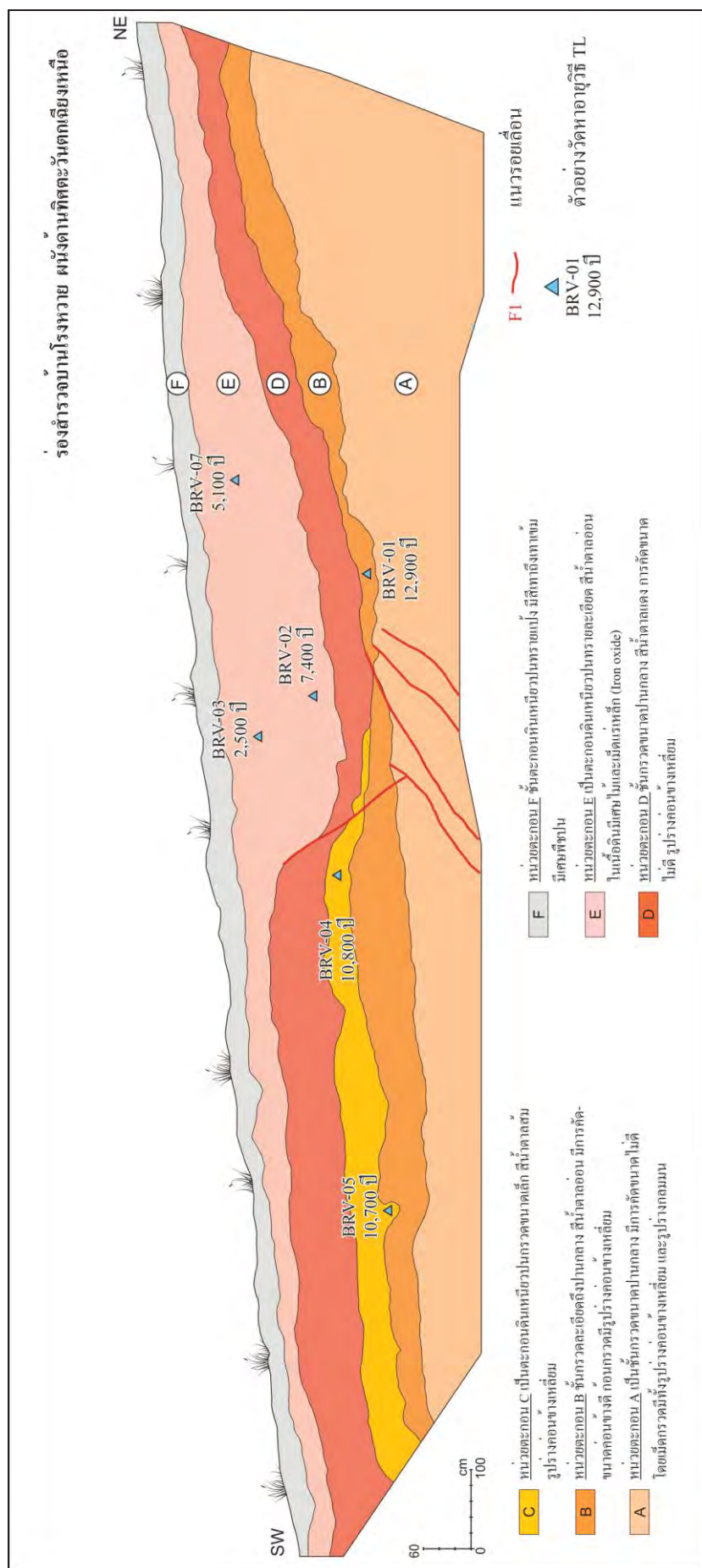


ตาราง 5.2 ผลการหาอายุของตัวอ ย่างตะกอนในพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน ด้วยเทคนิค regeneration (ต่อ)

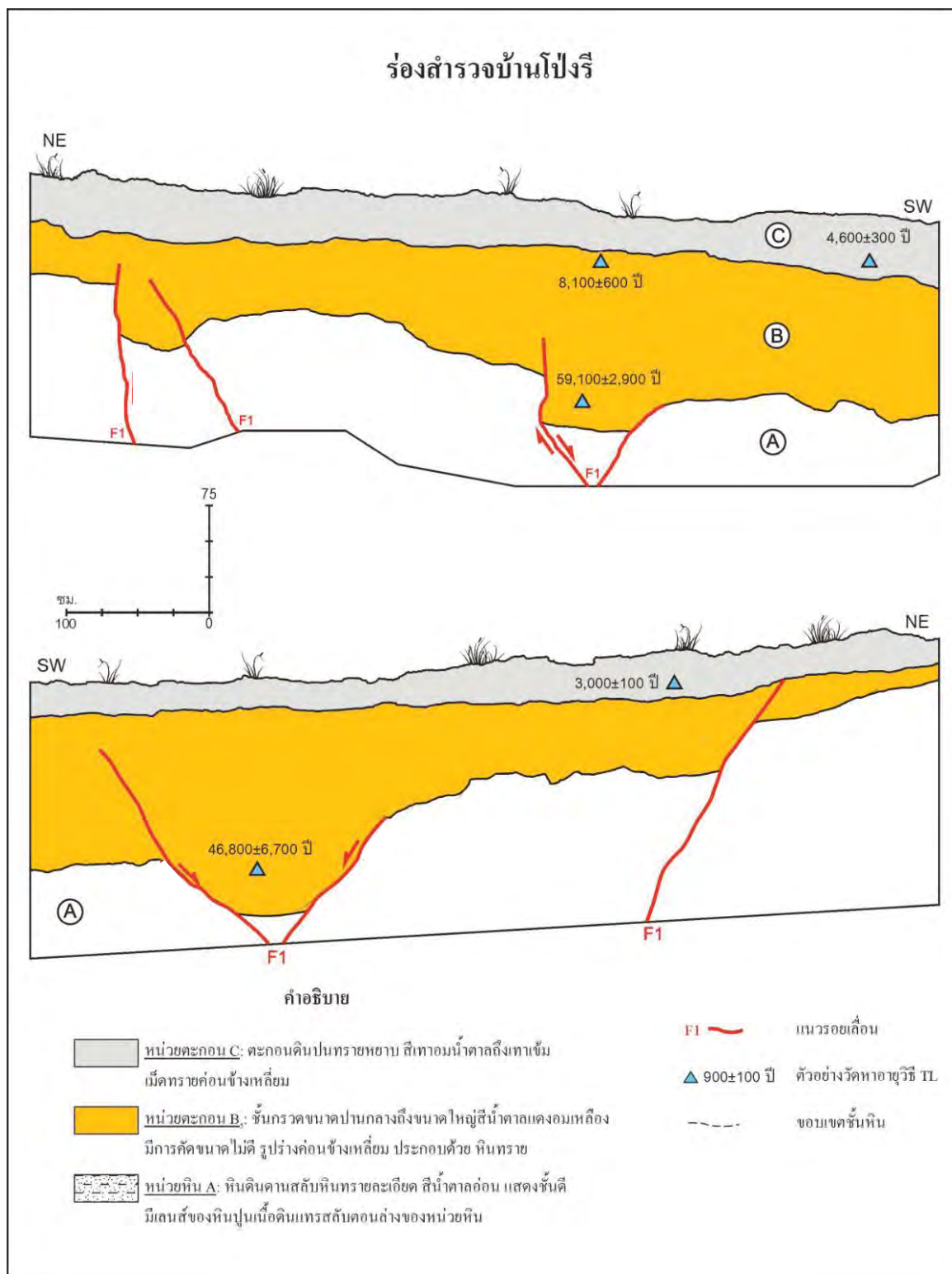
ลำดับ	ร่องสำรวจ	ชื่อตัวอย่าง	อายุ (ปี)
22	บ้านโป่งรี	PR-06	$46,800 \pm 6,700$
23	บ้านลำอีซู	IS-1	$2,500 \pm 100$
24	บ้านลำอีซู	IS-2	$3,300 \pm 100$
25	บ้านลำอีซู	IS-3	$3,600 \pm 100$
26	บ้านเขาสน	KS-01	$39,000 \pm 2,600$
27	บ้านเขาสน	KS-02	$16,900 \pm 1,800$
28	บ้านเขาสน	KS-03	$11,200 \pm 500$
29	บ้านเขาสน	KS-04	$5,000 \pm 1,300$
30	บ้านเขาสน	KS-05	$6,900 \pm 1,200$
31	บ้านเขาสน	KS-06	$12,600 \pm 2,900$

5.3 วิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนมีพลัง

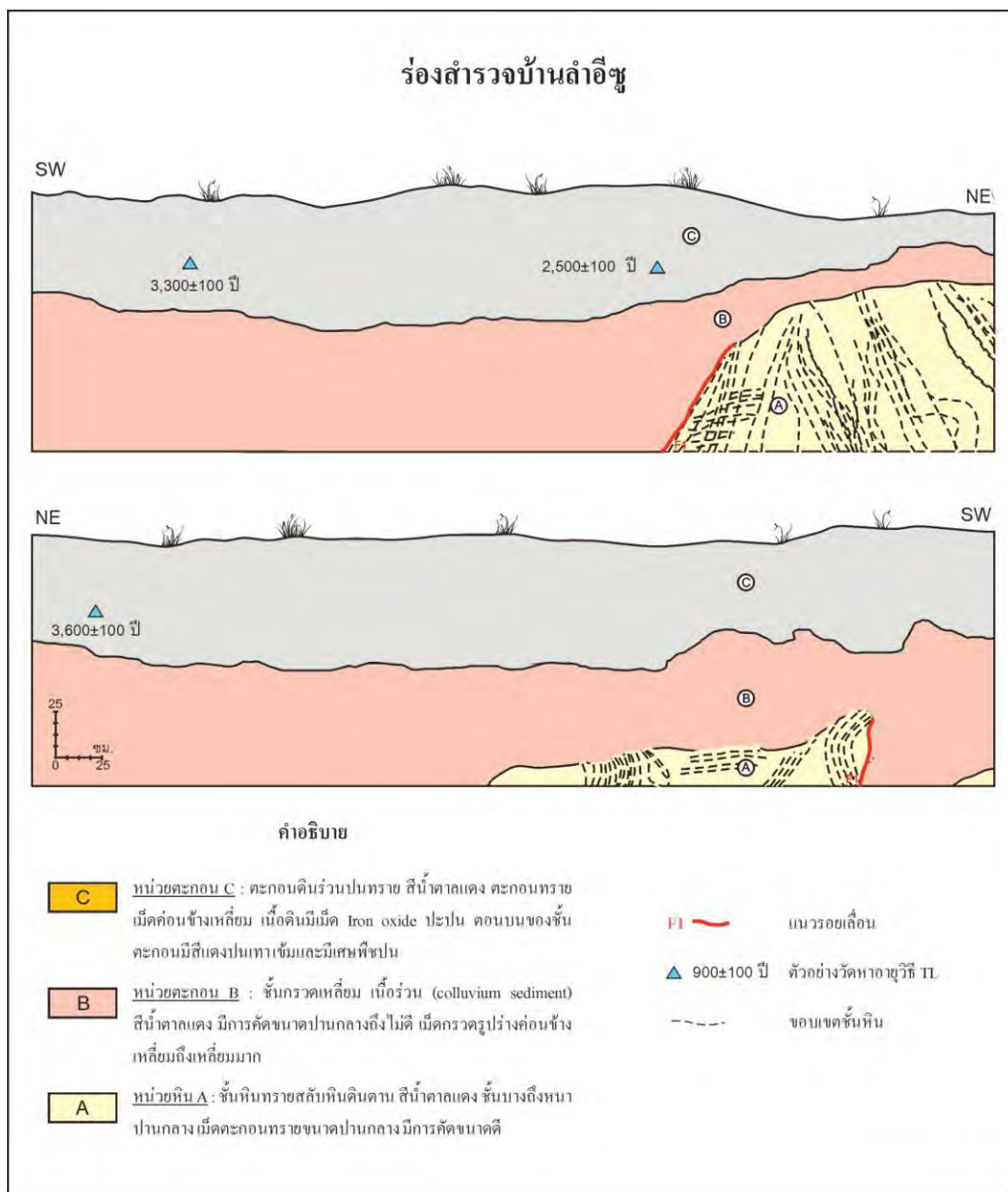
ในการศึกษาค้นคว้าได้มุ่งเน้นถึงลำดับเหตุการณ์และพัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนโดยอาศัยข้อมูลทั้งหมดในทุกบทที่ผ่านมาโดยเฉพาะข้อมูล จากร่องสำรวจ ผลการศึกษา สามารถสรุปเป็นแบบจำลองที่ได้แสดงในรูป 5.18 ถึง 5.23



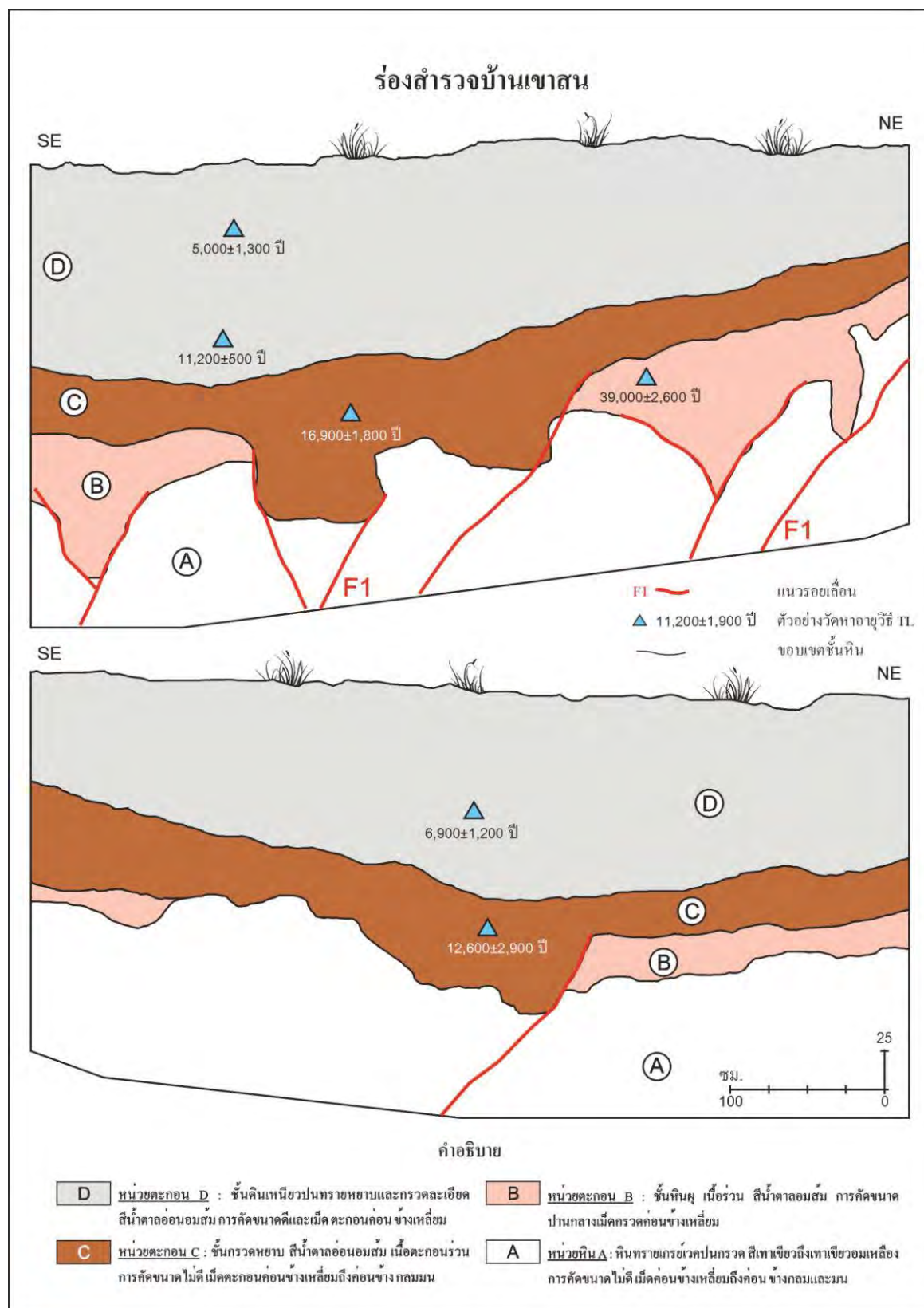
รูป 5.14 ภาพตัดขวางการลำดับชั้นตะกอนแสดงจุดเก็บตัวอย่างและอายุการสะสมตะกอนของร่องสำรวจพื้นที่ 3 บ้านโรงห้วย อำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี โดยพบรอยเลื่อนตัดผ่านถึงชั้นตะกอน D



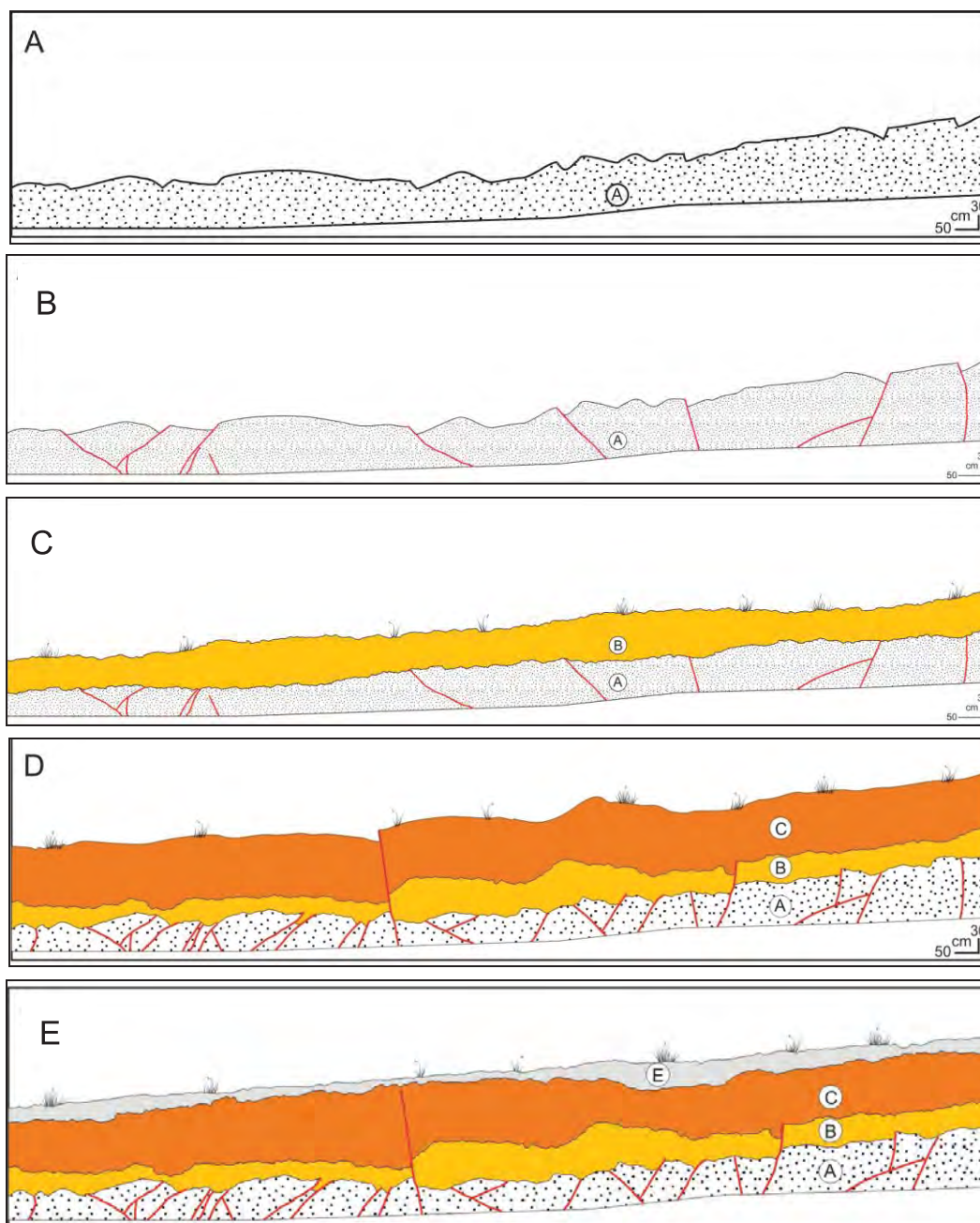
รูป 5.15 ภาพตัดขวางการ ลำดับชั้นตะกอนแสดงจุดเก็บตัวอย่างและอายุการสะสมตะกอนของ ร่องสำรวจ พื้นที่ 4 บ้านโป่งรี ตำบลหนองรี อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี โดยพบ รอยเลื่อนตัดผ่านถึงชั้นตะกอน B



รูป 5.16 ภาพตัดขวางการ ลำดับชั้นตะกอนแสดงจุดเก็บตัวอย่างและอายุการสะสมตะกอนของ ร่องสำรวจพื้นที่ 5 บ้านลำอิฐ ตำบลหนองรี อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี โดยพบ รอยเลื่อนตัดผ่านชั้น A

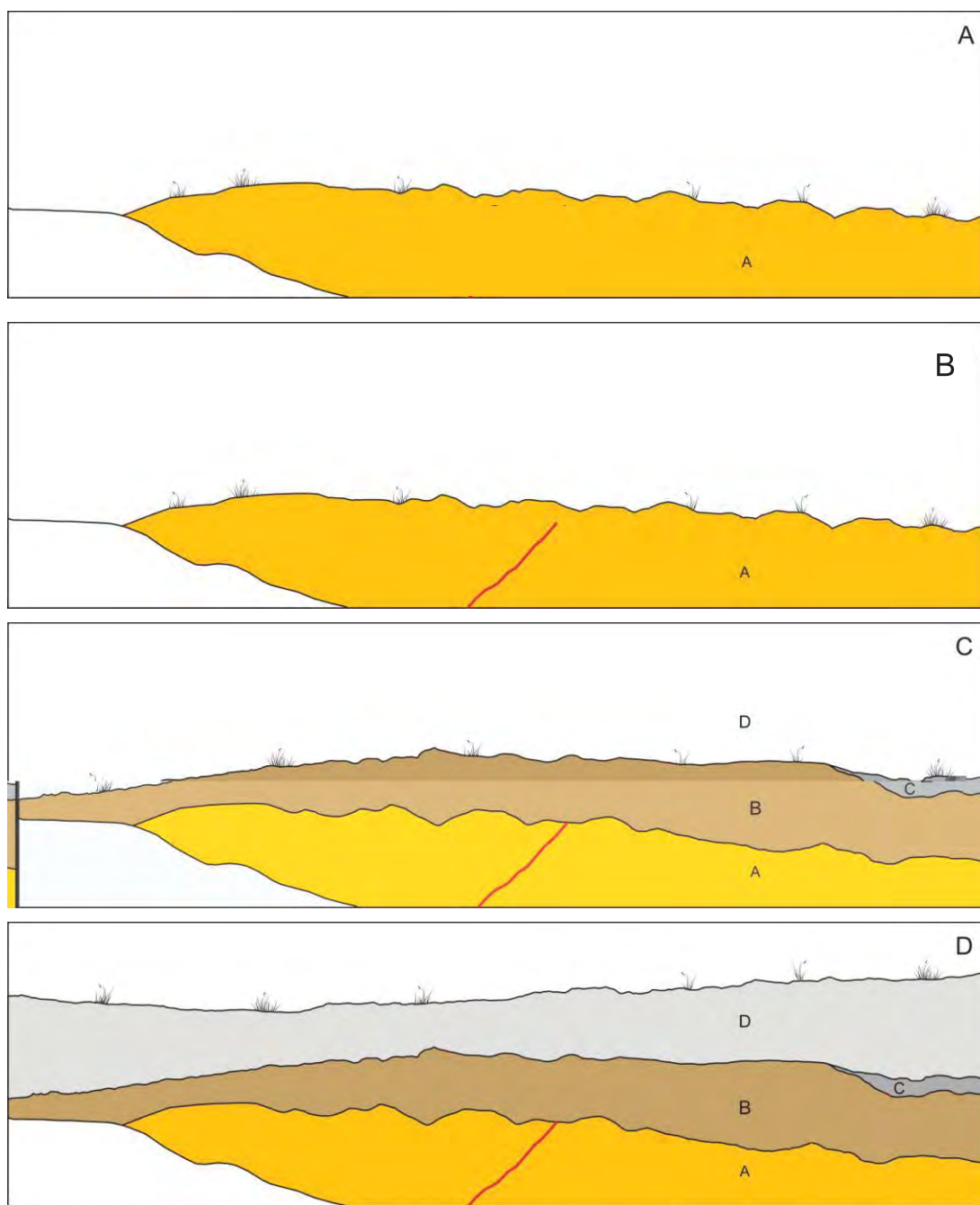


รูป 5.17 ภาพตัดขวางการ ลำดับชั้นตะกอนแสดงจุดเก็บตัวอย่างและอายุการสะสมตะกอนของ ร่องสำรวจพื้นที่ 6 บ้านเขาสน อำเภอนองปรี จังหวัดกาฬจนบุรี โดยพบรอยเลื่อน ตัดผ่านถึงชั้นตะกอน C



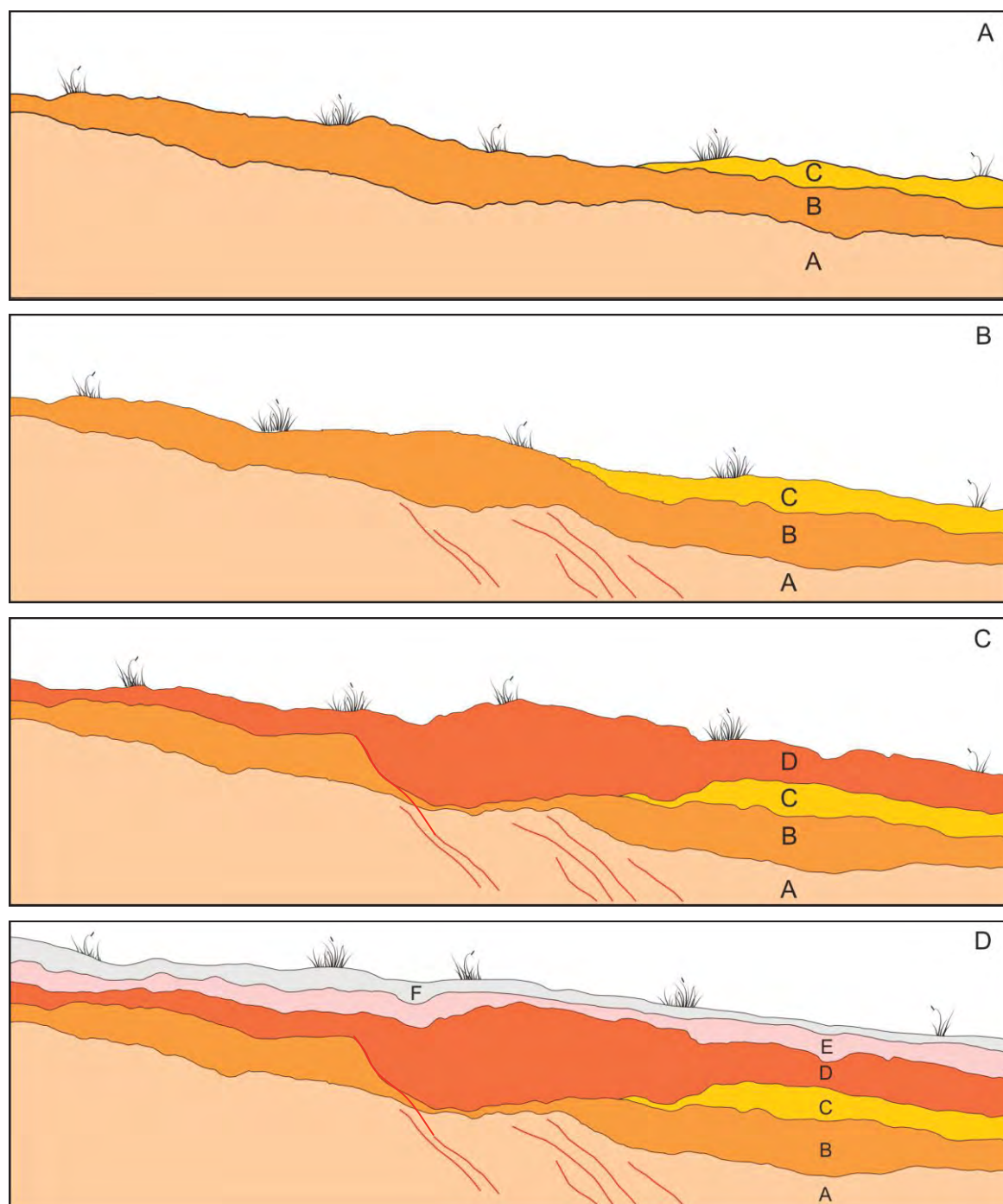
ลำดับชั้น	กระบวนการ	ระยะเวลา (ปี)
(A)	ชั้นหิน A สะสมตัว	>27,000 ปี
(B)	รอยเลื่อนย่อยพุโคลน (รอยเลื่อนปรกติและเหลื่อมขวา, แรงดึงออก)	>27,000 ปี
(C)	ชั้นตะกอน B สะสมตัว	27,000-14,000 ปี
(D)	ชั้นตะกอน C สะสมตัว	14,000-900 ปี
	รอยเลื่อนย่อยพุโคลน (รอยเลื่อนปรกติและเหลื่อมขวา, แรงดึงออก)	10,000 ปี
(E)	ชั้นตะกอน D สะสมตัว และปรากฏในปัจจุบัน	900 ปี-ปัจจุบัน

รูป 5.18 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยพุโคลน ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ บริเวณพื้นที่ 1 บ้านพุโคลน ตำบลวังกระแจะ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี



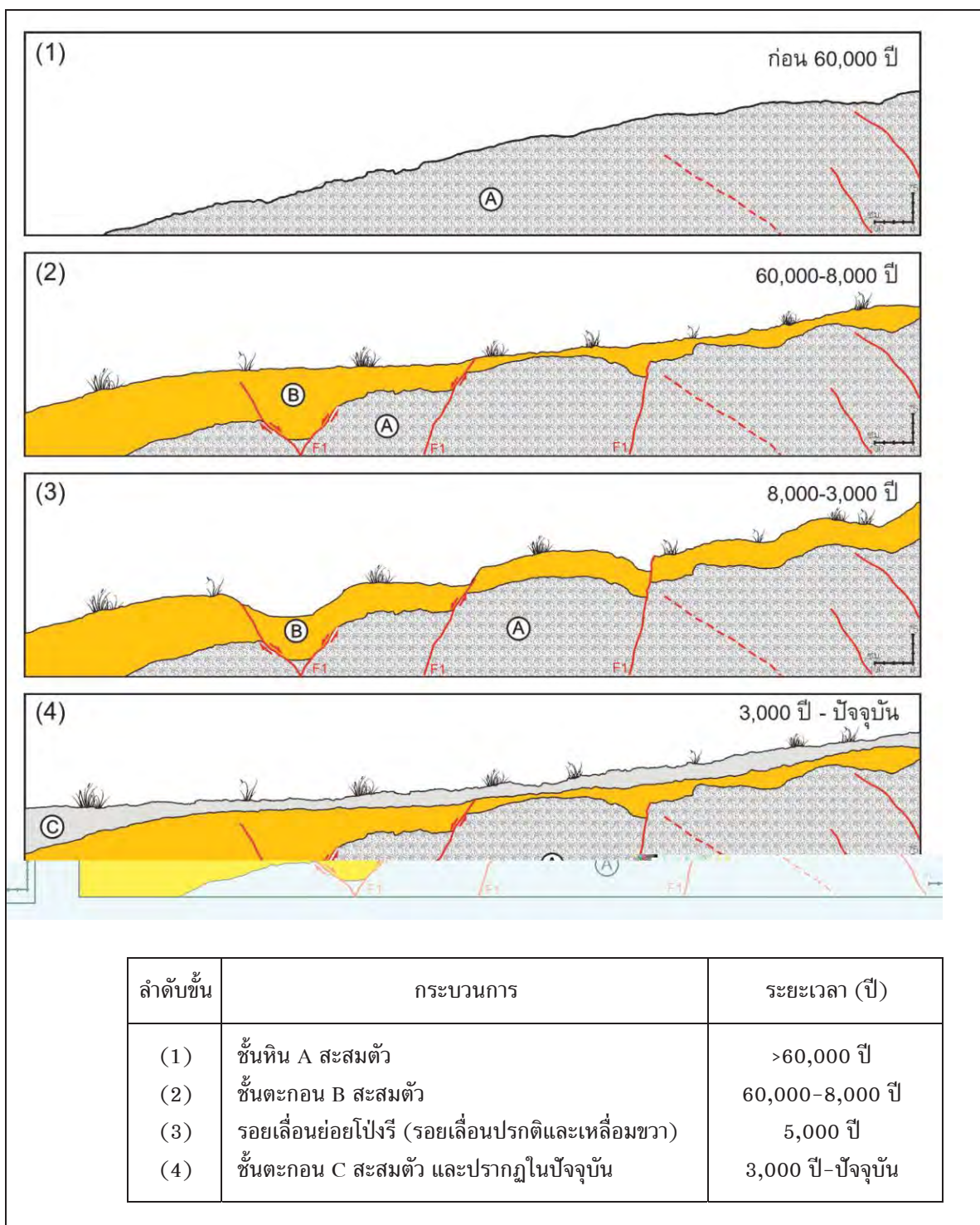
ลำดับชั้น	กระบวนการ	ระยะเวลา (ปี)
(A)	ชั้นตะกอน A สะสมตัว	>8,800 ปี
(B)	รอยเลื่อนย่อยปลายดินสอ (รอยเลื่อนปกติและเหลื่อมขวา, แรงดึงออก)	8,000 ปี
(C)	ชั้นตะกอน B และ C สะสมตัว	8,000-5,400 ปี
(D)	ชั้นตะกอน D สะสมตัว และปรากฏในปัจจุบัน	5,400-300 ปี

รูป 5.19 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยปลายดินสอ ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ บริเวณพื้นที่ 2 บ้านปลายดินสอ ตำบลแม่กระบุง อำเภอสว่างวีรวัฒน์ จังหวัดกาญจนบุรี

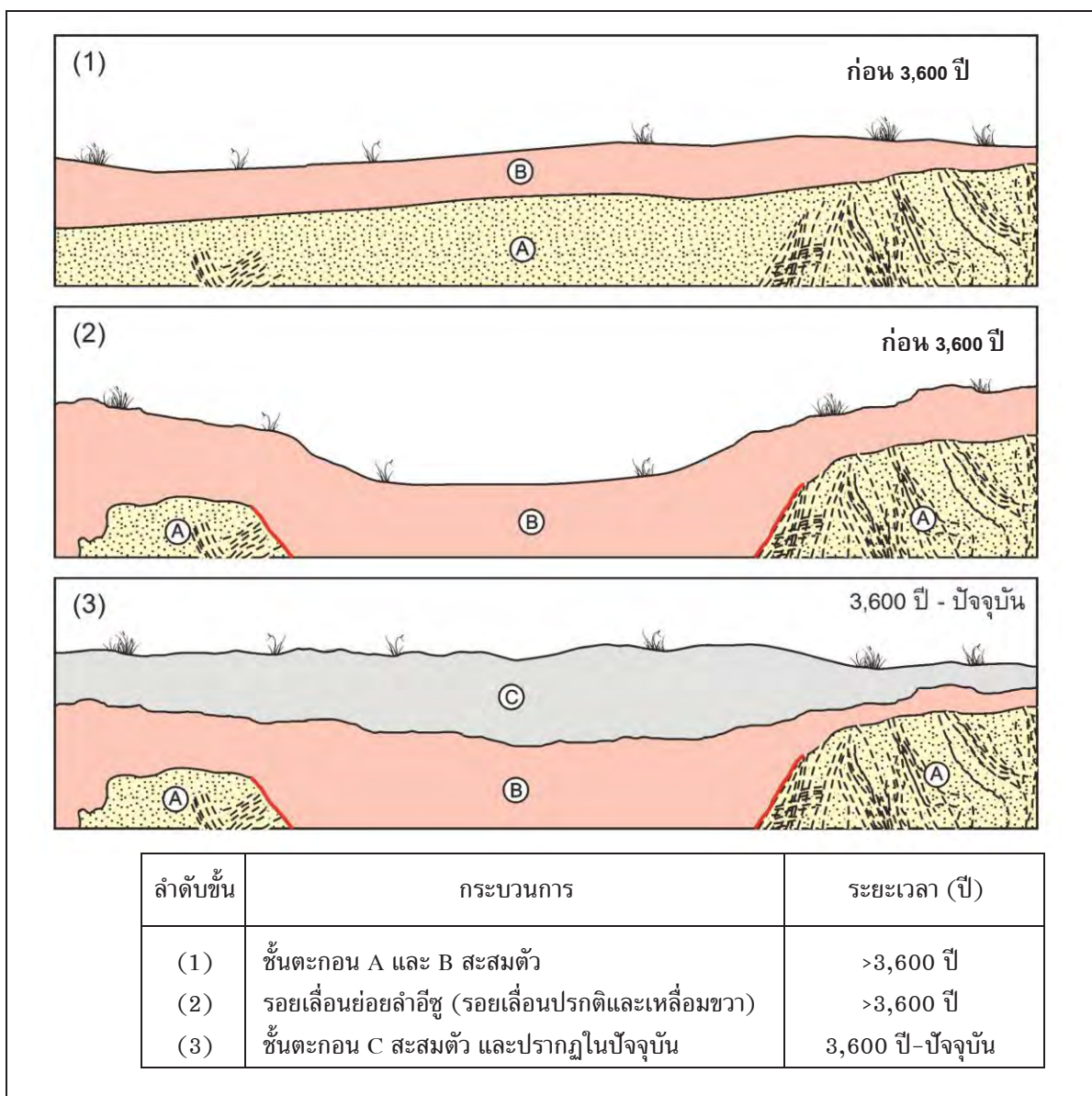


ลำดับชั้น	กระบวนการ	ระยะเวลา (ปี)
(A)	ชั้นตะกอน A, B, C และ D สะสมตัว	12,900-10,700 ปี
(B)	รอยเลื่อนย่อยสังขละบุรี (รอยเลื่อนปรกติและเหลื่อมขวา, แรงดึงออก)	9,000 ปี
(C)	ชั้นตะกอน E สะสมตัว	7,400-2,500 ปี
(D)	ชั้นตะกอน F และปรากฏในปัจจุบัน	2,500 ปี-ปัจจุบัน

