บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG5830008

ชื่อโครงการ: โครงการ “ศึกษากำลังต้านแผ่นดินไหวของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปและการเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้านแผ่นดินไหวด้วยเส้นใยธรรมชาติ”

ชื่อนักวิจัย: อมร พิมานมาศ[1] ปั้นเจตน์ ธรรมรักษ์[2] และ เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย[3]

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์[1] สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย[2]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี[3]

ระยะเวลาโครงการ: สิงหาคม 2558 ถึง กุมภาพันธ์ 2561

โครงการ ศึกษากำลังต้านแผ่นดินไหวของโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปและการเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้านแผ่นดินไหวด้วยเส้นใยธรรมชาตินี้ประกอบด้วยโครงการย่อย 3 โครงการ โดยสองโครงการแรกเกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบ พฤติกรรมของโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยโครงการย่อยที่ 1 คือ การศึกษาพฤติกรรมจุดต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสำเร็จรูปประเภทเสา-คานภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหว โครงการย่อยที่ 2 คือ การศึกษาระบบผนังรับแรงสำเสร็จรูปต้านทางแรงแผ่นดินไหว สำหรับโครงการย่อยที่ 3 นั้นเป็นการศึกษาการเสริมกำลังโครงสร้างต้านแผ่นดินไหวด้วยวัสดุเสริมใยธรรมชาติ

โครงการย่อยที่ 1

การศึกษาพฤติกรรมจุดต่อของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปแบบ คาน-เสา ภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหว ครอบคลุมการสำรวจปริมาณการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป ในการก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก อาทิเช่น บ้านพักอาศัย และอาคารพาณิชย์ ทั้งนี้ ได้มีการแบ่งสัดส่วนการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นสองประเภท คือแบบผนังรับแรงซึ่งมีการใช้งานเยอะในอุตสาหกรรมการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น หมู่บ้าน และแบบโครงสร้างเสา คาน สำเร็จรูปซึ่งนิยมในโครงการก่อสร้างขนาดเล็กหรือปานกลาง เช่น บ้านแถว และอาคารพาณิชย์ ทั้งนี้ การสำรวจได้ทำในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่ปริมณฑล ซึ่งผลการสำรวจได้แสดงให้เห็นว่ามีการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสำเร็จรูปเป็นปริมาณมาก อันเนื่องจากข้อดีในการควบคุมต้นทุนการก่อสร้าง งานในส่วนที่สองภายใต้โครงการย่อยนี้ คือการทดสอบส่วนของโครงสร้างซึ่งประกอบกันด้วยการเชื่อมต่อเสาและคานด้วยวิธีการที่ได้พบมาระหว่างการสำรวจ กล่าวคือ ใช้การเชื่อมเหล็กเสริมด้วยไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านแรงดึงในเหล็กเสริมระหว่างชิ้นส่วนแล้วจึงเทกรอกเติมจุดต่อด้วยคอนกรีตซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ ยังไม่มีการควบคุมคุณภาพที่ดี ทำให้คุณภาพของจุดต่อเสาคานมีความหลากหลาย ซึ่งนำไปสู่การออกแบบชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับการทดลอง ที่จะครอบคลุมความเป็นไปได้ในการสร้างจุดต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ทั้งในทางที่ดีที่สุด และแย่ที่สุด โดยมีการสร้างชิ้นส่วนจำลอง

โครงสร้างคอนกรีตแบบหล่อในที่เพื่อเป็นชิ้นส่วนควบคุม นอกจากนี้ยังมีการทดสอบชิ้นส่วนจำลองโครงสร้างที่ได้พัฒนาให้จุดต่อมีความเหนียวมากขึ้นด้วยการผสมเส้นใยเหล็กลงในปูนทรายที่ใช้เติมจุดต่อซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงสร้างมีความเหนียวเพิ่มขึ้นอยากชัดเจน การศึกษาในส่วนสุดท้ายเป็นการนำข้อมูลการทดสอบโครงสร้างมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีประวัติเวลาแบบไม่เป็นเส้นตรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร และทางตอนเหนือของประเทศไทย ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างขนาดเล็กที่สร้างด้วยระบบคอนกรีตสำเร็จรูปได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อยภายใต้แรงกระทำจากแผ่นไหวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่จะได้รับความเสียหายสูงสุดในระดับที่เกิดการถล่มของชั้นอ่อนภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวในเขตภาคเหนือของประเทศไทย

