ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250385

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยเรื่อง

“ประเมินความแข็งแรงและแนวทางการบูรณะโบราณสถานประเภทเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหว”

“SEISMIC EVALUATION OF HISTORIC PAGODA IN CHIANG MAI CITY FOR PROPER PREPAREDNESS AND RENOVATION”

จัดทำโดย

ผศ.ดร.ชยานนท์ หรรษภิญโญ และ
ผศ.ดร.เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๔

b00256437

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
250385

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

“ประเมินความแข็งแรงและแนวทางการบูรณะโบราณสถานประเภทเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหว”

“SEISMIC EVALUATION OF HISTORIC PAGODA IN CHIANG MAI CITY FOR PROPER PREPAREDNESS AND RENOVATION”

จัดทำโดย

ผศ.ดร.ชยานนท์ หรรษภิญโญ และ

ผศ.ดร.เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๔

(ปกใน)

ประเมินความแข็งแรงและแนวทางการบูรณะโบราณสถานประเภทเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหว

SEISMIC EVALUATION OF HISTORIC PAGODA IN CHIANG MAI CITY FOR PROPER PREPAREDNESS AND RENOVATION

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๔ ตามมติคณะรัฐมนตรี

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โดย

ผศ.ดร.ชยานนท์ หรรษภิญโญ[๑]

ผศ.ดร.เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา[๒]

หน่วยวิจัยผลิตภัณฑ์วัสดุและเทคโนโลยีการก่อสร้าง

เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

และ

[๑]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

[๒]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

๓๑ ธันวาคม ๒๕๕๔

คำนำ

โครงการประเมินความแข็งแรงและแนวทางการบูรณะโบราณสถานประเภทเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหว เป็นโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๔ ตามมติคณะรัฐมนตรี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีที่มาของโครงการจากการที่ในระยะช่วง ๑๐ กว่าปีที่ผ่านมา มีการบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ภาคเหนือรวมทั้งเมืองเชียงใหม่ค่อนข้างบ่อยครั้ง และนักวิจัยในประเทศได้พบหลักฐานและมีข้อสรุปตรงกันที่บ่งบอกถึงพื้นที่ในเขตภาคเหนือและเมืองเชียงใหม่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในระดับที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างประเภทต่างๆได้ สำหรับกลุ่มประเภทสิ่งก่อสร้างที่ได้ทำการศึกษานี้เป็นโบราณสถานประเภทเจดีย์ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสิ่งก่อสร้างที่มีความสำคัญทั้งในด้านศาสนา วัฒนธรรมท้องถิ่น และการท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงใหม่ และยิ่งไปกว่านั้น สิ่งก่อสร้างประเภทเจดีย์นี้ เมื่อพิจารณาจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างซึ่งเป็นประเภทอิฐก่อพบว่ามีความสามารถในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้ต่ำ อีกทั้งยังมีการเสื่อมของวัสดุเนื่องจากได้ก่อสร้างไว้เป็นเวลานาน ดังนั้นหากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขึ้นในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ สิ่งก่อสร้างประเภทเจดีย์นี้ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายร้ายแรงหรือพังทลาย

โครงการศึกษานี้ ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินความแข็งแรงในการรับแรงแผ่นดินไหว ได้แก่ การตรวจวัดในภาคสนามเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติด้วยวิธี AMBIENT VIBRATION และการศึกษาโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์แบบ solid และ shell element รวมถึงการปรับปรุงความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวขององค์พระธาตุด้วยการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

ผศ.ดร.ชยานนท์ หรรษภิญโญ[๑]
ผศ.ดร.เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา[๒]
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ
[๑]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
[๒]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

โครงการ “ประเมินความแข็งแรงและแนวทางการบูรณะโบราณสถานประเภทเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหว” เป็นโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๔ ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญของการเตรียมพร้อมรับมือภัยแผ่นดินไหว และได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานในครั้งนี้

