

การสันทนิษฐานโบราณสถานในสภาพแวดล้อมเสมือน: กรณีศึกษาวัดมหาธาตุ มรดกโลกทางวัฒนธรรมอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย Reconstruction of Archaeological Sites in Virtual Environment: Case Study of Wat Mahathat, Sukhothai Historical Park World Heritage

ม.ล. วโรดม สุขสวัสดิ์ และ พฤทธิพร ลพเกิด

Varodom Suksawaddi, M.L. and Prittiporn Lopkerd

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani, 12121, Thailand

E-mail: v_suksawaddi@hotmail.com

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่กำลังได้รับความนิยม และสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่น ผู้สนใจหรือนักท่องเที่ยวมุ่งหวังที่เมื่อเข้าไปจะได้สัมผัส และเรียนรู้กับโบราณสถานที่เก่าแก่ แต่ในปัจจุบันโบราณสถานหลายแห่งอยู่ในสภาพพังทลาย นักท่องเที่ยวไม่สามารถรับรู้ถึงความสมบูรณ์ของสถาปัตยกรรม โดยทั่วไปนักท่องเที่ยวได้ข้อมูลเชิงเอกสาร หรือป้ายที่ระบุเรื่องที่เกี่ยวกับทางประวัติศาสตร์หรือทางสถาปัตยกรรมเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอันประกอบด้วย อุณหภูมิ แสงแดด ฤดู ภูมิอากาศ ที่ไม่เหมาะสมยังเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการเรียนรู้จากสถานที่จริง

บทความนี้แสดงแนวทางที่พัฒนากระบวนการสร้างสื่อการเรียนรู้จากโบราณสถานให้เป็นภาพจำลองในสภาพแวดล้อมเสมือนที่จำลองสถาปัตยกรรมของวัดมหาธาตุและสภาพแวดล้อมรอบๆ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยในจังหวัดสุโขทัย อันเป็นแหล่งอารยธรรม และโบราณคดีที่เก่าแก่ ควรค่าแก่การศึกษาศิลปะ และสถาปัตยกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเหลือแต่ส่วนประกอบที่ไม่สมบูรณ์ของอาคาร เช่น ฐานอาคาร เสา เจดีย์ มณฑป และวิหาร โดยผลที่ได้จากการศึกษาหลักฐานทางโบราณคดีทั้งจากข้อมูลเอกสาร และการออกสำรวจภาคสนาม ถูกนำมาวิเคราะห์หารูปแบบที่น่าจะเป็นทางสถาปัตยกรรม แล้วนำเสนอในรูปแบบสื่อการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมเสมือน

สื่อการเรียนรู้จะเป็นแนวทางนำร่องที่ดีในการที่หน่วยงานต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวสามารถนำไปพัฒนา และยกระดับการท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ให้มีความน่าสนใจ ก่อนที่จะเข้าไปในสถานที่จริงประกอบกับการสร้างมาตรฐานการท่องเที่ยวให้ยั่งยืนต่อไป

Abstract

Historical tourism is a form of tourism that has become popular and has created revenue for the local communities. Tourists who are interested in visiting and learning from historical monuments are often met with disappointment due to the monument's poor condition. They receive most of the information about the monuments from guidebooks or description plaques at the site. Therefore, they are unable to fully perceive monuments in their original state. Moreover, environmental factors such as temperature, sunlight, seasons and climate can sometimes interrupt the learning experience at the real location.

The objective of this research is to create a newtype of learning tool that reconstructs dilapidated historical monument in virtual environment. The case study is Wat Mahathat and it's immediate physical

surroundings at the Sukhothai Historical Park in Sukhothai province. This historical park is an important site for the study of architecture and archeology. However, the architecture in the Sukhothai Historical Park has suffered from tremendous damages overtime. In current state, there are only ruins of buildings, columns, remnants of chedis, Mondapus and Viharas. The archeological evidence, empirical studies and field survey inform the process of architectural analysis which is an important tool in estimating and finally reconstructing the original design of the architecture.

This learning tool will be a pivotal equipment that tourism organizations can further develop in order to enhance historical tourism prior to the actual location. Moreover, this research will be a part of standard setting for sustainable tourism.

คำสำคัญ (Keywords)

การสันนิษฐานรูปแบบ (Reconstruction)

เกมเอนจิน (Game Engine)

สภาพแวดล้อมเสมือน (Virtual Environment)

สื่อและข้อมูลในการเรียนรู้ (Media and Data Knowledge)

อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย (Sukhothai Historical Park)

1. ความสำคัญของปัญหา

การเรียนรู้คุณค่างานสถาปัตยกรรมในอดีตถูกผนวกเข้าไปในวิถีการดำเนินชีวิต ไม่ว่าจะเป็นในระบบการศึกษา การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม การทัศนศึกษาแหล่งโบราณสถาน การทำบุญไหว้พระ ตลอดจนเป็นแหล่งที่มาของการสร้างรายได้จากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัยเป็นแหล่งอารยธรรมในการศึกษางานสถาปัตยกรรม และประวัติศาสตร์ที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของชาติ มีหน่วยงานจากทั้งภาครัฐบาลและเอกชนร่วมกัน ดูแลบริหารจัดการอนุรักษ์ และพัฒนา ทำให้การเรียนรู้คุณค่างานสถาปัตยกรรมและอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวโดยเฉพาะในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยพัฒนาไปตามลำดับ ดังจะเห็นได้จากการจัดตั้งแหล่งศึกษาข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วย พิพิธภัณฑ์ ศูนย์วัฒนธรรม ศูนย์ข้อมูล ศูนย์จัดแสดง อาทิเช่น อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อุทยานประวัติศาสตร์ศรีสัชนาลัย พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติรามคำแหง และสำนักงานศิลปากรที่ 6 สุโขทัย การเผยแพร่ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังเป็นข้อมูลในลักษณะของสื่อและข้อมูลในการเรียนรู้ทั้งในลักษณะสองมิติและสามมิติเพื่อให้ผู้ศึกษาได้เรียนรู้นอกเหนือจากการลงพื้นที่ศึกษาหรือชมจากสถาปัตยกรรมจริง ทั้งๆ ที่สื่อและข้อมูลในการเรียนรู้ดังกล่าวได้ดำเนินการพัฒนามาตามลำดับ จากเนื้อหาที่เป็นเอกสาร (documents) วัตถุจัดแสดง (display object) แผนภาพ (chart diagram) หุ่นจำลอง (model diorama) และภาพเคลื่อนไหว (animation) ฯลฯ แต่เนื้อหาการเรียนรู้คุณค่างานสถาปัตยกรรมดังกล่าวยังมีข้อจำกัดของการศึกษาและเข้าถึงเนื่องจากผู้ชมไม่สามารถมีทางเลือกในการศึกษาและเข้าถึงพื้นที่ของงานสถาปัตยกรรมตามที่ตนต้องการเพราะเนื้อหาจะถูกกำหนดให้เป็นไปตามรูปแบบที่ผู้จัดทำกำหนดไว้ ทำให้การเผยแพร่ความรู้ทางสื่อและการพัฒนาอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวไม่สามารถดำเนินไปตามวิถีที่ควรจะเป็นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาสื่อและข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้ในประเด็นต่างๆ ได้แก่ เก็บรวบรวมข้อมูลของสื่อและข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้ต่างๆ การศึกษาพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย การศึกษาการเดินทาง การเข้าถึง และเส้นทางท่องเที่ยว เพื่อเป็นแนวทางในการเสนอการจำลองลักษณะทางกายภาพของพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยเส้นทางท่องเที่ยว โดยเฉพาะงานสถาปัตยกรรมโดยใช้

