฉพาะการใช้เหล็กรูปพรรณสร้างส่วนของโครงจั่ว (โครงข้อแข็ง) หรือโครงถัก (โครงข้อหมุน) ซึ่งการที่เหล็กมีความสามารถในการรับแรงดึง และโมเมนต์ดัดได้ดี ทำให้การใช้เหล็กช่วยเปิดช่องของอาคารได้กว้างมากขึ้นด้วย อีกทั้งการก่อสร้างก็เป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ราคายังแพงในช่วงแรก ต่อมาเมื่อมีการผลิตภายในประเทศ จึงนิยมใช้กันมากขึ้น

6.5.7 **การเชื่อมต่อโครงสร้าง** ในสมัยนี้ยังคงมีการเชื่อมต่อโดยใช้เทคนิคการเข้าไม้เหมือนสมัยก่อนนี้ ซึ่งได้มีการนำตะปูมาใช้ช่วยเสริมความแข็งแรงในระยะแรก ต่อมาจึงใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้งานสะดวกและรวดเร็วขึ้นงกลายเป็นวัสดุที่สำคัญในการเชื่อมต่อโครงสร้างไม้

6.5.8 **วัสดุมุง** กระเบื้องกาบกล้วย และกระเบื้องดินขอ ซึ่งทำจากดินเผา ยังพบอยู่ในสมัยนี้ นอกจากนี้มีกระเบื้องชนิดอื่นเกิดขึ้นมากในสมัยนี้ สรุปแล้วสมัยนี้มีกระเบื้องที่ใช้ในการมุงหลังคาได้แก่

- ***กระเบื้องหางมน***[*] รูปร่างแบน ปลายโค้งมน มีขออยู่ที่ปลายด้านตัด
- ***กระเบื้องหางเหยี่ยว*** คล้ายกับกระเบื้องหางบน แต่ปลายเป็นมุมแหลม มีขอเกี่ยวที่ด้านตัด
- ***กระเบื้องปลายตัด***[*] รูปร่างแบน ปลายตัดตรง ขนาดที่พบที่พระราชวังสนามจันทร์ กว้าง 14 เซนติเมตร และยาว 24 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร
- ***กระเบื้องว่าว***[*] รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมรูปว่าว มีขออยู่ตรงด้านประกอบมุมฉาก

กระเบื้องทั้ง 4 แบบนี้ มีทั้งที่ทำจากไม้ และดินเผา และแบบเคลือบสี มีหลายสี กับไม่เคลือบ ซึ่งหากทำจากดินเผา มักเรียกเหมือนกันว่า กระเบื้องดินขอ หากทำด้วยแผ่นไม้สัก มักเรียกว่า แป้นเกล็ด หรือกระเบื้องเกล็ดปลา[*] โดยมีลักษณะที่เหมือนกันคือ เป็นกระเบื้องแผ่นเล็กๆ ที่สามารถเรียงซ้อนกันและจัดรูปหลังคาให้เป็นหลังคาโค้งได้ง่ายโดยไม่เกิดช่องว่างจากการจัดวางกระเบื้องไม่ลงตัว

- ***กระเบื้องกาบกล้วย***[*] สมัยนี้มีแบบเคลือบสี ขนาดประมาณ 15 x 20 เซนติเมตร มีทั้งตัวผู้และตัวเมีย โดยตัวเมียจะวางหงาย แล้วตัวผู้จะวางคว่ำปิดรอยต่อระหว่างตัวเมีย แต่อาคารที่พระนครคีรี จะไม่ใช้ตัวผู้ จะใช้ปูนปิดรอยต่อแทนการใช้กระเบื้องตัวผู้ครอบ [74]
- ***กระจก*** เป็นวัสดุที่ใหม่มากในสมัยรัชกาลที่ 4 ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นวัสดุมุงโดยปรากฏที่หอชัชวาลเวียงชัย และหอประจำมุมบนฐานทักษิณพระที่นั่งเวชยันต์วิเชียรปราสาท โดยรูปร่างของกระจกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวๆ ขนาดและวิธีการมุงไม่สามารถระบุได้แน่นอน

6.6 วิเคราะห์โครงสร้างหลังคาของโบราณสถานไทย

โครงสร้างหลังคาอาคารโบราณสถานที่พบส่วนใหญ่ เป็น 2 ลักษณะ คือหลังคาวัสดุก่อและหลังคาโครงจั่ว ดังมีลักษณะทางโครงสร้างดังนี้

---

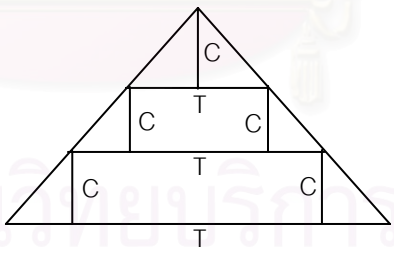
[*] ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

6.6.1 หลังคาวัสดุก่อ (Corbelling) มีลักษณะโครงสร้างคล้ายระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก คือถ่ายน้ำหนักผ่านวัสดุก่อที่ก่อเรียงกัน โดยมีหลักการคือ ก่อวัสดุให้จุดศูนย์ถ่วงของวัสดุก่อด้านบนอยู่ไม่เกินระยะ 1/4 - 1/3 ของความยาวของวัสดุก่อด้านล่าง (Middle third) ซึ่งน้ำหนักวัสดุจะถูกส่งถ่ายไปจนกระทั่งถึงผนังหรือโครงสร้างที่รับน้ำหนัก โดยรูปแบบหลังคาแบบนี้มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

โครงสร้างหลังคาแบบนี้จะมีน้ำหนักมาก ดังนั้นโครงสร้างตัวอาคารจึงต้องเป็นโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักที่มีความแข็งแรงมากเท่านั้น นอกจากนี้โครงสร้างหลังคาอาจจะมีความสูงมาก เนื่องจากในการก่อเหลื่อมจำเป็นต้องมีระยะเหลื่อมที่จะไม่ทำให้น้ำหนักของวัสดุก่อตกอยู่นอกวัสดุก่อด้านล่าง และต้องระมัดระวังในการก่ออิฐเป็นอย่างดี มิฉะนั้นอาจทำให้โครงหลังคาพังทลายได้โดยที่ยังสร้างไม่เสร็จ

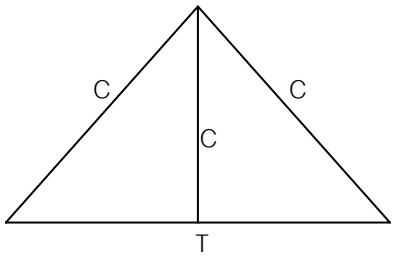
6.6.2 หลังคาโครงจั่ว มีลักษณะการถ่ายน้ำหนักแตกต่างกันไปตามรูปแบบของโครงจั่ว แต่โดยรวมมี 2 ลักษณะคือ

- ***โครงจั่วแบบมีเสาตุ๊กตา*** เป็นโครงจั่วที่มีขื่อรับแรงดึง และมีดั้ง กับเสาตุ๊กตารับแรงอัด ดังรูป 6.27 และใช้แปวางพาดระหว่างเสาตุ๊กตาของโครงจั่วแต่ละโครงเพื่อรับน้ำหนักเครื่องมุงหลังคา โดยการใช้โครงยึดระหว่างแป หรือระหว่างเสาตุ๊กตา เป็นการเพิ่มความมั่นคงของโครงจั่วให้คงรูปสามเหลี่ยมได้ดีขึ้น ส่วนการเพิ่มจันทันวางบนเสาตุ๊กตาเพื่อมารับแปเสริม เป็นการเพิ่มจำนวนแปโดยอาศัยหลักการ เสา-คานช่วงสั้น เพื่อประโยชน์ในการมุงหลังคา



รูปที่ 6.27 การถ่ายน้ำหนักของโครงจั่วแบบมีเสาตุ๊กตา

- ***โครงจั่วแบบมีจันทัน*** โครงจั่วแบบนี้ จะมีดั้ง ขื่อ และจันทัน ไม่มีเสาตุ๊กตารับแป แต่จะใช้จันทันวางพาดระหว่างอกไก่ และอะเส เพื่อรับน้ำหนักแปแทนเสาตุ๊กตา ดังนั้นโครงสร้างจั่วแบบนี้ จึงมีโครงสร้างรับแรงอัดเพิ่มขึ้น คือจันทัน และในโครงจั่วอาจมีค้ำยันรับแรงอัดจากจันทัน เพื่อป้องกันการแอ่นตัวของจันทันที่อาจมีช่วงยาวมาก โดยการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างจั่วแบบนี้ แสดงดังรูป 6.28



รูปที่ 6.28 การถ่ายน้ำหนักของโครงจั่วแบบมีจันทัน

นอกจากนี้ ยังมีโครงสร้างแบบ โครงถักที่ใช้การเชื่อมต่อที่จุดรองรับแบบอิสระ และโครงสร้างแบบโดมและคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ก) โครงจั่ว โครงสร้างหลังคาแบบนี้มีน้ำหนักเบา เพราะใช้ไม้เป็นโครงสร้าง แต่มีอายุไม่ยาวนานนัก เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่ไม่ถาวร โครงสร้างแบบหลังคาจั่วทำให้อาคารเปิดช่วงได้กว้างมากขึ้นกว่าแบบก่อเหลื่อม นอกจากนี้การก่อสร้างโครงหลังคาจั่วจำเป็นต้องใช้ความรู้ในงานไม้เป็นอย่างดี เนื่องจากสมัยก่อนยังไม่มีการใช้ตะปูเชื่อมโครงสร้างไม้ จึงอาศัยการเข้าไม้แบบต่างๆ ในการเชื่อมต่อส่วนของโครงสร้าง ซึ่งการเข้าไม้บางรูปแบบนั้น อาจทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างมีความหนาลดลงมาก จนกลายเป็นจุดอ่อนของโครงสร้างได้

ข) โครงถัก โครงสร้างแบบนี้ทำให้สามารถเปิดช่วงกว้างอาคารได้มากขึ้น โดยเฉพาะการใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง เพราะเหล็กมีความแข็งแรงมาก และสามารถรับแรงดึงได้ดี ทำให้รองรับการแอ่นตัวได้ แต่โครงสร้างเหล็กอาจมีราคาแพงกว่าแบบอื่นด้วย การใช้โครงถักนี้ทำให้ได้โครงหลังคาอาคารที่สามารถใช้พื้นที่โล่งเหนือระดับขื่อได้ และได้โครงหลังคาที่มีโครงสวยงามด้วย

ค) คอนกรีตเสริมเหล็ก การใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้ก่อสร้างหลังคาอาคารที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีช่วงกว้างมากขึ้น อีกทั้งยังได้พัฒนาไปถึงการทำคานยื่น ซึ่งทำให้มีพื้นที่ใช้สอยกว้างขวางโดยไม่ถูกรบกวนด้วยเสา และสามารถรับน้ำหนักของวัสดุมุงที่มีน้ำหนักมากขึ้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างหลังคามีพัฒนาการจากหลังคาวัสดุก่อมาเป็นหลังคาโครงจั่ว โดยหลังคาวัสดุก่อนั้นเป็นรูปแบบที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างตัวอาคารระบบผนังรับน้ำหนัก และเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับโครงสร้างอาคารประเภทเจดีย์ จึงพบว่าถูกใช้ในการก่อสร้างเจดีย์ในทุกยุคสมัย โครงหลังคาจั่วนั้นพบตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย ต่อมาได้มีการพัฒนาองค์ประกอบของโครงสร้างหลังคาเพื่อให้โครงสร้างมีความหนาแน่นมั่นคงขึ้น เช่น การเสริมไม้ยึดโครงในแนวเอียง ทำให้โครงจั่วสามเหลี่ยมมีความแข็งแรง ไม่เซ และการพัฒนาให้มีจันทันสั้นๆ วางบนเสาตุ๊กตาเพื่อรับแปเสริม อาจเป็นการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุมุงหลังคา จากนั้นจึงพัฒนาไปถึงโครงจั่วระบบใช้

จันทัน ซึ่งเมื่อมีช่วงกว้างอาคารมาก จันทันจะมีการแอ่นตัวมาก จึงได้มีการใช้ค้ำยันค้ำไม้จันทันไว้ เมื่อสมัยรัตนโกสินทร์ได้มีการพัฒนาวัสดุก่อสร้างมากขึ้น โครงหลังคาจั่วจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น และยังพัฒนาต่อไปถึงโครงถัก หลังคาโดม และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย

6.7 **พัฒนาการของโครงสร้างหลังคาของโบราณสถานไทย**

โครงสร้างหลังคาของไทยแบ่งได้เป็น 5 ระบบคือ

6.7.1 ระบบวัสดุก่อ เป็นระบบที่ใช้มาตลอดนับตั้งแต่พบหลักฐานการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน ส่วนใหญ่ใช้ในอาคารประเภทเจดีย์ และมณฑป โดยใช้เทคนิคการก่อแบบสันเหลื่อมทั้งสิ้น ช่างโบราณได้รู้จักเทคนิคนี้มาตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย และได้ใช้หลักการก่อที่ถูกต้อง โดยไม่ทำให้น้ำหนักของอิฐด้านบนตกอยู่นอกจุดรับน้ำหนักของอิฐก้อนล่าง ด้วยการก่อยื่นออกมาไม่เกิน ¼ ของความยาวอิฐ

6.7.2 โครงสร้างจั่ว เป็นโครงสร้างไม้ที่รับน้ำหนักเครื่องมุง โดยการนำไม้มาประกอบเป็นโครงสามเหลี่ยมรูปแบบต่างๆ ในสมัยก่อนสุโขทัย สันนิษฐานว่าเป็นการสร้างโครงจั่วง่ายๆ เป็นจั่วชั้นเดียวโดยไม่มีกรอบของสามเหลี่ยม และวางแปบนรูที่เจาะบนผนังอาคารรับน้ำหนักเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งแปจะรับน้ำหนักจากกลอนและระแนง และวัสดุมุงหลังคา

ในสมัยสุโขทัย มีการทำหลังคาที่ซับซ้อนขึ้น คือมีการซ้อนชั้นและลดชั้นหลังคา และได้ใช้โครงหลังคาจั่วแบบเครื่องประดุ ซึ่งมีลักษณะการถ่ายน้ำหนักจากวัสดุมุงคล้ายกับแบบก่อนหน้านี้ แต่การถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาหรือผนังรับน้ำหนักนั้น ใช้ขื่อวางพาดบนผนังรับน้ำหนักหรือเสา เพื่อรับน้ำหนักจากเสาตุ๊กตา ซึ่งเสาตุ๊กตานี้เป็นตัวรับแปแทนผนังของสมัยก่อนสุโขทัย โครงเครื่องประดุในสมัยสุโขทัยพบว่ามีหลายแบบ ได้แก่

- โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนผนัง
- โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนเสาประธาน
- โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีไม้ยึดโครง
- โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีจันทันต่อรับแปเสริม

โครงแบบนี้ใช้ในสมัยล้านนาเช่นกัน แต่มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า “ม้าตั่งไหม” โดยสมัยล้านนา มีการพัฒนาองค์ประกอบที่เป็นไม้ค้ำยันยันจากโคนใบดั้งไปยังกลางอกไก่ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงอกไก่ และมีไม้ยิงลม ที่เป็นตัวค้ำยันโครงจั่วสามเหลี่ยมให้แข็งแรงขึ้น

สมัยอยุธยา ยังมีการใช้โครงเครื่องประดุอยู่ โดยเฉพาะแบบเครื่องประดุผสมจันทัน พัฒนาการในสมัยนี้อยู่ที่การยื่นปลายขื่อออกมาเลยเสาประธานหรือผนังรับน้ำหนัก ทำให้ได้ช่วงอาคารกว้างขึ้นในระดับความสูงเท่าเดิม และเป็นการลดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่จะเกิดกับขื่อประธานด้วย นอกจากนี้ในสมัยนี้ยังมีการก่อผนังอิฐด้านหน้าขึ้นไปจนถึงระดับอกไก่ ซึ่งทำให้สามารถใช้ผนังในการรับน้ำหนักจากอกไก่ได้ด้วย จากเดิมที่แรงจากอกไก่จะลงไปสู่เสาดั้ง และส่งผ่านขื่อไปยังเสาหรือผนังรับน้ำหนัก ทำให้บางครั้งจำเป็นต้องเสริมเสาเพื่อรับน้ำหนักจากขื่อ มิให้ขื่อเกิดแรงดัดและแอ่นจนเกินไป แต่การเสริมเสากลางอาคาร กลับทำให้พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารดูอึดอัด แลดูคับแคบลง ดังนั้นการก่อผนังขึ้นไปรับน้ำหนักอกไก่นี้ จึงช่วยให้ไม่ต้องตั้งเสาเสริมทำให้ได้อาคารที่โล่งขึ้น ถึงแม้จะมีพื้นที่จริงน้อยกว่าก็ตาม

สมัยรัตนโกสินทร์ เป็นช่วงเวลาที่มีพัฒนาการทางโครงสร้างอย่างมาก เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านวัสดุก่อสร้าง รวมทั้งการนำเอาเทคโนโลยีจากต่างประเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ ทำให้สมัยนี้มีโครงสร้างหลังคารูปแบบหลากหลายมากขึ้น โดยรูปแบบที่พัฒนามาจากสมัยอยุธยาคือโครงสร้างจั่วใช้จันทัน และระบบผสม โดยระบบผสมนั้น มีลักษณะการวางเสาตุ๊กตาและแปหลายแบบ ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของไม้และรูปทรงหลังคาด้วย

6.7.3 โครงถัก เป็นโครงสร้างหลังคาที่ได้รับอิทธิพลจากชาติตะวันตก ซึ่งต่างจากโครงจั่วเดิมที่โครงถักไม่ได้ใช้ขื่อรับน้ำหนักอาคารลงสู่เสา แต่จะใช้โครงถักซึ่งมีความแข็งแรงและส่งถ่ายแรงมายังเสาหรือผนังรับน้ำหนักที่จุดต่อของกับโครงถัก ซึ่งพบครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 5 ที่อุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ โดยโครงถักมีรูปร่างโค้งแบบสถาปัตยกรรมตะวันตก

6.7.4 หลังคาทรงโดม คือหลังคาที่มีลักษณะเป็นโดม ผังกลม มีทั้งแบบวัสดุก่อและมีแกนกลางภายใน เพื่อรับน้ำหนักของส่วนยอด ซึ่งพบมาตั้งแต่อดีตแล้ว ใช้เทคนิคก่ออิฐเหมือนในอดีต และแบบหลังคาทรงโดมที่ใช้กระจกมุงหลังคามีขนาดไม่ใหญ่นัก เป็นเพียงหลังคาของหอส่วนหนึ่งของอาคาร หลังคาโดยมีโครงสร้างเป็นเหล็ก พบครั้งแรกในอาคารสมัยรัชกาลที่ 5

6.7.5 หลังคาโครงสร้างคอนกรีต โครงสร้างคอนกรีตถูกใช้เป็นโครงสร้างหลังคาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 5 แต่ไม่แพร่หลายนัก โดยใช้เป็นคานรับน้ำหนักรวมถึงการทำคานยื่น ด้วยคุณสมบัติของคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้สามารถทำคานยื่นได้ถึง 18 เมตรในช่วงประมาณปีพ.ศ. 2475 – 2480