งานหลายๆ ส่วนที่ผู้วิจัยมิสามารถทำได้โดยลำพัง หรือ กล่าวได้ว่าหากปราศจากคนกลุ่มนี้ งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณ คุณศุภวัฒน์ วิภาคสงเคราะห์ ที่ได้ช่วยเหลืองานสำรวจโบราณสถานประเภทเจดีย์ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และงานวิเคราะห์และประเมินความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้างประเภทเจดีย์ต่อแรงแผ่นดินไหวโดยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ ส่วนงานจัดการด้านธุรการ ขอขอบคุณ คุณศิริพันธ์ นาคศรี และสุดท้ายที่ขาดมิได้คือ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้ดำเนินงานที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอให้ทุกท่านที่เกี่ยวข้องทั้งโดยตรงและโดยอ้อมมีความสุขตลอดไป

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

250385

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาพฤติกรรมและการเสริมกำลังให้เจดีย์ในเชียงใหม่เพื่อการรับแรงแผ่นดินไหว โดยได้พิจารณาพระธาตุดอยสุเทพเป็นตัวแทนการศึกษา เนื่องจากเป็นลักษณะทั่วไปของเจดีย์ในเชียงใหม่และมีความสำคัญ ในการวิเคราะห์กระทำด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ที่จำลองด้วยชิ้นส่วนก้อนสามมิติ ได้ใช้คลื่นแผ่นดินไหวใน ๓ ลักษณะด้วยกันประกอบด้วย ๑.คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดในตำแหน่งของเจดีย์ (ไม่พิจารณาตำแหน่งของรอยเลื่อน) ๒.คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนที่ใกล้ที่สุด และ ๓.คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนที่มีกำลังมากที่สุด เริ่มต้น ได้ทำการค้นหาคลื่นทั้ง ๓ แบบที่เคยเกิดขึ้นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่ จากนั้นทำการปรับให้เข้ากับขนาดความรุนแรงแผ่นดินไหวกับพื้นที่ที่วิเคราะห์ตาม มยผ.๑๓๐๒

ผลการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวที่ปรับทั้ง ๓ คลื่น พบว่าเจดีย์พระธาตุดอยสุเทพมีการเคลื่อนที่ลักษณะคล้ายกันทั้ง ๓ คลื่น โดยพบว่า บริเวณบริเวณปล้องไฉนจะเกิดแรงดึงในอิฐมากที่สุดเท่ากับ ๐.๓๓ MPa ซึ่งมากกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (๐.๒๗ MPa) ส่วนหน่วยแรงอัดไม่พบความเสียหายโดยหน่วยแรงอัดที่มากที่สุดเท่ากับ ๐.๔๔ MPa ที่บริเวณผิวนอกของฐานเขียง ซึ่งน้อยกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (๒.๖๘ MPa) ด้วยเหตุนี้จึงทำการวิเคราะห์โดยเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนผสมเส้นใยแก้ว อัตราส่วน ๒๕:๗๕ บริเวณปล้องไฉนทั้งหมด จำลองด้วยชิ้นส่วนแผ่นบาง โดยผลการวิเคราะห์หลังจากการเสริมกำลัง พบว่าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในอิฐเดิมจะมีค่าลดลงประมาณ ๓๓% จาก ๐.๓๓ MPa มาเป็น ๐.๒๐ MPa ซึ่งน้อยกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในอิฐมีจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยจาก ๐.๔๔ MPa เป็น ๐.๔๖ MPa ซึ่งยังคงต่ำกว่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของอิฐ และหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นเส้นใยคาร์บอนผสมใยแก้วอยู่ที่ ๐.๐๘% ของกำลังดึงประลัย จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนผสมใยแก้ว จะช่วยให้เจดีย์อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น อย่างไรก็ตาม หากเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในอิฐที่มากเกินกว่ากำลังดึงของอิฐที่ยอมให้เนื่องจากแผ่นไฟเบอร์จะรับแรงเพิ่มมากขึ้นในระดับของการเสียรูปที่เท่ากัน

Abstract

250385

This research is mainly aimed to study the seismic performance and strengthening method of pagoda in Chiangmai. The pagoda of Wat Phra That Doi Suthep was selected as a representative for the case study. This is due to the geometrical shape representing most of pagodas in Chiangmai and also his reputation. The study adopted the finite element analysis with D solid element to simulate the seismic performance. Three different ground motion characteristics were used in the analysis, i.e. 1. Earthquake at the pagoda (regardless of fault location), 2. nearest source earthquake and 3. the most incredible earthquake. First, database for the past earthquake records were searched considering similar geological conditions. Then, the obtained earthquake ground motions were matched to the earthquake magnitude considering the earthquake response spectrum in the area according to the Department of Public Works and Town & Country Planning-DPT, -Design Standard for Earthquake Resistant Buildings, Bangkok, Thailand.