สื่อการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน เพื่อการศึกษาและเรียนรู้คุณค่าในงานสถาปัตยกรรมอันมีคุณค่าในอดีต ซึ่งสื่อการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน จะทำให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าถึงพื้นที่ๆ เป็นแหล่งท่องเที่ยวและศึกษางานทางสถาปัตยกรรมได้อย่างอิสระ การเลือกชมงานสถาปัตยกรรมที่สำคัญ ๆ ในการเลือกสัญจรไปในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ตนเองต้องการ

2. วัตถุประสงค์ ขอบเขต และแนวคิดจากผลงานวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมทางกายภาพของสถาปัตยกรรม
- 2) ศึกษาและพัฒนาลักษณะการแสดงสื่อและข้อมูลในการเรียนรู้งานสถาปัตยกรรม
- 3) เสนอแนวทางการจัดทำต้นแบบการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนเพื่อการชมงานสถาปัตยกรรม

2.2 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางด้านพื้นที่ทางกายภาพของอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยโดยเลือกศึกษาบริเวณพื้นที่กรณีศึกษาวัดมหาธาตุ ได้แก่ วิหาร เจดีย์ และมณฑป เฉพาะในส่วนที่เหลือร่องรอย และข้อมูลทางสถาปัตยกรรม นำมาสันนิษฐานรูปแบบสถาปัตยกรรม



รูปที่ 1 แสดงผังบริเวณระบุตำแหน่งของแนวแกนต่าง ๆ ที่ทำการสันนิษฐาน

จะกล่าวโดยสรุป เป็นแนวแกนเพื่อความเข้าใจ ดังต่อไปนี้

- 1) แกนที่ 1 แนวแกนวิหารหลวง ประกอบไปด้วย วิหาร เจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ เจดีย์ทรงปราสาทห้ายอด เจดีย์มุมทรงปราสาทยอด และเจดีย์ทรงปราสาท
 - 2) แกนที่ 2 แนวแกนวิหารรองที่ 2 ประกอบไปด้วย วิหาร เจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ เจดีย์ทรงปราสาทห้ายอด เจดีย์ทรงสี่เหลี่ยม
 - 3) แกนที่ 3 แนวแกนวิหารรองที่ 3 ประกอบไปด้วย วิหาร เจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์
 - 4) แกนที่ 4 แนวแกนอุโบสถ ประกอบไปด้วย อุโบสถ
 - 5) แกนที่ 5 แนวแกนวิหารราย ประกอบไปด้วย วิหารราย เจดีย์กลม
 - 6) แกนที่ 6 แนวแกนเจดีย์ราย ประกอบไปด้วย เจดีย์ทรงระฆังกลม
 - 7) แกนที่ 7 แนวแกนวิหารแบบอยุธยา ประกอบไปด้วย วิหารแบบอยุธยา
 - 8) แกนที่ 8 แนวแกนมณฑป ประกอบไปด้วย มณฑปพระอิฐฐารศปางประทานพร พระอิฐฐารศปางเปิดโลก และมณฑปพระพุทธรูปปางมารวิชัย
- จากนั้นทำการศึกษาเครื่องมือการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติเชิงปฏิสัมพันธ์แบบทันที บนพื้นฐานของเกมเอ็นจิน ข้อจำกัดของการศึกษาและการเข้าถึงสื่อในการเสนอแนวทางการพัฒนาสื่อต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าถึงพื้นที่และรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมได้อย่างอิสระ

2.3 รูปแบบของศิลปะ

อิทธิพลที่มีผลต่อรูปแบบสถาปัตยกรรม เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้เป็นแหล่งชุมชนโบราณเก่าแก่ นับพันปี การสั่งสมทางภูมิปัญญา วัฒนธรรมและขนบธรรมเนียมประเพณีต่าง ๆ รวมไปถึงทางด้านสถาปัตยกรรม ซึ่งมีการประยุกต์ และคัดเลือกรูปแบบจากศิลปะยุคสมัยต่าง ๆ มาผสมผสานจนมีลักษณะเฉพาะตัว จนก่อให้เกิดศิลปะแบบสุโขทัยขึ้น ทั้งปัจจัยใหม่ที่เกิดจากสภาพการณ์ของสังคมปัจจุบันและปัจจัยที่เป็นรากเหง้าทางวัฒนธรรมและภูมิปัญญาที่มีการสืบสานต่อเนื่องกันมา ทั้งปัจจัยใหม่และปัจจัยดั้งเดิมที่มีการผสมผสานกันอย่างบูรณาการ จะนำไปสู่การคิดใหม่ทำใหม่ในการสร้างสรรค์เอกลักษณ์ไทย (Horayangkura, 2011) โดยจะแยกตามลำดับ ตามตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงศิลปะในยุคสมัยต่างๆ

| พุทธศตวรรษ | ศิลปะ | อิทธิพลที่ส่งผลต่อสถาปัตยกรรม |
|------------|----------------------------------|--|
| 12 | ศิลปะอินเดียที่แพร่เข้ามา | รูปทรงของเจดีย์ทรงกลมแบบลังกา |
| 12-16 | ทวารวดี | รูปทรงของเจดีย์ เครื่องยอดแบบทวารวดี |
| 16 | ขอม | การเรียงหิน และศิลาแลง |
| 17-18 | ขอม | การผสมผสานความเชื่อทางศาสนาสื่อเป็นสถาปัตยกรรม |
| 19 | พม่า (พุกาม) + ล้านนา + ศรีวิชัย | รูปแบบเจดีย์ทรงปราสาทยอด และยอดดอกบัวตูม |

2.4 แนวความคิดเกี่ยวกับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน

ความจริงเสมือนหรือ Virtual Reality ได้เข้ามามีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงการรับรู้ของคน ช่วยให้สามารถรับรู้สถานที่หรือสภาพแวดล้อมที่เหมือนจริง ทั้งด้านภาพผ่านจอแสดงผล ด้านเสียงผ่านลำโพง ด้านแรงกระทำผ่านอุปกรณ์พิเศษ หรือข้อมูลอื่นๆ ของสถานที่จริงหรือข้อมูลที่ใส่เพิ่มเติมผ่านสภาพแวดล้อมที่จำลองขึ้นหรือสภาพแวดล้อมเสมือน (Virtual Anywhere, 2009; Ili Bronzetti, 2006)

สื่อการเรียนรู้ที่เป็นภาพจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนมีกระบวนการซับซ้อน ใช้เวลาและทรัพยากรทางเทคโนโลยีค่อนข้างสูง จึงเห็นได้ว่าเทคโนโลยีเกมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันเป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากมีคุณลักษณะเฉพาะในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนได้สมจริง ความเร็วในการให้แสงเงากับสภาพแวดล้อมเสมือนมีประสิทธิภาพทันที ซึ่งเป็นจุดเด่นที่มีความได้เปรียบในเรื่องประสิทธิภาพของการแสดงผลและการบริหารจัดการทรัพยากรทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม ประกอบกับคุณสมบัติที่นอกเหนือจากมุมมองสามมิติ อาทิ ระบบเสียง ระบบฟิสิกส์ ฟังก์ชันเอไอ แสงเงาพื้นผิววัสดุ เป็นต้น

2.4.1 การเลือกใช้ซอฟต์แวร์เกมเอ็นจิน

จากศักยภาพและคุณสมบัติของซอฟต์แวร์พัฒนาเกมที่มีกระบวนการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนให้สมจริงและการจัดการกับกระบวนการสร้างสรรค์งานสามมิติที่ซับซ้อนในมุมมองแบบ walk through ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านสถาปัตยกรรม แนวทางการ