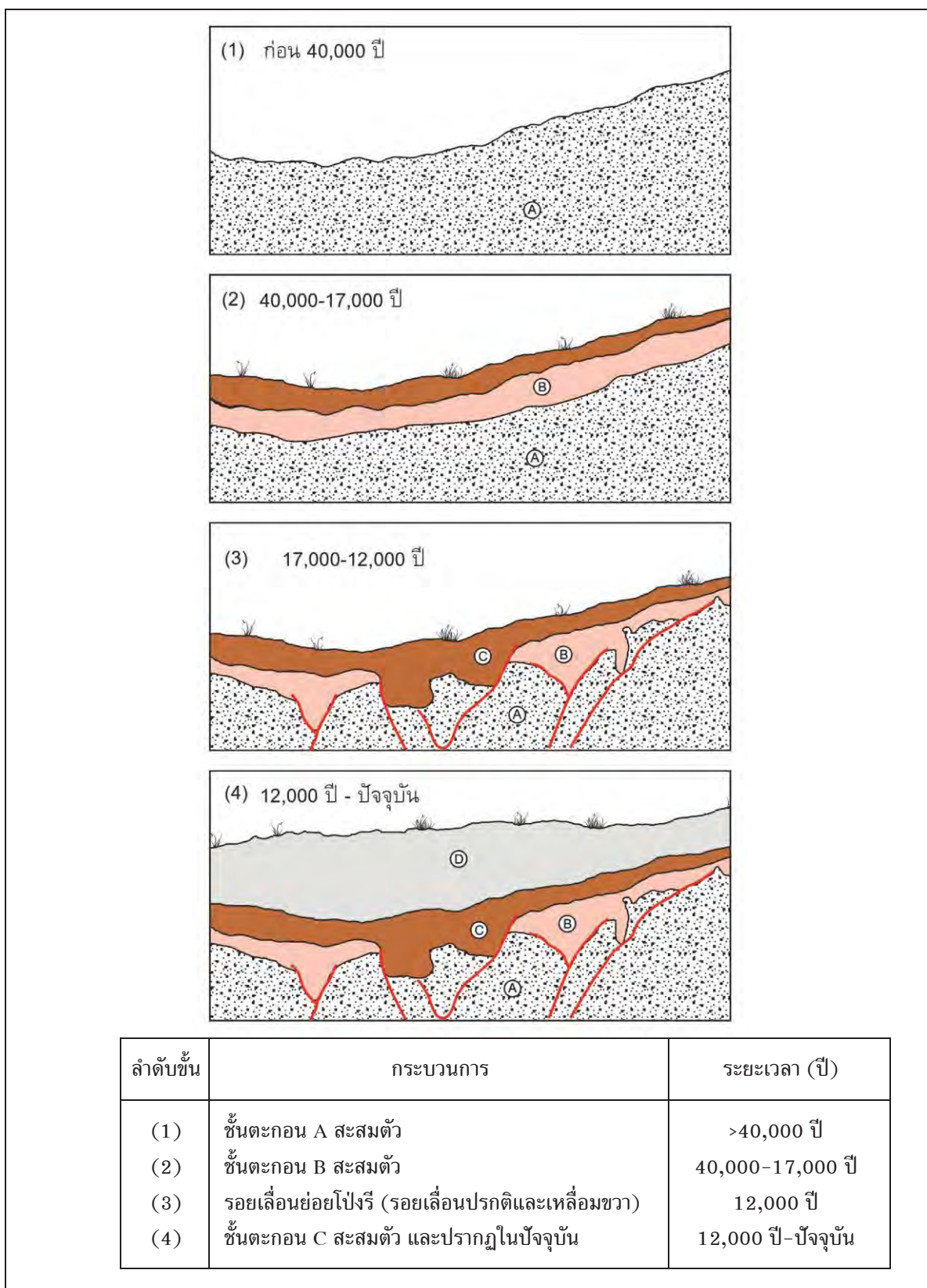
รูป 5.20 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยสังขละบุรี ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ บริเวณพื้นที่ 3 บ้านโรงหวาย ตำบลหนองลู อำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี



รูป 5.21 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยหนองปรือ ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ บริเวณพื้นที่ 4 บ้านโป่งรี ตำบลหนองรี อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูป 5.22 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยโป่งรี ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์บริเวณพื้นที่ 5 บ้านลำอีซู ตำบลหนองรี อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูป 5.23 แบบจำลองแสดงวิวัฒนาการการเกิดรอยเลื่อนย่อยเขาสน ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ บริเวณพื้นที่ 6บ้านเขาสน ตำบลหนองปรือ อำเภอนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี

บทที่ 6

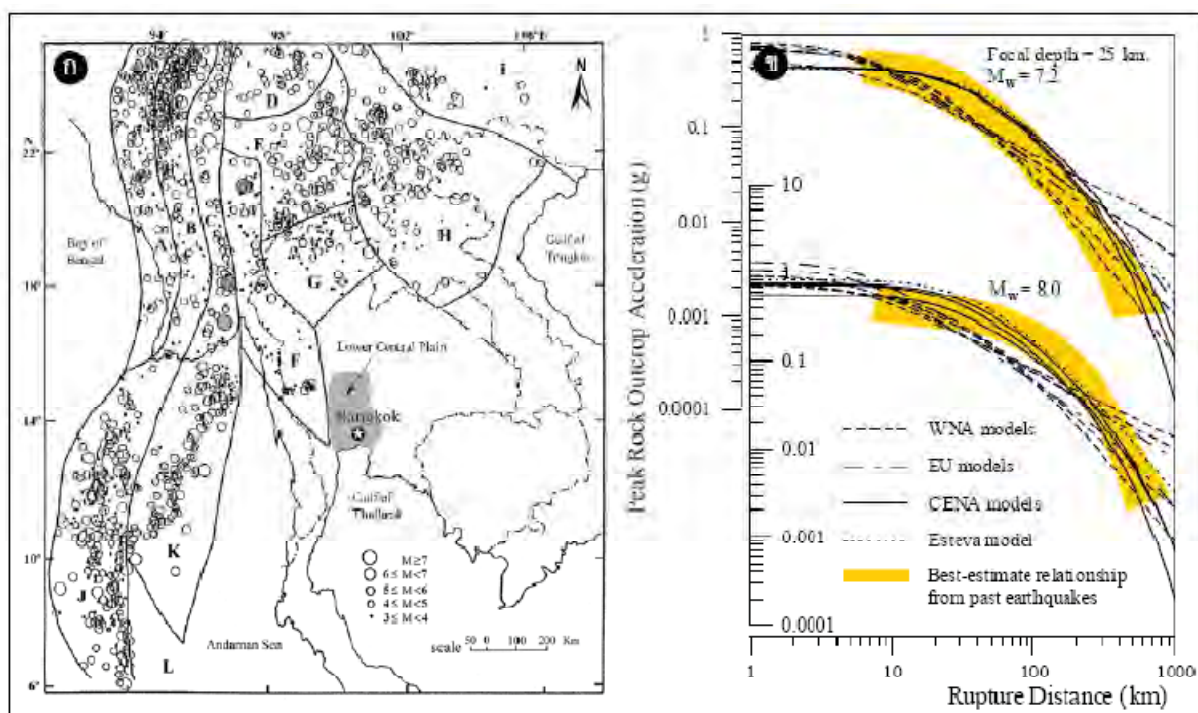
การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis)

6.1 บทนำ

ปัจจุบันเมื่อมีการวางแผนการก่อสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น เชื้อเพลิง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ระบบสาธารณูปโภคสาธารณะหรือแหล่งชุมชนขนาดใหญ่ ฯลฯ ปัจจัยด้านความปลอดภัยจากภัยธรรมชาติ ที่ควรพิจารณาขั้นตอนเริ่มต้น คือ ข้อมูลระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว (Seismic hazard) ของพื้นที่ ซึ่งมักจะสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา (Geological structure) และลักษณะธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic setting) ในพื้นที่นั้นๆ

การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis, SHA) หมายถึง การประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ในรูปของแรงสั่นสะเทือนสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) อันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาวิจัยหรือพื้นที่ข้างเคียง (Kramer, 1996) โดยแสดงอยู่ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) โดย $1g = 9.81 \text{ m/s}^2$ จากการสำรวจเชิงเอกสารเกี่ยวกับการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยในเชิงของการคำนวณทางคณิตศาสตร์และประมวลผลจากหลักการทางสถิติ สามารถสรุปได้ดังนี้

Wanitchai และ Lisantono (1996) ประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย ด้วยแนวคิดเชิงความน่าจะเป็นตามวิธีการของ Cornell (1968) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวในระยะเวลา 80 ปี จาก Southeast Asia Association of Seismology และ Earthquake Engineering (Nutalaya และคณะ, 1985) เพื่อประเมินศักยภาพของเขตกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ (Seismic source zone) ที่วิเคราะห์และจำแนกโดย Nutalaya และคณะ (1985) (รูป 6.1ก) โดยวิเคราะห์อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงด้วยแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Esteva และ Villaverde (1973) (รูป 6.1ข) และได้จัดทำแผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่มีโอกาส 10% ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในรอบ 50 ปี สรุปได้ว่า ภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง โดยจำแนกเป็นระดับ 2B และ 3 ตามมาตรฐานการแบ่งเขตความรุนแรงแผ่นดินไหวของ UBC (Uniform Building Code) (Whittier, 1988) ซึ่งจากแผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวดังกล่าวแสดงค่าสูงสุดในประเทศไทยประมาณ $0.27g$ (รูป 6.2)

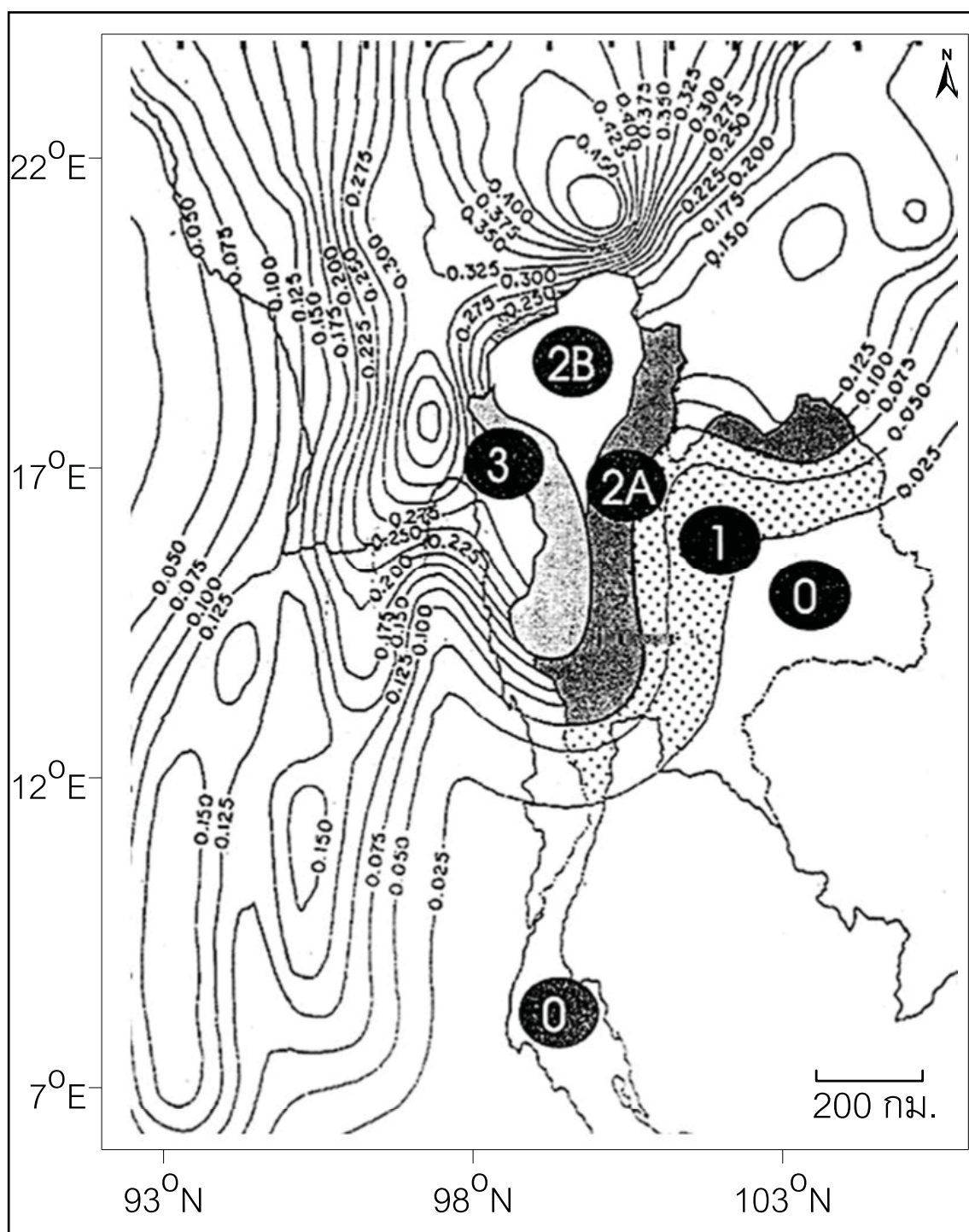


รูป 6.1 ก) แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงขอบเขตของ 12 เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (โซน A-L) และการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือในระหว่าง ค.ศ. 1910-2001 (Nutalaya และคณะ, 1985)

ข) แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจากพื้นที่ต่างๆ และแบบจำลองของ Esteva และ Villaverde (1973) (แถบสีเหลือง) ซึ่ง Wanitchai และ Lisantono (1996) เลือกใช้ในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว

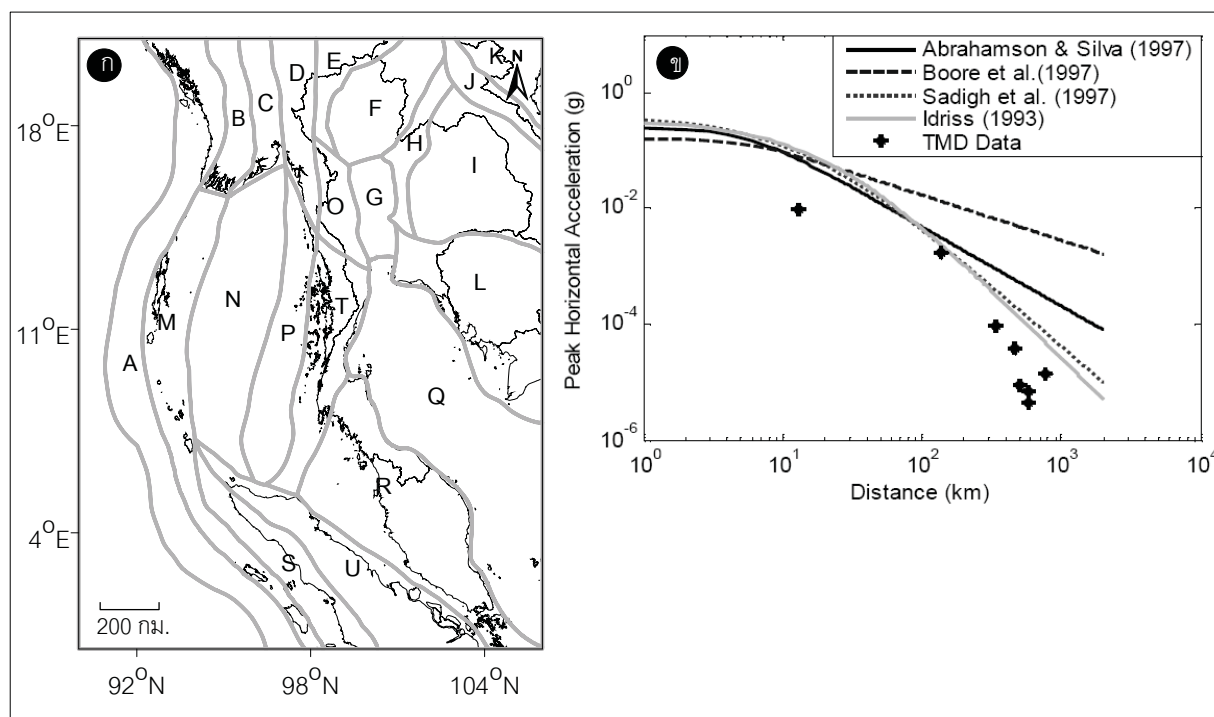
Palasri (2006) วิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวโดยใช้การวิเคราะห์ในเชิงความน่าจะเป็นตามวิธีการของ Cornell (1968) เช่นเดียวกับ Wanitchai และ Lisantono (1996) แต่ใช้แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่นำเสนอใหม่โดย Charusiri และคณะ (2005) (รูป 3ก) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของ Nutalaya และคณะ (1985) โดย Palasri (2006) ได้พิจารณาศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ (Instrumental record) ที่มีมากขึ้น นอกจากนี้ Palasri (2006) ได้เสนอแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างจากงานวิจัยของ Wanitchai และ Lisantono (1996) โดย Palasri (2006) สรุปว่าแบบจำลองที่นำเสนอโดย Sadigh และคณะ (1997) (รูป 6.3ข) สอดคล้องที่สุดกับลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง สำหรับกรณีแผ่นดินไหวที่เกิดระดับตื้นจากแนวรอยเลื่อนในแผ่นเปลือกโลก (Shallow crustal earthquake) และแบบจำลองที่นำเสนอโดย Petersen และคณะ (2004) สำหรับแผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (Subduction earthquake) จากการศึกษาสรุปได้ว่า อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีโอกาสเกิด 10% ในรอบ 50 ปี ในประเทศไทยมีค่าสูงบริเวณภาคตะวันตกบริเวณจังหวัดกาญจนบุรีและตาก ซึ่งมีค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินประมาณ $0.15g$ สำหรับภาคเหนือบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่และเชียงราย ซึ่งมีค่าประมาณ

0.25g และในบริเวณกรุงเทพมหานครมีค่าประมาณ 0.02g ส่วนอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ที่มีโอกาสเกิด 2% ในรอบ 50 ปี มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับการประเมินผลในกรณีของ ที่มีโอกาสเกิด 10% ในรอบ 50 ปี แต่ค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินสูงขึ้นเป็น 2 เท่าโดยประมาณ (รูป 6.4)



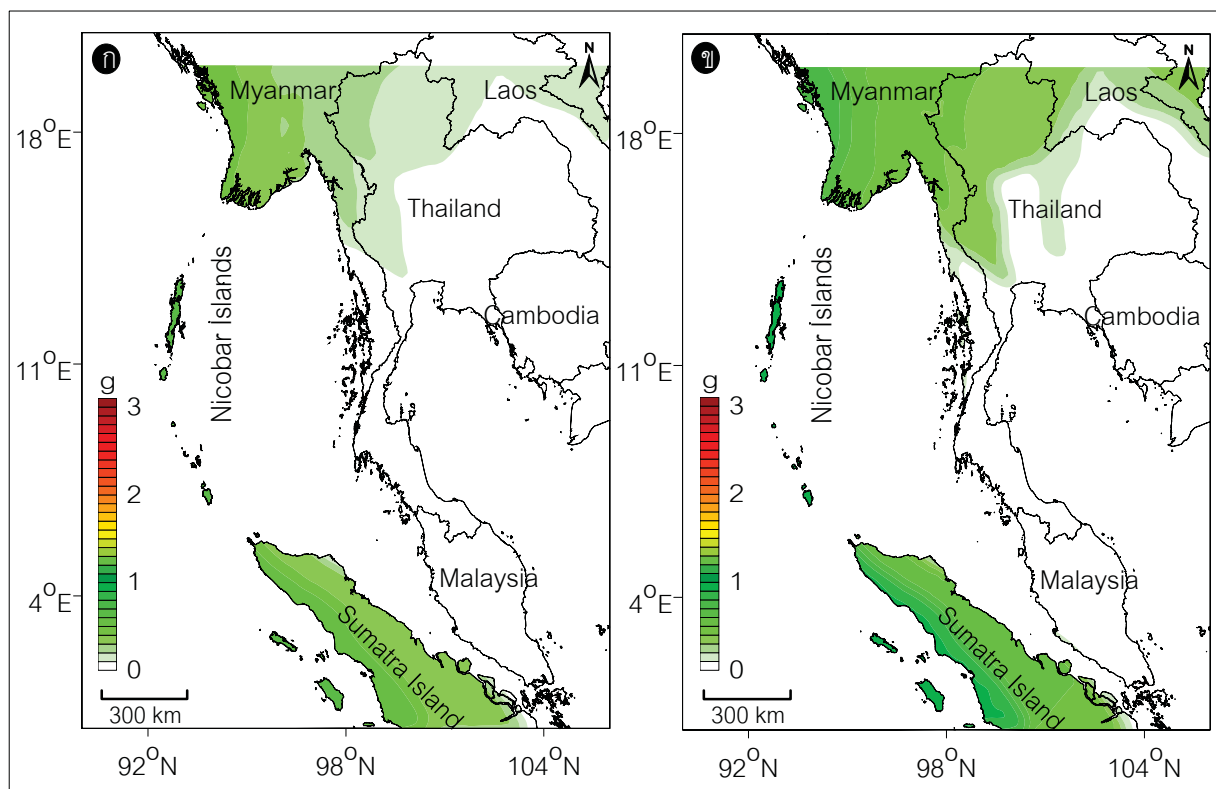
รูป 6.2 แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงระดับอันตรายแผ่นดินไหวแสดงแรงสั่นสะเทือนที่มีโอกาสมากกว่าหรือเท่ากับในรูปของอัตราเร่งพื้นดิน (หน่วย g) จากโอกาสความเป็นไปได้ 10% ในช่วงเวลา 50 ปี (Wanitchai และ Lisantono, 1996)

Pailoplee และคณะ (2009) วิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดของ Cornell (1968) เหมือนกับที่ Wanitchai และ Lisantono (1996) และ Palasri (2006) ประยุกต์ใช้ โดยเน้นในเรื่องของรอยเลื่อนมีพลังและข้อมูลการศึกษาแผ่นดินไหวโบราณ (Paleo-earthquakes) เป็นหลักในการพิจารณาศักยภาพของแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว



รูป 6.3 ก) แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงขอบเขตของ 21 เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (โซน A-U) ปรับปรุงจาก Nutalaya และคณะ (1985) และนำเสนอโดย Charusiri และคณะ (2005)

ข) แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจากพื้นที่ต่างๆ และแบบจำลองของ Sadigh และคณะ (1997) (เส้นประถี่สีดำ) ซึ่ง Palasri (2006) เลือกใช้สำหรับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนระดับตื้นภายในแผ่นทวีป ในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว

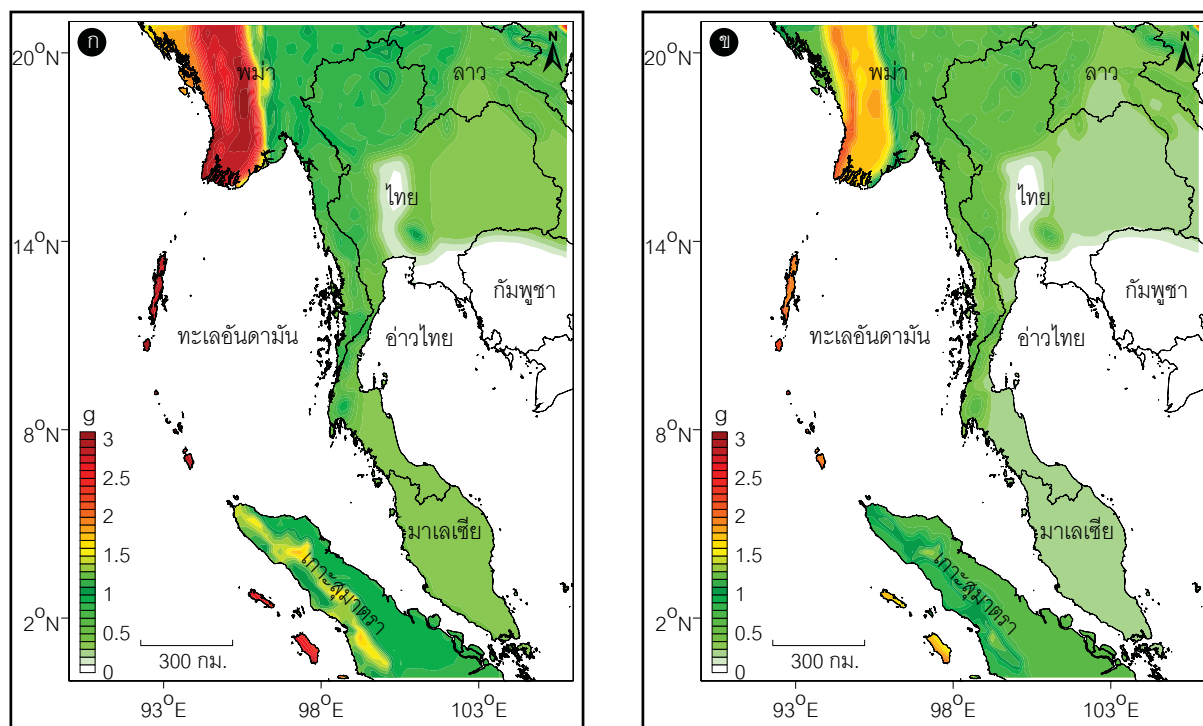


รูป 6.4 แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงระดับอันตรายแผ่นดินไหวแสดงแรงสั่นสะเทือนที่มีโอกาสมากกว่าหรือเท่ากับในรูปของอัตราเร่งพื้นดิน (หน่วย g) จากโอกาสความเป็นไปได้ ก) 10% และ ข) 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (Palasri, 2006)

โดยในการศึกษานี้ Pailoplee และคณะ (2009) ได้ประเมินแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งจากเขตกำเนิดแผ่นดินไหว (Charusiri และคณะ, 2005) (รูป 6.3ก) ร่วมกับกลุ่มรอยเลื่อนที่มีโอกาสเป็นรอยเลื่อนมีพลังทั้งในพื้นที่ศึกษาและรอบๆ พื้นที่ศึกษาโดยใช้แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว จาก Idriss และคณะ (1993) สำหรับกรณีแผ่นดินไหวที่เกิดระดับตื้นจากแนวรอยเลื่อนในแผ่นเปลือกโลก และแบบจำลองของ Crouse (1991) สำหรับแผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก จากการศึกษาสรุปได้ว่าในประเทศไทยโดยเฉพาะภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของรอยเลื่อนมีพลังอยู่หนาแน่น มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนในระดับ 0.3g-1g ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือน 0.1g-0.3g โดยประมาณ ทั้งนี้เป็นผลจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากภายนอกประเทศ เช่น ลาว เป็นหลัก ส่วนภาคกลางของประเทศไทยรวมทั้งพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศกัมพูชา ไม่แสดงโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว (รูป 6.5)

ถึงแม้ในงานวิจัยเก่าจะได้มีการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยและประเทศข้างเคียงแล้ว แต่สมมุติฐาน ทฤษฎีหรือข้อมูลนำเข้า ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในแต่ละครั้งนั้นไม่เหมือนกัน และมีจุดเด่นและจุดที่ต้องปรับปรุงต่างกัน Wanitchai และ Lisantono (1996) ถือได้ว่าเป็นกลุ่มวิจัยกลุ่มแรกที่ประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยและข้างเคียงด้วยแนวคิดทางคณิตศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีความไม่

สมบูรณ์บ้างในบางส่วนของงานวิจัย เช่น เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่เลือกใช้จาก Nutalaya และคณะ (1985) นั้นไม่ได้มีการกำหนดเขตกำเนิดแผ่นดินไหวบางแห่งที่สำคัญไป เช่น แนวรอยเลื่อนระนอง และคลองมะรุ่ย ทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่ากลุ่มรอยเลื่อนนี้มีพลัง และมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ในอนาคต



รูป 6.5 แผนที่ประเทศไทยและประเทศข้างเคียงแสดงระดับอันตรายแผ่นดินไหวแสดงแรงสั่นสะเทือนในรูปของอัตราเร่งพื้นดิน (หน่วย g) ตามโอกาสความเป็นไปได้ (%) ในช่วงเวลาการพิจารณา (ปี) ต่าง ๆ กัน ก) โอกาส 2% ที่แรงสั่นสะเทือนมากกว่าหรือเท่ากับ (g) ในรอบ 50 ปี; ข) โอกาส 10% ที่แรงสั่นสะเทือนมากกว่าหรือเท่ากับ (g) ในรอบ 50 ปี

Palasri (2006) เริ่มพัฒนาแบบจำลองและข้อมูลนำเข้าให้มีความทันสมัยและแม่นยำมากขึ้น แต่ Palasri (2006) ไม่ได้ตระหนักหรือพิจารณาเกี่ยวกับข้อมูลแผ่นดินไหวโบราณ หรือข้อมูลรอยเลื่อนมีพลังซึ่งมีความสำคัญมากในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว เนื่องจากแผ่นดินไหวที่ได้จากการศึกษารอยเลื่อนมีพลังนั้น เป็นข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่แต่มีคาบอุบัติซ้ำยาวมาก ซึ่งอาจจะไม่แสดงลักษณะให้เห็นในข้อมูลระยะสั้น (70–80 ปี) ของวิวัฒนาการการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ ส่งผลให้ในการประเมินแผ่นดินไหวนั้นอาจต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

ในกรณีของ Pailoplee และคณะ (2009) ถึงแม้จะได้มีการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีโอกาสส่งผลกระทบต่อพื้นที่ประเทศไทยสมบูรณ์แล้วนั้น แผนที่ที่ได้จากการประเมินยังเป็นการประเมินในเบื้องต้นและเหมาะสมในการประยุกต์ใช้อย่างคร่าว ๆ แต่ในเชิงรายละเอียดหรือพื้นที่ที่แคบ ๆ แผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่ได้นั้น ยังไม่มีความละเอียดมากพอ เนื่องจาก Pailoplee และ

คณะ (2009) รวบรวมรอยเลื่อนย่อยทั้งหมดของกลุ่มรอยเลื่อน ซึ่งอาจมีพฤติกรรม หรือศักยภาพในการให้กำเนิดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันนั้น รวมเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเดียวกัน

ซึ่งจากงานศึกษาวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในชั้นรายละเอียด ด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว หรือการศึกษาแผ่นดินไหวโบราณ และพบข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์ในการพิจารณาระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนา ปรับปรุงและประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหวในพื้นที่ โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหวเป็นหลักในการพิจารณาขอบเขตและศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวใหม่ และร่วมกับข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ทั้งนี้เพื่อให้ผลการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว โดยใช้การวิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว อันเป็นผลมาจากตำแหน่งที่ตั้งและศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในแต่ละเขต ผนวกกับลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อันเนื่องมาจากระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา ซึ่งในปัจจุบันแนวคิดในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่สำคัญ นำเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายมี 2 แนวคิด คือ 1) การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis-DSHA) (Hull และคณะ, 2003) และ 2) การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวจากความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis-PSHA) (Cornell, 1968) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ประเมินจากตัวแปรนำเข้า (Input parameters) ที่คล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างกันทั้งกระบวนการวิเคราะห์ และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ตลอดจนจุดประสงค์ของการใช้ผลการประเมินในงานด้านต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

6.2.1 การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า

แนวคิดการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (รูป 6.6) เป็นการพิจารณาระดับอันตรายสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ศึกษา (Worst case) โดยวิเคราะห์ศักยภาพสูงสุดของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum credible earthquake, MCE) มาเป็นกรณีศึกษาในการประเมินระดับความรุนแรงของแรงสั่นสะเทือนเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น ซึ่งแนวคิดนี้เป็นที่นิยมในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในพื้นที่เฉพาะจุด (Source-to-site analysis) ในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีความสำคัญมากทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น เชื้อเพลิง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ อาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญอย่างมาก เพราะการประเมินด้วยแนวคิดนี้ จะให้ค่าระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่มากเกินไปกว่าความเป็นจริง (Over-estimate) แต่จะมีค่าความปลอดภัยสูงสุด ซึ่งขั้นตอนการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่าดังรูป 6.6 (Hull และคณะ, 2003) ประกอบด้วย

2.1.1 กำหนดตำแหน่ง ที่ตั้ง จำแนกรูปทรง (Geometry) ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว และประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (รูป 6.6 ขั้นตอนที่ 1) ซึ่งตำแหน่งหรือรูปทรงมักขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic setting) ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นๆ เช่น ภูเขาไฟที่

ยังมีพลัง (Active volcanoes) มักจะมีตำแหน่งการเกิดแรงสั่นสะเทือนในวงแคบใกล้กับตำแหน่งภูเขาไฟ จึงถือว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบนี้ เป็นแบบจุด (Point source) หรือแนวรอยเลื่อนแผ่นดินไหวจัดเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบเส้น (Line source) ส่วนในบางกรณี แผ่นดินไหวอาจเกิดขึ้นในบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ซึ่งอาจจะไม่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนหรือแนวภูเขาไฟ ในกรณีเช่นนี้อาจประเมินว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวนี้เป็นแบบเชิงพื้นที่ (Area source) เป็นต้น

2.1.2 ประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา และคัดเลือกระยะทางที่สั้นที่สุดเป็นตัวแทนของระยะทางจากพื้นที่ศึกษาถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (รูป 6.6 ขั้นตอนที่ 2)

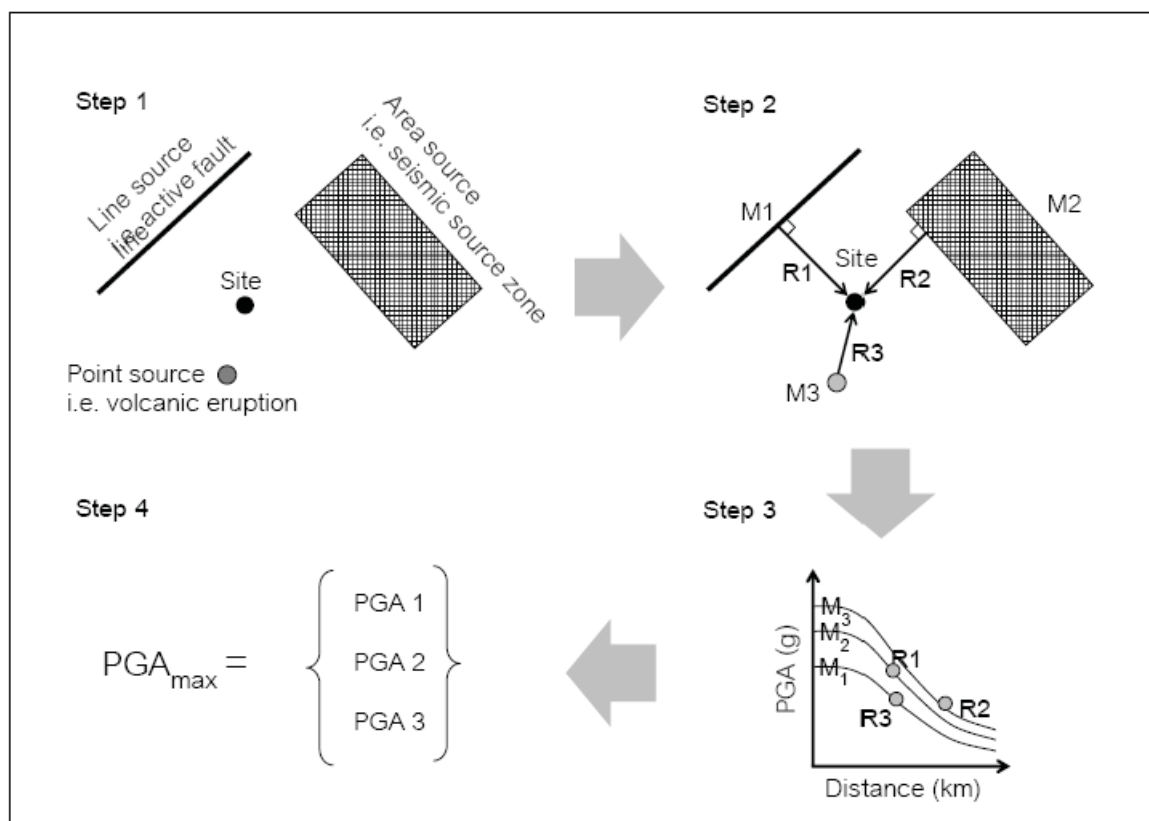
2.1.3 นำค่าตัวแปรที่ได้จาก ข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 มาประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว โดยใช้แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ศึกษา (รูป 6.6 ขั้นตอนที่ 3)

2.1.4 เปรียบเทียบขนาดของแรงสั่นสะเทือนที่จะกระทบต่อพื้นที่ศึกษา จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ และคัดเลือกระดับความรุนแรงสูงสุด (ในรูปแบบของอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน) จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแหล่งใดแหล่งหนึ่ง เป็นตัวแทนของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นที่ศึกษามีโอกาสได้รับผลกระทบ (รูป 6.6 ขั้นตอนที่ 4)

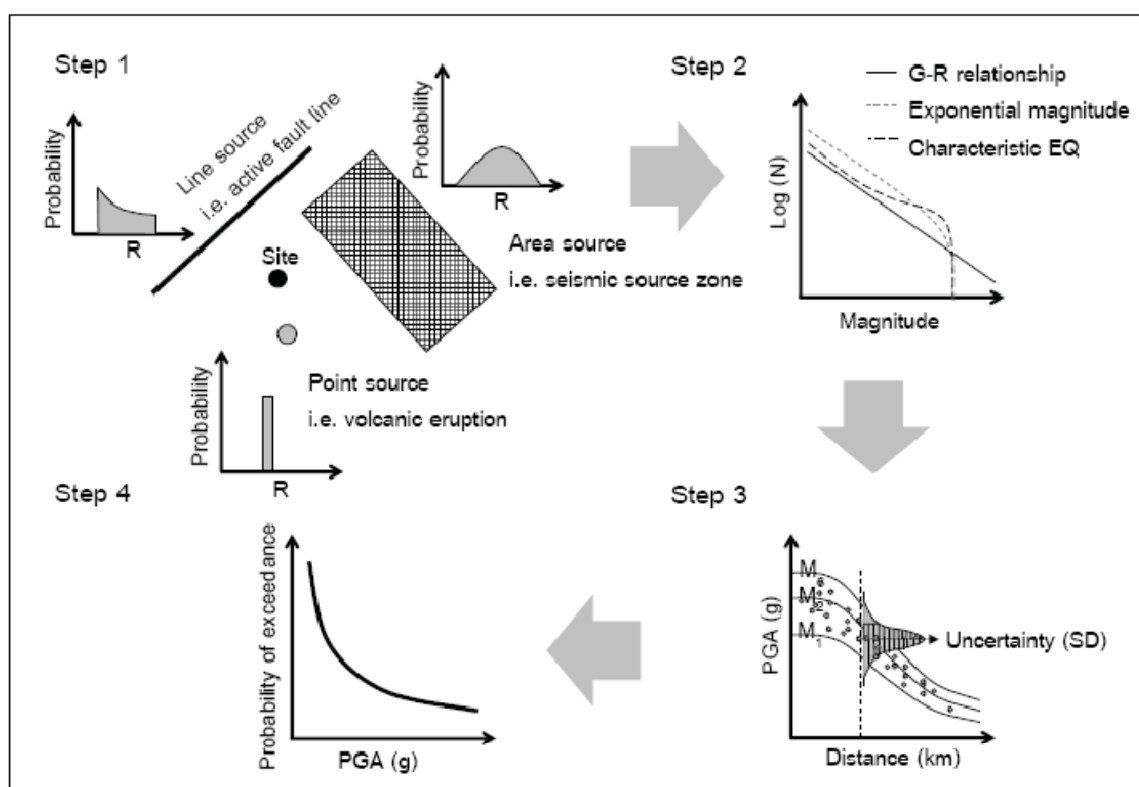
6.2.2 การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวจากความน่าจะเป็น

ในกรณีของการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวจากความน่าจะเป็น (รูป 6.7) เป็นวิธีการประเมินระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวโดยใช้แนวคิดของโอกาสที่จะเกิดขึ้นเข้าช่วยในการวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาความน่าจะเป็นจากข้อมูลที่มีอยู่ในหลายๆ ด้าน เช่น ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรง ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษาและความน่าจะเป็นอันเนื่องมาจากการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

ขั้นตอนในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยแนวคิดความน่าจะเป็นประกอบด้วย 4 ขั้นตอน เช่นเดียวกับการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า แต่ในรายละเอียดมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่า ซึ่งรายละเอียดการประเมินด้วยแนวคิดความน่าจะเป็น (Kramer, 1996) มีดังต่อไปนี้



รูป 6.6 วิธีการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Hull และคณะ, 2003)



รูป 6.7 วิธีการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวจากความน่าจะเป็น (Kramer, 1996)

2.2.1 จำแนกลักษณะรูปร่างของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเช่นเดียวกับการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า และประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา โดยอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นในแต่ละระยะทาง เช่น ในกรณีของแหล่งกำเนิดเชิงพื้นที่ สามารถทำได้โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อยๆ (Gridding) จากนั้นประเมินระยะทางจากแต่ละส่วนย่อยถึงพื้นที่ศึกษา และประเมินความเป็นไปได้ (Probability) ในแต่ละระยะทาง (รูป 6.7 ขั้นตอนที่ 1)

2.2.2 พิจารณาความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรง โดยสามารถประเมินได้จากสมการความหนาแน่น (หรือความถี่) ของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละระดับความรุนแรง (Probability Density Function, PDF) ซึ่งโดยพื้นฐานอย่างง่ายสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ Gutenberg–Richter (G–R) (Gutenberg และ Richter, 1954) ดังแสดงในสมการ (1)

$$\log \lambda_m = a - bm \text{ ----- สมการ (1)}$$

กำหนดให้

- λ_m คือ อัตราการเกิด (Mean of annual rates of exceedance) ของแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า m ในรอบ 1 ปี
- m คือ ขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการหาความน่าจะเป็นของการเกิด (หน่วยโมเมนต์- M_w)
- a และ b คือ ค่าคงที่ สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \lambda_m$ และ m

แต่ปัญหาที่พบจากการใช้สมการความสัมพันธ์นี้ในการประเมินโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวในระดับต่างๆ นั้น ซึ่งสมการดั้งเดิมของสมการความสัมพันธ์ G–R ไม่สามารถกำหนดขอบเขตของแผ่นดินไหวสูงสุดได้ ดังนั้นในบางกรณีหากประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ G–R และทำนายต่อไปยังแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงสูงๆ จะพบว่าขนาดแผ่นดินไหวที่สามารถเกิดขึ้นได้มีค่า 10 ริคเตอร์หรือมากกว่า (รูป 6.7 ขั้นตอนที่ 2) ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในความเป็นจริง เนื่องจากไม่เคยมีแผ่นดินไหวที่มีขนาดแผ่นดินไหวเท่ากับ 10 ริคเตอร์หรือมากกว่า เกิดขึ้น ดังนั้นต่อมา McGuire และ Arabasz (1990) ได้นำเสนอสมการความหนาแน่นของขนาดแผ่นดินไหวที่ใช้แทนสมการความสัมพันธ์ G–R โดยการนำค่า a และ b (ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ G–R) และค่าระดับแผ่นดินไหวสูงสุด ($m_{\max}$) มาแทนค่าในสมการ (2) (McGuire และ Arabasz, 1990)

$$f_M(m) = \frac{N(m^0)\beta \exp(-\beta(m - m_0))}{1 - \exp(-\beta(m_{\max} - m_0))} \text{ ----- สมการ (2)}$$

กำหนดให้

- $f_M(m)$ คือ Probability Density Function (PDF)
- m_0 คือ ขนาดแผ่นดินไหวเล็กที่สุดที่นำมาพิจารณา

$m_{\max}$	คือ ขนาดแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดที่นำมาพิจารณา อาจประเมินจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้น หรือจากข้อมูลการศึกษาธรณีวิทยาแผ่นดินไหว (Paleo-seismological data)
β	คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $2.303 a$

เนื่องจากในปัจจุบันมีการศึกษาด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหวมากขึ้น และจากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดนั้นไม่ได้แสดงลักษณะของศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอย่างแท้จริง ทั้งนี้เนื่องจากในบางครั้งจากหลักฐานทางธรณีวิทยาแผ่นดินไหวพบว่าบางแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว เช่น รอยเลื่อนมีพลัง เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ระดับ 6-8 ริคเตอร์ แต่ไม่ได้มีการบันทึกไว้ทั้งจากบันทึกทางประวัติศาสตร์หรือจากเครื่องมือตรวจวัด สาเหตุมาจากโดยปกติแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่มักมีคาบอุบัติซ้ำ (Return period) ที่ยาวนาน เช่น 1,000-10,000 ปี (Gutenberg และ Richter, 1954) ซึ่งช่วงเวลาของข้อมูลที่ยังบันทึกไว้ทางประวัติศาสตร์หรือข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดนั้นไม่ครอบคลุมคาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เหล่านั้น (รูป 6.8ก) ดังนั้นนักวิจัยหลายกลุ่ม เช่น Schwartz และ Coppersmith (1984) และ Youngs และ Coppersmith (1985) จึงเห็นว่าควรให้ความสำคัญกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาธรณีวิทยาแผ่นดินไหวมาประกอบในการพิจารณาศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ซึ่งในปัจจุบันพบว่าแบบจำลองในการพิจารณาศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโดยใช้ข้อมูลธรณีวิทยาแผ่นดินไหวมาควบคุมแบบจำลองนั้นประกอบด้วย 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง Exponential magnitude distribution (สมการ 3) และแบบจำลอง Characteristic earthquake (สมการ 4-5) (ดูรายละเอียดใน Schwartz และ Coppersmith (1984) และ Youngs และ Coppersmith (1985)) ซึ่งทั้งสองแบบจำลองให้ผลการประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรงที่แตกต่างกัน (รูป 6.8ข) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในรายละเอียดโดย Youngs และ Coppersmith (1985) พบว่าแบบจำลอง Characteristic earthquake มีความเหมาะสมและให้ค่าผลการจำลองที่ใกล้เคียงมากกว่าแบบจำลอง Exponential magnitude distribution (Youngs และ Coppersmith, 1985) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้บันทึกไว้ ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงใช้สมการแบบจำลอง Characteristic earthquake (เส้นประ ในรูป 6.8ข และสมการ 4-5) ในการประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในการศึกษานี้

$$\mu A_f S = \frac{b N(m^0) M_0^{\max} \exp(-\beta(m_{\max} - m^0))}{(c - b)(1 - \exp(-\beta(m_{\max} - m^0)))} \quad \text{สมการ (3)}$$

กำหนดให้

μ	คือ ค่า Rigidity หรือ ค่า Shear modulus (มีค่าประมาณ 3×10^{11} dyne/cm ²)
A_f	คือ พื้นที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Rupture area)
S	คือ อัตราการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Slip rate) ซึ่งสามารถหาได้จากการศึกษาด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว
$N(m^0)$	คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมดในพื้นที่

$M_0^{\max}$ คือ Seismic moment ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งที่รุนแรงที่สุด
 c คือ ค่าคงที่ที่ได้จากสมการ $\log M_0 = cm + d$ ซึ่ง Hanks และ Kanamori (1979) ได้ประเมินไว้จากการศึกษาแผ่นดินไหวในพื้นที่ California และกำหนดให้ค่า $c = 1.5$ และ d เท่ากับ 16.1

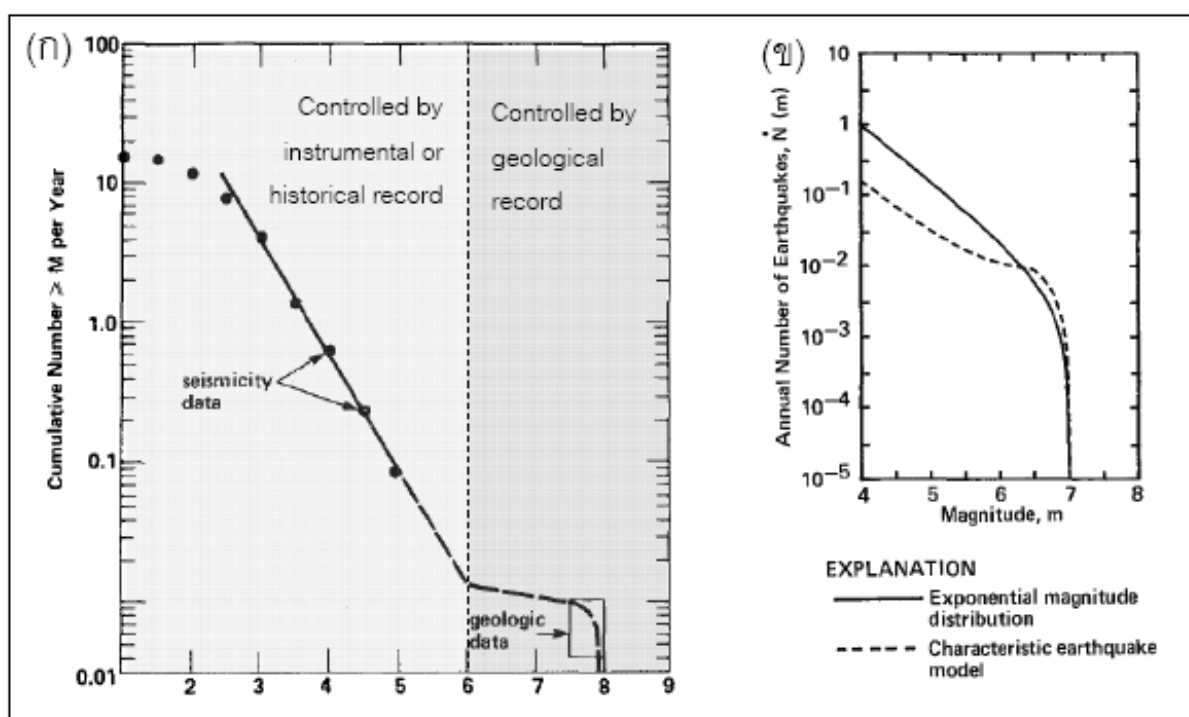
$$\mu A_f S = \left(\frac{(N(m^o) - N(m^c)) \exp(-\beta(m_{\max} - m^o - (1/2)))}{(1 - \exp(-\beta(m_{\max} - m^o - (1/2))))} M_0^{\max} \right) \left(\frac{b 10^{-c/2}}{c - b} + \frac{b \exp(\beta)(1 - 10^{-c/2})}{c} \right)$$

----- สมการ (4)

กำหนดให้

$$N(m^c) = \frac{b \ln(10)(N(m^o) - N(m^c)) \exp(-\beta(m_{\max} - m^o - (3/2)))}{2(1 - \exp(-\beta(m_{\max} - m^o - (1/2))))}$$

----- สมการ (5)



รูป 6.8 ก) การประเมินคาบอุบัติซ้ำ โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือหรือบันทึกทางประวัติศาสตร์และข้อมูลแผ่นดินไหวโบราณ ที่ได้จากการศึกษาทางธรณีวิทยาแผ่นดินไหว
 ข) กราฟเปรียบเทียบการประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรงตามแบบจำลอง exponential magnitude distribution (เส้นทึบ) และแบบจำลอง characteristic earthquake (เส้นประ) (Youngs และ Coppersmith, 1985)

2.2.3 จากนั้นจึงนำค่าระยะทางและขนาดแผ่นดินไหวที่กำหนดไว้เป็นช่วงย่อย (ซึ่งแต่ละระยะทางย่อยและขนาดแผ่นดินไหวย่อยจะมีค่าความน่าจะเป็นกำกับอยู่) นำเข้าวิเคราะห์กับแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่และเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะทางธรณีแปรสัณฐานของแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว เช่น แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก หรือ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบรอยเลื่อนที่อยู่ภายในแผ่นเปลือกโลก ซึ่งในส่วนของแบบจำลองเองก็มีความไม่แน่นอน หรือโอกาสความน่าจะเป็นไม่เท่ากันเช่นกัน โดยทุกแบบจำลองจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ที่ได้จากการคำนวณถือว่าเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) โดยกำหนดให้มีการกระจายความเป็นไปได้แบบบัวชองก์ (Poisson distribution) ดังนั้นหลังจากขั้นตอนนี้ จะได้ผลของค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย และความน่าจะเป็นไปได้ (Probability) ที่ขนาดแรงสั่นสะเทือนจะมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าค่าเฉลี่ย (รูป 6.7 ขั้นตอนที่ 3)

2.2.4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว คือ การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความน่าจะเป็นไปได้ของการเกิดแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวเท่ากับหรือมากกว่าค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินที่กำหนด (แกนตั้ง) และค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (แกนนอน) (ดูรูป 6.7 ขั้นตอนที่ 4 ประกอบ) ซึ่งความน่าจะเป็นไปได้รวมได้จากสมการ (6-7)

$$y^* = \sum_{i=1}^{N_s} v_i \iint P[Y > y^* | m, r] f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dm dr \text{ ----- สมการ (6)}$$

$$v_i = \exp(\alpha_i - \beta_i m_0) \text{ ----- สมการ (7)}$$

กำหนดให้

y^*	คือ โอกาส (Probability) ที่แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน
N_s	คือ จำนวนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งหมด
$f_M(m)$	คือ โอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาด m
$f_R(r)$	คือ โอกาสที่ตำแหน่งศึกษาจะมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเป็นระยะทาง r
$P[Y > y^* m, r]$	คือ โอกาสที่แรงสั่นสะเทือนจะเท่ากับหรือมากกว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินที่คำนวณได้จากขนาดแผ่นดินไหว m และมีระยะห่างจากตำแหน่งศึกษา r
α	คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $2.303a$

สรุป ปัจจัย ตัวแปร ข้อมูลพื้นฐาน ที่จำเป็นต่อการประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหว ได้แก่ ข้อมูลจากการศึกษาแผ่นดินไหวโบราณ (Paleo-seismological data) (เช่น ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว อัตราการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน) หรือ ข้อมูลพฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหว (เช่น ค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ $G-R$ ซึ่งจะบ่งบอกถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมและคาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละระดับความรุนแรง เป็นต้น)

6.3 วิธีการศึกษา

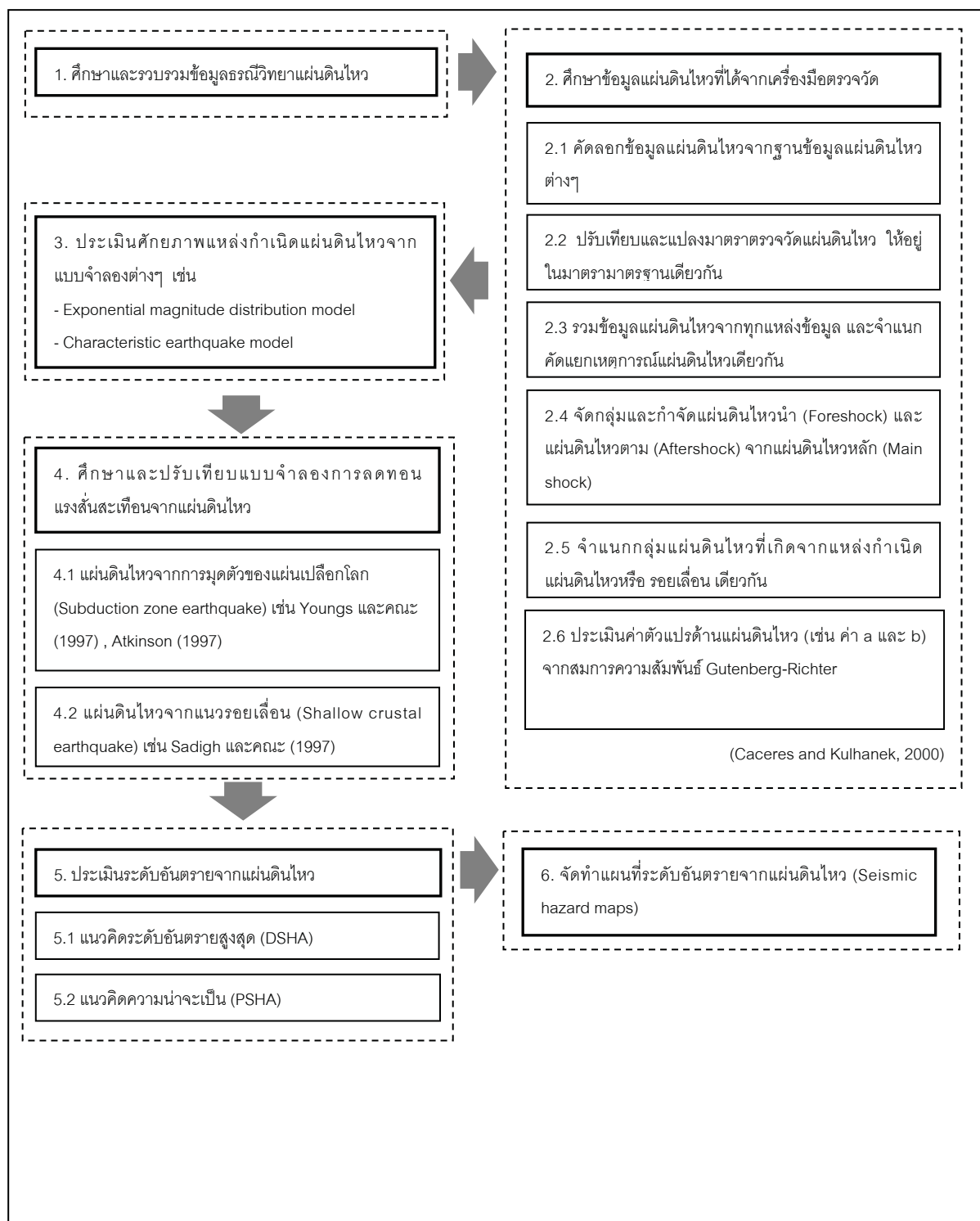
วิธีการศึกษาและเตรียมตัวแปรนำเข้าแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ส่วนหลักก่อนการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว (รูป 6.9)

3.1 รวบรวมข้อมูลด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 1) โดยรวบรวมข้อมูลจากรอยเลื่อนต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษา ตลอดจนรวบรวมข้อมูลที่บ่งบอกถึงศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว โดยข้อมูลด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหวที่สำคัญในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว ได้แก่

- ความยาวรอยแตกบนพื้นผิวของแนวรอยเลื่อน (Surface rupture length, SRL) ที่ได้จากการแปลความหมายภาพจากข้อมูลโทรสัมผัส มีหน่วยเป็น กิโลเมตร
- ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ (Maximum earthquake magnitude, m_{max}) มีหน่วยเป็น M_w ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง M_w และ SRL ดังแสดงในสมการ (8) (Well และ Coppersmith, 1994)
- พื้นที่รอยแตกของรอยเลื่อน (Rupture area, A_f) มีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง A_f และ M_w สมการ (9) (Well และ Coppersmith, 1994)
- อัตราการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Slip rate, S) หน่วยมิลลิเมตร/ปี ซึ่งได้จากการศึกษาแผ่นดินไหวโบราณ (Paleo-seismological study)

$$M_w = 5.08 + 1.16 \log(SRL) \text{ ----- สมการ (8)}$$

$$\log(A_f) = -3.49 + 0.91 M_w \text{ ----- สมการ (9)}$$



รูป 6.9 แผนภาพแสดงขั้นตอนและวิธีการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว (ดัดแปลงจาก Kramer, 1996)

3.2 ศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ (Earthquake catalogue) ซึ่งมีความจำเป็นต่อการประเมินศักยภาพของแนวรอยเลื่อน เพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษา (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 2) ซึ่งวิธีการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ มีตามลำดับ ดังนี้

3.2.1 คัดลอกข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 2.1) โดยรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากหลายฐานข้อมูล ทั้งฐานข้อมูลที่จัดเก็บโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย คือ ฐานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา (Thai Meteorological Department หรือ TMD) และฐานข้อมูลจากต่างประเทศ ได้แก่ ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) และ National Earthquake Information Center (NEIC) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก

3.2.2 หลังจากได้รวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเรียบร้อยแล้ว ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวประกอบไปด้วย หน่วยวัดขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน เช่น Body-wave magnitude (m_b), Surface-wave magnitude (M_s), Local magnitude (M_L) และ Moment magnitude (M_w) ซึ่งในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว นิยมใช้หน่วยการวัดขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวเป็นหน่วย M_w เนื่องจาก หน่วย M_w เป็นหน่วยวัดขนาดความรุนแรงแผ่นดินไหวที่ประเมินจากข้อมูลทางกายภาพที่ตรวจวัดได้จริง ซึ่งแสดงคุณสมบัติของความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นโดยตรง และยังเป็นหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวที่ไม่มีปัญหาเรื่องการอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหวในการประเมินผลขนาดแผ่นดินไหว (ดูรายละเอียดใน Kramer (1996)) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงหน่วยความรุนแรงของแผ่นดินไหวแบบต่างๆ เช่น m_b , M_s และ M_L ให้อยู่ในรูปของหน่วยมาตรฐานเดียวกัน คือ M_w (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 2.2) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ ต่างๆ ดังแสดงในสมการ (10-12)

$$m_b = -0.023M_w^2 + 1.2285M_w - 1.0919 ; m_b \leq 6.8 \text{ ----- สมการ (10)}$$

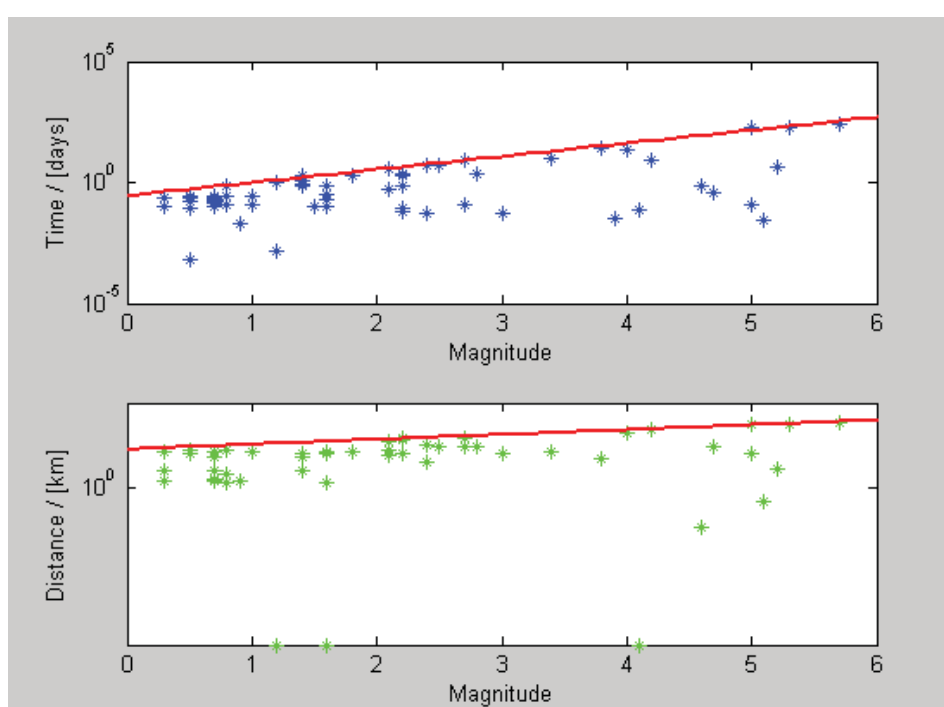
$$M_s = -0.0832M_w^2 + 2.5357M_w - 6.6609 ; M_s \leq 7.6 \text{ ----- สมการ (11)}$$

$$M_L = \frac{m_b - 1.64}{0.63} ; M_L \leq 6.8 \text{ ----- สมการ (12)}$$

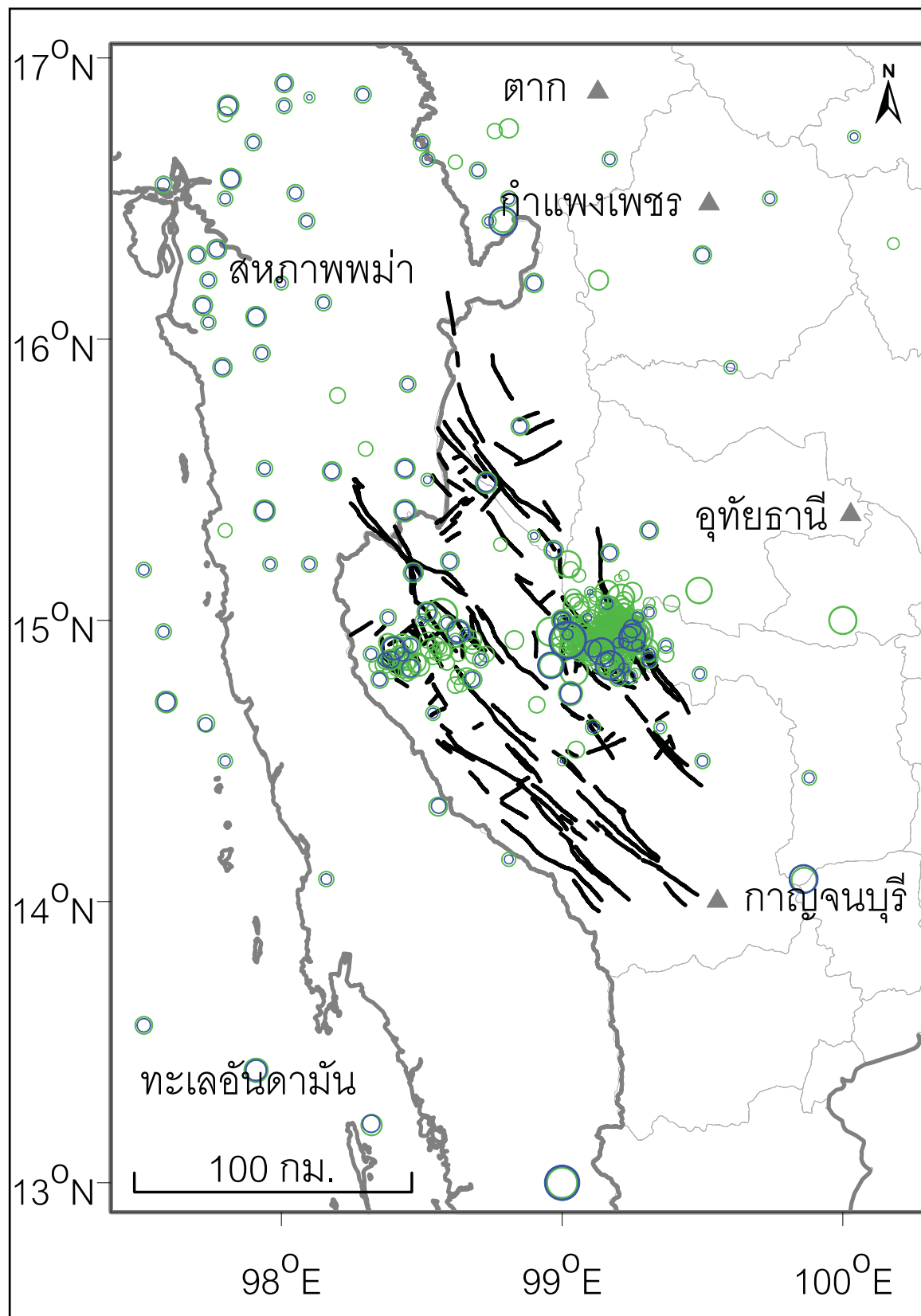
3.2.3 หลังจากคัดลอกฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือต่างๆ จากนั้นเป็นกระบวนการรวมฐานข้อมูลต่างๆ เป็นฐานข้อมูลเดียวกัน (Composite earthquake catalogue) (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 2.3) และตัดข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ซ้ำกันออก

3.2.4 จัดกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Main shock) และก่าจัดแผ่นดินไหวหน้า (Foreshock) และแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 2.4) ในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เชื่อว่าเป็นเหตุการณ์ที่แสดงถึงลักษณะหรือศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว คือเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เป็นแผ่นดินไหวหลัก (Main shock) เท่านั้น (Kramer, 1996) เพราะเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (Stress) แรงเครียด (Strain) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ดังนั้นนั้นในการประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากข้อมูลแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากเครื่องมือตรวจวัด จึงต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและก่าจัดแผ่นดินไหวตามออกจากกลุ่มแผ่นดินไหว ซึ่งหลักการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักและแผ่นดินไหวตามเป็นไปตามแนวคิดหรือ

สมมุติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยความสัมพันธ์ในการจัดกลุ่มของแผ่นดินไหว คือ ขนาด ความรุนแรงของแผ่นดินไหว ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว และช่วงเวลาที่เกิดขึ้น หากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก โอกาสการกระจายตัวของแผ่นดินไหวตามที่จะเกิดขึ้นได้จะครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามหลังจากเกิดแผ่นดินไหวหลักจะมีช่วงเวลาน้อย ในขณะที่กรณีการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โอกาสการกระจายตัวของแผ่นดินไหวตามที่จะเกิดขึ้นกินพื้นที่ขยายวงกว้างมากขึ้น ตลอดจนช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามหลังจากเกิดแผ่นดินไหวหลักจะมีช่วงเวลายาวนานขึ้น ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และกลุ่มรอยเลื่อนเถิน พบว่ามีกลุ่มของแผ่นดินไหวที่ประกอบด้วยแผ่นดินไหวหลักและแผ่นดินไหวตามอยู่หลายกลุ่ม (รูป 6.10) และผลการวิเคราะห์และกำจัดแผ่นดินไหวตามแสดงในรูป 6.11



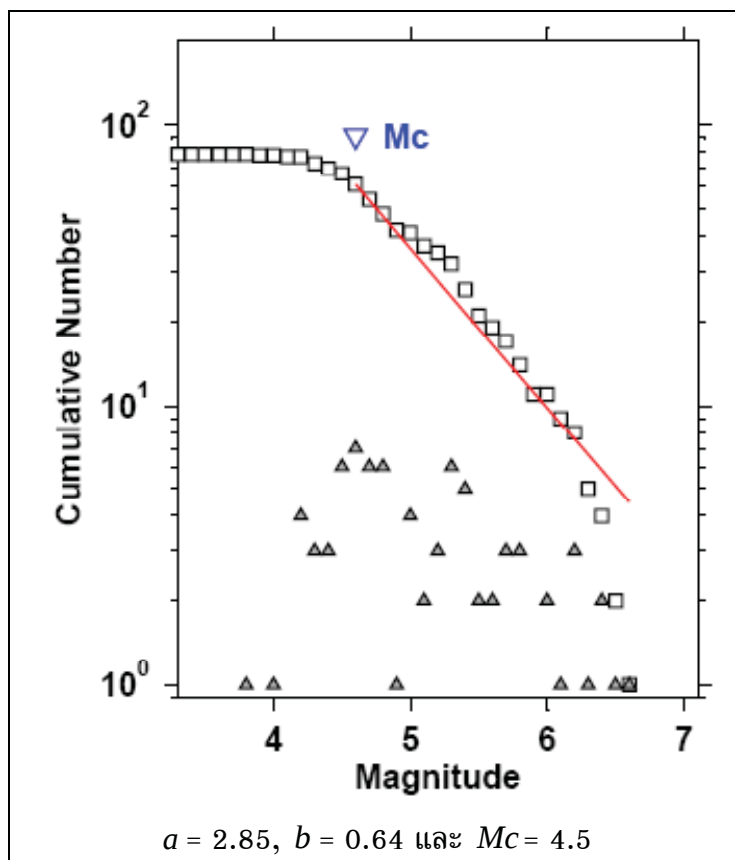
รูป 6.10 ผลการวิเคราะห์และคัดแยกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามโดยใช้แบบจำลองของ Gardner และ Knopoff (1974)



รูป 6.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัด แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อน (สีเขียว) และหลัง (สีน้ำเงิน) การกำจัดแผ่นดินไหวหน้าและแผ่นดินไหวตาม

3.2.5 ประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (รูป 6.5 ขั้นตอนที่ 3) ปัจจัยด้านแผ่นดินไหวที่จำเป็นต่อการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว ได้แก่ ค่า ตัวแปร a หรือ ค่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว และ b ที่บ่งบอกถึงคาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว ซึ่ง ค่า a และ b สามารถประเมินได้จากสมการความสัมพันธ์ของ G-R (สมการ 1) นอกจากนี้ยังมีตัวแปร Magnitude of completeness (M_c) ซึ่งหมายถึงค่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่เครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวสามารถตรวจจับได้สมบูรณ์ทุกเหตุการณ์หรือเกือบทุกเหตุการณ์

สืบเนื่องจากการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นมีความหนาแน่นไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นหากเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็ก ซึ่งจะส่งคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสูงของคลื่น (Amplitude) ต่ำ ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นดินและชั้นหินเป็นระยะทางไกล คลื่นแผ่นดินไหวจะมีการลดทอนของความสูงหรือขนาดของคลื่นจนในบางครั้ง เครื่องมือตรวจวัดที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวมากๆ จะไม่สามารถตรวจวัดคลื่นและบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวนั้นๆ ได้ ซึ่งหากมีสถานีตรวจวัดที่กระจายตัวหนาแน่นและเป็นระบบก็จะสามารถตรวจวัดเหตุการณ์แผ่นดินไหวอย่างสมบูรณ์ในระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เล็กลง ซึ่งจากข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ไม่สมบูรณ์นี้ อาจส่งผลให้การพิจารณาศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (ค่า a และ b) ผิดพลาดไป ซึ่งผลการวิเคราะห์ ค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ G-R (สมการ 1) แสดงอยู่ในรูป 6.12



รูป 6.12 ผลการวิเคราะห์ตามความสัมพันธ์สมการ G-R คำนวณจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดในบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ สัญลักษณ์ สามเหลี่ยม หมายถึง จำนวน เหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละระดับขนาดแผ่นดินไหว ส่วนสี่เหลี่ยม หมายถึง จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวสะสม (Cumulative number) ของแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าในแต่ละระดับขนาดแผ่นดินไหว

ในการประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว นอกจากการกำหนดขอบเขตของข้อมูลสูงสุด ($m_{\max}$) ควรมีการกำหนดขอบเขตของข้อมูลต่ำสุด (m_0) ที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ค่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุด (m_0) มีค่าเท่ากับ 4 ริคเตอร์ เนื่องจากเป็นขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่สามารถส่งผลกระทบด้านแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวต่อพื้นที่ศึกษาได้ (Kramer, 1996)

หลังจากวิเคราะห์ถึงขั้นตอนนี้ เราสามารถสร้างตารางฐานข้อมูลของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษาได้ โดยประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวซึ่งเป็นรอยเลื่อนและแต่ละรอยเลื่อนประกอบด้วยข้อมูลที่บ่งบอกถึงศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ที่วิเคราะห์รวบรวมได้จาก ข้อมูลการศึกษาด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว ได้แก่ ค่า SRL , $m_{\max}$, A_f และ S และข้อมูลการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ เช่น ค่า a และ b ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ของสมการ $G-R$ โดยรายละเอียดตัวแปรนำเข้าของรอยเลื่อนต่างๆ ที่นำมาพิจารณาในการศึกษาวิจัยนี้ดังรูป 3.12

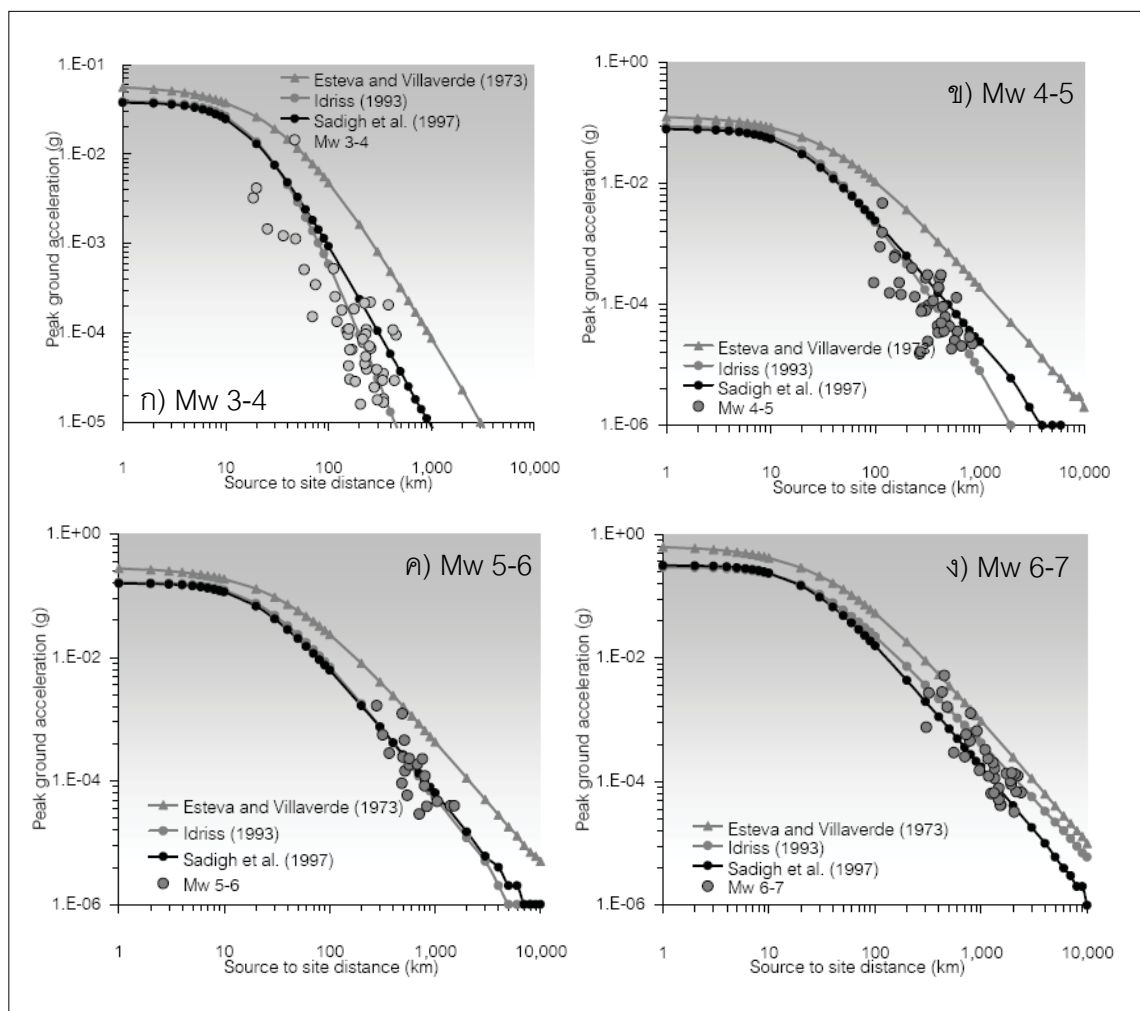
3.3 ประเมินศักยภาพแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากแบบจำลอง Characteristic earthquake (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 3)

