

การประเมินความเสี่ยงของอาคารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จากแรงกระทำของแผ่นดินไหวในระยะไกล*

Building Risk Analysis Caused by Distance Earthquake in Kasetsart University Campus

สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์¹

บัณฑิต ขาวป้อ²

รัชลิน เหมือนแก้ว³

หยกไชย อิศรเสริพงษ์⁴

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และ หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานรากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengsus@ku.ac.th)

^{2,3,4} นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

พฤติกรรมการสั่นของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ได้ถูกศึกษาภายใต้สมมติฐานการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริคเตอร์ ณ รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ การศึกษาดำเนินการในเชิงพื้นที่โดยจำกัดการศึกษาบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ข้อมูลหลุมสำรวจดินในพื้นที่ศึกษาได้ถูกรวบรวมและวิเคราะห์การวางตัวของชั้นดินเชิงพื้นที่ โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Kriging จากนั้นจึงสรุปขอบเขตพื้นที่ย่อยภายในพื้นที่ศึกษา ตามลักษณะความแปรปรวนของชั้นดิน ข้อมูลจากการทดสอบความเร็วคลื่นแรงเฉือน (Shear Wave Velocity) จากการทดสอบ Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการสั่นของชั้นดิน โดยดำเนินการวิเคราะห์ในลักษณะ 1 มิติตามพื้นที่ย่อยต่าง ๆ Response Spectrum Curve จากการวิเคราะห์ได้ถูกนำมาเป็นตัวกำหนดความสูงของอาคารที่มีความเสี่ยงในระดับต่าง ๆ ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ เพื่อที่จะประเมินความเสี่ยงของอาคาร สุดท้ายจึงได้แผนที่ความเสี่ยงของอาคารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริคเตอร์ ณ รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

Abstract

Behavior of soft Bangkok clay under 7.5 Richter earthquake generated from Srisawat fault was studied. The study area is scoped at Kasetsart university campus. Boreholes data in the study area were gathered and processed by using Kriging technique. Study area was divided into zones depending on variation of subsoil layers. Shear wave velocity profile was determined by Spectrum Analysis of Surface Wave (SASW) technique. 1-D wave propagation analyses were done in order to obtain response spectrum curves of various zones in the study area. Risk of buildings from the analyzed earthquake is defined by their heights which correspond to the period that gives large spectral acceleration from response spectrum curves. Building height together

with other risk factors was used to give the risk score to the buildings in the campus.

Keywords: Earthquake, Ground Response, Earthquake Risk

1. ความเป็นมาของปัญหา

แผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติในรูปแบบหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรง แผ่นดินไหวรุนแรงที่เคยเกิดในต่างประเทศบางครั้งได้ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก สำหรับประเทศไทย ในอดีตประชาชนทั่วไปเชื่อว่าแผ่นดินไหวที่รุนแรงเช่นนั้นจะไม่เกิดขึ้นในประเทศไทย แต่หลังจากเหตุการณ์ พับติภัยสึนามิ และปรากฏการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งภายในประเทศได้ทำให้ประชาชนตระหนักถึงความอันตรายของแผ่นดินไหวมากขึ้น

ในปัจจุบัน ข้อมูลใหม่ ๆ ที่ได้จากเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (กรมอุตุฯ, 2549), รายงานการสำรวจรอยเลื่อนในภาคเหนือ และตะวันตก (เป็นหนึ่งในคณะ, 2548) ได้ชี้ว่าภัยพิบัติแผ่นดินไหว มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย ดังนั้นการเตรียมพร้อมเพื่อป้องกันภัยดังกล่าวจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนั้นถึงแม้รอยเลื่อนและจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยที่ได้ตรวจพบจะไม่ได้อยู่ในเขตกรุงเทพฯ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่ากรุงเทพฯ จะไม่มีความเสี่ยง ทั้งนี้เนื่องจากชั้นดินของกรุงเทพฯ มีสภาพเป็นชั้นดินอ่อนหนา ซึ่งสภาพดินลักษณะนี้สามารถขยายความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ถึงประมาณ 3 - 4 เท่าตัว (สุพจน์และรัตณี, 2540) ส่งผลให้อาคารสูงและสิ่งปลูกสร้างที่มีความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดิน เกิดการโยกตัวไปมาอย่างรุนแรง จนอาจถึงขั้นเสียหายหรือพังทลายลงมาได้ การขยายความรุนแรงดังกล่าวมีปัจจัยเกี่ยวข้องโดยตรงกับความหนาและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินอ่อน ทำให้ในแต่ละพื้นที่จึงมีพฤติกรรมขยายความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมตอบสนองของคลื่นจึงควรกระทำในเชิงพื้นที่