เลือกใช้จะพิจารณาจากความเข้ากันได้ของซอฟต์แวร์ เพื่อช่วยในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมแบบสามมิติ ความสามารถในการแสดงผลสามมิติในขณะใช้งาน ซึ่งรองรับกับความละเอียดของจำนวนโพลีกอนของตัวงานสถาปัตยกรรมได้ รวมถึงความยืดหยุ่นในการรองรับการปรับปรุงชุดคำสั่งของซอฟต์แวร์เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละงาน (Lopkerd, 2009, pp. 85-102)

2.4.2 ชุดพัฒนาอันเรียล

ชุดพัฒนาอันเรียล UDK (Unreal Development Kit) เป็นเกมเอ็นจินที่พัฒนาโดยบริษัทค่าย Epic Games สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้แบบที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย ภายใต้ข้อตกลงที่ว่าผลงานที่ออกมาจะไม่ถูกจำหน่ายเพื่อการพาณิชย์ ชุดพัฒนาอันเรียลเป็นเครื่องมือที่แสดงภาพกราฟฟิคคุณภาพระดับสูง การใช้งานชุดพัฒนาแบบทันทีที่สอดคล้องกับแนวคิด “เล่นได้กับสิ่งที่ได้เห็น” (What you see is what you play) (Epic Games, 2009)

3. แนวทางและระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

การสืบค้นประวัติในการบูรณะปฏิสังขรณ์ช่วยส่งเสริมความมั่นใจเรื่องข้อมูลทางด้านประวัติศาสตร์ ซึ่งทำให้การสันนิษฐานมีความน่าเชื่อถือ และหลักการที่ใช้ในการสันนิษฐาน เป็นเรื่องของการเทียบลักษณะยุคของศิลปะ โดยได้แยกประเภทสิ่งก่อสร้าง เช่น วิหาร เจดีย์ มณฑป และลักษณะโครงสร้างที่สามารถระบุถึงความเป็นไปได้ของรูปทรงหลังคา ซึ่งจะกล่าวถึงเนื้อหาในลำดับ

3.1 ประวัติในการบูรณะปฏิสังขรณ์

จากลักษณะของเมืองสุโขทัยดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะการใช้ที่ดินภายในเมืองสุโขทัยได้อย่างคร่าว ๆ เช่น พื้นที่ภายในเมือง ซึ่งล้อมรอบด้วยกำแพงเมือง วัดมหาธาตุ จังหวัดสุโขทัย ก่อนทำการขุดแต่งบูรณะ พื้นที่บริเวณนี้ถูกปกคลุมไปด้วยกอไผ่ และป่าไม้เบญจพรรณ นานาชนิด มีกองดินทับถมอยู่หนาสูงประมาณ 0.80-1.00 เมตร โดยกรมศิลปากรได้ทำการสำรวจและประกาศขึ้นทะเบียนเป็นโบราณสถานแห่งชาติในปี พ.ศ. 2478 และทำการประกาศในราชกิจจานุเบกษาครั้งแรก เมื่อวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2478

3.2 หลักการในการสันนิษฐาน

แนวคิดนี้เป็นการเทียบหาความคล้ายคลึงจากยุคของศิลปะ ที่ปรากฏให้เห็นจากสิ่งก่อสร้างโบราณ ที่มีหลักฐานน่าเชื่อถือเรื่องอายุ โดยดูจากจารึก หรือการบันทึกสมัยโบราณ เช่น แผ่นทองลงอักขระ ศิลจารึก เป็นต้น การเทียบลักษณะของโครงสร้างผ่านการสำรวจทางกายภาพ โดยเปรียบเทียบจากสิ่งก่อสร้างที่มีอายุใกล้เคียง หรือมีความสมบูรณ์พอจะสามารถคาดคะเนได้ เนื้อความในหัวข้อนี้จะเรียงตามลำดับต่อไป

3.2.1 การเทียบลักษณะของศิลปะ

ในส่วนของหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการมองภายนอกของรูปแบบสถาปัตยกรรมเพื่อเทียบเคียงกับลักษณะที่มีความเฉพาะ คล้ายคลึง หรือมีช่วงเวลาในการสร้างเดียวกัน เพื่อกำหนดรูปแบบของเจดีย์ในวัดมหาธาตุ ได้แก่ เจดีย์ทรงยอดปราสาท เจดีย์ทรงระฆังกลม เจดีย์ทรงปรางค์ และเจดีย์ทรงสี่เหลี่ยม

1) เจดีย์ทรงยอดปราสาท

เจดีย์ทรงยอดปราสาท รูปแบบนี้ได้รับอิทธิพลมาจากศิลปะขอมแบบบายน พ.ศ. 1800-1825 ผสมกับศิลปะล้านนา และจีน เมื่อสุโขทัยรับรูปแบบนี้เข้ามาโดยผสมผสานกับศิลปกรรมช่างของตนเอง ทำให้เกิดลักษณะรูปแบบของสุโขทัยที่ประยุกต์เข้าไป จึงสามารถเห็นได้ในเรื่องของขนาด และความสำคัญในผังบริเวณ



รูปที่ 2 แสดงเจดีย์วัดป่าสัก อ.เชียงแสน จ.เชียงราย

ตำนานเมืองเหนือ ระบุว่า วัดป่าสักนี้สร้างในสมัยของพระเจ้าแสนภู ในราว ปี พ.ศ. 1875 เจดีย์ประธานทรงปราสาทห้ายอด ดังรูปที่ 2 คือ แบบอย่างระยะแรกของศิลปะล้านนา นอกจากความงดงามของรูปทรงแล้ว พระพุทธรูปในซุ้มจระนำ และลวดลายปูนปั้นประดับแสดงถึงแรงบันดาลใจ จากศิลปะพุกาม ลังกา จีน และสุโขทัย ตามช่วงของการบูรณะในอดีต ซึ่งคาดว่าจะมีมากกว่า 2-3 ครั้ง



รูปที่ 3 (ซ้าย) เจดีย์รายวัดเจดีย์เจ็ดแถว อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย
รูปที่ 4 (กลาง) เจดีย์ทรงระฆังกลม วัดนางพญา อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย
รูปที่ 5 (ขวา) เจดีย์รายทรงระฆังกลม วัดเจดีย์เจ็ดแถว อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย

เจดีย์รายวัดเจดีย์เจ็ดแถว สร้างขึ้นปลายพุทธศตวรรษที่ 19 ในบริเวณวัดนี้จะมีเจดีย์รูปทรงต่าง ๆ หลายหลาย ซึ่งได้รับอิทธิพลมาทำให้เกิดผสมผสานของศิลปกรรม

2) เจดีย์ทรงระฆังกลม

เจดีย์ทรงระฆังกลม จะมีฐานเขียงรองรับ ซ้อนกันสองหรือสามชั้น ถัดจากนั้นจะมีฐานปัทม์ซ้อนต่อมาอีก ซ้อนกันสองหรือสามชั้น บางองค์อาจจะมีการย่อมุม หรือย่อเก็จ โดยการย่อมุมในลักษณะเช่นนี้แสดงถึงอิทธิพลของอยุธยาที่เข้ามามีบทบาทในช่วงปลายของสุโขทัย บางส่วนของชุดฐานอาจมีการสร้างเพิ่มเติมในภายหลัง ตัวเรือนธาตุเป็นทรงกลม ดังรูปที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ

3) เจดีย์ทรงปรางค์

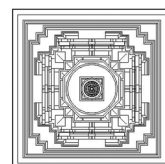
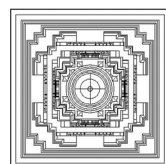
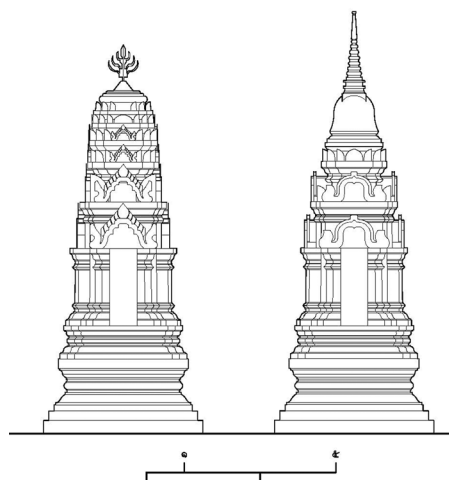
เจดีย์ทรงปรางค์ในวัดมหาธาตุบริเวณกลุ่มเจดีย์ประธาน น่าจะสร้างมาก่อน และเป็นเจดีย์ที่ศประกอบผังตั้งแต่ยุคแรก ประมาณพุทธศตวรรษที่ 18 จนมาถึงการบูรณะปฏิสังขรณ์ในสมัยพระศรีศรिताจุพามณี ประมาณพุทธศตวรรษที่ 19 จึงเปลี่ยนแปลงยอดปรางค์บนสุดให้กลายเป็นเจดีย์กลม ดังรูปที่ 6

4) เจดีย์ทรงสี่เหลี่ยม

เจดีย์ทรงสี่เหลี่ยมในวัดมหาธาตุนี้ได้รับอิทธิพลมาจากรูปแบบ “เจดีย์กู่กุด” ซึ่งเป็นศิลปะแบบหริภุญไชย โดยเจดีย์กู่กุด ตั้งอยู่ภายในวัดจามเทวี จ.ลำพูน และวัดเจดีย์เหลี่ยม อ.เวียงกุมกาม จ.เชียงใหม่ เจดีย์กู่กุดองค์นี้นับเป็นเจดีย์ที่อยู่ในสมัยทวารวดีตอนปลาย (Nindet, 1996, p. 34) ดังรูปที่ 7

3.2.2 ลักษณะของโครงสร้าง

ในอดีตที่ผ่านมาการก่อสร้างอาคารต้องอาศัยปัจจัยด้านวัสดุที่มีในท้องถิ่นทั้งที่เป็นวัสดุที่มีตามธรรมชาติ หรือวัสดุที่สามารถสร้างหรือทำขึ้นใช้ได้เอง ไม่ว่าจะเป็นดินดิบ ไม้ หิน ศิลาแลง ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น (Chumkesorn, 2011)



รูปที่ 6 แสดงรูปด้าน และผังของการสันนิษฐานรูปแบบเจดีย์ทรงปรางค์ ของวัดมหาธาตุ จ.สุโขทัย



รูปที่ 7 เจดีย์ทรงสี่เหลี่ยม วัดเจดีย์เหลี่ยม เวียงกุมกาม จ.เชียงใหม่

ในสมัยสุโขทัยและอยุธยาตอนต้น ร่องรอยของการเข้าบากแบบเดียวเข็น มีปรากฏให้เห็นในโบราณสถาน เป็นต้นว่า ร่องเดียวเข็นที่ปรากฏบนเสาศิลาแลงวัดมหาธาตุ สุโขทัย ในเมืองโบราณสุโขทัย การเข้าบากแบบเดียวเข็นมีการใช้ ในส่วนของโครงสร้างไม้ในบริเวณของการต่อชนตัวไม้โดยไม่ต้องใช้สลักเข้าช่วย

ความต้องการในการต่อตัวไม้เกิดจากความต้องการใช้โครงสร้างไม้เป็นสองลักษณะ ได้แก่ ต้องการใช้ตัวไม้ที่มีความยาวมากกว่าไม้ที่สามารถจัดหาได้ และต้องการซ่อมแซมหรือซ่อมคืนตัวไม้ส่วนที่ชำรุดเสียหาย การเข้าบากเพื่อต่อชนวัสดุให้มีการยึดประกอบเข้าด้วยกัน เป็นเทคนิควิธีที่มีมาแต่โบราณในประเทศไทยของเราเองได้ พบตัวอย่างร่องรอยของการเข้าบากเพื่อยึดวัสดุเข้าด้วยกัน ปรากฏมาตั้งแต่ครั้งสมัยทวารวดี หรือประมาณ 1300 ปีล่วงมาแล้ว หลักฐานที่ปรากฏเป็นการต่อชนของวัสดุที่เป็นหิน คือ โบราณวัตถุธรรมจักร แกะสลักด้วยหิน แสดงอยู่ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ นครปฐม ลักษณะของการเข้าบากเป็นการสลักร่องเดียวเข็น บริเวณของธรรมจักรตอนล่าง ตัวอย่างการเข้าบากแบบเดียวเข็นนี้ น่าจะเป็นรูปแบบหนึ่งของการเข้าบากในวัสดุชนิดอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ไม้ การเข้าบากด้วยวิธีนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นร่องรอยแบบเดียวเข็นที่เก่าที่สุดในประเทศไทย (Chumkesorn, 2011) แต่ทั้งนี้ไม้อาจจะมีจุดเด่น คือ หาได้โดยง่าย แต่ก็มีจุดด้อยคือ เสียหายง่าย ฉะนั้นการที่จะได้พบเห็นงานสถาปัตยกรรมที่ประกอบจากวัสดุไม้ล้วน ๆ ที่มีอายุการใช้งานยาวนาน จึงยากต่อการพบเห็น การศึกษาการเข้าบากไม้ที่มีมาแต่โบราณ ทุกภูมิภาคของประเทศไทย และประเทศใกล้เคียง พบว่า การเข้าบากไม้ในระบบโครงสร้างไม้ มีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น เป็นต้น การเข้าบากไม้ในวัฒนธรรมล้านนาพบในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย การเข้าบากไม้ในวัฒนธรรมล้านช้าง ในนครหลวงพระบาง และนครเวียงจันทน์ และในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย สำหรับการเข้าบากไม้ในกลุ่มล้านนา และกลุ่มล้านช้าง พบว่า มีลักษณะการเข้าบากที่คล้ายคลึงกันมากมีความต่างในการใช้สลักเพียงเล็กน้อย แต่มีเอกลักษณ์ในการเข้าไม้แบบเดียวกับหมู่ ซึ่งมีหลักฐานให้พบเห็นน้อยมาก

1) ตำแหน่งของรูเต้าที่ปรากฏในเสารับหลังคา

การสันนิษฐานลักษณะโครงหลังคาจากร่องรอยของรูเต้า ดังรูปที่ 8 และ 9 ที่ปรากฏจากเสาศิลาแลงโดยตัดเป็นรูปทรงกระบอกมาต่อ ๆ กันจนเป็นเสานั้น ในความเป็นจริงไม่ได้ว่าหลังคาน่าจะเป็นทรงจั่วสูง มีชายคาหรือ