โครงการย่อยที่ 2

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ระบบการยึดต่อผนังสำเร็จรูปโดยเน้นไปที่รอยต่อระหว่างผนังสำเร็จรูปและฐานราก ซึ่งเป็นรอยต่อที่วิกฤติที่สุดในระบบโครงสร้างอาคารประเภทนี้ โดยการศึกษานี้เริ่มต้นจากการศึกษาอาคารผนังสำเร็จรูปที่ก่อสร้างอยู่ในประเทศไทยจากการสำรวจโดยคณะผู้ดำเนินการวิจัยพบว่าการยึดระหว่างชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทยนั้นสรุปได้ 3 วิธี ได้แก่ 1) การยึดโดยการเชื่อมระหว่างเหล็กข้ออ้อยที่ยื่นออกมาระหว่างผนังและฐานราก 2) การฝังเหล็กรูปพรรณไว้ที่ผนังและฐานราก จากนั้นยึดโดยการเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยเหล็กฉาก และ 3) การใช้ท่อ Corrugated duct ที่ใช้กันมากในงานลวดอัดแรงฝังไว้ที่ผนัง จากนั้นเสียบเหล็กที่ยื่นออกมาจากฐานรากเข้าไป แล้วเทกรอกเข้าไปด้วยปูนทรายชนิดไม่หดตัว จากนั้นดำเนินการออกแบบการทดสอบเพื่อศึกษา จากนั้นก่อสร้างตัวอย่างผนังทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบด้วยแรงกระทำสลับทิศ (Quasi-static cyclic loading test) และสุดท้าย ทางคณะผู้วิจัย ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม CSI PERFROM-3D ซึ่งเป็นโปรแกรม Finite Element

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ประกอบไปด้วย จุดต่อแบบการเชื่อมเหล็กเดือย (WR00 WR25 WR50 และ WR25-2) จุดต่อแบบใช้การเชื่อมเหล็กฉาก (WA00 และ WA25) และจุดต่อแบบใช้การเหล็กเดือยสอดในท่อ Grouted corrugate duct (GR25) ตัวอย่างส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบผนังเดี่ยว ยกเว้นตัวอย่างทดสอบ WR25-2 ที่เป็นผนังคู่ควบ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของรอยต่อเมื่อเป็นระบบผนังที่เปลี่ยนรูปแบบเป็นควบคุมโดยแรงดัด นอกจากประเภทของรอบต่อแล้ว การศึกษานี้ยังได้ดูผลของแรงตามแนวแกนอีกด้วย ผลการทดสอบพบว่าผนังสำเร็จรูปที่มีรายละเอียดในการศึกษานี้ มีรอยต่อที่อ่อนแอกว่าตัวผนังเองเนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมที่พาดผ่านรอยต่อน้อย ทำให้พฤติกรรมและการเสียรูปถูกควบคุมโดยรูปแบบการโยกตัว (Rocking) เป็นหลัก และมีโอกาสเกิดการเลื่อนไถลเมื่อมีช่องว่างเกิดขึ้นมากที่บริเวณรอยต่อ เมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวดิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงเฉือนประลัยและสติฟเนสของตัวอย่างทดสอบมีเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวมีค่าลดลงตามน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มมากขึ้น

รอยต่อโดยใช้เหล็กฉากมีพฤติกรรมแบบเปราะ (Brittle failure) มีความเหนียวน้อยมากมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากความไม่สมมาตรของการต่อด้วยเหล็กฉาก ทำให้เกิดการเสียรูปนอกระนาบของเหล็กฉากที่จุดต่ออันเนื่องมาจากแรงเยื้องศูนย์ ในขณะที่รอยต่อชนิดเหล็กเส้นหรือเหล็กเดือยมีความเหนียวมากกว่า โดยตัวอย่างผนังทดสอบเหล็กเสริมแบบเชื่อม มีค่าความเหนียวเท่ากับ 3.92 ส่วนตัวอย่างผนังทดสอบที่ใช้ท่อ corrugate duct มีค่าความเหนียวเท่ากับ 6.19 ซึ่งมากกว่าตัวอย่างผนังที่ใช้การเชื่อมถึง 58% เมื่อผนังมีความสูงมากขึ้นทำให้การเสียรูปในกำแพงเนื่องจากแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น (กระจายขึ้นไปในผนัง) ทำให้การเสียรูปเนื่องจาก Rocking ที่ฐานมีค่าลดลง

