



รายงานสำรวจแผ่นดินไหวเนปาล

นำเสนอต่อ

สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ธันวาคม 2558

ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย, ดร. ปิ่นเจตน์ ธรรมรักษ์ (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย), รศ. ดร. นคร ภู่วโรดม (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์), ดร. ชีรพันธ์ อรรถธรรมรัตน์ (มหาวิทยาลัยมหิดล) ผศ. ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) รศ. ดร. สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

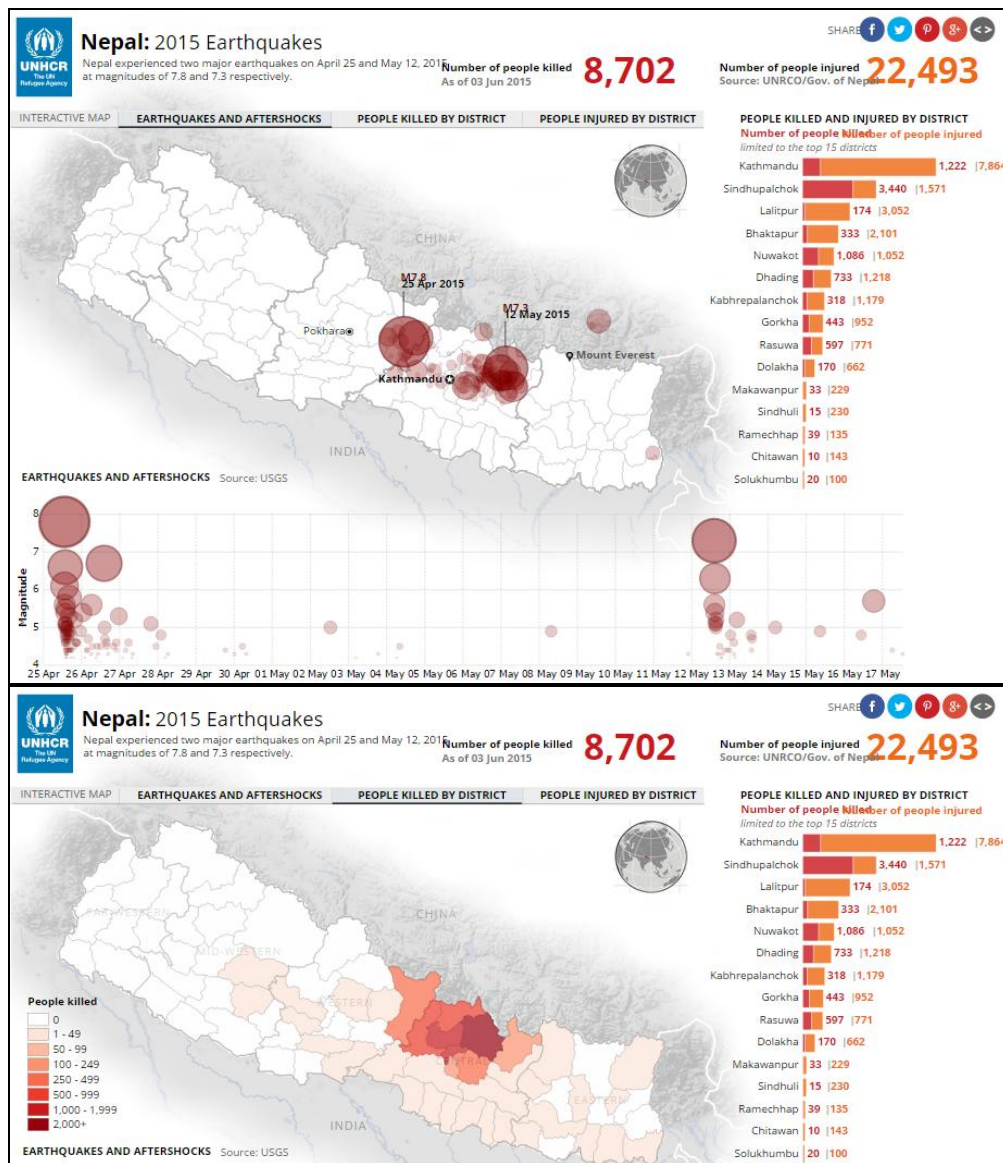
1. การสำรวจความเสียหายจากแผ่นดินไหว 2015 ประเทศเนปาล

เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (ขนาด 7.8 ตามข้อมูลของ USGS) เมื่อเวลาท้องถิ่น 11.56 น. มีจุดศูนย์กลางในเขต Gorkha ที่อยู่ห่างจากกรุงกาฐมาณฑุประมาณ 80 กิโลเมตรทางตะวันตกเฉียงเหนือ และมีแผ่นดินไหวที่เป็น Aftershock เกิดขึ้นอีกจำนวนมาก รวมถึงขนาด 6.7 ที่เกิดภายใน 48 ชั่วโมงในเขต Sindhupalchok ที่อยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงกาฐมาณฑุ หลังจากนั้นอีก 17 วันหรือวันที่ 12 พฤษภาคม 2558 ได้เกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขนาด 7.3 ในเขต Sindhupalchok อีกครั้งตามด้วย Aftershock อีกเป็นจำนวนมาก แผ่นดินไหวในครั้งนี้ได้สร้างความเสียหายอย่างมหันต์ต่อประเทศเนปาล มีผู้เสียชีวิตกว่า 8,700 คน อาคารบ้านเรือนกว่า 5 แสนหลังเสียหายรุนแรง มูลค่าความเสียหายคาดว่าจะไม่ต่ำกว่า 7 พันล้านเหรียญสหรัฐ การเยียวยาจากรัฐบาลยังไม่สามารถทำให้ผู้ได้รับผลกระทบฟื้นฟูกลับมาได้ในระยะเวลาสั้นแม้ประเทศได้รับความช่วยเหลือจากนานาชาติจำนวนมาก จากข้อมูลของ UNHCR รูปที่ 1 แสดงให้เห็นภาพรวมของแผ่นดินไหวและผลกระทบ โดยในรูปบนแสดงตำแหน่งการเกิดของแผ่นดินไหวที่แสดงด้วยวงกลม ขนาดของวงกลมแทนขนาดของแผ่นดินไหว ซึ่งลำดับการเกิดของแผ่นดินไหวขนาดต่าง ๆ แสดงไว้ด้วยผังถัดลงมา ส่วนแผนที่ด้านล่างแสดงถึงการกระจายตัวและตัวเลขผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บในเขตต่าง ๆ ซึ่งบริเวณที่มีผู้เสียชีวิตมากที่สุดคือเขต Sindhupalchok รองลงมาคือกรุงกาฐมาณฑุที่มีประชากรหนาแน่นมาก

คณะนักวิจัยของ “โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย” ได้ให้ความสนใจต่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวในครั้งนี้ จึงได้วางแผนเพื่อลงพื้นที่สำรวจเพื่อศึกษา-เรียนรู้จากผลแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่มีผลรุนแรงต่อประชาชนและนำความรู้มาเตรียมการป้องกันภัยแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นกับประเทศไทย ด้วยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย คณะนักวิจัยจึงได้เดินทางไปสำรวจในระหว่างวันที่ 13 ถึง 17 กรกฎาคม 2558 โดยผู้เดินทางประกอบด้วย ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย และ ดร. ปันเจตน์ ธรรมรักษ์ (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย) ดร. ศิริพันธ์ อรรถธรรมรัตน์ (มหาวิทยาลัยมหิดล) ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ดร. สุทัศน์ ลิลาทวีวัฒน์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) ดร. สรวิศ วิฑูรย์ และ Mr. Andrew Robinson (Asian Disaster Preparedness Center) และผู้เขียน (ดร. นคร ภู่วโรดม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

คณะวิจัยได้รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากแหล่งต่าง ๆ แล้วได้ประสานงานกับหน่วยงานในพื้นที่เพื่อการสำรวจให้ได้ข้อมูลในมิติต่าง ๆ โดยข้อมูลเชิงวิชาการเบื้องต้นพบว่า ประเทศเนปาลตั้งอยู่บนรอยชนกันของแผ่นเปลือกโลกจึงเป็นบริเวณที่มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง โดยในอดีตมีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่คือ ในปี ค.ศ. 1255 เกิดแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 8.0 ซึ่งเป็นแผ่นดินไหวที่มีผลทำให้ผู้เสียชีวิตมากที่สุด มีบันทึกว่ามีผู้เสียชีวิตในกรุงกาฐมาณฑุมากกว่า 30,000 คน ต่อมาในปี ค.ศ. 1505 เกิดแผ่นดินไหวขนาดประมาณ 8.2 ปี ค.ศ. 1833 เกิดแผ่นดินไหวขนาดประมาณ 7.8 และปี ค.ศ. 1934 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.0 ที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตกว่า 17,000 คน ส่วนในครั้งนี้ คลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ที่กรุงกาฐมาณฑุมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวอื่น ๆ คือ คลื่นมีลักษณะการสั่นด้วยค่าคาบการสั่นแบบช้า ๆ ค่อนข้างเด่นชัด แตกต่างจากแผ่นดินไหวทั่วไปที่สั่นแบบเร็ว ๆ เป็นหลัก รวมถึงเกิดความเสียหายหนักกับพื้นที่บางแห่ง ในขณะที่บริเวณที่อยู่ติดกันอาจมีความเสียหายน้อยกว่ามาก ส่วน

เมืองที่ได้รับผลกระทบอย่างหนักที่สุดคือในเขต Sindhupalchok เป็นพื้นที่ห่างไกลจากเมืองหลวง และอยู่ใกล้ตำแหน่งของ Aftershock มีผลทำให้อาคารบ้านเรือนพังทลายจำนวนมาก



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งการเกิดและขนาดของแผ่นดินไหว (บน) และการกระจายตัวของบริเวณที่มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บ (ล่าง) (ข้อมูลจาก UNHCR)

คณะวิจัยได้วางแผนการสำรวจและศึกษาข้อมูลไว้ 5 วัน ซึ่งดำเนินการได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้โดยมีเรื่องราวที่ได้เรียนรู้โดยย่อต่อไปนี้

วันที่หนึ่ง 13 กรกฎาคม 2558

เป็นการออกเดินทางจากประเทศไทย คณะได้เดินทางถึงกรุงการุณปุระประมาณเที่ยงวันตามเวลาของประเทศไทย และเดินทางต่อจากสนามบินเข้าตัวเมืองเพื่อประชุมกับหน่วยงานที่ได้ติดต่อไว้ ในระหว่างนั่งรถผู้เขียนและ

คณะพยายามสังเกตดูสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในกรุงกาฐมาณฑุ ได้พบว่าอาคารส่วนใหญ่ตามท้องถนนที่เดิน ทางผ่านเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กลักษณะคล้ายห้องแถวของบ้านเรา โดยส่วนใหญ่สูงเพียง 3-4 ชั้น ซึ่งแทบไม่ พบร่องรอยความเสียหายในถนนสายหลัก พบเพียงซากความเสียหายของอาคารเก่าบ้างเล็กน้อย และดูรวม ๆ แล้ว เข้าใจว่าผู้คนส่วนใหญ่กลับเข้าสู่สภาพปกติ

คณะแรกที่เรามีนัดหมายประชุมคือ National Society for Earthquake Technology หรือ NSET ที่มี หน้าที่หลักตามชื่อของหน่วยงาน คือการศึกษาเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันภัยจากแผ่นดินไหวของประเทศ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน ซึ่งคณะของเราได้รับฟังการบรรยายสรุปจาก Dr. Ramesh Guragain รอง ผู้อำนวยการของ NSET และมีคณาจารย์จาก Institute of Engineering, Tribhuvan University เข้าร่วมให้ ข้อมูล ประเด็นที่น่าสนใจที่ได้ทราบคือ จากการที่กรุงกาฐมาณฑุได้รับความเสียหายบ้างในเหตุการณ์นี้ แต่ความรุนแรง ไม่สูงมากตามที่ NSET หรือองค์กรอื่น ๆ เคยประเมินไว้ (ครั้งนี้มีผู้เสียชีวิตในกรุงกาฐมาณฑุประมาณ 1,200 คน จาก ประชากรที่อยู่อาศัยประมาณ 4 ล้านคน) ทำให้ประชาชนมีความเชื่อผิด ๆ ว่า แผ่นดินไหวไม่เป็นอันตรายตามที่ NSET เคยเตือนและให้ความรู้เพื่อการป้องกันภัยไว้ อีกทั้งมีความเข้าใจว่าแผ่นดินไหวได้เกิดไปแล้วและจะเกิดขึ้นได้ อีกครั้งในอีก 80 ถึง 100 ปีข้างหน้า จึงไม่มีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องเตรียมป้องกันแผ่นดินไหวในขณะนี้อีกต่อไป ความเชื่อเหล่านี้จะเป็นอุปสรรคอย่างยิ่งที่รัฐบาลจะออกมาตรการให้การก่อสร้างมีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ประเด็น น่าสนใจอีกเรื่องคือ แม้ว่าประเทศเนปาลมีความเข้าใจในความเสี่ยงแผ่นดินไหวของตนพอสมควร มีการติดตั้งสถานี ตรวจวัดแผ่นดินไหวไว้หลายแห่งทั้งในกรุงกาฐมาณฑุ และเมืองอื่น ๆ ซึ่งถือเป็นการเตรียมการที่ดี แต่ว่าข้อมูล แผ่นดินไหวที่มีการเผยแพร่ออกมามีเพียงของหน่วยงานเดียวเท่านั้น ทั้งที่ ณ วันที่ไปสำรวจ แผ่นดินไหวได้เกิดมานาน กว่า 2 เดือนครึ่งแล้ว นั้นแสดงถึงการขาดการประสานร่วมมือกัน ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการนำข้อมูลต่าง ๆ มาใช้ในการ ประเมินและวิเคราะห์ปัญหาให้มีความรู้ความเข้าใจยิ่งขึ้น และเมื่อมองเปรียบเทียบกับประเทศไทย เรามีสถานี ตรวจวัดแผ่นดินไหวจำนวนน้อยกว่ามาก โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร มีเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น และจะไม่ เพียงพอต่อการวิเคราะห์การกระจายตัวของระดับความรุนแรงที่จะแปรเปลี่ยนไปตามเขตต่าง ๆ จึงยากที่จะ ประเมินผลกระทบจากแผ่นดินไหวได้อย่างแม่นยำหากเกิดแผ่นดินไหวขึ้น

หลังจากนั้นคณะได้เดินทางไป Ministry of Physical Infrastructure and Transport ซึ่งมีหน้าที่ดูแลด้าน การก่อสร้างทั่วไปของประเทศ โดยได้ประชุมกับ Mr. Tulasi Prasad Sitaula ปลัดกระทรวงและทีมงาน จากการ ประชุมทำให้ได้ทราบถึงแนวทางการฟื้นฟูและมาตรการที่จะใช้ในการทำให้การก่อสร้างมีความมั่นคงขึ้น โดยทาง กระทรวงมีแนวทางคือ “Build Back Better” ซึ่งเป็นมาตรการที่พยายามให้ความรู้ความเข้าใจต่อประชาชนถึงการ ก่อสร้างที่แข็งแรง เน้นที่การปฏิบัติได้ และกลุ่มเป้าหมายมีหลายระดับ ตั้งแต่ประชาชนทั่วไป ถึงวิศวกร และแนวทาง การปฏิบัติแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ (1) คู่มือการก่อสร้างสำหรับบ้านเรือนขนาดเล็กเช่นในเขตชนบท (2) ข้อบังคับทั่วไป ในการก่อสร้าง เช่น ขนาดขั้นต่ำของเสา ช่วงยาวของคาน เป็นต้น (3) มาตรฐานการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับ วิศวกร (4) การใช้มาตรฐานอื่น ๆ จากต่างประเทศที่เป็นสากลสำหรับการออกแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทยมี ข้อเด่นที่ควรนำมาปรับปรุงคือ ในประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดในระดับที่ (3) และ (4) แต่ขาดระดับที่ควรแนะนำ สำหรับอาคารขนาดเล็กที่ไม่จัดอยู่ในงานที่ต้องใช้วิศวกรออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง ซึ่งบทเรียนจากเหตุการณ์ แผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงรายเมื่อ 5 พฤษภาคม 2557 ได้แสดงให้เห็นว่า อาคารขนาดเล็กจำนวนกว่า 10,000 หลัง

เกิดความเสียหาย อาคารเหล่านี้ได้ถูกก่อสร้างโดยช่างพื้นบ้าน ซึ่งอาจขาดความเข้าใจในการทำให้อาคารมีความมั่นคง ต่อแรงจากแผ่นดินไหว ประเด็นนี้คณะวิจัยจะพยายามผลักดันให้มีการกำหนดเป็นแนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมของ ประเทศไทยต่อไป

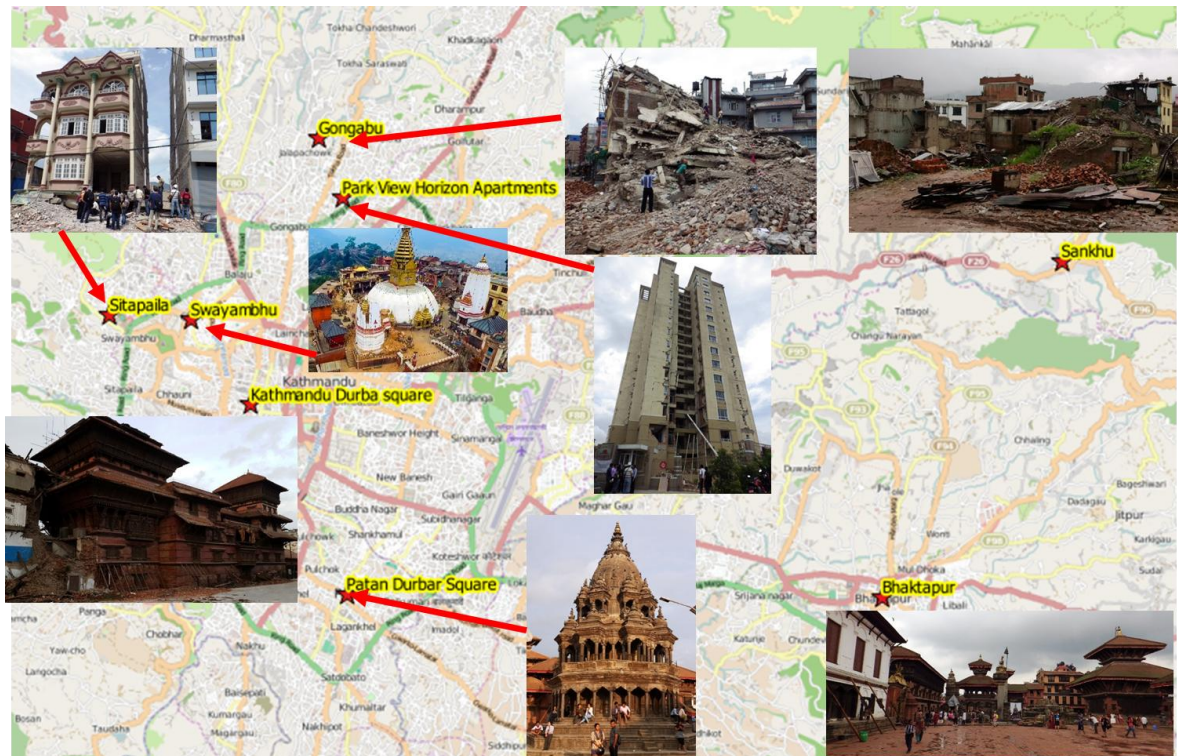
การสำรวจภาคสนาม วันที่ 14 ถึง 16 กรกฎาคม 2558