3.4 คัดเลือกแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Strong-ground motion attenuation relationship) คัดเลือกแบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา โดยเน้นหนักในแบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ต่อระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 4)

โดยทั่วไป ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะขึ้นอยู่กับ ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษาหรือพื้นที่ศึกษาและ ลักษณะธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่นั้น เช่น แผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณเขตการมุดตัว (Subduction zone earthquake) ซึ่งมักเกิดแผ่นดินไหวในระดับลึก (ความลึก > 30 กิโลเมตร) เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เขตการมุดตัวอันดามัน แผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณแนวรอยเลื่อนหรือแนวรอยแตกบนพื้นทวีป (Shallow crustal earthquake) ซึ่งมักจะเกิดแผ่นดินไหวในระดับตื้นเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีของพื้นที่รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และกลุ่มรอยเลื่อนเถิน จัดเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีแปรสัณฐานแบบแนวรอยเลื่อนหรือแนวรอยแตกบนพื้นทวีป ซึ่งในกรณีของแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีแปรสัณฐานแบบแนวรอยเลื่อนหรือแนวรอยแตกบนพื้นทวีป

Pailoplee (2008) ได้ศึกษาแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากระยะทาง ซึ่งในแต่ละพื้นที่นั้นแตกต่างกัน โดยรวบรวมข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงในสถานีของประเทศไทย ซึ่งตรวจวัดและวิเคราะห์ผลโดยกรมอุตุนิยมวิทยา เปรียบเทียบแบบจำลองที่เคยมีการทำไว้ในต่างประเทศทั้งหมด 121 แบบจำลอง และคัดเลือกแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุดมาเป็นตัวแทนลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งจากการศึกษา พบว่าแบบจำลองที่น่าเชื่อถือที่สุด คือแบบจำลองของ Idriss (1993) ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานที่ประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับขนาดความรุนแรงที่ลดลงของการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวกับข้อมูลแรงสั่นสะเทือน

แผ่นดินไหว (Strong ground-motion data) ที่อยู่ในรูปอัตราเร่งสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) ในหน่วย g (g คือ อัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/sec^2) ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ประเทศไทย โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งบันทึกข้อมูลในช่วง ปี ค.ศ. 2003-2007 รายละเอียดการเปรียบเทียบแสดงในรูป 6.13 และสมการการคำนวณของ Idriss (1993) แสดงในสมการ 13



รูป 6.13 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Idriss (1993) กับข้อมูลแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ประเทศไทย

$$\ln Y_{Idriss(1993)}(M, R) = [\alpha_0 + \exp(\alpha_1 + \alpha_2 M)] + [\beta_0 - \exp(\beta_1 + \beta_2 M)] \ln(R + 20) \text{ --- สมการ (13)}$$

กำหนดให้

- | | |
|-----|---|
| y | คือ อัตราเร่งสูงสุดตามแนวราบบนพื้นดิน (g) |
| M | คือ ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวตามมาตราริกเตอร์ (M_w) |
| R | คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา (km) |

สำหรับแผ่นดินไหวที่มีขนาด ≤ 6

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -0.15, 2.261 และ -0.083 ตามลำดับ
$\beta_0, \beta_1, \beta_2$	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0, 1.602 และ -0.142 ตามลำดับ
σ	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ $1.39-0.14 M$

สำหรับแผ่นดินไหวที่มีขนาด > 6

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -0.05, 3.477 และ -0.284 ตามลำดับ
$\beta_0, \beta_1, \beta_2$	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0, 2.475 และ 0.286 ตามลำดับ
σ	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$M < 7.25$ มีค่าเท่ากับ $1.39-0.14 M$
	$M \geq 7.25$ มีค่าเท่ากับ 0.38

3.5 ประเมินอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (รูป 6.9 ขั้นตอนที่ 5-6) โดยประเมินจากปัจจัยด้านศักยภาพของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่ประเมินได้จากข้อ 3.1-3.4 โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (รูป 6.7) โดยทำการประมวลผลในทุกๆ 1 ตารางกิโลเมตรต่อ 1 จุดและประมวลผลออกเป็น 2 ชุดแผนที่ที่อธิบายระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน คือ

ก) แผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวสำหรับนักวิชาการหรือวิศวกร ซึ่งเป็นการกำหนดระดับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่ให้อยู่ในรูปแบบของอัตราเร่งสูงสุด (PGA) ในช่วงรอบปีต่างๆ (มาตรฐานการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆ มีความแตกต่างกันในเชิงรอบปีที่พิจารณา เช่น การก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มักพิจารณา ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในรอบ 100-1,000 ปี ในขณะที่อาคารต่างๆ นิยมพิจารณาในรอบ 50 ปี) เช่น แผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในกรณีที่มีโอกาส 2% เกิดแรงสั่นสะเทือนมากกว่าหรือเท่ากับ (g) ในรอบ 50 ปี เป็นต้น และ

ข) จัดทำแผนที่อันตรายจากแผ่นดินไหวเพิ่มเติม ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การให้ความรู้ต่อประชาชนในพื้นที่เพื่อการประชาสัมพันธ์เป็นหลัก ซึ่งเป็นแผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวที่เข้าใจง่ายและอธิบายในเชิงบรรยายมากกว่าตัวเลขทางคณิตศาสตร์หรือสมการทางวิชาการ เช่น แผนที่แสดงโอกาสเกิดความรุนแรงแผ่นดินไหว ระดับ VI (ตามมาตราเมอร์คัลลี) ในรอบ 50 ปี ซึ่งสามารถบรรยายเป็นคำพูดอย่างง่ายได้ เช่น ระดับ VI หมายถึง ระดับความรุนแรงจากแผ่นดินไหวที่ทำให้ “ต้นไม้สั่นไหว บ้านเรือนสั่นสะเทือน สิ่งปลูกสร้างบางชนิดพังทลาย” เป็นต้น (<http://www.dmr.go.th>)

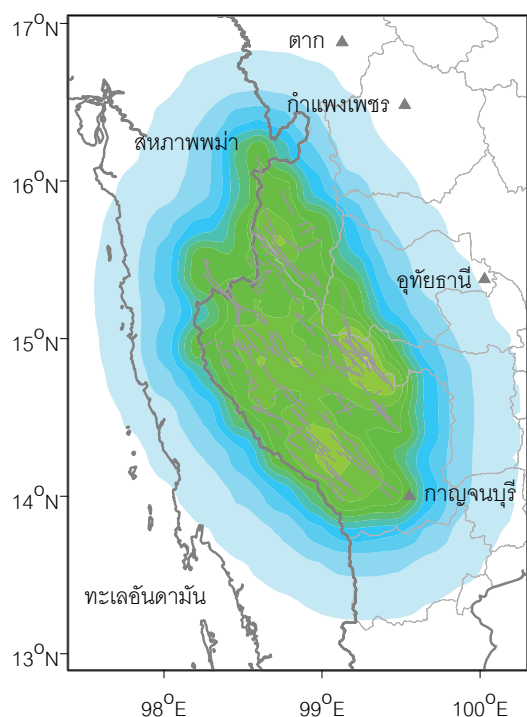
6.4 ผลการศึกษา

จากผลการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวซึ่งแสดงในรูปของแรงสั่นสะเทือน พบว่า หากเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในพื้นที่กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ สามารถส่งผลกระทบต่อด้านแรงสั่นสะเทือนกบินบริเวณกว้าง (รูป 6.14) โดยจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดใกล้เคียงเช่นจังหวัด อุทัยธานีนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนเกือบทุกพื้นที่ของจังหวัด ในขณะที่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัด กำแพงเพชรและทิศใต้ของจังหวัดตากนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวจากกลุ่ม รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ โดยโอกาส 2% เกิดแรงสั่นสะเทือนมากกว่าหรือเท่ากับ (g) ในรอบ 50 ปีและ 100 ปี พื้นที่นี้มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดในระดับ 0.5g และ 0.6g โดยประมาณและค่อยๆ ลดทอนลงเมื่อห่างจากกลุ่มรอยเลื่อนดังกล่าว โดยจังหวัดกำแพงเพชรและตากนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือน 0.05g-0.1g

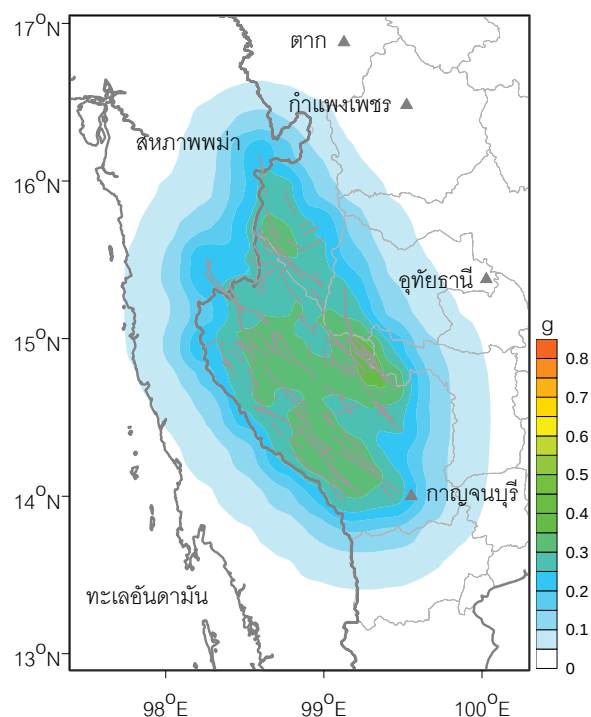
หากพิจารณาในเชิงของโอกาสที่แรงสั่นสะเทือนระดับต่าง ๆ นั้นมีโอกาสเกิดขึ้น (รูป 6.15) จากการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวนี้พบว่า พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี มีโอกาสเกือบ 90% ที่ในรอบ 100 ปีในอนาคตนี้ จะได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ IV ตามมาตราเมอร์คัลลี ซึ่งหมายถึงระดับความ รุนแรงที่หากเกิดในเวลากลางวันผู้ที่อยู่ในบ้านจะรู้สึกได้ หากเกิดในเวลากลางคืนผู้ที่นอนหลับอยู่จะตกใจตื่น ถ้วยชามชยับ หน้าต่าง ประตูสั่น กำแพงบ้านเกิดเสียงแตกร้าว ในขณะที่แรงสั่นสะเทือนระดับ V มีความ เป็นไปได้เพียง 20-30 % ในรอบ 100 ปี ซึ่งหมายถึงระดับความรุนแรงที่ เหมือนรถไฟวิ่งอยู่ใกล้บ้าน เกือบทุกคนรู้สึกว่าแผ่นดินไหวเกิดขึ้น หลายๆ คนตื่นตระหนก หน้าต่างพัง สิ่งของที่ตั้งไม่มั่นคงล้มคว่ำ นาฬิกาที่ใช้ลูกตุ้มอาจหยุดเดิน ส่วนในกรณีระดับ VI ซึ่งหมายถึง ระดับความรุนแรงที่หลาย ๆ คนตกใจวิ่ง ออกจากบ้าน อุปกรณ์ขนาดใหญ่ในบ้านบางชิ้นเคลื่อนได้ อาคารสิ่งปลูกสร้างเสียหายเล็กน้อยนั้นมีโอกาส เกิดขึ้นเฉพาะในพื้นที่บริเวณจังหวัดกาญจนบุรีเป็นส่วนใหญ่ และระดับ VII ซึ่งหมายถึงระดับความรุนแรงที่ อาคารที่ออกแบบและก่อสร้างไว้ดีเสียหายเล็กน้อย ส่วนอาคารที่ไม่ได้ออกแบบในการก่อสร้างเสียหาย ค่อนข้างมากนั้น แม้แต่ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์พาด ผ่าน ก็ไม่มีโอกาสที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับ VI-VII ในรอบ 100 ปีข้างหน้า

ดังนั้นจากการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย โดยพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ พบว่า จังหวัดที่มีโอกาสได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ จังหวัดกาญจนบุรีเกือบทั้งหมดของพื้นที่จังหวัด ตามด้วย จังหวัดอุทัยธานี สุพรรณบุรี และกำแพงเพชรบางส่วน บางพื้นที่ของตอนใต้ของจังหวัดตากก็มีโอกาสได้รับ แรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์นี้เช่นเดียวกัน โดย หากมองในเชิงวิศวกรรมพบว่า ในรอบ 50 ปีข้างหน้าพื้นที่นี้มีโอกาส 2% ที่จะได้รับแรงสั่นสะเทือน 0.5g โดยประมาณ หรือมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนสูงถึงระดับ V ตามมาตราเมอร์คัลลี (20%-30%) ส่วน ระดับความรุนแรง > V นั้นไม่พบความเป็นไปได้ในการเกิดแรงสั่นสะเทือนในรอบ 100 ข้างหน้า

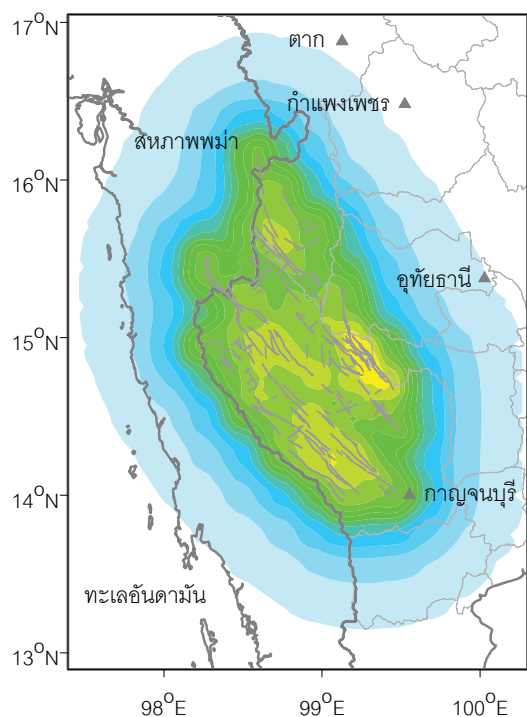
ก) โอกาส 2% ในรอบ 50 ปี



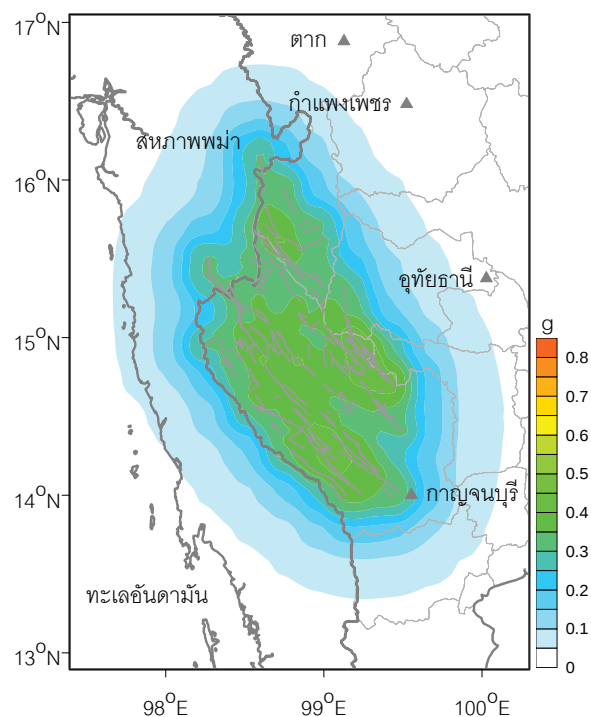
ข) โอกาส 10% ในรอบ 50 ปี



ค) โอกาส 2% ในรอบ 100 ปี

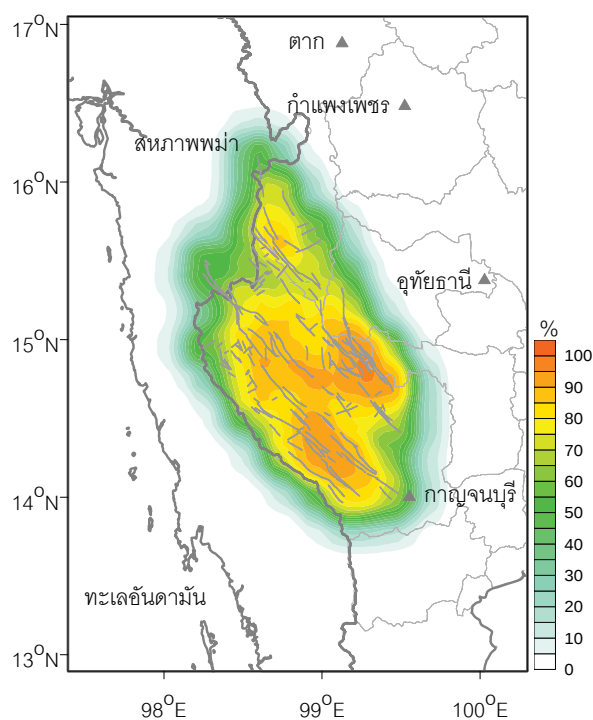


ง) โอกาส 10% ในรอบ 100 ปี

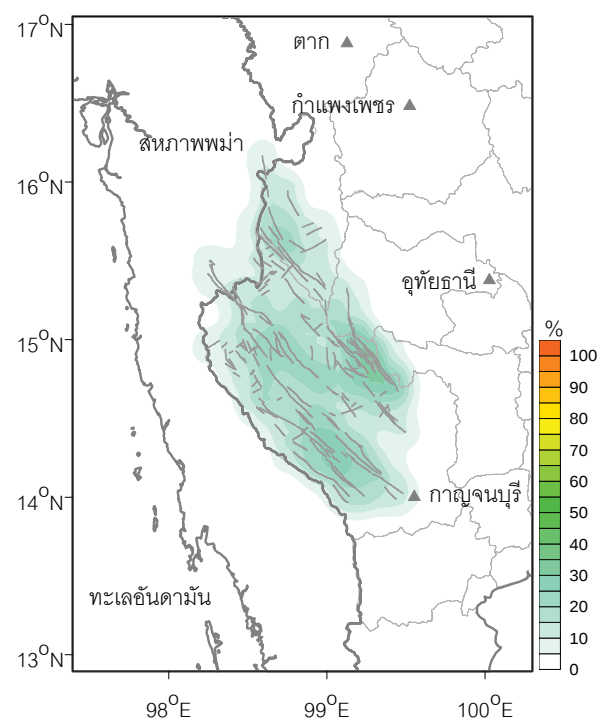


รูป 6.15 แผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวแสดงแรงสั่นสะเทือน (จากแผ่นดินไหว) ที่มากกว่าหรือเท่ากับอัตราเร่งในแนวราบบนพื้นดิน (หน่วย g) ตามโอกาสความเป็นไปได้ (%) และช่วงเวลาในการพิจารณา (ปี) ต่างๆ กัน ในบริเวณพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทยโดยรอบกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

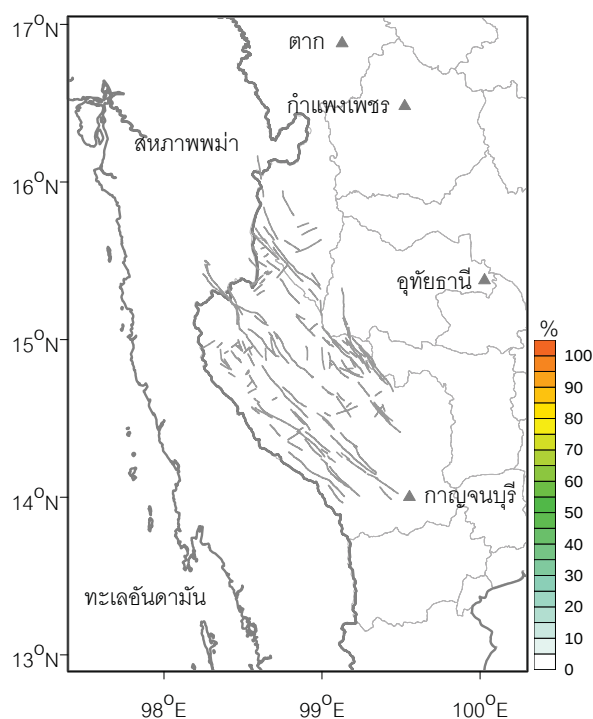
ก) แรงสั่นสะเทือนระดับ IV ในรอบ 100 ปี



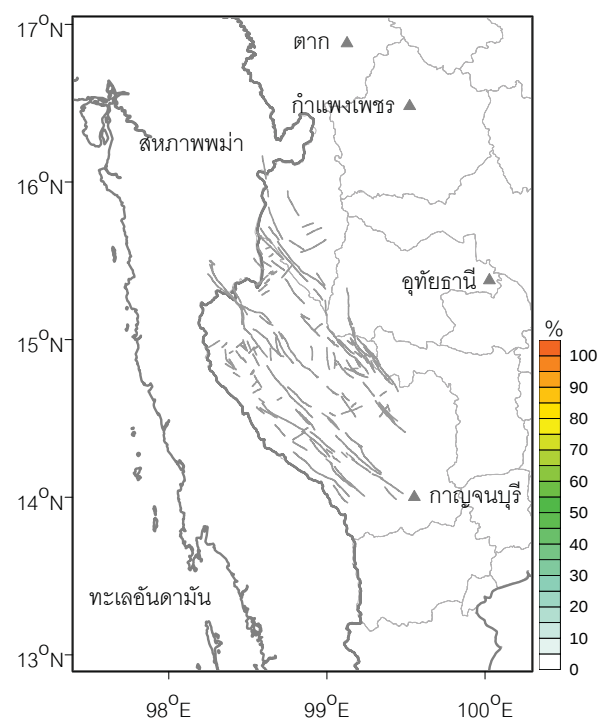
ข) แรงสั่นสะเทือนระดับ V ในรอบ 100 ปี



ค) แรงสั่นสะเทือนระดับ VI ในรอบ 100 ปี



ง) แรงสั่นสะเทือนระดับ VII ในรอบ 100 ปี



รูป 6.16 แผนที่ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวแสดงโอกาสความเป็นไปได้ที่แรงสั่นสะเทือน (จากแผ่นดินไหว) มากกว่าหรือเท่ากับความรุนแรงระดับต่างๆ ตามมาตราเมอร์คัลลีแปลง และช่วงเวลาในการพิจารณา 100 ปี ในบริเวณพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทยโดยรอบกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

จากการเปรียบเทียบข้อมูลการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในอดีตในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย (ตาราง 1) พบว่า การประเมินผลในครั้งนี้ให้ค่าระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีตบางส่วน โดยกรณีโอกาส 2% ในรอบ 50 ปี พบว่างานวิจัยนี้ให้ค่าระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวประมาณ 0.4–0.5g ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีตของ Palasri (2006) ในขณะที่ของ Pailoplee และคณะ (2009) มีค่าสูงมากกว่าเกือบ 1 เท่า ส่วนกรณีของโอกาส 10% ในรอบ 50 ปี พบว่า การศึกษาวิจัยนี้อยู่ในช่วง 0.1–0.3g ซึ่งมากกว่าบ้างเล็กน้อยกับงานวิจัยก่อนๆ เช่น Wanitchai และ Lisantono (1996) และ Palasri (2006) (ตาราง 1) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ผลการสำรวจรอยเลื่อนเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการศึกษารอยเลื่อนมีพลัง ทำให้ผลจากการวิจัยในครั้งนี้แสดงค่าระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวมากขึ้นอันเนื่องมาจากตัวแปรด้านรอยเลื่อนมีพลังซึ่งไม่มีการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยก่อนๆ ดังนั้นจึงสรุปการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในงานวิจัยชิ้นนี้ ให้ผลที่น่าเชื่อถือมากกว่างานวิจัยอื่นๆ ในอดีต ทั้งนี้เนื่องจากการนำข้อมูลรอยเลื่อนมีพลังเข้ามาใช้ร่วมในการประเมินด้วย

ตาราง 1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระดับอันตรายแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย

ผู้วิจัย	โอกาส 2% ในรอบ 50 ปี	โอกาส 10% ในรอบ 50 ปี
Wanitchai และ Lisantono (1996)		0.075–0.2
Palasri (2006)	0.3–0.4	0.15
Pailoplee และคณะ (2009)	0.8	0.4
การศึกษาในครั้งนี้	0.4–0.5	0.1–0.3

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษา

7.1 ข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ข้อมูลตำแหน่งศูนย์กลางและขนาดของแผ่นดินไหวจากเครื่องมือวัดแผ่นดินไหว ที่บันทึกได้ รายรอบของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี ประกอบด้วย อำเภอสังขละบุรี อำเภอทองผาภูมิ อำเภอไทรโยค และอำเภอศรีสวัสดิ์ โดยรวบรวมข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) (พ.ศ. 2527-2540) จากกรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2526-2553) และจาก National Earthquake Information Center (NEIC) ของ USGS (พ.ศ. 2516-2553) พบว่าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 0.1-1.0 ริคเตอร์ 183 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 1.0-2.0 ริคเตอร์ 360 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 2.0-3.0 ริคเตอร์ 217 ครั้ง และแผ่นดินไหวขนาด 3.0-4.0 ริคเตอร์ 40 ครั้ง สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 4.0-5.0 ริคเตอร์ มีเพียง 1 ครั้ง คือ 23 มกราคม 2528 ขนาด 4.1 ริคเตอร์ ซึ่งจัดเป็นแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในพื้นที่นี้ที่ตรวจวัดได้ รองลงมาเป็นขนาด 3.9 ริคเตอร์ เมื่อ 10 กรกฎาคม 2528 ถ้าพิจารณาความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบหนึ่งปี พบว่า ปี พ.ศ. 2528 เกิดแผ่นดินไหว 341 ครั้ง ซึ่งเกิดขึ้นมากที่สุดในพื้นที่นี้ รองลงมาเป็นปี พ.ศ. 2529 192 ครั้ง และ ปี พ.ศ. 2527 181 ครั้ง แผ่นดินไหวเหล่านี้ส่วนมากมีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งหากนับย้อนหลังไปประมาณ 30 ปีพบว่าในพื้นที่นี้ไม่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 5.0 ริคเตอร์ เลย

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่รายรอบกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ในอำเภอศรีสวัสดิ์ อำเภอบ่อพลอย และอำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี รวมทั้งในบางส่วนของจังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดอุทัยธานี และจังหวัดตาก ได้จากข้อมูล (1)การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) (พ.ศ. 2527-2540) (2)กรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2526-2553) และ(3) National Earthquake Information Center (NEIC) (พ.ศ. 2516-2553) จากการวิเคราะห์พบว่าเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาด 0.1-2.0 ริคเตอร์ 6 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 2.0-3.0 ริคเตอร์ 129 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 3.0-4.0 ริคเตอร์ 111 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 4.0-5.0 ริคเตอร์ 19 ครั้ง และแผ่นดินไหวขนาด 5.0-6.0 ริคเตอร์ 3 ครั้ง แผ่นดินไหวที่มีขนาดสูงสุดคือ 5.9 ริคเตอร์ เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 จัดเป็นขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย และสามารถบันทึกได้ตั้งแต่ประเทศไทยมีเครื่องมือวัดแผ่นดินไหว

สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อ 22 เมษายน 2526 มีศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณปลายอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ ส่งผลให้เกิดแรงสั่นสะเทือนของพื้นดินเป็นบริเวณกว้าง ประชาชนในภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศรับรู้ได้ถึงแรงสั่นสะเทือน รวมทั้งกรุงเทพมหานคร ซึ่งก่อนหน้านี้ได้เกิดแผ่นดินไหวนำ (foreshock) ในพื้นที่นี้ เมื่อ 15 เมษายน 2526 ด้วยขนาด 5.5 ริคเตอร์ และเกิดแผ่นดินไหวตาม (aftershock) อีกหลายครั้ง ครั้งที่มีขนาดสูงสุดคือขนาด 5.2 ริคเตอร์ ซึ่งเกิดขึ้นในวันเดียวกันกับแผ่นดินไหวหลัก

ในปี พ.ศ. 2553 ได้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 3.7 ริคเตอร์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553) เมื่อ 13 มิถุนายน 2553 มีศูนย์กลางแผ่นดินไหว ในท้องที่ตำบลด่านแม่แฉลบ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ใกล้กับกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ผลจากการสำรวจผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวครั้งนี้ พบว่าเป็นแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวอยู่ในระดับเบา (III – IV เมอร์คัลลี) ซึ่งประชาชนในพื้นที่บ้านท่าลำไย หมู่ 2 และบ้านเขาเหล็ก หมู่ 4 ตำบล เขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี คนที่ยืนอยู่กับที่และสัญจรไปมารู้สึกถึงแรงสั่นสะเทือนได้ โดยในพื้นที่ดังกล่าว ได้เกิดแผ่นดินไหวในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน 5 ครั้ง (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

7.2 ลักษณะธรณีสัณฐานและการประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดในอดีต

ผลการศึกษาการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในอดีต ได้ใช้ลักษณะธรณีสัณฐานเป็นตัวบ่งบอก โดยใช้แนวความคิดที่เสนอโดย Keller และ Pinter (1996) และพบว่า

พื้นที่บ้านพุโคลน ในเขตอำเภอไทรโยค ทางทิศใต้ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกของขอบแอ่งสะสมตะกอนไทรโยค ลักษณะธรณีสัณฐานที่บ่งชี้ถึงรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่คือ ธารเหลี่ยม ผารอยเลื่อนขนาดเล็ก และผาสามเหลี่ยม โดยแสดงนัยการเลื่อนตามแนวระนาบแบบเลื่อนขวาและมีการเลื่อนตัวแนวตั้งร่วมด้วย จากรอยเลื่อนย่อย 2 แนวที่วางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งคือรอยเลื่อนย่อยพุโคลน และรอยเลื่อนย่อยไทรโยค

พื้นที่บ้านปลายดินสอ ในเขตอำเภอศรีสวัสดิ์ที่อยู่บริเวณขอบอ่างเก็บกักน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ ลักษณะธรณีสัณฐานที่บ่งชี้ถึงรอยเลื่อนมีพลังว่ามีการเลื่อนตัวแนวระนาบแบบเลื่อนขวาและตามแนวตั้งร่วมด้วย พบรอยเลื่อนย่อยวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ คือ รอยเลื่อนย่อยปลายดินสอ ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

พื้นที่บ้านโรงหาว ในเขตอำเภอส่งขละบุรี ตั้งอยู่ปลายด้านทิศเหนืออ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ หรือทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอส่งขละบุรี ลักษณะธรณีสัณฐานตามแนวรอยเลื่อนย่อยส่งขละบุรีและรอยเลื่อนย่อยเจดีย์สามองค์ที่แสดงการเลื่อนตัวแนวระนาบเลื่อนขวาและมีการเลื่อนตัวตามแนวตั้ง

พื้นที่บ้านโป่งรี ในเขตอำเภอบ่อพลอย พบรอยเลื่อนย่อยหนองปรือ ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะธรณีสัณฐาน แสดงการเลื่อนตัวแนวระนาบเลื่อนขวาและมีการเลื่อนตัวแนวตั้งร่วมด้วย

พื้นที่บ้านลำอิฐ ในเขตอำเภอบ่อพลอย ปรากฏลักษณะธรณีสัณฐานว่ารอยเลื่อนย่อยโป่งรี ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ แสดงการเลื่อนตัวในแนวระนาบแบบเลื่อนขวาและตามแนวตั้ง

พื้นที่บ้านเขาสน ในเขตอำเภอหนองปรือ พบแนวรอยเลื่อนย่อยเขาสน ของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีลักษณะธรณีสัณฐานที่แสดงการเลื่อนตัวตามแนวระนาบแบบเลื่อนขวาและตามแนวตั้งร่วมด้วย

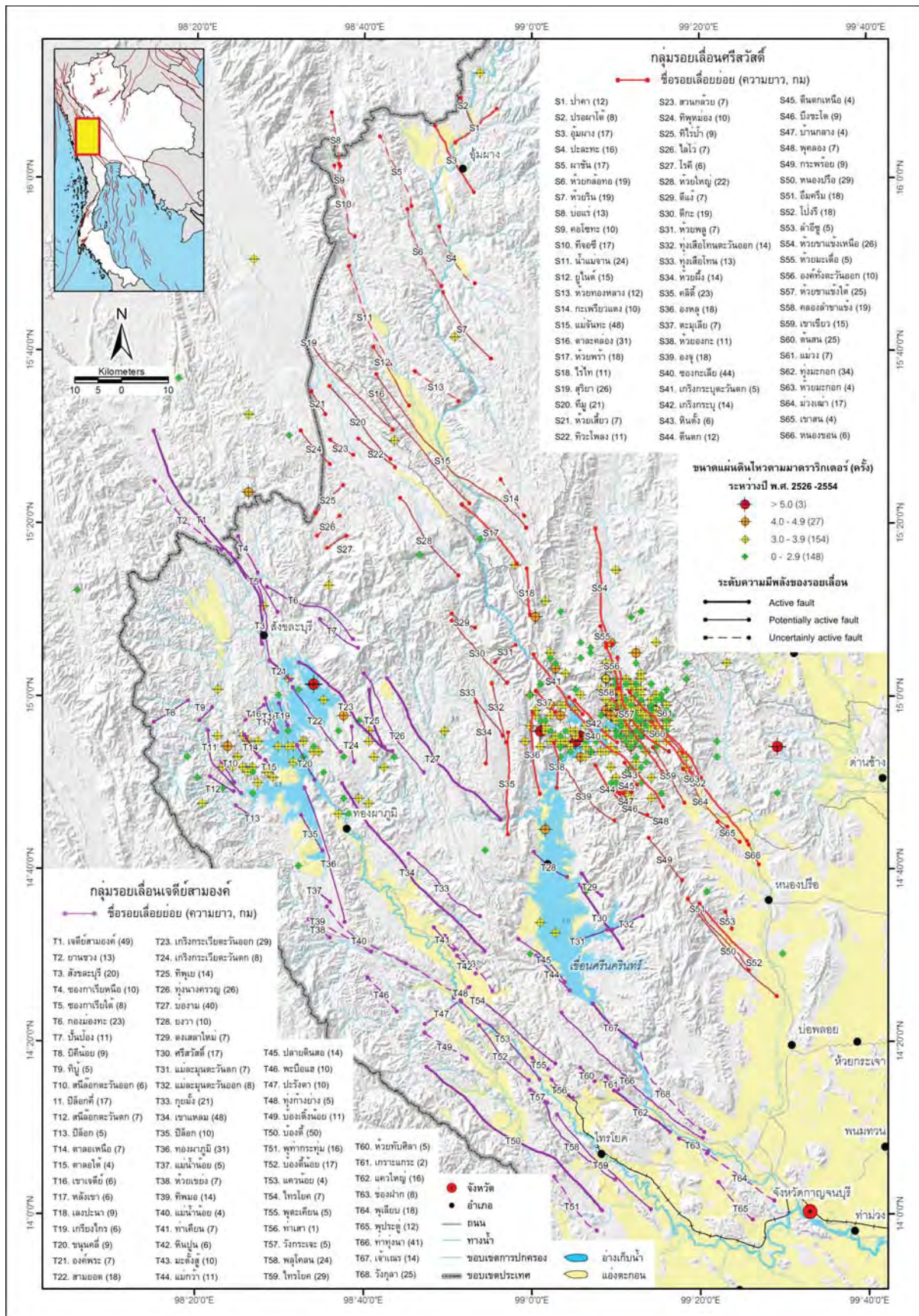
การศึกษาในครั้งนี้ ได้ประเมินหาความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนมีพลัง (ตาราง 7.1) กับขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่เคยเกิดแล้วในอดีตจากสมการที่เสนอโดย Well และ Coppersmith (1994) โดยอาศัยความยาวรอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน พบว่ากลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ที่ยาว 213 กิโลเมตร (กว้าง 45 กิโลเมตร) ประกอบด้วยรอยเลื่อนย่อย 68 รอย และเคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดประมาณ 7.0 ริกเตอร์ (รูป 7.1) และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ที่ยาว 218 กิโลเมตร (กว้าง 48 กิโลเมตร) ประกอบด้วยรอยเลื่อนย่อย 66 รอย และเคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดประมาณ 7.0 ริกเตอร์ (รูป 7.1) แสดงดังตาราง 7.2 และตาราง 7.3

ตาราง 7.1 วิธีการจัดจำแนกความมีพลังของรอยเลื่อน (Hays, 1980)

	Active	Potentially active	Uncertain activity	Inactive
Historical	Surface faulting and associated strong earthquakes. Tectonic fault creep or geodetic indications of movement.	No reliable report of historic surface faulting.		No historic activity.
Geologic	Generally young deposits have been displaced or cut by faulting. Fresh geomorphic features characteristic of active fault zones present along fault trace. Physical ground-water barriers in geologically young deposits.	Geomorphic features characteristic of active fault zones subdued, eroded, and discontinuous. Faults are not known to cut or displace the most recent alluvial deposits, but may be found in older alluvial deposits. Water barrier may be found in older materials. Geologic setting in which the geomorphic relation to active or potentially active faults suggests similar levels of activity.	Available information does not satisfy enough criteria to establish fault activity. If the fault is near the site, additional studies are necessary.	Geomorphic features characteristic of active fault zones are not present, and geologic evidence is available to indicate that the fault has not moved in the recent past.
Seismological	Earthquake epicenters are assigned to individual faults with a high degree of confidence.	Alinement of some earthquake epicenters along fault trace, but locations have a low degree of confidence.		Not recognized as a source of earthquakes.