* รางวัลชนะเลิศการประกวดโครงงานด้านวิศวกรรมปฐพี ของอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ.2549

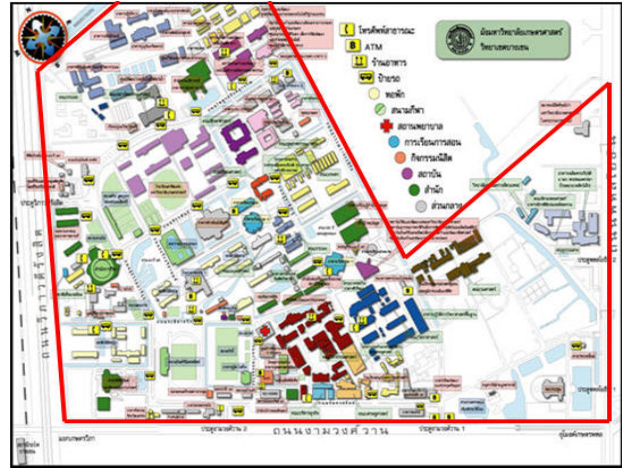
อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีต้นแบบการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงพื้นที่ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงทำการศึกษาผลกระทบของแผ่นดินไหวที่มีต่อสิ่งก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบสิ่งก่อสร้างใหม่และใช้เป็นข้อมูลในการนำไปปรับปรุงอาคารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่คาดว่าจะเกิดปัญหาขึ้นในอนาคต การศึกษาเริ่มโดยทำการสำรวจข้อมูลทางกายภาพของอาคารที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อชีวิตมนุษย์เช่น ความสูงอาคารและ ประเภทการใช้สอย เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลชั้นดินจากหลุมเจาะภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติดินทางวิศวกรรมและความหนาของชั้นดินโดยสรุปในเชิงพื้นที่ จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จากแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี โดยคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้เป็นคลื่นแผ่นดินไหวจริงจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศตุรกี ขนาด 7.5 ริกเตอร์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ได้นำมาใช้ประกอบการประเมินระดับความเสี่ยงของอาคารสิ่งก่อสร้างในสภาพปัจจุบันและเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบปรับปรุงอาคารสิ่งก่อสร้างใหม่ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในอนาคต

2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา

รวบรวมข้อมูลชั้นดินและคุณสมบัติของดินจากหลุมเจาะภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ ความสูง จำนวนชั้น ประเภทการใช้งาน ชนิดของโครงสร้างอาคารและการใช้กระจกเป็นผนังอาคาร จากนั้นจึงสร้างแผนที่ดิจิทัลของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จากภาพถ่ายทางอากาศเพื่อแสดงตำแหน่งอาคารและโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ โดยอ้างอิงข้อมูลพิกัดจากกรมแผนที่ทหารโดยใช้โปรแกรม Arc View GIS และจัดเก็บข้อมูลที่รวบรวมไว้ลงในระบบฐานข้อมูล GIS จากนั้นจึงนำข้อมูลหลุมเจาะมาวิเคราะห์คุณสมบัติดินเชิงพื้นที่อื่น ได้แก่ คุณสมบัติความลึกของชั้นดินเหนียวและคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของดิน จากนั้นจึงวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ต่อคลื่นแผ่นดินไหวโดยใช้โปรแกรม SHAKE91 ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนำมาใช้ประกอบการประเมินความเสี่ยงร่วมกับปัจจัยทางกายภาพของอาคารเพื่อออกแบบแผนที่ความเสี่ยงของแผ่นดินไหวต่อผู้อาศัย

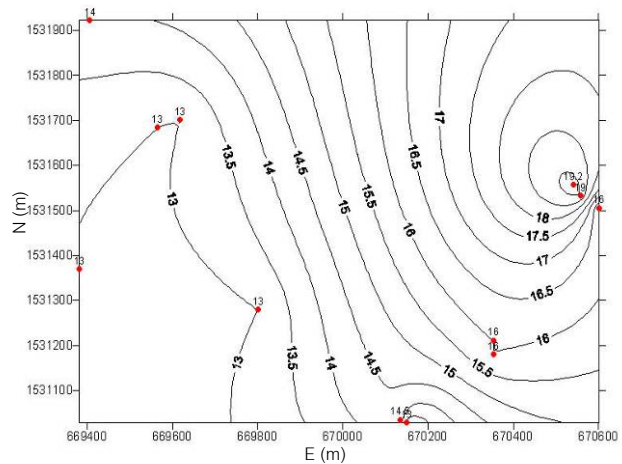
3. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