ปีกนก ยื่นยาวจนจรดตำแหน่งของเสาที่มารับ ดังนั้นในส่วนตำแหน่งของเต้าจากลักษณะที่ปรากฏตามตำแหน่งของช่วงเสา ความเป็นระบบ และมีการถ่ายน้ำหนักคล้ายโครงสร้างแบบมั่วต่างใหม่ของล้านนา โครงสร้างหลังคาของวิหารล้านนา นิยมสร้างด้วยเครื่องไม้ใช้ระบบเสาและคานในการรับน้ำหนักโครงสร้างที่ถ่ายทอดน้ำหนักนี้เรียกว่า ระบบชื้อมั่วต่างใหม่ซึ่งปรากฏชื่อนี้ในเอกสารตั้งแต่รัชกาลพญามังรายคราวสร้างวิหารวัดกานโถม เวียงกุมกามการเรียกชื่อชื้อมั่วต่างใหม่ได้ชื้อมาจากลักษณะการบรรจุของบนหลังม้าไปขยายบนเส้นทางพ้อคำมั่วต่างใหม่ในล้านนา เครื่องไม้ที่ใช้ในระบบชื้อมั่วต่างใหม่นี้มีแป้อย แปยี่ เสาสะโก้น กล่อนลาด กั้นผ้า ชื้อหลวง ชื้อยี่ เป็นต้น (Srisuwan, 2012)



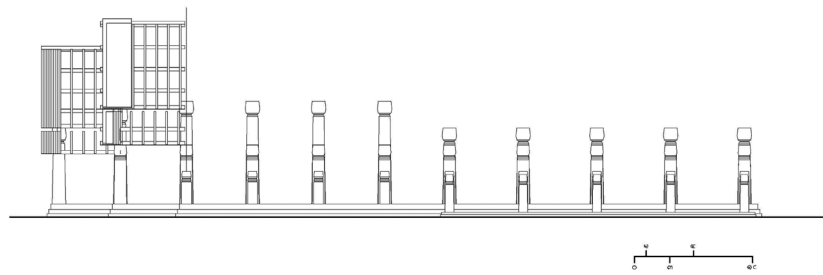
รูปที่ 8 แสดงแนวของเสาในวิหารบอกตำแหน่งรูเต้าเพื่อเสียบไม้โครงสร้างหลังคา



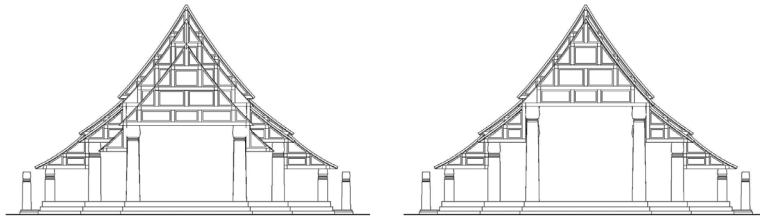
รูปที่ 9 แสดงเสาที่มีรูเต้าสำหรับเสียบไม้เต้า

2) วิเคราะห์โครงสร้างหลังคาจากตำแหน่งรูของเต้าที่ปรากฏในเสา

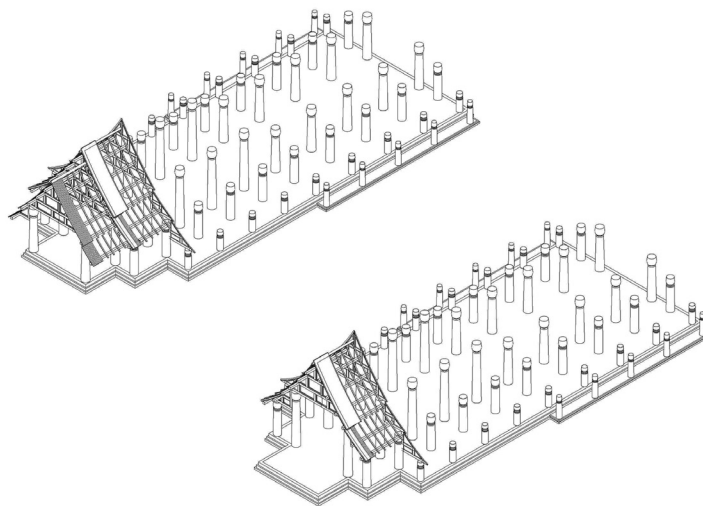
จากรูปจะเห็นได้ชัดว่ามีการถ่ายน้ำหนักจากส่วนบนสุดของหลังคาส่งผ่านมาตามลำดับ จนถ่ายลงเสา และสุดท้ายลงที่ฐานของอาคาร ส่วนการซ้อนชั้นหลังคานั้นเกิดจากการยกเก็จของช่วงเสา และดัดของหลังคานั้นเกิดจากตำแหน่งรูเต้าในข้างของเสา จะเห็นได้ว่าในเสาหนึ่ง ๆ จะมีตำแหน่งรูเต้าเพื่อกำหนดจำนวนของดัดหลังคาอยู่ ดังรูปที่ 10 11 12 และ 13 ตามลำดับ



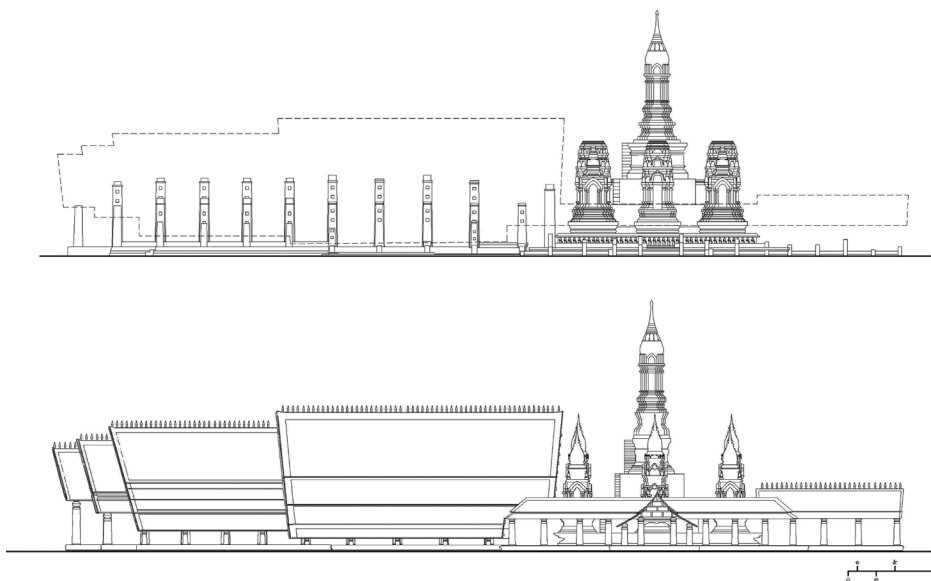
มาตราส่วน 1:250



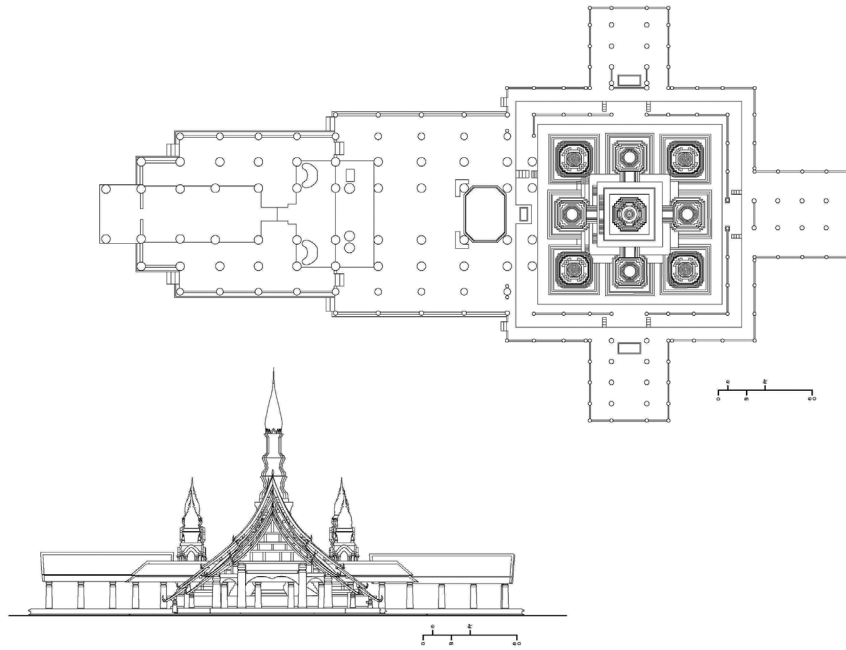
รูปที่ 10 แสดงแบบรูปด้านสันนิษฐานเรื่องโครงสร้างหลังคาเกณฑ์ 1 ของวัดมหาธาตุ จ.สุโขทัย