ตาราง 7.2 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
T01	เจดีย์สามองค์	49	7.0	Active fault
T02	ยานาง	13	6.4	Uncertainly active fault
T03	สังขละบุรี	20	6.6	Potentially active fault
T04	ซอกกาเรียเหนือ	10	6.2	Potentially active fault
T05	ซอกกาเรียใต้	8	6.1	Potentially active fault
T06	กองมืองทะ	23	6.7	Potentially active fault
T07	บันป้อม	11	6.3	Potentially active fault
T08	บิคิน้อย	9	6.2	Potentially active fault
T09	ทิบู	5	5.9	Potentially active fault



รูป 7.1 แผนที่รอยเลื่อนมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

ตาราง 7.2 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์(ต่อ)

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
T10	สนีลือกตะวันตก	6	6.0	Potentially active fault
T11	ปิล็อก	17	6.5	Potentially active fault
T12	สนีลือกตะวันตก	7	6.1	Potentially active fault
T13	ปิล็อก	5	5.9	Potentially active fault
T14	ตาลอเหนือ	7	6.1	Active fault
T15	ตาลอใต้	4	5.8	Potentially active fault
T16	เขาเจดีย์	6	6.0	Potentially active fault
T17	หลังเขา	6	6.0	Potentially active fault
T18	เลงปะนา	9	6.2	Potentially active fault
T19	เกรียงไกร	6	6.0	Potentially active fault
T20	ขุนคลี่	9	6.2	Potentially active fault
T21	องค์พระ	7	6.1	Potentially active fault
T22	สามยอด	18	6.5	Potentially active fault
T23	เกรียงกระเวียตะวันตก	29	6.8	Active fault
T24	เกรียงกระเวียตะวันตก	8	6.1	Potentially active fault
T25	ทิพเย	14	6.4	Active fault
T26	ทุ่งนางครวญ	26	6.7	Potentially active fault
T27	บ่องาม	40	6.9	Active fault
T28	ยงวา	10	6.2	Potentially active fault
T29	ดงเสลาใหม่	7	6.1	Active fault
T30	ศรีสวัสดิ์	17	6.5	Active fault
T31	แม่ละมุนตะวันตก	7	6.1	Potentially active fault
T32	แม่ละมุนตะวันออก	8	6.2	Potentially active fault
T33	กุยมั่ง	21	6.6	Potentially active fault
T34	เขาแหลม	48	7.0	Active fault
T35	ปิล็อก	10	6.2	Potentially active fault
T36	ทองผาภูมิ	31	6.8	Potentially active fault
T37	แม่น้ำน้อย	5	5.9	Potentially active fault
T38	ห้วยเขย่ง	7	6.1	Uncertainly active fault
T39	ทิพมอ	14	6.4	Uncertainly active fault
T40	แม่น้ำน้อย	4	5.8	Uncertainly active fault
T41	ท่าเคียน	7	6.1	Potentially active fault
T42	หินปูน	6	6.0	Potentially active fault
T43	มะตังสุ	10	6.2	Uncertainly active fault
T44	แม่แก้ว	11	6.3	Potentially active fault
T45	ปลายดินสอ	14	6.4	Potentially active fault

ตาราง 7.2 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์(ต่อ)

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
T46	พะปือแอ	10	6.2	Uncertainly active fault
T47	ปะรังตา	10	6.2	Potentially active fault
T48	ทุ่งก้างย่าง	5	5.9	Potentially active fault
T49	บ้องเต็งน้อย	11	6.3	Uncertainly active fault
T50	บ้องตี้	50	7.0	Active fault
T51	พุท่ากระทุ่ม	16	6.5	Uncertainly active fault
T52	บ้องตื้นน้อย	17	6.5	Potentially active fault
T53	แควน้อย	4	5.8	Potentially active fault
T54	ไทรโยค	7	6.1	Potentially active fault
T55	พุตะเคียน	5	5.9	Potentially active fault
T56	ท่าเสา	1	5.1	Potentially active fault
T57	วังกระเจะ	5	5.9	Potentially active fault
T58	พลุโคลน	24	6.7	Potentially active fault
T59	ไทรโยค	29	6.8	Potentially active fault
T60	ห้วยทับศิลา	5	5.9	Potentially active fault
T61	เกราะกระ	2	5.4	Potentially active fault
T62	แควใหญ่	16	6.5	Active fault
T63	ช่องฝาก	8	6.1	Potentially active fault
T64	พุเลียบ	18	6.5	Uncertainly active fault
T65	พุประดู่	12	6.3	Uncertainly active fault
T66	ท่าทุ่งนา	41	6.9	Potentially active fault
T67	เจ้าเณร	14	6.4	Active fault
T68	วังกุลา	25	6.7	Uncertainly active fault

ตาราง 7.3 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
S01	ป่าคา	12	6.3	Active fault
S02	ปรอผาโต้	8	6.1	Active fault
S03	อู่มาง	17	6.5	Active fault
S04	ปะละทะ	16	6.5	Uncertainly active fault
S05	ผาชัน	17	6.5	Uncertainly active fault
S06	ห้วยกล้อทอ	19	6.6	Uncertainly active fault
S07	ห้วยริน	19	6.6	Potentially active fault
S08	บ่อแร่	13	6.4	Uncertainly active fault

ตาราง 7.3 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ (ต่อ)

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
S09	คอโซทะ	10	6.2	Uncertainly active fault
S10	ทิจอซี	17	6.5	Uncertainly active fault
S11	น้ำแม่จาน	24	6.7	Uncertainly active fault
S12	ยูไนต์	15	6.4	Potentially active fault
S13	ห้วยทองหลวง	12	6.3	Uncertainly active fault
S14	กะเปรี้ยวแดง	10	6.2	Uncertainly active fault
S15	แม่จันทะ	48	7.0	Potentially active fault
S16	ตาละคล่อง	31	6.8	Potentially active fault
S17	ห้วยพร้าว	18	6.5	Active fault
S18	ไร่ไท	11	6.3	Active fault
S19	สุริยา	26	6.7	Potentially active fault
S20	ทิมู	21	6.6	Potentially active fault
S21	ห้วยเสี้ยว	7	6.1	Potentially active fault
S22	ทิวะโพลง	11	6.3	Potentially active fault
S23	สวนกล้วย	7	6.1	Potentially active fault
S24	ทิงพุ่มอง	10	6.2	Potentially active fault
S25	ทิงไร่ป่า	9	6.2	Uncertainly active fault
S26	ไล่โว่	7	6.1	Uncertainly active fault
S27	โรคี	6	6.0	Potentially active fault
S28	ห้วยใหญ่	22	6.6	Potentially active fault
S29	ดีแง้	7	6.1	Potentially active fault
S30	ดึกะ	19	6.7	Potentially active fault
S31	ห้วยพลู	7	6.1	Potentially active fault
S32	ทุ่งเสือโตนตะวันออก	14	6.4	Potentially active fault
S33	ทุ่งเสือโตน	13	6.4	Potentially active fault
S34	ห้วยฝั่ง	14	6.4	Potentially active fault
S35	คลิตี้	23	6.7	Active fault
S36	องหลู	18	6.5	Active fault
S37	ตะมุเสี้ย	7	6.1	Active fault
S38	ห้วยองกะ	11	6.3	Active fault
S39	องจุ	18	6.5	Potentially active fault
S40	ช่องกะเสี้ย	44	7.0	Active fault
S41	เกริงกระบุตตะวันตก	5	5.9	Active fault
S42	เกริงกระบุ	14	6.4	Potentially active fault
S43	หินตั้ง	6	6.0	Potentially active fault
S44	ตันทก	12	6.3	Active fault

ตาราง 7.3 ผลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ (ต่อ)

ลำดับที่	รอยเลื่อนย่อย	รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (SRL, กม)	ขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดในอดีต (ริกเตอร์)	ระดับความมีพลัง
S45	ตีนตกเหนือ	4	5.8	Potentially active fault
S46	บึงชะโด	9	6.2	Potentially active fault
S47	บ้านกลาง	4	5.8	Potentially active fault
S48	พุดลอง	7	6.1	Potentially active fault
S49	กระพรวัย	9	6.2	Potentially active fault
S50	หนองปรือ	29	6.8	Potentially active fault
S51	อิมคริม	18	6.5	Potentially active fault
S52	โป่งรี	18	6.5	Active fault
S53	ลำอิฐ	5	5.9	Potentially active fault
S54	ห้วยขาแข้งเหนือ	26	6.7	Active fault
S55	ห้วยมะเดื่อ	5	5.9	Active fault
S56	องค์ทั้งตะวันออก	10	6.2	Active fault
S57	ห้วยขาแข้งใต้	25	6.7	Active fault
S58	คลองลำขาแข้ง	19	6.6	Active fault
S59	เขาเขียว	15	6.4	Potentially active fault
S60	ต้นสน	25	6.7	Active fault
S61	แม่วัง	7	6.1	Active fault
S62	ทุ่งมะกอก	34	6.9	Active fault
S63	ห้วยมะกอก	4	5.8	Active fault
S64	ม่วงเฒ่า	17	6.5	Potentially active fault
S65	เขาสน	4	5.8	Potentially active fault
S66	หนองซอน	6	6.0	Potentially active fault

7.3 อายุของเหตุการณ์เกิดแผ่นดินไหวในอดีตและคาบอุบัติซ้ำ

ผลจากการหาอายุตะกอนไม้แข็งตัวเบื้องต้น ของร่องสำรวจ 6 ร่องสำรวจ 6 พื้นที่ พบว่าชั้นตะกอนที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีอายุตั้งแต่ 60,000 – 900 ปี ซึ่งอยู่ในสมัยโพลสโตซีน (ช่วง 1.8 ล้านปี ถึง 10,000 ปี) และสมัยโฮโลซีน (10,000 ปี ถึงปัจจุบัน) พบว่ากลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์เคยก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดประมาณ 6.0–7.0 ริกเตอร์มาแล้วอย่างน้อย 6 ครั้ง (ดูตาราง 7.4 ประกอบ)

แผ่นดินไหวครั้งแรกเกิดขึ้นเมื่อช่วงเวลาก่อน 27,000 ปี เนื่องจากพบหลักฐานในพื้นที่บ้านพุโคลน อำเภอไทรโยค ซึ่งมีรอยเลื่อนตามแนวระนาบเหลื่อมขวาร่วมกับการเลื่อนตัวตามแนวตั้งแบบปกติบ้าง โดยตัดผ่านชั้นหิน แต่ไม่ตัดผ่านชั้นตะกอนที่มีอายุประมาณ 27,000–10,000 ปี

แผ่นดินไหวครั้งที่สองเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่บ้านเขาสน อำเภอนองปรี โดยพบหลักฐานการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในร่องสำรวจตัดผ่านชั้นตะกอน อายุ 40,000–17,000 ปี ขาดเหลี่ยมออกจากกัน แนวตั้งเป็นระยะทาง 0.55 เมตร และจากการหักเหลี่ยมของทางน้ำในพื้นที่ แสดงว่ารอยเลื่อนย่อยนี้มีการเลื่อนตัวในแนวระนาบเป็นระยะทาง 10 เมตร ผลการหาอายุตะกอนแสดงให้เห็นว่ารอยเลื่อนย่อยนี้ เลื่อนตัวหลัง 12,000 ปี และประมาณมีอัตราการเลื่อนตัวได้ 0.25 มิลลิเมตร/ปี

แผ่นดินไหวครั้งที่สามเกิดขึ้นจากรอยเลื่อนย่อยที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวครั้งแรกคือพื้นที่บ้านพุโคลนที่เลื่อนตัวอีกครั้ง เมื่อประมาณ 10,000 ปี โดยพบหลักฐานในร่องสำรวจรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นตะกอน อายุ 30,000–14,000 ปี ให้ขาดเหลี่ยมออกจากกันในแนวตั้ง 1.2 เมตร และจากลักษณะการหักเหลี่ยมของทางน้ำ แสดงว่ารอยเลื่อนย่อยเลื่อนตัวในแนวระนาบเป็นระยะทาง 10 เมตร ซึ่งประมาณอัตราการเลื่อนตัวได้ 0.33 มิลลิเมตร/ปี

แผ่นดินไหวครั้งที่สี่เกิดขึ้นในพื้นที่บ้านโรงหวาย อำเภอสังขละบุรี พบหลักฐาน ในร่องสำรวจที่แนวรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นตะกอน อายุ 13,000–10,700 ปี ในแนวตั้งแบบปกติเป็นระยะทาง 0.7 เมตร และจากข้อมูลการหักเหลี่ยมของทางน้ำในแนวระนาบเป็นระยะทาง 7 เมตร เมื่อประมาณ 9,000 ปี สามารถประมาณอัตราการเลื่อนตัวได้ 0.54 มิลลิเมตร/ปี

แผ่นดินไหวครั้งที่ห้าเกิดขึ้นในพื้นที่บ้านปลายดินสอ อำเภอศรีสวัสดิ์ โดยพบหลักฐานรอยเลื่อนในร่องสำรวจ โดยรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นตะกอนเมื่อประมาณ 8,000 ปี

แผ่นดินไหวครั้งที่หกเกิดขึ้นในพื้นที่บ้านโป่งรี อำเภอบ่อพลอย โดยพบหลักฐานรอยเลื่อนมีการเลื่อนตัวเมื่อ 5,000 ปี โดยตัดผ่านชั้นตะกอนอายุ 60,000–8,000 ปี แสดงการเลื่อนตัวในแนวตั้งแบบปกติเป็นระยะทาง 0.85 เมตร และจากลักษณะการหักเหลี่ยมของทางน้ำย่อยบ่งชี้ว่า รอยเลื่อนนี้เลื่อนตัวในแนวระนาบแบบเหลี่ยมขาเป็นระยะทางประมาณ 34 เมตร สามารถประมาณอัตราการเลื่อนตัวได้ 0.56 มิลลิเมตร/ปี

ผลการวิจัยในเบื้องต้นครั้งนี้พบว่าคาบอุบัติซ้ำ ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์มีค่า 1,000 ปี ส่วนคาบอุบัติซ้ำของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ มีค่า 3,500 ปี

ตาราง 7.4 การเกิดแผ่นดินไหวในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

	พื้นที่บ้าน	รอยเลื่อนย่อย	ช่วงเวลาการเลื่อนตัว (ปี)						อัตราการเลื่อนตัว (มม./ปี)
1	พุโคลน	พุโคลน	>27,000		10,000				0.33
2	โรงหวาย	สังขละบุรี				9,000			0.54
3	ปลายดินสอ	ปลายดินสอ					8,000		–
4	โป่งรี	หนองปรือ						5,000	0.56
5	เขาสน	เขาสน		12,000					0.25
ลำดับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว			1	2	3	4	5	6	

7.4 การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว

จากผลการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวซึ่งแสดงในรูปของแรงสั่นสะเทือนพบว่าหากเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในพื้นที่กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ สามารถส่งผลกระทบต่อแรงสั่นสะเทือนเกินบริเวณกว้าง โดยจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดใกล้เคียงเช่นจังหวัดอุทัยธานีนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนเกือบทุกตำบลของจังหวัด ในขณะที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดกำแพงเพชรและทิศใต้ของจังหวัดตากนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวจากกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ โดยมีโอกาส 2% ในการที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนมากกว่าหรือเท่ากับ ในรอบ 50 ปีและ 100 ปี ระดับ 0.5g และ 0.6g แล้วค่อยๆ ลดทอนลงเมื่อห่างจากกลุ่มรอยเลื่อนดังกล่าว โดยจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตากนั้นมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือน 0.05g-0.1g

หากพิจารณาในเชิงของโอกาสที่แรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ นั้นมีโอกาสเกิดขึ้น จากการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวนี้พบว่า พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี มีโอกาสเกือบ 90% ที่ในรอบ 100 ปีในอนาคต จะได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ IV ตามมาตราเมอร์คัลลี ในขณะที่แรงสั่นสะเทือนระดับ V มีความเป็นไปได้เพียง 20-30 % ส่วนในกรณีระดับ VI และระดับ VII ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของอาคาร แม้แต่ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์พาดผ่าน ก็ไม่มีโอกาสที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับ VI-VII ในรอบ 100 ปีข้างหน้า

7.5 สรุปย่อผลการศึกษา

ผลการศึกษาวิจัยธรณีวิทยาแผ่นดินไหวในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี สามารถสรุปได้ดังนี้

1) กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ส่วนใหญ่วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีความยาวรวมประมาณ 213 กิโลเมตร ความกว้างประมาณ 45 กิโลเมตร สามารถแบ่งเป็นรอยย่อยย่อยได้ 68 รอยเลื่อน โดยมีรอยย่อยย่อยเจดีย์สามองค์ เป็นรอยย่อยย่อยที่ยาวที่สุด คือ 49 กิโลเมตร

2) กลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ส่วนใหญ่วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีความยาวรวมประมาณ 218 กิโลเมตร ความกว้างประมาณ 48 กิโลเมตร สามารถแบ่งเป็นรอยย่อยย่อยได้ 66 รอยเลื่อน โดยมีรอยย่อยย่อยแม่จันทะ เป็นที่ยาวที่สุด คือ 48 กิโลเมตร

3) ลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญที่บ่งชี้ถึงควมมีพลังของรอยเลื่อน ได้แก่ ธารเหลื่อม สันกัน หุบเขาเส้นตรง พุน้ำร้อน ผาสามเหลี่ยม และหนองหล่ม

4) แผ่นดินไหวขนาด 6.0-7.0 ริกเตอร์ เคยเกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีมาแล้วในอดีตกาล เนื่องจากอิทธิพลของการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ซึ่งอนุมานได้ว่าเป็นขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่รอยเลื่อนทั้งสองกลุ่มจะกระทำได้

5) ทั้งกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ จัดเป็นรอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) ที่เคยมีการเลื่อนตัวเมื่อประมาณ 27,000 ถึง 5,000 ปี จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง โดยมี

อัตราการเลื่อนตัว 0.25 ถึง 0.56 มิลลิเมตรต่อปี และมีคาบอุบัติซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 3,500 ปี ตามลำดับ

6) การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทยโดยพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ พบว่า จังหวัดที่มีโอกาสได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ จังหวัดกาญจนบุรีเกือบทั้งหมดของพื้นที่จังหวัด ตามด้วย จังหวัดอุทัยธานี สุพรรณบุรี และกำแพงเพชรบางส่วน บางพื้นที่ของตอนใต้ของจังหวัดตากก็มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์นี้เช่นเดียวกัน โดยหากมองในเชิงวิศวกรรมพบว่า ในรอบ 50 ปีข้างหน้าพื้นที่นี้มีโอกาส 2% ที่จะได้รับแรงสั่นสะเทือน 0.5 g โดยประมาณ หรือมีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนสูงถึงระดับ V ตามมาตราเมอร์คัลลี (20%-30%) ส่วนระดับความรุนแรง $> V$ นั้นไม่พบความเป็นไปได้ในการเกิดแรงสั่นสะเทือนในรอบ 100 ช้างหน้านี

เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง, 2540, แผนที่ทางหลวงประเทศไทย มาตราส่วน 1:1,600,000 กรมทางหลวง: กรุงเทพมหานคร
- กรมทรัพยากรธรณี, 2542, แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย (1:1,000,000), กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม
- กรมทรัพยากรธรณี, 2546, ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี (www.dmr.gov)
- กรมทรัพยากรธรณี, 2546, คณะทำงานสำรวจและประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ สำนักทรัพยากรแร่, กรมทรัพยากรธรณี
- กรมทรัพยากรธรณี, 2547, แผนที่ธรณีวิทยา (www.dmr.gov)
- กรมทรัพยากรธรณี, 2548, การสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยาสำหรับนักธรณีวิทยาระดับต้น พื้นที่ภาคตะวันตก: จังหวัดกาญจนบุรี, คู่มือประกอบการฝึกอบรม, สำนักธรณีวิทยา, 17 หน้า
- กรมทรัพยากรธรณี. 2551. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดกาญจนบุรี, กรุงเทพฯ : พิมพ์ที่ บริษัท แอดวานซ์ วิชั่น เซอร์วิส จำกัด พิมพ์ที่บริษัท แอดวานซ์ วิชั่น เซอร์วิส จำกัด, 96 หน้า
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2546, สำนักเหมืองแร่และประทานบัตร (www.dpim.go.th)
- พงศ์ศักดิ์ วิชิต, 2531, แหล่งพลอยทับทิม-แซปไฟร์ในประเทศไทย, จัดพิมพ์โดยฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์, กองเศรษฐกิจและเผยแพร่ กรมทรัพยากรธรณี, 78 หน้า
- พัชรภรณ์ หาญพงษ์, 2546, ลักษณะธรณีสัณฐานวิทยาของกลุ่มรอยเลื่อนระนอง, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, รายงานโครงการพิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี
- ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, บุรินทร์ เวชบัณฑิต และสุทธิพันธ์ ชูทรานนท์, 2543, รายงานวิจัย (ฉบับสมบูรณ์) แผ่นดินไหวในประเทศไทยและพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 171 หน้า
- ปัญญา จารุศิริ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, มนตรี ชวงษ์, กฤษณ์ วันอินทร์ , อภิชาติ ลำจวน, สุวิทย์ โคสุวรรณ, ปรีชา สายทอง, ปิยธิดา โทณรัตน์ และภาสกร ปนานนท์, 2547, การสำรวจรอยเลื่อนมีพลัง (active Fault) ในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เล่ม 2, 118 หน้า
- รัชช นัทธี, ปัญญา จารุศิริ และวิโรจน์ ดาวฤกษ์, 2544, การศึกษาวิจัยความแปลกภัยเกี่ยวกับแผ่นดินไหวของ เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนเขาแหลม, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 127 หน้า
- สิริลักษณ์ จันทรางศุ, 2526, แผ่นดินไหว, วิศวกรรมสาร ฉบับพิเศษ, เล่มที่ 6 ปีที่ 36 ธันวาคม 2526
- สงัด พันธุ์โอภาส, 2520, แผนที่ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ระวางจังหวัดสุพรรณบุรี (ND 47-7) มาตราส่วน 1:250,000, กรมทรัพยากรธรณี
- แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์, 2534, ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย, กรมทรัพยากรธรณี กองธรณีวิทยา ฝ่ายแปลภาพถ่ายทางอากาศและดาวเทียม, 58 หน้า
- Aitken, A. J., 1985, Thermoluminescence Dating, New York: Academic Press, 351pp.
- Atkinson, G.M., and Boore, D.M., 1997, Some comparisons between recent ground motion relations, Seismological Research Letters. 68(1), pp. 24-40

- Barr, S. M., and MacDonald, A. S., 1987, Nan River Suture Zone, Northern Thailand, *Geology*, v.15: pp 907–910
- Bunopas, S. and Bunjitradulya, S., 1975, Geology of Amphoe Bo Phloi, North Kanchanaburi, with special note on the "Kamchanaburi Series", *Journal of Geological Society of Thailand*, v.1, p.51–67
- Bunopas, S., 1976, On the Stratigraphic Successions in Thailand–A Preliminary Summary, *Journal of Geological Society of Thailand*, v.2. no.1–2: 31–58
- Bunopas, S., 1981, Paleogeographic History of Western Thailand and Adjacent part of Southeast Asia, A plate tectonic interpretation, Ph.D Thesis, Victoria University of Wellington: 810pp.
- Caceres, D., and Kulhanek, O., 2000, Seismic Hazard of Honduras, *Natural Hazards* (22): 49–69
- Charusiri, P., Choowong, M., Charoentitirat, T., Jankaew, K., Chutakositkanon, V., and Kanjanapayont, P., 2005, Geological and physical effect evaluation in the tsunami damage area for restoration and warning system, Technical report, 456 p.
- Charusiri P., Pongsapich W. and Vedchakanchana S., 1986, Petrological and geochemical studies of Granites of Kathu Plutons of Phuket Island, Southern Thailand, *GEOSEA V Proceeding Vol. I. Gelol. Soc. Malaysia, Bulletin 19*, Geological Society of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 17–20 April, 1986: p. 261–280.
- Charusiri, P., Clark, A.H., Farrar, E., Archibald, D. and Charusiri, B., 1993, Granite belts in Thailand: evidence from the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological and geological syntheses: *Journal of Southeast Asian Earth Science*, Vol. 8, Nos. 1–4: p. 127–136.
- Cornell, C. A., 1968, Engineering seismic risk analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America* 58: pp. 1583–1606.
- Crouse, C. B., 1991, Ground-motion attenuation equations for earthquakes on the Cascadia subduction zones, *Earthquake Spectra* 7(2): pp. 201–236.
- Dheeradilok, P., 1975, On the structural features and metamorphism of the inferred Precambrian rocks, southeast Amphoe Tha Maka, Kanchanaburi province, *Journal of Geological Society of Thailand*, v.1, p.21–29.
- Esteva, L., and Villaverde, R., 1973, Seismic risk, design spectra and structural reliability, *Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering* 2: pp. 2586–2596
- Feathers, J. K., 2002, Luminescence dating in less than ideal conditions: case studies from Klasies River Mouth and Duinefontein, South Africa, *Journal of Archaeological Science* 29:177–194.
- Fenton, C. H., Charusiri, P., and Wood, S.H., 2003, Recent paleoseismic investigations in Northern and Western Thailand, *Annals of Geophysics*: p. 957–981
- Fontaine, H., and Suteethorn V., 1988, Late Paleozoic and Mesozoic fossils of West Thailand and their environments, *CCOP Technical Bulletin* 20, 217 p. with 46 pl.
- Gardner, J. K., and Knopoff, L., 1974, Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America* 64(1): 363–367

- Gutenberg, B., and Richter, C. F., 1954, *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Hanks, T.C., and Kanamori, H., 1979, A moment–magnitude scale, *Journal of Geophysical Research* 84: 2348–2350
- Hagen, D. and Kemper, D., 1976, Geology of the Thong Pha Phum area (Kanchanaburi Province, Western Thailand), *Geologisches Jahrbuch, Reihe B*, Hannover, v.21, p.53–91
- Hays, W. W., 1980, *Procedures for estimating earthquake ground motions* U.S. Geological Survey Govt. Print. Washington, D.C, 77p.
- Hinthong, C., 1997., *The study of active faults in Thailand. Report of EANHMP, An Approach to Natural Hazards in the Eastern Asia*, p.17–22
- Hull, A. G., Augello, A., and Yeats, R.S., 2003, Deterministic seismic hazard analysis in northwest Oregon, U.S.A. *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, 9p.
- Hurford, E. Jager, 1986, Amino acid racemization geochronology, In: *Dating Young Sediments*, A. J. Ten Cate, *Proceedings of 1985 Beijing Workshop on Dating of Young Sediments*, United Nations CCOP, Bangkok, pp. 139–158
- Idriss, I. M., 1993, *Procedures for selecting earthquake ground motions at rock sites*, Technical report NIST GCR 93–625, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland
- Keller, E. A., and Pinter, N., 1996, *Active tectonics: Earthquake, uplift, and landscape*, Prentice–Hall: New Jersey, 338 p.
- Kramer, S. L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 653 pp.
- Lacassin, R., Maluski, P., Leloup, P. H., Tapponnier, P., Hinthong, C., Siribhakdi, K., Chuavithit, S., and Charoenpravat, S., 1997, Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina: Structural and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence from NW Thailand, *Journal of Geophysical Research*, No102, pp. 10013–10037.
- McGuire, R. K., Arabasz, W. J., 1990, An introduction to probabilistic seismic hazard analysis. *Geotechnical and Environmental Geophysics* 1(5): 333–353
- Meesook, A., and Grant–Mackei, J. A., 1994, *Biostratigraphic Correlation of Marine Jurassic Rocks within Thailand and Southeast Asia*, Bangkok, Thailand, pp. 160–169
- Mikuni, 1981, *Study on samples taken from Fault Zone at Khao Laem Project*, EPDC, International Limited, Japan
- Nutalaya, P., Sodsri, S., and Arnold, E.P., 1985, *Series on Seismology Volume II Thailand: Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering*, 403 p.
- Pailoplee, S., Sugiyama, Y., and Charusiri, P. 2009. Deterministic and probabilistic seismic hazard analyses in Thailand and adjacent areas using active fault data. *Earth Planets Space* 61: pp. 1313–1325.

- Palasri, C. 2006. Probabilistic seismic hazard map of Thailand. Master's thesis, Chulalongkorn University. 143 p.
- Petersen, M.D., Dewey, J., Hartzell, S., Mueller, C., Harmsen, S., Frankel, A.D., Rukstales, K. 2004. Probabilistic seismic hazard analysis for Sumatra, Indonesia and across the Southern Malaysian Peninsula. *Tectonophysics* 390: 141–158.
- Raksaskulwong, L. and Wongwanich, T., 1994, Stratigraphy of Kaeng Krachan Group in Peninsular and Western Thailand, Annual Technical Meeting of Geological Survey Division, September 19–20, p.106–115 (in Thai).
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F., and Youngs, R.R. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, 68(1): pp. 180–189.
- Sakagami, S. and Hatta, A., 1982, On the Upper Permian Paleofusulina–Colanicella fauna from Khao Doi Pha Phlung, North Thailand, *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*, v.24, p.1–14.
- Sarapirome, S., Surinkum, A., and Saksutthipong, P., 2002. Application of DEM Data to Geological Interpretation: Thong Pha Phum Area, Thailand, *Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing*, Kathmandu, Nepal, 7 p.
- Schwartz D.P. and Coppersmith K.J. 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones. *Journal of Geophysical Research* 89: pp. 5681–5698.
- Suensilpong, S., 1997, The role of plate collision in tin mineralization in Thailand. In *The 7th the Circum-Pacific Plutonic Project meeting*, Japan, 14p.
- Sylvester, A. G. 1988. Strike–Slip Faults. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100: 1666–1703.
- Takashima, I. and Honda, S. 1989. Comparison between K–Ar and TL Dating Results of Pyroclastic Flow Deposits in the Aizutajima Area, Northeast Japan. *Journal of Geological Society*, 95: 807–816.
- Tapponnier, P. Peltzer, G. Armijo, R. Le Dain, A. and Coorbald, P. 1982. Propagating Extrusion Tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, v. 10: 611–616.
- Wanitchai, P., and Lisantono, A. 1996. Probabilistic Seismic Risk Mapping for Thailand. *Proceedings, 11th World Conference on Earthquake Engineering*. Acapulco Mexico.
- Wells, D.L., and Coppersmith, K.J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture width, rupture area, and surface displacement. In *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 84, pp. 974–1002.
- Whittier, C., 1988. Handbook to the Uniform Building Code: an Illustrative Commentary. *International Conference of Building Officials*.
- Wintle, A. G. and Huntley, D. J. 1980. Thermoluminescence Dating of Ocean Sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17: 348–360.

- Won-in, K., 1999, Neotectonic evidences along the Three Pagoda Fault Zone, Changwat Kanchanaburi, MSc Thesis, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University : 188p.
- Won-in, K. 2003. Quaternary geology of the Phrae basin, northern Thailand and application of thermoluminescence technique for quaternary chronology. Doctoral dissertation. Graduate School of Mining and Engineering, Akita University, Japan.
- Youngs, R.R., and Coppersmith, K.J. 1985. Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America* 75: 939–964.
- Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., and Humphrey, J.R. 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters* 68(1): pp. 58–73.
- <http://www.encyclopedia.nan.edu>
- <http://www.dmr.go.th>
- <http://www.gsj.jp>
- <http://www.rses.anu.edu.au>
- <http://www.seismo.ued.edu>
- <http://www.ucsb.edu>
- <http://www.kanchanaburi.co.th>
- <http://www.ucsb.edu>
- [http:// www.earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqarchives/year/byyear.php](http://www.earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqarchives/year/byyear.php)
- [http:// www.gllcf.umiaccs.umd.edu](http://www.gllcf.umiaccs.umd.edu)
- [http:// www.landsat.usgs.gov](http://www.landsat.usgs.gov)
- <http://www.pointasia.com>
- [http:// www.son.nasa.gov/tass/images/ cont_emspect2.jpg](http://www.son.nasa.gov/tass/images/cont_emspect2.jpg)

ภาคผนวก

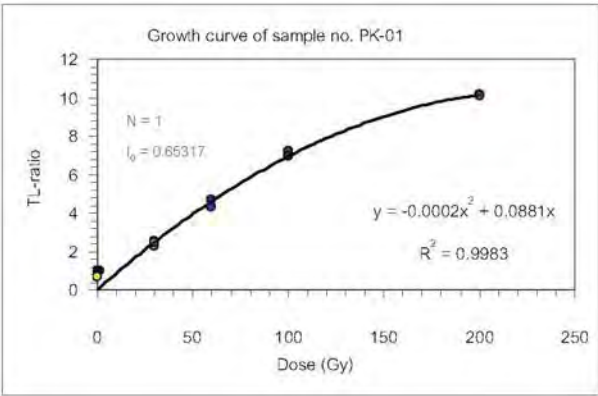
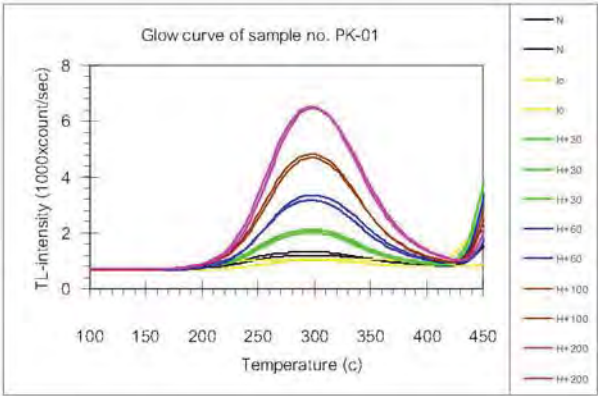
ตารางสรุปผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนในพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยวิธีเปลี่ยนแปลงแสงความร่อน ด้วยเทคนิค regeneration

No.	Sample name	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	WC (%)	AD (mGy/y)	N	Io	ED (Gy)	TL age (year)
1	PK-01	2.10	11.09	0.81	5.91	4.19	11.66	7.54	4.12	900±40
2	PK-02	2.65	18.62	2.70	6.42	7.65	833.33	755.81	77.53	10,100±1,200
3	PK-03	2.18	13.54	1.76	7.74	5.47	270.27	260.05	10.22	1,800±500
4	PK-04	1.84	12.41	1.49	7.88	4.81	833.33	728.68	104.65	21,700±7,200
5	PK-05	1.62	8.63	1.31	7.02	3.89	588.24	483.07	105.17	27,000±13,300
6	PK-06	2.33	15.37	1.90	6.95	6.07	769.23	658.16	111.07	18,200±2,100
7	PK-07	2.82	17.82	1.66	6.67	6.59	1000.00	904.29	95.71	14,500±4,400
8	PK-08	1.73	13.22	1.74	5.81	5.25	536.68	440.99	95.68	18,200±1,800
9	PK-09	2.36	16.58	1.64	8.48	5.95	729.84	627.03	102.81	17,200±1,200
10	BRV1	4.47	23.41	2.38	22.22	7.81	343.22	242.20	101.02	12,900±1,200
11	BRV2	5.08	26.18	2.36	25.49	8.24	200.00	138.43	61.57	7,400±400
12	BRV3	5.16	25.94	2.74	26.10	8.49	51.97	30.40	21.57	2,500±100
13	BRV4	5.22	26.20	2.84	24.27	8.79	188.68	93.12	95.56	10,800±1,700
14	BRV5	4.84	27.29	2.78	23.87	8.75	232.41	138.70	93.71	10,700±800
15	BRV6	4.04	25.96	2.36	28.72	7.46	59.47	27.05	32.42	4,300±200
16	BRV7	4.47	27.39	2.51	25.26	8.25	71.59	28.94	42.65	5,100±500
17	BK 1-1	2.88	22.22	2.65	19.58	7.24	22.88	10.16	12.72	1,700±80
18	BK 1-2	2.56	21.30	2.28	19.71	6.62	11.17	9.16	2.01	300±30

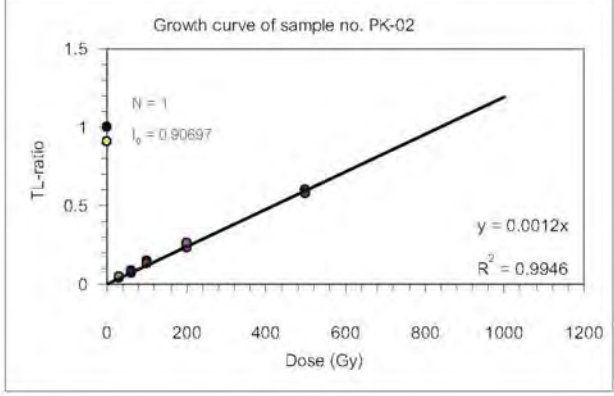
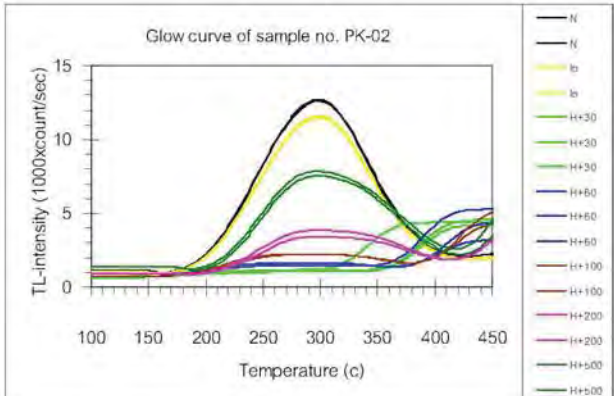
ตารางสรุปผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนในพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน ด้วยเทคนิค regeneration (ต่อ)

19	BK 2-1	2.20	16.80	1.38	18.48	5.05	43.51	15.79	27.72	5,400±500
20	BK 2-3	0.33	2.48	0.24	6.44	1.02	22.86	13.83	9.03	8,800±1,100
21	PR1	2.08	0.09	15.7	8.75	5.74	36.21	9.58	26.63	4,600±100
22	PR2	1.46	0.09	12.4	7.09	4.73	49.26	10.86	38.40	8,100±2,000
23	PR3	1.53	0.1	12.44	8.01	4.48	294.12	29.31	264.81	59,100±2,900
24	PR4	2.23	0.08	17.12	5.95	5.97	26.82	8.56	18.25	3,000±100
25	PR6	1.52	0.07	14.56	8.93	5.41	294.12	40.71	253.41	46,800±6,700
26	IS-1	4	0.09	13.47	1.65	2.21	6.73	1.16	5.57	2,500±100
27	IS-2	3.59	0.07	13.28	3.65	3.97	15.42	2.12	13.30	3,300±100
28	IS-3	4.03	0.12	13.80	2.57	4.23	20.06	4.67	15.39	3,600±100
29	KS2	1.89	0.08	17.97	5.96	5.13	96.15	9.34	86.81	16,900±1,800
30	KS3	1.70	0.08	17.14	7.12	4.83	62.89	8.69	54.20	11,200±500
31	KS4	1.67	0.08	14.72	6.39	4.47	34.97	12.22	22.74	5,000±200
32	KS5	1.77	0.07	16.83	5.81	5.19	46.08	10.08	36.01	6,900±1,200
33	KS6	2.04	0.06	17.48	5.75	5.52	78.13	8.08	70.05	12,600±2,900