พื้นที่ดำเนินงานภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 1



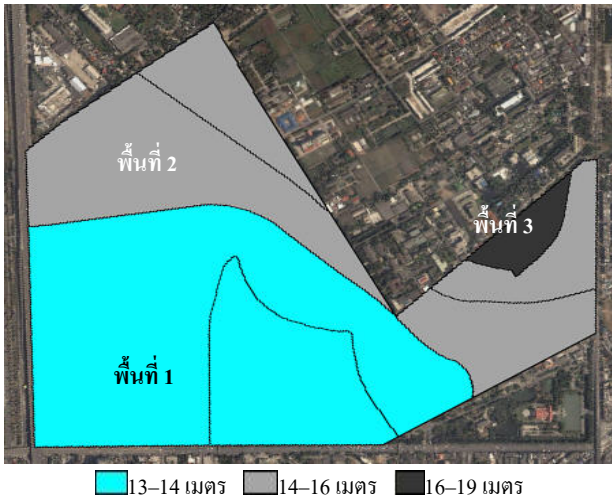
รูปที่ 1 แผนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษา

ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจากรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จาก โครงการก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูลจากศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก และเว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยสามารถรวบรวมได้ทั้งหมด 12 หลุม จึงได้นำข้อมูลคุณสมบัติดินและตำแหน่งหลุมเจาะทั้งหมดบันทึกลงในระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลชั้นดินและคุณสมบัติดินจากหลุมเจาะทั้งหมดและวิเคราะห์เส้นชั้นความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง ซึ่งเป็นชั้นดินที่มีผลต่อการขยายความรุนแรงของแผ่นดินไหว โดยใช้โปรแกรม SURFER ดังแสดงดังรูปที่ 2 การได้มาซึ่งข้อมูลระหว่างหลุมเจาะใช้การประมาณโดยวิธี Kringing

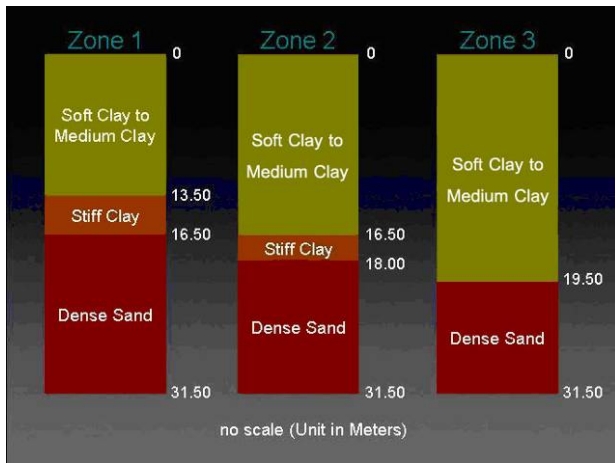


รูปที่ 2 เส้นชั้นความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง พร้อมตำแหน่งหลุมเจาะ (UTM Coordinate)

ทั้งนี้เพื่อกำหนดพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ตามความหนาของชั้นดินอ่อนถึงแข็งปานกลาง สามารถแบ่งพื้นที่ที่ออกได้เป็นสามพื้นที่ ตามความลึกสูงสุดของชั้นดินดังกล่าว ได้แก่ ความลึก 13-14 เมตร 14-16 เมตร และ 16-19 เมตรจากระดับผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 ลักษณะชั้นดินของแต่ละพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การแบ่งพื้นที่ตามความลึกของชั้นดินอ่อนถึงแข็งปานกลาง



รูปที่ 4 ลักษณะชั้นดินทั้ง 3 พื้นที่

4. การวิเคราะห์แรงกระทำจากแผ่นดินไหว

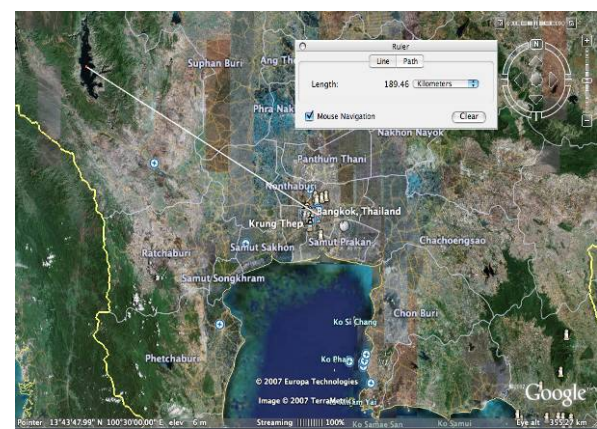
รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย แสดงได้จากแผนที่จากกรมทรัพยากรธรณีดังแสดงในรูปที่ 5 คณะผู้ศึกษาเลือกพิจารณารอยเลื่อนศรีสวัสดิ์เป็นจุดจำลองศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากเป็นรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้กรุงเทพมหานคร โดยมีระยะห่างออกไปประมาณ 200 กิโลเมตรดังแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการเกิดแผ่นดินไหวอย่างต่อเนื่อง โดยมีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดวัดได้ 5.9 ริกเตอร์ เมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ.2526 คณะผู้ศึกษาดังตั้งสมมุติฐานให้รอยเลื่อนดังกล่าวสามารถกำเนิดแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริกเตอร์ ณ จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตำแหน่งเดียวกับเมื่อครั้งเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5.9 ริกเตอร์ อันเกิดเนื่องจากการเก็บน้ำในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ โดยอ้างอิงความเป็นไปได้ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ ปัญญาและคณะ (2547) โดยเลือกข้อมูลความเร่งของพื้นดินเทียบกับเวลา (Acceleration Time Histories) ซึ่งเป็นข้อมูลจริงที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริกเตอร์ วัดได้จากสถานีวัดที่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว 200 กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถหาข้อมูลดังกล่าวได้จากเหตุการณ์ในประเทศไทย จึงเลือกใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ประเทศตุรกี