การสำรวจแบ่งเป็น 3 เมืองหลักสำหรับ 3 วัน การลงพื้นที่ตลอดการเดินทางได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจาก อาจารย์จาก Tribhuvan University และทีมวิจัยที่ร่วมไปกับคณะของเราตลอด โดยวันแรกของการสำรวจคือพื้นที่ใน กรุงกาฐมาณฑุ วันที่สองไปทางตะวันออกคือเมือง Chautara ในเขต Sindhupalchok และวันที่สามไปทางตะวันตก คือเมือง Batar เขต Bidur

คณะได้ลงพื้นที่สำรวจในหลายรูปแบบของผลกระทบ ซึ่งความเสียหายที่ได้สำรวจอาจจัดเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามประเภทของโครงสร้างได้คือ (1) อาคารสมัยใหม่คืออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ประเทศเนปาลเริ่มใช้ก่อสร้าง ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1980 (2) อาคารขนาดเล็กที่ก่อสร้างจากอิฐก่อที่ไม่มีการใช้เหล็กเสริม (3) อาคารที่สร้างจากหินและ ดินเหนียวที่พบมากในเขตชนบท และ (4) โบราณสถานที่มีอายุหลายร้อยปี

สำหรับอาคารบ้านเรือนของประชาชนทั่วไปที่มีฐานะยากจนและโดยเฉพาะอยู่ไกลจากเขตเมืองส่วนใหญ่ สร้างเป็นแบบที่ (2) หรือ (3) เนื่องจากปัญหาด้านการขนส่งของประเทศเนปาล ทำให้วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กเส้น ปูนซีเมนต์ หิน ทราย มีราคาสูงมาก ประชาชนส่วนใหญ่จึงก่อสร้างด้วย อิฐ หรือก้อนหินจากภูเขา และใช้ โคลนจากดินเหนียวเป็นตัวยึดแทนปูนซีเมนต์

จากการสำรวจในเขตกรุงกาฐมาณฑุ เราพบอาคารที่เสียหายทั้ง 4 กลุ่ม แต่ที่น่าสนใจคือความเสียหายมัก กระจุกตัวเป็นบริเวณเล็ก ๆ กระจายอยู่ในพื้นที่หุบเขากาฐมาณฑุที่เป็นที่ราบบนชั้นดินเหนียวอ่อนและล้อมรอบด้วย เทือกเขาทุกด้าน โดยตำแหน่งที่มีความเสียหายรุนแรงแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งของพื้นที่ที่มีความเสียหายรุนแรงในหุบเขากาฐมัณฑุ

ซึ่งเป็นที่สนใจในเชิงวิชาการในขณะนี้ว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นที่รุนแรงกับบางพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณขอบของแอ่งหุบเขาดังตำแหน่งในรูปที่ 2 นั้น อาจมาจากลักษณะของชั้นดินที่อยู่ด้านบนของขอบแอ่งหินสำหรับที่ราบในหุบเขากาฐมัณฑุนี้ อีกทั้งลักษณะของชั้นดินที่เป็นดินอ่อนจึงสามารถขยายความรุนแรงจากแผ่นดินไหวที่อยู่ห่างออกไปได้สูงขึ้น สิ่งเหล่านี้เป็นโจทย์ที่นักวิจัยกำลังเริ่มศึกษา สำหรับในประเทศไทย ผู้เขียนมีความห่วงใยกับพื้นที่ราบใกล้ภูเขาที่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำของเมืองใหญ่ที่ใกล้รอยเลื่อนที่มีพลังของประเทศ โดยเฉพาะเมืองใหญ่ที่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการศึกษาวิจัย

คณะสำรวจได้ศึกษาและสรุปกลุ่มอาคารที่เสียหายในลักษณะต่าง ๆ กันได้ดังนี้

ย่าน Sitapaila และ Gongabu ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือของแอ่งกาฐมัณฑุ ที่เป็นเขตพื้นที่พัฒนาใหม่ มีอาคารอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวนมากที่ก่อสร้างเพิ่มตามการขยายตัวของเขตเมือง สภาพขณะที่สำรวจพบยังคงมีอาคารจำนวนมากที่ยังไม่ได้รื้อถอนทำให้เห็นสาเหตุของความเสียหายได้ในหลายประเด็น ซึ่งประเด็นหลัก ๆ คือ การก่อสร้างที่ขาดคุณภาพทั้งด้านวัสดุและเทคนิค คือการใช้เหล็กเส้นเล็กไปหรือน้อยไป และการเรียงเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนที่ไม่เพียงพอต่อการทำให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวได้พอ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3 ของเสาชั้นล่างของห้องแถวสูงสามชั้น ที่ปลายเสาเห็นได้ว่าเหล็กที่ใช้รัดรอบหรือเหล็กปลอกนั้นมีขนาดเล็กมากคือขนาดประมาณเส้นลวดเท่านั้น จึงไม่สามารถรัดเนื้อคอนกรีตไว้ได้เมื่อมีแรงด้านข้างกระทำ จึงเกิดการแตกของแกนคอนกรีตและทำให้เสารับน้ำหนักไม่ได้ อาคารหลังนี้ยังไม่พังลงมา แต่อีกหลายหลังพังด้วยการวิบัติในชิ้นส่วนโครงสร้างแบบนี้ นอกจากนี้อาคารจำนวนมากก็มีลักษณะที่ชั้นล่างเป็นประตูเข้าอาคารจึงเปิดโล่งทำให้มีความอ่อนแอเมื่อเทียบกับชั้น

อื่นที่มีกำแพงโดยรอบ เมื่อเกิดการโยกตัวของอาคารจึงทำให้ชั้นล่างวิบัติ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ที่เป็นอาคารสูง 4 ชั้น แต่ในรูปสามารถมองเห็นเพียงสามชั้นเนื่องจากชั้นล่างของอาคารวิบัติและอาคารส่วนบนล้มพับไปทางซ้ายมือ

อีกทั้งพบว่าอาคารหลายหลังเกิดการโยกตัวแรงมากจนไปชนกับอาคารอื่น หรือล้มไปทับอาคารอื่นที่ตั้งอยู่ติดกัน ทำให้เกิดการถล่มตามกันลงมา ตัวอย่างอาคารขนาดใหญ่พังถล่มพบมากตลอดถนนในย่าน Gongabu ดังรูปที่ 5 นอกจากนี้ ข้อมูลจากผู้นำทางอธิบายให้ว่า ย่านนี้เคยเป็นหนองน้ำเก่าดินจึงเป็นดินอ่อน และเนื่องจากการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วทำให้มีความต้องการพื้นที่และการก่อสร้างที่ขาดคุณภาพ ซึ่งรวมถึงการต่อเติมเพิ่มความสูงของอาคารเดิมโดยไม่ได้ขออนุญาตและไม่มีการคำนวณออกแบบไว้ส่งผลให้อาคารมีความอ่อนแอมากขึ้นด้วย

ถัดไปจากย่านนี้ไม่ไกล มีกลุ่มอาคารสูงสำหรับที่พักอาศัยของผู้ที่มีฐานะ คือ Park View Horizon Apartment เป็นกลุ่มอาคารสมัยใหม่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 16-17 ชั้น โดยคาดว่า อาคารเหล่านี้น่าจะโยกตัวมากและมีจังหวะการโยกตัวที่พ้องกับคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดในกรุงเทพมหานครเนื่องจากผลของชั้นดินที่อ่อนและหนา อาคารทุกหลังได้รับความเสียหายของผนังอิฐก่ออย่างรุนแรงจนต้องสั่งปิดการใช้สอยและเมื่อมีการตรวจสอบย้อนหลังไปพบว่าอาคารเหล่านี้ได้ก่อสร้างไว้สูงเกินกว่าที่ขออนุญาตไว้ที่ 12 ชั้น ทำให้มีคำสั่งจากรัฐให้รื้อถอนอาคารเหล่านี้



รูปที่ 3 ลักษณะการวิบัติของเสาจากการเสริมเหล็กไม่เพียงพอ



รูปที่ 4 อาคารที่มีชั้นล่างพังและพังลงไปทางซ้ายมือ



รูปที่ 5 ตัวอย่างอาคารที่คอนกรีตเสริมเหล็กพังถล่มในเขต Gongabu

สำหรับอาคารที่สร้างจากอิฐก่อและประสานด้วยโคลนดินพบมากในย่านชุมชนเก่า คือในด้านตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงการุณมณฑลมีย่าน Sankhu พื้นที่นี้มีข้อมูลว่าอาคารกว่าครึ่งหนึ่งพังถล่มลงมา และ

เช่นเดียวกับที่ย่าน Bhaktapur ทางตะวันออกเฉียงใต้ อาครอิฐก่อเหล่านี้มีความอ่อนแอเนื่องจากใช้อิฐดินเผาที่ขึ้นเป็นกำแพงหนาเพื่อรับน้ำหนักในแนวดิ่งแต่ไม่มีเหล็กเสริม การประสานระหว่างก้อนอิฐใช้โคลนดินที่มีกำลังต่ำมาก ซึ่งมีเพียงอิฐที่แข็งแรงแต่เปราะจึงแตกง่ายเมื่ออาคารโยกตัว และอาคารมีน้ำหนักมากจึงเกิดแรงเฉื่อยสูงเมื่อสั่นไหว ทำให้เป็นกลุ่มอาคารที่ได้รับความเสียหายรุนแรงมาก ตัวอย่างอาคารที่เสียหายแสดงดังรูปที่ 6 โดยเห็นได้ว่าการก่ออิฐก่อจำนวนมากแตกและพังทลายลงมา ส่วนด้านล่างมีเป็นกรอบประตูไม้ที่ไม่เปราะเหมือนอิฐจึงยังคงรูปอยู่ไว้ได้ อาคารนี้เทียบแล้วอ่อนแอกว่าอาคารด้านขวามือที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ยังคงอยู่ได้



รูปที่ 6 การวิบัติของอาคารประเภทอิฐก่อ

อาคารที่สร้างจากอิฐก่อแลอาคารที่สร้างจากหินที่เรียงกันแล้วประสานด้วยโคลนดินพบมากเมื่อคณะสำรวจในพื้นที่รอบนอก โดยทั้งในเมือง Chautara และเมือง Batar การวิบัติมีลักษณะคล้ายกันคือการแตกของผนังและการพังถล่มลงมาทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคารอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามก็ได้พบโดยทั่วไปว่าประชาชนที่สามารถฟื้นฟูได้บ้างแล้วเริ่มสร้างอาคารบ้านเรือนกลับมา ที่เป็นที่น่าเป็นห่วงอย่างยิ่งคือ อาคารที่สร้างกลับมาใหม่เหล่านั้นยังคงเป็นการปฏิบัติแบบเดิมก่อนที่พังลงมา ซึ่งยังคงเป็นปัญหาของประเทศอีกต่อไป

ลักษณะของความเสียหายต่ออาคารอีกแบบหนึ่งที่พบมากตามถนนที่เดินทางระหว่างเมืองคือ การพังถล่มของอาคารที่ตั้งอยู่ริมถนนที่ติดกับลาดเชิงเขา เนื่องจากลักษณะอาคารที่มีความไม่สมมาตรของเสาอาคารทำให้เกิดการวิบัติได้ง่ายกว่าอาคารที่ตั้งอยู่บนพื้นราบ ตัวอย่างในรูปที่ 7 แสดงถึงสภาพของเมือง Chautara ที่อาคารจำนวนมากที่ตั้งอยู่ริมถนนและที่ลาดเชิงเขาพังถล่มลงมาจำนวนมาก



รูปที่ 7 การพังถล่มของอาคารจำนวนมากที่ตั้งอยู่ริมทางลาดเชิงเขาในเมือง Chautara

อาคารอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงคือกลุ่มอาคารและโครงสร้างโบราณสถาน ประเทศเนปาลมีชื่อเสียงด้านวัฒนธรรมเป็นอย่างมากที่ได้เป็นมรดกโลกโดยองค์การ UNESCO ซึ่งในกรุงการมัณฑุมมีมรดกโลกถึง 7 แห่ง ซึ่งมีการประมาณการว่าความเสียหายต่อโบราณสถานมีมูลค่าสูงถึง 200 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และจะส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวที่เป็นรายได้หลักของประเทศอย่างมาก สำหรับพื้นที่ที่ไปสำรวจพบว่าความเสียหายเกิดกับโครงสร้างที่อ่อนแออยู่แล้วเนื่องจากสาเหตุหลักจากคุณภาพของวัสดุและระบบโครงสร้าง และการขาดการบำรุงรักษา ตัวอย่างที่สำคัญเช่นในเขต Bhaktapur Durbar Square ในรูปที่ 8 ซึ่งอาคารเหล่านี้เคยเสียหายหนักจากแผ่นดินไหวใหญ่ปี ค.ศ. 1934 และก่อนแผ่นดินไหวครั้งนี้ อาคารด้านซ้ายมือคือ 55 Windows Palace และอาคารตรงกลางคือ Chyasilin Mandap ได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวไว้จึงยังคงอยู่ได้อย่างดี แต่อาคารขวามือคือ Vat Sala เหลือเพียงแท่นฐานและกองหินที่พังถล่มลงมาเนื่องจากไม่มีการป้องกันแผ่นดินไหวเอาไว้



รูปที่ 8 กลุ่มอาคารโบราณสถานในเขต Bhaktapur Durbar Square มรดกโลก

ในวันสุดท้ายคือ 17 กรกฎาคม 2558 ก่อนเดินทางกลับ คณะสำรวจได้ประชุมร่วมกับอาจารย์และนักวิจัยที่ Tribhuvan University อีกครั้ง (รูปที่ 9) เพื่อสรุปบทเรียนในมุมมองของคณะและเสนอแนะสิ่งที่ควรดำเนินการในเชิงวิศวกรรม ซึ่งได้นำเสนอโดย ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย ในแง่หลักคือ ควรส่งเสริมให้มีการก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กมากกว่าอาคารอิฐหรือหินที่ประสานด้วยโคลนดินและมีการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงพฤติกรรมของผนังกำแพงด้วย รวมทั้งมีควรการศึกษาเพิ่มเติมด้านคุณสมบัติของชั้นดินในแอ่งก้นน้ำท่วมที่น่าาคาดว่าเป็นส่วนสำคัญที่มีการขยายขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวได้

และสำหรับประเทศไทย คณะสำรวจมีข้อเสนอเสนอให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นดินไหวในพื้นที่เสี่ยงภัยในประเทศเพิ่มเติมโดยเฉพาะแอ่งดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมถึงต้องทำการศึกษาสภาพของชั้นดินที่อาจมีผลต่อการขยายคลื่นแผ่นดินไหวโดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำล้อมด้วยภูเขาในภาคเหนือเพื่อการทำแผนที่เสี่ยงภัยในระดับเมือง ในส่วนของความมั่นคงของอาคาร ควรส่งเสริมให้ความรู้กับวิศวกรและประชาชนทั่วไปให้มากขึ้นและดำเนินการให้ต่อเนื่อง อีกทั้งควรเริ่มให้ความสนใจต่อความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวต่อโครงสร้างโบราณสถานต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อวัฒนธรรมและจิตใจของประชาชนเป็นอย่างมาก



รูปที่ 9 คณะสำรวจของไทยและเนปาลที่ Tribhuvan University

เกร็ดเกี่ยวกับประเทศเนปาล

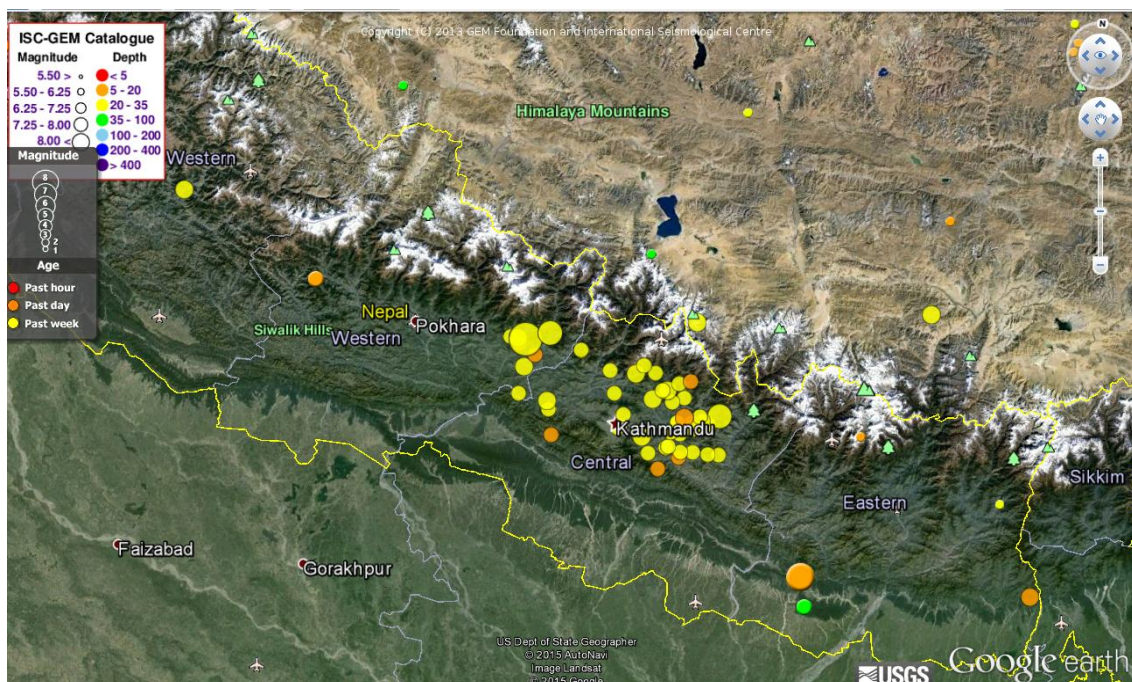
ประเทศเนปาลมีพื้นที่ประมาณ 147,000 ตารางกิโลเมตร และประชากรราว 27 ล้านคน ซึ่งประชากรประมาณหนึ่งในสี่ จัดว่าฐานะยากจน เมื่อดูจากสภาพที่ตั้งของประเทศแล้วจะเห็นถึงข้อจำกัดด้านการพัฒนาเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกล้อมรอบด้วยเทือกเขาสูง พื้นที่ราบมีน้อย แม่น้ำมีลักษณะเป็นแม่น้ำที่ไหลตามเชิงเขาซึ่งไหลแรงและมีแก่งหินในบางพื้นที่ และไม่มีพื้นที่ส่วนที่ติดกับทะเล จึงทำให้การขนส่งต่าง ๆ ทำได้ยากลำบากที่ต้องใช้รถยนต์เป็นหลัก และเป็นประเทศเล็กที่ถูกล้อมรอบโดยประเทศใหญ่ 2 ประเทศคือจีนและอินเดียเท่านั้น จากพูดคุยกับอาจารย์ชาวเนปาลทราบว่าผลผลิตจากการเกษตรกรรมส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่งออกเป็นส่วนน้อย ส่วนที่เป็นรายได้เข้าประเทศมาจากส่งออกสิ่งทอ การท่องเที่ยวและการไปเป็นแรงงานต่างแดน ชั่วโมงการทำงานโดยทั่วไปเริ่มต้นสายมาก คือเริ่มงาน 10 โมงเช้า และเลิกงานตอน 5 โมงเย็น (และหน้าหนาวเลิกเร็วขึ้นเป็น 4 โมงเย็น) ภาษีมูลค่าเพิ่มสูงถึง 13 % ส่วนภาษีรายได้ส่วนบุคคลของอาจารย์มหาวิทยาลัยประมาณ 10% แต่ในเดือนกรกฎาคม 2558 รัฐบาลจะเพิ่มภาษีอีก 2% เพื่อใช้ในการฟื้นฟูประเทศจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่

2. แผ่นดินไหวขนาด 7.9 เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 เกิดขึ้นมาได้อย่างไร?