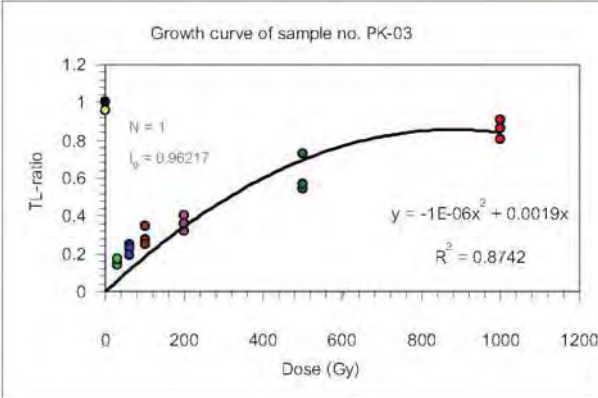
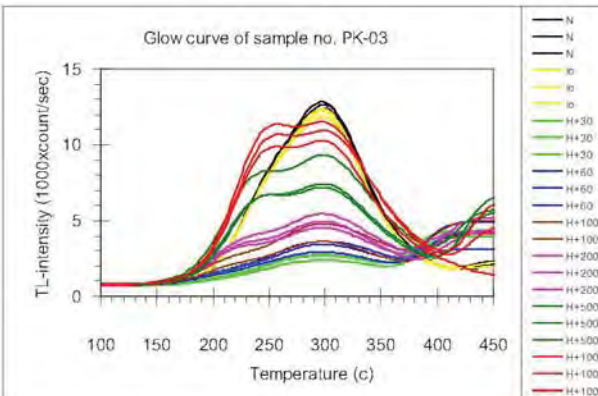
PK-01



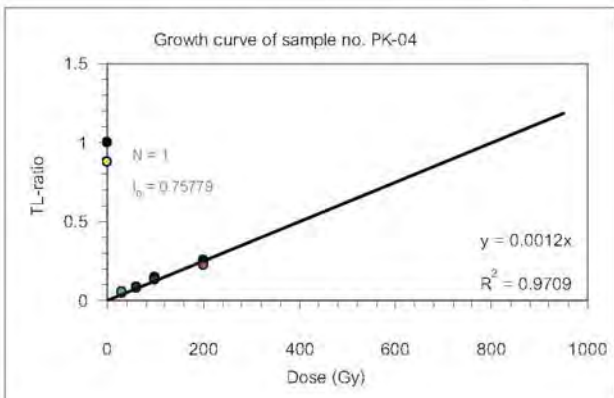
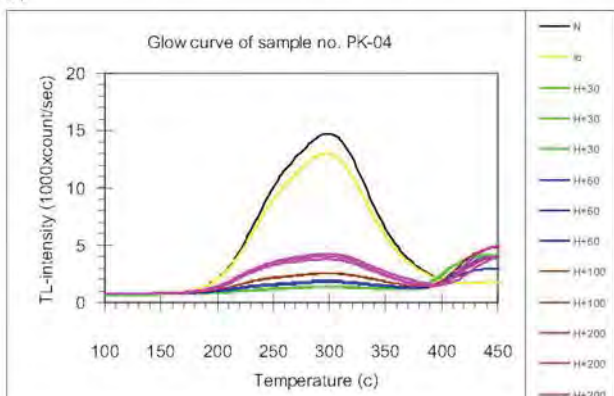
PK-02



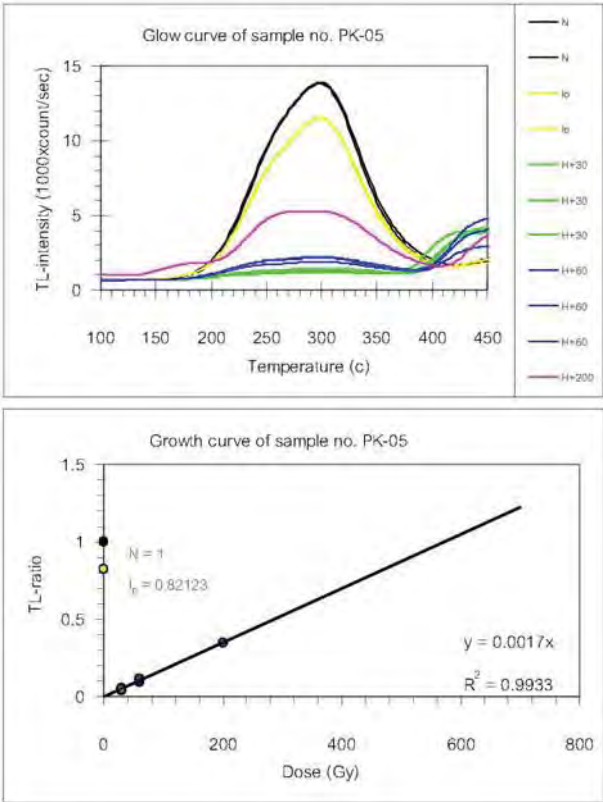
PK-03



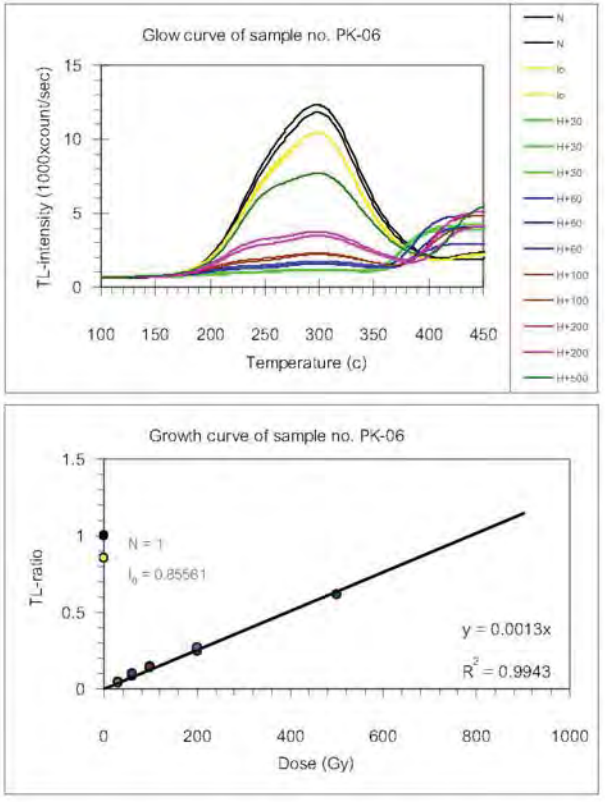
PK-04



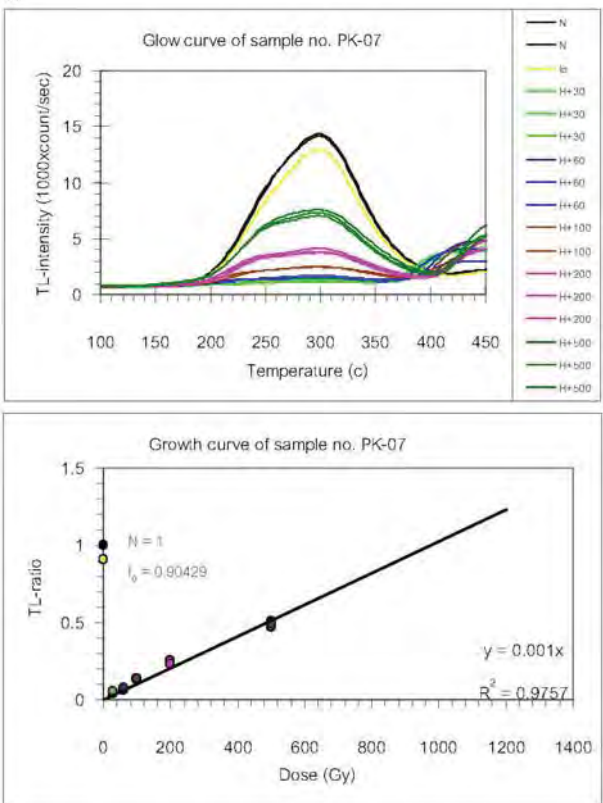
PK-05



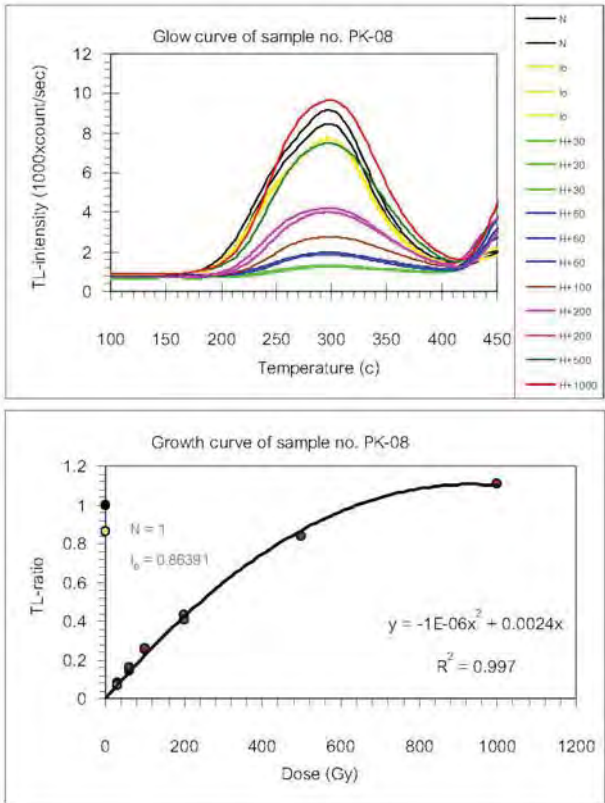
PK-06



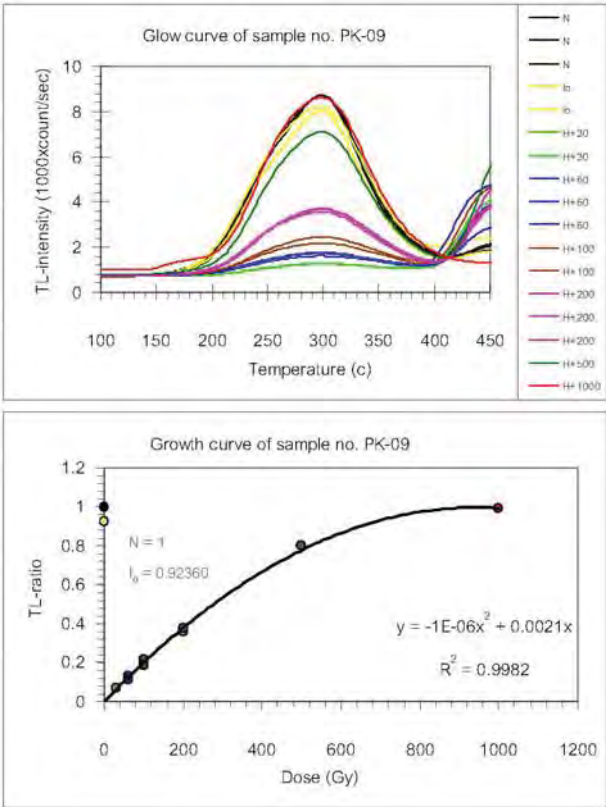
PK-07



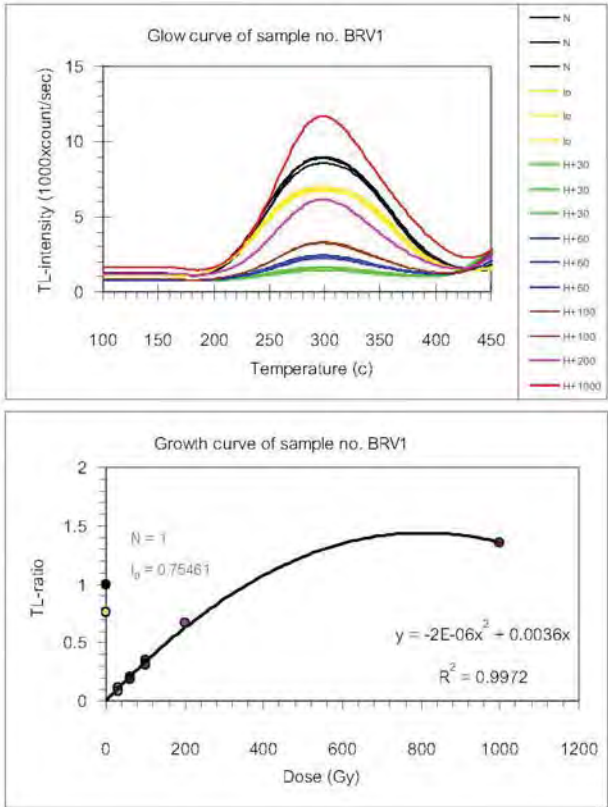
PK-08



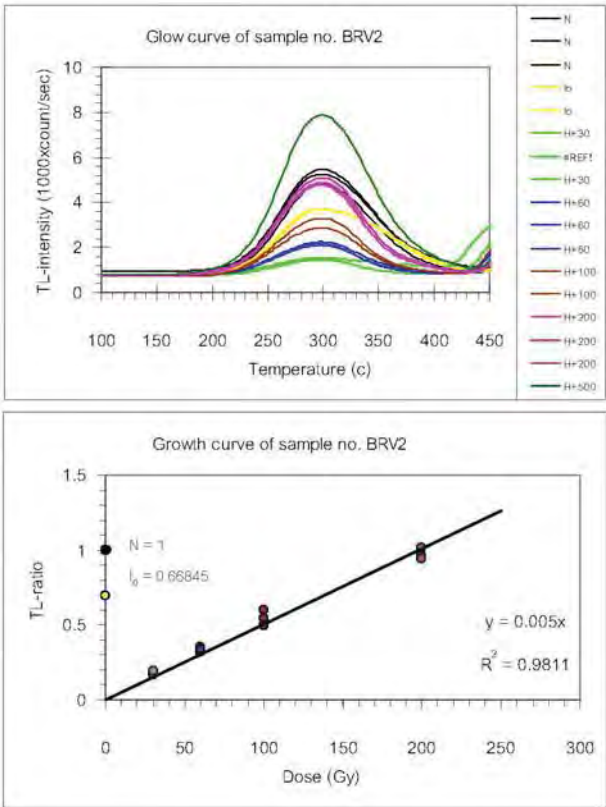
PK-09



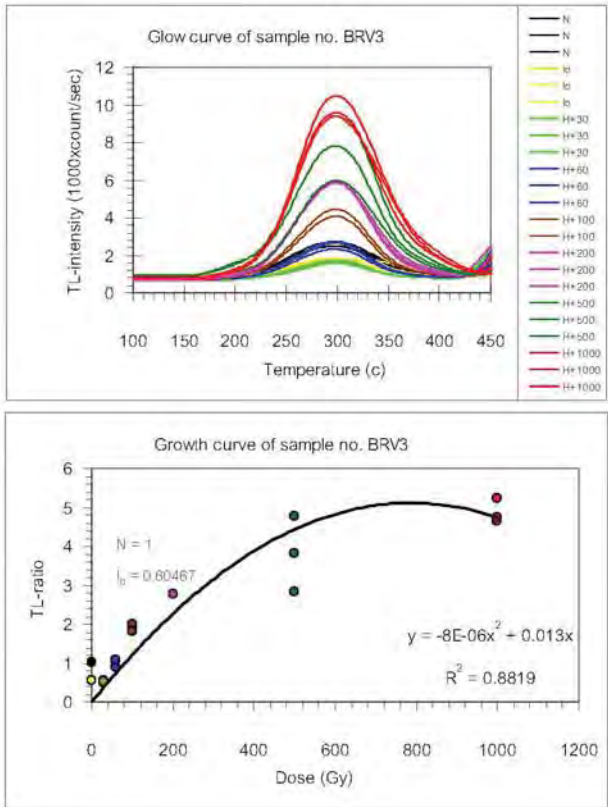
BRV1



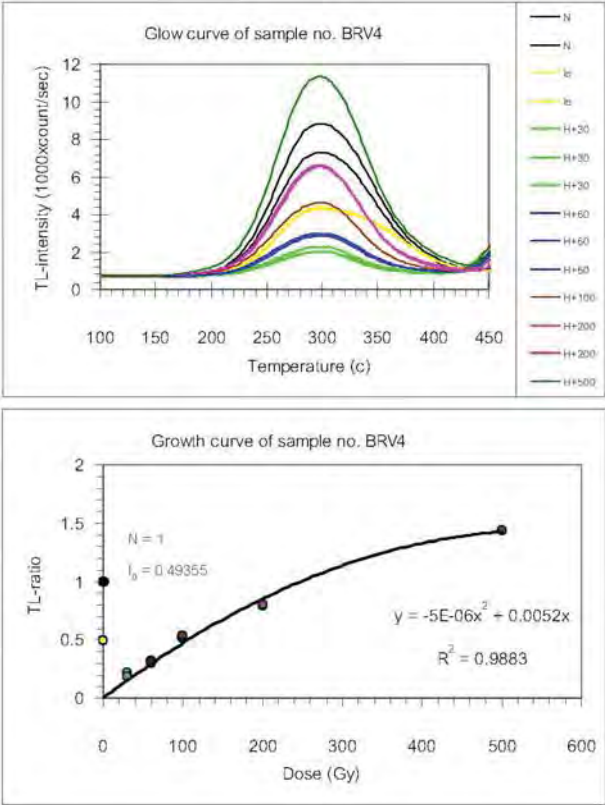
BRV2



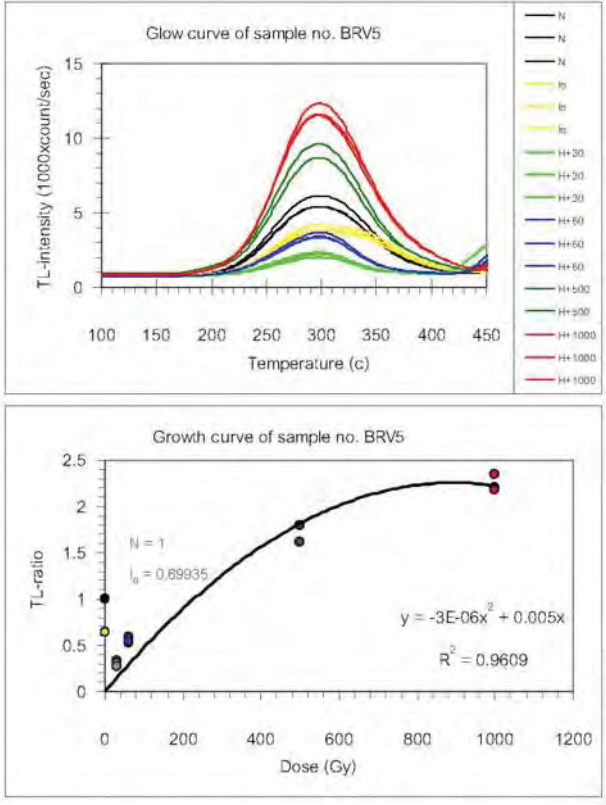
BRV3



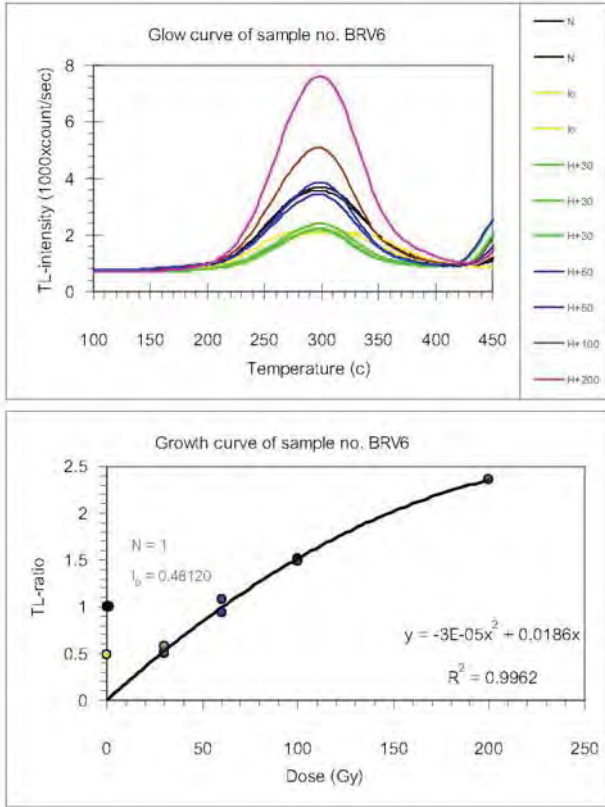
BRV4



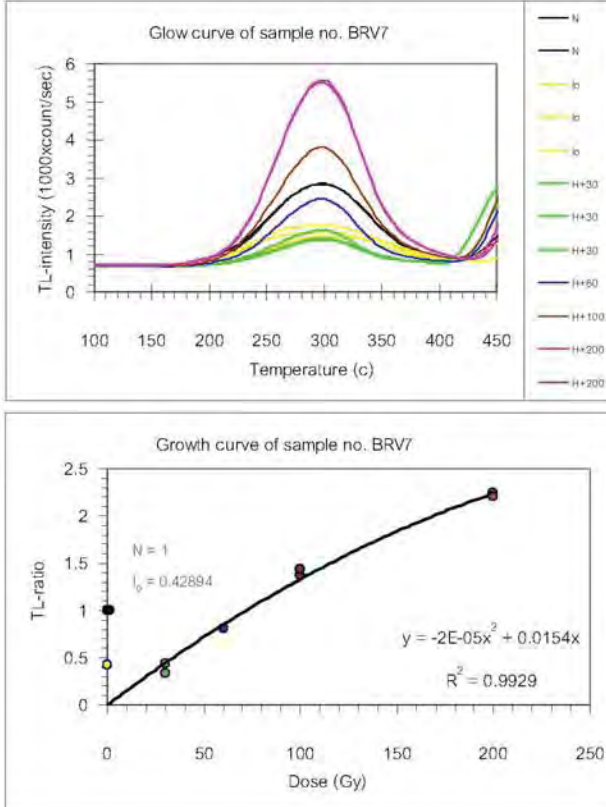
BRV5



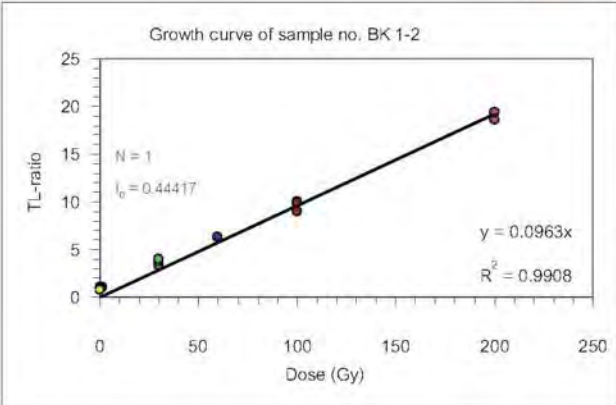
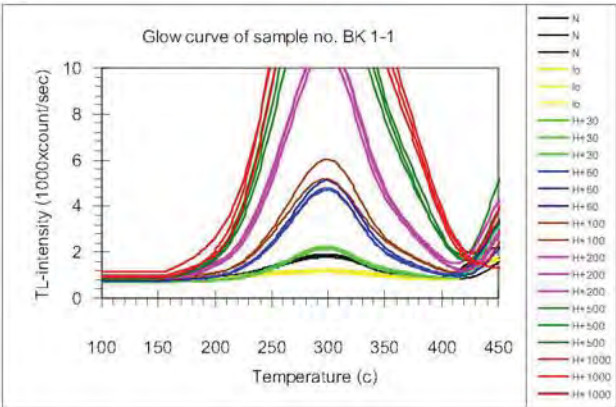
BRV6



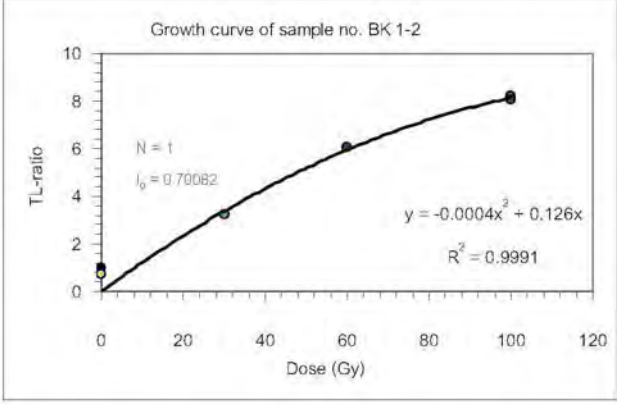
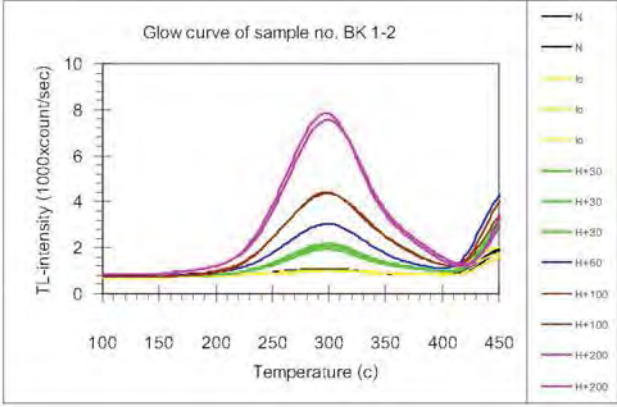
BRV7



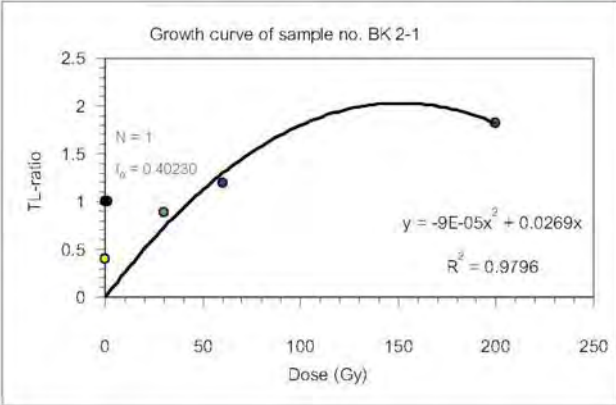
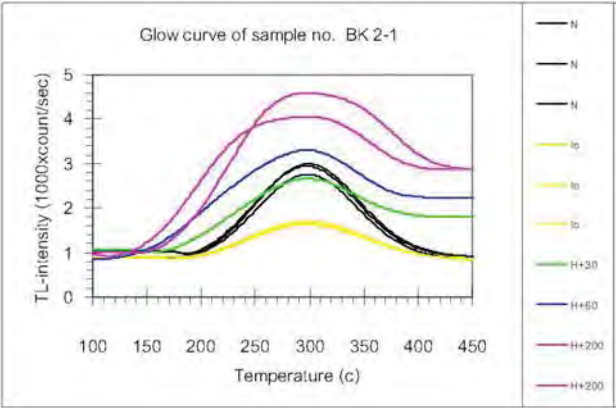
BK1-1



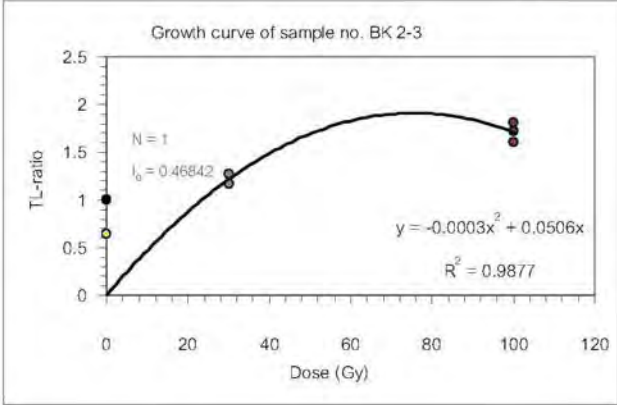
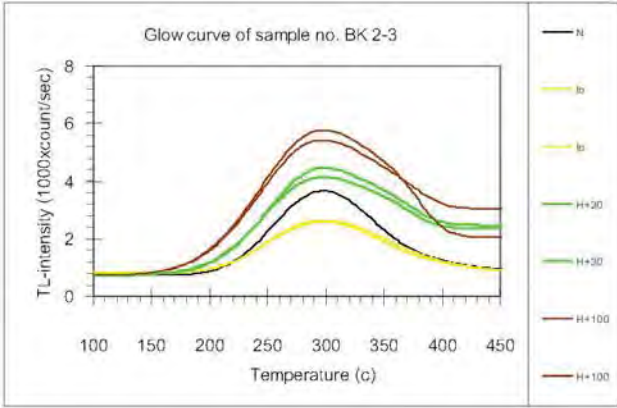
BK1-2



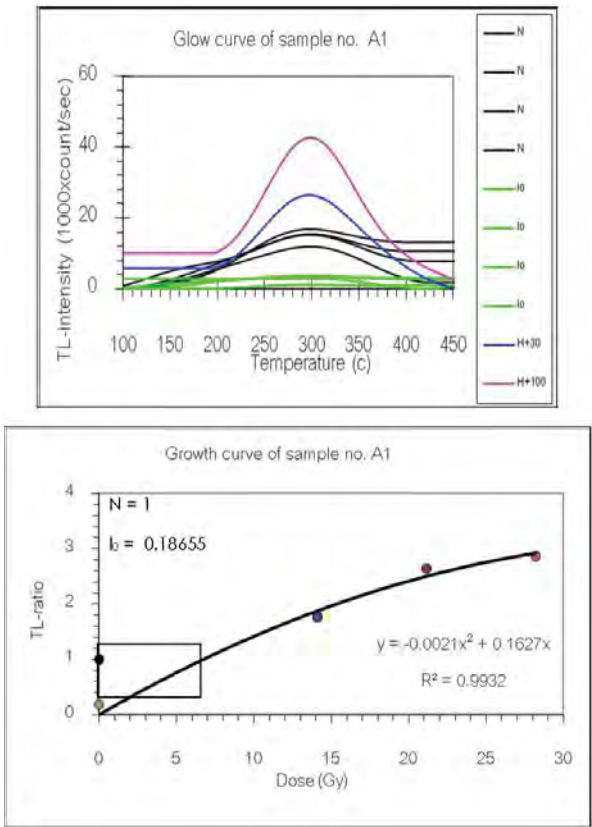
BK2-1



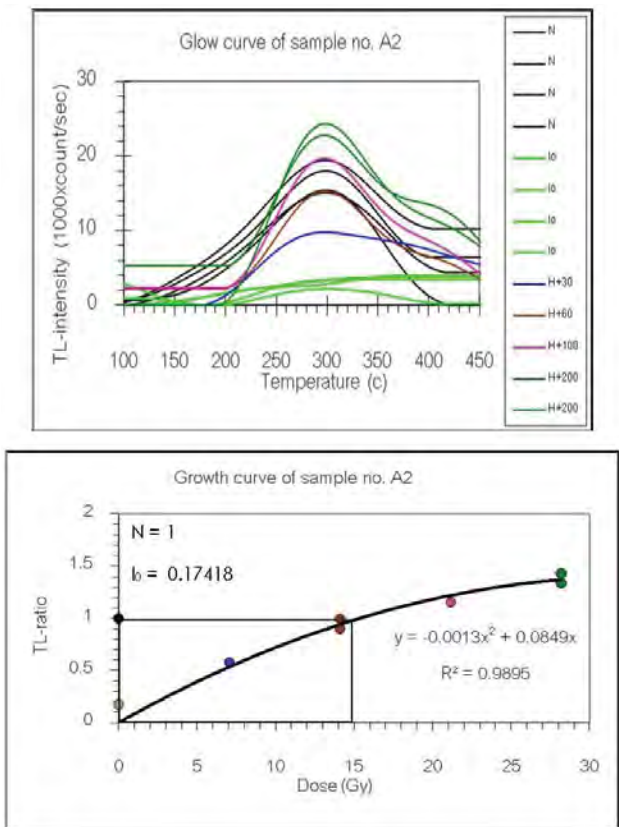
BK2-3



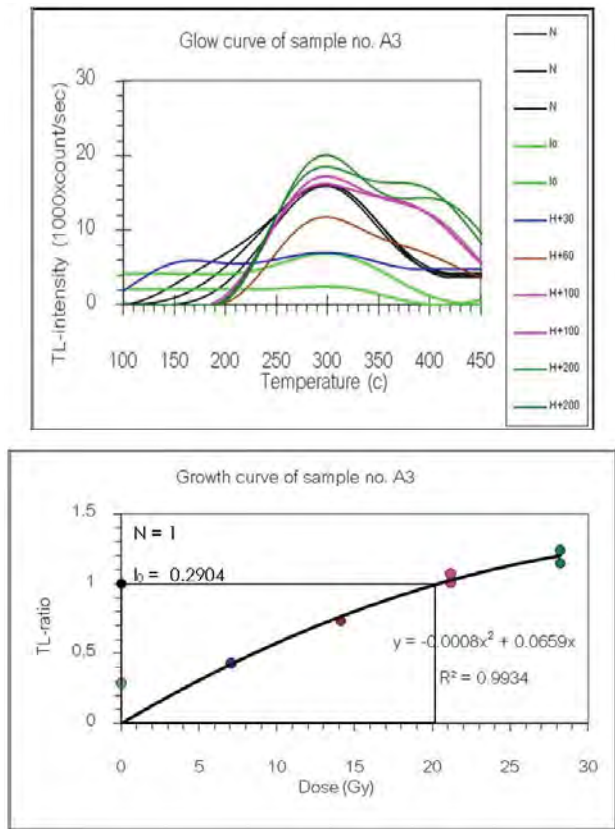
IS-1



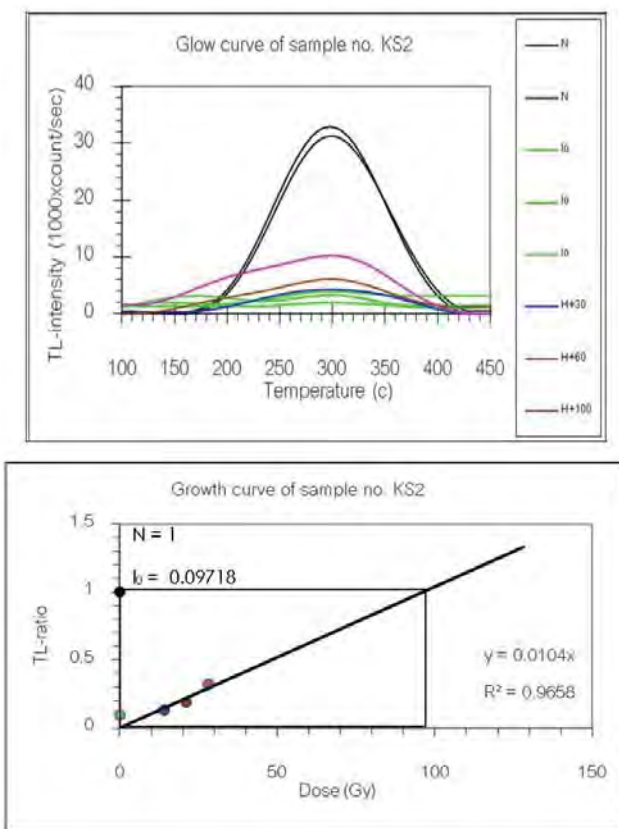
IS-2



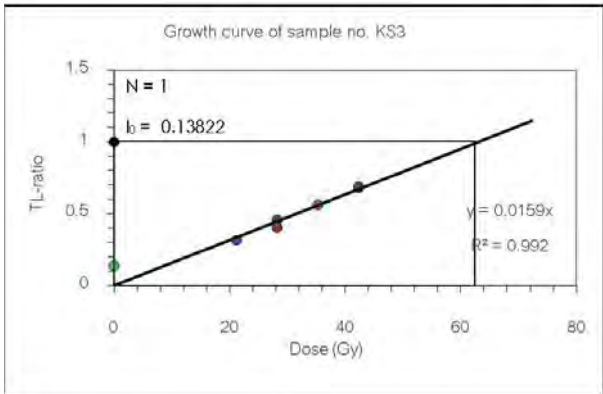
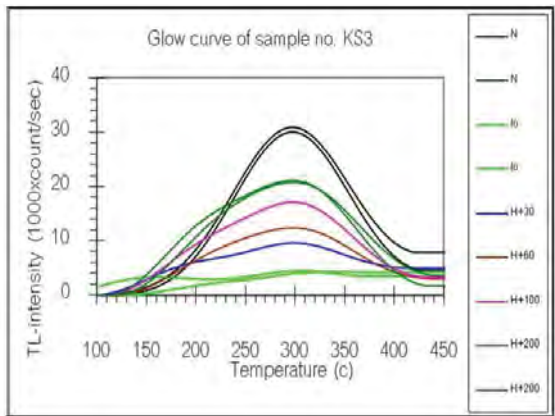
IS-3



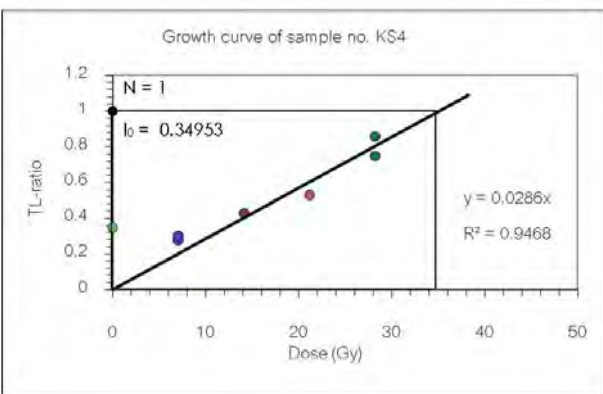
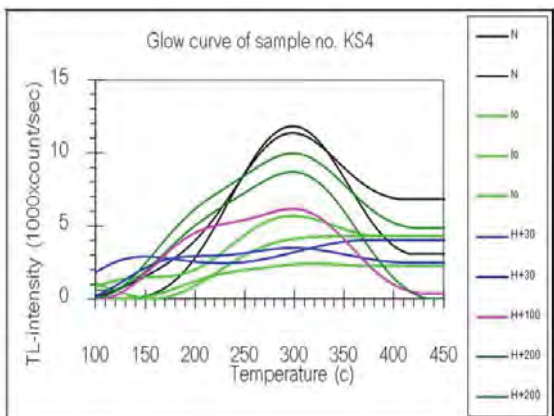
KS2



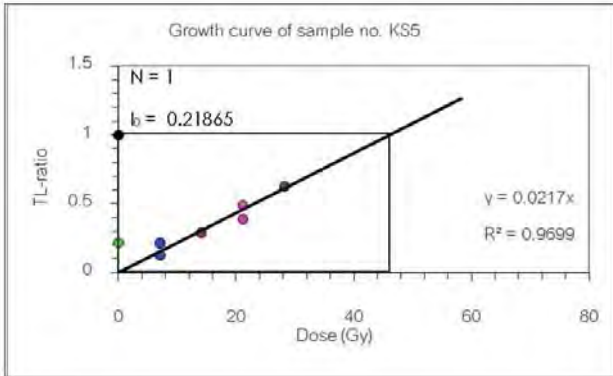
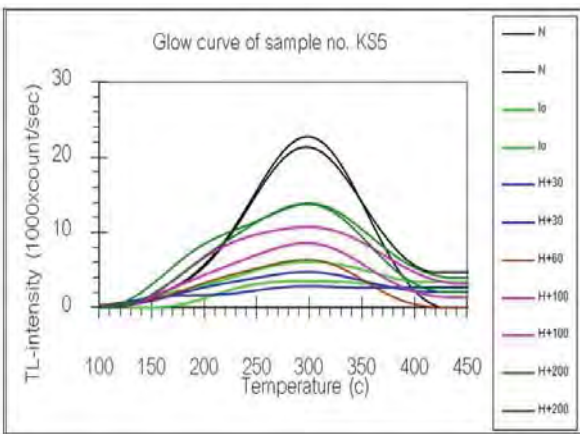
KS3