พัฒนาการของโครงสร้างหลังคาอาคารประเภทที่ใช้สอยพื้นที่ภายในแสดงดังตาราง 6.1

นอกจากระบบโครงสร้างแล้ว วัสดุเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดพัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของหลังคาอาคาร โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไป ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างที่แตกต่างจากแบบเดิมได้ วัสดุก่อสร้างโครงหลังคาในช่วงสมัยก่อนสุโขทัย จนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น ใช้วัสดุธรรมชาติ คือไม้ และวัสดุที่มนุษย์ทำขึ้น คืออิฐ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะในโครงสร้างประเภทที่ใช้สอยพื้นที่ภายในอาคาร ไม้จะเป็นตัวสำคัญที่จะกำหนดขนาดของอาคารประเภทนี้ เนื่องจากขนาดของไม้มีจำกัด เมื่อจะนำมาใช้พาดบนผนังหรือเสาเพื่อรับน้ำหนัก จึงต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างผนังหรือเสาประธานให้พอดีกับไม้ที่อยู่ และยังต้องพิจารณาด้วยว่า ไม้นั้นจะสามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาได้โดยไม่แตกหักหรือไม่

ตารางที่ 6.1 สรุปพัฒนาการของโครงสร้างหลังคาประเภทอาคารที่ใช้สอยพื้นที่ภายใน

ยุคสมัย	โครงจั่ว	โครงถัก	โดม	คอนกรีตเสริมเหล็ก
ก่อนสุโขทัย	X	-	-	-
สุโขทัย	X - เครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนผนัง - เครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนเสา - เครื่องประดุแบบมีไม้ยึดโครง - เครื่องประดุแบบมีจันทันต่อรับแปเสริม	-	-	-
ล้านนา	X - ไม้ค้ำยันและไม้ยิงลมยึดโครงจั่ว	-	-	-
อยุธยา	X - เครื่องประดุผสมจันทัน	-	-	-
รัตนโกสินทร์ **รัชกาลที่** 5	X -โครงจั่วแบบใช้จันทันรับน้ำหนัก	X	X	X

หมายเหตุ: X หมายถึง ปรากฏหลักฐานรูปแบบโครงสร้างดังกล่าวในสมัยนั้น

ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างนี้มีหลายชนิด เช่น ไม้เต็ง ไม้สัก ไม้แดง ซึ่งในสมัยก่อนยังสามารถหาได้ไม่ยาก และมีคุณภาพดี ช่างโบราณมีความรู้และความชำนาญในงานไม้เป็นอย่างดี รู้จักการเข้าไม้ที่ใช้การบากร่อง การสับไม้ และการใช้สลักเดือยไม้ ทำให้สามารถก่อสร้างโครงสร้างไม้ได้แม้ไม่มีตะปูหรือวัสดุยึดโครงสร้างเหมือนปัจจุบัน

ช่วงรัชกาลที่ 3-4 ประเทศไทยมีความสัมพันธ์อันดีต่างชาติ จึงได้รับเอาเทคนิควิทยาการจากต่างชาติเข้ามาประยุกต์ใช้ แต่มักเป็นรูปแบบของสถาปัตยกรรมมากกว่า ส่วนของการก่อสร้างได้รับเอาวัสดุที่เริ่มผลิตจากต่างประเทศเข้ามาใช้ เช่น ตะปู เหล็ก คอนกรีต ทำให้ช่วงเวลาหลังจากนี้มีพัฒนาการในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นมาก และเวลาต่อมาวัสดุเหล่านี้ได้มีการผลิตขึ้นในประเทศทำให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น จนกระทั่งปัจจุบันกลายเป็นวัสดุพื้นฐานของการก่อสร้างไปแล้ว

ส่วนวัสดุมุงหลังคานั้น มีพัฒนาการที่คล้ายกับวัสดุโครงสร้าง คือในช่วงก่อนรัตนโกสินทร์ตอนต้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนใหญ่ยังคงใช้กระเบื้องดินเผาแบบกาบกล้วย และกระเบื้องดินขอ และกระเบื้องไม้ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกระเบื้องดินขอ ต่อมามีการเคลือบกระเบื้องดินเผาในสมัยรัตนโกสินทร์ มีการเคลือบสี กระเบื้องไม้ และกระเบื้องดินเผาให้สวยงาม

จากสรุปพัฒนาการดังกล่าว จะเห็นว่าการพัฒนาโครงสร้างหลังคาอาคารโบราณสถานนอกจากการพัฒนาจากโครงสร้างวัสดุก่อมาเป็นโครงสร้างจั่วแล้ว ส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงในรายละเอียดขององค์ประกอบโครงจั่ว และการเปลี่ยนแปลงของการใช้วัสดุเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างจั่ว แต่ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงจั่วไม่เปลี่ยนแปลงนัก คือมีลักษณะเป็นเสา-คานช่วงสั้น และองค์ประกอบมีทั้งโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดึง ซึ่งได้ใช้มาจนกระทั่งสมัยปัจจุบัน ร่วมกับการใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมาเป็นส่วนประกอบของหลังคา ซึ่งทำให้ก่อสร้างอาคารได้ขนาดใหญ่ และมีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมหลากหลายมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการวิจัยนี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างโบราณสถานในประเทศไทย ในแต่ละยุคสมัย เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะและรูปแบบการก่อสร้างส่วนต่างๆ ของอาคาร ได้แก่ ฐานราก ตัวอาคาร และหลังคา แล้วจึงนำมาเรียบเรียงตามลำดับเวลาการก่อสร้าง ซึ่งทำให้สามารถมองเห็นถึงพัฒนาการของการก่อสร้างแต่ละส่วนของอาคารได้ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่าการก่อสร้างอาคารโบราณสถานไทย มีพัฒนาการในแต่ละส่วนดังนี้

7.1.1 ระบบโครงสร้างฐานราก

ฐานรากแบบที่เก่าที่สุดและใช้เทคนิคในการก่อสร้างน้อยที่สุด คือ *การใช้ชั้นดินเดิมเป็นฐานรากอาคาร* ตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย โดยอาจมีการปรับปรุงคุณภาพดินบ้าง โดยการบดอัดวัสดุต่างๆ เพื่อให้ชั้นดินรับน้ำหนักแข็งแรงขึ้น ต่อมาเมื่อรูปแบบสถาปัตยกรรมเริ่มพัฒนาให้อาคารมีการยกพื้นสูงขึ้น ทำให้ส่วนฐานนั้นกลายเป็นส่วนประกอบของ *ฐานรากแผ่* ซึ่งช่วยกระจายน้ำหนักจากอาคารลงสู่ดิน โดยชั้นดินที่รับน้ำหนักนั้น บางแห่งมีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการนำวัสดุอื่นที่แข็งแรงกว่าดินเดิมมาบดอัดทับ ในสมัยก่อนกรุงศรีอยุธยา พบการใช้วัสดุไม่เกิน 2 ชนิดในการปรับปรุงคุณภาพดินใต้ฐานราก แต่ตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นต้นมา พบว่ามีการใช้วัสดุมากกว่า 2 ชนิด มีทั้งการบดอัดเป็นชั้น และการบดอัดแบบผสมวัสดุก่อนบด

ลักษณะฐานแผ่จะมี 2 ลักษณะ คือ *ฐานแผ่แบบก่ออิฐทึบตัน* และ*ฐานแผ่แบบก่อวัสดุก่อเป็นกรอบ และบดอัดเศษวัสดุภายในกรอบ* ทั้งสองแบบไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่มีการก่อสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกได้อย่างชัดเจน แต่จากลักษณะการก่อสร้าง แบบก่ออิฐทึบตันควรจะเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงมีการพัฒนาเป็นแบบก่อวัสดุเป็นกรอบต่อมา เพื่อเป็นการประหยัดวัสดุก่อ และเพื่อความรวดเร็วของการก่อสร้างด้วย

จนกระทั่งต่อมาในสมัยกรุงศรีอยุธยา ช่วงรัชกาลสมเด็จเจ้าสามพระยา (พ.ศ. 1967 – 1991) ได้มีการพัฒนาระบบฐานรากแผ่แบบ *ก่อเอ็นอิฐรับน้ำหนัก* ขึ้นมา โดยก่ออิฐเป็นกรอบฐานก่อน แล้วก่อแนวเอ็นอิฐภายในกรอบฐาน ผังของเอ็นอิฐเหล่านี้ที่พบ ได้แก่ ผังรูปกากบาท รูปรัศมี

กงล้อธรรมจักร และรูปขั้นบันได โดยในช่องว่างระหว่างแนวเอ็นเหล่านั้น จะถูกถมด้วยวัสดุถม เช่นเดียวกับแบบก่ออิฐเป็นกรอบ

การก่อวัสดุก่อในโครงสร้างฐานราก พบว่าช่างโบราณมักให้ความสำคัญในการก่อน้อยกว่าส่วนอื่นของอาคาร ทั้งเรื่องระเบียบการก่อ ความสวยงาม การเลือกใช้วัสดุก่อ การเชื่อมประสาน โดยบางแห่งไม่ใช้วัสดุเชื่อมประสานในการก่อฐานราก แต่โครงสร้างส่วนอื่น สอดิน หรือปูน ส่วนการใช้วัสดุ พบว่าบางแห่ง มีการใช้อิฐที่ไม่สมบูรณ์ในการก่อฐานราก หรือใช้อิฐขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ระเบียบการก่ออิฐไม่คงที่ด้วย

ระเบียบการก่ออิฐโดยส่วนใหญ่ไม่เป็นระบบที่ชัดเจนนัก แต่มีบางแห่งที่พิจารณาการเรียงอิฐแล้วมีความคล้ายคลึงกับระบบสากล เช่น Flemish bond ซึ่งพบในอาคารสมัยก่อนสุโขทัย และล้านนา English Bond, Common bond, Header Bond พบในสมัยสุโขทัย ส่วนสมัยกรุงศรีอยุธยาพบทุกระบบดังกล่าว และยังพบการก่อเรียงอิฐแบบ Stretcher Bond ที่มีระยะเหลื่อมของอิฐแถวบนและล่าง ¼ ก้อน

พัฒนาการต่อมาของระบบฐานรากคือฐานรากแบบ *คลองราก* ซึ่งพบหลักฐานว่าถูกใช้ครั้งแรกเมื่อสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลาย ที่พระที่นั่งสรรเพชญปราสาท เป็นการทำฐานรากของอาคารส่วนที่รับน้ำหนักเป็นแนวยาว ได้แก่บริเวณผนังรับน้ำหนัก ลักษณะการทำฐานแบบนี้จะขุดเป็นคลอง (ตามแนวที่รับน้ำหนัก) แล้วใช้ท่อนซุงวางขัดกันเป็นตาราง หรือก่ออิฐเป็นตารางเพื่อรับน้ำหนักอาคาร ภายในช่องตารางเหล่านี้จะถมด้วยวัสดุถม

ฐานแพ ถูกพัฒนาขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 1 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ โดยใช้ท่อนซุงวางพาดเป็นตาราง เพื่อรองรับน้ำหนักของอาคาร แพซุงดังกล่าวอาจวางบนชั้นดินหรือฝังในพื้นที่ที่ก่อสร้างโดยขุดดินเดิมออกก่อน โดยฐานแพจะแตกต่างจากฐานแบบคลองราก ตรงที่ฐานแพ จะรองรับพื้นที่ทั้งอาคาร แต่ฐานแบบคลองรากจะรองรับเฉพาะอาคารบริเวณที่รับน้ำหนักมากเช่น ผนัง การใช้แพซุงแบบนี้ ในทางหลักการวิชาการแล้ว จะเห็นว่าเป็นการลดแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อชั้นดินบริเวณใกล้เคียง แต่ฐานแพจะไม่มีผลต่อการช่วยลดการทรุดตัวของอาคาร เพราะชั้นดินในกรุงเทพซึ่งโบราณสถานสมัยรัตนโกสินทร์ตั้งอยู่นั้นเป็นชั้นดินอ่อน ชั้นดินที่แข็งแรงอยู่ลึกกว่าระดับที่วางฐานแพมาก ดังนั้นปริมาณการทรุดตัวจึงไม่แตกต่างจากฐานรากแบบอื่นที่วางบนชั้นดินอ่อน แต่จะทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นเท่ากันทั้งอาคาร

ในสมัยรัชกาลที่ 1 เช่นเดียวกัน พบว่ามีการใช้ *ฐานรากลึก* ที่ทำจาก *ไม้* (รัชกาลที่ 1) โดยใช้ไม้เป็นเสาเข็มตอกจนถึงระดับที่คาดว่าดินจะสามารถรับน้ำหนักได้ จากนั้นปูอิฐหรือวางซุงเพื่อทำฐานแผ่บนหัวเข็ม แล้วจึงก่ออาคารขึ้นไป อาคารบางแห่งขุดเป็นคลองราก แล้วตอกเข็มเพื่อรับฐานคลองราก ในสมัยรัชกาลที่ 5 มีหลักฐานว่าการใช้เข็มไม้เป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น

สังเกตจากตำราก่อสร้างที่แต่งขึ้นในสมัยนั้น ระบุว่าการก่อสร้างฐานรากอาคาร มี 3 แบบ คือ ฐานรากอย่างดี อย่างกลาง และอย่างเลว ซึ่งทั้งสามแบบ ต่างก็ใช้เข็มไม้ทั้งสิ้น

ฐานแผ่ถมโปร่ง โดยใช้โอ่ง หรือตุ่มดินเผา เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 4 ที่พระเจดีย์ภูเขาทองวัดสระเกศ ซึ่งได้พยายามก่อสร้างแก้ปัญหาฐานรากด้วยวิธีอื่น แต่ไม่สำเร็จ จึงได้นำวิธีการถมโปร่งมาใช้ องค์เจดีย์จึงตั้งอยู่ได้ ฐานแบบนี้จะช่วยลดน้ำหนักที่กระทำต่อชั้นดินด้านล่างที่รับน้ำหนัก โดยใช้โอ่งหรือตุ่มดินเผานี้ มาวางคว่ำเรียงซ้อนกันลงไปแทนที่จะใช้วัสดุถมเช่น ดิน ทรายถมอัดลงไปเต็มพื้นที่และความลึก ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อชั้นดินด้านล่างลดลงกว่าครึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการอัดดินเต็มพื้นที่ จึงช่วยลดการทรุดตัวของชั้นดินได้

รูปแบบฐานรากที่เป็นพัฒนาการในช่วงสุดท้ายก่อนจะมาถึงปัจจุบัน คือ *ฐานรากลึกที่ใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก* ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 5 เนื่องจากมีการนำเข้าวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กเข้ามาใช้ในประเทศไทย รวมทั้งการรับเอาเทคโนโลยีจากชาติตะวันตกด้วย ซึ่งได้นำมาใช้ในการทำฐานรากของพระที่นั่งอนันตสมาคม ซึ่งใช้เทคโนโลยีที่ถือว่าใหม่มากในสมัยนั้น โดยการใช้เข็มเจาะคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็น Pure friction pile

ในเวลาต่อมา ฐานรากได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยวัสดุที่สำคัญคือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก และด้านความสะดวกในการก่อสร้างด้วย โดยเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงแบบ Pretension ซึ่งได้มีการผลิตใช้ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2498 ซึ่งถือเป็นอีกความก้าวหน้าที่สำคัญของการก่อสร้างฐานราก ทั้งนี้เทคนิคเก่า ๆ บางครั้งยังถูกนำมาใช้ในกรณีที่เหมาะสม แต่บางเทคนิคก็ถูกลืมไปแล้ว

7.1.2 ระบบโครงสร้างตัวอาคาร

โครงสร้างตัวอาคารนั้น ช่างไทยโบราณรู้จักโครงสร้างระบบเสาและคานมานานแล้ว แต่คาดว่าคงจะหลังจากโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนัก เนื่องจากวัสดุที่มีอยู่ในอดีต หรือที่สามารถหาได้ เช่น อิฐ และศิลานั้น เหมาะกับโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนักมากกว่าระบบเสาและคาน แต่ช่างโบราณก็พยายามที่จะใช้ระบบเสาและคาน โดยในการทำช่องเปิดตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย ได้มีการใช้ระบบเสาและคานทับหลังแล้ว โดยใช้หินทรายเป็นคานทับหลัง และเนื่องจากหินทรายเป็นวัสดุที่ไม่เหมาะสำหรับรับแรงดึง จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยการก่อผนังบนคานทับหลังเป็นช่องสามเหลี่ยม เพื่อถ่ายเทแรงลงสู่เสาหรือผนังด้านข้าง ซึ่งนับว่าเป็นความรู้อันน่าทึ่งของช่างโบราณ ส่วนการใช้ไม้ในการก่อสร้างนั้น ไม่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารสำคัญ ใช้เพียงในการก่อสร้างบ้านเรือนเท่านั้น จึงพบว่าในสมัยแรกๆ มักใช้ไม้เป็นเพียงส่วนประกอบของโครงสร้างช่องเปิดเท่านั้น

ช่วงเวลาก่อนกรุงศรีอยุธยา อาคารทั้งหมดเป็นอาคารที่ใช้สอยพื้นที่เพียงชั้นเดียว คือชั้นพื้นดิน แต่ในสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลายนั้น ได้มีการก่อสร้างอาคารที่มีพื้น 2 ชั้น โดยใช้โครงสร้างเสาและคาน หรือระบบผสมในการรับน้ำหนักพื้นชั้นบน และยังก่อผนังต่อเนื่องจากชั้นล่างไปถึงชั้นบนด้วย ดังนั้นผนังจึงมีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาความมั่นคงของตัวเองไว้

นับจากสมัยก่อนสุโขทัยมาจนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ ระบบโครงสร้างทั้งสองระบบถูกใช้ควบคู่กันมาโดยตลอด โดยในสมัยหลังนี้ ระบบผนังรับน้ำหนัก ถูกใช้ลดลง เนื่องมาจากการพัฒนาของวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะวัสดุประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีผลทำให้การก่อสร้างระบบเสาและคานกระทำได้สะดวก รวดเร็ว ได้พื้นที่ใช้สอยของอาคารมากกว่า และยังสามารถออกแบบอาคารรูปทรงตามต้องการได้ด้วย

การก่อโค้ง แท้ที่จริงแล้ว ช่างไทยโบราณได้รู้จักและใช้โครงสร้างสันโค้งกลมมาอย่างน้อยตั้งแต่สมัยล้านนาแล้ว แต่การก่อสร้างอาจจะไม่ได้มาตรฐานการก่อโค้งมากนัก โดยก่อใช้สันอิฐเบียดกันไป แต่ไม่ได้มีการใช้อิฐลิ่มตอกตรงกลางโค้ง เหมือนอย่างโค้ง Arch ของตะวันตก ซึ่งในเวลาต่อมา ช่วงสมัยพระนารายณ์ ชาวตะวันตกก็ได้นำเทคนิคการก่อโค้งโดยการตอกอิฐลิ่มนี้มาเผยแพร่ ซึ่งทำให้พบว่าในสมัยนี้มีการก่อโค้งในช่องเปิดต่างๆ มากมาย รวมทั้งโค้งแหลมด้วย

โดยในสมัยรัตนโกสินทร์ก็ได้มีพัฒนาการที่ต่อเนื่องมาอีก โดยการก่อสร้างโค้งต่อเนื่องในสมัยรัชกาลที่ 4 ซึ่งในครั้งแรกนั้น การก่อโค้งต่อเนื่องช่างไทยยังไม่มีความเข้าใจถึงแรงถีบของโค้งตัวริมมากนัก จึงทำให้โครงสร้างริมโค้งตัวนอกมักจะพังทลายเนื่องจากไม่สามารถต้านแรงถีบนี้ไว้ได้ ในเวลาต่อมาจึงได้นำคอนกรีตไปก่อโค้ง ซึ่งให้รูปทรงที่สวยงามกว่า และความแข็งแรงมากกว่า