ขนาดความรุนแรง 7.5 ริกเตอร์ เมื่อปี ค.ศ.2001 เป็นตัวแทนข้อมูลแผ่นดินไหว (รูปที่ 7) โดยเลือกข้อมูลจากสถานีวัดที่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ที่ระยะใกล้เคียง 200 กิโลเมตร

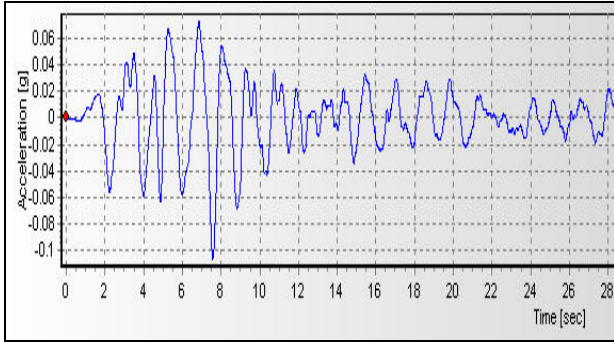
แผ่นดินไหวดังกล่าวเป็นตัวแทนคลื่นความเร่งของพื้นดินจากแผ่นดินไหว ณ ชั้นหินแข็งหรือชั้นเสมือนหินแข็งจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ขนาด 7.5 ริกเตอร์ เมื่อได้ข้อมูลคลื่นความเร่งของพื้นดินจากแผ่นดินไหวดังกล่าว จึงได้ทำการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นจากชั้นหินใต้ชั้นดินกรุงเทพฯ ขึ้นมาบนผิวดินโดยใช้แบบจำลอง 1 มิติจากโปรแกรม SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยให้ความลึกประมาณ 30 เมตร เป็นความลึกที่พบวัสดุเสมือนชั้นหิน สำหรับคุณสมบัติของดินทางพลศาสตร์พิจารณาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)



รูปที่ 6 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวถึงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (www.googleearth.com)



รูปที่ 7 คลื่นความเร่งของพื้นดินจากแผ่นดินไหว ณ ประเทศตุรกี
ค.ศ.2001

ดินทรายและกรวด

$$G_{max} = 1000 * K_{2max} * (\sigma'_m)^{0.5} \quad (1)$$

- โดยที่ G_{max} = Maximum shear modulus (pfs)
 K_{2max} = Coefficient of Void ratio (Relative density)
 σ'_m = Mean effective stress (pfs)

ตารางที่ 1 ตารางประมาณค่า (K_2) จากค่าอัตราส่วนช่องว่าง
(Seed and Idriss, 1970)

$D_r(\%)$	30	40	45	60	75	90
e	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
K_{2max}	34	40	43	52	59	70

- โดยที่ $D_r(\%) = (N / (2.3 * \sigma'_v + 16))^{0.5}$
 D_r = Relative density
 N = Standard Penetration Number
 $\sigma'_m = (\sigma'_v + 2K_0\sigma'_v) / 3$
 σ'_v = Vertical Effective Stress
 K_0 = Coefficient of Earth Pressure at Rest
 $K_0 = 1 - \sin \emptyset$
 \emptyset = Friction angle

ดินเหนียวและดินทรายแข็ง

สำหรับดินที่มีความเหนียว นั้น นิยมใช้สมการที่มีความสัมพันธ์ของค่า Undrained shear Strength (S_u) ของดินเหนียว นำเสนอเอาไว้โดย Seed and Idriss (1970) ดังสมการ

$$G_{max} = 2,300 * S_u \quad (2)$$

- โดยที่ G_{max} = Maximum Shear Modulus (t/m^2)
 S_u = Undrained shear Strength (t/m^2)