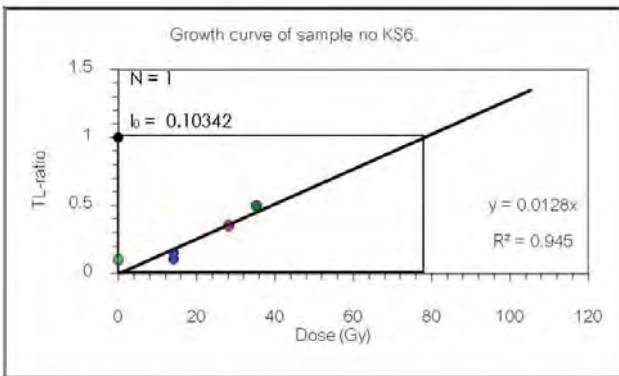
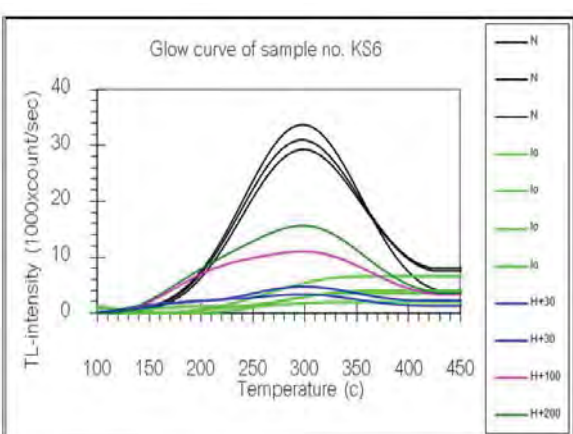
KS4



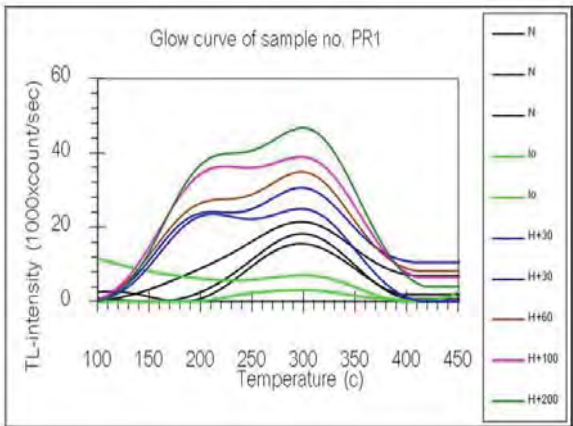
KS5



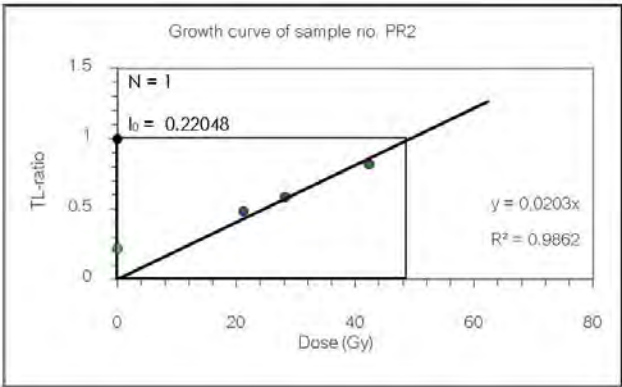
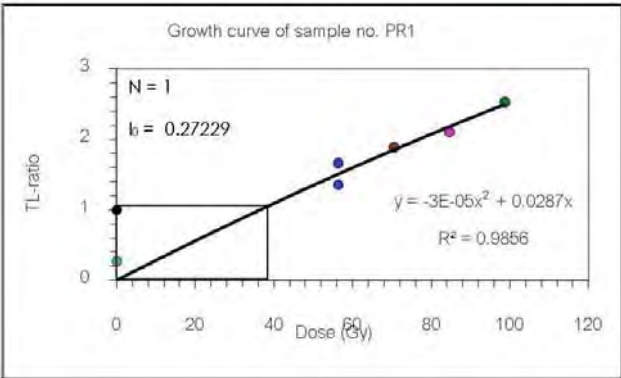
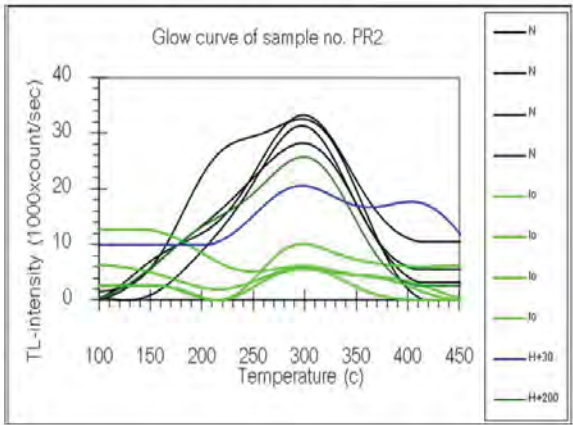
KS6



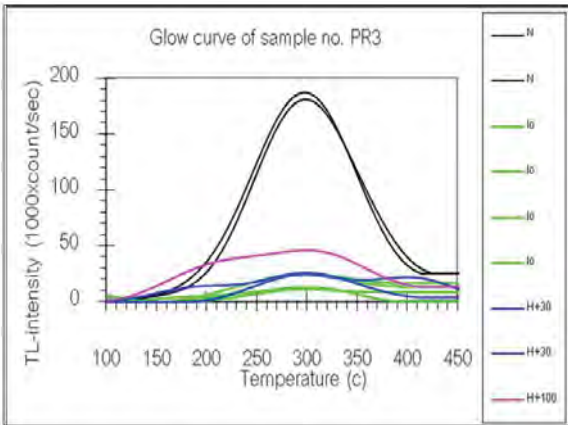
PR1



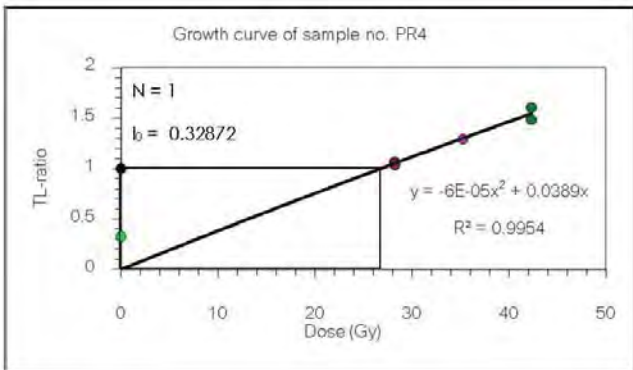
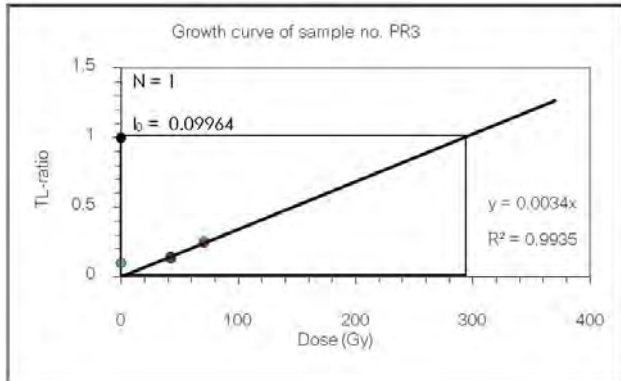
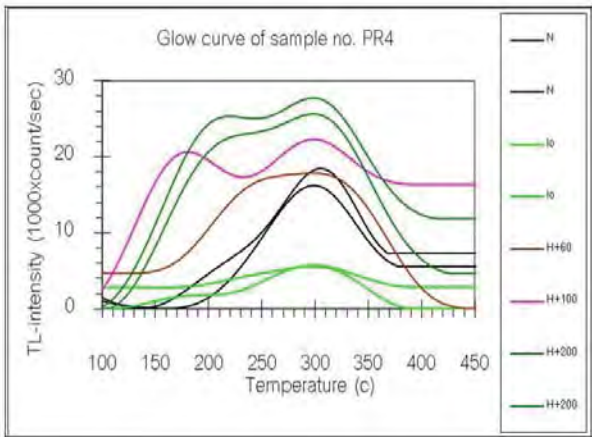
PR2



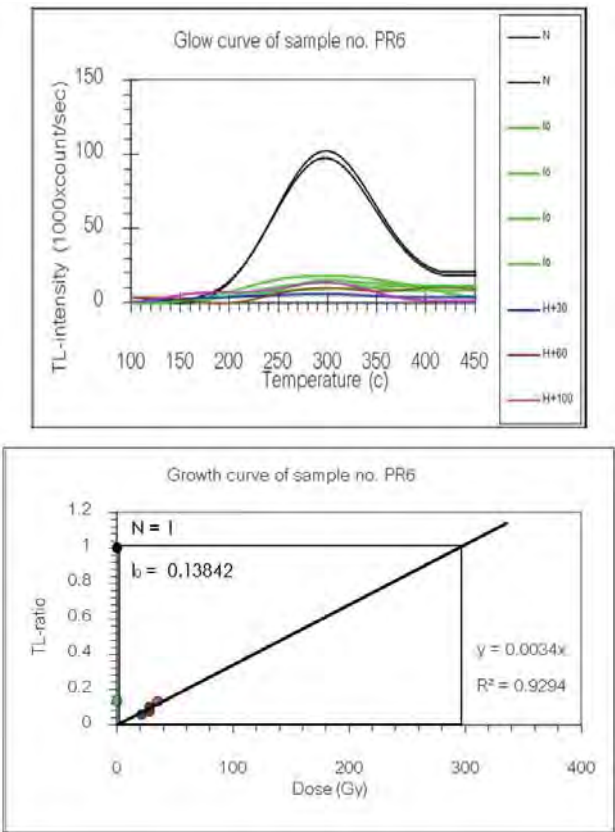
PR3



PR4



PR6



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางสรุปผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนในพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน ด้วยเทคนิค regeneration

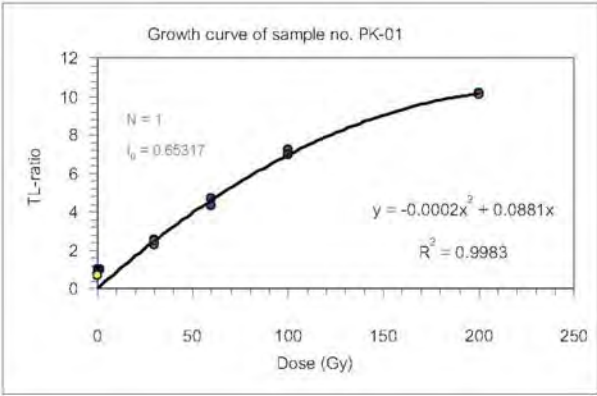
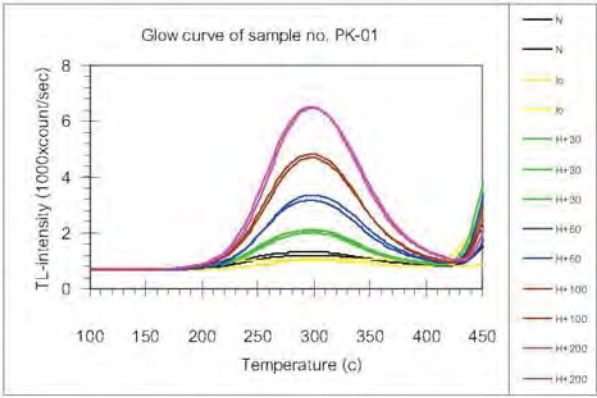
No.	Sample name	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	WC (%)	AD (mGy/y)	N	Io	ED (Gy)	TL age (year)
1	PK-01	2.10	11.09	0.81	5.91	4.19	11.66	7.54	4.12	900±40
2	PK-02	2.65	18.62	2.70	6.42	7.65	833.33	755.81	77.53	10,100±1,200
3	PK-03	2.18	13.54	1.76	7.74	5.47	270.27	260.05	10.22	1,800±500
4	PK-04	1.84	12.41	1.49	7.88	4.81	833.33	728.68	104.65	21,700±7,200
5	PK-05	1.62	8.63	1.31	7.02	3.89	588.24	483.07	105.17	27,000±13,300
6	PK-06	2.33	15.37	1.90	6.95	6.07	769.23	658.16	111.07	18,200±2,100
7	PK-07	2.82	17.82	1.66	6.67	6.59	1000.00	904.29	95.71	14,500±4,400
8	PK-08	1.73	13.22	1.74	5.81	5.25	536.68	440.99	95.68	18,200±1,800
9	PK-09	2.36	16.58	1.64	8.48	5.95	729.84	627.03	102.81	17,200±1,200
10	BRV1	4.47	23.41	2.38	22.22	7.81	343.22	242.20	101.02	12,900±1,200
11	BRV2	5.08	26.18	2.36	25.49	8.24	200.00	138.43	61.57	7,400±400
12	BRV3	5.16	25.94	2.74	26.10	8.49	51.97	30.40	21.57	2,500±100
13	BRV4	5.22	26.20	2.84	24.27	8.79	188.68	93.12	95.56	10,800±1,700
14	BRV5	4.84	27.29	2.78	23.87	8.75	232.41	138.70	93.71	10,700±800
15	BRV6	4.04	25.96	2.36	28.72	7.46	59.47	27.05	32.42	4,300±200
16	BRV7	4.47	27.39	2.51	25.26	8.25	71.59	28.94	42.65	5,100±500
17	BK 1-1	2.88	22.22	2.65	19.58	7.24	22.88	10.16	12.72	1,700±80
18	BK 1-2	2.56	21.30	2.28	19.71	6.62	11.17	9.16	2.01	300±30

ตารางสรุปผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนในพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน ด้วยเทคนิค regeneration (ต่อ)

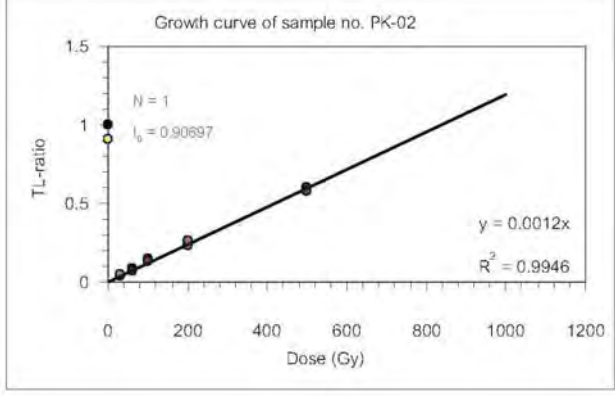
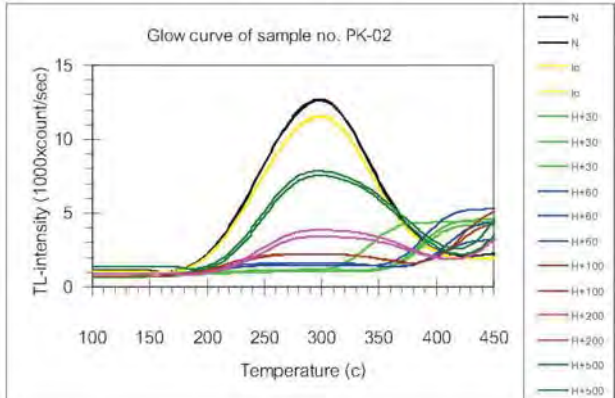
19	BK 2-1	2.20	16.80	1.38	18.48	5.05	43.51	15.79	27.72	5,400±500
20	BK 2-3	0.33	2.48	0.24	6.44	1.02	22.86	13.83	9.03	8,800±1,100
21	PR1	2.08	0.09	15.7	8.75	5.74	36.21	9.58	26.63	4,600±100
22	PR2	1.46	0.09	12.4	7.09	4.73	49.26	10.86	38.40	8,100±2,000
23	PR3	1.53	0.1	12.44	8.01	4.48	294.12	29.31	264.81	59,100±2,900
24	PR4	2.23	0.08	17.12	5.95	5.97	26.82	8.56	18.25	3,000±100
25	PR6	1.52	0.07	14.56	8.93	5.41	294.12	40.71	253.41	46,800±6,700
26	IS-1	4	0.09	13.47	1.65	2.21	6.73	1.16	5.57	2,500±100
27	IS-2	3.59	0.07	13.28	3.65	3.97	15.42	2.12	13.30	3,300±100
28	IS-3	4.03	0.12	13.80	2.57	4.23	20.06	4.67	15.39	3,600±100
29	KS2	1.89	0.08	17.97	5.96	5.13	96.15	9.34	86.81	16,900±1,800
30	KS3	1.70	0.08	17.14	7.12	4.83	62.89	8.69	54.20	11,200±500
31	KS4	1.67	0.08	14.72	6.39	4.47	34.97	12.22	22.74	5,000±200
32	KS5	1.77	0.07	16.83	5.81	5.19	46.08	10.08	36.01	6,900±1,200
33	KS6	2.04	0.06	17.48	5.75	5.52	78.13	8.08	70.05	12,600±2,900

ภาคผนวก ข

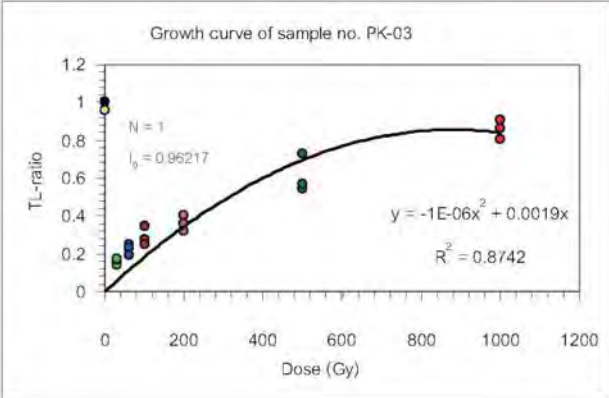
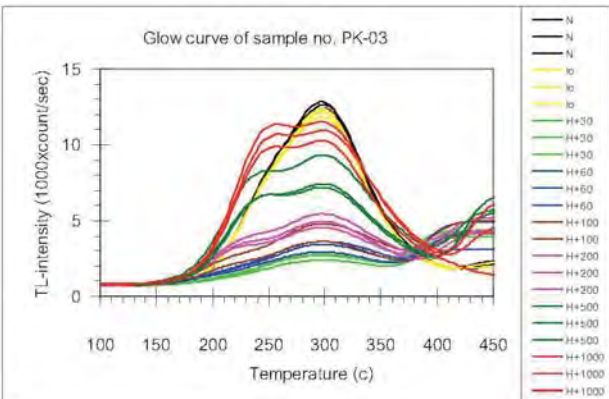
PK-01



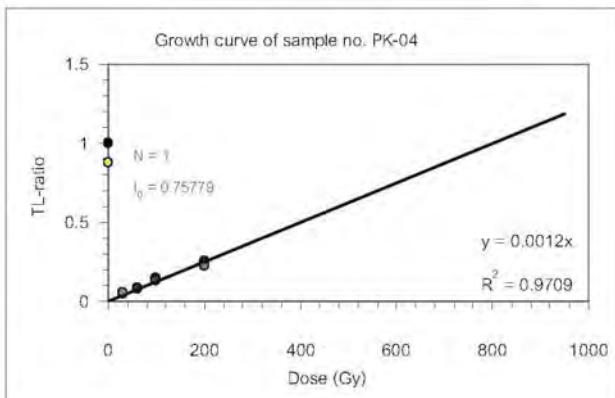
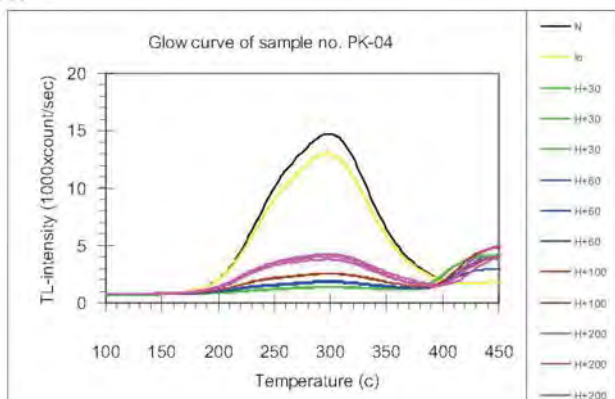
PK-02



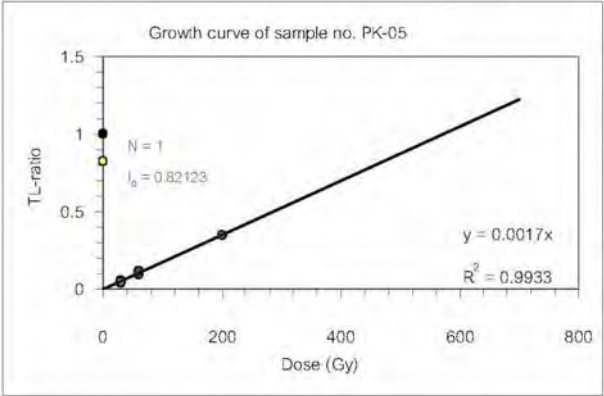
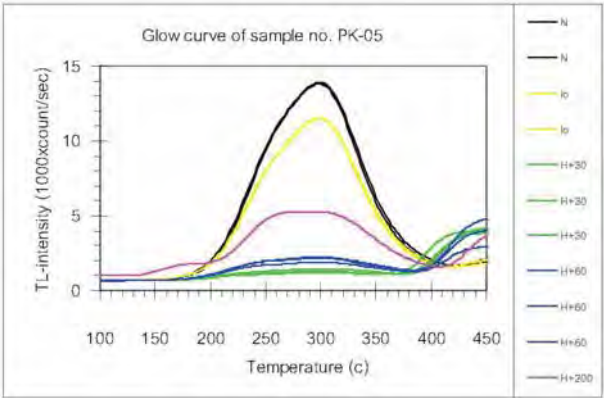
PK-03



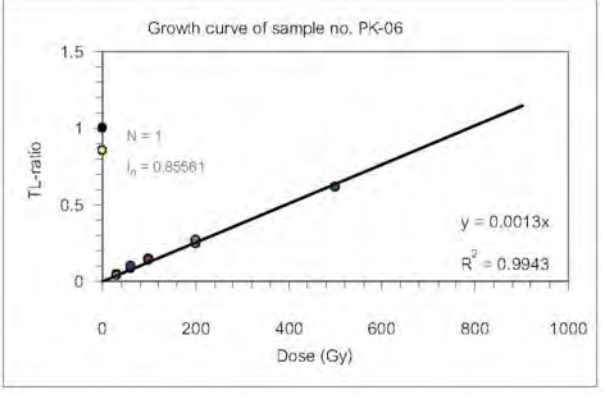
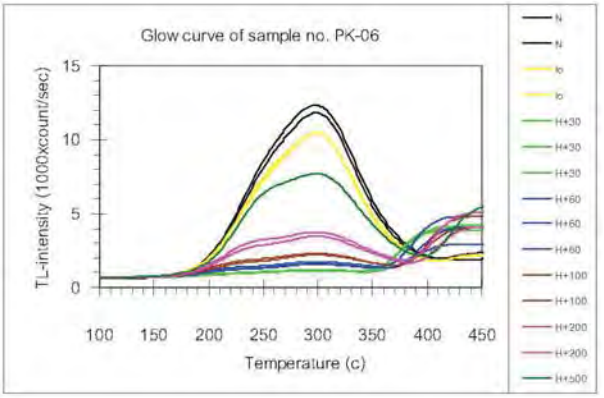
PK-04



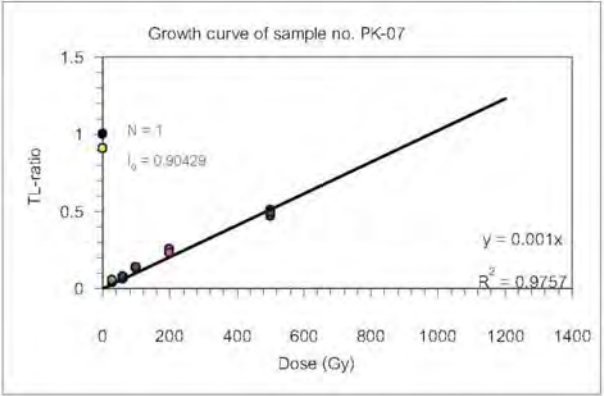
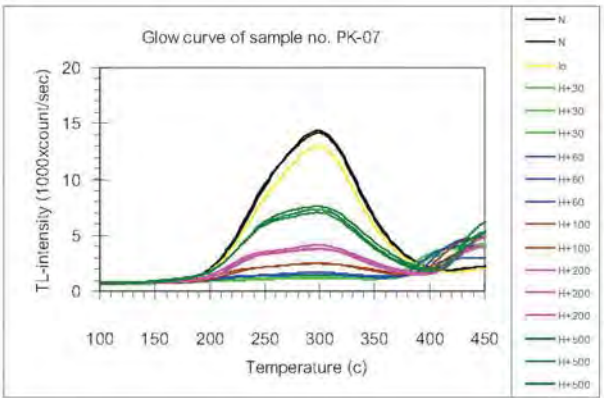
PK-05



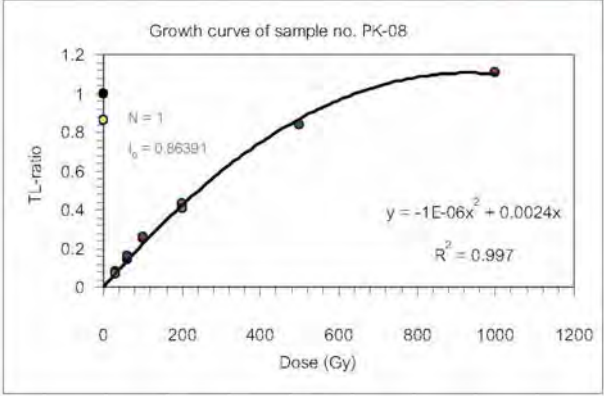
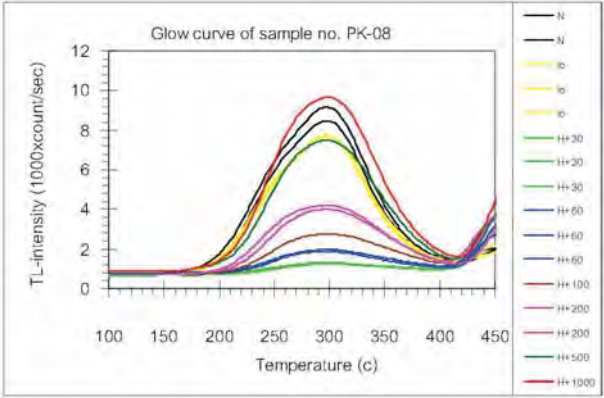
PK-06



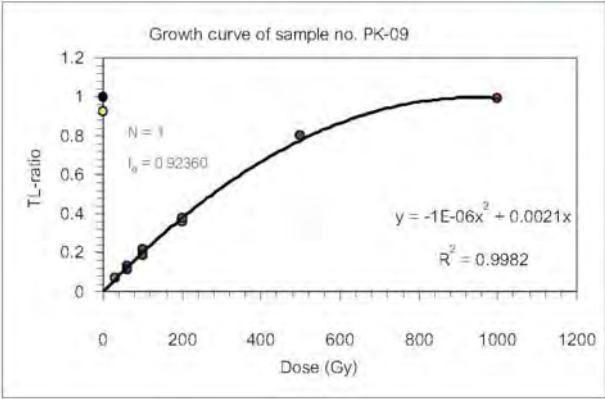
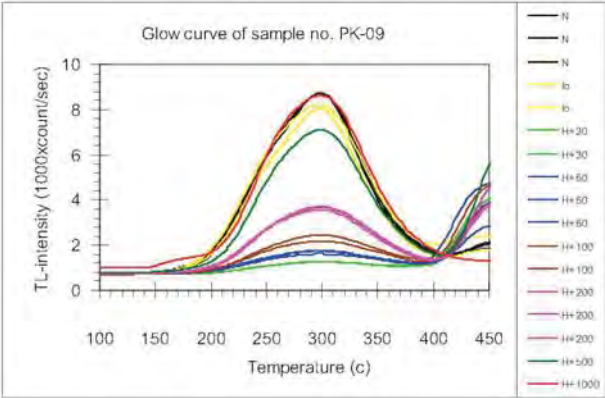
PK-07



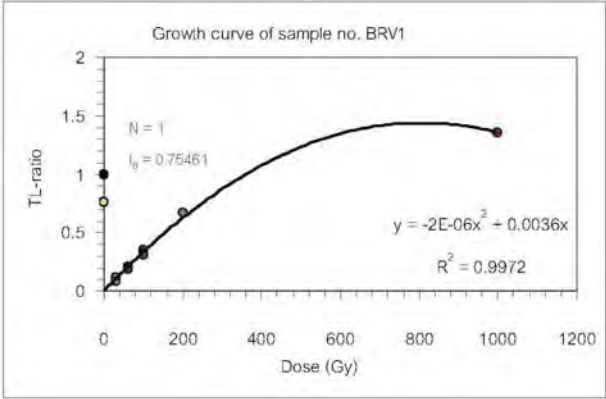
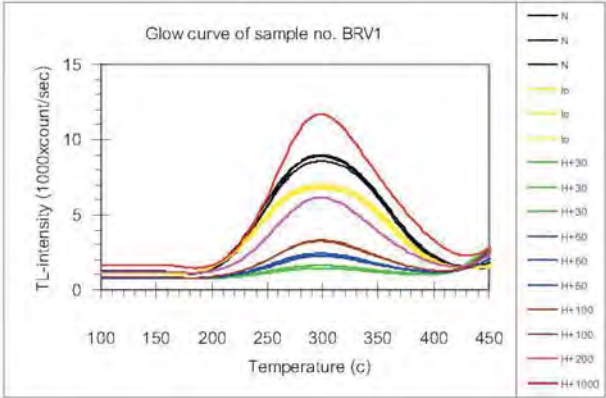
PK-08



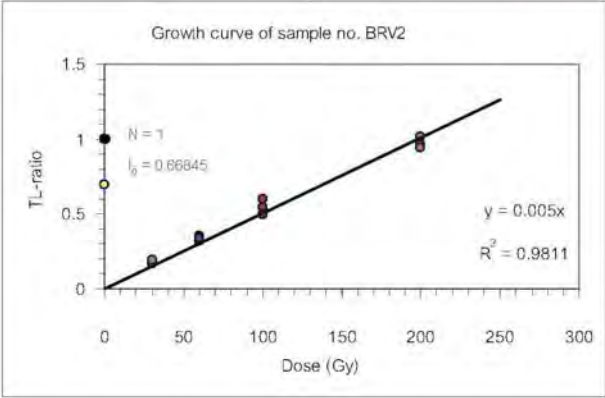
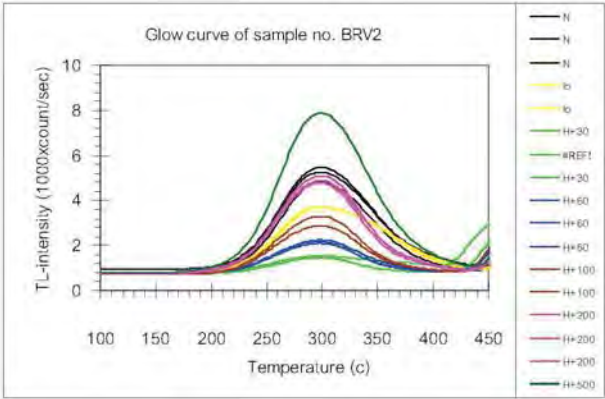
PK-09



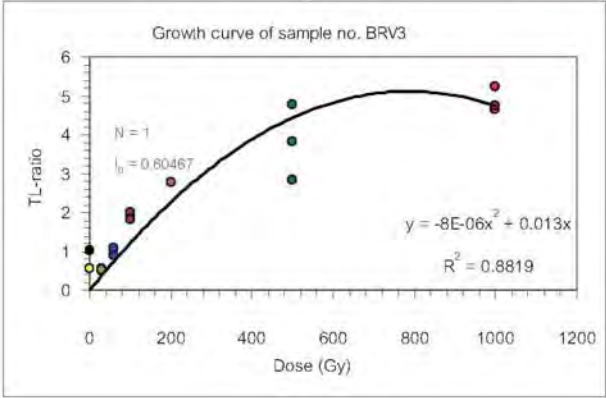
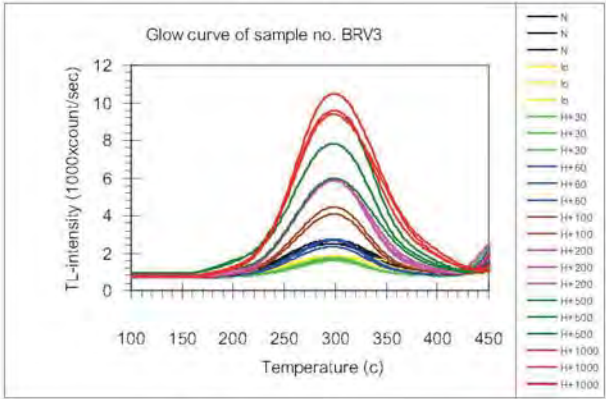
BRV1



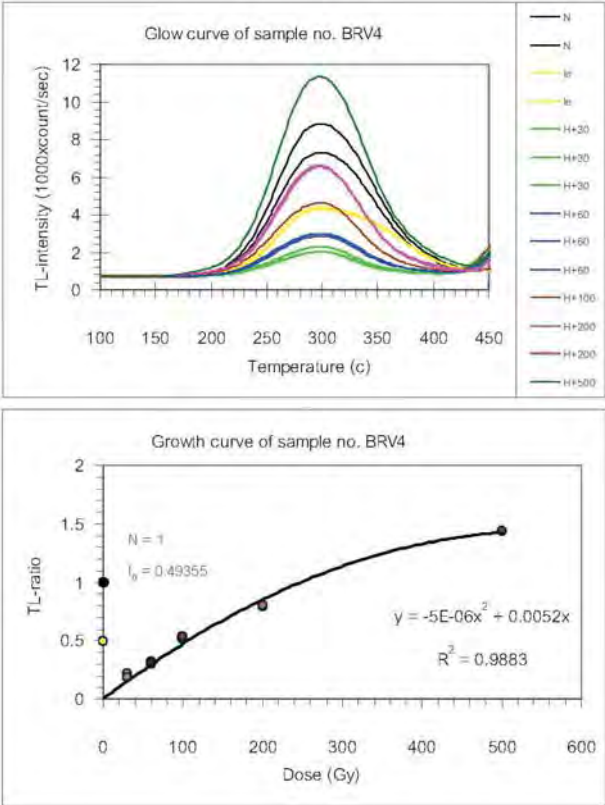
BRV2



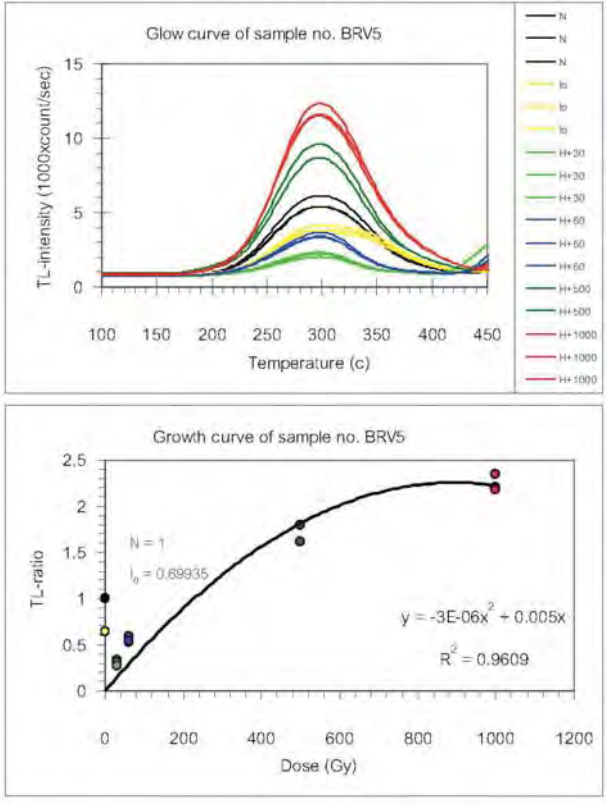
BRV3



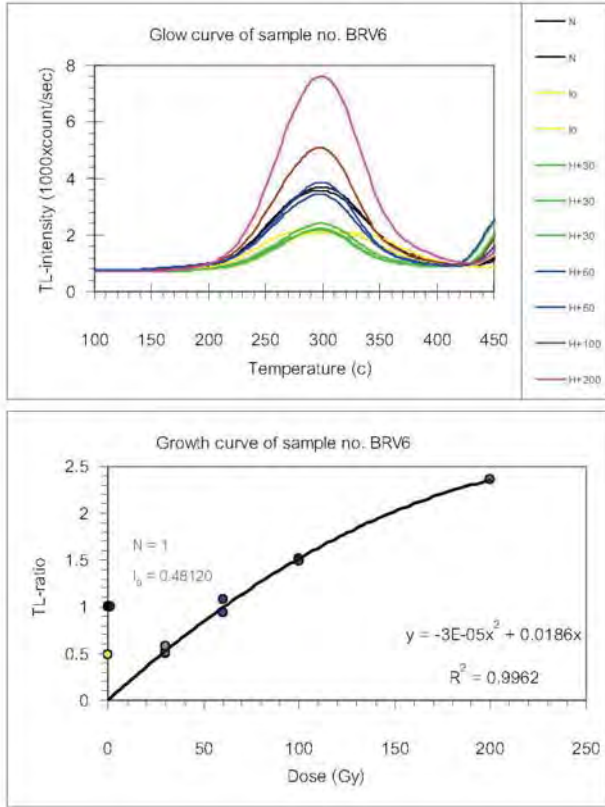
BRV4



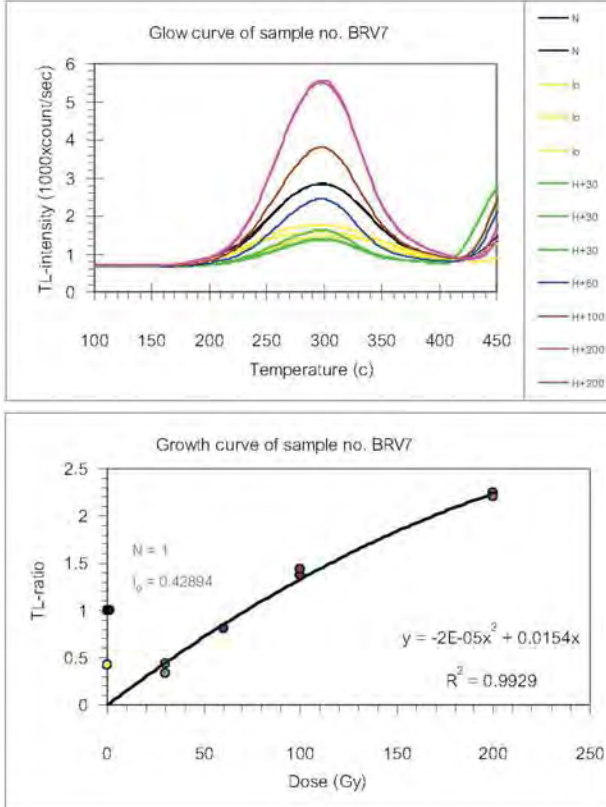
BRV5



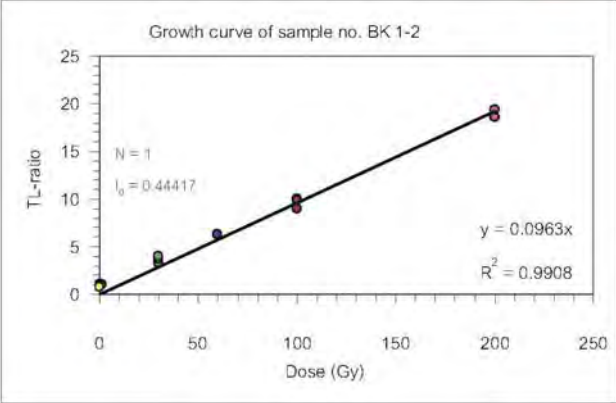
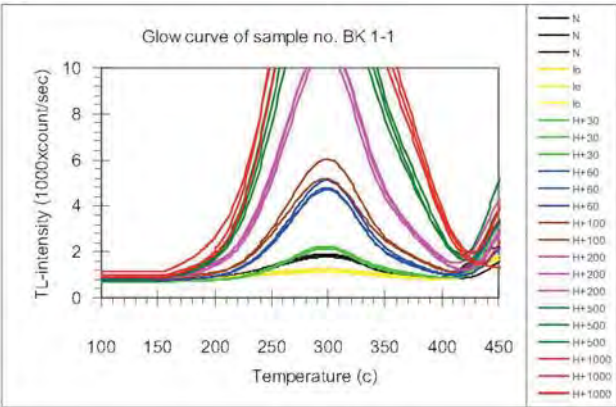
BRV6