เมื่อนำมาตรฐาน ACI ITG-5.1M-07 ซึ่งเป็นเกณฑ์การยอมรับผลการทดสอบสำหรับโครงสร้างผนังสำเร็จรูปสำหรับกำแพงที่มีความเหนียวเป็นพิเศษ (Special structural walls) มีค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนองเท่ากับ 6 มาใช้พิจารณาความสามารถของโครงสร้างผนังสำเร็จรูปในการรับแรงแผ่นดินไหว พบว่าจุดต่อที่ใช้เหล็กเสียบเข้าไปในท่อ Corrugate duct เป็นจุดต่อประเภทเดียวที่ผ่านเกณฑ์นี้

แบบจำลองระบบโครงสร้างกำแพงสำเร็จรูปสามารถทำนายพฤติกรรมการรับแรงทางข้างของโครงสร้างกำแพงสำเร็จรูปซึ่งมีลักษณะการเสียรูปในรูปแบบ rocking ได้เป็นอย่างดี ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ทางข้างที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบจริง สามารถนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปพัฒนาขยายผลต่อไป เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมต้านทางแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่ใช้ระบบโครงสร้างกำแพงสำเร็จรูปทั้งระบบได้ต่อไปในอนาคต

รูปแบบรอยต่อที่ดีสำหรับการออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหว ได้แก่ การต่อโดยใช้ระบบเหล็กเสียบเข้าไปในท่อ Corrugate duct จากการศึกษาพบว่ารอยต่อประเภทนี้สามารถพัฒนากำลัง ความแกร่ง และความเหนียวได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพฤติกรรมที่เป็นลักษณะการโยกตัว (Rocking) เป็นหลัก แม้ว่ารอยต่อผนังลักษณะนี้จะผ่านเกณฑ์เทียบเท่ากับกำแพงที่มีความเหนียวเป็นพิเศษ ในการออกแบบผนังรับแรงประเภทนี้ก็ควรจะใช้ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนองให้ต่ำ ๆ เท่ากับระบบผนังรับแรงประเภทธรรมดา เพื่อให้มีรอยต่อต้องการกำลังมากขึ้น จากนั้นผู้ออกแบบควรทำการตรวจสอบที่รอยต่อ และไม่อนุญาตให้มีช่องว่างเกิดขึ้นที่รอยต่อนี้

โครงการย่อยที่ 3

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติ เช่น ป่านศรนารายณ์ กัญชง และเส้นใยปอ มาใช้เป็นวัสดุทางเลือกแทนที่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ในการเสริมกำลังอาคารต้านทานแผ่นดินไหว กลุ่มอาคารเป้าหมายคืออาคารขนาดเล็กที่มีความสูง 1 ถึง 2 ชั้น ซึ่งตัวอย่างทดสอบนั้นเป็นตัวแทนของอาคารเป้าหมายที่ได้มาจากผลการสำรวจอาคาร การศึกษานั้นได้เริ่มจากการนำเส้นใยธรรมชาติมาเสริมกำลังเสา คานคอนกรีตขนาดเล็ก จากนั้นได้ขยายไปทำการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกับของจริง ผลของการเสริมกำลังในเสาขนาดเล็กนี้พบว่า เส้นใยธรรมชาติทั้งป่านศรนารายณ์และกัญชง มีศักยภาพในการเพิ่มแรงโอบรัดและเพิ่มกำลังรับแรงตามแนวแกนและความเครียดอัดประลัยของหน้าตัด โดยประสิทธิภาพในการเสริมกำลังขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นและรูปร่างหน้าตัด โดยการเสริมกำลังจะมี

ประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นที่ใช้ในการเสริมกำลัง และประสิทธิภาพในการเสริมกำลังจะดีที่สุดสำหรับหน้าตัดเสากลม ตามมาด้วยหน้าตัดเสาสี่เหลี่ยมจตุรัส และหน้าตัดเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามลำดับ ในส่วนคานคอนกรีตล้วนที่ไม่ได้เสริมกำลังและคานคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยธรรมชาติ พบว่ากำลังรับแรงเพิ่มขึ้นอย่างมาก อีกทั้งความเหนียวของคานก็เพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยธรรมชาติในการเสริมกำลังคานที่มีเหล็กเสริมต่ำ

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยธรรมชาติในคานที่มีขนาดใกล้เคียงกับของจริง พบว่าขึ้นอยู่กับความหนาหรือจำนวนชั้นของแผ่นที่นำมาเสริมกำลังเป็นอย่างมาก ทั้งต่อคานที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมต่ำและสูง ซึ่งสรุปได้ว่า หากมีการป้องกันมิให้แผ่นเส้นใยธรรมชาติหลุดออกจากคานแล้ว การเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของคานจะแปรผันตามค่าความหนาของแผ่นเส้นใยที่นำมาเสริมกำลัง