รูปที่ 11 แสดงแบบไอโซเมตริกสันนิษฐานเรื่องโครงสร้างหลังคาเกณฑ์ 1 ของวัดมหาธาตุ จ.สุโขทัย



รูปที่ 12 แสดงแบบรูปด้านยาวภาพสันนิษฐานเกณฑ์ 1 ของวัดมหาธาตุ จ.สุโขทัย



รูปที่ 13 แสดงแบบรูปด้านสกัดภาพสันนิษฐานเกณฑ์ 1 ของวัดมหาธาตุ จ.สุโขทัย

3.2.3 การสำรวจภาคสนาม

จากการสำรวจได้เก็บข้อมูลจากพื้นที่ของวัดมหาธาตุ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โดยการถ่ายภาพ และเขียนภาพลายเส้นแสดงขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการสันนิษฐาน ส่วนข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งเป็นของมีมูลค่าที่ทางราชการเก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์รามคำแหง ได้ถ่ายภาพ และลำดับข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลทั้งหมดเหล่านี้จะเป็นข้อมูลประกอบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหา

ข้อสรุปถึงรูปแบบสถาปัตยกรรมของวัดมหาธาตุ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย

1) หลักฐานทางโบราณคดี

ในพิพิธภัณฑ์จะมีทั้งข้อมูลจากศิลาจารึก ดังรูปที่ 14 แผ่นโลหะจารึก องค์กรประกอบทางสถาปัตยกรรมที่เป็นเครื่องปั้นดินเผา หรือเครื่องสังคโลก ดังรูปที่ 15 16 และ 17 ตามลำดับ



รูปที่ 14 (ซ้ายบน) แสดงศิลาจารึกพ่อขุนรามคำแหง พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ

รูปที่ 15 (ขวาบน) แสดงลักษณะซุ้มบันแถลงที่ใช้ประดับซุ้มจระนำที่ประดิษฐานพระพุทธรูปในวัดมหาธาตุ



รูปที่ 16 (ซ้ายล่าง) แสดงตัวทางหงส์ที่ประดับที่ปลายของหน้าบันวิหารหรืออุโบสถ ในวัดมหาธาตุ

รูปที่ 17 (ขวาล่าง) แสดงกระเบื้องเคลือบใช้ครอบส่วนแปของเครื่องบนหลังคาเพื่อป้องกันน้ำฝนทำลายเนื้อไม้



รูปที่ 18 แสดงกระเบื้องขอ (ซ้าย) กระเบื้องเคลือบเกล็ดเต่า (กลาง) กระเบื้องเชิงชาย (ขวา)

วัสดุของเครื่องบนหลังคา ในวิหารหรืออุโบสถ สันนิษฐานว่าจะมุงด้วยกระเบื้องเคลือบพวกนี้ ดังรูปที่ 18 และมีระบบของการมุงที่มีการประดับตกแต่งอย่างลงตัว โดยโครงสร้างหลังคาจะเป็นไม้ ซึ่งอายุการใช้งานจะไม่วายนานเท่ากับโครงสร้างเสาหรือฐานอาคาร จึงทำให้ปัจจุบันเราไม่สามารถเห็นกระเบื้องเหล่านี้ในวัดมหาธาตุได้



รูปที่ 19 แสดงกระเบื้องปูพื้น ในอาคารวิหารหรืออุโบสถ



รูปที่ 20 แสดงปั้นลมรูปเทพพนม

ลักษณะกระเบื้องปูพื้น ดังรูปที่ 19 สันนิษฐานว่าจะปูในบริเวณของฐานอาคารที่มีการยกระดับขึ้นเหนือพื้นดินทั่วไป จากลักษณะก่อนที่จะบูรณะโดยกรมศิลปากร คาดว่าในกองดินน่าจะมีกระเบื้องกองกระจัดกระจายอยู่ในบริเวณ และเนื่องจากในอดีตเทคโนโลยี และการบริหารจัดการ

รวมไปถึงการให้ความรู้ที่มีผลต่อข้อมูลเชิงประวัติศาสตร์ นั้นยังไม่สูงนัก เป็นที่น่าเสียดายนักที่ไม่ได้ทำทะเบียนระบุตำแหน่งเมื่อเทียบจากผังบริเวณ

สันนิษฐานว่าหน้าบันของเครื่องบนหลังคาวัดมหาธาตุน่าจะมีการประดับด้วยปั้นลมที่เป็นวัสดุดินเผาเคลือบ ดังรูปที่ 20 ซึ่งเป็นศิลปะสุโขทัย พุทธศตวรรษที่ 19 จากรูปปั้นลมนี้ไม่ได้ค้นพบที่วัดมหาธาตุ แต่ค้นพบที่วัดราชธานี จังหวัดสุโขทัย

2) หลักฐานทางการสำรวจที่บริเวณวัดมหาธาตุสุโขทัย

การสำรวจทางภาคสนาม ได้แก่ การเก็บรวบรวมภาพถ่าย การบันทึกด้วยลายเส้นเชิงสถาปัตยกรรม ที่สามารถระบุตำแหน่ง ขนาดความกว้าง ยาว และสูง ขององค์ประกอบอาคาร และข้อมูลทั่วไปขอกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4. ขั้นตอนการสร้าง และประมวลผลข้อมูลในสภาพแวดล้อมเสมือน

ขั้นตอนกระบวนการสร้างงานสถาปัตยกรรมจากการสันนิษฐานรูปแบบสถาปัตยกรรมในสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติผ่านชุดพัฒนาอันเรียล ดังรูปที่ 21 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

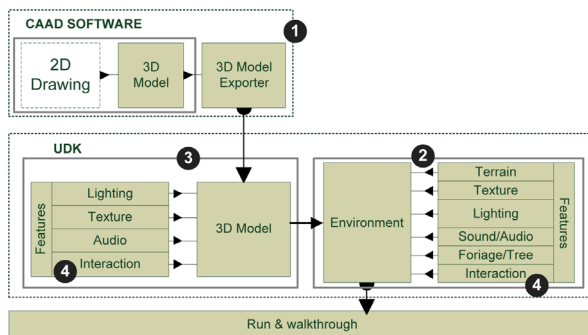
1) การสร้างแบบจำลองสถาปัตยกรรม เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยซอฟต์แวร์ 3ds MAX หรือใช้ซอฟต์แวร์ CAAD ที่ส่งข้อมูลเข้า 3ds MAX ได้ เช่น AutoCAD, Maya, SketchUP, Rhino เป็นต้น โดยควรขึ้นรูปในลักษณะของรูปหลายเหลี่ยมแบบจำกัดจำนวน (Low-Polygon) และการเตรียมโครงสร้าง Material ให้กับแบบจำลองและส่งเข้าชุดพัฒนาอันเรียลนั้นจะแยกเป็นส่วนแบบไฟล์แบบจำลองสามมิติซึ่งใช้คำสั่งการ Export ไฟล์เป็นสกุล .ASE และส่วนของไฟล์ Material ซึ่งใช้เป็นไฟล์ภาพสองมิติ ทั้งนี้ การใส่ Material ให้กับแบบจำลองสามารถสร้างและปรับเปลี่ยนได้จากชุดพัฒนาอันเรียล