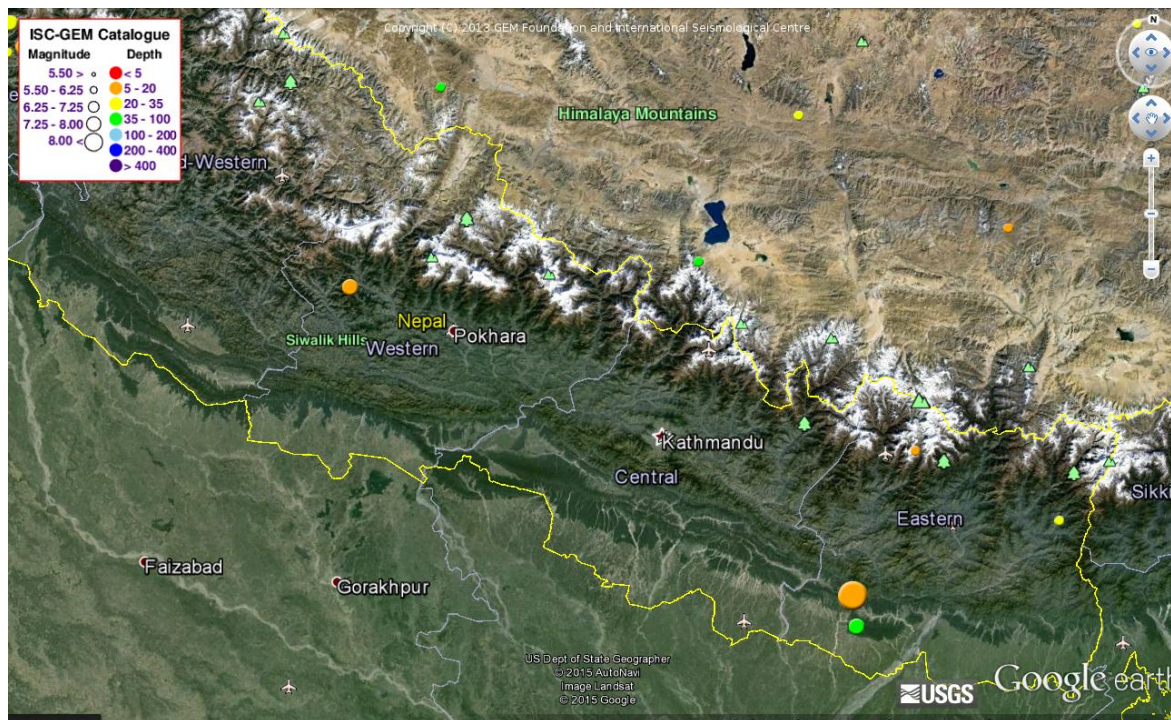
แผ่นดินไหวที่ประเทศเนปาลนั้นเกิดขึ้นมาเนื่องจากแผ่นพื้นทวีปอินเดียเคลื่อนตัวไปทางเหนือเข้าหาแผ่นเปลือกโลกใต้ทิเบตด้วยความเร็วประมาณ 4 – 5 ซม ต่อ ปี โดยพลังงานที่ถูกกักเก็บไว้เป็นเวลานานนั้นได้ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โดยแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 นั้นมีความตื้นเพียงแค่ 15 กิโลเมตรจาก

ผิวดินซึ่งถือว่าตื้นมากและอาจสร้างความเสียหายและทำลายอาคารบ้านเรือนบริเวณเขตแผ่นดินไหวได้ โดย ณ ปัจจุบันเกิด Aftershock ขนาดใหญ่กว่า 6.0 ทั้งหมดเป็นจำนวนมากและคาดว่าจำนวน Aftershock สำหรับแผ่นดินไหวในบริเวณโซนที่เกิดแผ่นดินไหวจะมีอยู่ต่อไปอย่างน้อยอีกประมาณ 1 ปี แต่จะค่อยๆลดจำนวน และขนาดลงเรื่อยๆ (รูปที่ 10)

โดยจากสถิติข้อมูลแผ่นดินไหวย้อนหลังในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาในระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน 58 ประมาณ 250 กิโลเมตรนั้นพบว่ามีเพียงแค่ 4 ครั้ง (รูปที่ 11) ที่เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 6.0 และแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดเกิดห่างออกไปทางตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 250 กิโลเมตร ขนาด 8.1 เมื่อปี ค.ศ. 1934 ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อกรุงการณามณฑลทางด้านทิศตะวันตกด้วยเช่นเดียวกัน โดยจากสถิติดังกล่าวสามารถสังเกตได้ว่าแม้แผ่นดินไหวไม่ได้เคยเกิดขึ้น ณ ที่แห่งหนึ่งเป็นระยะเวลานานแต่ทว่าก็ไม่ได้หมายความว่าแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากการแผ่นดินไหวนั้นเกิดจากการสะสมพลังงานในบริเวณรอยต่อแผ่นเปลือกโลกโดยเมื่อพลังงานมากพอก็จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวและรอบในการเกิดอาจจะนานมากกว่า 100 ปี



รูปที่ 10. แผ่นดินไหวขนาด 7.8 เมื่อวันที่ 25 เมษายน 58 และ Aftershocks โดยสามารถสังเกตได้ว่าโซน Aftershocks นั้นครอบคลุมบริเวณค่อนข้างกว้างซึ่งบ่งชี้ถึงขนาดในการเลื่อนตัวของแผ่นดินไหวหลักขนาด 7.8



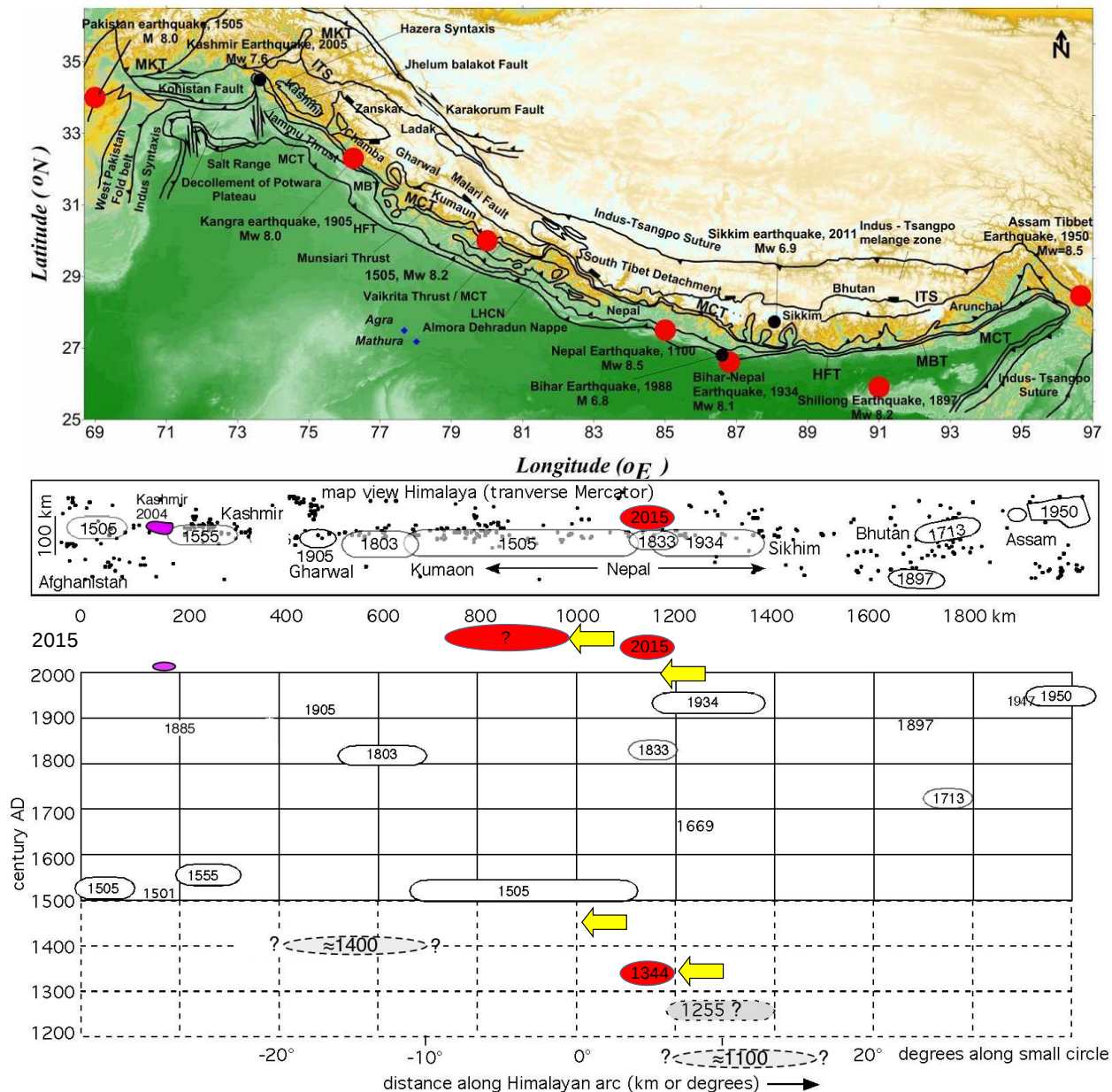
รูปที่ 11. สถิติแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 6.0 บริเวณรอบประเทศเนปาลโดยแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุด (วงกลมสีส้ม) เกิดห่างจากเมืองหลวงการฐมาณฑูทางตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1550 กิโลเมตร ขนาด 8.0 เมื่อปี ค.ศ. 1934

นักวิทยาศาสตร์ได้คาดมาก่อนไหมว่าแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นที่เนปาล?

โดยส่วนใหญ่แล้วนักวิทยาศาสตร์ได้คาดไว้แล้วว่าแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เช่นนี้จะต้องเกิดขึ้น ดังนั้นแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 จึงไม่ได้เป็นแผ่นดินไหวที่เกินความคาดหมายแต่อย่างใด โดยจากประวัติของแผ่นดินไหวในแนวเทือกเขาหิมาลัยนั้นจะพบว่า ตำแหน่งของแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 นั้นอยู่ในบริเวณเดียวกันกับแผ่นดินไหวที่ได้เคยเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1833 ขนาด 7.4 ในอดีตก็เคยเกิดแผ่นดินไหวในลักษณะเดียวกันมาก่อนแล้วจึงอาจจะเหมือนกับว่าเป็นเหตุการณ์ที่เกิดซ้ำรอยเดิมเมื่อ 182 ปีที่แล้ว โดยแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน ค.ศ. 2015 นั้นน่าจะเกิดคนละโซนกับเมื่อปี ค.ศ. 1934 เมื่อ 81 ปีที่แล้ว โดยแผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1934 นั้นเกิดขึ้นห่างออกไปจากกรุงการฐมาณฑูทางด้านทิศตะวันออกระยะทางประมาณ 150 กิโลเมตร

โดยจากข้อมูลใหม่เสนอโดยนักธรณีวิทยาชาวฝรั่งเศส Bollinger et al., 2015 ได้กล่าวอ้างว่าจากผลการสำรวจรอยเลื่อนแผ่นดินไหวในบริเวณที่เกิดเหตุแผ่นดินไหวในครั้งนี้ก่อนหน้าเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพียง 1 เดือนทีมศึกษาได้ทำการค้นพบหลักฐานซึ่งเชื่อได้ว่าแผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 2015 นั้นเคยเกิดขึ้นมาก่อนหน้านั้นเช่นกันเมื่อปี ค.ศ. 1344 โดยก่อนหน้าแผ่นดินไหวนี้ ได้มีแผ่นดินไหวใหญ่ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเมื่อปี ค.ศ. 1255 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1934 Bollinger et al., 2015 ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า แผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1344 นั้นเกิดเนื่องมาจากการส่งถ่ายพลังงานจากแผ่นดินไหว เมื่อปี ค.ศ. 1255 ไปทางทิศตะวันตก (Stress Transfer) โดยที่ระยะห่างประมาณ 89 ปีโดยกรณีนี้คล้ายคลึงกันกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1934 และ 2015 โดยในครั้งนี้ใช้เวลาประมาณ 81 ปีนับจากแผ่นดินไหวครั้งล่าสุด โดยสิ่งที่น่ากลัวไปกว่านั้นก็คือตามหลักฐาน

ทางธรณีวิทยาพบว่าแผ่นดินไหวเมื่อปี ค.ศ. 1344 นั้นก็กระตุ้นทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ทางด้านทิศตะวันตก เช่นกันเมื่อปีค.ศ. 1505 โดยคาดได้ว่าเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 ก็อาจจะทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ขึ้นทางฝั่งตะวันตกของแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน 58 โดยมีขนาดใหญ่มากกว่า 8.0+ ในอนาคต (รูปที่ 12)

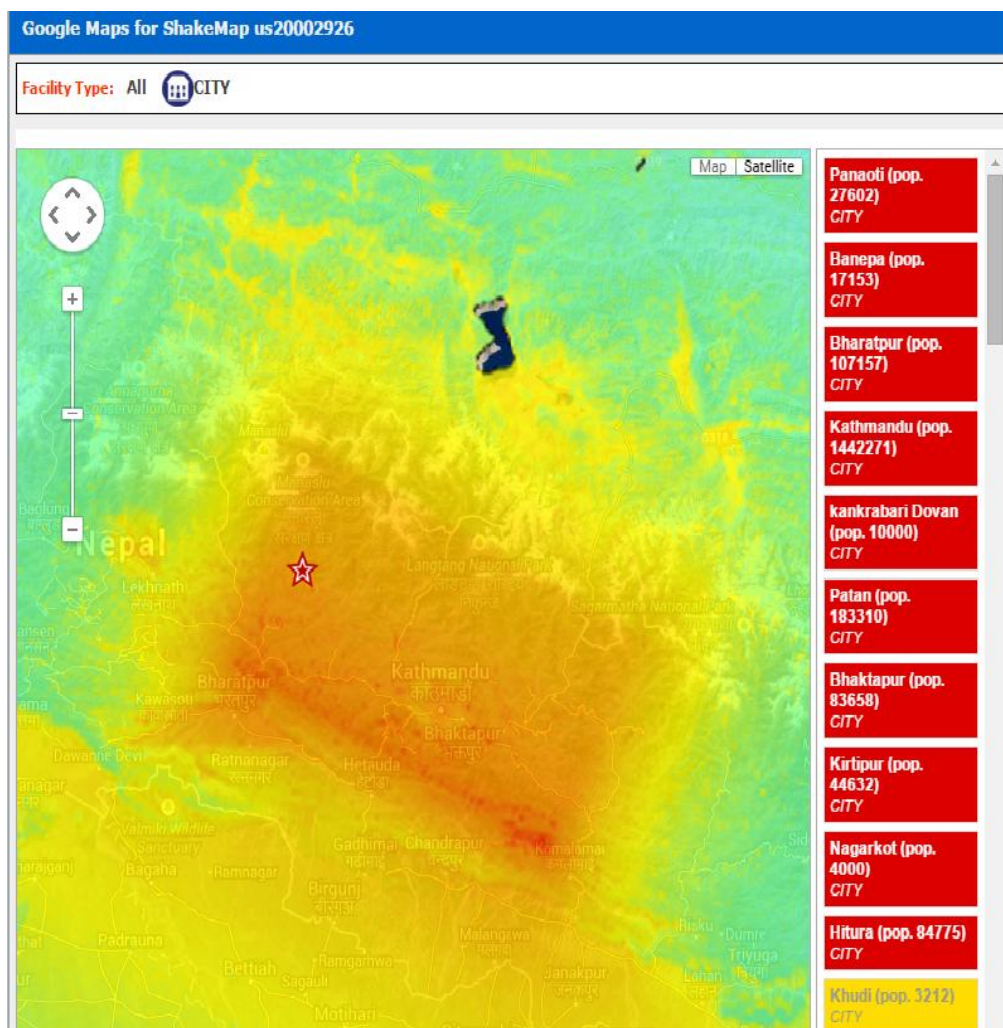


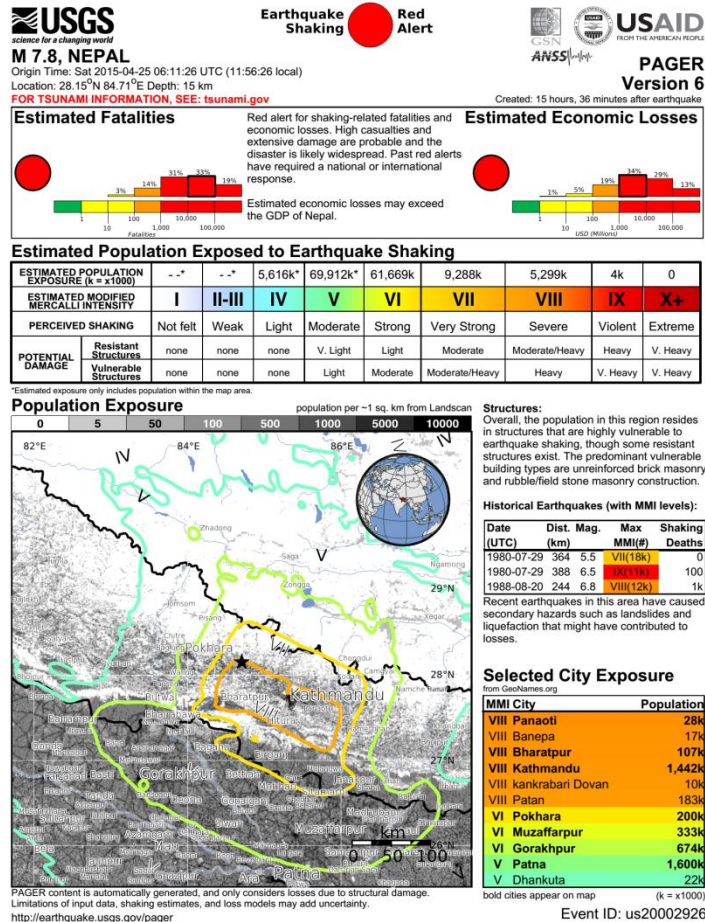
รูปที่ 12 ภาพแสดงตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวในอดีตและการส่งถ่ายพลังงานจนทำให้เกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน 58

ความเสียหายจากแผ่นดินไหวน่าจะประมาณซักเท่าไร

เนื่องมาจากว่าอาคารในกรุงกาฐมาณฑุนั้นส่วนใหญ่ไม่ได้ออกแบบให้มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น ความไม่เพียงพอของจำนวนวิศวกร วัสดุก่อสร้าง ความยากจน ดังนั้นความเสียหายจึง

เชื่อว่าสูง โดยในขณะนี้จำนวนผู้เสียชีวิตตามรายงานประมาณ 3,000 คน และเชื่อว่าจำนวนผู้เสียชีวิตจะยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากว่าโซนของแผ่นดินไหวขนาดเกือบ 8.0 นั้นจะมีขนาดกว้างประมาณ 200 – 300 กิโลเมตร รูปที่ 13 ดังนั้นการช่วยเหลือหลายๆพื้นที่ในระยะเวลานี้จึงอาจจะเป็นเรื่องที่ลำบาก โดยขณะนี้ได้มีการประมาณถึงมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวครั้งนี้โดยกรมทรัพยากรธรณีสหรัฐ (USGS) (2015) โดยประมาณไว้ว่าน่าจะมีความเสียหายประมาณ 5,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐหรือประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตมวลรวมของเศรษฐกิจ (GDP) ของเนปาล ดังนั้นจึงเชื่อว่าเนปาลจำเป็นต้องต้องการความช่วยเหลือจากนานาชาติจากแผ่นดินไหวในครั้งนี้ไปอีกซักระยะหนึ่งนับจากนี้ซึ่งเป็นกรณีคล้ายกันกับแผ่นดินไหวที่ประเทศเฮติเมื่อปี ค.ศ. 2010 (รูปที่ 14)