นอกจากนี้ ช่างโบราณยังได้พยายามแก้ไขปัญหาที่เกิดในงานก่อสร้าง จนกลายเป็นเทคโนโลยีของสมัยนั้น เช่น การเจาะช่องเปิดแบบลูกมะหวด การก่ออิฐหุ้มเสาไม้ การขึ้นโครงเจดีย์ด้วยแกนใน การเชื่อมต่อโครงสร้างไม้และหินด้วยการสลักเดือย เป็นต้น ซึ่งเทคนิคต่างๆ เหล่านี้ล้วนเกิดจากการพบเจอกับปัญหา แล้วจึงนำไปสู่การแก้ไขปัญหา ร่วมกับการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง ทำให้เกิดการพัฒนาการก่อสร้างขึ้นในแต่ละยุคสมัย

7.1.3 ระบบโครงสร้างหลังคา

โครงสร้างหลังคาของอาคารโบราณสถานไทยมีการพัฒนาโดยเริ่มจาก *ระบบวัสดุก่อ* ซึ่งเป็นระบบแรกๆ และยังคงใช้มาตลอดนับตั้งแต่พบหลักฐานการก่อสร้างอาคารโบราณสถาน ส่วนใหญ่ใช้ในอาคารประเภทเจดีย์ และมณฑป โดยใช้เทคนิคการก่อแบบสันเหลื่อมทั้งสิ้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่รู้จักมาตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัยแล้ว

ระบบโครงสร้างจั่ว เป็นโครงสร้างไม้ที่รับน้ำหนักเครื่องมุง โดยการนำไม้มาประกอบเป็นโครงสามเหลี่ยมรูปแบบต่างๆ โครงสร้างจั่วน่าจะเริ่มมีมาตั้งแต่สมัยก่อนสุโขทัย โดยเริ่มจากการสร้างโครงจั่วง่ายๆ เป็นจั่วชั้นเดียวโดยไม่มีกรอบของสามเหลี่ยม แต่จะวางแปบนรูที่เจาะบนผนังอาคารรับน้ำหนักเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งแปจะรับน้ำหนักจากกลอนและระแนง และวัสดุมุงหลังคา

ต่อมาในสมัยสุโขทัย มีการทำหลังคาที่ซับซ้อนขึ้น คือมีการซ้อนชั้นและลดชั้นหลังคา และได้ใช้โครงหลังคาจั่วแบบ *เครื่องประดุ* ซึ่งมีลักษณะการถ่ายน้ำหนักจากวัสดุมุงคล้ายกับแบบก่อนหน้านี้ แต่การถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาหรือผนังรับน้ำหนักนั้น ใช้ขื่อวางพาดบนผนังรับน้ำหนักหรือเสา เพื่อรับน้ำหนักจากเสาตุ๊กตา ซึ่งเสาตุ๊กตานี้จะเป็นตัวรับแปแทนผนังของสมัยก่อนสุโขทัย ซึ่งภายในโครงสามเหลี่ยมจะมีรายละเอียดมากขึ้น โครงเครื่องประดุในสมัยสุโขทัยพบว่ามีหลายแบบ ได้แก่ โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนผนัง โครงหลังคาเครื่องประดุแบบขื่อประธานวางบนเสาประธาน โครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีไม้ยึดโครง และโครงหลังคาเครื่องประดุแบบมีจันทันต่อรับแปเสริม

ในสมัยล้านนาก็ใช้โครงหลังคาแบบนี้ด้วยเช่นกัน แต่เรียกว่า “ม้าตั่งไหม” และมีการพัฒนาองค์ประกอบที่เป็นไม้ค้ำยันยันจากโคนใบดั้งไปยังกลางอกไก่ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงอกไก่ และยังมีไม้ยิงลม ที่เป็นตัวค้ำยัน โครงจั่วสามเหลี่ยมให้แข็งแรงขึ้นด้วย

สมัยกรุง*ศรี*อยุธยา โครงเครื่องประดุยังถูกใช้อยู่ โดยเฉพาะแบบ *เครื่องประดุผสมจันทัน* พัฒนาการในสมัยนี้อยู่ที่การยื่นปลายขื่อออกมาเลยเสาประธานหรือผนังรับน้ำหนัก ทำให้ได้ช่วงอาคารกว้างขึ้น ที่ระดับความสูงเท่าเดิม และเป็นการลดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่จะเกิดกับขื่อประธานด้วย นอกจากนี้ในสมัยนี้ยังมีการก่อผนังอิฐด้านหน้าขึ้นไปจนถึงระดับอกไก่ ซึ่งทำให้สามารถใช้ผนังในการรับน้ำหนักจากอกไก่ได้ด้วย ทำให้ไม่ต้องเสริมเสาภายในอาคาร อาคารจะแลดูโล่งขึ้น ถึงแม้จะมีพื้นที่จริงเท่ากัน

ส่วนสมัยรัตนโกสินทร์มีโครงสร้างหลังคารูปแบบหลากหลายมากขึ้น โดยแบบที่พัฒนามาจากสมัยกรุง*ศรี*อยุธยาคือ โครงสร้างจั่วใช้จันทัน และระบบผสม โดยระบบผสมนั้น มีลักษณะการวางเสาตุ๊กตาและแปต่างๆ กัน ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของไม้ และรูปทรงหลังคาด้วย และยังมีรูปแบบหลังคาอื่นที่พัฒนาจากการรับเอาเทคโนโลยีจากต่างชาติ นั่นคือ *ระบบโครงถัก หลังคาทรงโดม* และการใช้*โครงสร้างคอนกรีตรับหลังคา* ซึ่งต่อมาโครงสร้างหลังคาเหล่านี้ได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายจนกระทั่งปัจจุบัน

นอกจากระบบโครงสร้างแล้ว วัสดุยังเป็นอีกส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดพัฒนาการ และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของหลังคาอาคาร โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไป ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างที่แตกต่างจากแบบเดิมได้ วัสดุก่อสร้างโครงหลังคาในช่วง

สมัยก่อนสุโขทัย จนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น ใช้วัสดุธรรมชาติ คือไม้ และวัสดุที่มนุษย์ทำขึ้น คืออิฐ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะในโครงสร้างประเภทที่ใช้สอยพื้นที่ภายในอาคาร ไม้จะเป็นตัวสำคัญที่จะกำหนดขนาดของอาคารประเภทนี้ เนื่องจากขนาดของไม้ มีจำกัด เมื่อจะนำมาใช้พาดบนผนังหรือเสา เพื่อรับน้ำหนัก จึงต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างผนังหรือเสาประธานให้พอดีกับไม้ที่อยู่ และยังต้องพิจารณาด้วยว่า ไม้นั้นจะสามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาได้โดยไม่แตกหักหรือไม่ ช่างโบราณมีความรู้และความชำนาญในงานไม้เป็นอย่างดี รู้จักการเข้าไม้ที่ใช้การบากร่อง การสับไม้ และการใช้สลักเดือยไม้ ทำให้สามารถก่อสร้างโครงสร้างไม้ได้ แม้ไม่มีตะปูหรือวัสดุยึดโครงสร้างเหมือนปัจจุบัน

เมื่อช่วงรัชกาลที่ 3-4 สมัยรัตนโกสินทร์ ประเทศไทยได้มีความสัมพันธ์อันดีกับต่างชาติ จึงได้รับเอาเทคนิควิทยาการจากต่างชาติเข้ามาประยุกต์ใช้ แต่มักเป็นรูปแบบของสถาปัตยกรรมมากกว่า ส่วนของการก่อสร้างนั้น จะได้รับเอาวัสดุที่เริ่มผลิตจากต่างประเทศเข้ามาใช้ เช่น ตะปูเหล็ก คอนกรีต ดังนั้นทำให้ช่วงเวลาหลังจากนี้ มีพัฒนาการในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นมาก โดยในเวลาต่อมา วัสดุเหล่านี้ได้มีการผลิตขึ้นในประเทศ ทำให้มีการใช้งานแพร่หลายมากยิ่งขึ้น จนกระทั่งปัจจุบัน กลายเป็นวัสดุพื้นฐานของการก่อสร้างไปแล้ว

ส่วนวัสดุมุงหลังคานั้น มีพัฒนาการที่คล้ายกับวัสดุโครงสร้าง คือในช่วงก่อนรัตนโกสินทร์ตอนต้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนใหญ่ยังคงใช้กระเบื้องดินเผาแบบกาบกล้วย และกระเบื้องดินขอ และกระเบื้องไม้ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกระเบื้องดินขอ ต่อมามีการเคลือบกระเบื้องดินเผาในสมัยรัตนโกสินทร์ มีการเคลือบสี กระเบื้องไม้ และกระเบื้องดินเผาให้สวยงาม

การพัฒนาโครงสร้างและวัสดุต่างๆ นั้น เกิดจากการพัฒนาความรู้ความสามารถของช่างในอดีต และการเรียนรู้เทคโนโลยีจากผู้อื่นมาปรับใช้ จากอดีตพบว่าการริเริ่มสร้างสรรค์และการรับเอาเทคโนโลยีนั้น ต่างก็ผ่านกระบวนการลองผิดลองถูก ดังจะเห็นได้จากการก่อสร้างอาคารในรูปแบบตะวันตก เช่นอาคารแบบไม่มีหลังคาคลุมอาคาร หรือไม่มีชายคายื่นออกไปคลุมนั้น ไม่มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาพอากาศของประเทศไทยเลย จึงต้องมีการปรับมาเป็นอาคารทรงตึกที่มีการยื่นกันสาดออกมาเพื่อป้องกันแดดฝน ดังนั้น การเรียนรู้ข้อผิดพลาดจากอดีตจะช่วยให้การพัฒนาสิ่งต่างๆ ในอนาคตเป็นไปได้ด้วยดียิ่งขึ้น และเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

ในการศึกษาอาคารโบราณสถานนั้น จะพบว่าเทคนิคการก่อสร้างต่างๆ ล้วนมีความสัมพันธ์กับลักษณะความเป็นอยู่ และลักษณะนิสัยของคนไทยในอดีต และแสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาในการแก้ปัญหาของช่างโบราณ ซึ่งแม้ไม่มีเครื่องจักรหรือเครื่องมือทุ่นแรงดังเช่นปัจจุบัน แต่กลับสามารถสร้างอาคารที่มีขนาดใหญ่ สูง และคงทนอยู่จนถึงปัจจุบันได้ จากผลการวิจัย

ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ช่างไทยในอดีตมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการถ่ายน้ำหนักเป็นอย่างดีไม่ว่าจะระบบวัสดุก่อหรือระบบเสาและคาน และสามารถนำวัสดุที่มีอยู่มาใช้ในการก่อสร้างได้อย่างเหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุ

เทคนิคบางอย่างที่แม้จะถูกค้นพบตั้งแต่สมัยอดีตแล้วนั้น มิได้หมายความว่าจะเป็นเพียงเทคนิคที่ล้าสมัย หากแต่ยังคงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ หรือพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้ ดังนั้น วิศวกรปัจจุบันนี้จึงไม่ควรมองข้ามเทคนิคอันเกิดจากภูมิปัญญาของคนโบราณ หากแต่ควรศึกษาให้เข้าถึงกระบวนการคิดของช่างโบราณ และนำไปพัฒนาต่อให้เหมาะสมกับสมัยปัจจุบันต่อไป

7.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเกี่ยวกับการก่อสร้างโบราณสถานไทยนั้น ยังมีการดำเนินการอยู่ค่อนข้างน้อย และส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเชิงสถาปัตยกรรม รวมทั้งการเก็บข้อมูลจากการขุดแต่งอาคารโบราณสถานของผู้เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลเชิงโบราณคดี และศิลปกรรมสถาปัตยกรรม ข้อมูลเชิงโครงสร้างยังมีการเก็บข้อมูลอยู่น้อยเมื่อเทียบกับด้านอื่นๆ ทั้งที่โดยแท้จริงแล้ว ข้อมูลเชิงโครงสร้างเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการบูรณะอาคาร

โดยเฉพาะข้อมูลในเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของอาคารโบราณสถานนั้น มีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย ขาดการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างของอาคารแต่ละแห่ง มีผลให้การสรุปรูปแบบโครงสร้างอาคารโบราณสถานในแต่ละส่วนโครงสร้างในงานวิจัยนี้ เกิดจากการสรุปข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ ร่วมกับการสันนิษฐานโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมโยธาเบื้องต้น อาจยังไม่สามารถยืนยันพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างดังกล่าวได้อย่างแน่นอนนัก ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างอาคารแต่ละแห่งโดยละเอียดเพื่อเสริมผลการวิจัยต่อไป

นอกจากนี้ การศึกษาโครงสร้างอาคารโบราณสถานในรายละเอียด ก็เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการพังทลายของโบราณสถานหลายแห่ง ที่เกิดจากองค์ประกอบเล็กๆ ของโครงสร้าง เช่น การวางคานทับหลังของช่องเปิด การเรียงอิฐมุมผนัง การก่อเสา เป็นต้น ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงส่วนย่อยๆ ของโครงสร้าง แต่กลับมีผลต่อเสถียรภาพความมั่นคงของโครงสร้างอย่างมาก ดังนั้น จึงควรจะมีการศึกษาในเชิงลึกมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้พยายามรวบรวมองค์ประกอบของโครงสร้างในรายละเอียดดังกล่าวนี้ แต่ข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ได้มีการกล่าวถึงเพียงเล็กน้อย และมักกล่าวในแง่ของสถาปัตยกรรม ศิลปกรรม ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาโครงสร้างโบราณสถานโดยแยกองค์ประกอบโครงสร้างอย่างละเอียด ซึ่งจะทำให้สามารถมองเห็นถึงระดับความรู้ทางด้านการก่อสร้างในอดีตได้ชัดเจนขึ้นด้วย

ปัญหาที่สำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารโบราณสถานนั้น คือปัญหาเรื่องข้อมูลทางวิศวกรรมจากการเก็บข้อมูล ณ สถานที่จริง โดยการเก็บข้อมูลโดยละเอียดนั้นเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของกรมศิลปากร ซึ่งมีเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในการขุดแต่ง และจัดทำรายงานการสำรวจไว้ แต่ในรายงานส่วนใหญ่ มีข้อมูลเชิงวิศวกรรมอยู่น้อย เนื่องจากผู้รับผิดชอบการเก็บข้อมูลและการสำรวจ เป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านประวัติศาสตร์โบราณคดี และศิลปสถาปัตยกรรม ดังนั้น ในการขุดแต่งเพื่อจะให้ได้ข้อมูลที่สำคัญในเชิงวิศวกรรม จึงควรจะให้มีวิศวกรร่วมในการสำรวจขุดแต่ง ที่มีหน้าที่ในการรวบรวมหลักฐานทางโครงสร้างโดยตรง และควรเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องของอาคารโบราณสถานเป็นอย่างดี เนื่องจากงานอาคารโบราณสถาน เป็นเรื่องที่มีความเกี่ยวข้องกับงานสาขาอื่นๆ อยู่มาก โดยเฉพาะงานโบราณคดี งานศิลปกรรม และสถาปัตยกรรม หากวิศวกรที่ดำเนินการขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้ อาจจะทำให้การสันนิษฐานและการเก็บข้อมูลผิดพลาดได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. โชติ กัลยาณมิตร. วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีการก่อสร้างสถาปัตยกรรมไทย. วารสารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 2 (2525): 53 - 96.
2. รุ่งธรรม ธรรมรุ่งเรือง. สาเหตุบางประการของการบูรณะโบราณสถานผิดรูปแบบ. วารสารศิลปวัฒนธรรม 21, 10 (สิงหาคม 2543): 132 - 133.
3. ทรงวุฒิ ธรรมขันติพงศ์. ทำไมเจดีย์ประธานวัดภูเขาทองจึงทรุด. วารสารศิลปวัฒนธรรม 20, 10 (สิงหาคม 2542): 91-93
4. ชมพูนุท ประศาสน์เศรษฐ์. บทบาทของวิทยาศาสตร์ในการอนุรักษ์โบราณสถาน. การสัมมนาเรื่องวัสดุและวิธีการใหม่ในการอนุรักษ์โบราณสถานหินทราย: การประยุกต์วิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์โบราณสถาน หน้า 1 – 6. 22 – 23 มีนาคม 2544 ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร.
5. ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพมหานคร: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์, 2546.
6. โชติ กัลยาณมิตร. การวิจัยและวิเคราะห์องค์ประกอบในงานศิลปะและสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, (ม.ป.ป.). (เอกสารอัดสำเนา)
7. เรืองศักดิ์ กันตะบุตร. วิเคราะห์โครงสร้างอาคารในประเทศไทยในอดีต "เทคนิควิทยาการอาคาร". กรุงเทพมหานคร: (ม.ป.ท), 2516
8. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. การศึกษาระบบโครงสร้างและระเบียบการก่ออิฐในอาคารโบราณสถาน. วารสารโบราณคดี 6,1 (มิถุนายน 2518): 120-139.
9. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล, รศ.. สันโค้งกลมในประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรมไทย. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 3 (2536) : 287-301.
10. นิคม หิรัญนำโชค, อลงกรณ์ แก้วกฤษดา, พยัตติกา ฉลาดดี, ไตรเทพ บุนนาค และปวีณพงศ์ ตลับทอง. การก่อสร้างสมัยทวาราวดี กรณีศึกษาเมืองเสมา. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2543.
11. ชาญเจริญ นาคะนันท์ และคณะ. การก่อสร้างสมัยทวาราวดี กรณีศึกษาโบราณสถานคอกช้างดิน. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2544.

12. วิรัชต์ ทองรวย. การวิเคราะห์โครงสร้างของมณฑปอิฐก่อในอุทยานประวัติศาสตร์ สุโขทัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

13. ปิ่นเพชร สาตราวาหะ. การศึกษาพระปรางค์ในสมัยอยุธยาตอนต้นที่จังหวัดอยุธยา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2534.

14. สุรศักดิ์ รอดเพราะบุญ. การออกแบบพระอุโบสถและพระวิหารสมัยอยุธยาตอนปลายในเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2538.

15. ไขแสง ศุขะวัฒนะ. การศึกษาอิทธิพลของสถาปัตยกรรมตะวันตกที่มีต่อแบบอย่างของงานสถาปัตยกรรมไทยระหว่าง พ.ศ. 2208-2475. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต แผนกวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.

16. ประชา แสงสายัณห์. กฎิก่ออิฐถือปูน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

17. อับดุลเราะห์มัน จาร, ประพจน์ ชื่นกลิ่น, กมลวรรณ แก้วมณี และพิเชษฐ์ มะโนรัตน์. ประวัติวิศวกรรมฐานรากของโบราณสถานในประเทศไทย. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมสาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2544.

18. สุนิสา มั่นคง. รายงานฉบับที่ 2 การขุดแต่งโบราณสถานภายในเขตพระราชวังบวรสถานมงคล (วังหน้า). กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, (ม.ป.ป.). (เอกสารอัดสำเนา)

19. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. การศึกษาระบบโครงสร้างและระเบียบการก่ออิฐในอาคารโบราณสถาน. วารสารโบราณคดี 5,1 (กรกฎาคม 2516): 14 - 25.

20. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. แบบโครงสร้างและระเบียบการก่ออิฐสถาปัตยกรรมสกุลช่างเขมรและศรีวิชัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2524.