2) การสร้างสภาพแวดล้อม การใช้งานชุดพัฒนาอันเรียล สำหรับการสร้างพื้นที่และสภาพแวดล้อมนั้นมียังค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การสร้างพื้นผิวภูมิทัศน์ การใส่ลักษณะพื้นผิว การกำหนดแสงธรรมชาติ การใส่สภาพแวดล้อมทางเสียง การใส่แม่น้ำ ถนน ยานพาหนะ ต้นไม้ เป็นต้น และการสร้างการโต้ตอบกับสภาพแวดล้อมดังกล่าวโดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการแสดงข้อมูลทั้งเสียงและข้อความจากการเลือกชมพื้นที่ของผู้ใช้งาน รวมถึงการใส่คุณสมบัติของการเลือกจากผู้ใช้งานเพื่อเลือกมุมมอง

สถาปัตยกรรมระหว่างรูปแบบปัจจุบัน และแบบสันนิษฐาน

3) การนำเข้าแบบจำลองสถาปัตยกรรมเข้ามาในสภาพแวดล้อม โดยสามารถกำหนดคุณลักษณะของแสงภายใน ลักษณะพื้นผิว เสียงและการโต้ตอบการใช้งาน เช่น การเปิด-ปิด ประตู หน้าต่าง เป็นต้น

4) การเชื่อมต่อกับบุคคล เป็นการกำหนดการโต้ตอบกับผู้ใช้ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโต้ตอบแบบบุคคลกับสภาพแวดล้อม และส่วนโต้ตอบแบบหลายบุคคลในสภาพแวดล้อมร่วมกัน

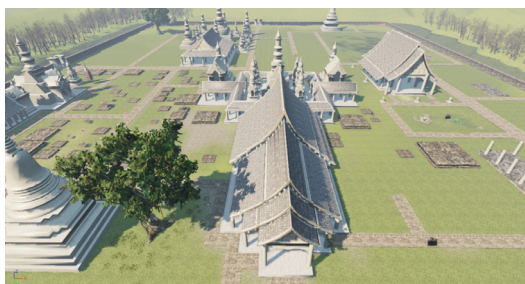


รูปที่ 21 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานผ่านครายเอ็นจิน

4.1 ตัวอย่างผลการจำลองการสันนิษฐานรูปแบบ

สถาปัตยกรรม

ผลการนำข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลการสันนิษฐานมาใช้ในการจำลองทางสถาปัตยกรรมในสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ โดยสร้างการโต้ตอบกับผู้ใช้กับการแสดงเนื้อหาข้อมูลของโบราณสถานที่แทรกอยู่ในพื้นที่สภาพแวดล้อมเสมือน ดังรูปที่ 22 23 24 และ 25 ตามลำดับ



รูปที่ 22 ภาพรวมของการสันนิษฐานรูปแบบสถาปัตยกรรมวัดมหาธาตุในสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ



รูปที่ 23 มุมมองการ walk through เข้าไปในพื้นที่วัดมหาธาตุ บริเวณเจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์



รูปที่ 24 มุมมองการ walk through เข้าไปในพื้นที่วัดมหาธาตุ บริเวณด้านข้างของวิหารหลวง



รูปที่ 25 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลของเจดีย์ทรงระฆังกลม เมื่ออยู่ในพื้นที่ที่เจดีย์ประดิษฐาน

5. การสรุป อภิปรายผล

การสรุป อภิปรายผล กล่าวโดยรวมเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนของการสันนิษฐานรูปแบบทางสถาปัตยกรรม และรายละเอียดเพื่อจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติทางสถาปัตยกรรม

5.1 การสรุปผลการสันนิษฐานรูปแบบทาง

สถาปัตยกรรม

รูปแบบสันนิษฐานทางสถาปัตยกรรมของกลุ่มอาคารวัดมหาธาตุ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ที่ได้จากข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดี เช่น ศิลาลาจิกร แผ่นจารึก พงศาวดาร และตำนานพื้นเมือง รวมไปถึงข้อมูลในการสำรวจภาคสนามที่ผ่านการบูรณะโดยกรมศิลปากรแล้ว

กล่าวโดยสรุปรูปแบบสันนิษฐานทางสถาปัตยกรรมมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ วิหาร เจดีย์ และมณฑป ซึ่งรูปแบบสันนิษฐานทางสถาปัตยกรรมของวิหารส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะวิหารโถง มีการยกเก็จของฐาน หลังคาซ้อนชั้นรูปจั่วทรงสูง มีปีกนกโดยรอบ ลักษณะของเจดีย์ประธานจะมีการประกอบกันด้วยรูปแบบเจดีย์ 3 รูปแบบอยู่ในฐานไพทีเดียวกัน และประธานเป็นเจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ มีเจดีย์ทิศทรงปราสาทยอด และเจดีย์ทรงปรางค์ประกอบ สุดท้ายลักษณะมณฑปประดิษฐานพระอัฐารศ ผังสี่เหลี่ยมเกือบจตุรัส ผังก่อทับทั้ง 4 ด้าน ทางเข้าด้านทิศตะวันออก ฐาน

เป็นฐานเชิงซ้อน 2 ชั้น และมณฑปพระพุทธรูปปางมารวิชัย ผังสี่เหลี่ยมเกือบจตุรัส ผังก่อทับทั้ง 4 ด้าน ทางเข้าทางทิศตะวันออก ฐานเป็นฐานเชิงซ้อน 2 ชั้น มีเจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ด้านหลัง

5.2 การสรุปผลการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติทางสถาปัตยกรรม

การจำลองงานสถาปัตยกรรมในสภาพแวดล้อมเสมือนสามมิติ โดยใช้เครื่องมือเกมเอนจินเข้ามาช่วยในการสร้างสรรค์งานด้วยความสมจริงนั้นประกอบด้วยรายละเอียดของเนื้อหาในสองส่วนคือ ส่วนสภาพแวดล้อมและสถาปัตยกรรมปัจจุบันและส่วนของการสันนิษฐานรูปแบบสถาปัตยกรรม ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองสามมิติและฐานข้อมูลที่เป็นเนื้อหาข้อความที่แสดงในพื้นที่เสมือน ซึ่งการแสดงผลและการใช้งานสามารถสร้างความเข้าใจเนื้อหาของข้อมูลการสันนิษฐานรูปแบบสถาปัตยกรรมในอดีตได้อย่างถูกต้อง การสำรวจมุมมองต่าง ๆ ช่วยให้เห็นความต่อเนื่องขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม และความต่อเนื่องของตัวสถาปัตยกรรมกับสภาพแวดล้อม รวมถึงการเชื่อมโยงเนื้อหา องค์ความรู้ของโบราณสถานที่สามารถโต้ตอบได้ร่วมกับมุมมองของการ walkthrough ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ช่วยให้เห็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น