รูปที่ 14 การประเมินมูลค่าความเสียหายจากแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 25 เมษายน 58 โดยกรมทรัพยากรธรณีสหรัฐ (USGS) โดยประมาณไว้ว่าน่าจะมีความเสียหายประมาณ 5,000 ล้านเหรียญสหรัฐหรือประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตมวลรวมของเศรษฐกิจ (GDP) ของเนปาล

ทำไมถึงไม่ได้มีการเตรียมพร้อมรับมือแผ่นดินไหวทั้งๆที่รู้ว่าแผ่นดินไหวอาจจะเกิดขึ้น

ประเทศเนปาลนั้นมีบุคลากรที่ตระหนักถึงภัยแผ่นดินไหวและได้มีความพยายามในการเตรียมตัวป้องกันภัยธรรมชาติประเภทนี้มาในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมามี คือ National Society for Earthquake Technology-Nepal ที่ Sainbu และ GeoHazards International ที่ Menlo Park, California โดยแผ่นดินไหวขนาดใกล้เคียงกันกับเหตุการณ์เมื่อปี ค.ศ. 1934 นั้นก็เป็นเหตุการณ์ที่ได้มีการคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้น ดังนั้นปัญหาของประเทศเนปาลจึงไม่เกี่ยวกับความไม่ใส่ใจ แต่เป็นปัญหาเนื่องมาจากการขาดแคลนทรัพยากรในการป้องกันภัยแผ่นดินไหว

โอกาสที่แผ่นดินไหวในเนปาลจะมีผลกระทบกับประเทศไทย

ในทางวิชาการแล้วไม่เกี่ยวข้องกันเพราะยังไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดสามารถบ่งชี้ได้ว่าแผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวในอีกที่ซึ่งห่างไกลกันเป็น 1,000 กิโลเมตรได้ แต่ถ้าเป็นระยะใกล้เช่น 100 กิโลเมตรสำหรับแผ่นดินไหวมากกว่า 7.0 ยังพอเป็นไปได้ โดยกรณีประเทศเนปาล น่าจะเป็นกรณีบ่งชี้ว่าแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกในย่านนี้

ค่อนข้างที่จะ Active คือมีการสะสมพลังงานและปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องนับจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในย่านนี้โดยเรียงตามปีที่เกิดคือ

- Northern Sumatra 2004 Indonesia Mw 9.2,
- Nias earthquake 2005 & 2007 Indonesia Mw 8.7 & 8.5,
- Wenchuan earthquake 2008 China Mw 7.9,
- Andaman Island 2009 India Mw 7.5,
- Tarlay earthquake 2011 Myanmar Mw 6.8,
- Shwebo earthquake 2012 Myanmar Mw 6.8
- Indian Ocean earthquake 2012 Indonesia Mw 8.2 & 8.6,
- Sichuan earthquake 2013 China Mw 6.6
- Mae Lao earthquake 2014 Thailand Mw 6.1
- Nepal earthquake 2015 Nepal Mw 7.9

เราไม่สามารถหนีแผ่นดินไหวได้แต่เราสามารถสร้างอาคารให้มั่นคงขึ้นได้ โดยอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าจะคิดคือเราจะทำกา
รับมือกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่อย่างไรถ้ารอยเลื่อนแม่จันเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มากกว่า 7.0 เพราะความเสียหาย
จะกระจายเป็นวงกว้างเหมือนกับที่ เนปาล กำลังเผชิญอยู่ในตอนนี้จากในรูปจะเห็นว่ามีความมากกว่า 10 เมืองที่น่าจะ
ประสบความเสียหายรุนแรงและมีประชากรมากกว่า 1 แสนคนเกือบทุกเมือง

3. ระบบโครงสร้างอาคารในประเทศเนปาล และกลไกการวิบัติของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำจาก แผ่นดินไหว

ลักษณะโครงสร้างในประเทศเนปาล

คณะสำรวจพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศเนปาลสามารถจำแนกออกเป็นสามประเภทหลักๆ
ได้แก่โครงสร้างระบบกำแพงหินก่อรับแรง โครงสร้างระบบกำแพงอิฐก่อรับแรง และโครงสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีต
เสริมเหล็ก โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดวิธีการก่อสร้าง และรูปแบบการวิบัติของโครงสร้างแต่ละประเภทย่อยต่อไปนี้
ระบบกำแพงหินก่อรับแรง (Stone Rubble Bearing Wall)

จากสภาพภูมิประเทศของประเทศเนปาลที่ตั้งอยู่บนแนวเทือกเขาหิมาลัยซึ่งมีหินเป็นจำนวนมากตามธรรมชาติ
ประชาชนจำนวนมากจึงนิยมใช้โครงสร้างกำแพงหินก่อรับแรงเพราะไม่มีต้นทุนค่าวัสดุ โดยกำแพงหินที่ก่อจะต้องใช้

โคลนทราย (mud mortar) สำหรับปรับระดับเนื่องจากรูปร่างและขนาดก้อนหินที่แตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและสร้างความมั่นคง โดยจะก่อกำแพงหนา 40-60 เซนติเมตร โดยประมาณ การก่อจะจัดเรียงให้ผิวหน้าทั้งสองด้านของกำแพงเรียบเสมอกัน ภายในบริเวณกึ่งกลางกำแพงจะใช้โคลนทราย ร่วมกับก้อนหินขนาดเล็กเติมให้เต็มช่องว่าง โดยการก่อในบริเวณกึ่งกลางจะเป็นไปอย่างหลวมๆ ไม่แน่นหนาเท่าผิวนอกทั้งสองด้าน ดังนั้นแล้ว ในทางกลศาสตร์ กำแพงหินก่อรับแรงจะมีพฤติกรรมเทียบเท่ากับกำแพงสามชั้นมาก่อติดกัน ซึ่งจะเปราะบางต่อแรงกระทำที่ตั้งฉากกับระนาบของกำแพง (out-of-plane) ในบางกรณี จะมีการฉาบผิวกำแพงด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายเพื่อความสวยงามและคงทน



รูปที่ 15 ผิวด้านนอกของกำแพงหินก่อรับแรง ประสานด้วยโคลนทราย(mud mortar)



รูปที่ 16 โคลนทรายสำหรับการก่อกำแพง



รูปที่ 17 ภาพแสดงวิธีการก่อกำแพงหินที่ใช้หินขนาดใหญ่ก่อให้ได้ระนาบที่เรียบด้านนอก ภายในใช้หินขนาดเล็กเรียงเติมเต็มช่องว่างร่วมกับโคลนทรายระบบพื้นชั้นที่อยู่เหนือระดับดินอาศัยการถ่ายแรงเข้าสู่กำแพงรับแรงผ่านโครงสร้างไม้ซึ่งรับแรงเฉือนและแรงดัด

ในการก่อสร้างฐานรากอาคารระบบกำแพงหินก่อรับแรง ช่างก่อสร้างจะขุดดินลงไปจนถึงชั้นดินแข็ง แล้วจึงเรียงหินในลักษณะเดียวกับกำแพงส่วนที่อยู่เหนือดิน เป็นลักษณะของฐานรากแบบตื้น (shallow foundation) ซึ่งอาศัยแรงแบกทานของดินในการรับน้ำหนักบรรทุก



รูปที่ 18 ระบบกำแพงรับแรงที่ใช้ร่วมกับโครงสร้างไม้ในบริเวณที่ต้องมีการรับแรงดัด



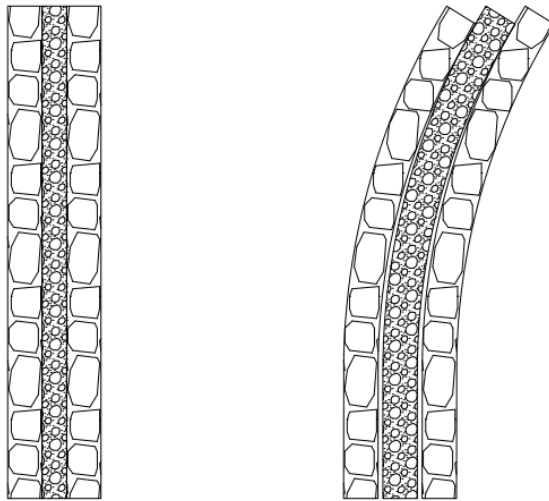
รูปที่ 19 ภาพแสดงระบบฐานรากของโครงสร้างกำแพงรับแรงซึ่งใช้วิธีการก่อกำแพงหินบนชั้นดินแข็ง ทางซ้ายมือของภาพคือลักษณะการขุดดินเพื่อเตรียมก่อสร้างฐานรากแบบตื้น ตามแนวกำแพงของอาคาร

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรง มีสองรูปแบบ คือ การวิบัติแบบในระนาบ (in-plane failure) และการวิบัติแบบตั้งฉากกับระนาบ (out-of-plane failure) สำหรับการวิบัติในระนาบนั้นเกิดจากแรงเฉือนที่กระทำในระนาบ ทำให้โคลนทรายที่ใช้รับระดับซึ่งมีกำลังรับแรงต่ำ เกิดการวิบัติทำให้มีการเคลื่อนตัว เกิดเป็นรอยร้าว รอยแยกและพังทลาย

การวิบัติแบบนอกระนาบ เกิดจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนมวลของกำแพงเอง ทำให้เกิดการล้มลงมาของแผงก่อหินซึ่งเป็นการวิบัติจากโมเมนต์ดัดในกำแพงซึ่งไม่ได้มีพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น



รูปที่ 20 การวิบัติภายในระนาบของกำแพงหินก่อรับแรง



รูปที่ 21 ภาพจำลองโครงสร้างกำแพงหินก่อ (ซ้าย) และสภาพในขณะที่เกิดการวิบัติ (ขวา)



รูปที่ 22 การวิบัติออกนอกกระนาบของกำแพงหินก่อรับแรงแบบที่มีการแยกชั้น โดยชั้นที่ก่อทางขวามือได้ถล่มลงไป แต่ชั้นซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายมือยังคงตั้งอยู่



รูปที่ 23 ความเสียหายของโครงสร้างกำแพงหินก่อรับแรง (พื้นที่ด้านขวามือของภาพ)

ระบบกำแพงอิฐดินเผาก่อรับแรง (Masonry Bearing Wall)

อิฐดินเผาเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถผลิตได้เองในประเทศเนปาลโดยมีการผลิตในบริเวณรอบนอกของเมืองการูมัณฑุ ซึ่งเป็นแอ่งตะกอนดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐดินเผา โดยอิฐที่ผลิตใช้ในประเทศเนปาลมีขนาดประมาณ 6x10x20 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) ในการก่อสร้างจะใช้โคลนทรายเป็นวัสดุประสานและปรับระดับเช่นเดียวกับ โครงสร้างกำแพงหินก่อรับแรง ในบางกรณีอาจมีการก่อผนังชั้นนอกห่อหุ้มอาคารไว้ซึ่งใช้ปูนทรายเป็นวัสดุประสาน หรือใช้การฉาบปูนทราย เพื่อความคงทนต่อการชะล้างจากน้ำ

ทั้งนี้ รูปแบบการก่อสร้างระบบฐานรากใช้วิธีการเดียวกับโครงสร้างกำแพงหินก่อรับแรง คือใช้ฐานรากแบบตื้นซึ่งสร้างจากหินหรืออิฐหัก นำมาเรียงตามแนวกำแพงเพื่อถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างลงสู่ชั้นดินแข็ง

เนื่องจากโครงสร้างอิฐซึ่งประสานด้วยโคลนทรายไม่มีกำลังรับแรงภายใต้แรงดัดและแรงเฉือน ในบางบริเวณเช่น พื้นชั้นเหนือดิน กรอบประตู กรอบหน้าต่าง จะมีการใช้ไม้ร่วมในระบบโครงสร้าง โดยระบบพื้น จะใช้ไม้กระดาน ถ่ายแรงเข้าสู่ตง ซึ่งจะถ่ายแรงเข้าสู่กำแพงต่อไป



รูปที่ 24 ขนาดของอิฐดินเผาที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ หนา 6 ซม. กว้าง 10 ซม. และยาว 20 ซม.



รูปที่ 25 การก่อสร้างโครงสร้างระบบกำแพงอิฐดินเผาพร้อมกับโครงสร้างไม้



รูปที่ 26 ลักษณะการก่อกำแพงอิฐดินเผาซึ่งมีความหนาเท่ากับการก่ออิฐหนึ่งแผ่นครึ่ง



รูปที่ 27 โครงสร้างผนังรับแรงแบบอิฐดินเผาก่อด้วยโคลนทราย ซึ่งใช้ร่วมกับการก่ออิฐดินเผาภายนอกที่ใช้ปูนทราย เป็นวัสดุประสานเพื่อความคงทนต่อสภาพอากาศระบบพื้นใช้การถ่ายแรงผ่านตง



รูปที่ 28 การวิบัติที่เกิดขึ้นในระนาบกำแพง โดยสามารถสังเกตได้จากรอยแตกระหว่างก้อนอิฐที่กระจายอยู่ทั่วอาคาร

ทั้งนี้การวิบัติของกำแพงอิฐดินเผาเป็นแบบประปรายเช่นเดียวกับกำแพงหินก่อ กล่าวคือ ส่วนที่อ่อนแอที่สุดของระบบโครงสร้างกำแพงซึ่งก็คือโคลนทรายประสาน เป็นจุดเริ่มต้นของการวิบัติ โดยเริ่มจากการแยกตัวจากก้อนอิฐ เมื่อถูกแรงกระทำหลายรอบ จะเกิดการเสียสภาพจนร่วน ไม่ยึดเกาะกัน ทำให้ก้อนอิฐเสียดับและเกิดการถล่มในที่สุด โดยรูปแบบการวิบัติมีทั้งแบบภายในระนาบ และตั้งฉากกับระนาบเช่นเดียวกับกำแพงหิน

ระบบโครงสร้างคองกรีตเสริมเหล็ก

โครงสร้างคองกรีตเสริมเหล็กที่ใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในรูปแบบของอาคารพาณิชย์และอาคารพักอาศัยโดยสูงประมาณ 2 – 6 ชั้น ใช้งานร่วมกับผนังกำแพงอิฐดินเผา ซึ่งก่อโดยใช้ปูนทรายเป็นวัสดุประสาน ใช้วิธีการก่อแบบเต็มแผ่น (ทำให้กำแพงมีความหนาประมาณ 20 – 25 เซนติเมตรเมื่อรวมความหนาของปูนฉาบ ซึ่งหนาเป็นสองเท่าของกำแพงอิฐมอญก่อเต็มแผ่นที่ใช้ในประเทศไทย) โดยพฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะมีผลจากการต้านทานแรงจากกำแพงอย่างมีนัยยะ

ทั้งนี้ การผลิตคองกรีตในประเทศเนปาลโดยส่วนใหญ่จะผสมในพื้นที่ก่อสร้างซึ่งไม่มีระบบการช่างตวงวัดปริมาณของมวลรวมและน้ำที่แม่นยำ ทำให้มีปัญหาในการควบคุมคุณภาพของคองกรีต (กำลังอัดประลัย) นอกจากนี้ยังมีปัญหาจากคุณภาพการเทและจี้คองกรีต และแบบหล่อคองกรีตที่ไม่มีมาตรฐาน ทำให้ขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างไม่เป็นไปตามการออกแบบโดยการวิบัติของคองกรีตที่พบเป็นการแตกบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวหิน (มวลรวมหยาบ) กับวัสดุประสาน (cement paste) ในบางกรณี เนื้อคองกรีตหลังการวิบัติมีลักษณะร่วนเป็นผงแป้งซึ่งสภาพดังกล่าวบ่งชี้ว่าคองกรีตเป็นชนิดกำลังอัดต่ำมาก ทั้งนี้ หากพิจารณาสภาพคองกรีตกำลังปานกลางถึงสูงเมื่อเกิดการวิบัติ จะพบว่าการแตกผ่านเข้าไปในเนื้อหิน และสภาพชิ้นส่วนที่แตกจะมีความแหลมคม



รูปที่ 29 โครงสร้างคองกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ผนังเป็นกำแพงอิฐดินเผาก่อด้วยปูนทรายภายในกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 30 การผสมคอนกรีตที่ทำบริเวณหน้างานก่อสร้าง ไม่มีการตวงวัดปริมาณมวลรวมที่เหมาะสม และไม่มีการเก็บปูนซีเมนต์ในที่ร่ม



รูปที่ 31 สภาพคอนกรีตหลังการวิบัติที่เป็นลักษณะของการแยกตัวของหินและซีเมนต์ในบริเวณผิวของหิน ซึ่งสามารถกล่าวโดยย่อได้ว่า คอนกรีตนี้เป็นคอนกรีตกำลังต่ำ ถ้าหากเป็นการวิบัติของคอนกรีตกำลังสูง จะมีการแตกผ่านก้อนหิน



รูปที่ 32 สภาพคอนกรีตหลังการวิบัติที่เป็นลักษณะของการแยกตัวของหินและซีเมนต์ในบริเวณผิวของหิน



รูปที่ 33 การเข้าแบบหล่อคอนกรีตที่ไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงการเทคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ

กลศาสตร์การวิบัติของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

รูปแบบการวิบัติของโครงสร้างสามารถจำแนกตามหลักกลศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

การวิบัติของโครงสร้างที่มีชั้นอ่อน

พฤติกรรม “ชั้นอ่อน” (soft story) เกิดจากความแตกต่างของสติฟเนสทางด้านข้างของโครงสร้าง โดยชั้นที่มีสติฟเนส น้อย (ซึ่งอาจเกิดจากความสูงของชั้นที่มากกว่าชั้นอื่นๆ หรือการเว้นช่องเปิดกำแพง) จะมีระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ ระหว่างชั้นสูงภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหว ทำให้เกิดการวิบัติในชั้นที่อ่อน โดยชั้นที่แข็งแรงจะไม่มีการเคลื่อนตัว สัมพัทธ์ หรือมีพฤติกรรมคล้ายวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body)

ทั้งนี้ ในการสำรวจความเสียหายของแผ่นดินไหวในประเทศเนปาล คณะผู้วิจัยได้พบการวิบัติในลักษณะนี้เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการก่อสร้างอาคารโดยมากแล้วเป็นอาคารพาณิชยกรรม (ตึกแถว) ซึ่งจะเปิดผนังชั้นล่างสุด บริเวณด้านหน้าอาคาร ในขณะที่ชั้นอื่นๆที่สูงขึ้นไปมีการก่อกำแพงอิฐ ซึ่งอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อผนังในประเทศเนปาลมีขนาดใหญ่กว่าในประเทศไทยประมาณหนึ่งเท่าตัว สติฟเนสทางแนวราบของกำแพงมีค่าสูงมาก ซึ่งทำให้มีความแตกต่างของ สติฟเนสอย่างมากระหว่างชั้นที่มีช่องเปิด กับชั้นที่มีผนังปิด