นอกจากนี้ ยังมีผู้ศึกษาถึงอิทธิพลอื่นๆ โดยพิจารณาอิทธิพลของค่าดัชนีความเหนียว (PI) และ Overconsolidation ratio (OCR) กับความสัมพันธ์ของค่า Undrained Strength ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$G_{max} / S_u' = \text{Constant Value (ตารางที่ 2)} \quad (3)$$

โดยที่ S_u' = Undrained Strength จาก CU triaxial compression (t/m^2)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของค่า OCR และ PI ที่มีอิทธิพลต่อค่า G_{max}
(Welier, 1988)

Value of G_{max} / S_u' Plastic Index	Over Consolidation Ratio, OCR		
	1	2	3
15-20	1100	900	600
20-25	700	600	500
35-45	450	380	300

การหาค่า Shear wave velocities สามารถหาได้จากความสัมพันธ์จากค่า G_{max} ดังนี้

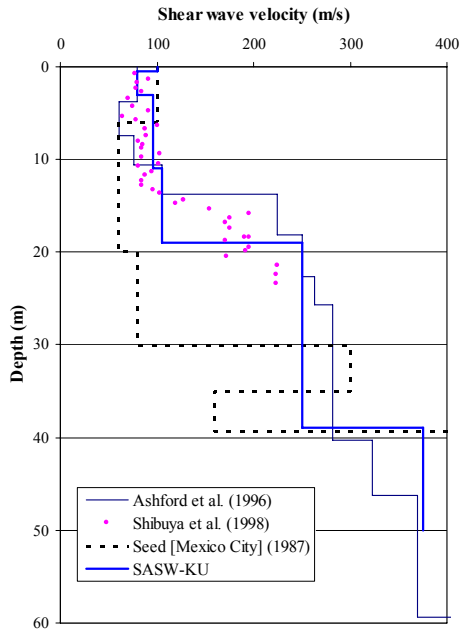
$$V_s = (G_{max} * g / \gamma)^{0.5} \quad (4)$$

- โดยที่ V_s = Shear Wave Velocity (m/s)
 g = Gravity (9.81 m/s²)
 γ = Total Density (t/m^3)

ค่า V_s ของดินอ่อนเป็นค่าที่สำคัญในการวิเคราะห์ในขั้นต้น ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการทดสอบ Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) บริเวณพื้นที่สนามรักบี้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 8 และได้ผลเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตแสดงในรูปที่ 9



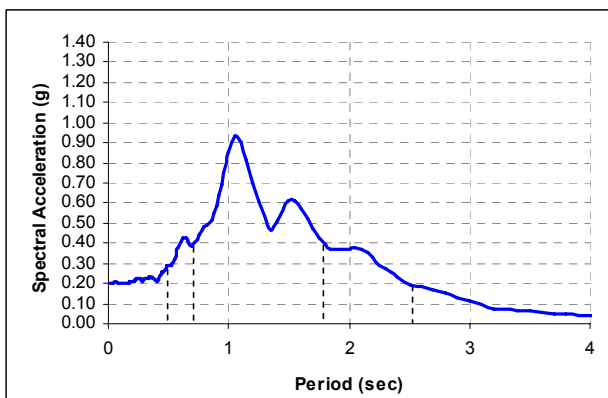
รูปที่ 8 การทดสอบ SASW ในสนาม บริเวณสนามรักบี้
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



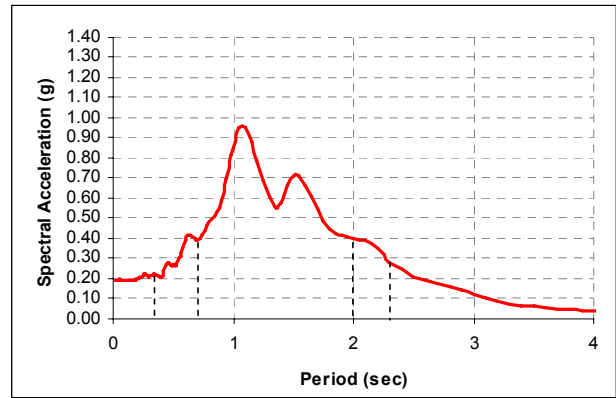
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_s กับ ความลึกของชั้นดิน

5. ผลการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นในชั้นดิน

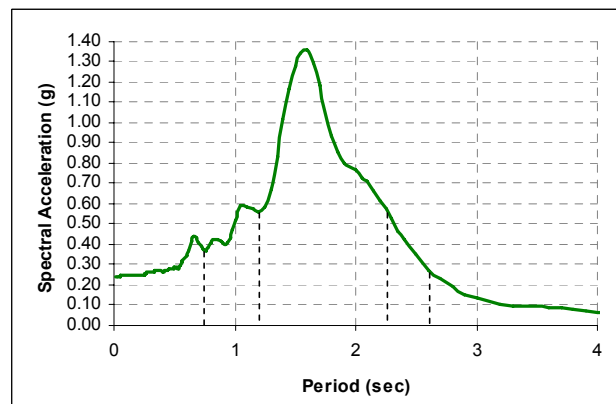
ผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักด้วยกัน โดยส่วนแรกคือ การวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินในแต่ละพื้นที่ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แสดงผลโดยกราฟ Response Spectrum ดังแสดงดังรูปที่ 10 ถึง 12 ซึ่งกราฟดังกล่าววิเคราะห์จากแบบจำลองโครงสร้างที่มีค่า Damping Ratio เท่ากับร้อยละ 5 (5%) สำหรับส่วนที่ 2 คือการวิเคราะห์เพื่อประเมินพฤติกรรมการสั่นพ้อง (Resonance) ของอาคารต่อการสั่นของชั้นดิน การวิเคราะห์ได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างคาบธรรมชาติกับจำนวนชั้น ของอาคาร โดยให้อาคารสูง 1 ชั้น มีคาบธรรมชาติเท่ากับ 0.1 วินาที ($T = N/10$ sec, Kramer,1996) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูล Response Spectrum ทำให้ทราบถึงช่วงความสูงอาคารที่มีค่า Spectrum Acceleration ที่มีขนาด ต่าง ๆ กัน อันจะบ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงของอาคารที่มีความสูงต่าง ๆ กันดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 10 Acceleration Response Spectra พื้นที่ 1 (5% Damping)



รูปที่ 11 Acceleration Response Spectra พื้นที่ 2 (5% Damping)



รูปที่ 12 Acceleration Response Spectra พื้นที่ 3 (5% Damping)

ตารางที่ 3 ความสูงอาคารที่มีระดับความเสี่ยงต่างๆ ตามลักษณะการสั่นพ้องกับคลื่นแผ่นดินไหว

พื้นที่	Period Time	ความสูงอาคาร (ชั้น)	ระดับความเสี่ยง
พื้นที่ที่ 1	0 - 0.5 s	0 - 5	ความเสี่ยงต่ำ
	0.5 - 0.6 s	5 - 6	ความเสี่ยงปานกลาง
	0.6 - 1.9 s	6 - 19	ความเสี่ยงสูง
	1.9 - 2.5 s	19 - 25	ความเสี่ยงปานกลาง
	> 2.5 s	>25	ความเสี่ยงต่ำ
พื้นที่ที่ 2	0 - 0.5 s	0 - 5	ความเสี่ยงต่ำ
	0.5 - 0.7s	5 - 7	ความเสี่ยงปานกลาง
	0.7 - 2.0s	7 - 20	ความเสี่ยงสูง
	2.0 - 2.3s	20 - 23	ความเสี่ยงปานกลาง
	> 2.3 s	> 23	ความเสี่ยงต่ำ
พื้นที่ที่ 3	0 - 0.7 s	0 - 7	ความเสี่ยงต่ำ
	0.7- 1.2 s	7 - 1.2	ความเสี่ยงปานกลาง
	1.2 - 2.2 s	12 - 22	ความเสี่ยงสูง
	2.2 - 2.5s	22 - 25	ความเสี่ยงปานกลาง
	> 2.5	> 25	ความเสี่ยงต่ำ

6. การประเมินความเสี่ยง

สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อผู้ใช้อาคาร ผลการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินและการสั่นพ้องของอาคารได้นำมาใช้พิจารณา ร่วมกับปัจจัยสำคัญอื่น โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้ คือ

1. ความสูงอาคาร (จำนวนชั้นตามลักษณะการสั่นพ้อง)
2. ลักษณะการใช้สอยอาคาร (เวลาการใช้งาน)
3. ประเภทโครงสร้างอาคาร
4. กระจกประดับอาคาร

การให้คะแนนมีการถ่วงน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญโดยการเปรียบเทียบกันที่ระดับ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การถ่วงน้ำหนักโดยการเปรียบเทียบความสำคัญ

	การใช้สอย	ความสูง	ประเภทโครงสร้าง	ปริมาณกระจก	Sum
การใช้สอย		2	3	3	8
ความสูง	2		3	3	8
ประเภทโครงสร้าง	1	1		2	4
ปริมาณกระจก	1	1	2		4

โดยที่ หมายเลข 1 คือ สำคัญน้อยกว่า
 หมายเลข 2 คือ สำคัญเท่ากัน
 หมายเลข 3 คือ สำคัญมากกว่า
 ดังนั้นจะได้สมการการให้คะแนนดังนี้

$$\text{คะแนนความเสี่ยง} = 2 \times \text{คะแนนความสูงอาคาร} + 2 \times \text{คะแนนการใช้สอย} + \text{คะแนนประเภทโครงสร้าง} + \text{คะแนนปริมาณกระจก}$$