The analyses under the three matched ground motions have shown similar motion in which the top of the pagoda was damaged by over-tensioning. The maximum tensile stress is 0.33 MPa while the allowable stress is 0.27 MPa. In the other hand, the maximum compressive stress is 0.44 MPa at the outer surface of the base which is lower than the allowable compressive stress of 2.68 MPa. Hence, analysis of retrofitted top part pagoda by using composite carbon-glass fiber reinforced polymer (FRP) were made. The result found that the maximum tension at the brick was reduced by about 33% from 0.33 MPa to 0.20 MPa, which is less than the allowable tensile stress. The retrofitting method gives slightly higher compressive stress increasing from 0.44 MPa to 0.46 MPa, but it is still less than the allowable compressive stress. The tension in the composite carbon-glass fiber is only 0.08% of the ultimate tensile strength. In conclusion, using carbon-glass fiber reinforced polymer (FRP) can be an effective method for strengthening pagoda for seismic resistance. However, using carbon fiber having higher

250385

modulus of elasticity can lead to higher brick tensile stress. This is due to the higher modulus induces higher force with equally displaced body.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
คำนำ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
บทที่ ๑ บทนำ	
๑.๑ ทั่วไป	๑
๑.๒ ที่มาและความสำคัญของโครงการ	๒
๑.๓ วัตถุประสงค์การศึกษา	๔
๑.๔ ขอบเขตการศึกษา	๔
บทที่ ๒ การทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	๖
๒.๑ สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๖
๒.๒ ประเทศไทยกับการเกิดแผ่นดินไหว	๑๙
๒.๓ ไฟไนต์อิลิเมนต์	๒๘
๒.๔ ความรู้พื้นฐานทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง	๓๖
๒.๕ การเสริมกำลังด้วยวัสดุคอมโพสิต	๔๐
๒.๖ เจดีย์พระธาตุดอยสุเทพ	๔๓
บทที่ ๓ วิธีการวิจัย	**๕๑**
๓.๑ การศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์	๕๒
๓.๒ การวิเคราะห์การรับแรงแผ่นดินไหว	๕๙
บทที่ ๔ การสำรวจข้อมูลเจดีย์ในจังหวัดเชียงใหม่	**๗๖**
๔.๑ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเจดีย์	๗๖
๔.๒ รูปทรงของเจดีย์	๗๘
๔.๓ องค์ประกอบของเจดีย์	๘๓

๔.๔ การสำรวจเพื่อจำแนกกลุ่ม ๘๑

บทที่ ๕ ผลการวิเคราะห์ **๙๕**

๕.๑ ภาวะการรับน้ำหนักตัวเองของเจดีย์ ๙๕

๕.๒ คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ ๙๗

๕.๓ การวิเคราะห์การรับแรงแผ่นดินไหว ๑๐๑

๕.๔ การรับแรงแผ่นดินไหวของเจดีย์ที่เสริมกำลังโดยแผ่นเส้นใยคาร์บอนผสมเส้นใยแก้ว(๒๕:๗๕) ๑๑๓

๕.๕ การเสริมด้วยเส้นใยคาร์บอน ๑๒๔

บทที่ ๖ สรุปผลการวิจัยและการเผยแพร่งานศึกษา **๑๒๕**

๖.๑ การรับน้ำหนักตัวเองของเจดีย์ ๑๒๕

๖.๒ ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของเจดีย์ ๑๒๕

๖.๓ การรับแรงแผ่นดินไหวของเจดีย์ ๑๒๕

๖.๔ การรับแรงแผ่นดินไหวของเจดีย์ที่ทำการเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนผสมเส้นใยแก้ว (๒๕:๗๕) ๑๒๘

๖.๕ บทสรุปการเสริมกำลัง ๑๒๙

๖.๕ การเผยแพร่ผลการศึกษา ๑๒๙

บรรณานุกรม **๑๓๒**

ภาคผนวก