รูปที่ 34 ภาพแสดงการวิบัติแบบชั้นอ่อนในเขต Lamosanguh



รูปที่ 35 ภาพแสดงการวิบัติแบบชั้นอ่อนในเขต Lamosanghu



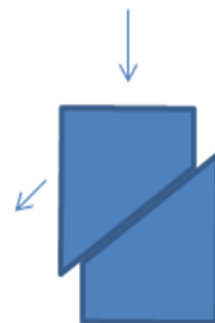
รูปที่ 36 ภาพแสดงการวิบัติแบบชั้นอ่อนในเขต Sithapaila

การวิบัติของโครงสร้างที่มีเสาสั้น

สำหรับโครงสร้างที่เสามีช่วงการเฉือน (Shear span) ที่สั้น จะทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนในเสาก่อนที่จะเกิดการพัฒนาคดหุนพลาสติก (plastic hinge) ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าการวิบัติจากกลไกการเฉือนเป็นการวิบัติแบบเปราะ ซึ่งแตกต่างจากการเกิดจุดหุนพลาสติกที่มีความเหนียว สามารถต้านทานแรงได้แม้การเคลื่อนที่ของโครงสร้างจะสูงก็ตาม โดยการวิบัติรูปแบบนี้พบได้ไม่มากในการสำรวจครั้งนี้



รูปที่ 37 การวิบัติเนื่องจากช่องเปิดของกำแพงอิฐก่อ ทำให้เกิดลักษณะเสาสั้น ซึ่งทำให้เสาคอนกรีตวิบัติจากแรงเฉือน การวิบัติในเสาสั้นเคยเกิดขึ้นที่โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงราย เมื่อปี 2557 เกิดจากการทำช่องหน้าต่างและช่องแสงที่เหนือกำแพงที่ก่อทับ เสาที่อยู่ในระดับเดียวกับช่องเปิดเรียกว่า “เสาสั้น” จะเกิดการวิบัติแบบเฉือน รอยแตกเป็นแนวทแยงและจะสูญเสียกำลังรับน้ำหนักแนวดิ่งเพราะส่วนบนจะไถลลงมาแล้วถูกผลักออกด้านข้าง ดังรูปที่ 38

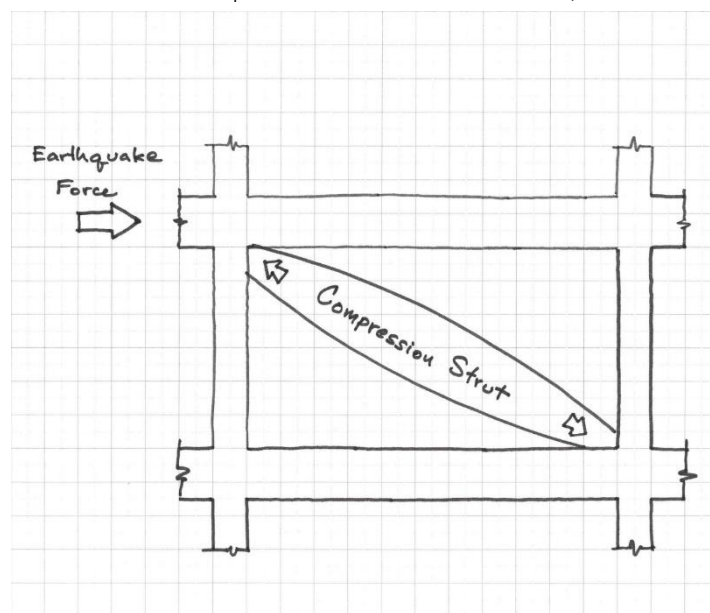


รูปที่ 38 การวิบัติแบบเฉือนในเสาทำให้เสาสูญเสียกำลังรับน้ำหนักแนวดิ่ง ซึ่งพบมากในประเทศไทยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวแม่ลาว จังหวัดเชียงราย เมื่อปี 2557

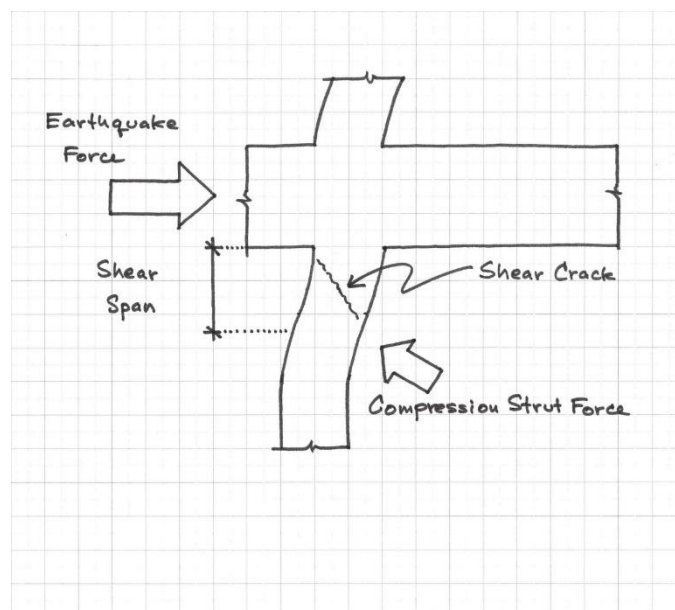
การวิบัติแบบเฉือนในเสาใกล้จุดต่อเนื่องจากกลไกการค้ำยันด้วยแรงอัดในกำแพงอิฐ

ในระหว่างที่อาคารถูกกระทำโดยแรงแผ่นดินไหว โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้านทานแรงไปพร้อมกับกำแพงอิฐก่อซึ่งมีค่าสติฟเนสด้านข้างสูงกว่าโครงข้อแข็ง กล่าวโดยง่ายคือ ภายใต้แรงกระทำแนวราบที่เท่ากัน โครงข้อแข็งจะเคลื่อนที่ไปมากกว่ากำแพง หรือถ้าหากโครงสร้างถูกผลักให้เคลื่อนที่ในแนวราบด้วยระยะที่เท่ากัน แรงต้านทานจากกำแพงจะมากกว่าแรงต้านทานจากโครงข้อแข็ง

กลไกการต้านทานแรงด้านข้างของกำแพง จะเป็นการยันจากมุมกำแพงด้านหนึ่งด้านล่างขึ้นไปสู่มุมกำแพงด้านบนในฝั่งตรงกันข้าม (แนวทแยงมุม) ซึ่งแรงต้านจากการยันดังกล่าวกระทำบริเวณมุมเสาและคานทั้งนี้ การเกิดการยันจากแรงอัดนี้เป็นแบบสลับไปมาระหว่างแนวทแยงมุมทั้งสองเส้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมของแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 39 ภาพแสดงการค้ำยันภายใต้แรงอัดที่เกิดจากกำแพงที่ต้านทานแรงกระทำจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 40 กลไกการเกิดความเสียหายจากแรงเฉือนในเสา อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการค้ำยันด้วยแรงอัดจากกำแพงอิฐก่อ



รูปที่ 41 การวิบัติของเสาจากแรงเฉือนบริเวณใกล้มุมอันเนื่องจากการต้านทานแรงดัดข้างของโครงข้อแข็งร่วมกับผนังอิฐ ในเขต Sithapaila



รูปที่ 42 ภาพขยายเสาบริเวณมุมด้านบนที่เกิดแรงต้านทานในแนวเฉียงจากกำแพงอิฐก่อ โดยรูปแบบการวิบัติของเสาเป็นการวิบัติจากแรงเฉือน (ระนาบการเสียหายของเสาเป็นแนวเฉียงบนระนาบของหน่วยแรงดึงสูงสุด)

การวิบัติที่เกิดจากการกระทบของโครงสร้างข้างเคียง (pounding)

เนื่องจากสภาพเมืองในพื้นที่ชุมชนของประเทศเนปาลมีความแออัด หนาแน่นมาก ในการก่อสร้างอาคารจึงพยายามที่จะใช้พื้นที่ใช้สอยให้มากที่สุด อาคารที่ก่อสร้างจึงอยู่ติดกันและแทบจะไม่มีช่องว่างเพื่อไว้สำหรับการป้องกันการกระทบของโครงสร้าง (pounding) โดยความเสียหายจากการกระทบที่ชัดเจน มาจากตึกที่มีความสูงของชั้นไม่เท่ากัน ทำให้

พื้นของอาคารหนึ่ง (ซึ่งแข็งแรงมากในแนวระนาบ) กระแทกที่เสาของอาคารข้างเคียง ทำให้เกิดการเสียหายของเสาอาคารได้ ซึ่งในบางกรณีอาจนำไปสู่การวิบัติต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากการเสถียรภาพด้านทานแรงโน้มถ่วงขององค์อาคาร

จากมาตรฐานการประเมินอาคารในการต้านทานแผ่นดินไหวของต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกาและนิวซีแลนด์ต่างตารางที่ได้กำหนดว่าในการก่อสร้างจะต้องเว้นระยะระหว่างอาคารข้างเคียงร้อยละ 4 ของความสูงสำหรับสหรัฐอเมริกา หรือ ร้อยละ 1 สำหรับนิวซีแลนด์ แต่อาคารในเนปาลส่วนมากจะสร้างชิดติดกันหรือมีการเว้นระยะห่างน้อยมากจนทำให้เกิดการกระแทกกัน ในทางปฏิบัติในบางประเทศที่ลักษณะที่ดินเป็นแบบตึกแถวริมถนน เช่น เนปาล หรือไทย การเว้นระยะห่างระหว่างอาคารจะทำให้เสียพื้นที่ในการก่อสร้าง หรืออาคารสร้างไว้อยู่เดิมไม่ได้มีการเว้นระยะไว้ ซึ่งหากจำเป็นต้องทำการก่อสร้างใกล้กับอาคารข้างเคียงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ มี 2 แนวทางบรรเทาความเสียหาย คือ

1. การยึดให้ทั้งสองอาคารเชื่อมติดกันโดยการเชื่อมต่อที่แข็งแรงพอจะทำให้เสมือนเป็นอาคารเดียว ก็จะไปพร้อมกัน ไม่เกิดการกระแทก
2. หากไม่สามารถยึดติดกันได้ ควรทำให้ระดับพื้นแต่ละชั้นของอาคารที่อยู่ใกล้กันมีระดับเท่าๆ กัน เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ระดับพื้นที่อาคารหนึ่งกระแทกไปที่ช่วงกลางเสาของอีกอาคารจนทำให้เสาวิบัติและเกิดความเสียหายที่รุนแรงถึงชั้นอาคารถล่ม ถึงแม้จะมีการกระแทกที่พื้นของอาคารข้างเคียงแต่ก็ยังช่วยหลีกเลี่ยงการเสียหายของเสาและผนังอิฐจากการกระแทก



รูปที่ 43 ภาพความเสียหายของเสาบริเวณชั้น 4 อันเนื่องจากการถูกกระแทกโดยอาคารข้างเคียงที่เกิดการถล่มในเขต Sithapaila



รูปที่ 44 ความเสียหายเฉพาะที่ของโครงสร้างเสาบริเวณชั้นสองที่ถูกกระแทกโดยอาคารข้างเคียง ในเขต Sithapaila



(ก)

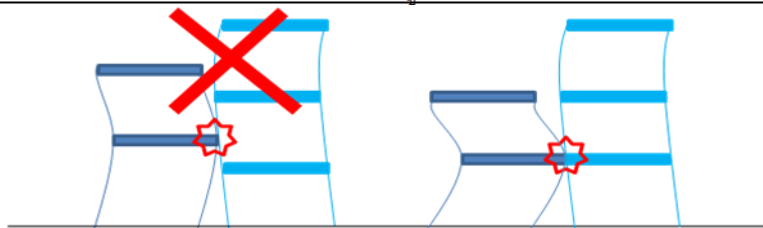


(ข)

รูปที่ 45 (ก) อาคารพักอาศัยหลังหนึ่งถูกอาคารข้างเคียงล้มมากระแทกในเขต Sithapaila (ข) อาคารพาณิชย์ริมถนน
สันเขาที่เมือง Sangachok ระหว่างทางไปเมือง Chautara โดนอาคารข้างเคียงกระแทกจนเกิดความเสียหายที่ผนังอิฐ
และเสา โดยอาคารข้างเคียงพังถล่มไปแล้ว

ตารางที่ 1 เกณฑ์การเว้นระยะระหว่างอาคารในมาตรฐานต่างประเทศเพื่อป้องกันการกระแทกระหว่างอาคารข้างเคียง

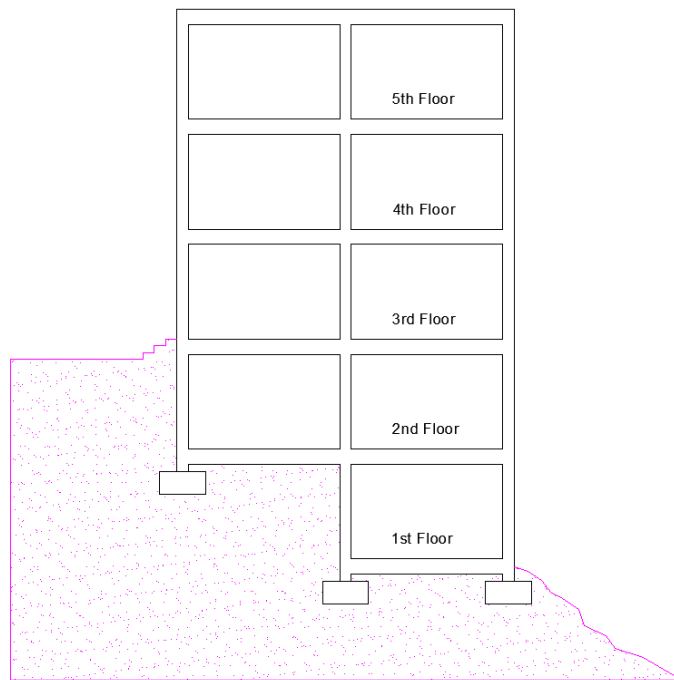
มาตรฐาน	เกณฑ์ด้านอาคารข้างเคียง
ASCE	การชนของอาคารเกิดเมื่อมีส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารข้างเคียงอยู่ในระย่น้อยกว่า 4% ของความสูงอาคารจากพื้นถึงจุดที่อาจเกิดการปะทะ
NZSEE	การกระแทกของอาคาร (pounding) - แบบรุนแรง (severe) เมื่อระยะห่าง (separation) ระหว่างอาคารอยู่ระหว่าง 0 – 0.005 เท่าของความสูง - แบบมีนัย (significant) เมื่อระยะห่าง (separation) ระหว่างอาคารอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.01 เท่าของความสูง - แบบไม่สำคัญ (insignificant) เมื่อระยะห่าง (separation) ระหว่างอาคารมากกว่า 0.01 เท่าของความสูง



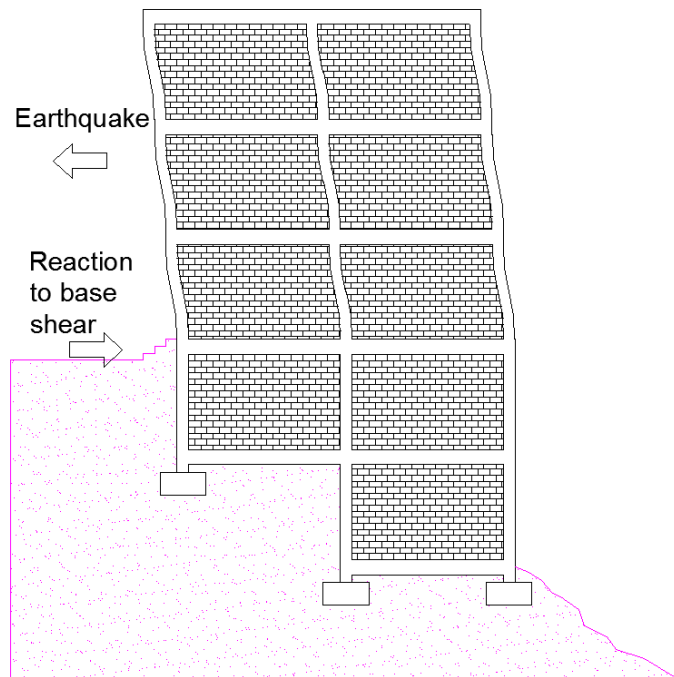
รูปที่ 46 ควรหลีกเลี่ยงการกระแทกของพื้นกับเสาอาคารข้างเคียง การกระแทกระหว่างพื้นกับพื้นอาจเกิดความเสียหายบ้างแต่ไม่ทำให้เสาวิบัติ

การวิบัติของโครงสร้างที่สร้างติดลาดเขาหรือพื้นที่ลาดชัน (hill-side buildings)

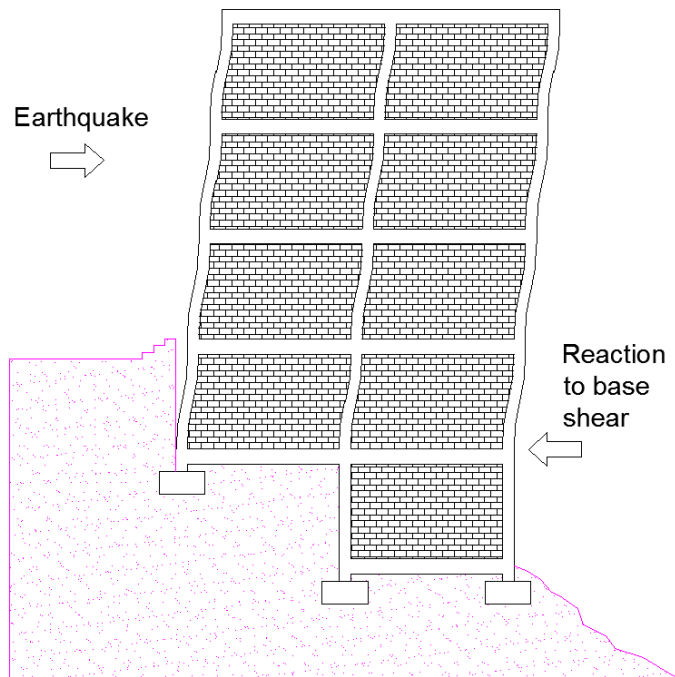
จากภูมิประเทศซึ่งเป็นแนวเทือกเขาเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับความนิยมในการปลูกสร้างอาคารข้างถนนซึ่งวิ่งตามแนวยอดเขาทำให้โครงสร้างจำนวนมากที่สร้างติดลาดเขามีค่าสติฟเนสในแนวราบที่แตกต่างกันในทิศทางตรงข้ามกัน อันเนื่องจากการมีลาดเขาช่วยทานด้านแรงด้านข้างในขณะที่ทิศทางเคลื่อนที่ของอาคารเข้าหาเขา แต่ไม่มีแรงต้านทานขณะที่เคลื่อนที่ออกจากเขา (อธิบายตามภาพประกอบด้านล่าง)