ความสูงอาคาร (จำนวนชั้น) จะขึ้นกับ Response Spectrum บริเวณผิวดินซึ่งได้จากการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นในชั้นดินโดยมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และมีการให้คะแนนดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนความเสี่ยงจากความสูงอาคารที่จำนวนชั้นต่างๆ

พื้นที่	ความสูงของอาคาร(ชั้น)	ระดับความเสี่ยง	คะแนน
พื้นที่ที่ 1	0 - 5	ความเสี่ยงต่ำ	1
	5 - 6	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	6 - 19	ความเสี่ยงสูง	5
	19 - 25	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	>25	ความเสี่ยงต่ำ	1

พื้นที่	ความสูงของอาคาร(ชั้น)	ระดับความเสี่ยง	คะแนน
พื้นที่ที่ 2	0 - 5	ความเสี่ยงต่ำ	1
	5 - 7	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	7 - 20	ความเสี่ยงสูง	5
	20 - 23	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	> 23	ความเสี่ยงต่ำ	1
พื้นที่ที่ 3	0 - 7	ความเสี่ยงต่ำ	1
	7 - 1.2	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	12 - 22	ความเสี่ยงสูง	5
	22 - 25	ความเสี่ยงปานกลาง	3
	> 25	ความเสี่ยงต่ำ	1

การใช้สอย ให้คะแนนโดยพิจารณานับชั่วโมงการใช้งานต่อหนึ่งวันดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คะแนนความเสี่ยงจากการใช้สอยอาคาร

ประเภทการใช้งานอาคาร	เวลาการใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)	คะแนน
การรักษาพยาบาล	24	5
ห้องสมุด	12	4
ห้องเรียน, พักอาศัย	8	3
โรงอาหาร	6 - 8	2
อาคารกีฬา, อุ้มนมรถ	< 6	1

ประเภทโครงสร้าง ให้คะแนนโดยพิจารณาจากโอกาสการเกิดความเสียหายเมื่อเกิดแผ่นดินไหวดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนนความเสี่ยงจากโครงสร้างอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทโครงสร้าง	ระดับความเสี่ยง	คะแนน
Long Span, โครงสร้างไม้, ถัดสูง, เสาดสูง	ความเสี่ยงสูง	5
โครงสร้างคอนกรีตปกติ	ความเสี่ยงปานกลาง	3

กระจกประดับอาคาร มีการให้คะแนนโดยพิจารณาจากความเสียหายที่อาจเกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากการแตกของกระจกจากแผ่นดินไหว ระดับคะแนนดังแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนนความเสี่ยงจากกระจก

ประเภทกระจก	ระดับความเสี่ยง	คะแนน
มีกระจกมากหรือใช้เป็นผนังอาคาร	ความเสี่ยงสูง	5
มีกระจกเล็กน้อย ไม่ได้เอื้อริมอาคาร	ความเสี่ยงต่ำ	3

7. การประเมินความเสี่ยงของอาคารจากแรงแผ่นดินไหว

สำรวจและเก็บข้อมูลของอาคาร ได้แก่ ชื่ออาคาร จำนวนชั้นของอาคาร ความสูงของอาคาร ประเภทโครงสร้างของอาคารลักษณะการใช้สอยของอาคาร และ ภาพถ่ายของอาคารต่างๆภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตัวอย่างรูปของอาคารต่างๆ แสดงดังรูปที่ 13 และ 14