21. กชกร รอดประเสริฐ, พงศ์พันธุ์ ลิมป์อนันตชัย, สุภกิตต์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, เฉลิมพล แจ้งตระกูล และสุนันทา แผลงเวช. การก่อสร้างปราสาทเมืองขอมยุคพระนคร กรณีศึกษาเมืองต่ำ. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2543.

22. เชษฐา พลายชุม. รูปแบบสถาปัตยกรรมไทยสมัยใหม่: วัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

23. เฉลิม รัตนทัศนีย, ศาสตราจารย์. วิวัฒนาการศิลปะสถาปัตยกรรมไทยพุทธศาสนา. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

24. ศิลปากร, กรม, กองโบราณคดี. เรื่องการขุดแต่งวัดพระเมรุ จังหวัดนครปฐม.พระนคร: โรงพิมพ์พระจันทร์, 2482. (พิมพ์ถวายพระภิกษุสามเณรในเทศกาลเข้าพรรษา พ.ศ.2482)

25. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. ปราสาทบ้านใหม่ไทยเจริญ. วารสารเมืองโบราณ 10, 4 (ตุลาคม – ธันวาคม 2527): 78-84.

26. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. การศึกษาสถาปัตยกรรมสมัยลพบุรี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารเมืองโบราณ 3, 1 (ตุลาคม – ธันวาคม 2519): 62-81.

27. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. วัดมหาธาตุ ลพบุรี. วารสารเมืองโบราณ 2, 2 (มกราคม – มีนาคม 2519): 21 - 33.

28. ดำรง กาญจนเวชกุล, ศุภลักษณ์ ทิพย์กำจรวงศ์ และอนุรุธ เกียรติวุฒิ. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่องการศึกษาโบราณสถานเขาคา ต.เสาเภา อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช. สารนิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2532.

29. ศิลปากร, มหาวิทยาลัย, ภาควิชาโบราณคดี. รายงานการขุดค้นขุดแต่งโบราณสถานที่บ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ. สิงห์บุรี. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาโบราณคดี, 2522. (เอกสารอัดสำเนา)

30. สุกัญญา เบาเนิด. การศึกษาพัฒนาการของโบราณสถานที่เมืองโบราณศรีมโหสถ ต.โคกปีบ อ.โคกปีบ จ.ปราจีนบุรี. สารนิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2537.

31. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. พระธาตุพนม – การศึกษาระบบการก่อสร้าง. พระธาตุพนม, 141-149. กรุงเทพมหานคร: กรุงสยามการพิมพ์, 2518.

32. เดชา สุดสวาท. “โบราณสถานทุ่งเศรษฐี” ข้อมูลจากการขุดแต่ง. สารกรมศิลปากร 12, 1 (มกราคม 2542): 11-17.

33. สุรศักดิ์ ศรีสำอางและสมชาย ณ นครพนม. ปราสาทเมืองสิงห์. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2520. (พิมพ์เนื่องในวันเด็กแห่งชาติ 2520 เพื่อประกอบนิทรรศการพิเศษ ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ)

34. สรเชต วรคามวิชัย. ปราสาทเมืองต่ำ. บุรีรัมย์ : ศูนย์ศิลปวัฒนธรรมและภาควิชาประวัติศาสตร์ สหวิทยาลัยอีสานใต้ วิทยาลัยครูบุรีรัมย์, 2529.

35. ศิลปากร, กรม, กองโบราณคดี. รายงานการขุดแต่งโบราณสถานปราสาทเมืองต่ำและการขุดตรวจเพื่อค้นหาแหล่งชุมชนโบราณบริเวณโดยรอบปราสาทเมืองต่ำ. กรุงเทพมหานคร: กองโบราณคดี, 2536.

36. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. ปราสาทเมืองต่ำ: การศึกษาทางประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม. กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2541.

37. วิโรจน์ ชีวาสุขถาวร. การศึกษารูปแบบสถาปัตยกรรมสุโขทัย กรณีศึกษาวัดมหาธาตุ ตำบลเมืองเก่า จังหวัดสุโขทัย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545.

38. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย. รายงานการขุดแต่งประตูอ้อ ปีงบประมาณ 2522. กรุงเทพมหานคร: งานเทคโน-โบราณคดี กองงานอุทยานประวัติศาสตร์ สุโขทัย, 2522. (เอกสารอัดสำเนา)

39. ดำรงฤทธิ์ สมบูรณ์ศิริ. องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมรูปอาคารภายในวัดพระนอนในเขตอรัญญิก อ.เมือง จ.กำแพงเพชร. สารนิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2525.

40. กรมศิลปากร. รายงานการขุดค้นแหล่งโบราณคดี วัดศรีชุม ปีงบประมาณ 2524. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย กรมศิลปากร, 2524. (เอกสารอัดสำเนา)

41. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล และสมศักดิ์ เพ็ญชาติ. การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ และศิลาแลง ที่ใช้สร้างโบราณสถานในเขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย. รายงานการประชุมเรื่องการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย. หน้า 183-195. 2 – 6 สิงหาคม 2524 อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย.

42. ภัคพดี อยู่คงดี และอัจฉรา แข็งสาริกิจ. รายงานการขุดแต่งโบราณสถานใน Zone A ปีงบประมาณ 2524 : รายงานการขุดแต่งโบราณสถานวัดร้าง AT.A.1 วัดร้าง AT.A.2 และวัดร้าง AT.A.3. กรุงเทพมหานคร: งานเทคโน-โบราณคดี กองงานอุทยานประวัติศาสตร์ สุโขทัย, 2525 (เอกสารอัดสำเนา)

43. อนันต์ ชูโชติ. เจดีย์วัดช้างรอบ อ.เมือง จ.กำแพงเพชร. สารนิพนธ์ คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2523.

44. ภัคพดี อยู่คงดี และอัจฉรา แข็งสาริกิจ. การขุดแต่งโบราณสถานใน Zone B ปีงบประมาณ 2524: รายงานการขุดแต่งโบราณสถานวัดร้าง AT.B.1, AT.B.2, AT.B.3, AT.B.4, AT.B.5 และ AT.B.6. กรุงเทพมหานคร: งานเทคโน-โบราณคดี กองงานอุทยานประวัติศาสตร์ สุโขทัย, 2525

45. ศิลปากร, กรม. สถาปัตยกรรมรูปอาคารสมัยสุโขทัย คำบรรยายสัมนาโบราณคดีสมัยสุโขทัย. พระนคร: ศิวพร, 2507. (เนื่องในงานเสด็จพระราชดำเนินทรงเปิดพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ รามคำแหง จังหวัดสุโขทัย วันที่ 25 มกราคม 2507)

46. สุกัญญา เบาเนิด. เทคนิคการลดชั้นหลังคาในวิหารโถงสกุลช่างลำปาง กรณีศึกษา วิหารจามเทวี วัดปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง. วารสารเมืองโบราณ 25, 1(มกราคม – มีนาคม 2542): 44-51.

47. สุวิทย์ ชัยมงคล. สวนประวัติศาสตร์พิกลราชานุสรณ์ การขุดแต่ง บูรณะและปรับปรุงโบราณสถาน วัดเจ็ดยอด อ.เมือง จ.เชียงใหม่. กรุงเทพมหานคร: หน่วยศิลปากรที่ 4 กรมศิลปากร, 2527. (เอกสารอัดสำเนา)

48. พาสุข ดิษยเดช, สายันต์ ไพรชาญจิตร และประทีป เพ็งตะโก. โบราณสถานสันกู่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ รายงานเบื้องต้นการขุดแต่ง ศึกษาและวิเคราะห์ทางโบราณคดี. กรุงเทพมหานคร: หน่วยศิลปากรที่ 4 เชียงใหม่, 2527. (เอกสารอัดสำเนา)

49. วิเศษ เพชรประดับ และเสน่ห์ มั่นประสงค์. รายงานการสำรวจและบูรณปฏิสังขรณ์วิหารวัดหลวงราชสัณฐาน: การล้มทลาย การจัดเก็บหลักฐาน และวางรากฐานโครงสร้าง การบูรณะปฏิสังขรณ์. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2527. (เอกสารอัดสำเนา)

50. ศิวกรการช่าง, บริษัทจำกัด. รายงานการบูรณะปฏิสังขรณ์พระเจดีย์หลวง วัดเจดีย์หลวงวรวิหาร จังหวัดเชียงใหม่ (ม.ป.ท.), 2536

51. จุลพงศ์ ขันติพงศ์. แหล่งศิลปกรรมในจังหวัดลำพูนและแนวทางในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม. ลำพูน: หน่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมศิลปกรรมท้องถิ่นจังหวัดลำพูน, 2540. (เอกสารอัดสำเนา)

52. วิเศษ เพชรประดับ และ วงศ์ฉัตร ฉัตรกุล ณ อยุธยา. รายงานการขุดแต่งศึกษาและบูรณะเจดีย์วัดร่มโพธิ์ (ร้าง). เชียงใหม่: หน่วยศิลปากรที่ 4 กองโบราณคดี, 2528. (เอกสารอัดสำเนา)

53. สายันต์ ไพรชาญจิตร์, สุวิทย์ ชัยมงคล, วิเศษ เพชรประดับ และเกษม ไชยวงศ์. รายงานการขุดแต่งศึกษาและบูรณะโบราณสถานวัดสังการาม อ.เมือง จ.เชียงใหม่.

กรุงเทพมหานคร: หน่วยศิลปากรที่ 4 กองโบราณคดี กรมศิลปากร, 2528. (เอกสารอัดสำเนา)

54. ศิลปากร, กรม. ศิลปากรที่ 4, หน่วย. รายงานการขุดค้น ทรากโบราณสถานวัดป่าสัก เมืองเชียงแสน อ.เชียงแสน จ.เชียงราย. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, (ม.ป.ป.). (เอกสารอัดสำเนา)

55. วิเศษ เพชรประดับ และวงศ์ฉัตร ฉัตรกุล ณ อยุธยา. รายงานการขุดแต่งและบูรณะเจดีย์วัดหนองหล่ม(ร้าง) และเจดีย์วัดป่าตาล (ร้าง). เชียงใหม่: หน่วยศิลปากรที่ 4 กองโบราณคดี กรมศิลปากร, 2528. (เอกสารอัดสำเนา)

56. วิชัย ตันกิตติกร และวิเศษ เพชรประดับ. รายงานการขุดตรวจประตูท่าแพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่. กรุงเทพมหานคร: หน่วยศิลปากรที่ 4 กรมศิลปากร, 2538. (เอกสารอัดสำเนา)

57. ตรึงใจ บูรณสมภพ และคณะ. รายงานการวิจัยการศึกษาสถาปัตยกรรมตะวันตกที่มีอิทธิพลต่อสถาปัตยกรรมไทยในแผ่นดินสมเด็จพระนารายณ์มหาราช จ.ลพบุรี.กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2537. (เอกสารอัดสำเนา)

58. ปุราณรักษ์, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้นขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดหัสดาวาส. (ม.ป.ท.): ห้างหุ้นส่วนจำกัดปุราณรักษ์, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

59. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา รายงานการขุดแต่งและบูรณะกลุ่มโบราณสถานวัดจันทร์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา)

60. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา. รายงานการขุดแต่งบูรณะเจดีย์วัดสังขปัต ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา)

61. สุรศักดิ์ก่อสร้าง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้น-ขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะโบราณสถานวัดช้าง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (ม.ป.ท.): ห้างหุ้นส่วนจำกัดสุรศักดิ์ก่อสร้าง, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

62. มรดกโลก, บริษัทจำกัด. รายงานวัดเจ้าย่า. (ม.ป.ท.): บริษัท มรดกโลก จำกัด, 2542.

63. สุรศักดิ์ก่อสร้าง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้น-ขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะโบราณสถานวัดสีกาสมุด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดสุรศักดิ์ก่อสร้าง, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

64. ปุราณรักษ์, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้นขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดจงกลม. (ม.ป.ท.): ห้างหุ้นส่วนจำกัดปุราณรักษ์, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

65. สุรศักดิ์ก่อสร้าง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดมเหยงคณ์ ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา. (ม.ป.ท.): ห้างหุ้นส่วนจำกัดสุรศักดิ์ก่อสร้าง, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

66. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา. รายงานการขุดแต่งและบูรณะโบราณสถานวัดสุวรรณาวาส (ร้าง) ต. ท่าวาสุกรี อ. พระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา ปีงบประมาณ 2530. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา)

67. มรดกโลก, บริษัทจำกัด. การขุดค้น ขุดแต่ง และออกแบบเพื่อการบูรณะวัดพระงาม. (ม.ป.ท.): บริษัท มรดกโลก จำกัด, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

68. วิวัฒน์ ทวีรัตน์, วัลลภ ปั้นทอง และนิมิตร ศิริอางค์. ลักษณะฐานรากโบราณสถานของประเทศไทย. ปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

69. ปุราณรักษ์, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้นขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดพระยาแมน: โครงการขุดแต่ง บูรณะ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมโบราณสถาน กลุ่มคลองสระบัว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดปุราณรักษ์, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

70. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา. รายงานการขุดแต่งและบูรณะวัดหลังคาขาว ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปีงบประมาณ 2530. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา)

71. ปุราณรักษ์, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้นขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะวัดตะไกร: โครงการขุดแต่ง บูรณะ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมโบราณสถาน กลุ่มคลองสระบัว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดปุราณรักษ์, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

72. สมคิด จิระทัศนกุล. พระอุโบสถและพระวิหารในสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2533.

73. ศิลปากร, กรม, ราชบัณฑิตยสภา. “หนังสือสัญญาก่อสร้าง ตึกหมายเลขที่ 10 กับ 14”, 10 มิถุนายน 2470. หอจดหมายเหตุแห่งชาติ. ศธ. 0701.7.3.1.2/3

74. เบญจวรรณ ทัศนลีลพร. การออกแบบพระนครคีรี จ.เพชรบุรี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2543.

75. สุวิทย์ ชัยมงคล, กรมศิลปากร. อุทยานประวัติศาสตร์ พระนครคีรี. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศรีเมืองพิมพ์, 2542.

76. กรมพระยาดำรงราชานุภาพ, สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ. พระราชพงศาวดารกรุงรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 1 เจ้าพระยาทิพากรวงศ์ (ขำ บุนนาค) เรียบเรียง. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2531.

77. ประทีบ มาลากุล. พัฒนาการบ้านคนไทยภาคกลาง. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

78. ศุภชัย อารีรุ่งเรือง. การออกแบบพระอุโบสถสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2544.

79. สุดจิต (เศวตจินดา) สนั่นไหว. การศึกษาเรื่องการออกแบบสถาปัตยกรรมวัดราชบพิธสถิตมหาสีตาราม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2536.

80. ศิวกรการช่าง, บริษัทจำกัด. การก่อสร้างพระที่นั่งสันติชัยปราการและการบูรณะปฏิสังขรณ์โบราณสถานป้อมพระสุเมรุ แขวงชนะสงคราม เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร: ศิวกรการช่าง, 2542 (เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 6 รอบ วันที่ 5 ธันวาคม พุทธศักราช 2542 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว)

81. ทิพากรวงศมหาโกษาธิบดี, เจ้าพระยา. พระราชพงศาวดารกรุงรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 3. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2538.

82. ศูนย์บริการเอกสารและค้นคว้า สำนักงานเลขาธิการรัฐสภา. พระที่นั่งอนันตสมาคม. รัฐสภาสาร 25, 4 (เมษายน 2520): 43 - 92.

83. โครงการอนุรักษ์เมืองประวัติศาสตร์ภูเก็ต. รายงานการขุดแต่งโบราณสถานบ้านพระยาวิชิตสงคราม (บ้านท่าเรือ) ต. ศรีสุนทร อ. ถลาง จ. ภูเก็ต (ปีงบประมาณ 2531). นครศรีธรรมราช: โครงการ, 2531. (เอกสารอัดสำเนา)

84. รายงานการก่อสร้างรากกระทรวงนครบาลด้านใต้(มท.). หอจดหมายเหตุแห่งชาติ. ศธ. 2701.7.3.1.2/30 (ม.ป.ป.)

85. สมใจ นิ่มเล็ก, รศ.. เครื่องประดุและกระเบื้องกาบู. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

86. ฮันส์ เพนธ์, สุรพล ดำริห์กุล และ อรุณรัตน์ วิเชียรเขียว. ประวัติศาสตร์ล้านนา ประวัติบ้านเมือง โบราณสถาน บุคคลสำคัญ. โครงการส่งเสริมหนังสือตามแนวพระราชดำริ อันดับที่ 37 กรุงเทพมหานคร: โครงการส่งเสริมหนังสือตามแนวพระราชดำริ, 2528.

87. วรลัญจก์ บุณยสุรัตน์. วิหารไม่มีป่างเอกในลำปาง. วารสารเมืองโบราณ 23, 2 (เมษายน – มิถุนายน 2540): 70-82.

88. สุรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์, ม.ล.. ฐานรากและการทรุดตัวของพระที่นั่งอนันตสมาคม. วารสารเมืองโบราณ 8, 1 (ธันวาคม 2524 – มีนาคม 2525): 75-87.

89. ธาดา สุทธิธรรม. สถาปัตยกรรมสุโขทัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2536.

90. ธีระพันธุ์ ทองประวัติ และวีระพันธ์ อุปถัมภากุล. การใช้ศิลาแลงเป็นวัสดุก่อสร้าง. นิตยสารท้องถิ่น 27, 4 (เมษายน 2530): 58 – 68

91. อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. พระธาตุพนม หลักฐานใหม่บางประการ. วารสารเมืองโบราณ 2, 4 (กรกฎาคม – กันยายน 2519): 65-70.

92. การุญ จันทรางศุ. การวิเคราะห์โครงสร้างของโบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528. (อัดสำเนา)

93. อัจฉรา แข็งสารีกิจ. การใช้ศิลาแลงในโบราณสถานฝั่งตะวันออกของแม่น้ำปิงตอนอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร. สารนิพนธ์ ภาควิชาโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2523.

94. ศิลปากร, กรม, กองโบราณคดี หน่วยศิลปากรที่ 1. รายงานเบื้องต้นการขุดแต่งโบราณสถานบ้านนักบุญเปโตร (โบสถ์ของคะโดมินิกัน). กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2527. (เอกสารอัดสำเนา)

95. พลอย, ร้อยโท (กรมช่างแสงทหารบก). ตำราก่อสร้าง เล่ม 1. (ม.ป.ท.): โรงพิมพ์สามัคคี, 2452.

96. โชติ กัลยาณมิตร. อิทธิพลสถาปัตยกรรมแบบตะวันตกในสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ (2325 - 2525). วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับพิเศษ (2526): 57 - 76.

97. ทรงยศ วีระทวีมาศ. มณฑปแบบสุโขทัยในศรีสัชชนาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2533.

98. วลัยลักษณ์ ทรงศิริ. บูรณะป้อมประตูป่าสัก หลักฐานสูญที่เมืองเชียงแสน. วารสารเมืองโบราณ 18, 2 (เมษายน – มิถุนายน 2535): 71 - 76.

99. สมจิตต์ เรืองคณะ. รายงานการขุดแต่งและบูรณะมณฑป วัดมหาธาตุ ตำบลเวียง อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย. วารสารศิลปากร 12, 3 (กันยายน 2511): 88 - 93.

100. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา. รายงานการขุดแต่ง และบูรณะโบราณสถานวัดเซ ต. บ้านเลน อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา

101. สุรศักดิ์ก่อสร้าง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้น-ขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะโบราณสถานตำหนักมเหยงคณ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (ม.ป.ท.): ห้างหุ้นส่วนจำกัดสุรศักดิ์ก่อสร้าง, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

102. โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา. รายงานการขุดแต่งเนินโบราณสถานด้านตะวันตกของพระราชวังหลวง ต. ประตูชัย อ.อยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา. กรุงเทพมหานคร: โครงการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา, 2530. (เอกสารอัดสำเนา)

103. วิชา รุจิเทศ และดร. บุญชู ปโกฏิประภา. การวิวัฒนาการของผลิตภัณฑ์และโครงสร้างคอนกรีตสมัยกรุงรัตนโกสินทร์. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ และนิทรรศการวิวัฒนาการทางวิศวกรรมสมัยกรุงรัตนโกสินทร์. หน้า 139-177. 26-28 พฤษภาคม 2525 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

104. ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรมศัพท์ศิลปกรรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน อักษร ก. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ราชบัณฑิตยสถาน, 2526.

105. สุวิทย์ เตชรุ่งถวิล. การศึกษาพุทธสถาปัตยกรรมในสมัยสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราชถึงสมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราช. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2543.

106. น. ณ ปากน้ำ. ศิลปอยุธยาสมัยพระนารายณ์. วารสารเมืองโบราณ 3, 3 (เมษายน – มิถุนายน 2520): 44-53.

107. โชติ กัลยาณมิตร. พจนานุกรมสถาปัตยกรรม และศิลปที่เกี่ยวเนื่อง. กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2518

108. ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรมศัพท์ศิลปกรรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน อักษร ข – ฉ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ราชบัณฑิตยสถาน, 2530.

109. น. ณ ปากน้ำ. พจนานุกรมศิลป. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร: เมืองโบราณ, 2522.

110. ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรมศัพท์ศิลปกรรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน อักษร ฉ - ช. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ราชบัณฑิตยสถาน, 2539.

111. สันติ เล็กสุขุม. เจดีย์ ความเป็นมาและคำศัพท์เรียกองค์ประกอบเจดีย์ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. ศิลปวัฒนธรรมฉบับพิเศษ. กรุงเทพมหานคร: มติชน, 2545.

112. ศิลปากร, กรม, กองโบราณคดี, หน่วยศิลปากรที่ 5. รายงานการขุดแต่งปราสาทเขาน้อยสีชมพู ตำบลคลองน้ำใส อำเภออรัญประเทศ จังหวัดปราจีนบุรี. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2532. (เอกสารอัดสำเนา)

113. Cyril M. Harris. Illustrated Dictionary of Historic Architecture. New York: Dover Publications, 1977.

114. Huntington, Whitney Clark. Building Construction, Materials and types of Construction. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1941.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

โครงการอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา. รายงานวิจัย การขุดแต่งโบราณสถานภายในพระราชวังโบราณปีพุทธศักราช 2523 - 2525 ปีงบประมาณ 2526. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2526. (เอกสารอัดสำเนา)

เฉลิม สุจริต. วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ชลธีร์ ธรรมวรางกูร และทรงวิทย์ แก้วศรี. ประมวลเอกสารสำคัญ เนื่องในการสถาปนาวัดเบญจมบพิตรดุสิตวนาราม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาจุฬาลงกรราชวิทยาลัย, 2535. (ธรรมบรรณาการในงานทำบุญฉลองชนมายุครบ 6 รอบ สมเด็จพระพุทธชินวงศ์ และพระพรหมจริยาจารย์ วัดเบญจมบพิตรดุสิตวนาราม 5 มิถุนายน 2535)

ชัย มุกตพันธุ์ และ กาซุโต นากาซาวา. ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2526.

ชัยโรจน์ เจนธำรง. รายงานการวิจัย เรื่องเรือนไม้สมัยรัชกาลที่ 6 ในพระราชวังสนามจันทร์: การเก็บข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2538. (เอกสารอัดสำเนา)

ชาญณรงค์ ศรีสุวรรณ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องสถาปัตยกรรมในพื้นที่ประวัติศาสตร์เวียงกุมกาม: กรณีศึกษาวัดกานโถม. เชียงใหม่: คณะสถาปัตยรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545

ดนัย ไชยโยธา, รศ.. ประวัติศาสตร์ไทย: ยุคอาณาจักรอยุธยา. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2546.

ธำรง เปรมปรีดิ์. ประวัติงานวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529. (เอกสารอัดสำเนา)

พรวดี เทพหัสดิน ณ อยุธยา. องค์ประกอบสถาปัตยกรรม และลวดลายประดับตกแต่ง พระอุโบสถ ปราสาทพระเทพบิดรและพระมณฑปวัดพระศรีรัตนศาสดาราม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2535.

เยาวภา ลีละบุตร. อิทธิพลสถาปัตยกรรมตะวันตกระหว่างพ.ศ. 2150 – 2250 (ค.ศ. 1607 – 1707). วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยประวัติศาสตร์ ภาควิชาโบราณคดี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2533.

สมใจ นิ่มเล็ก. ลักษณะเฉพาะของสถากัตยกรรมสมัยอยุธยาตอนปลาย. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 3 (2530): 1 - 12.

สุรศักดิ์ก่อสร้าง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. รายงานการขุดค้น-ขุดแต่งและออกแบบเพื่อการบูรณะโบราณสถานวัดจักรวรรดิ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดสุรศักดิ์ก่อสร้าง, 2542. (เอกสารอัดสำเนา)

ศิลปากร, กรม, สำนักงานโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 9. ปราสาทเมืองต่ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร, 2540.

อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. การศึกษาระบบโครงสร้างและระเบียบการก่ออิฐในอาคารโบราณสถาน. วารสารโบราณคดี 6,2 (ธันวาคม 2518): 57-76.

อนุวิทย์ เจริญศุภกุล. สถาปัตยกรรมไทยแบบสกุลช่างสมเด็จพระนารายณ์. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ภาคปลายปีการศึกษา 2529: 111-126.

อานนท์ เรืองกาญจนวิทย์. การออกแบบพระอุโบสถและพระวิหารแบบไทยประเพณีสมัยอยุธยาตอนปลาย (พ.ศ. 2173 – 2310). วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรม ภาควิชาศิลปสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545.

King, Harold and Denzil Nield. Building Techniques. 3rd ed. London: Chapman and Hall, 1976.

Kicklighter, Clois E. Modern Masonry, Brick, Block, Stone. South Holland, Ill.: Goodheart-Willcox Co., 1980.

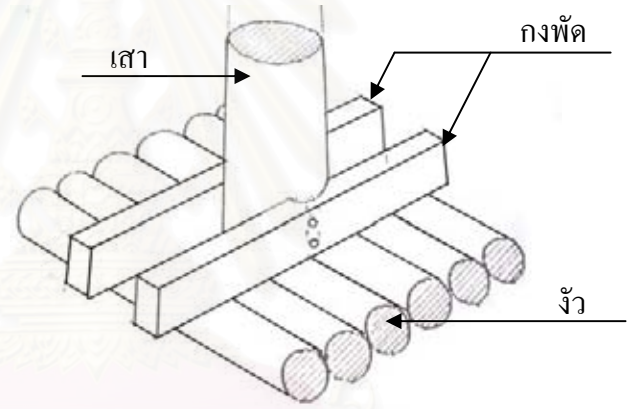
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

กงพัด ไม้ที่ติดขนาบข้างโคนเสา ปลายทั้งสองข้างของไม้กงพัดนี้วางอยู่บนไม้สี่เหลี่ยมที่เรียกกันว่า งัว ด้านละท่อน ไม้กงพัดจะขนาบติดเสาอยู่ด้วยวิธีบากฝังลงไปในเนื้อเสา และยึดติดกับเสาด้วยลูกสลักตอดแน่น การที่ต้องทำกงพัดไว้ปลายเสานี้ ก็เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เสาทรุด ไม้กงพัดนี้ทำด้วยไม้จริง เพื่อให้แข็งแรงและคงทน สำหรับไม้งัว โดยทั่วไปทำด้วยไม้จริง แต่ในภาคกลางบางแห่งเช่น แถบอยุธยามีน้ำท่วมได้ง่าย และดินมีความชื้นสูง จะใช้ไม้ทองหลางหลายๆ ท่อนรับกงพัดแทนงัวไม้จริง ที่ทำเช่นนี้ก็เพราะไม้ทองหลางเมื่อฝังดิน และมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่เสมอจะไม่ผุเปื่อย มีความคงทนดีเท่าไม้จริง [107]



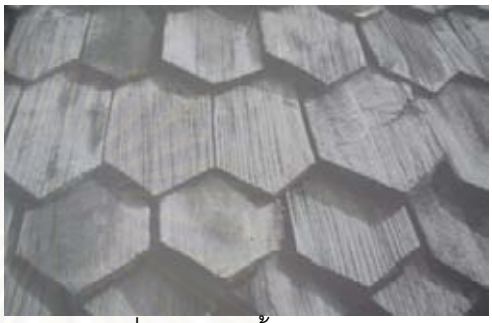
รูปที่ ก.1 ฐานรากแบบงัวและกงพัด [107]

กระเบื้องเกล็ดเต่า เป็นกระเบื้องดินเผา ปลายตัดเป็นมุมแหลม มีผิวด้าน และมีสีแดงตามเนื้อดิน ใช้มุงหลังคาโบสถ์ วิหาร ฯลฯ [107]

กระเบื้องดินขอ กระเบื้องแผ่นบางมาก ทำจากดินเผาไฟต่ำ มีขอเกี่ยวเป็นมุมฉาก ใช้มุงหลังคาอาคารทางภาคเหนือซึ่งไม่มีเพดาน เวลาลมพัดผ่าน กระเบื้องซึ่งเบา จะเผยิบได้ บางทีใช้มุงด้วยกระเบื้องดินขอสองอันขนาดสลับกัน ขนาดสั้นเรียกว่า “ดินขอสั้น” และขนาดยาวเรียกว่า “ดินขอโซ้ง” [104]

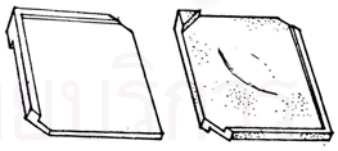
กระเบื้องมอญ กระเบื้องดินเผา ปลายทั้งสองด้านตัดเฉียงเข้าหากัน ผิวด้าน มีสีตามเนื้อดินสุก เช่นเดียวกับกระเบื้องเกล็ดเต่า [104]

กระเบื้องไม้ วัสดุมุงหลังคาชนิดหนึ่ง ทำด้วยแผ่นไม้บางๆ ส่วนมากเป็นไม้สัก ขนาดและลักษณะใกล้เคียงกับกระเบื้องดินเผามุงหลังคาทั่วๆ ไป มีทั้งชนิดปลายมนและปลายเหลี่ยม แต่ต่างกันตรงที่มีสลักทำเป็นเดือยเกี่ยวกับระแนงที่ส่วนบนของแผ่นด้วย ปัจจุบันไม่นิยมใช้กันแล้ว [104]



รูปที่ ก.2 กระเบื้องไม้ [104]

กระเบื้องว่าว วัสดุมุงหลังคา เป็นแผ่นรูปี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนคล้ายว่าวปักเป้า ทำด้วยซีเมนต์และทราย อย่างใหญ่ขนาดประมาณ 34x34 เซนติเมตร ยกขอบตอนบน จากมุมบนถึงมุมว้ายขวา ขอบกว้าง 1.5 เซนติเมตร ส่วนด้านหลังก็ยกขอบเช่นเดียวกัน จากมุมซ้ายขวาจนถึงมุมล่าง การยกขอบนี้เพื่อให้แต่ละแผ่นวางขบกันเพื่อป้องกันฝนย้อยเข้า มุมซ้ายและมุมขวาตัดออกเล็กน้อย พอที่ขอของแผ่นบนที่มุงซ้อนวางทับได้พอดี บางทีเรียก กระเบื้องหน้าวัว หรือกระเบื้องขนมเปียกปูน [104]



รูปที่ ก.3 กระเบื้องว่าว [104]

กระเบื้องหางมน กระเบื้องดินเผาเรียกชื่อตามลักษณะรูปโค้งมน ของปลายกระเบื้อง มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ โดยทั่วไปใช้มุงหลังคาอาคารทางศาสนา เรือนหลวง หรือบ้านผู้มีศักดิ์ [104]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุ ช่องว่างภายในของสิ่งก่อสร้าง เช่น ปรางค์ หรือสถูปเจดีย์ สำหรับบรรจุสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ เช่น เครื่องใช้ เครื่องประดับ พระพุทธรูป พระบูชา และพระพิมพ์ เพื่ออุทิศส่วนกุศลให้แก่บุคคลที่ล่วงลับไปแล้ว หรือเพื่อประสงค์ให้สิ่งของที่บรรจุนั้นมีอายุยืนนาน [104]

กลอน ส่วนประกอบของโครงหลังคา ทำหน้าที่ยึดเครื่องมุง ถ้าเป็นเรือนเครื่องผูกทำด้วยไม้ไผ่ ถ้าเป็นเรือนเครื่องสับใช้ไม้จริง กลอนวางตามลาดของหลังคาจากอกไก่ไปจนถึงชายคา [104]

กลอนขอ กลอนแบบหนึ่งทำด้วยไม้จริง มีบ่าสำหรับวางระแนง โดยการถากเผล้ให้มีความลึกจากผิวไม้และมีระยะห่างเท่าๆ กัน [104]

รูปที่ ก.4 กลอนขอ [104]

กลอนเจาะ กลอนแบบหนึ่งทำด้วยไม้จริง มีลักษณะแบนยาว ด้านขวาเจาะรูเป็นระยะเท่าๆ กัน ความห่างของรู ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะมุง รูที่เจาะนี้มีไว้สำหรับร้อยตอก โดยมากจะทำด้วยไม้ไผ่นำมาจักเป็นเส้นแบนยาวหรือใช้หวายก็ได้ สำหรับยึดเครื่องมุง เช่น จาก แฝก พลวง หรือตองตึง [104]

กาบู เป็นกระเบื้องลอนดินเผา กระเบื้องตัวเมีย คืออันแบนหงาย สองข้างงอขึ้นเล็กน้อย ส่วนตัวผู้โค้งทรงกระบอกผ่าซีก เมื่อมุงหลังคาแล้วก็จะทำให้กระเบื้องเป็นลอนยาวตลอดจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระเบื้องลอน นิยมใช้ในสมัยสุโขทัย อู่ทอง อยุธยา เป็นกระเบื้องลอนดินเผาไม่มีสี [104]

รูปที่ ก.5 กระเบื้องกาบู [104]

เท่าที่พบในอยุธยาส่วนมาก กระเบื้องกาบู เป็นดินเผาไม่มีสีอื่น ปรากฏหลักฐานว่ากระเบื้องเคลือบมีใช้กันอยู่ 2 วัดเท่านั้น ในอยุธยาคือ วัดดุสิต ในสมัยอยุธยาตอนปลาย และวัดบรมพุทธาราม สมัยพระเพทราชา เป็นกระเบื้องลอนเคลือบสีเหลือง พบที่วัดบรมพุทธาราม สีเหลืองอมเขียวเล็กน้อย

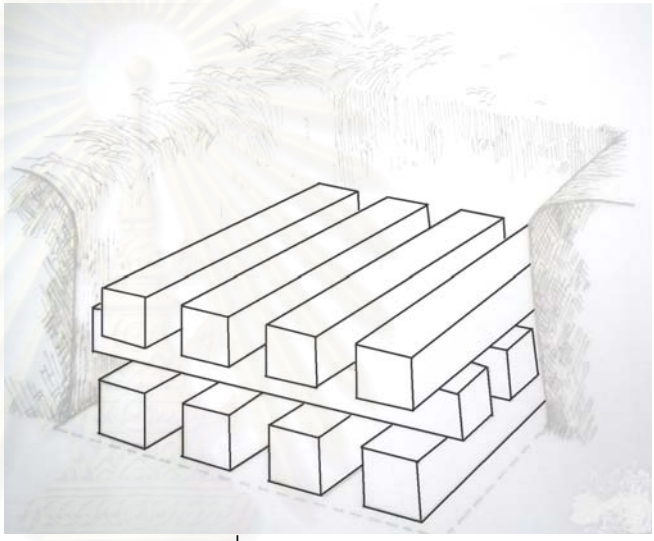
หลังคาที่ใช้กระเบื้องจึงจะเป็นต้องมีกระเบื้องอีกชนิดหนึ่งปิดชายคาโค้ง มีลายไทยหรือรูปเทพพนมเรียกว่ากระเบื้องชายคา

กระเบื้องอยุธยาพบเพียง 2 วัด ดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งก็มีเพียงสีเดียวไม่มีสีอื่น แต่ได้พบเศษกระเบื้องเคลือบที่ใต้พื้นสระรอบพระที่นั่งบรรยงก์รัตนาศน์ซึ่งสร้างสมัยพระเพทราชา เข้าใจว่าเป็นเศษกระเบื้องถ้วยชามจากจีน เอามาประดับเครื่องบนพระที่นั่ง กระเบื้องที่ว่านี้สีขาบเข้มหรือน้ำเงินเข้ม เคลือบบนดินสีขาว[109]

แกงแนง

1. วิธีการวางฐานรากของอาคารสถาน โดยเฉพาะในงานสถาปัตยกรรมไทย กล่าวคือ ใช้ไม้ซุงวางนอนลงในก้นหลุมชั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงวางพาดขวางให้เป็นตารางสี่เหลี่ยมอีกชั้นหนึ่ง ตามคติโบราณนิยมวางสับหว่างไปตามตะวันแถวหนึ่ง แล้ววางขวางตะวันซ้อนกันอีกแถวหนึ่งเป็นแถวที่ 2 ดังตัวอย่างรายละเอียดในการวางฐานรากแบบแกงแนงนี้ปรากฏในพระราชพงศาวดารกรุงรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 1 เมื่อคราวสถาปนาพระมหาเจดีย์ศรีสรรเพชญ์ วัดพระเชตุพนฯ ความว่าดังนี้ “ตรงพระวิหารทิศตะวันตกออกไปให้ขุดรากพระเจดีย์ใหญ่ กว้าง 10 วา ลึก 5 ศอก ตอกเข็มเอาอิฐหักกระทุ้งให้แน่นแล้ว เอาไม้ตะเคียนยาว 9 วาหน้าศอกจตุรัส เรียงระดับประกับกันตราง 2 ชั้นแล้ว จึงเอาเหล็กดอกเห็ดใหญ่

ยาว 2 ศอก ตรึงตลอดไม้แกงแนง 2 ชั้น หว่างช่องแกงแนงนั้นเอาอิฐหักทราย ถมกระทุ้งให้แน่นดี..... จึงให้ชักชะลอพระพุทธปฏิมากร ทรงพระนามพระศรีสรรเพชญ์ซึ่งชำรุดรับมาแต่กรุงเก่าเข้าวางบนราก..... เสด็จวางอิฐทอง, อิฐนาก, อิฐเงิน, ก่อราก ข้าทูนละอองธุลีพระบาททั้งปวงก็ระดมกันก่อฐานกว้าง 8 วา ถึงที่บรรจุ จึงเชิญพระบรมธาตุ.... บรรจุในห้องพระมหาเจดีย์แล้ว ก่อสืบต่อไปจนสำเร็จ". [104]



รูปที่ ก.6 แกงแนง [104]