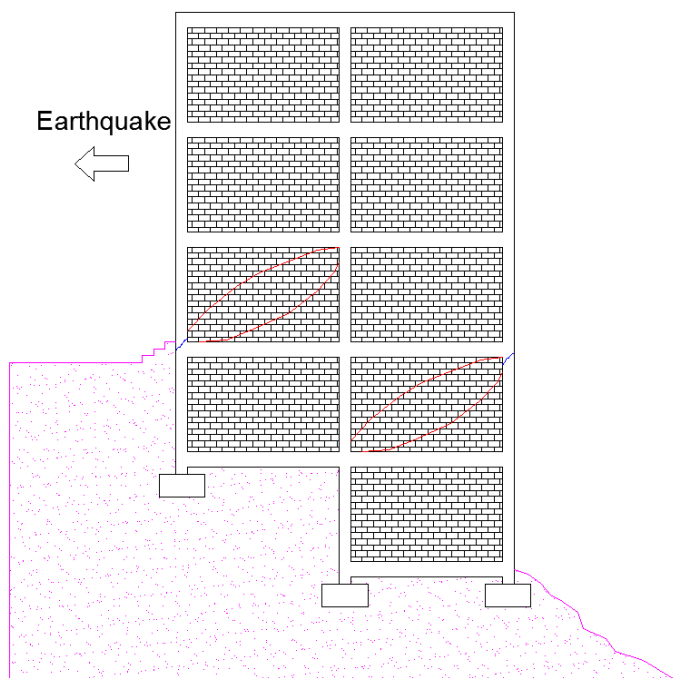
รูปที่ 47 ลักษณะโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งสร้างบริเวณติดลาดเขา ซึ่งทำให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างไม่สมมาตร ทั้งในแง่ของโครงสร้างคอนกรีต และระบบฐานรากรวมถึงมวลดินที่มีผลต่อการต้านทานแรงทางด้านข้าง



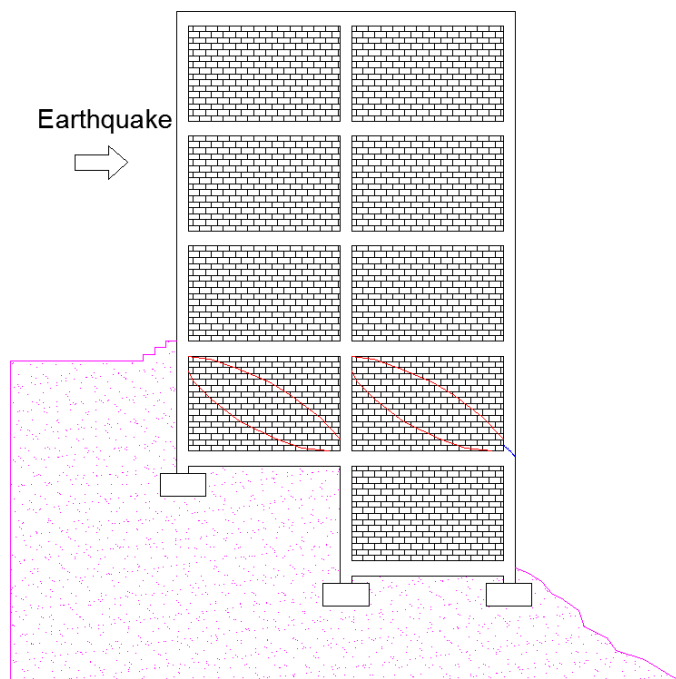
รูปที่ 48 ภาพแสดงการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวในทิศทางไปด้านซ้ายมือ โดยแรงเฉือนที่ฐาน (base shear) จะถูกต้านทานโดยดินที่ระดับพื้นชั้น 3



รูปที่ 49 ภาพแสดงการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวในทิศทางไปด้านขวามือ โดยแรงเฉือนที่ฐาน (base shear) จะถูกต้านทานโดยฐานรากที่ระดับพื้นชั้น 2



รูปที่ 50 การเกิดการค้ำยันจากแรงอัดในกำแพงอิฐก่อ ภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวไปทางด้านซ้าย ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายจากการเฉือนในเสาซึ่งแสดงให้เห็นบริเวณรอยร้าวสีน้ำเงินที่เสาริมซ้ายสุด และที่เสาริมขวาสุด



รูปที่ 51 การเกิดการค้ำยันจากแรงอัดในกำแพงอิฐก่อ ภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวไปทางด้านขวา ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายจากการเฉือนในเสาซึ่งแสดงให้เห็นบริเวณรอยร้าวสีน้ำเงินที่เสาริมขวาสุด

จากภาพประกอบด้านบน จะพบว่า แรงแผ่นดินไหวในทิศทางที่ตรงข้ามกันมีขนาดไม่เท่ากัน โดยแรงในทิศทางที่หลักออกจากลาดเขามีขนาดมากกว่าแรงที่หลักเข้าหาเขา เนื่องจากผลของการต้านทานจากดินมีไม่เท่ากันในการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้นแล้ว ความเสียหายของโครงสร้างจากแรงแผ่นดินไหวที่หลักโครงสร้างออกจากลาดเขาจะมีมากกว่า กล่าวคือเสาต้นริมด้านขวาของรูปภาพจะเกิดการเสียหายและพังทลายก่อนเสาที่อยู่ด้านซ้ายมือ ทำให้โครงสร้างส่วนทางขวาวិบัติและดึงทั้งอาคารตกลงไปทางลาดเขา



รูปที่ 52 ภาพความเสียหายของเสาด้านลาดเขา (ขวามือ) อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการค้ำยันด้วยแรงอัดจากกำแพงอิฐก่อ ในเขต Lamosangh ความเสียหายที่พบหลักๆมีสองจุด คือเสาด้านหน้าอาคาร (ทางซ้ายมือ) ที่เกิดความเสียหายจากแรงเฉือน อีกจุดหนึ่งอยู่ด้านลาดเขา ที่ไม่มีพื้นดินช่วยต้านทานแรงด้านข้าง



รูปที่ 53 ภาพความเสียหายของเสาด้านลาดเขา (ขวามือ) อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการค้ำยันด้วยแรงอัดจากกำแพงอิฐก่อ ในเขต Sangachok



รูปที่ 54 ภาพความเสียหายของเสาด้านลาดเขา (ขวามือ) อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการค้ำยันด้วยแรงอัดจากกำแพงอิฐก่อ (ในรูป กำแพงอิฐได้ถูกรื้อถอนออกไปแล้ว) ในเขต Sangachok



รูปที่ 55 อาคารที่พังทลายลงอย่างสิ้นเชิง ในเขต Sangachok โดยสันนิษฐานว่าเกิดจากกลไกการวิบัติของโครงข้อแข็งที่มีพฤติกรรมการต้านทานแรงด้านข้างที่ไม่สมมาตร

อาคารสูง

อาคารสูงที่คณะสำรวจได้ไปตรวจสอบจากภายนอกคืออาคาร Park View Horizon ซึ่งอยู่ใกล้กับ Sitapaila และ Swayambhu พบว่าเป็นอาคารสูง 16 ชั้น ตั้งอยู่ริมเนินเขา ได้มีผู้เสียชีวิต 1 ราย ถึงแม้โครงสร้างหลักของอาคารยังไม่วิบัติ อาคารยังไม่ถล่ม แต่อิฐที่หล่นลงมาเป็นอันตรายถึงชีวิต ขณะที่ผู้พักอาศัยอพยพออกจากอาคาร จึงเป็นข้อควรระวังที่ทางออกอาคารควรมีการป้องกันวัสดุด้านบนหล่นมาใส่เป็นระยะที่เพียงพอที่จะพ้นรัศมีที่วัสดุจะหล่นลงมา ความเสียหายต่อผนังอิฐชัดเจนว่าเสียหายมากที่ชั้นล่างๆ และเสียหายน้อยที่ชั้นบนๆ รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นมากที่ชั้นล่างๆ บ่งชี้ว่าอาคารนี้ไม่มีกำแพงคอนกรีตรับแรงด้านข้าง การรับแรงด้านข้างอาศัยการดัดของโครงเสาคาน ซึ่งที่ชั้นล่างๆ จะมีแรงด้านข้างสะสมเพื่อถ่ายลงสู่ฐานรากมากกว่าชั้นบนๆ ทำให้มีการดัดตัวของเสาคานและมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นและความเสียหายในผนังอิฐก่อมากที่ชั้นล่างๆ



रूपी 56 कनोडोमिनेयम Horizon Park View सुग 16 चूनमीकवमसेयहयमकतडेनङओरुतडेचूनलङङ

ข้อสังเกตอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของโครงสร้าง

การใช้งานอาคารที่มีความเสี่ยงสูง

ที่เมือง Sitapaila ประชาชนยังคงใช้บริการร้านอาหารที่ตั้งอยู่ข้างอาคารสูง 4 ชั้นที่วิบัติไปแล้วที่ชั้นล่างและมีแนวโน้มที่จะล้มมาทับร้านอาหาร แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ประชาชนไม่มีทางเลือกอื่นนอกเหนือจากการใช้งานอาคารที่มีความเสี่ยง หรือประชาชนไม่ตระหนักถึงความเสี่ยงที่อันตรายถึงขั้นเสียชีวิต



รูปที่ 57 ร้านอาหารที่มีเสี่ยงจากอาคาร 4 ชั้นข้างเคียงจะล้มมาทับเนื่องจากชั้นล่างที่อ่อนแอได้วิบัติไปแล้ว

ประตูเหล็กม้วนอาจมีส่วนช่วยรับแรง

ที่เมือง Sitapaila มีอาคารถล่มหลายหลังตามแนวถนน อาคารอิฐหลังหนึ่งซึ่งมีสภาพไม่ค่อยแข็งแรง แต่ยังไม่พังลงมา สันเกตว่ามีประตูเหล็กม้วนด้านหน้า อุปกรณ์ของประตูเหล็กม้วนอาจช่วยต้านทานแรงได้ระดับหนึ่ง เช่นรางของ ประตูซึ่งเป็นเหล็กติดตั้งอยู่ด้านข้างเสา จะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงของเสาได้ส่วนหนึ่ง



รูปที่ 58 อาคารที่อยู่ตามแนวถนนที่เมือง Sitapaila ถล่มหลายหลังแต่มีบางหลังที่ไม่ถล่มสังเกตว่ามีประตูเหล็กม้วน อยู่ด้านหน้าซึ่งอ่อนแอหวาด้านอื่นที่มีผนังอิฐ

การค้ำยันเพื่อป้องกันการถล่ม

อาคารที่มีความเสี่ยงที่จะถล่มเนื่องจาก aftershock ถูกค้ำยันเพื่อรับน้ำหนักแทนเสาที่เสียหาย ซึ่งพบว่า H200 เป็นที่นิยมใช้ในรับน้ำหนักแทนเสาในเกือบทุกอาคารตึกแถว คสล. ที่มีการค้ำยัน

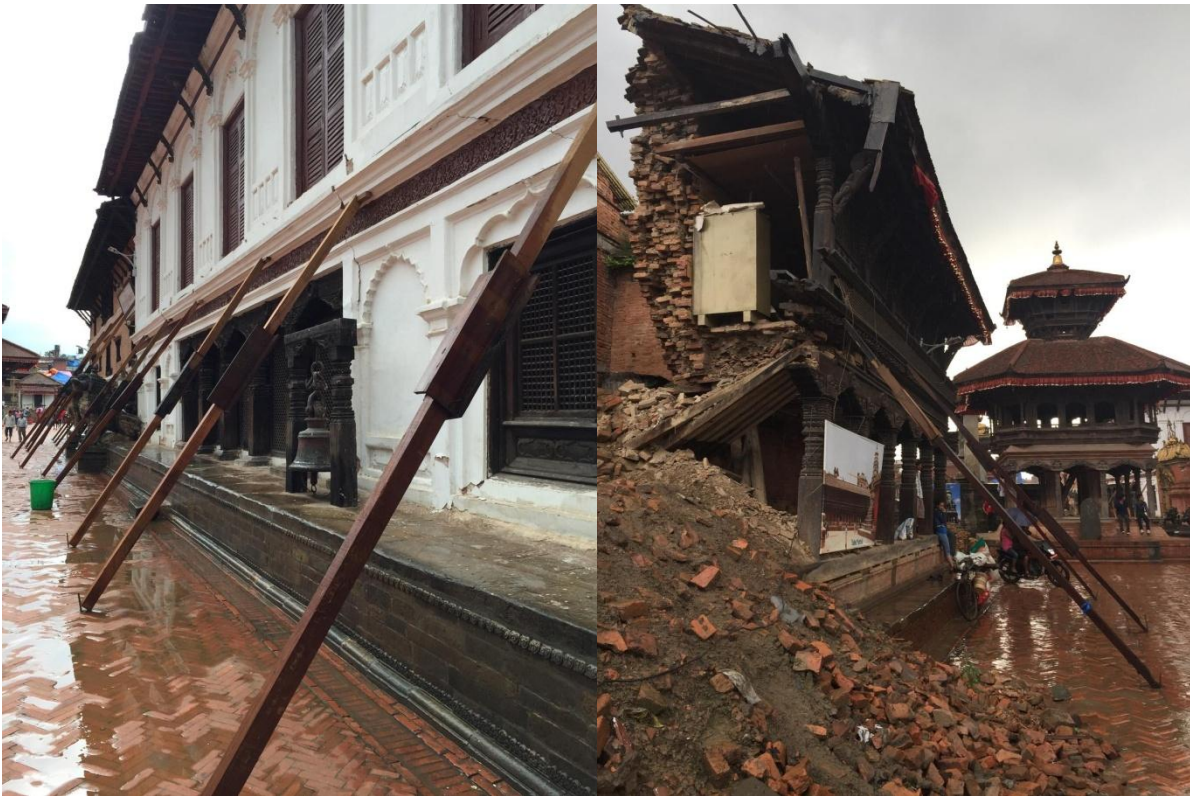


รูปที่ 59 อาคารโรงแรมแบบตึกแถวย่าน Gongabu มีความเสียหายรุนแรงที่เสา เจ้าของอาคารจึงใช้เหล็กรูปพรรณค้ำยันไว้ไม่ให้อาคารถล่มลงมา



รูปที่ 60 อาคาร คสล. 4 ชั้นหลังหนึ่งในเมือง Chautara มีความเสียหายรุนแรงที่เสา เจ้าของอาคารจึงใช้เหล็ก
รูปพรรณ H200 ค้ำยันไว้ไม่ให้อาคารถล่มลงมา

ผนังอิฐก่อของอาคารโบราณสถานและตึกแถวทั่วไปมักจะใช้ไม้ขนาด 10x10 ซม.เป็นค้ำยันทแยงช่วยพยุง
ไม่ให้ผนังอิฐเกิดการเคลื่อนที่ออกนอกระนาบจนเกิดการถล่ม จุดที่ไม่ยึดกับพื้นมักจะใช้เหล็กเส้นลงในดินเพื่อยึดกับไม้
ไม่ให้ไถลในแนวราบ ดังรูปที่ 61 ตึกแถวที่อยู่ริมถนนเล็กๆ ที่มีระยะห่างจากฝั่งตรงข้ามไม่มากนักมีการใช้ค้ำยันไม้
แบบทแยงจากพื้นและค้ำยันกับอาคารฝั่งตรงข้ามถนน ดังรูปที่ 61



รูปที่ 61 ผนังอิฐของโบราณสถานที่เมือง Bhaktapur มีการค้ำยันเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพด้วยไม้



รูปที่ 62 ผนังอิฐของโบราณสถานที่เมือง Bhaktapur มีการค้ำยันเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพด้วยไม้



รูปที่ 63 ถนนตึกแถวใกล้ Patan Durbar Square มีการค้ำยันเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพด้วยไม้ทั้งแบบค้ำยันทแยงจากพื้นและค้ำยันกับอาคารฝั่งตรงข้าม

การรื้อถอนอาคาร

ลักษณะการรื้อถอนอาคารที่เสียหายเกินกว่าจะซ่อมแซมได้ มักจะเริ่มจากชั้นบนสุดโดยเจาะทำลายพื้นและค่อยๆ ลำเลียงเศษวัสดุลงมาทั้งชั้นล่างโดยอาจใช้รางส่งกะสี ดังรูปที่ 64 หรือเจาะพื้นชั้นล่างที่ถัดลงมาแล้วทิ้งวัสดุให้ผ่านช่องเปิดลงมาถึงชั้นล่างสุดดังรูปที่ เมื่อทุบทำลายพื้นจนหมดแล้วเหลือแต่โครงเสาคาน จึงเริ่มทุบทำลายคานและเสาโดยไล่จากชั้นบนสุดลงมา วัสดุก่อสร้างเช่นอิฐและเหล็กเสริมเป็นสิ่งที่มีความพยายามคัดเลือกและนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำมาขายต่อเป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ และมีการขนย้ายเศษวัสดุไปที่อื่นด้วยรถหกล้อเล็ก



รูปที่ 64 การทุบทำลายอาคารเริ่มจากพื้นชั้นบน และทำการเจาะรูที่พื้นชั้นต่างๆเพื่อทิ้งเศษวัสดุลงมาถึงชั้นล่าง และมีการลำเลียงโดยใช้รางส่งกะสี



รูปที่ 65 การทุบทำลายอาคารเริ่มจากพื้นชั้นบน และทำการเจาะรูที่พื้นชั้นต่างๆเพื่อทิ้งเศษวัสดุลงมาถึงชั้นล่าง และมีการแยกเหล็กเสริมออกมาขายต่อ



รูปที่ 66 การขนส่งเศษวัสดุไปทิ้งด้วยรถบรรทุก

การก่อสร้างใหม่

หลังจากอาคารบ้านเรือนพังทลายไปประมาณ 1 เดือนชาวบ้านเริ่มที่จะสร้างบ้านขึ้นมาใหม่ โดยมีการใช้เสาเหล็กกล่อง 4 นิ้ว หรือท่อเหล็กกลม ก่อนที่จะก่อสร้างผนังด้วยอิฐหรือหินคล้ายรูปแบบเดิมที่พังทลายไปเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยคาดหวังว่าเสาเหล็กเหล่านี้จะช่วยให้บ้านแข็งแรงกว่าเดิม แต่ดูจากลักษณะฐานของเสาเหล่านี้เป็นการพอกคอนกรีตไว้ที่โคนเสาแบบไม่ค่อยมั่นคงมากนัก บางหลังยังคงใช้วิธีการก่อสร้างแบบเดิมซึ่งใช้ไม้เป็นเสาและคานที่ชั้นล่างด้านหน้าอาคาร ซึ่งเป็นรูปแบบเดิมที่เคยพังทลายไปจึงไม่น่าจะปลอดภัยกว่าเดิม



รูปที่ 67 การก่อสร้างบ้านอิฐก่อคล้ายเดิมแต่มีการเพิ่มเสาเหล็กกล่อช่วยรับน้ำหนักของหลังคา



รูปที่ 68 การก่อสร้างบ้านอิฐก่อคล้ายเดิมแต่มีการเพิ่มเสาท่อเหล็กกลมช่วยรับน้ำหนักของหลังคา



รูปที่ 69 การก่อสร้างบ้านอิฐก่อคล้ายเดิมแต่มีการเพิ่มเสาท่อนเหล็กกลมช่วยรับน้ำหนักของหลังคา



รูปที่ 70 การก่อสร้างบ้านหินก่อเหมือนรูปแบบเดิม

การซ่อมแซมอาคารที่เสียหาย

อาคารหลายหลังที่เกิดความเสียหายที่ชั้นล่างๆ โดยเฉพาะที่เสา แต่ชั้นบนๆ ยังไม่เสียหายมากนัก ซึ่งได้รับการพนัสนี เหลือง แสดงถึงความเสียหายระดับปานกลาง เจ้าของอาคารพยายามรักษาอาคารไว้โดยใช้เหล็กรูปพรรณ H200 สองท่อนมาค้ำยันข้างเสาที่เกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 71 ซึ่งคาดว่าจะขยายหน้าตัดเสาให้ใหญ่ขึ้นโดยการเทคอนกรีต ปอก เพื่อใช้งานอาคารต่อไป

หลังจากที่ทำการค้ำยันชั่วคราวด้วยเสาเหล็ก เจ้าของอาคารทำการซ่อมเสริมเสาโดยการเทคอนกรีตระหว่าง เสาเหล็กและเสาเก่าที่เสียหายให้เป็นเสาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการเทคอนกรีตทำโดยเจาะรูที่พื้นด้านบนแล้วเทคอนกรีตลง