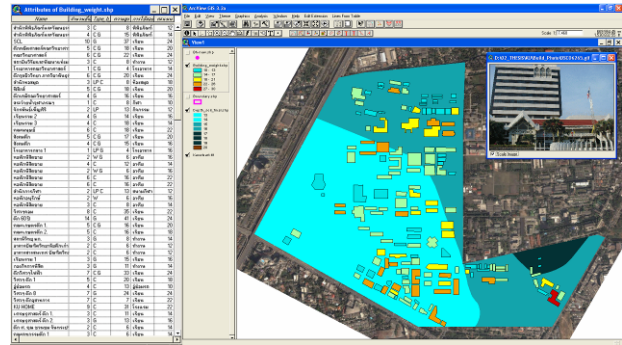
รูปที่ 13 อาคารสำนักงานอธิการบดี



รูปที่ 14 อาคารศูนย์เรียนรวม 1

8. ผลการศึกษา

การให้เกณฑ์คะแนนและน้ำหนักข้างต้นเป็นวิธีการประเมินความเสี่ยงโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) ผลการวิเคราะห์ในระดับความเสี่ยงที่ใกล้เคียงกันอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แต่ไม่ควรแตกต่างกันจนข้ามลำดับความเสี่ยง การจัดเก็บข้อมูลลงในระบบ GIS แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอาคาร ได้แก่ ชื่อ จำนวนชั้น ความสูง ประเภทโครงสร้าง ลักษณะการใช้สอยของอาคาร ภาพถ่ายของอาคารและข้อมูลหลุมสำรวจ สำหรับส่วนของการแสดงผลซึ่งจะแสดงได้ทั้งแผนที่ เส้นระดับความลึกของชั้นดินและรูปของอาคาร โดยสามารถแสดงข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ทั้ง 2 ส่วนพร้อมกันได้ ดังแสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ฐานข้อมูลอาคารและความลึกของชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากวิธีการข้างต้นและผลการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวสามารถประเมินคะแนนความเสี่ยงของอาคารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 159 อาคาร โดยจัดลำดับคะแนนและแสดงตำแหน่งอาคาร 10 ลำดับแรกดังแสดงดังรูปที่ 16 และตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์พบว่าอาคารที่มีความเสี่ยง 29 ลำดับแรก ล้วนมีคะแนนความสูงเท่ากับ 5 หรือเป็นอาคารที่มีความสูง 6 ถึง 22 ชั้น



รูปที่ 16 ลำดับของอาคารตามความเสี่ยง

ตารางที่ 9 ตารางคะแนนความเสี่ยงของอาคาร

No.	Name	คะแนนความเสี่ยง				
		การใช้สอย	ความสูงจำนวนชั้น	ประเภทโครงสร้าง	กระจัด	คะแนนรวม
1	โรงพยาบาลสัตว์เล็ก	5	5	3	5	28
2	อาคารสัตวฯ ตึก 2	3	5	3	5	24
3	อาคารปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์	3	5	3	5	24
4	ตึก 60 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์	3	5	3	5	24
5	ตม. อธิการบดี	3	5	3	5	24
6	คณะอุตสาหกรรมการเกษตร	3	5	3	5	24
7	อาคารมูลนิธิธรรมพรชัย	3	5	3	5	24
8	คณะวนศาสตร์	3	5	3	5	24
9	อาคารสารสนเทศบัณฑิตวิทยาลัย	3	5	3	5	24
10	อาคารวิทยบริการ	2	5	3	5	24



สัญลักษณ์	
10-13	ไม่มีความเสี่ยง
14-17	เสี่ยงน้อย
18-21	เสี่ยงปานกลาง
22-26	เสี่ยงมาก
27-30	เสี่ยงมากที่สุด

พศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตรีลัมภ์
 นายรัชสิน เหมือนแก้ว
 นายบัณฑิต ชาวป้อ
 นายทยกไชย อีสระเสรีพงษ์
 12 มีนาคม 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รูปที่ 17 แผนที่ตำแหน่งอาคารภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ตามระดับความเสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหว ขนาด 7.5 ริกเตอร์ มีจุดศูนย์กลาง ณ จังหวัดกาญจนบุรี

9. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ความเสียหายอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวที่มีขนาด 7.5 ริกเตอร์ ที่ระยะห่างจากมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ประมาณ 200 กิโลเมตร พบว่าอาคารที่มีความเสี่ยงสูง คือ อาคารที่มีความสูงประมาณ 6 – 22 ชั้น (29 ลำดับแรก) ซึ่งอาคารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงน้อยถึงปานกลาง แต่อาคารที่มีความเสี่ยงสูงสุดคือ อาคารโรงพยาบาลสัตว์ของคณะสัตวแพทยศาสตร์เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประโยชน์ใช้สอย การศึกษาดังกล่าวเป็นตัวอย่างของการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามเป็นการศึกษาที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของการสมมุติตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวและข้อจำกัดด้านข้อมูลหลุมเจาะดิน

เอกสารอ้างอิง

[1] Idriss, I.M. and Sun, J.I. (1992). **User manual for SHAKE91**. Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil & Environ. Eng., University of California, Davis, California.

[2] Kramer, S.L. (1996). **Geotechnical Earthquake Engineering**. Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster / A Viacom Company, New Jersey.

[3] Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1970). **Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses**. Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, California.

[4] Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K. (1986). **Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesionless soil**. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.112, No.11

[5] Weiler, W.A. (1988). **Small strain shear modulus of clay**. Proceedings, ASCE Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics II: Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, ASCE New York, pp.331-335.

[6] ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2547). การสำรวจรอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและลำปาง-แพร่, รายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่ม 2). สำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

[7] เป็นหนึ่ง วานิชชัย และ คณะ. (2548). เอกสารสรุปผลงานวิจัยโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 1). สำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

[8] กรมทรัพยากรธรณี, <http://www.dmr.go.th>

[9] กรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>