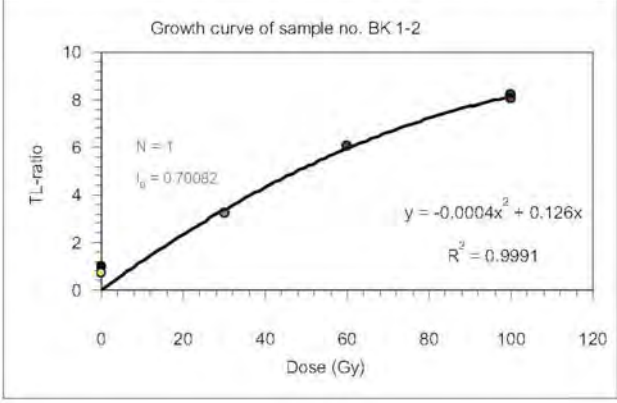
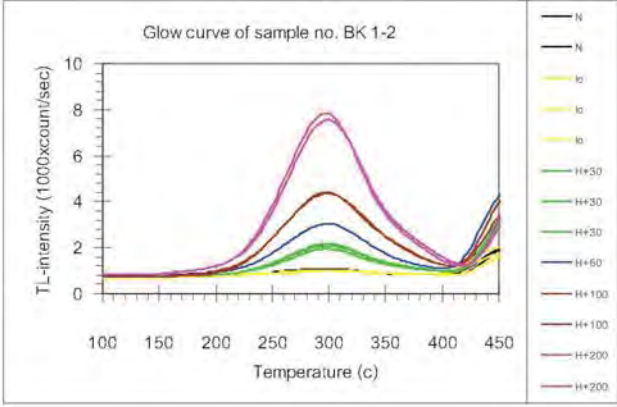
BRV7



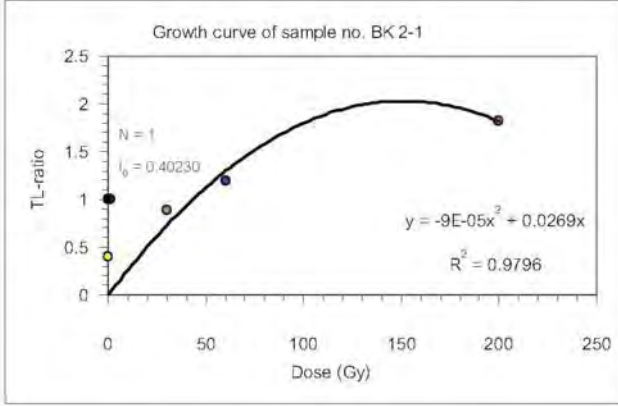
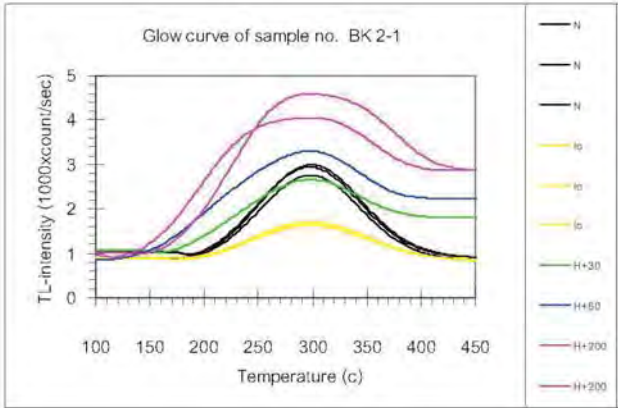
BK1-1



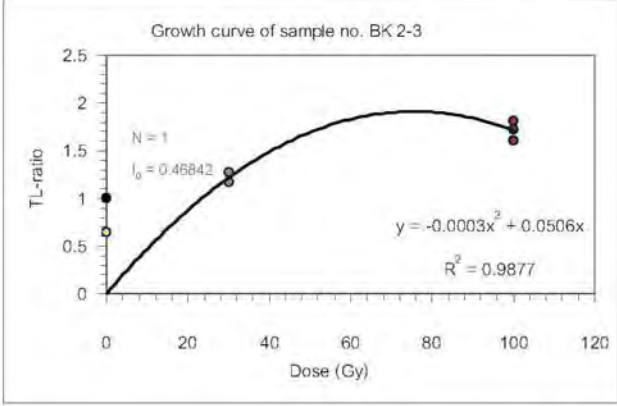
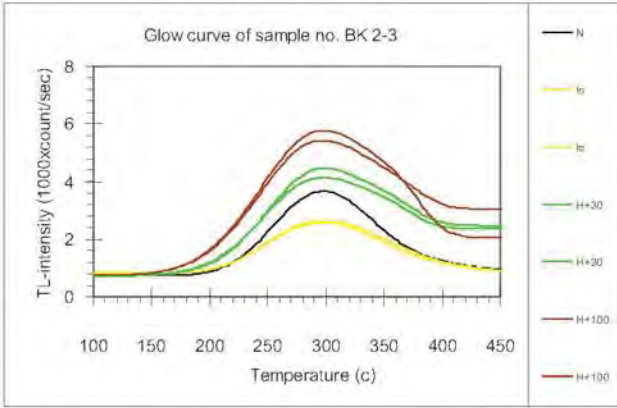
BK1-2



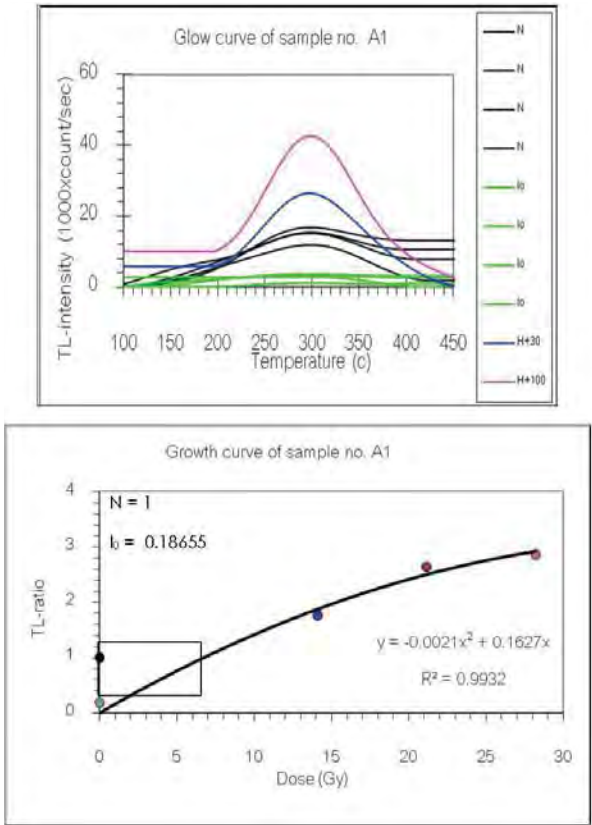
BK2-1



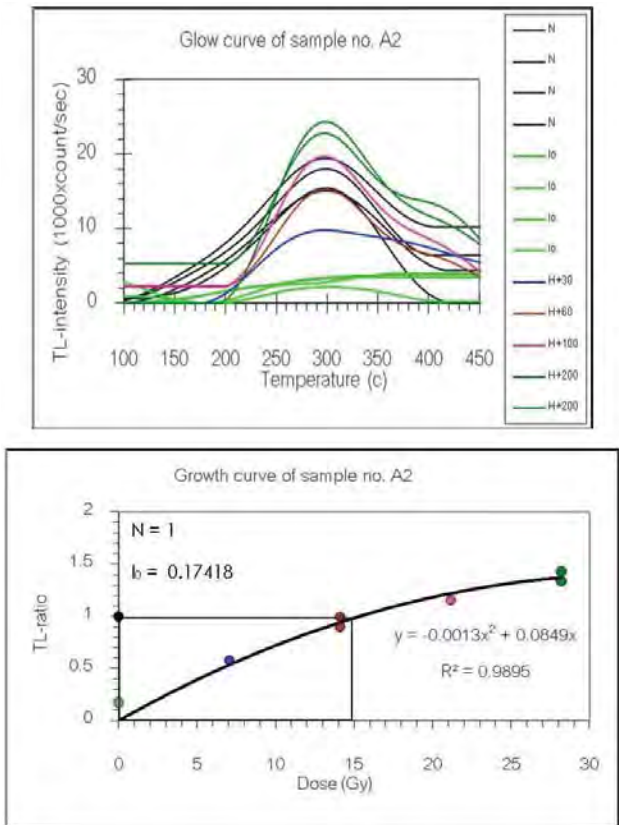
BK2-3



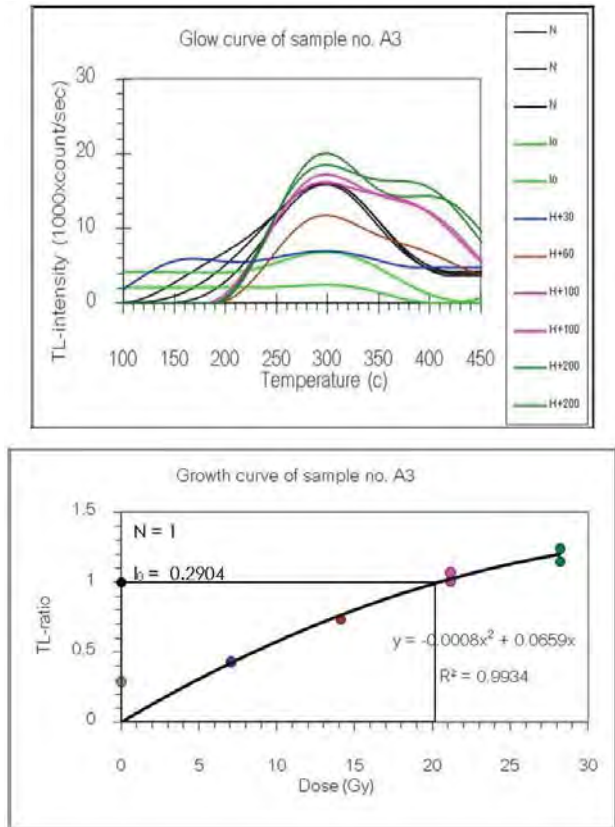
IS-1



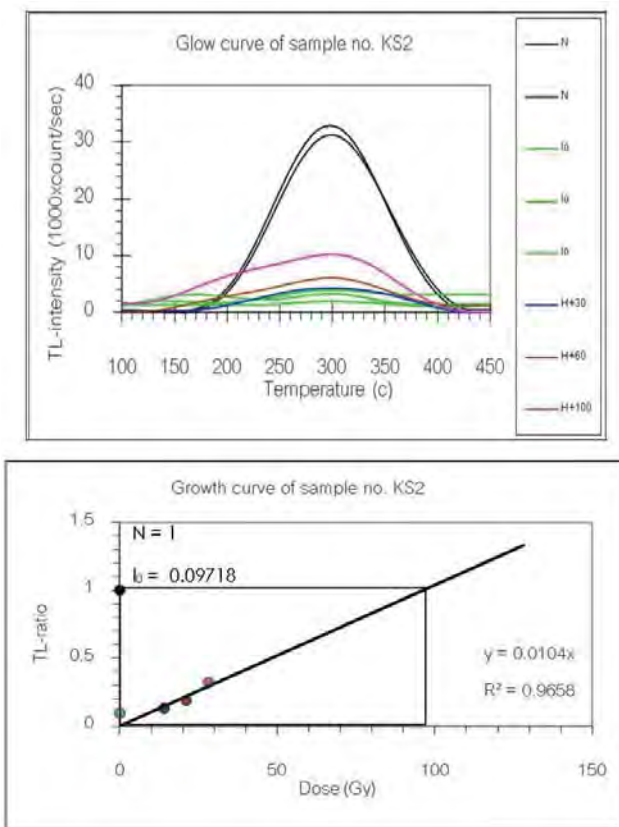
IS-2



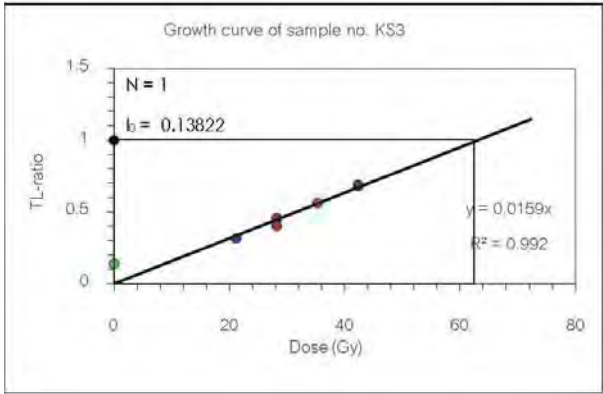
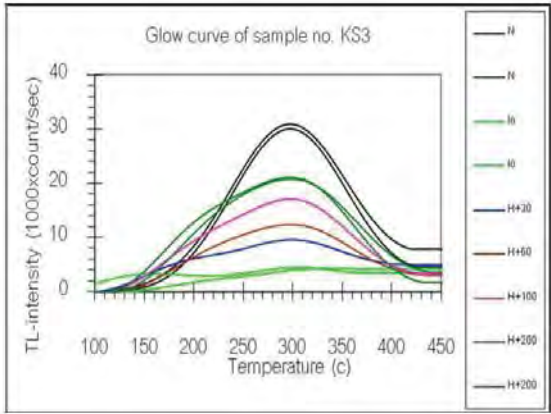
IS-3



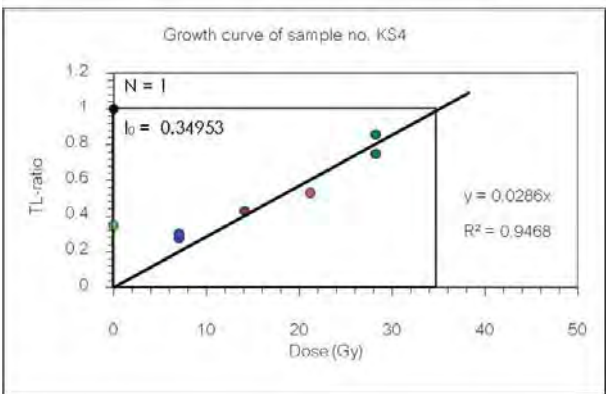
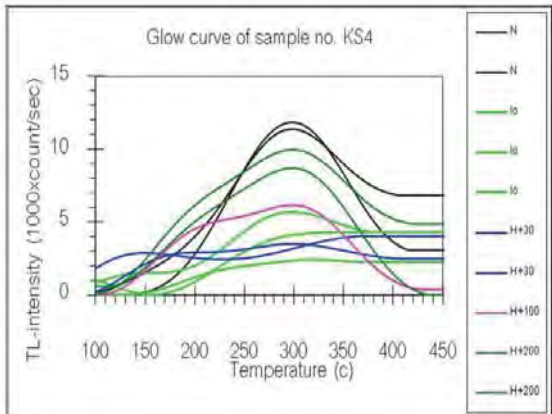
KS2



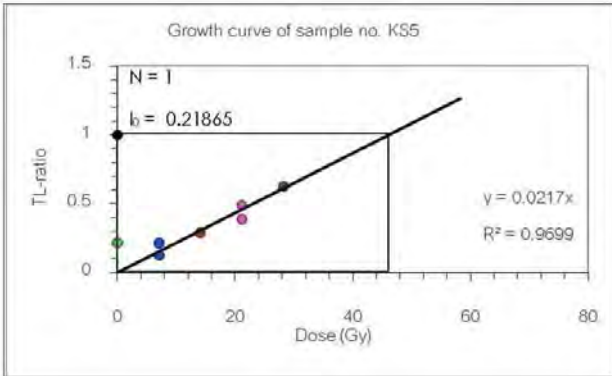
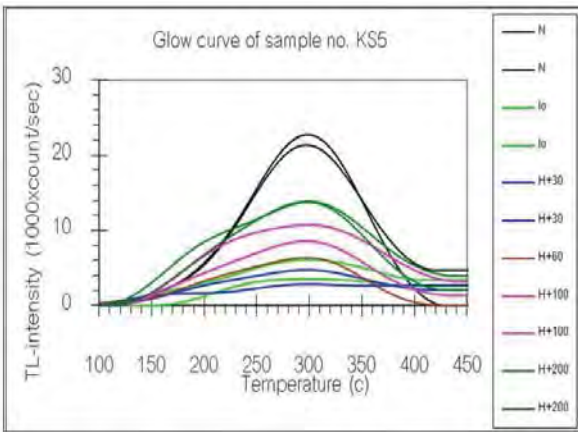
KS3



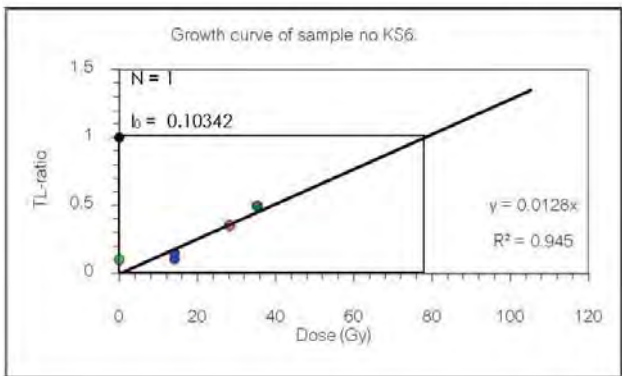
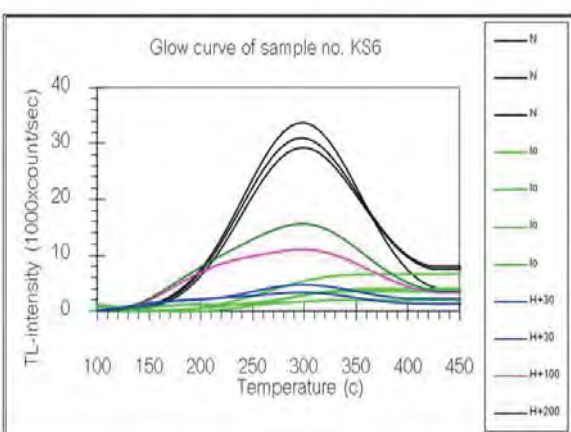
KS4



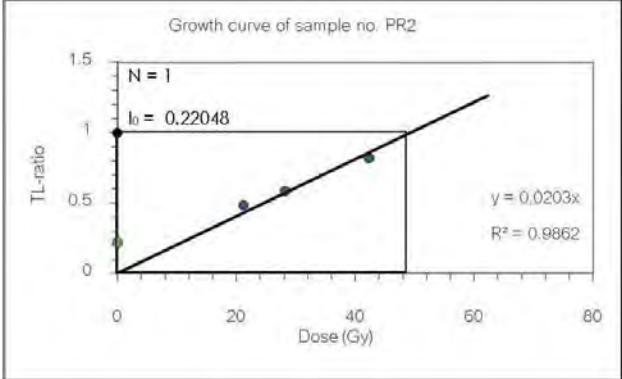
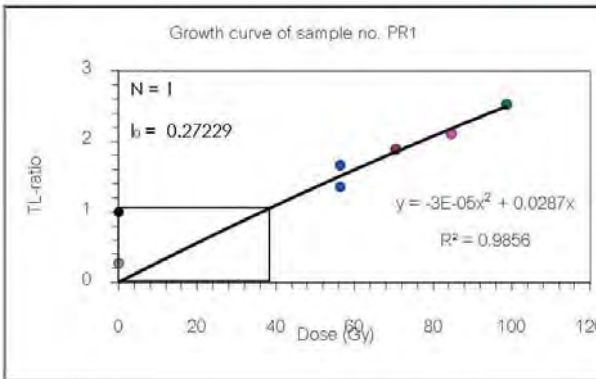
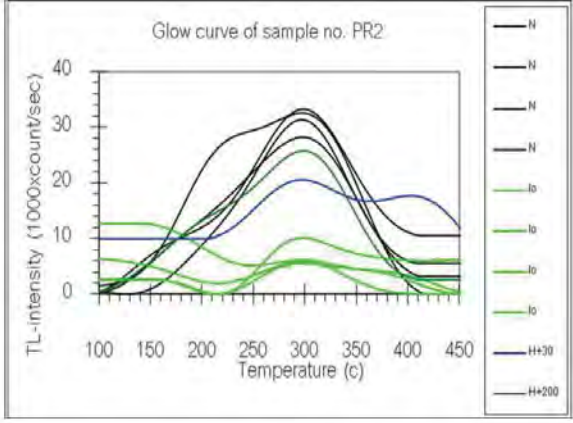
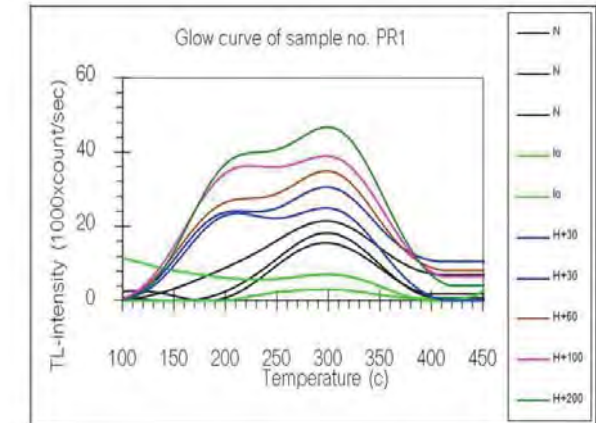
KS5



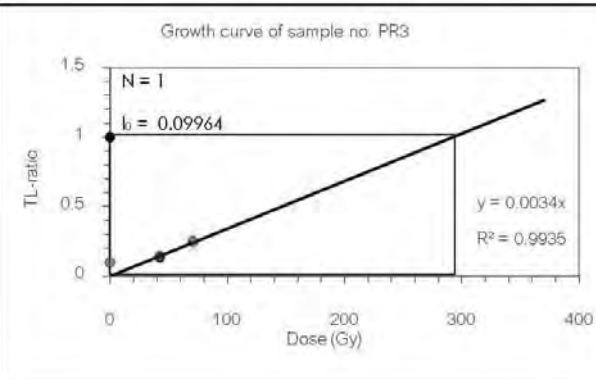
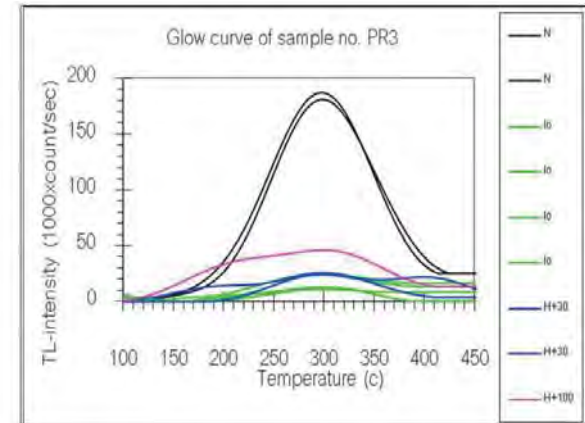
KS6



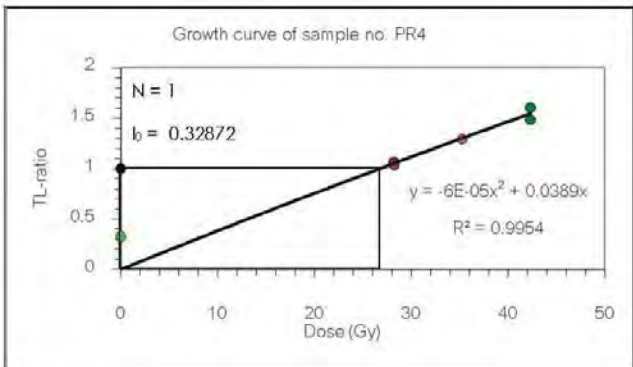
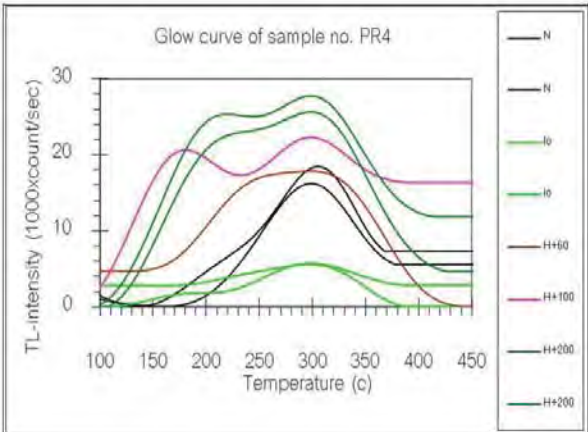
PR1



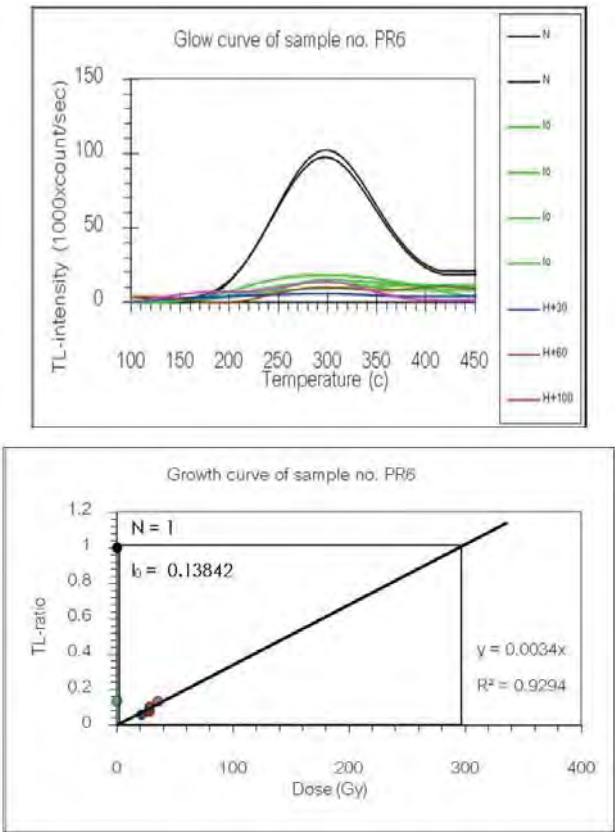
PR3



PR4



PR6



ภาคผนวก ค

ความเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิต่อร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการสำรวจรอยเลื่อนมีพลังพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

ข้อคิดเห็น

งานวิจัยชิ้นนี้มีปัญหาหลายประการ แต่ที่สำคัญที่สุดคือการไม่วิเคราะห์ Stress Regime หรือ Stress Environment ของรอยเลื่อนแต่ละระบบให้ชัดเจนก่อน

1. Stress Environment ที่สำคัญในภูมิภาคนี้ประกอบด้วยการแยกตัวของอ่าวไทยที่ราบลุ่มภาคกลาง และแอ่งภาคเหนือตะวันตก และภาคใต้ตามแนวเหนือใต้ซึ่งเริ่มมาตั้งแต่ต้นยุค Tertiary (ยังไม่มีข้อมูลว่าหยุดแล้วหรือไม่)
 แผ่นทวีปอินเดียชนแผ่นทวีปยูเรเชีย ทำให้เกิดภูเขาหิมาลัยตั้งแต่ยุค Miocene จนถึงปัจจุบันก็ยังดันอยู่
 การยกตัวของที่ราบสูงโคราช เข้าใจว่าอายุเดียวกับ basalt flow
 การแยกตัวของทะเลอันดามันในแนวตะวันออก ตะวันตก ทำให้เกิด Sakaing Fault และ Great Sumateran Fault
 การชนกันของ Indian Ocean Plate กับหมู่เกาะสุมาตรา ชวา ไปจนถึง Papua New Guinea
 การไม่วิเคราะห์ Stress Environment ทำให้ไม่รู้ว่า Fault ใดเกิดใน Stress Environment ไหน
 การนำรอยเลื่อนเจดีย์ 3 องค์ และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ไปเป็นสาขาของรอยเลื่อน Sakaing นั้นไม่มีหลักฐานที่พิสูจน์ได้ แผนกธรณีวิทยาของพม่าระบุว่ารอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ไม่เชื่อมต่อกับรอยเลื่อน Sakaing (ไทยอ่านว่าสะแกง พม่าอ่านว่าสะกาย เดิมเป็นชื่อเมืองที่ไทยเรียกว่า จักกาย) แต่รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ต่อกับรอยเลื่อนผาปูน (Papun) นอกจากนั้นทิศทางการเคลื่อนตัวก็ผิดกัน กล่าวคือถ้าหาก Stress Environment ทำให้อรอยเลื่อน Sakaing เป็น Dextral Fault รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และเจดีย์สามองค์จะต้องเป็น Sinistral Fault
 อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ควรจะเป็นการศึกษาการเคลื่อนที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Strike Slip)
2. การใช้ระบบ Remote Sensing จะทำให้ได้เห็นภาพใน 2 มิติ แต่จะไม่ได้รายละเอียดเหมือนการทำ field work ปัญหานี้ปรากฏชัดเมื่อมีการบรรยายลักษณะรอยเลื่อนต่างๆ ก่อนจะทำการขุดสำรวจ โดยเฉพาะการอ้างผาสามเหลี่ยม (Triangular Facets on Spur ends) เป็นเครื่องบ่งชี้ว่าเป็นรอยเลื่อนจริง แต่อาจลืมนึกว่าผาสามเหลี่ยมนั้น เกิดจาก Normal Fault ไม่ใช่หลักฐานของ Strike Slip Fault (ดูรายงานหน้า 43 ข้อ 2)
3. เมื่อถึงการขุดสำรวจและการเก็บตัวอย่างเพื่อหาอายุก็จะพบว่ารอยเลื่อนที่ขุดสำรวจทั้งหมดนั้นเป็น Normal Fault ไม่ใช่ Strike Slip Fault ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และศรีสวัสดิ์ (โปรดดูรูปที่ 4.61, 4.62, 4.63, 4.65, 4.66, 4.68, 4.69 ประกอบ) แม้จะใช้ GPR สำรวจก็บ่งถึงลักษณะของ Normal Fault ทั้งสิ้น

ปัญหาที่ตามมา คือ

1. ผลการวิจัยไม่ได้ตอบโจทย์ คือ ทำแผนที่แบ่งเขตแผ่นดินไหวและจำแนกขอบเขตพื้นที่ผลกระทบจากรอยเลื่อนมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และเจดีย์สามองค์
2. เมื่ออายุที่ได้คืออายุของ Normal Fault คำถามที่ตามมาคือ Normal Fault เหล่านี้สัมพันธ์กับ Stress Environment ไດ และยัง Active อยู่หรือไม่
3. มีข้อมูลจากการเดินระดับของกรมแผนที่ทหารพบว่าทางด้านตะวันตกของแม่น้ำนครชัยศรี แผ่นดินยกตัวสูงขึ้นประมาณ 2-4 เซนติเมตรต่อปี ติดต่อกันมาอย่างน้อยนับสิบปีแล้ว

วิธีแก้ปัญหา

1. ใช้เวลาทำการวิจัยให้มากขึ้นกว่านี้
2. ขอให้วิเคราะห์ Stress Environment ในภูมิภาคนี้ให้ชัดโดยศึกษา Focal mechanism ของ Faults และ/หรือ แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตให้มากที่สุด
3. พยายามแยก Stress Regime ระหว่าง σ_1 Vertical กับ σ_1 Horizontal ให้ชัดเจนและดูทิศทางของ principal stress ให้ชัด
4. กลับไปเก็บตัวอย่าง faulting ที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ให้ได้
5. เรื่องนี้ควรจะได้มีการอภิปรายกันให้ชัดเจนในหมู่นักวิจัยและผู้รู้ เพื่อกอบกู้ผลการวิจัยและเพื่อประโยชน์ของวิชาการและประเทศชาติ

ข้อคิดเห็นอื่นๆ

1. โครงการตั้งวัตถุประสงค์ไว้ครอบคลุมประเด็นปัญหาและพื้นที่ที่น่าสนใจมากแต่ไม่ได้ตอบคำถามอย่างครบถ้วน ควรมีข้อสรุปที่เกี่ยวข้องกับข้อความในหน้า 3 ย่อหน้าแรกให้ครบถ้วน
2. การจำแนกเขตพื้นที่ผลกระทบจากรอยเลื่อนมีพลังเน้นเฉพาะพื้นที่ใกล้เคียง แต่ไม่ได้เทียบเคียงผลกระทบที่เกิดขึ้นในอดีต ต่อพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญเช่นกรุงเทพมหานครกับที่เกิดเมื่อเมษายน 2526 (น.1/น.3/ น.219/น.221/น.230) ซึ่งประเด็นดังกล่าวเป็นประเด็นที่ประชาชนทั่วไปสนใจ

ที่ ป 31/2553



ภาควิชาธรณีวิทยา
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15 ธันวาคม 2553

เรื่อง ผลการพิจารณาร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ (ฝ่าย 3)

อ้างถึง หนังสือสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ นร 6803/0371/2553 ลงวันที่ 15 พฤศจิกายน 2553

ตามที่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ได้จัดส่งผลการพิจารณาร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ จากความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ โดยให้คณะผู้วิจัยส่งข้อคิดเห็นและชี้แจงกลับต่อ ประเด็นข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ นั้น

คณะผู้วิจัย ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงต่อข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะต่อ คณะผู้วิจัย โครงการ"การสำรวจรอยเลื่อนมีพลังพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี" คณะผู้วิจัยใคร่ขอชี้แจงดังนี้

1. การศึกษา Strees Enviroment ในภูมิภาคนี้ มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกของภูมิภาคนี้ จากการศึกษาของ Tapponnier และคณะ (1986) Hall (2002) และ Morley และ คณะ (2004) หรือคณะนักวิจัยหลายๆ ท่าน ได้ยืนยันว่ารอยเลื่อนสะกาย มีการเลื่อนตัวแนวระนาบแบบเหลื่อมขวา และรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ไม่ใช่รอยเลื่อนที่ต่อจากรอยเลื่อนผาปูนจากพม่า แต่อย่างใด และมีทิศทางการเลื่อนแบบเหลื่อมขวา คณะผู้วิจัยจะได้เพิ่มรายละเอียดให้สมบูรณ์ตามคำแนะนำใน รายงานฉบับสมบูรณ์ต่อไป

2. การใช้ระบบ Remote Sensing ทำให้ได้ภาพ 2 มิติจริง ซึ่งช่วยในการวางแผนการสำรวจภาคสนาม รวมทั้งการระบุถึงทิศทางการเลื่อนตัวแนวระนาบ โดยเฉพาะการหักงอของทางน้ำที่เกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน โดยส่วนใหญ่แล้ว รอยเลื่อนที่พบเป็นแบบ Oblique ที่มีการเลื่อนตัวแนวระนาบแบบเหลื่อมขวาผสมผสานกับการเลื่อนตัวในแนวตั้งแบบปกติ ซึ่งผลที่ได้ในการชุดร่องสำรวจแสดงหลักฐานเฉพาะ การเลื่อนตัวในแนวตั้ง ในส่วนนี้คณะผู้วิจัย จะได้อธิบายถึงเอกลักษณ์ที่แท้จริงของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ให้ชัดเจนในรายงานฉบับสมบูรณ์ต่อไป

3. สำหรับผลการหาอายุที่ได้จากตัวอย่างในร่องสำรวจนั้น เป็นอายุการเลื่อนตัวครั้งล่าสุดที่พบในการเลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ของการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น โดยในพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก คณะผู้วิจัยจะได้ดำเนินการชุดร่องสำรวจ รวมทั้งเก็บผงรอยเลื่อน (Fault gouge) ในพื้นที่ที่มีการตัดถนนใหม่ๆ ที่ผ่านแนวรอยเลื่อนส่วนต่างๆ (fault segment) เพื่อจัดทำแผนที่

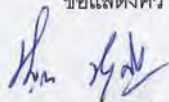
D:\Teerarat\TRFPhase2\หนังสือตอบ สกว..doc

แบ่งเขตแผ่นดินไหวและการจำแนกพื้นที่ผลกระทบจากรอยเลื่อนมีพลังให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นไป ในโอกาสต่อไป

4. ข้อมูลการเดินระดับของกรมแผนที่ทหารที่พบว่าทางด้านตะวันตกของแม่น้ำนครชัยศรี แผ่นดินมีการยกตัวสูงขึ้นประมาณ 2-4 เซนติเมตรต่อปีนั้น คณะผู้วิจัย ได้ติดตามพฤติกรรมรวมทั้งแปลความหมายจากข้อมูลธรณีฟิสิกส์จากกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติแล้ว พบว่ารอยเลื่อนนี้วางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ขนานไปกับแม่น้ำนครชัยศรี ตั้งแต่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม ถึงสมุทรสาคร ทั้งนี้คณะผู้วิจัยจะได้รายงานเสริมในส่วนของการรายงานฉบับสมบูรณ์ด้วย

ในการนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อให้รายงานฉบับนี้เกิดความสมบูรณ์และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ขอแสดงความนับถือ



(รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

โทร. 0 2218 5456

โทรสาร. 0 2218 5456

D:\Teerati\TRFPhase2\หนังสือตอบ สกน..doc