มาจากชั้นบนจะทำให้คอนกรีตเข้าไปเต็มจนถึงใต้คานและพื้นชั้นบน ดังรูปที่ 72 จากคำบอกเล่าค่าซ่อมแซมเสาต้นละ
ประมาณ 500 USD



รูปที่ 71 อาคารที่เสียหายระดับปานกลาง (สีเหลือง) ที่เจ้าของต้องการใช้งานต่อ ใช้วิธีซ่อมเสริมเสาด้วยเหล็ก H200
สองท่อน



รูปที่ 72 อาคารที่เสียหายระดับปานกลางที่เจ้าของต้องการใช้งานต่อ ใช้วิธีซ่อมเสริมเสาด้วยเหล็ก H200 สองท่อน



รูปที่ 73 การเทคอนกรีตพอกเสาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นมากและผนวกเหล็กค้ำยัน H200 ให้เป็นส่วนหนึ่งของเสาใหม่ โดยการเทคอนกรีตต้องเทจากด้านบนผ่านช่องเปิดให้พื้นบนลงมาเพื่อให้คอนกรีตลงมาเต็มความสูงที่จะรองรับพื้นชั้นบนได้เต็มที่

การพักพิงในที่พักสำหรับผู้ประสบภัยในเต็นท์หรือเพิงสังกะสี

ผู้ประสบภัยพักอาศัยอยู่ในเต็นท์ ขณะที่ยังเป็นฤดูร้อน หากเข้าสู่ฤดูหนาวจะไม่สามารถพักอาศัยในเต็นท์ได้เพราะจะมีอากาศหนาวเกินไป อุณหภูมิประมาณ 0°C ทางหน่วยงานของรัฐควรจะเร่งทำการก่อสร้างที่พักอาศัยให้ทันฤดูหนาวที่กำลังจะมาถึง สำหรับผู้ไร้ที่อยู่อาศัยประมาณ 80,000 คน



รูปที่ 74 ที่พักพิงแบบเต็นท์ที่เมือง Bhaktapur



รูปที่ 75 ที่พักพิงแบบเพิงสังกะสีที่เมือง Khadichaur

ในเมือง Bhaktapur ชาวบ้านใช้น้ำอุปโภคจากบ่อน้ำ ส่วนบนภูเขาชาวบ้านใช้น้ำจากลำธารหรือแม่น้ำตามธรรมชาติ



รูปที่ 76 บ่อน้ำในเมือง Bhaktapur

การจัดการที่ศูนย์ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยเมือง Chautara

เมือง Chautara เป็นเมืองใหญ่บนภูเขาทางตะวันออกของกรุงกาฐมาณฑุ ในแคว้น Sindhupalchok ที่ได้รับกระทบจากแผ่นดินไหวมากจึงมีการตั้งศูนย์ช่วยเหลือผู้ประสบภัยที่รวมความช่วยเหลือจากนานาชาติ ดังรูปที่ 77



รูปที่ 77 ศูนย์ช่วยเหลือผู้ประสบภัยที่เมือง Chautara

ภายในศูนย์ฯ มีเต็นท์สำหรับเด็กทำกิจกรรมสันทนาการและโรงพยาบาล ดังรูปที่ 78



รูปที่ 78 เต็นท์สำหรับให้เด็กทำกิจกรรมสันติภาพและเต็นท์สำหรับเป็นโรงพยาบาล
พื้นที่โดยรอบมีการทำทางระบายน้ำไม่ให้น้ำท่วมขังพื้นที่ ดังรูปที่ 79



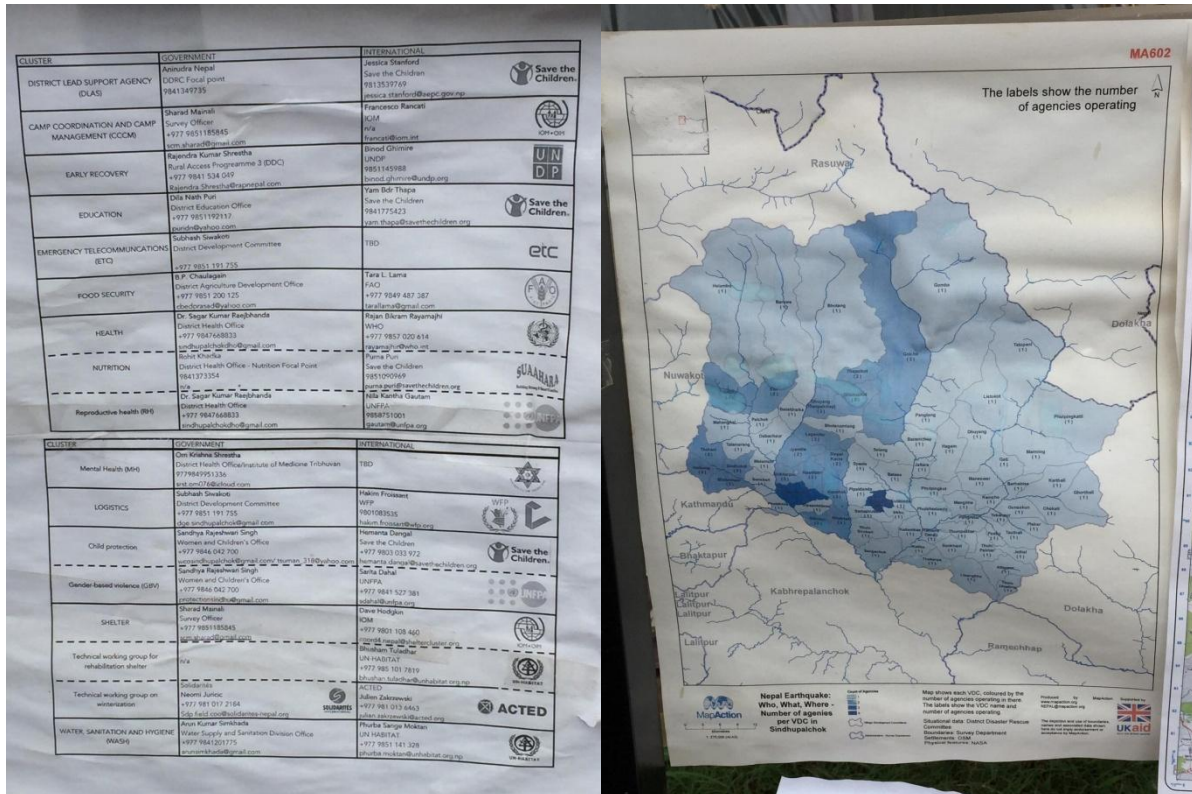
รูปที่ 79 พื้นที่โดยรอบมีการทำทางระบายน้ำไม่ให้น้ำท่วมขังพื้นที่โดยใช้อิฐ

มีถังเก็บน้ำสะอาดให้บริการประชาชน ดังรูปที่ 80



รูปที่ 80 ถึงเก็บน้ำสะอาดให้บริการประชาชน

การประสานงาน แบ่งความรับผิดชอบของหลายหน่วยงานที่ให้ความช่วยเหลือ มีการกำหนดความรับผิดชอบและผู้ประสานงานอย่างชัดเจนเพื่อให้ครอบคลุมการให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และชุมชนต่างๆในพื้นที่ห่างไกล



รูปที่ 81 การติดต่อสื่อสารและแผนผังแสดงจำนวนหน่วยงาน (agency) ที่ให้ความช่วยเหลือที่เมืองต่างๆในแคว้น Sindhupalchok district

จากข้อมูลที่ดีดประกาศไว้ในวันที่ไปสำรวจ 15 ก.ค. 2558 ในแคว้นนี้มีผู้เสียชีวิต 3213 คน, บาดเจ็บ 859 คน อาคารเอกชนเสียหายทั้งหมด 44310 หลัง เสียหายบางส่วน 18991 หลัง จำนวนครัวเรือน 66688 ครอบครัว จำนวนประชากร 287798 คน (สำมะโนประชากรปี 2011)

ระบบสาธารณูปโภค

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่บนเสาได้รับการยึดรั้งไม่ให้ตกลงมา



รูปที่ 82 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่บนเสาได้รับการยึดรั้งไม่ให้ตกลงมา

สะพาน

ไม่พบการพังทลาย ชาวบ้านใช้สะพานแขวนในการเดินหรือจักรยานข้ามแม่น้ำ





รูปที่ 83 สะพานแขวนในการเดินหรือจักรยานข้ามแม่น้ำ

4. ความเสียหายต่อโครงสร้างโบราณสถาน

ประเทศเนปาลมีชื่อเสียงด้านวัฒนธรรมเป็นอย่างมาก โดยปรากฏเป็นสิ่งปลูกสร้างที่สะท้อนถึงวัฒนธรรมที่เก่าแก่และสืบสานมาหลายร้อยปี และองค์กร UNESCO ได้ขึ้นทะเบียนให้แหล่งวัฒนธรรมจำนวน 7 แห่งในกรุงกาฐมาณฑุเป็นมรดกโลก (UNESCO World Heritage) ได้แก่ (1) Kathmandu Durbar Square (2) Bhaktapur Durbar Square (3) Patan Durbar Square (4) Pashupatinath (5) Changu Narayan (6) Swayambhu และ (7) Boudhanath

จากการประมาณการโดยรัฐบาลประเทศเนปาล มูลค่าความเสียหายทั้งหมดจากแผ่นดินไหวครั้งนี้ประมาณ 7 พันล้านเหรียญสหรัฐ คิดเป็นมูลค่าความเสียหายต่อโบราณสถานประมาณ 193 ล้านเหรียญสหรัฐ (หรือประมาณ 2.75%) ส่วนความต้องการงบประมาณสำหรับการฟื้นฟูโบราณสถานประมาณ 206 ล้านเหรียญสหรัฐ (หรือคิดเป็น 3.1% จากความต้องการทั้งหมด) โดยตัวเลขมูลค่าความเสียหายตรงนี้แม้เป็นเพียงส่วนเล็กน้อย แต่ความเสียหายต่อโครงสร้างโบราณสถานก่อให้เกิดผลกระทบอย่างหนักต่อธุรกิจการท่องเที่ยวซึ่งเป็นหนึ่งในรายได้หลักเข้าประเทศ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อจิตใจของประชาชนและศาสนิกชนอย่างประเมินค่ามิได้

จำนวนโบราณสถานเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหวครั้งนี้มีประมาณ 750 หลัง และมีประมาณร้อยละ 50 ที่พังถล่ม สำหรับพื้นที่ที่ได้ไปสำรวจพบว่าความเสียหายส่วนใหญ่เกิดกับโครงสร้างที่อ่อนแออยู่แล้วเนื่องจากสาเหตุหลักจากคุณภาพของวัสดุและระบบโครงสร้าง และการขาดการบำรุงรักษา ประกอบกับสาเหตุอื่น ๆ เช่น คุณลักษณะที่ไม่เพียงพอต่อการต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว เช่น น้ำหนักมาก รูปทรงไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น อายุของโครงสร้าง รวมทั้ง

สภาพทางภูมิประเทศ หรือสภาพของดิน ตัวอย่างความเสียหายที่พบกับโครงสร้างอาคารที่สร้างจากอิฐก่อโดยทั่วไป แสดงดังรูปที่ 84 ซึ่งเป็นอาคารใน Kathmandu Durbar Square ที่พบว่าเกิดการพังถล่มของกำแพงอิฐก่อที่มีกำลังต่ำ โดยเฉพาะการยึดเหนี่ยวระหว่างอิฐ อายุเก่าแก่ รวมทั้งมีน้ำหนักมากทำให้มีแรงจากแผ่นดินไหวมากด้วย



รูปที่ 84 อาคารโบราณสถานแบบอิฐก่อที่เสียหายในเขต Kathmandu Durbar Square

ความเสียหายอีกรูปแบบที่พบโดยทั่วไปกับโครงสร้างที่มีความสูง และมีรูปทรงที่มีบางตำแหน่งอ่อนแอ เช่น โครงสร้างรูปเจดีย์ ที่ปลายด้านบนมีการเปลี่ยนรูปทรงต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นจุดอ่อนของโครงสร้าง มีกำลังต้านทานการเคลื่อนตัวตามแนวราบต่ำ เมื่อเกิดการโยกตัวของโครงสร้างจึงมักเกิดความเสียหายที่บริเวณเหล่านั้น ดังแสดงในรูปที่

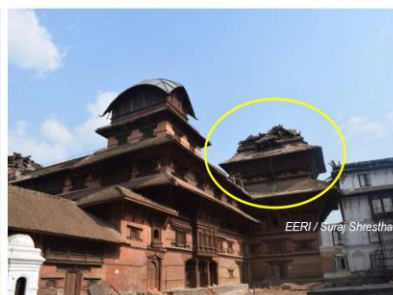
85



Taleju Temple in
Patan DS



JayaBageshwori
Temple at Gaushala



Nine storey palace
in Kathmandu DS

รูปที่ 85 ตัวอย่างลักษณะความเสียหายของบริเวณยอดเจดีย์ (ภาพจาก S. Shrestha ในรายงานการสำรวจของ EERI 2015)

อย่างไรก็ตามมีตัวอย่างที่สำคัญที่แสดงถึงประโยชน์ของการบำรุงรักษาที่สามารถช่วยให้โบราณสถานไม่พังถล่มลงมา ได้แก่ที่วัด Swayambhu โดยในรูปที่ 86 แสดงให้เห็นถึงสถูป 2 หลังที่เคยมีรูปร่างเหมือนกัน สถูปด้านซ้ายมือคือ Anantapur และด้านขวามือคือ Pratappur โดยพบว่าสถูป Anantapur เสียหายรุนแรงแต่ Pratappur ไม่ได้รับความเสียหาย ซึ่งสาเหตุหลักคือสถูป Pratappur เคยถูกฟ้าผ่าและเกิดไฟไหม้ในปี ค.ศ. 2003 และ 2011 จึงทำให้มีการซ่อมแซมและทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเมื่อเปรียบเทียบกับ Anantapur ดังนั้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนี้ สถูป Pratappur จึงยังมั่นคงอยู่ได้



รูปที่ 86 ความเสียหายของสถูปที่วัด Swayambhu

(ภาพจาก <http://albinger.me/tag/swayambhu-before-and-after-earthquake>)

อีกตัวอย่างที่สำคัญคือโบราณสถานในเขต Bhaktapur Durbar Square ในรูปที่ 87 ซึ่งอาคารเหล่านี้เคยเสียหายหนักจากแผ่นดินไหวใหญ่ปี ค.ศ. 1934 และก่อนแผ่นดินไหวครั้งนี้ อาคารด้านซ้ายมือคือ 55 Windows Palace และอาคารตรงกลางคือ Chyasilin Mandap ได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวไว้ โดยที่บริเวณหัวเสาชั้นล่างได้มีการเสริมโครงสร้างหลักไว้ ดังรูป 88 เพื่อเสริมกำลังต้านทานการเคลื่อนตัวในแนวนอน และสามารถรักษาให้ทั้งอาคารยังมั่นคงอยู่ได้อย่างดี แต่อาคารขวามือคือ Vat Sala เหลือเพียงแท่นฐานและกองหินที่พังถล่มลงมาเนื่องจากไม่มีการป้องกันแผ่นดินไหวเอาไว้

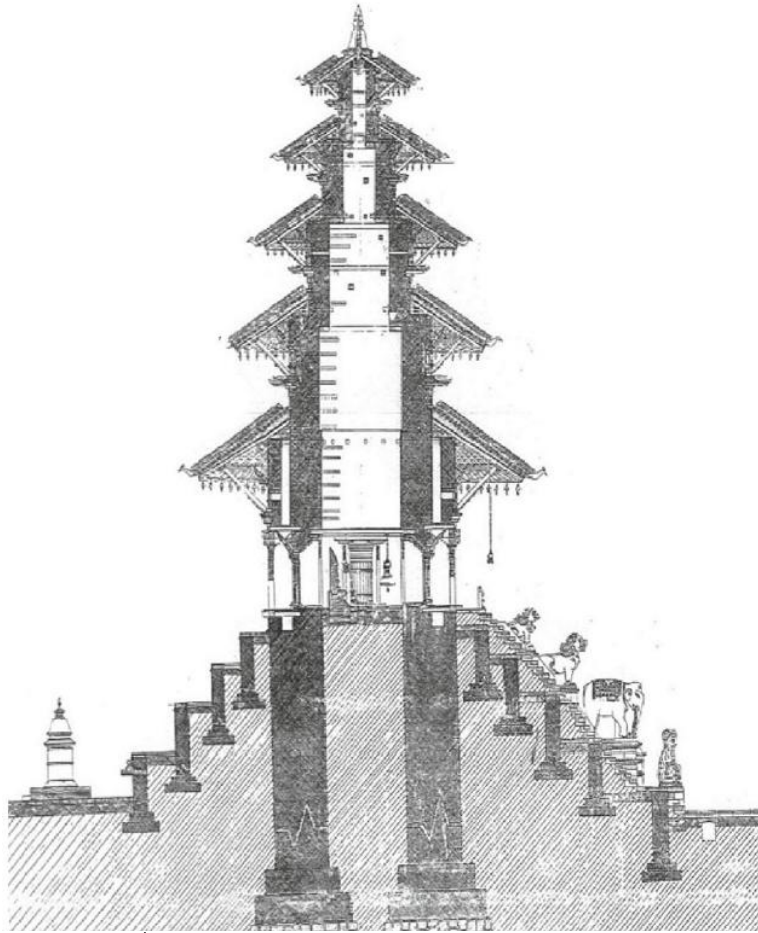


รูปที่ 87 กลุ่มอาคารโบราณสถานในเขต Bhaktapur Durbar Square มรดกโลก



รูปที่ 88 ลักษณะการเสริมกำลังของอาคาร Chyasilin Mandap

นอกจากนี้ในเขต Bhaktapur Durbar Square มีเจดีย์ Nyatopol ที่เป็นเจดีย์ที่สูงที่สุดในประเทศเนปาล (สูงประมาณ 22 เมตร) สร้างในยุคศตวรรษที่ 18 เจดีย์แห่งนี้ได้รับการศึกษาวิจัยด้านลักษณะทางวิศวกรรมลพฤติกรรม ด้านทานแผ่นดินไหวอย่างละเอียด โดยได้มีบทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติหลายเรื่อง ซึ่งแสดงถึงการให้ความสำคัญต่ออาคารโบราณสถานและจะนำไปสู่การวางแผนการบูรณะและบำรุงรักษาที่ดีในอนาคตได้



รูปที่ 89 ลักษณะทางโครงสร้างของเจดีย์ Nyatopol

(รูปจาก M. Shakya และคณะ Seismic sensitivity analysis of the common structural components of Nepalese Pagoda temples, Bull Earthquake Eng (2014))

5. สรุปบทเรียนจากแผ่นดินไหวประเทศเนปาล

ภาพรวมความเสียหายที่พบ

แผ่นดินไหวครั้งนี้ส่งผลกระทบรุนแรงเป็นวงกว้าง ทำให้ระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน การใช้ชีวิต การค้าขาย การเรียนการสอนในโรงเรียนและมหาวิทยาลัย ต้องหยุดลงประมาณ 1-2 สัปดาห์ ก่อนที่จะเริ่มกลับมาอีกครั้ง และเริ่มที่จะมีการก่อสร้างทดแทนอาคารที่เสียหายภายใต้นโยบาย “Build Back Better” ของรัฐบาล ความเสียหายที่พบจะรุนแรงมากเป็นบางบริเวณ ซึ่งเชื่อว่าน่าจะมีปัจจัยมาจากลักษณะการก่อสร้างอาคาร ร่วมกับผลของลักษณะที่ตั้งอาคาร Site Effect ผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่พบเห็นได้ คือการพังถล่มของอาคารทำให้ผู้ที่อยู่อาศัยเสียชีวิต และสร้างผลกระทบต่อชุมชน ดังนั้นปัจจัยการพังถล่มของอาคารจึงยังเป็นภัยที่ร้ายแรงที่สุดจากแผ่นดินไหว ดังที่มีผู้กล่าวไว้ว่า “Earthquakes do not kill, unsafe buildings do”