เมื่อทำการศึกษาการเสริมกำลังในเสา การศึกษาส่วนนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เสาที่มีพฤติกรรมควบคุมโดยแรงดัดเป็นหลัก และ แรงเฉือนเป็นหลัก ในแต่ละกลุ่มนั้นจะประกอบไปด้วยเสาต้นควบคุม และเสาที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยธรรมชาติ มีการพันที่โคนเสาเป็นจำนวน 2 รอบ และ 4 รอบ และนำมาเปรียบเทียบกับการเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 2 รอบ โดยเสาตัวอย่างที่ทำการเสริมกำลังทุกต้นนั้นจะพันด้วยความสูง 2 พบว่าการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอในการพันเสาสามารถป้องกันการเสื่อมกำลังของคอนกรีต การโก่งเดาะของเหล็กเสริมที่บริเวณโคนเสา และเพิ่มสามารถรับแรงเฉือนได้ มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับการเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ กล่าวโดยสรุปได้ว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ในการเสริมสมรรถนะของเสาต้นแบบได้ เมื่อพิจารณาด้านราคาของวัสดุเทียบกับการใช้ CFRP การใช้วัสดุเส้นใยธรรมชาติสามารถลดค่าวัสดุลงได้ถึง 35% และ 15% สำหรับแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ป่านศรนารายณ์และใยปอ ตามลำดับ

คำหลัก: โครงสร้างเสา-คานสำเร็จรูป, ผนังรับแรงสำเร็จรูป, การทดสอบด้วยแรงกระทำสลับทิศ, การเสริมกำลังต้านทานแผ่นดินไหว, เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์, เส้นใยธรรมชาติ

ABSTRACT

Project Code: RDG5830008

Project Title: Study of Seismic Resistance of Precast Concrete Structures and Seismic Retrofit of RC Structures by Natural Fibers

Investigators: Amorn Pimanmas[1], Punchet Thammarak[2], and Ekkachai Yooprasertchai[3]

Kasetsart University[1], Asian Institute of Technology[2], and Rajamangala University of Technology Thanyaburi [3]

Project Duration: August 2558 to February 2018

The project entitled "Study of Seismic Resistance of Precast Concrete Structures and Seismic Retrofit of RC Structures by Natural Fibers" is divided into three sub-projects: 1) Experimental study of beam-column sub-assemblage of Typical precast concrete structures in Thailand under seismic load, 2) Study of seismic resistance of precast load bearing wall system, and 3) Study of seismic retrofitting of RC structures by natural fiber composites.

First sub-project

This sub-project research study in the behavior of precast reinforced concrete beam-column joint under the effects from earthquake force covers the studies in three major aspects. First, the survey of the precast system usage, in the ongoing construction of reinforced concrete structures, was carried out over Bangkok and its uptown areas, and two major precast systems, namely precast bearing wall and precast beam-column systems are used. In general, the precast bearing wall system is exploited in large-scale construction projects such as housing estates whereas the precast beam-column is deployed mostly in small to medium size construction such as town home and shop house. The survey result indicates that precast systems are used widely nowadays due to their competitive construction costs. The second part of this research focuses on the experiments on beam-column sub-assemblages under lateral cyclic loads which simulate structural responses under the earthquake force. Due to the poor-quality control of precast element joinery, found during the survey, the test specimens were designed to cover from the worst to the best case scenario of beam-column

joinery. In brief, the connection is made by welding steel reinforcements to transfer tensile force from one member to another by the technique, Shielded Metal Arc Welding (SMAW). The concrete will be filled into the joint area after the welding process. The control specimens which represent the cast-in-place reinforced concrete structures were tested for performance comparison with precast specimens. The improvements on ductility of beam-column joint in precast concrete structures against lateral loadings by adding steel fiber into the mortar for joint filling were also experimented. A significant ductility improvement was observed in fiber-reinforced joints. The last part of this research is on the nonlinear time history analysis of a precast beam-column concrete shop house structure under earthquake ground motions in Bangkok area and in the North of Thailand. The analysis results show that precast concrete structure experienced small to mild damage under earthquake ground motion in Bangkok area. However, subjected to ground motions in the Northern part of Thailand, a precast concrete structure will suffer from severe damage to the collapse level by joint damages and a soft-story mechanism.

Second sub-project

The main objectives of this sub-project are to determine the seismic behavior of precast concrete bearing wall buildings constructed in Thailand with emphasis on wall-foundation connections which are most critical joints in the buildings. Most of them were not designed for seismic loadings. According to a survey of these buildings conducted by us, there are three main connection types: 1) welded reinforcing bars, 2) welded steel angles, and 3) reinforcing bars embedded into grouted ducts. The research works are divided into two parts: 1) a series of quasi-static cyclic loading tests on scaled down physical models, and 2) a numerical study for these models using PERFROM-3D finite element analysis software.