2. ไม้ค้ำยันไขว้เป็นกากบาทระหว่างเสา หรือระหว่างตับจั่วเพื่อกันโครงสร้างโยกรวน ทางภาคใต้เรียก "ไม้กางหยาง" ทางภาคเหนือเรียก "ยิงลม" [104]

ขื่อ ส่วนของโครงไม้เครื่องบน (ไม้โครงหลังคา) ใช้ยึดหัวเสาตามด้านขวางของห้อง หรือตามแนวที่ใช้วางโครงจั่ว [107]

ขื่อคัด ขื่อไม้ตัวล่างซึ่งวางรองอยู่ใต้ขื่อของโครงจั่ว ขื่อคัดมีหน้าที่รับปลายดั้งที่แทงทะลุขื่อของโครงจั่วบนลงมา เพื่อช่วยบังคับให้ตัวดั้งเพิ่มความแข็งแรงในการทรงตัว ขื่อคัดนี้ใช้สำหรับรองโครงจั่วที่ตั้งแบ่งห้องตอนในของเรือนที่จำเป็นต้องใช้ดั้งแขวน เพื่อให้สามารถเปิดห้องสองห้องให้ติดต่อถึงกันได้โดยไม่ต้องมีเสาดั้งกีดขวาง เช่นที่ต้องมีที่ด้านฝาหุ้มกลอง [107]

ขื่อแทนเต้า ส่วนของขื่อที่ยื่นเลยผนังออกไปรับแปปลายเต้า เชิงกลอน และหลังคาส่วนที่เลยผนังออกไป ขื่อแทนเต้ามีเฉพาในงานสถาปัตยกรรมประเภท โบสถ์ วิหารและศาลาการเปรียญ [108]

ขื่อโท ขื่อตัวรองของโครงจั่วหลังคาชนิดที่มีขื่อหลายตัว ขื่อโทนี้จะวางสับอยู่บนเสาตุ๊กตาที่ตั้งอยู่บนขื่อตัวล่าง ส่วนมากจะมีขื่อโทนี้ตังแต่ 2-3 ชั้น รูปร่างของขื่อโทจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดใหญ่เล็กลดหลั่นกันไป ขื่อโทมักใช้ในหลังคาโบสถ์ วิหาร ศาลาการเปรียญที่มีขนาดใหญ่ ขื่อโทนี้บางท้องถิ่นเรียก "ขื่อยี่" [108]

ขื่อเผล้ ขื่อชนิดหนึ่ง อยู่ตรงเสาคู่หัวท้ายของเรือนไทยชนิดเครื่องสับ หน้าของขื่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตรงศูนย์กลางขื่อเจาะเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้ทะลุ มีขนาดพอดีที่จะสอดใบดั้งขั้นไปรับอกไก่ ริมด้านนอกส่วนบนถากลบเหลี่ยมให้เผล้ลงยาวตลอด ส่วนที่ถากเผล้เจาะเป็นร่องรูปหางเหยี่ยว เพื่อยึดปลายกลอนของปีกนกที่เป็นรูปหางเหยี่ยวด้วย หน้ากว้างของขื่อเผล้จะเลยจากหัวเสาออกไปเท่กับความหนาของฝา เพื่อทำหน้าที่ข่มปลายฝาอีกประการหนึ่งด้วย, "ขื่อหัวเสา" ก็เรียก และ "ขื่อกะละปังหา" ก็เรียก [108]

ขื่อม้าตั่งไหม ภาษาถิ่นพายัพ เรียกตัวไม้ชุดหน้าจั่วโครงหลังคาอาคารช่วงกว้างๆ เช่น โบสถ์ วิหาร กล่าวคือ แปทุกตัวจะถ่ายน้ำหนักลงบนเสาตุ๊กตา (เสาป๊อก) ซึ่งตั้งอยู่บนขื่อที่อยู่ระดับถัดลงมาอีกต่อหนึ่ง ดูทั้งโครงจั่วเหมือนเอาม้ามาตั้งซ้อนกันเป็นชั้นๆ ขื่อนี้เรียก ขื่อม้าตั่งไหม

โครงหลังคาระบบม้าตั่งไหม ปรากฏข้อกำหนดในพระคัมภีร์ลักขณะของวิหารอันเป็นส่วนหนึ่งของประมวลตำราพิธีโบราณพื้นเมืองของเก่า (ซึ่งนายสงวน โชติสุขรัตน์ แปลและเรียบเรียง พ.ศ. 2519) มีว่า " ... ตัดไม้วิหาร หื้อเอาขื่อหลวงเป็นนาย หื้อเอามาแทก หัวหื้อเป็นหัวของมันแล้วเหลี่ยมแป๋มาตั้งแล้ว หักกลางใจ๋ไว้แล้วแทกขื่อหลวง มาหัก 6 เสีย 2 ยัง 4 ส่วนเป็นขื่อยี่ ตั่งไหมท่าวลุกหัวขึ้นแถมนอกนั้นแล หัวขี้แทกนั้นเหลี่ยมเดียวเป็นนาย อย่าหื้อมันทวากยาก เพื่อขื่อม้านั้นหื้อเอาเกิ่ง ขื่อหลวงแถม

นอกนั้น ม้ายี่นั้น หื้อเอาหัวขื่อหลวงมาแปหลังม้า แต่หัวเข้ามาปูนไหนหมายหั้น เป็นขื่อม้ายี่แล ม้า 3 นั้นก็เอาขื่อยี่มาตั้งปูนไหนหมายหั้นเป็นม้า 3 แลในไม้อันหัก 6 เสีย 2 ส่วน เป็นสะโก่นแกนนอกนั้น เป็นคอกีบเสีย 1 ย่ำแป้ขึ้นบนในที่หัก 2 อัน ลุ่มนั้นม้า 3 แป้หลังทังมาเข้าตีนตั่งไหมชุอันแลใน แป้อ้ายหลังซดนั้นมาเข้าสะโก่นนั้น หื้อหักคอคีบหลังเป็น 8 ส่วนไว้บน 2 ส่วน แป้อ้ายเข้าหั้น แลแทกคอกีบลงมาปลงคอคีบหลังซด ในยางนาคชายบนนั้น หื้อเอา 8 หัก แป้แต่กี๋นั้นไว้ลุ่ม 2 บน 8 ย่ำแกนขี้ยางยาวเท่าหัวแต่ตีนตั่งไหมออกแกนในนั้นแล ในยังชายลุ่มนั้นเป็นดั้ง ยางบนดังเก่า ในยางซ้อนแป้ ซดมาจับนั้น หื้อแทกแต่ปลายสะโก่นนั้นลงมาถึงตีนยาง แทกแต่ตีนยางลงรอดที่ใด ยางเข้าหั้นชุหลังแลเท่าว่าแป้อ้ายหื้อเข้าเสาหลวง แป้ยี่นั้นหื้อปลงตุ้มขื่อหลวงล้ำนั้นก็หื้อลำดับกันลงมาชุที่ ในขื่อมานั้นบ่เปนขื่อนักเอา 3 จักใคจีดหื้อห้อยก็ปลงตามนั้น จักจิมพอหื้อเป็นประตู ก็ปลงตามนั้นเทอะ ฯ ... ”

ในตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่ ฉบับสำนักนายกรัฐมนตรี เรียกขื่อม้าตั่งไหมว่า “ขื่อม้าตั่งใหม่” ดังมีความตอนหนึ่งว่า “... ช่างกนโถม เมื่ออยู่เชียงแสนแล้วจึงตัดเครื่องวิหาร เป็นต้นว่าแปอ้าย แปยี่ ขื่อม้าตั่งใหม่แต่เชียงแสน หื้อเอามาใส่วิหารการโถม อันปกเสาใส่ขื่อไว้บ่ทันแล้วก้อมพอกุ้มชุอัน...” [108]

ขื่อเอก หรือขื่อประธานของโครงสร้างหลังคาอาคารสถาปัตยกรรมไทยที่เกี่ยวกับพระพุทธศาสนาและวัง ขื่อเอกนี้จะวางพาดอยู่ทางด้านสกัด บนเสาร่วมในประธาน หรือจากผนังถึงผนังในกรณีที่ไม่มีเสาร่วมในประธาน และวางอยู่บนเสาลอยตรงหน้ามุข ขื่อเอกทำหน้าที่รับโครงหลังคาและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่เหนือขื่อทั้งหมด ถ้าขื่อนี้ยื่นเลยผนังออกไปทำหน้าที่แทนเต้าก็จะรับแปปลายเต้าและเชิงกลอน ซึ่งส่วนที่ยื่นเลยไปนี้ เรียกว่า “ขื่อแทนเต้า” การที่เรียกขื่อชนิดนี้ว่าขื่อเอกก็เพราะว่าเหนือขื่อเอกขึ้นไปยังมีขื่อโทวางอยู่บนปลายเสาตุ๊กตาอีกเป็นชั้นๆ หน้าตัดของขื่อจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของอาคาร อาคารหลังใดมีเพดานมักไม่ทำเพดานที่ระดับขื่อเอก แต่จะทำที่ระดับเหนือขื่อโทถัดจาก

ขื่อเอกขึ้นไป ขื่อเอกหรือท้องขื่อโทใต้เพดานนี้ตกแต่งลบมุมทำคิ้ว แล้วลงรักปิดทองเป็นลวดลายสวยงาม [108]

เข้าเดือย วิธีการเข้าไม้แบบหนึ่ง โดยการนำท่อนไม้ซึ่งทำให้เป็นเดือยหรือแกนมีรูปกลมหรือสี่เหลี่ยม สวมอัดแน่นเข้าไปในท่อนไม้อีกอันหนึ่ง ซึ่งเจาะเป็นรูปกลมหรือสี่เหลี่ยมขนาดพอดีกับเดือยนั้น เช่น การเข้าเดือยที่เต้ายึดแน่นกับเชิงกลอน หรือรูขื่อสวมเดือยหัวเทียนเสาเรือน [108]

เข้าเดือยหางเหยี่ยว วิธียึดไม้ 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยการแต่งไม้ชิ้นหนึ่งให้เป็นรูปคล้ายหางเหยี่ยว อีกชิ้นหนึ่งบากรับ ทั้งนี้เพื่อให้รูปร่างที่ตกแต่งนั้นทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวด้วยในตัว เนื่องจากมุมของหลังคาเรือนไทยมีลักษณะลาดชันมาก จำเป็นต้องป้องกันมิให้น้ำหนักของระแนงและเครื่องมุงกดทับจนกลอนเลื่อนไป จึงต้องยึดกลอนกับอกไก่ กลอนกับขื่อเผล้และปั้นลม ด้วยวิธีเข้าเดือยหางเหยี่ยวนี้โดยตกแต่งปลายกลอนเป็นรูปหางเหยี่ยว แล้ววางทับลงบนอกไก่หรือขื่อเผล้ ซึ่งเจาะลึกเป็นรูปหางเหยี่ยวขนาดพอดีกัน การเข้าเดือยหางเหยี่ยวของเรือนไทยเครื่องสับที่งดงามคือ การเข้าเดือยหางเหยี่ยวที่พริ้งของด้านขนานกับด้านหุ้มกลอง [108]

เข้าปากกบ วิธีเข้าปากไม้วิธีหนึ่งที่ใช้ในการประกอบกรอบฝาเรือน กรอบเช็ดหน้าของเรือนไทย หรือใช้ในการประกอบวงกบของประตูหน้าต่าง โดยการบากแบ่งครึ่งมุมของกรอบให้เท่าๆ กันทางด้านหน้า และมีเดือยไม้อีกอันหนึ่งสอดเข้าไปในรอยเจาะของไม้อีกอันหนึ่ง แล้วเจาะรูยึดด้วยลูกสลักไม้ให้แน่น [108]

เข้าปากไม้ วิธีการนำไม้ตั้งแต่ 2 ชิ้น มาบากหรือเจาะตรงปลาย แล้วประกอบเข้าด้วยกัน ใช้ลูกสลักไม้ หรือปลิงเหล็กยึดปลายนั้นให้แน่น [108]

เข้ามุม วิธีการนำไม้ 2 ชิ้นมาประกอบเป็นมุม โดยตกแต่งอันหนึ่งให้เป็นเดือยรูปสามเหลี่ยม 2 เดือย ส่วนอีกอันหนึ่งเจาะให้เป็นช่องรูปสามเหลี่ยม 2 ช่อง มีขนาดพอที่จะสวมกันได้สนิท การเข้ามุมพริ้งของเรือนไทยภาคกลาง โดย

ให้ด้านที่เป็นรูอยู่ทางด้านสกัดหรือด้านหุ้มกลอง ทำหน้าที่ยึดหรือบังคับไม่ให้พรึงด้านยาวแยกตัวออก และเพื่อให้เสาเรือนอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดตามต้องการ [108]

เข้าไม้ การนำไม้สองท่อนมาประกอบติดเข้าด้วยกันด้วยวิธีบาก เจาะเข้าเดือย ฯลฯ ตามวิธีของช่าง เพื่อให้เกิดการประสานกันอย่างมั่นคง มีความงดงาม เรียบร้อย และได้ประโยชน์ใช้สอย เช่น การเข้าไม้ปากกบบานประตูหรือหน้าต่าง หรือการต่อไม้เข้าด้วยกัน[107]

วิธีการนำไม้ตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป มาบากรับแล้วประกอบเข้าด้วยกัน ยึดไม้นั้นให้แน่นอยู่ในรูปแบบที่ต้องการด้วยการตอกตะปู หรือตอกอัดด้วยลูกสลักไม้ การต่อหรือประกอบอาจทำได้หลายวิธี [108]

คลองราก การวางรากฐานสำหรับก่อสร้างอาคารทรงไทยประเภทเครื่องก่อแต่สมัยโบราณ เริ่มด้วยการขุดพื้นดินให้เป็นคลองตามรูปพื้นผังของอาคารที่เป็นส่วนฐานรากของอาคารนั้นๆ ให้มีขนาดลึกประมาณ 1 วา พื้นบ่อปราบให้เรียบเสมอกัน เอาอิฐหัก หิน ทรายลงถมให้แน่น แล้วจึงเอาท่อนซุงที่เปิดปีกเป็นหน้าสี่เหลี่ยมลงก่ายแกงแนงเป็นราก เพื่อรองรับฐานอาคารต่อไป คลองที่ขุดขึ้นเพื่อการนี้ เรียกว่า คลองราก [108]

คานพาดเสา (Post and Lintel) วิธีการก่อสร้างพื้นฐานระบบหนึ่ง มีมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ จะเห็นได้จากสิ่งก่อสร้างที่เรียกว่า “สโตนเฮนจ์ (Stonehenge)” ซึ่งพบทางภาคเหนือของประเทศอังกฤษ การก่อสร้างระบบนี้มีทั่วไป เช่นในประเทศอียิปต์ อีทรัสกัน และกรีซ ได้มีการพัฒนามาโดยลำดับจนเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสมบูรณ์และงดงาม ดังที่เรียกว่า “แบบคลาสสิค” เช่นการก่อสร้างวิหารพาร์เทนอน และวิหารอีเรกเทออน บนภูเขาอะโครโปลิส กรุงเอเธนส์ ประเทศกรีซ

วิธีการก่อสร้างระบบนี้ ในสมัยสุโขทัยพบที่วัดพระศรีรัตนมหาธาตุ อำเภอศรีสัชนาลัย และที่วัดพระเชตุพน ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย [108]

รูปที่ ก.7 ซุ้มประตูวัดพระเชตุพน อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย [108]

ระบบคานพาดเสาใช้ในการก่อสร้างทั้งที่ทำด้วยหิน และไม้ ระยะห่างของช่วงเสาขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกและตัวคาน เพราะน้ำหนักเหล่านี้จะเฉลี่ยลงที่คาน และปลายคานจะถ่ายลงสู่เสา โดยทั่วไปแล้วหินและไม้ที่ใช้เป็นคานจะรับเฉพาะแรงอัดได้ดี และรับแรงดึงได้น้อย จึงทำให้ช่วงเสามีระยะถี่ เมื่อมีวิชากลศาสตร์ว่าด้วยแรง(Force) และแรงหมุน (Moment) เกิดขึ้น ยิ่งทำให้สามารถกำหนดขนาดของคานแลเสาให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ต่อมาเมื่อวิชาวัสดุก่อสร้างเจริญขึ้น จึงมีการใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยให้เหล็กรับแรงดึง และคอนกรีตรับแรงอัด

ต่อมาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างได้มีการพัฒนามากขึ้น ระบบคานพาดเสาจึงใช้น้อยลง เป็นเหตุให้เกิดวิธีการใหม่ เช่น

วิธีคานยึดเสาเป็นโครงสร้างเกร็ง (Rigid frame)

วิธีพื้นไร้คาน (Flat plate)

วิธีพื้นไร้คานแรงดึงสูง (Post tension slab)

วิธีคานแบบตาราง (Grid floor) [108]

เครื่องประดุ ชื่อโครงไม้เครื่องบนหลังคาอาคารโบราณสถาน ที่นิยมทำกันมาแต่สมัยสุโขทัย และต่อมาในสมัยอยุธยา ลักษณะโครงไม้เครื่องบนแบบที่เรียกว่าเครื่องประดุ ประกอบด้วย ขื่อวางพาดอยู่บนหัวเสาทั้งสองด้าน หรือวางพาดอยู่บนผนังก่ออิฐทั้งสองข้าง หรือวางพาดอยู่บนผนังก่ออิฐข้างหนึ่งกับอีกข้างหนึ่งวางพาดอยู่บนหัวเสา ถัดเข้ามาจากหัวหลังขื่อใหญ่ตัวแรกประมาณศอกหนึ่งทั้งสองด้าน ตั้งเสาตุ๊กตาขึ้นคู่หนึ่งขึ้นไปรับขื่อโท ตรง

ย่านกลางขื่อโท ตั้งเสาตุ๊กตาต้นหนึ่งไปรับอกไก่ ถ้าในกรณีที่ช่วงขื่อยาวและหลังคาสูง ก็เพิ่มขื่อและเสาตุ๊กตาขึ้นไปตามส่วน [108]

งัว องค์ประกอบฐานรากประเภทหนึ่ง เป็นไม้รองตีนเสาเรือนโบราณชนิดเรือนฝากระดานหรือเรือนเครื่องสับ ปกติใช้ไม้ท่อนทอดเป็นคู่ลงในก้นหลุม ให้มีช่องว่างระหว่างกันเล็กน้อย เพื่อหย่อนตีนเสาซึ่งติดไม้กงพัดพร้อมอยู่แล้วตั้งบนงัวทั้งคู่ หรือชนิดที่ใช้ไม้งัวหลายอันก็มี [108]

จังโก-จังโก๋ แผ่นทองแดง ทองเหลือง หรือทองคำ บางประมาณครึ่งหุน ชาวเหนือนิยมนำมาเชื่อมต่อกันหุ้มเจดีย์ หรือองค์ประกอบของเจดีย์ ถ้าเป็นแผ่นทองเหลืองหรือทองแดงจะมีการลงรักปิดทองทับอีกครั้ง แต่ถ้าเป็นแผ่นทองคำ จะหุ้มลงไปเลย การหุ้มเจดีย์ด้วยจังโกจะทำให้เกิดความงามสง่า ดูมีคุณค่าน่าเลื่อมใส และยังกันแดดกันฝนได้อีกด้วย จังโกที่พบบางแห่งมีการสลักดุนภาพพระพุทธรูป จารึกลงยันต์หรือลงอักขระบนแผ่นทองนั้นด้วย คำว่า “จังโก” อาจจะเพี้ยนมาจากคำว่า “จังโกฏ”