จากการลงสำรวจพบอาคารที่มีความเสียหาย พบรูปแบบความเสียหายหลากหลายรูปแบบ ในหลายๆ พื้นที่ ความเสียหายหลักจะเกิดในอาคารแบบพื้นบ้านเช่น อาคารหินก่อ อาคารอิฐก่อ (รูปที่ 90) อาคารประเภทนี้ โดยตัวระบบ

เองมีกำลังและความเหนียวต่ำ จึงถล่มลงได้ง่าย ส่วนอาคารสมัยใหม่ (รูปที่ 91) ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก และใช้ผนังอิฐก่อ ในภาพรวมเกิดความเสียหายน้อยกว่าอาคารแบบดั้งเดิม แต่ในบางอาคารก็มีความเสียหายรุนแรง ดังนั้นการที่อาคารเกิดความเสียหายและพังถล่มลงมาจึงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยนอกจากลักษณะทางโครงสร้างของอาคาร



รูปที่ 90 ลักษณะความเสียหายของอาคารแบบดั้งเดิมประเภทอิฐก่อ



รูปที่ 91 ลักษณะอาคารสมัยใหม่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ในภาพรวมมีความเสียหายน้อยกว่าอาคารแบบดั้งเดิม

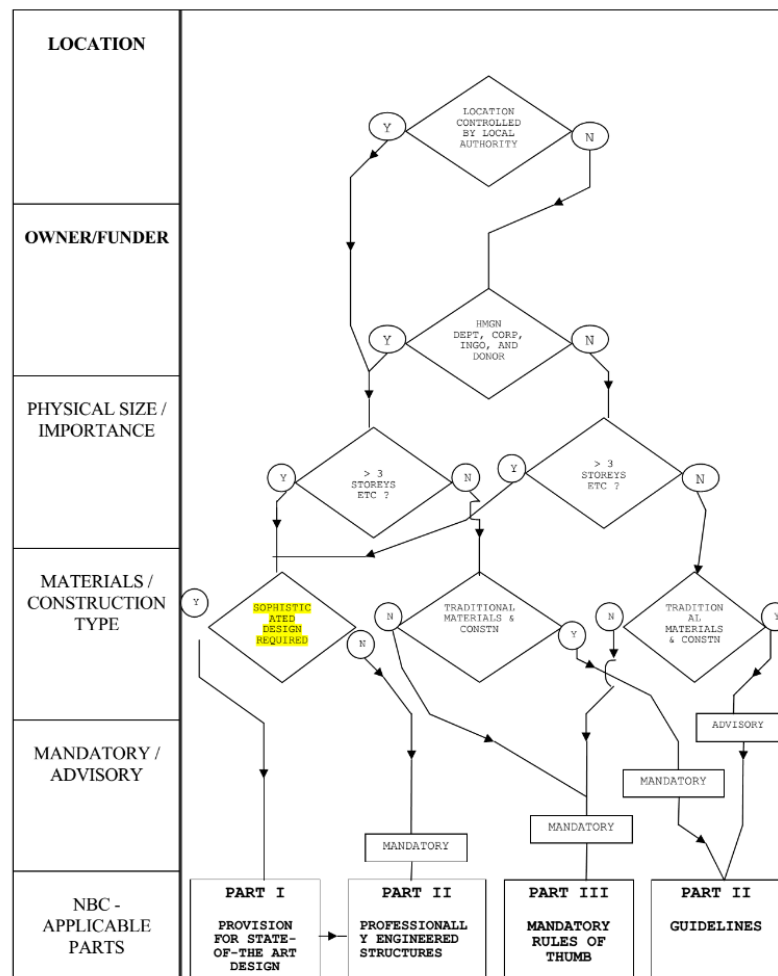
5. มาตรฐานการก่อสร้างอาคารในประเทศเนปาล

บทเรียนจากความเสียหาย อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มกว้างๆ ดังต่อไปนี้คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการก่อนเกิดแผ่นดินไหว เช่นข้อบังคับอาคารและมาตรฐานการออกแบบอาคาร การควบคุมการก่อสร้างอาคาร และในส่วนของดำเนินการหลังเกิดเหตุการณ์ เช่นการซ่อมแซมอาคาร การก่อสร้างใหม่ และที่พักพิงชั่วคราว

บทเรียนในส่วนของดำเนินการก่อนเกิดแผ่นดินไหว

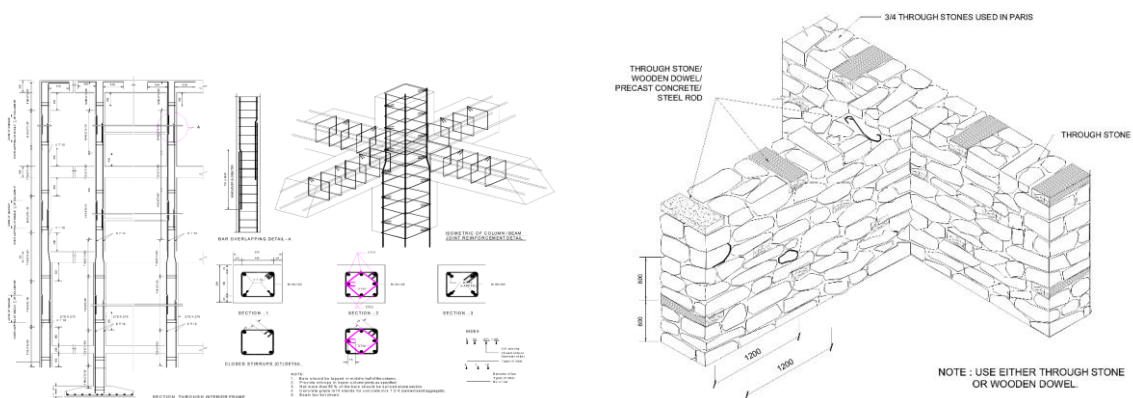
ปัจจัยหลักในการป้องกันผลกระทบจากแผ่นดินไหว คือ การมีข้อบังคับอาคาร หรือ Building Code ที่เหมาะสมสำหรับประเทศเนปาล เริ่มมีการจัดทำข้อบังคับอาคารหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในปี 1988 โดยเริ่มดำเนินการในช่วงปี 1991-1993 ลักษณะข้อบังคับอาคารมีข้อน่าสนใจหลายประการกล่าวคือ มีการแบ่งข้อบังคับเป็นหลายๆ ชั้น (รูปที่ 92) ตามขนาดและการใช้อาคาร ดังนี้

- 1) State-of-the-art Design จะเป็นการกำหนดให้ใช้วิธีที่ทันสมัย ตามหลักมาตรฐานสากล ในการออกแบบก่อสร้างอาคาร ในส่วนนี้จะใช้กับอาคารที่มีขนาดใหญ่หรือสำคัญ
- 2) Professionally Engineered Structure สำหรับอาคารบางแบบที่มีความสูงมากกว่า 3 ชั้น จะต้องมีการออกแบบตามหลักวิศวกรรม ซึ่งสำหรับประเทศเนปาล จะใช้มาตรฐานของประเทศอินเดีย
- 3) ข้อบังคับแบบง่าย หรือ Rules of Thumb และ Guideline ใช้สำหรับอาคารขนาดเล็กไม่เกิน 3 ชั้น เป็นแบบข้อบังคับขั้นต่ำเช่น กำหนดขนาดเสา กำแพง ฯลฯ หรือ วิธีการก่อสร้างที่จำเป็นต้องทำตาม โดยสามารถทำได้ง่ายๆ เหมาะกับการใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกลหรือสำหรับอาคารขนาดเล็ก



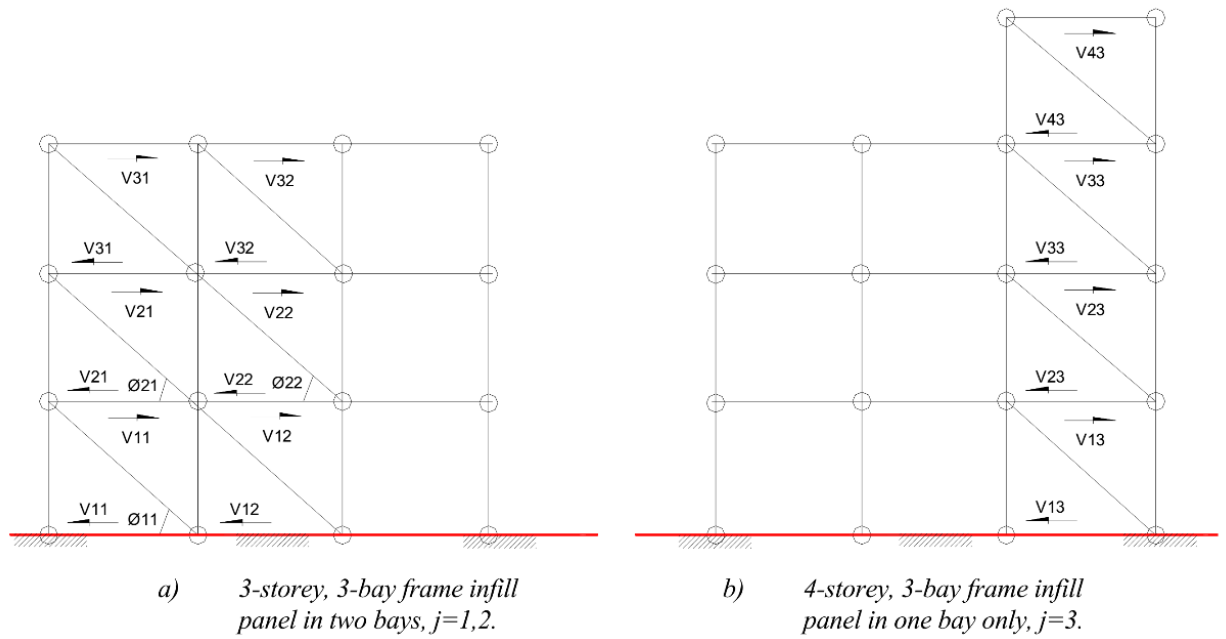
รูปที่ 92 ตัวอย่างข้อบังคับอาคารของประเทศเนปาล

การที่มีการแบ่งข้อบังคับเป็นหลายๆ ชั้นเนื่องจากคำนึงถึงปัจจัยที่ว่าในอาคารขนาดเล็กเจ้าของอาคารอาจจะไม่มีทุนทรัพย์ หรือความสามารถที่จะหาวิศวกรมาทำการออกแบบอาคาร และการก่อสร้างส่วนใหญ่จะกระทำโดยช่างท้องถิ่น อาคารขนาดเล็กเป็นกลุ่มอาคารที่ส่งผลโดยตรงต่อชีวิต และเป็นกลุ่มอาคารที่เสียหายมากที่สุด แตกต่างจากอาคารใหญ่ที่มีวิศวกรเป็นผู้ดูแล ลักษณะนี้จะคล้ายคลึงกับสภาพในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีมาตรการควบคุมการก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวแม่อลาว จะเห็นได้ว่าอาคารขนาดเล็ก เป็นกลุ่มอาคารที่ได้รับความเสียหายมากที่สุดและอาจเป็นอันตรายต่อผู้พักอาศัยได้ ดังนั้นกฎหมาย การควบคุม การศึกษาวิจัย จึงควรเน้นไปที่กลุ่มอาคารประเภทนี้ ในประเทศไทยอาจมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอาคารที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง และอาจจะต้องมีมาตรการในการกำหนดวิธีการก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก โดยอาจอยู่ในรูปแบบ Rule of Thumb หรือการคำนวณแบบง่าย เหมาะสมกับขนาดอาคาร (รูปที่ 93) ตามตัวอย่างที่ใช้ในประเทศเนปาล



รูปที่ 93 ตัวอย่างลักษณะข้อบังคับอย่างง่ายสำหรับอาคารขนาดเล็ก ในมาตรฐานประเทศเนปาล

ในส่วนของมาตรฐานประเทศเนปาลนั้น พบว่าเป็นมาตรฐานที่ค่อนข้างจะทันสมัยโดยมีการพิจารณาถึงลักษณะการก่อสร้างอาคารที่มีผนังอิฐก่อซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญกับการก่อสร้างอาคารในประเทศในภูมิภาคนี้ เนื่องจากมีการก่อสร้างอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันนี้เป็นจำนวนมาก รูปที่ 94 แสดงตัวอย่างลักษณะการพิจารณาผนังอิฐก่อในมาตรฐานประเทศเนปาล ซึ่งมีการแนะนำให้วิศวกรทำการจำลองผนังด้วยค้ำยันเทียบเท่า ซึ่งถือเป็นวิธีการที่ค่อนข้างจะทันสมัยและได้รับการยอมรับในระดับสากล อย่างไรก็ตามการที่มีมาตรฐานที่ดีอย่างเดียวนั้นอาจจะยังไม่เพียงพอประเด็นปัญหาที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือการควบคุมการก่อสร้างให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด รูปที่ 95 แสดงเสาอาคารที่พังถล่มในตัวเมืองกาฐมาณฑุ ที่มีลักษณะการก่อสร้างที่ใช้วัสดุที่ด้อยคุณภาพ อีกตัวอย่างคือความเสียหายที่เกิดกับอาคารซึ่งเป็นอาคารที่สูงที่สุดในนครกาฐมาณฑุ (รูปที่ 96) อาคารหลังนี้มีการเปลี่ยนแปลงความจากเดิมที่ทำไว้ 11 ชั้นกลายเป็น 17 ชั้น การเปลี่ยนแปลงความสูงนี้อาจจะไม่ได้มีผลโดยตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่ก็อาจจะมีผลกระทบในแง่ที่ว่าทำให้คุณลักษณะทางพลศาสตร์ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า นอกจากการมีมาตรฐานที่ดีแล้วนั้น การก่อสร้างจะต้องมีการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ หรือเป็นไปตามแนวทางปฏิบัติที่กำหนด จึงจะทำให้การก่อสร้างขนาดเล็กมีความปลอดภัยมากขึ้น



**Figure 7.1 : Strut Action of Infill Panels Acting with Frames
(Frames assumed pin-jointed)**

รูปที่ 94 ลักษณะการจำลองผนังอิฐก่อโดยใช้ค้ำยันเทียบเท่า มาตรฐานประเทศเนปาล



รูปที่ 95 ลักษณะการก่อสร้างอาคารด้วยวัสดุที่ไม่มีคุณภาพ



รูปที่ 96 อาคารสูงได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

สำหรับประเทศไทยนั้นความรู้เบื้องต้นด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว ยังเป็นเรื่องที่ใหม่ จึงควรที่จะมีการให้ความรู้แก่ประชาชนทั่วไป ประเด็นสำคัญที่จำเป็นจะต้องให้ความรู้คือ

1. เจ้าของอาคารจะต้องทราบว่าอาคารของตนเองนั้นตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงหรือไม่ ในส่วนนี้จำเป็นจะต้องได้รับการประชาสัมพันธ์ที่ถูกต้องจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ

2. เจ้าของอาคารจะต้องรู้ว่าอาคารของตนเองนั้นก่อสร้างด้วยวัสดุที่ได้คุณภาพหรือไม่และ

3. เจ้าของอาคารควรจะต้องรู้หลักการก่อสร้างในเบื้องต้นว่า ลักษณะที่ถูกต้องตามหลักเป็นอย่างไร

ทั้ง 3 ส่วนนี้สามารถจะทำได้โดยการให้ความรู้กับและสร้างสำนึกด้านความปลอดภัยแก่ประชาชน ในประเทศเนปาลมีการให้ข้อมูลและสร้างสำนึกด้านความปลอดภัยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวโดยมีการให้ข้อมูลในระดับต่างๆ เช่นเจ้าหน้าที่รัฐ วิศวกร ช่างท้องถิ่น และเจ้าของอาคาร นอกจากนั้นยังมีการสาธิตการก่อสร้างรูปแบบอาคารที่เหมาะสมกับบริเวณที่มีแผ่นดินไหว (รูปที่ 97)



รูปที่ 97 ตัวอย่างการจัดให้ความรู้แก่ประชาชนในประเทศเนปาล

บทเรียนในส่วนการดำเนินการหลังเกิดแผ่นดินไหว

ส่วนการดำเนินการหลังการเกิดแผ่นดินไหว จากการลงพื้นที่พบว่าหลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวจะเกิดความวุ่นวายขึ้นในช่วงต้น ในกรณีที่มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ผู้ที่ได้รับผลกระทบจะมีเป็นจำนวนมากดังนั้นการวางแผนการอพยพและที่ตั้งพักพิงชั่วคราว จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (รูปที่ 98) นอกจากนั้นในบางบริเวณหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งแรกแล้ว ผู้คนไม่สามารถอพยพออกจากอาคารที่ได้รับความเสียหายได้ ทำให้เมื่อเกิดเหตุแผ่นดินไหว aftershock ตามมาอาคารหลายหลังจึงพังถล่มลง (รูปที่ 99) การก่อสร้างอาคารที่สามารถใช้เป็นที่พักพิงที่มีความปลอดภัยในระดับชุมชนหรือตำบลและอำเภอที่อยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การซ่อมแซมและเสริมกำลังอาคารซึ่งดำเนินการหลังจากแผ่นดินไหวจำเป็นต้องดำเนินการโดยวิศวกรและช่างที่มีความชำนาญ เช่นเดียวกับอาคารทดแทนชั่วคราวต่างๆ เมื่อมีการใช้อาคารไปเป็นเวลาหนึ่ง ก็จะมีแนวโน้มที่อาคารเหล่านั้นจะถูกใช้เป็นอาคารถาวรในที่สุด ดังนั้นจึงควรมีการก่อสร้างให้ถูกต้องตามหลักแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้องตั้งแต่ครั้งแรก ลักษณะอาคารที่เห็นอาคารชั่วคราวที่เห็นหลายหลายอาคารในประเทศเนปาล มีลักษณะที่ยังไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ (รูปที่ 100)



รูปที่ 98 บริเวณที่พักพิงชั่วคราวในนครกาฐมาณฑุ



รูปที่ 99 หมู่บ้านได้รับความเสียหายจากเหตุ aftershock



รูปที่ 100 ลักษณะอาคารโรงเรียนชั่วคราวในประเทศเนปาล

บทสรุป

การเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งทำให้เกิดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้ง ก็ได้ให้บทเรียนสำหรับการเตรียมการเพื่อป้องกันภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นในอนาคตในประเทศอื่นๆ ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานทางวิศวกรรม หลักปฏิบัติในการก่อสร้างการควบคุมการบังคับใช้กฎหมาย การเตรียมการเพื่อรองรับไปภัยพิบัติที่ บทเรียนต่างๆ จะเป็นประโยชน์ให้กับการเตรียมพร้อมเพื่อรับภัยพิบัติต่อไปในอนาคต ภัยแผ่นดินไหวเป็นภัยที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่เป็นภัยที่สามารถลดผลกระทบและป้องกันได้หากมีการศึกษาค้นคว้า เรียนรู้บทเรียนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและมีการเตรียมการสร้างความรู้ความเข้าใจที่เหมาะสมแก่ประชาชน