Seven wall specimens were tested including 1) three welded rebar connection specimens (WR00 WR25 WR50 and WR25-2), 2) two welded angle connection specimens, and 3) one grouted corrugate duct connection specimen (GR25). These specimens cover the effects of 1) connection types, 2) axial load ratio, and 3) shear span ratio. The test results show that the deformation shape of the wall is mostly governed by rocking behavior: uplift on one side but remain in contact on the other side at their wall–foundation connections. When the wall specimens are subjected to high rocking deformation, it possibly causes a shear slip deformation occurring at the base. When the walls subjected to higher axial load ratio, shear resistance and stiffness increase but a ductility decreases.

Due to unsymmetrical configuration of the connection which could create an eccentric load, the specimen using welded steel angle failed in a brittle manner (a ductility of 1). It was observed that the specimen deformed in out-of-plane at high lateral drift and lose stability. The specimen using welded rebar could laterally deform up to a ductility of 3.92. The specimen with grouted corrugate duct demonstrates a better performance with a ductility of 6.16. When the height of the wall specimen increases, it was observed that a flexural deformation in the panel increases and rocking deformation at the base reduces.

ACI ITG-5.1M-07 providing acceptance criteria for special precast structural walls (seismic response modification factor of 6) was adopted to investigate seismic performance of the specimens. It was found that only the wall specimen using grouted corrugate ducts could meet the criteria.

The numerical model was developed using PERFORM3D to predict seismic performance and was validated with the test results. Base on the analysis, it was found that the model could predict the importance characteristics of the wall, for example, rocking deformation, force-deformation relations, etc. The developed model could be extended to the whole building to evaluate seismic performance of the precast concrete wall building in the future study.

In summary, it is recommended that the grouted corrugate duct shall be used as the wall-foundation and/or panel-panel connections in the seismic hazard areas because this connection demonstrates a good behavior in terms of strength, stiffness, and ductility. However, because the wall connection is weaker than its panel, rocking deformation develops at the wall base. It might develop an undesirable behavior. The wall should be designed as ordinary structural wall using the low seismic response modification factor to obtain a large seismic demand at the connection as well as the panel. The rocking deformation should be limited or controlled.

Third sub-project

The main objectives of this sub-project are to use natural fibers such as sisal, hemp, and jute available in Thailand as an alternative in seismic retrofit of low-rise, residential building. A survey of the target building was first conducted. The experimental program was based on the target building. A series of compressive and bending tests of concrete specimen reinforced with the natural fibers was carried out. Based on the compressive test results, it was found that the strength and ductility could significantly increase by a confinement. In

addition, the natural fiber could provide tensile force at the bottom of the bending specimen. For the column specimen subjected to axial loads, the performance of the fibers depends on the number of layers and section. The confinement effect of the circular section is better than that of the square and rectangular section. The natural fiber also increases the strength and ductility in the plain concrete beams. It could roughly state that the natural fiber can be used for strengthening RC structures.

The performance of reinforced concrete beams strengthened by the natural fibers is also carried out by four-point bending test. The beams represent the members in the prototype building. It was found that the behavior of the strengthened beams for both low and high reinforcement ratios depends on the number of layers and bonding between the fibers and the concrete surface.

Finally, the seismic performance of RC columns retrofitted with the natural fibers was investigated using a quasi-static reversed cyclic loading test. Twelve column specimens were tested and were divided into two groups. Six specimens were governed by flexural behavior (long column); while the remaining specimens were controlled by shear deformation (short column). Each group consists of control section, two- and four-round wrapped sisal fibers, two- and four-round wrapped jute fibers, and two-round carbon fiber reinforced polymer (CFRP) sheet. It was found that the natural fibers for both sisal and jute fibers were very effective in seismic retrofit of the tested columns and were comparable to CFRP. The confinement effect provided by the natural fiber could prevent or delay buckling of longitudinal rebars. In addition, the shear strength of the retrofitted columns is increased. The failure mode changed to slip of the reinforcement. To sum up, the natural fiber can be replaced using of CFRP sheets for retrofitting columns in low-rise residential reinforced concrete building. A cost study shows that a cost of material using sisal and jute fibers (including epoxy resin) for seismic retrofitting is cheaper than using CFRP sheets.

Keyword: Precast concrete beam-column systems, Load-bearing walls, Quasi-static cyclic loading test, Seismic retrofit, Carbon fiber reinforced polymers, Natural fibers