จังโกใช้หุ้มทั้งองค์หรือหุ้มเฉพาะยอดก็มี ในหนังสือตำนานพระเจดีย์หลวงในเมืองนพบุรีนครเชียงใหม่ ฉบับพระมหาหมื่น วุฑฒิญาโณ วัดหอธรรม เล่าถึงการสร้างเสริมเจดีย์องค์ใหญ่ว่า “...เมื่อนั้นพระยาติโลกราชยังคนทั้งหลายเป็นต้นว่าหมื่นสิงหโคต ก็หื้อกระทำยังมงคลทั้งหลาย หื้อปรารภเพื่อจัดก่อมหาเจติยะนั้นแล เมื่อนั้นก็ล่วงได้แล้ว 2020 วะสา ... พระยาก็หื้อก่อขึ้นไปเถิงยอดอันนานประมาณ 3 ปีก็มีแล พระยาก็หื้อแก้ว 3 ลูก สุปกันเป็นยอดเจติยะ ก็หื้อทาสะทายแล้วหื้ออาบปูน แลดินที่แข็งหื้อแล้วชุกันถัดนั้น พระยาก็หื้อเอาคำแห่งตนออกมามากกว่าหมื่น ตีจังโกคำพอกมหาเจติยะแต่ยอดลงได้ 27 วา ชุด้าน ...” (องค์เจดีย์ทั้งหมดสูง 50 วา)

จะเห็นได้ว่าก่อนหุ้มแผ่นทองจังโกนั้น องค์เจดีย์ก่ออิฐฉาบปูนเรียบร้อยแล้ว ส่วนฐานเจดีย์ที่เป็นบันไดนาคและช้างล้อมนั้น มิได้หุ้มจังโก ตัวอย่างพระเจดีย์ปิดทองจังโกทั้งองค์ คือเจดีย์เหลี่ยม 2 องค์ที่หน้าปราสาทพระเทพบิดร ในพระบรมมหาราชวัง [108]

ช่องโค้งแหลม คือช่องหน้าต่าง หรือช่องประตูของหอระฆังส่วนติดกับตัวระฆัง ที่ทำรูปทรงโค้งแหลม (Point Arch) โดยได้รับแบบแผนจากยุโรป นายช่างชาวยุโรปนำเข้ามาสู่กรุงศรีอยุธยา ในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช [109]

ช่องตีนกา ช่องก่ออิฐโปร่งหรือก่อเป็นช่องลึกรูปกากบาททางเรขาคณิต [107]

ชั้นหลังคา องค์ประกอบของอาคารที่เป็นสถาปัตยกรรมไทยประเภทวัด วัง ฯลฯ มีลักษณะเด่นอย่างหนึ่งคือ มักประกอบด้วยหลังคาหลายซ้อนทางด้านสกัด เช่น ซ้อนหนึ่ง ซ้อนสอง ซ้อนสาม และหลายตับทางด้านยาว เช่น ตับหนึ่ง ตับสอง ลักษณะดังกล่าวมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป โดยมีหลังคาประธานที่ประกอบด้วยหน้าจั่วและตับของผืนหลังคาเป็นหลัก เช่น

1. หลังคาที่ลดหลั่นกันลงมาจาหลังคาประธาน โดยสันหลังคามีระดับไม่แตกต่างกันมากนัก และพื้นไม่เปลี่ยนระดับ เรียกหลังคาแบบนี้ว่า “หลังคาซ้อน” หรือ “หลังคาลด “

2. หลังคาซ้อนที่หนึ่งหรือชั้นล่างสุดทางด้านสกัด ลดระดับลงมากกว่าซ้อนอื่นๆ และพื้นอาคารก็ลดระดับลงด้วย ทั้งหลังคาและพื้นที่ลดนี้ เรียกว่า “มุขลด “ เช่น ที่พระอุโบสถวัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม ที่พระอุโบสถวัดพระศรีรัตนศาสดาราม กรุงเทพมหานคร

3. หลังคาชนิดที่มี 2 ตับหรือ 3 ตับ ทางด้านยาว เฉพาะตับที่ 2 ทางด้านสกัด ซึ่งเป็นหลังคาชนิดกันสาด และมีหลังคาลดหรือมุขขนาดเล็กยื่นออกจากกึ่งกลางของหน้าบัน โดยมีขื่ออยู่ในระดับเดียวกับหลังคาประธาน และมีเสาที่ตั้งจากหลังคากันสาดขึ้นไปรับหลังคาที่ยื่น หลังคาส่วนนี้เรียกว่า “มุขประเจิด” เช่น พระที่นั่งทรงธรรม วัดเบญจมบพิตรดุสิตวนาราม กรุงเทพมหานคร ที่ศาลาการเปรียญวัดใหญ่สุวรรณาราม จังหวัดเพชรบุรี

4. หลังคาชนิดที่มี 2 ตับ ตับที่ 2 เป็นกันสาด หลังคาประธานยื่นออกมาอยู่ในแนวเดียวกับชายหลังคากันสาด โดยเสาทั้งสองต้นที่รับหน้าบันตั้งอยู่ในแนวเดียวกับเสาหรือผนังส่วนล่างของตัวอาคาร เรียกหลังคาประธานส่วนที่ยื่นนี้ว่า “มุขชะโงก” เช่น ที่พระที่นั่งราชกรัณยสภา ในพระบรมมหาราชวัง

5. อาคาร 2 หลังที่อยู่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำหลังคาเชื่อมระหว่างกัน โดยให้สันหลังคาที่เชื่อมอยู่ต่ำกว่าหลังคาอาคารทั้งสองหลัง หลังคาที่เชื่อมนี้เรียกว่า “มุขกระสัน” เช่น ที่พระที่นั่งจักรีมหาปราสาท ในพระบรมมหาราชวัง ที่พระเมรุมาศสมเด็จพระศรีพัชรินทราบรมราชินีนาถ [110]

ฐานเขียง องค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่ใช้เป็นแท่นรองรับสิ่งอื่น ฐานเขียงเป็นฐานชั้นล่างสุดมีรูปเรียบง่าย เช่น บานล่างสุดที่ใช้รองรับบุษบก เจดีย์ ธรรมาสน์ ฯลฯ [107]

เป็นชื่อเรียกฐานของอาคารโบราณสถานที่มีลักษณะเรียบง่ายกว่าฐานชั้นอื่น ๆ คือเป็นรูปคล้ายเขียง ผังของฐานแบบนี้มีต่าง ๆ กัน เช่น รูปสี่เหลี่ยม วงกลม แปดเหลี่ยม เป็นต้น ช่างมักใช้ฐานเขียงหนุนส่วนต่าง ๆ ของเจดีย์ เพื่อให้ได้รูปทรงที่เหมาะสมสวยงามตามต้องการ บางครั้งเรียกว่าฐานหน้ากระดาน หรือชั้นหน้ากระดาน

ฐานประทักษิณ เป็นส่วนฐานที่รองรับเจดีย์มีทางเดินรอบองค์เจดีย์เพื่อประโยชน์ในการใช้เดินเวียนรอบกระทำบูชาต่อองค์พระเจดีย์ ทางเดินนี้มักทำเป็นทางเดินแคบๆ พอเดินคนเดียวได้สะดวกหรือเดินเคียงกันได้น้อยคน อาจเรียกว่าฐานทักษิณ

ลักษณะที่องค์เจดีย์ตั้งอยู่บนฐานทักษิณนี้ก็เป็นทำนองเดียวกับที่ตัวโบสถ์ตั้งอยู่บนฐานไพที แต่คำว่าบานทักษิณนี้ต่างกับฐานไพทีตรงที่ฐานทักษิณทำขึ้นโดยเฉพาะสิ่งก่อสร้างขึ้นเป็นประธาน ส่วนฐานไพทีนั้นมีขนาดใหญ่ อาจรองรับอาคารหรือสิ่งอื่นรวมอยู่ด้วย [107]

เป็นชื่อที่เรียกฐานอาคารตามการใช้งาน หมายถึงฐานที่เป็นลานสำหรับเดินเวียนประทักษิณ หรือเดินเวียนขวานมัสการองค์เจดีย์ โดยไม่ระบุรูปแบบของฐานว่าจะมีลวดลายทางสถาปัตยกรรมเป็นลวดลายชนิดใด [111]

ฐานไพที เป็นชื่อเรียกฐานอาคารที่แปลว่า ฐานรองรับสิ่งก่อร้างหลายชนิดรวมกัน มีหลายรูปแบบ(ทางสถาปัตยกรรม) ไม่ว่ารูปแบบใด หากมีอาคารหลายอาคารตั้งอยู่ก็เรียกฐานไพที [111]

ดั้ง ก. ใบดั้ง ไม้แผ่นแบนค้ำอยู่ตรงส่วนกลางของรูปสามเหลี่ยมของโครงจั่ว โคนใบดั้งจะนั่งอยู่บนท่อนไม้ที่เรียกว่าขื่อ ส่วนปลายใบดั้งตอนบนจะทำหน้าที่รับไม้อกไก่ที่อยู่ตรงสันหลังคา

ข. ดั้งแขวน ใบดั้งเช่นเดียวกับ ก. แต่ปล่อยให้โคนใบดั้งทะลุไม้ขื่อลงมานั่งบนไม้คอสองซึ่งติดตั้งอยู่ตอนล่าง เพื่อช่วยให้โครงจั่วมีความแข็งและทรงตัวได้มั่นคง โครงจั่วชนิดที่ใช้ดั้งแขวนนี้ จะทำเฉพาะโครงจั่วที่ตั้งอยู่บนเสาร่วมในของเรือนเท่านั้น และจะไม่ทำจั่วที่มีดั้งแขวนกับฝาด้านสกัด หรือที่จั่วมุขของเรือน

ค. ดั้งลอย ดั้งชนิดที่ใช้เสากลมตั้งตรงกึ่งกลางด้านสกัดของเรือน โคนดั้งนั่งอยู่บนไม้รอด [107]

เดือย หมุดไม้ใช้สำหรับตอกลงไปในรูที่เจาะทะลุผ่านตัวไม้ที่ต่างชิ้น หรือต่างท่อนกันเพื่อต้องการให้ตัวไม้ทั้งสองชิ้นหรือสองท่อนนั้นติดกันแน่น ไม่ขยับเขยื้อน เดือยไม้นี้เมื่อถูกตอกอัดจนแน่นแล้ว เดือยส่วนที่ยาวเกินความต้องการจะถูกตัดให้เรียบเสมอผิวไม้ทั่วไป ดังเช่นการตอกเดือยบนแผ่นฝาปะกน หรือการตอกเดือยในการเข้ามุมฉากของกรอบประตูหรือหน้าต่าง [107]

ตะปูจีน เหล็กรูปสี่เหลี่ยมปลายเรียวแหลมมีหัวงอพับเป็นมุมฉาก ความโตของหน้าตัดส่วนที่โตสุดมีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร และมีความยาวประมาณ 4 นิ้วฟุต ใช้สำหรับตอกยึดตัวไม้ในโครงสร้างของเรือนเครื่องไม้จริงแทนการเข้าเดือยในงานที่ไม่ต้องการฝีมือปราณีต [107]

นางเรียง คือเสารายรับชายคาปีกนกของเรือนไทยและกุฎิสงฆ์เรียกว่า เสานางเรียง หรือจะใช้เรียกเสาเพนียดอันปักเป็นแนวว่า เสานางเรียงก็ได้ ถ้าเป็นบ้านก็เรียกเสานางจรัล [109]

ทับหลัง คือแผ่นศิลาอันเป็นคาน เหนือประตูขององค์พระปรางค์ ทับหลังมักจะเอาส่วนแบนตั้งขึ้นบนเสาสองข้างประตู มักนิยมจำหลักลวดลายเป็นรูปร่างต่างๆ นักปราชญ์ทางโบราณคดีที่กำหนดจดจำลวดลายนั้นๆ ได้ จะสามารถบอกถึงอายุโบราณสถานนั้นๆ ได้ [109]

ธรรมจักร กงล้อเครื่องหมายการประกาศพุทธศาสนา นิยมสร้างขึ้นในสมัยพระเจ้าอโศกมหาราชเพื่อนำไปประดิษฐานในดินแดนที่พระพุทธสาสนาแพร่ไปถึง [107]

ปูนขาว ได้จากเปลือกหอยเผาไฟ หรือจากหินปูนเผาไฟ เมื่อเอาน้ำพรมก็จะแตกเป็นฝุ่นสีขาว เมื่อจะนำมาใช้เป็นสีเขียนภาพ จะต้องเอาน้ำล้างหรือแช่ปูนขาวจนปูนจืด บางคนก็เปลี่ยนน้ำบ่อยๆ แล้วบดให้ละเอียดเป็นฝุ่น หรือมิฉะนั้นก็นำฝุ่นที่บดละเอียดมาแช่น้ำไว้ เพื่อเตรียมตัวใช้เขียนได้เลย

ปูนขาวเมื่อผสมกับน้ำ ใช้แปรงจุ่มทาผนังตึก อุโบสถ วิหาร กำแพงแก้ว ทำให้ดูสีขาวโพลนสะอาดตามาก ถ้าทาขณะกำลังโบกปูนเปียกๆ รอให้หมาดเสียก่อนแล้วทาปูนขาว สีจะติดทนนานไม่มีวันลอก เรียกวิธีนี้ว่า เฟรสโก้

กรรมวิธีในการโบกปูนให้จับผนังภายในโบสถ์วิหาร จะเอาปูนขาวที่แช่น้ำจนจืดแล้วมาผสมกับทรายที่ร่อนแล้วละเอียด และผสมน้ำยางไม้ เช่น ยางบง หรือยางอื่นๆ กับน้ำอ้อย แล้วโขลกให้เหนียวเอามาทำฉาบผนัง จะแข็งและแน่นเนื้อละเอียด เรียก ปูนเพชร์ วิธีพิสูจน์ว่าผนังที่ฉาบปูนนั้นยังเค็มอยู่ หรือจืดสนิทดีแล้ว กล่าวคือว่า เตรียมผนังฉาบปูนจนแห้งสนิทแล้ว ให้เอาหัวขมิ้นอ้อยมาขีดบนผนัง ถ้าออกเป็นรอยสีแดงก็แสดงว่าปูนยังไม่จืด จะต้องเอาน้ำใบขี้เหล็กต้มมาสระปะทาผนัง ทาหลายๆ ครั้งจนปูนจืดจึงจะใช้เขียนภาพได้ จึงเป็นที่มาของคำว่า ขมิ้นกับปูน ด้วยของสองสิ่งนี้มีปฏิกิริยากัน ปูนที่กินกับหมากนี้ก็เป็นปูนขาวเช่นเดียวกัน เอามาแช่น้ำแล้วเอาขมิ้นผง ผสมลงไปจะเกิดปฏิกิริยาเป็นสีแดง ในอินเดียเขาใช้ปูนขาวแท้ๆ กินกับหมาก ไม่ใส่ขมิ้นจึงไม่เป็นสีแดง [109]

มณฑป เป็นอาคารฐานสี่เหลี่ยมมีเครื่องยอดเป็นยอดปราสาท รูปทรงแบบบุษบก แต่เป็นขนาดใหญ่ หรือทรงเจดีย์ย่อมุมสิบสอง ผายออกและมีรายละเอียดมาก เช่น ย่อเก็จ บันแถลง [109]

ไม้จริง ไม้ในประเภทไม้เนื้อแข็งที่ใช้ในงานก่อสร้าง ไม่ว่าไม้นั้นจะเป็นไม้ชนิดใด ภาษาช่างไม้เรียกว่าไม้จริง เช่น เรือนเครื่องสับ คือเรือนที่ทำด้วยไม้จริง หรือหลังคาเครื่องประดุ คือหลังคาที่ทำด้วยไม้จริง [107]

ยิงลม ไม้ค้ำโคนดั้งแขวนของโครงจั่วระหว่างห้องชั้นใน ค้ำทแยงให้ปลายของไม้ค้ำไปยังอยู่กับปลายจั่วตอนบนของฝาด้านหุ้มกลอง ไม้ยิงลมนี้ใช้เฉพาะกับเรือนไทยทางภาคเหนือ และภาคอีสานเป็นต้น ไม้ที่ช่วยยึดไม่ให้โครงจั่วรวนหรือเซ [107]

ร่วมใน ร่วมนอก การกำหนดเรียกส่วนของอาคารที่ถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยมีองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือโครงสร้างอย่างใดอย่างหนึ่งเป็นหลักที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ แล้วจึงกำหนดเรียกส่วนที่อยู่ใกล้ด้านนอกว่าร่วมนอก และส่วนที่อยู่ตอนกลางว่าร่วมใน

ตัวอย่างเช่น โบสถ์หรือวิหารที่มีเสาภายในแบ่งส่วนพื้นออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนตอนกลางของอาคาร ตรงแนวที่ตั้งพระประธานนั้นในทางช่างเรียกว่าร่วมใน ส่วนพื้นที่ระหว่างแถวเสากับผนังทั้งสองด้าน นั้นเรียกว่าร่วมนอก หรือจะกล่าวให้ชัดยิ่งขึ้นได้อีกว่าร่วมในเสาและร่วมนอกเสา [107]

เรือนธาตุ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม เช่นเดียวกับที่เรียกว่าครรภธาตุ เป็นส่วนของพระสถูป หรือพระปรางค์ที่บรรจุพระบรมสารีริกธาตุ หรือพระธาตุไว้ภายใน ในกรณีที่เป็นองค์สถูปหรือพระเจดีย์ เรือนธาตุคือส่วนทีเป็นองค์ระฆัง และในกรณีที่เป็นพระปรางค์ เรือนธาตุคือส่วนที่เป็นตัวอาคารที่มักนิยมสร้างซุ้มทิศ หรือซุ้มจรนัมประกอบด้วย [107]

แระ ไม้ขวางตีนเสาเพื่อกันเสาจมดิน ไม้ขวางนี้มีความยาวประมาณหนึ่งศอก อาจะทำเป็นไม้ท่อนเดียวเจาะสอดโคนเสาหรืออาจะเป็นไม้สองท่อนบากขนาบคู่ที่โคนเสา แระเช่นนี้ใช้สำหรับโคนเสเรือนทั่วไป [107]

ลูกมะหวด ซี่ลูกกรงที่ทำด้วยไม้หรือหิน มีลักษณะเป็นลูกกลมเรียงต่อกันตามแนวตั้ง ลูกมะหวดนี้ มีเค้าเดิมมาจากซี่บัญชรของหน้าต่างปราสาทหินแบบสถาปัตยกรรมขอม [107]

วิหาร อาคารที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นที่ประดิษฐานพระพุทธรูปอันเป็นประธานของวัด ในอดีตเมื่อโบสถ์ยังไม่นับว่าเป็นอาคารที่สำคัญของวัด การสร้างวัดโดยทั่วไปจะต้องมีวิหาร และพระเจดีย์เป็นสำคัญ ดังตัวอย่าง เช่นการสร้างวัดในสมัยสุโขทัยและสมัยกรุงศรีอยุธยาก่อนรัชกาลของพระบรมไตรโลกนาถ [107]

วิหารโถง อาคารที่สร้างขึ้นใช้เป็นวิหารแต่มิได้กั้นฝาหรือผนัง คงมีแต่เพียงที่ประดิษฐานพระพุทธรูปไว้ภายในเท่านั้น [107]

เสานางเรียง เสาไม้ที่ปักเรียงเป็นแนวไปตามแนวเขตเพื่อต้องการให้เป็นแนวรั้ว “นาง” ในที่นี้หมายถึงนางไม้ของเสาไม้นั้น [107]