เพื่อให้การศึกษาและวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ควรพัฒนาการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติให้ครอบคลุมพื้นที่ทางสถาปัตยกรรมที่มีความสำคัญในเชิงประวัติศาสตร์และการท่องเที่ยว สร้างระบบฐานข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงองค์ความรู้ที่สมบูรณ์แบบมากขึ้น และเพิ่มคุณสมบัติการมีส่วนร่วมออนไลน์เพื่อแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ร่วมกันได้ รวมถึงการใช้สแกนเนอร์ 3 มิติในการสำรวจพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลสัดส่วนและขนาดของสถาปัตยกรรมที่มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถพัฒนาเป็นสื่อประชาสัมพันธ์ในเชิงการท่องเที่ยวให้เข้าถึงได้สะดวกมากขึ้นทั้งในรูปแบบออนไลน์และในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์พกพาหรือสมาร์ทโฟน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของผลการศึกษาจากการทำวิจัยเรื่อง “การสันนิษฐานโบราณสถานในสภาพแวดล้อมเสมือน: กรณีศึกษาวัดมหาธาตุ มรดกโลกทางวัฒนธรรม อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย” ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2552

References

- Chumkesorn, B. (2011). *อนุรักษ์สืบสาน สร้างสรรค์และฟื้นฟูเทคโนโลยีการเข้าไม้โบราณของไทย* [Traditional Thai Timber Joint Technology Workshop]. Paper presented at the Proceedings of seminar, March 26 - April 2. Bangkok, Thailand: Faculty of Architecture, Silpakorn University.
- Epic Games. (2009). *Unreal development kit's features*. Retrieved May 15, 2011, from <http://udk.com>
- Horayangkura, V. (2011). การสร้างสรรค์มรดกทางวัฒนธรรม: สู่การสร้างสรรค์เอกลักษณ์สถาปัตยกรรมไทยสมัยใหม่ [The creation of cultural heritage towards the development of a modern Thai architectural identity]. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 8(1), 1-19.
- Ili Bronzetti, V. F. (2006). *About VR*. Retrieved October 15, 2010 from http://www.fabricat.com/PDF_FILES/About%20VR.pdf
- Lopkerd, P. (2009). ระบบจำลองรูปแบบสามมิติเชิงปฏิสัมพันธ์ในสภาพแวดล้อมเสมือนร่วมสำหรับการสื่อสารงานออกแบบสถาปัตยกรรม: แนวทางวิจัยเชิงสำรวจ [Interactive 3D simulation system in collaborative virtual environment for architectural design communication: Exploratory research approach]. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 6(1), 85-102.
- Nindet, S. (1996). *ศิลปะสถาปัตยกรรมล้านนา* [Architectural of Lanna]. Bangkok, Thailand: MuangBoran Press.
- Srisuwan, C. (2012). *วิหารล้านนา* [Lanna temple]. Retrieved February 25, 2012, from http://www.chiangmai-thailand.net/lanna_house/lanna_viharn.html

Bibliography

- Shiratuddin, M. F. & Thabet, W. (2002). Virtual office walkthrough using a 3D game engine. *International Journal of Design Computing*, 4(1), 1329-7147.
- Fukuda, T., Sakata, K., Yeo, W. & Kaga, A. (2006). *Development and evaluation of a close-range view representation method of natural elements in a real time simulation for environmental design-shadow, grass, and water surface*. Proceedings of the 24th International Conference eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), September 6-9, (pp. 58-65). Volos, Greece: University of Thessaly.
- Jiratatsanakul, S. (2001). วัด: พุทธสถานสถาปัตยกรรมไทย [Wat: Buddha architecture of Thai architecture]. Pathumthani, Thailand: Thammasat Press.
- Krairiksh, P. (1994). ประวัติศาสตร์ศิลปะสุโขทัย โครงสร้างที่ต้องเปลี่ยนแปลง [History of art in Sukhothai]. *Siam Araya*, 19, 15-42.
- Leksukhum, S. (1996). ปราสาทแบบขอม เจดีย์ทรงปราสาทยอดแบบล้านนา แรงบันดาลใจของเจดีย์ทรงปราสาทยอดแบบสุโขทัย [Khmer-style Prasat, Lanna-style Prasat Peak of Chedi, Aspirations Sukhothai-style Prasat Peak of Chedi]. *Art & Culture*, 17, 142-144.
- Leksukhum, S. (1998). เจดีย์ราย “ทรงปราสาทยอด” วัดราชบูรณะ จ. พระนครศรีอยุธยา [The subsidiary spire-topped prasat-type chedi, Wat Rachaburana, Ayutthaya]. Bangkok, Thailand: Amarin Printing & Publishing.
- Leksukhum, S. (2001). เจดีย์บริวารประจำทิศทั้งแปดและพระศรีมหาธาตุ วัดพระศรีมหาธาตุ สุโขทัย [Wat Mahathat in Sukhothai historical park]. *Muangboran Journal*, 27, 44-50.
- Leksukhum, S. (2008). โบราณสถานกับรูปแบบสันนิษฐานมรดกโลก สุโขทัย ศรีสุชนาลัย กำแพงเพชร [Ruins and reconstructed world heritage Sukhothai, Si Satchanalai and Kamphaeng Phet]. Bangkok, Thailand: Amarin Printing & Publishing.
- Miliano, V. (1999). *Unreality: Application of a 3D game engine to enhance the design, visualization and presentation of commercial real estate*. Proceedings of VSMM'99 5th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, September 1-3. Dundee, Scotland: University Of Abertay Dundee. Retrieved May 1, 2008, from <http://www.unreality.net/vsmm99/>
- Nindet, S. (1985). สถาปัตยกรรมสุโขทัย [Sukhothai architecture]. *NAJUA: Journal of the Faculty of Architecture, Silpakorn University*, 5, 55-62.
- Rodboon, S. (1978). *พุทธศิลป์สุโขทัย* [Art of Buddha in Sukhothai]. Bangkok, Thailand: Aksorn Samai Printing.
- Senyapili, B. (1997). *Visualization of virtual architecture*. Proceedings of the IEEE Conference on Information Visualisation, August 27-29, (pp. 260-266). Washington, DC, USA.
- Shewasukthaworn, W. (2002). การศึกษารูปแบบสถาปัตยกรรมสุโขทัย กรณีศึกษาวัดมหาธาตุ ตำบลเมืองเก่า จังหวัดสุโขทัย [The Study of Sukhothai Architecture: A case study of Wat Mahathat, Sukhothai Province]. Master of Arts Thesis, Department of Architecture and Related Arts, Graduate School, Silpakorn University, Bangkok, Thailand.
- Sunghitakul, A. (2006). *ไอโคโมสกับบทบาทของเครือข่ายเพื่อการอนุรักษ์และพัฒนา มรดกทางวัฒนธรรมในประเทศไทย* [ICOMOS and cultural heritage conservation network in Thailand]. Proceedings of Scientific Seminar: Cultural Heritage Conservation Network in Thailand and ICOMOS Thailand Annual Meeting 2004. Crown Property Bureau Conference Room, Ladawan Palace, Bangkok, Thailand: Amarin Printing & Publishing.

- Suksawat, S., M.R. (1990). เจดีย์ทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ [Lotus-bud Stupa]. *Art & Culture*, 11(8), 31-35.
- The Finearts Department. (1969). รายงานการสำรวจและขุดแต่งบูรณะโบราณวัตถุสถานเมืองเก่าสุโขทัย พ.ศ. 2508-2512 [Report on the archaeological excavation restoration and reconstruction of Sukhothai: 1965-1969]. Bangkok, Thailand: The Fine arts Department.
- Trenholme, D. & Smith, S. P. (2008). Computer game engines for developing first-person virtual environments. *Journal of Virtual Reality*, 12(3), 181-187.