เสาลูกมะหวด เสาที่มีลักษณะคล้ายกับการเอาลูกทรงกลมมาต่อด้วยข้อต่อเรียงซ้อนกันตามทางตั้งจำนวนหลายๆ ลูก ใช้เป็นลูกกรงหน้าต่าง ลูกกรงหน้าต่างแบบลูกมะหวดชนิดนี้มีที่มาจากเสาหินลูกมะหวดประดับบัญชรในสถาปัตยกรรมแบบขอม [107]

เสาอิง เสาที่ปรากฏเด่นออกมาจากผิวผนังเรียบเพื่อแสดงโครงสร้าง และจุดที่ต้องรับน้ำหนักจากโครงจั่วหลังคาที่อยู่ตอนบน การเรียกชื่อเสาอิงเป็นการเรียกลักษณะของเสาที่ดูเหมือนพิงติดผนัง เสาชนิดนี้อาจมีผู้เรียกตามลักษณะที่มองเห็นว่า ยกกะเปาะ [107]

ศิลาแลง เป็นวัตถุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างศาสนสถาน ในดินแดนสุวรรณภูมินี้จำนวนมาก เช่น ปราสาทของขอม และพุทธศาสนถานสมัยสุโขทัย เช่นที่เมืองเก่าสุโขทัย เช่นที่เมืองเก่าสุโขทัย และกำแพงเพชรส่วนใหญ่ใช้ศิลาแลงในการก่อสร้าง

สมัยพระเจ้าวรมันที่ 7 ของขอม เมื่อประมาณพุทธศตวรรษที่ 18 ที่เรียกว่าศิลปบายนส่วนใหญ่ก็สร้างด้วยแลง ดังเช่น ปรางค์สามยอดลพบุรี ปรางค์ท้าวพรหมทัต พิมาย ปราสาทกู่ฤาษี ปรางค์กำแพงแลงที่เพชรบุรี และปราสาทเมืองสิงห์ กาญจนบุรี เป็นต้น

ในสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนต้น มีหลักฐานจากพระปรางค์วัดราชบูรณะว่าใช้ศิลาแลงมาก่อรากฐาน นับว่าเป็นวัตถุแบบใหม่ของดินแดนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาที่ได้รับอิทธิพลจากการก่อสร้างแบบบายน เพราแต่เดิมการก่อสร้างปรางค์ของแถบนี้ เช่น สุพรรณบุรี ราชบุรี เพชรบุรี สิงห์บุรี มักก่อด้วยอิฐ ที่ราชบุรีและลพบุรี เมื่อตรวจรากฐานเดิมพบว่ารากฐานเป็นอิฐ แสดงว่าปรางค์อิฐเดิมพังลงมา จึงมาก่อสร้างศิลาบนรากฐานอิฐในภายหลัง

ที่กำแพงเพชร ศิลปสุโขทัยจะใช้แลงโกลนเป็นโครงร่างพระประธาน แล้วจะปั้นปูนพอกทับรูปพระพุทธรูปภายหลัง แม้การก่อสร้างอุโบสถวิหาร ก็เช่นกัน ก็จะปั้นปูนและโบกปูนทับเสมอ ด้วยศิลาแลงมีผิวหยาบ การแกะสลักลวดลายไม่ละเอียด จำเป็นจะต้องพอกปูนทับ [109]

หางเหยี่ยว วิธีเข้าไม้สองชิ้น ให้ยึดติดกันด้วยการแต่งไม้ตัวหนึ่งเป็นรูปสามเหลี่ยม และแต่งไม้อีกตัวหนึ่งเป็นช่องรับไม้ตัวแรกในแบบตัวผู้และตัวเมีย [107]

หุ้มกลอง เป็นชื่อเรียกผนังหรือฝาด้านสกัดของอาคาร เรียกว่าผนังหุ้มกลอง เมื่ออาคารนั้นเป็นอาคารก่อ และใช้เรียกว่าฝาหุ้มกลอง เมื่ออาคารนั้นเป็นเรือนไม้

หุ้มกลองนี้อาจอธิบายได้อีกทางหนึ่งคือเป็นผนังหรือฝาของอาคารด้านสั้น และอยู่ติดกับภายนอกอาคาร [107]

Arch A curved construction which spans an opening; usually consists of wedge – shaped blocks called **voussoirs**, or a curved or pointed structural member which is supported at the sides or ends. Arches vary in shape from the horizontal flat arch through semicircular and semielliptical arches to bluntly or acutely pointed arches. [113]

Corbel 1. In masonry, a projection or one of a series of projections, each stepped progressively farther forward with height; anchored in a wall, story, column, or chimney; used to support in overhanging member above or, if continuous, to support overhanging course; may support an ornament of similar appearance.
2. A projecting stone which supports a superincumbent weight. [113]

Corbel Arch Masonry built over a wall opening by uniformly advancing course from each side until they meet at a midpoint. The stepped reveals mat be smoothed, even arcuated, but no arch action is effected-not a true arch. [113]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ขนาดของฐานรากแผ่ที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสมัยก่อนสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง *	ความยาว*	ความสูง*
เมืองโบราณศรีมโหสถ	โบราณสถานหมายเลข 2	8.00	8.00	1.15
	โบราณสถานหมายเลข 6	5.50	5.50	0.90
	โบราณสถานหมายเลข 10	13.00	13.00	1.00
	โบราณสถานหมายเลข 16	13.80	14.55	-
	โบราณสถานหมายเลข 18	16.00	16.00	2.00
	โบราณสถานหมายเลข 20	5.30	5.30	1.30
	โบราณสถานหมายเลข 21	17.00	17.00	1.00
	โบราณสถานหมายเลข 22/6	5.80	6.50	-
	โบราณสถานหมายเลข 22/9	-	-	0.90
	โบราณสถานหมายเลข 23/2	3.80	3.80	-
	โบราณสถานหมายเลข 26	3.80	3.80	1.20
	โบราณสถานหมายเลข 191	4.00	4.00	-
	อาคารหมายเลข 3	12.00	12.00	-
	สิ่งก่อสร้างหมายเลข 14	3.00	3.00	-
	สิ่งก่อสร้างหมายเลข 15	3.00	3.00	-
	สิ่งก่อสร้างหมายเลข 16	3.15	3.40	-
	โบราณสถานหมายเลข 1	8.00	9.50	-
เมืองเสมา	โบราณสถานหมายเลข 2	7.90	8.00	1.00
	โบราณสถานหมายเลข 5	6.12	6.12	1.00
บ้านคูเมืองสิงห์บุรี	โบราณสถานหมายเลข 8	4.00	4.00	0.85
เจดีย์ทุ่งเศรษฐี	เจดีย์ทุ่งเศรษฐี	25.00	25.00	1.00

ที่มา: [30], [112], [10] และ [89]

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.2 ขนาดของฐานรากแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสมัยก่อนสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความสูง*
เมืองโบราณศรีมโหสถ	โบราณสถานหมายเลข 5	15.20	20.00	0.20
	โบราณสถานหมายเลข 7	14.00	1750	0.90
	โบราณสถานหมายเลข 11	7.00	15.00	100
	โบราณสถานหมายเลข 14	20.00	30.00	1.00
	โบราณสถานหมายเลข 19	10.60	27.60	-
	โบราณสถานหมายเลข 22/1	1.55	12.35	0.30
	โบราณสถานหมายเลข 22/5	3.35	16.25	-
	โบราณสถานหมายเลข 22/7	4.25	6.10	-
	โบราณสถานหมายเลข 22/8	3.15	5.14	-
	โบราณสถานหมายเลข 23/1	8.90	15.40	1.00
	โบราณสถานหมายเลข 25	15.00	22.00	-
	โบราณสถานหมายเลข 86	25.00	40.00	-
	โบราณสถานหมายเลข 223	12.60	16.25	-
	อาคารหมายเลข 2	5.00	9.00	1.50
	อาคารหมายเลข 9	7.00	8.00	-
	อาคารหมายเลข 7	3.60	5.80	-
เมืองเสมา	ปราสาทประธาน	8.80	22.00	-
	วิหารตะวันตกและตะวันออก	6.00	12.30	-
	อาคารทิศตะวันออกเฉียงใต้	3.80	5.00	0.50
	กำแพงแก้ว	43.40	48.60	1.20
	อาคารติดกำแพงแก้ว	6.80	20.00	-
	โบราณสถานหมายเลข 3	6.70	10.90	-
	โบราณสถานหมายเลข 9	4.10	8.10	0.70

ที่มา: [30] และ [10]

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.3 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยก่อนสุโขทัย

โบราณสถาน	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
เมืองโบราณศรีมโหสถ	22	50	12
โบราณสถานเขาคา	12-24	32-50	6-10
เมืองเสมา ขนาดที่ 1	14	25	5.7
เมืองเสมา ขนาดที่ 1	16	31	5.8
บ้านคูเมือง จ. สิงห์บุรี	18	38	9
ปราสาทเขาน้อยสีชมพู	22	35	6.5
โบราณสถานทุ่งเศรษฐี	17	35	10

ที่มา: [30], [28], [112], [10], [89] และ [32]

ตารางที่ ข.4 ขนาดของฐานรากแผ่ที่ก่อวัสดุก่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสมัยสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความสูง*
วัดศรีชุม	มณฑปวัดศรีชุม	15.00	15.00	-
วัดร้าง At.A.2	เจดีย์วัดร้าง At.A.2	4.00	4.00	-
วัดร้าง At.B.4	เจดีย์วัดร้าง At.B.4	7.20	7.20	0.50
วัดร้าง At.B.6	เจดีย์วัดร้าง At.B.6	4.00	4.00	0.70
วัดร้าง At.B.2	ปรางค์วัดร้าง At.B.2	5.20	5.20	0.70
วัดช้างรอบ	เจดีย์วัดช้างรอบ	31.00	31.00	0.70

ที่มา: [40], [42], [44] และ [39]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.5 ขนาดของฐานรากแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสมัยสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความสูง*
วัดช้างรอบ เขตอรัญญิก	โบสถ์วัดช้างรอบ	8.40	14.00	1.10
วัดพระนอน เขตอรัญญิก	วัดพระนอน	205.00	526.00	1.58
วัดร้าง At.A.1	วิหารวัดร้าง At.A.1	9.00	12.00	0.70
วัดร้าง At.A.2	วิหารวัดร้าง At.A.2	11.20	20.50	-
วัดร้าง At.B.1	วิหารวัดร้าง At.B.1	11.00	16.30	0.60
วัดร้าง At.B.2	วิหารวัดร้าง At.B.2	14.80	22.40	0.60
วัดร้าง At.B.2	ปรางค์วัดร้าง At.B.2	10.70	13.00	0.50
วัดร้าง At.B.3	วิหารวัดร้าง At.B.3	7.00	15.90	-
วัดร้าง At.B.6	วิหารวัดร้าง At.B.6	7.90	12.00	0.75

ที่มา: [39], [40] และ [42]

ตารางที่ ข.6 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
วัดศรีชุม	มณฑปวัดศรีชุม	19.00	72.00	6.50
วัดร้าง At.A.1	วิหารวัดร้าง At.A.1	-	-	-
วัดร้าง At.A.2	เจดีย์วัดร้าง At.A.2	17.00	30.00	7.00
วัดร้าง At.A.3	วิหารวัดร้าง At.A.3	13.50	23.00	4.50
วัดร้าง At.B.1	วิหารวัดร้าง At.B.2	1.5-2.3	2.4-3.5	0.6-3.5
วัดร้าง At.B.2	ปรางค์วัดร้าง At.B.2	14.00	19.00	4.00
วัดร้าง At.B.3	วิหารวัดร้าง At.B.3	-	-	-
วัดร้าง At.B.4	เจดีย์วัดร้าง At.B.4	15.00	22.00	5.00
วัดร้าง At.B.6	เจดีย์วัดร้าง At.B.6	14.00	23.50	3.00
วัดร้าง At.B.6	วิหารวัดร้าง At.B.7	14.00	23.00	4.50

ที่มา: [39], [40], [42] และ [44]

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.7 ขนาดของศิลาแลงที่ใช้ก่อฐานรากแผ่ในสมัยสุโขทัย

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง *	ความยาว*
วัดช้างรอบ เขตอรัญญิก	โบสถ์วัดช้างรอบ	15	35
วัดพระนอน เขตอรัญญิก	วัดพระนอน	15	45
วัดร้าง At.B.6	วิหารวัดร้าง At.B.7	22.00	45.00

ที่มา: [42] และ [39]

ตารางที่ ข.8 ขนาดของตัวอย่างฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในสมัยล้านนา

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง *	ความยาว*	ความสูง*
โบราณสถานสันกู่	เจดีย์สันกู่	6.8	6.8	1.2
วัดเจดีย์หลวง	พระเจดีย์หลวง	60	60	1.5
กู่ม้า	เจดีย์กู่ม้า	13	13	1.3
วัดเจ็ดยอด	เจดีย์เจ็ดยอด	11	11	1.5
วัดร่มโพธิ์	เจดีย์วัดร่มโพธิ์	8	8	-
วัดหนองหล่ม	เจดีย์วัดหนองหล่ม	13	13	1.1

ที่มา: [47], [48], [49], [50], [51] และ [52]

ตารางที่ ข.9 ขนาดของตัวอย่างฐานรากแผ่ที่ก่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในสมัยล้านนา

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง *	ความยาว*	ความสูง*
วัดหลวงราชสัณฐาน	วิหาร	12.92	30.39	-
โบราณสถานสันกู่	วิหารสันกู่	6.2	12	1.2
ประตูท่าแพ	ประตูท่าแพ	4.1	-	-

ที่มา: [48], [49] และ [56]

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.10 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากในสมัยล้านนา

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง *	ความยาว*	ความหนา*
โบราณสถานสันกู่	เจดีย์สันกู่	15-21	30-35	5-14
วัดเจ็ดยอด	เจดีย์เจ็ดยอด	15-16	30-32	4.5-5
กู่ม้า	เจดีย์กู่ม้า	15-19	30-34	5-9
วัดหลวงราชสัณฐาน	วิหาร	-	-	-
กู่ช้าง (ฐานกลม)	เจดีย์กู่ช้าง	20.00	30.00	8.00
ประตูท่าแพ	ประตูท่าแพ	17.00	-	4.50
วัดร่มโพธิ์	เจดีย์วัดร่มโพธิ์	12.00	26.00	3.00
วัดหนองหล่ม	เจดีย์วัดหนองหล่ม	-	-	-
วัดเจดีย์หลวง	พระเจดีย์หลวง	13-15	27-29	3.4-4

ที่มา: [47], [48], [49], [50], [51], [52], [54] และ [56]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ ข.11 ขนาดของอิฐที่ใช้ก่อฐานรากแผ่สมัยกรุงศรีอยุธยา

โบราณสถาน	ชื่ออาคาร	ความกว้าง*	ความยาว*	ความหนา*
วัดสีกาสมุด	อุโบสถ	14	28	4
วัดสังขปัต	เจดีย์ (อิฐขนาดที่ 1)	14.5	30	4.5
	เจดีย์ (อิฐขนาดที่ 2)	15	30	4
	เจดีย์ (อิฐขนาดที่ 3)	16	33	6
วัดพระงาม	อุโบสถ	16	31	6
วัดมเหยงคณ์	อุโบสถและศาลาโถง	17	34	5
วัดมเหยงคณ์	เจดีย์	15	30	5
วัดช้าง	อุโบสถ	15	30	5
วัดช้าง	เจดีย์ประธาน	15	30	4-6
วัดเจ้าย่า	วิหาร	15-16	28	4.5
วัดจงกลม	เจดีย์ประธาน	17	34	7
วัดจงกลม	วิหาร	17	34	7
วัดเจ้าย่า	เจดีย์	15-16	28-30	4 - 5
วัดเจ้าย่า	ตำหนัก	16-17	31-33	4-5
ตำหนักมเหยงคณ์	ตำหนัก	18	35	5
วัดจันทร์	เจดีย์ 1	16	33	6
วัดจันทร์	เจดีย์ 2	15	29	4
วัดจันทร์	เจดีย์ 3	14	29	4.5
วัดจันทร์	เจดีย์ 4	14	29	4.5

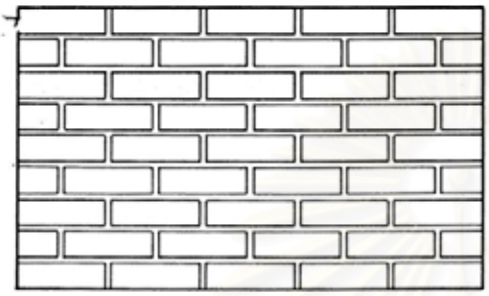
ที่มา: [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [67] และ [101]

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

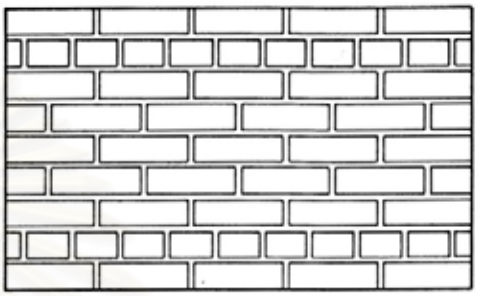
ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

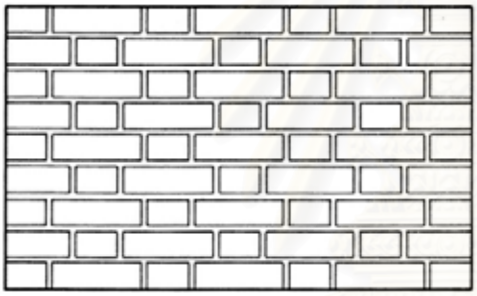
ระเบียบการก่ออิฐแบบสากล



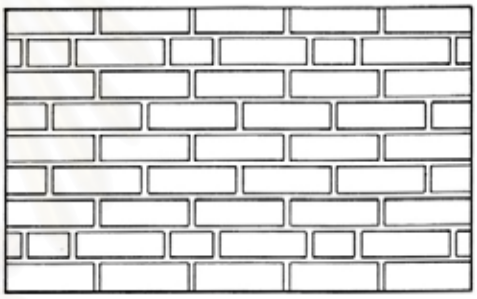
Running Bond or Stretcher Bond



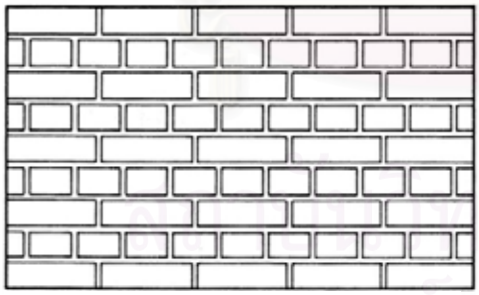
Common Bond – 6th course headers



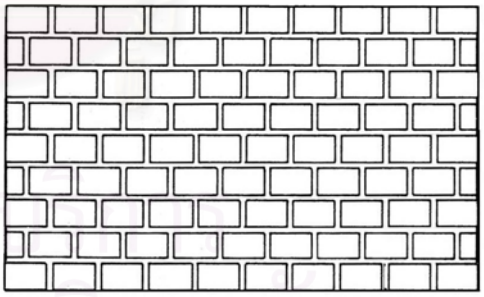
Flemish Bond



Common Bond – 6th course Flemish headers



English Bond



Header Bond

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรทิพย์ ตั้งเจริญทรัพย์ เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมก่อสร้างและการบริหาร) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย