

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 รวบรวม ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเขื่อนดิน

3.1.2 สร้างและทดสอบกระบวนการวิเคราะห์เขื่อนดิน กรณีศึกษาศาสตร์ และพลศาสตร์ จากโปรแกรม PLAXIS

3.1.3 ใช้กระบวนการวิเคราะห์ที่สร้างขึ้นวิเคราะห์เขื่อนดิน เพื่อตรวจสอบประเมิน สมมุติฐาน ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบและคู่มือการออกแบบ

3.1.4 สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.2 ลักษณะเขื่อนที่ศึกษา

เขื่อนแม่ทะลบลหวง ตั้งอยู่ที่ตำบลแม่ทะลบล อ.ไชยปราการ จ.เชียงใหม่ อยู่ที่เส้นรุ้งที่ $19^{\circ}-42'-40''$ เหนือ และเส้นแวงที่ $99^{\circ}-12'-50''$ ตะวันออก เป็นเขื่อนดินถมประเภทแบ่งส่วน (Zoned Dam) ประกอบด้วยดิน 4 ส่วน คือ (1) ส่วนแกนดินเหนียวกลางเขื่อน (Core Zone) เป็นบริเวณน้ำไหลผ่านยาก (Impervious Zone) ใช้ดินถมบดอัดไม่น้อยกว่า 98% SPCT. (2) ส่วนชั้นกรวดทรายกรองเอียง (Chimney Drain) เป็นบริเวณระบายน้ำ (Filter Zone) ใช้กรวดปนทรายถมบดอัดแน่น (3) ส่วนมวลคละ (Random Zone) เป็นบริเวณน้ำไหลผ่านได้ (Previous Zone) ใช้ดินถมบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 95% SPCT. (4) ส่วนดินเขื่อน เป็นชั้นหินกรวดด้านท้ายเขื่อน (Rockfill Toe) เป็นจุดบรรจบของลำห้วย จำนวน 3 สาย ได้แก่ ห้วยแม่ทะลบล ห้วยโป่งจ๊อก และห้วยโยผา ดังแสดงในรูป 3.1 เริ่มก่อสร้างปี พ.ศ. 2544 แล้วเสร็จตามสัญญาปี พ.ศ. 2553 (5) ลักษณะทางกายภาพคุณสมบัติดินบริเวณต่างๆ รูปตัดใหญ่สุด และรูปตัดแนวก่อสร้างเขื่อน ดังแสดงตาราง 3.1 - 3.2 และรูป 3.2 - 3.3

ตาราง 3.1 ลักษณะทางกายภาพของเขื่อนแม่ทะลบลวง

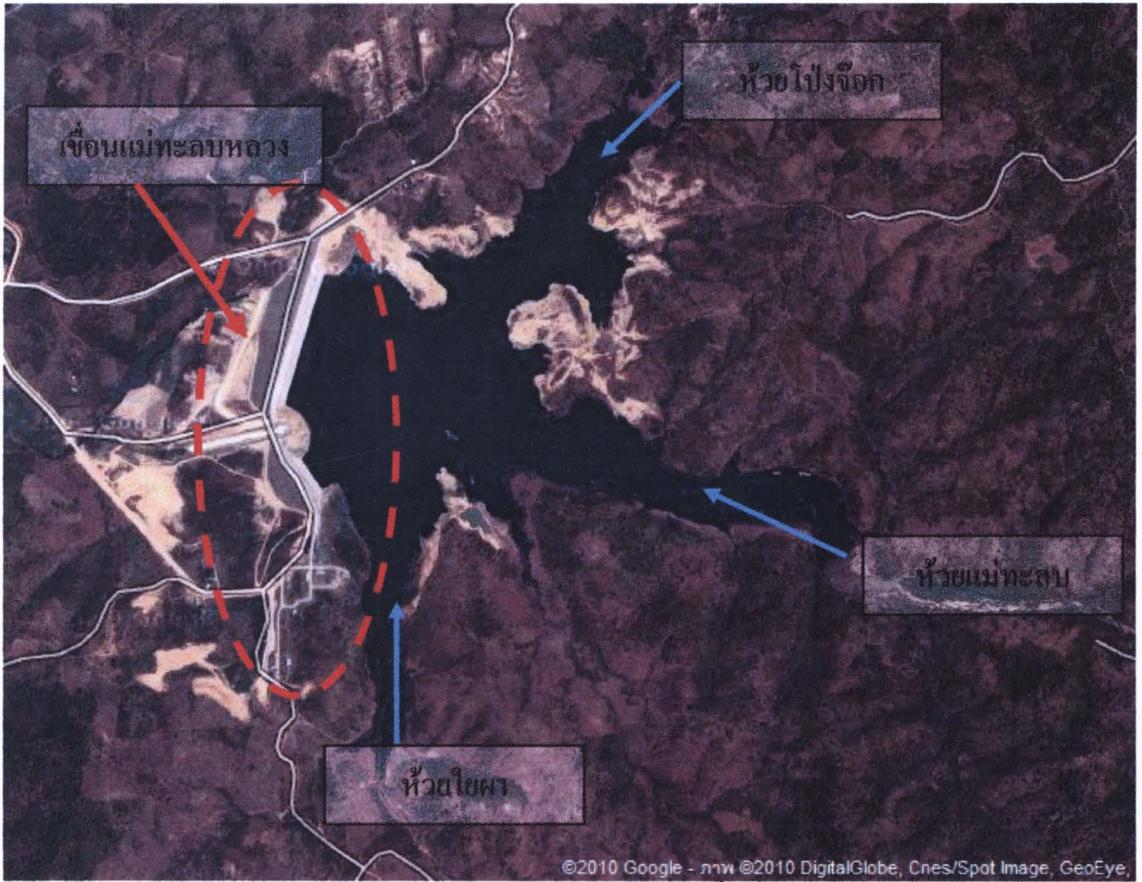
เขื่อนดินประเภท	เขื่อนดินแบ่งส่วน		
ระยะเวลาที่ก่อสร้าง	2544 - 2553	ความยาวสันเขื่อน	630 ม.
ระดับสันเขื่อน	+573.75 ม. รทก.	ความสูงของเขื่อน	34.35 ม.
ระดับน้ำสูงสุด	+571.70 ม. รทก.	ความกว้างสันเขื่อน	9.00 ม.
ระดับกักเก็บกักน้ำปกติ	+570.50 ม. รทก.	ปริมาณดินที่ใช้ทั้งหมด	988,015 ลบ.ม.
ระดับกักเก็บน้ำต่ำสุด	+547.50 ม. รทก.	ระยะพื้นน้ำ	2.05 ม.
ปริมาณกักเก็บน้ำสูงสุด	17.00 ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณกักเก็บน้ำปกติ	15.30 ล้าน ลบ.ม.

ตาราง 3.2 คุณสมบัติของดินที่บริเวณต่างๆ

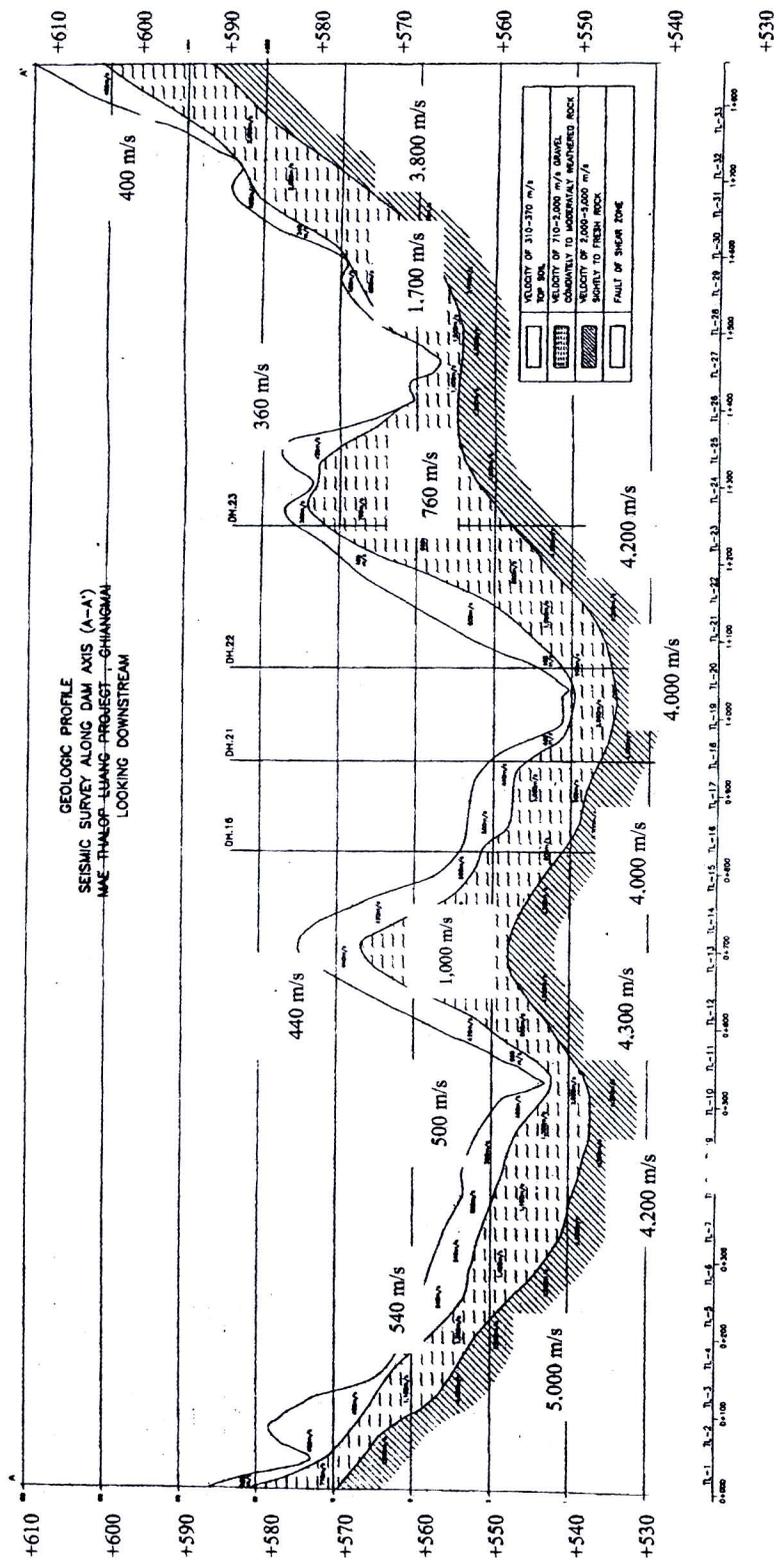
Materials	γ_{sat} (kN/m ³)	E (MPa)	c (kPa)	ϕ (degree)	ψ (degree)	$k_x = k_y \times 10^{-8}$ (m/s)
Rockfill	21.50	140	0	38	8	0.3
Clay Core	20.20	135	14.17	23	0	0.08
Random	21.19	145	24.52	28	0	0.8
Filter	21.78	130	0	35	5	15

โดยที่ γ_{sat} = saturate unit weight, E = Young's modulus, c = cohesive,

ϕ = friction angle, ψ = angle of dilation, k = Permeability



รูป 3.1 ภาพถ่ายทางอากาศโครงการอ่างเก็บน้ำแม่ทะลบลาง



STA. ผลสำรวจธรณีฟิสิกซ์

รูป 3.3 ผลการสำรวจธรณีฟิสิกซ์ด้วยวิธีความเร่งคลื่นไหวสะเทือนตามแนวเขื่อนหลัก
ที่มา: แบบก่อสร้างโครงการอ่างเก็บน้ำแม่ทะลบทลวง กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยชั้นนี้ศึกษาเฉพาะตัวเขื่อนดินไม่รวมฐานราก และอาคารประกอบ ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ 2 มิติ จากโปรแกรม PLAXIS ใช้อิทธิพลสามเหลี่ยม 15 โหนด และ 12 จุดความเค้น ดังแสดงในรูป 3.4 แบบจำลองเขื่อนในการวิเคราะห์ 2 แบบดังแสดงรูป 3.5 คือ

(1) Gravity turn-on Model เป็นแบบจำลองที่จำลองให้ ตัววัสดุเขื่อนเป็นชั้นเดียวกัน (ONELAYER) ทันทีและคุณสมบัติของดินระบุตามส่วนต่างๆ จากการศึกษาของ Kulhawy, et al (1969) และ Duncan (1996) พบว่าผลจากการคำนวณจะแสดงให้เห็น ว่าการทรุดตัวสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวบนของเขื่อน และการเคลื่อนตัวในแนวราบจะเกิดที่บริเวณลาดชันหลังเขื่อน ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับการพิจารณาพฤติกรรมเขื่อนอย่างง่ายในระยะสั้น (Short term) มีความถูกต้องน้อยและแตกต่างจากพฤติกรรมจริงของเขื่อน

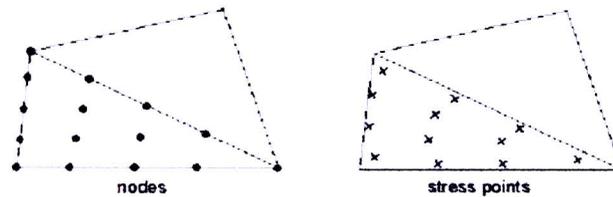
(2) Incremental Model เป็น แบบจำลองที่จำลองให้ตัววัสดุเขื่อนเป็นชั้นๆติดต่อกัน (MULTILAYER) และมีการถ่ายน้ำหนักบรรทุกตัวเองในแต่ละชั้นต่อเนื่องกันไป เหมือนวิธีก่อสร้างที่ใช้ดินถมบดอัดเป็นชั้นๆ แบบจำลองที่ใช้ศึกษาให้แต่ละชั้นมีความหนา 2.00 ม. รวมทั้งหมด 18 ชั้น มีคุณสมบัติของดินแต่ละส่วนเหมือนกันไม่ขึ้นกับระดับชั้นดิน จากการศึกษาของ Kulhawy, et al (1969) และ Duncan (1996) พบว่าการพิจารณาแบบจำลองคล้ายกับขั้นตอนการก่อสร้าง โดยมีน้ำหนักบดอัดเพิ่มขึ้นมานั้นเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของเขื่อนทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้

แบบจำลองในการวิเคราะห์ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตัวเขื่อนพิจารณาจากตาราง 2.2 ประกอบกับผลจากการศึกษาของ Griffiths and Lane (1997) ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินเท่ากับ 100 MPa โดยที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนั้นมีผลกับการคำนวณระยะการเคลื่อนตัวแต่ไม่มีผลต่อการคำนวณอัตราส่วนความปลอดภัย Ziaie M. and Ramzanpour M.F. (2008) ศึกษาผลของแรงแผ่นดินไหวที่มีต่อแกนดินเหนียวของเขื่อน ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแกนกลางเขื่อน 60 MPa ชั้นกรองน้ำ 80 MPa และบริเวณมวลกละ 100 MPa และ Morteza J. S., et al (2010) ศึกษาผลของแรงแผ่นดินไหวที่มีต่อเขื่อนดินประเทศอิหร่านโดยพิจารณาดินชั้นฐานราก ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวเขื่อนเท่ากับ 214.6 MPa ส่วนฐานราก เท่ากับ 267 MPa ดังนั้นจึงใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินบริเวณต่างๆ ในเขื่อนดังแสดงตาราง 3.2 ส่วนค่าการไหลซึมนำมาจากตาราง 2.3 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของดินประเภทต่างๆ

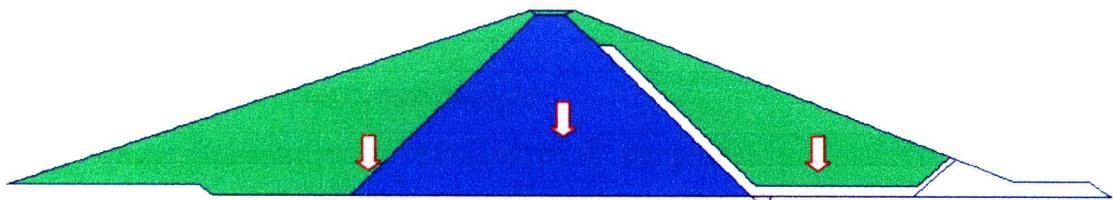
กำหนดให้ขอบเขตฐานเขื่อน (Boundary Condition) มีสภาพยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนตัวทั้งแนวราบ และแนวตั้ง ($U_x = U_y = 0$) วางฐานรากบนชั้นหินแข็ง ในแบบจำลองทั้งสองแบบ ดังแสดงรูป 3.6 ทั้งนี้อ้างอิงจากผลการสำรวจชั้นดิน Seismic Survey ของโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ

แม่ทะลบลวง ที่ฐานเขื่อนเป็นชั้นหินแข็งมีความเร็วคลื่นเฉือนสำรวจประมาณ 5,000 m/s มีค่าอีลาสติคโมดูลัสเท่ากับ 1.486×10^5 MPA ส่วนดินที่ใช้ทำเป็นวัสดุเขื่อน มีค่าอีลาสติคโมดูลัสเท่ากับ 135 MPA จากการศึกษาผลของแผ่นดินไหวต่อเขื่อน Koyna โดย Chopra and Chakrabarti (1971) ตำแหน่งที่เขื่อนตั้งอยู่บนชั้นหิน หากค่าอีลาสติคชั้นฐานเขื่อนมีค่ามากกว่าค่าอีลาสติควัสดุดินเขื่อนเกิน 50 เท่า การวิเคราะห์สามารถที่จะพิจารณาขอบเขตของฐานรากเขื่อนเป็นสภาพยึดแน่นได้

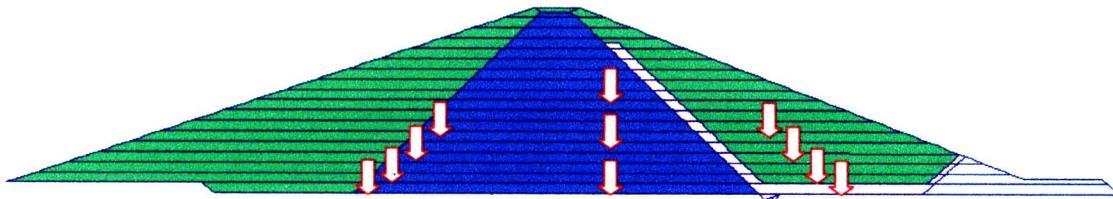
สำหรับระดับน้ำในเขื่อนนั้นพิจารณาวิเคราะห์ในขณะที่มีระดับน้ำสูงสุดในตัวเขื่อน โดยที่พฤติกรรมของน้ำหน้าเขื่อนเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยกำหนดแรงดันน้ำ เป็น แรงดันน้ำสถิตย์ (Hydrostatic Pressure) ทั้งการวิเคราะห์แบบ กรณีสถิตยศาสตร์ และพลศาสตร์



รูป 3.4 อิลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ใช้ในการวิเคราะห์ 15-Node และ 12 Stress Points
:ที่มา Brinkgreve and Vermeer (1998)

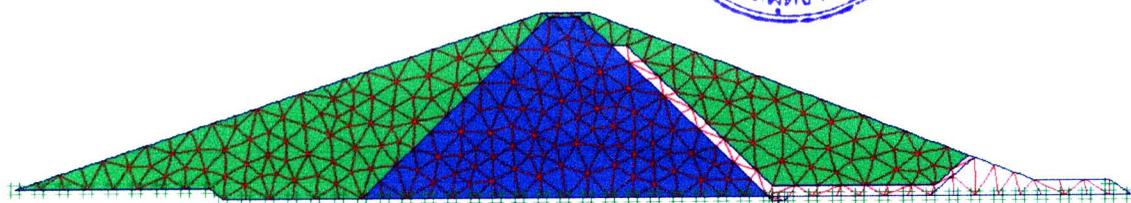


(ก) แบบจำลองตัวเขื่อนแม่ทะลบลวง Gravity turn-on Model

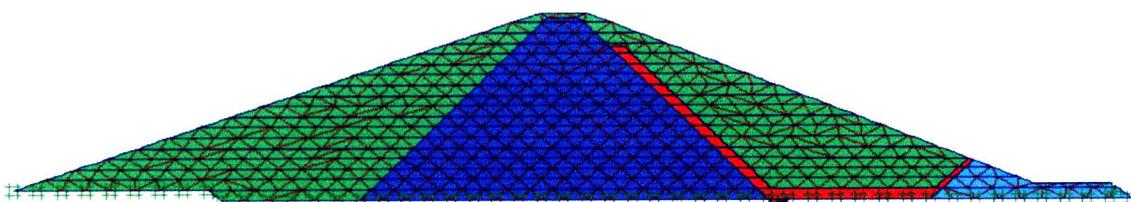


(ข) แบบจำลองตัวเขื่อนแม่ทะลบลวง Incremental Model

รูป 3.5 แบบจำลองเขื่อนแม่ทะลบลวง



(ก) แบบจำลอง FEM Gravity turn-on Model ตัวเขื่อนแม่ทะลบลวง 475 elements, 4007 nodes



(ข) แบบจำลอง FEM Incremental Model ตัวเขื่อนแม่ทะลบลวง 903 elements, 7411 nodes

รูป 3.6 แบบจำลองไฟไนต์อิเลเมนต์เขื่อนแม่ทะลบลวง

3.4 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้แบ่งทำการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

3.4.1 การวิเคราะห์แบบสถิตยศาสตร์ (Static Analysis)

แรงที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับแรงตามแนวโน้มถ่วง ได้แก่ น้ำหนักของเขื่อนดิน และแรงค้ำน้ำสถิตย์ โดยทำการสร้างแบบจำลองของเขื่อนเป็น Gravity turn-on Model และ Incremental Model

3.4.2 การวิเคราะห์โหมด (Modal Analysis)

เป็นการศึกษาเพื่อคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติ และรูปร่างการเคลื่อนตัวของเขื่อน ที่ใช้ในการวิเคราะห์เขื่อนภายใต้แรงพลศาสตร์ โดยทำการสร้างแบบจำลองของเขื่อนเป็น Gravity turn-on จากขอบเขตการศึกษาตัวเขื่อนเป็นลักษณะระยะสั้น (Short term)

3.4.3 การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

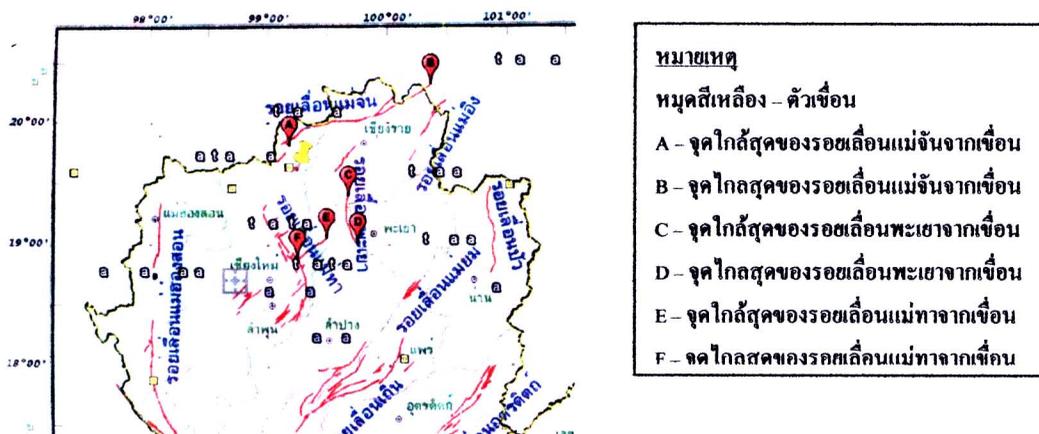
เป็นการวิเคราะห์ต่อจากขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์แรงกระทำแบบสถิตยศาสตร์ข้างต้น โดยใส่คลื่นแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งจากแผ่นดินไหว เข้าที่บริเวณฐานเขื่อน ไม่พิจารณาแรงกระทำจากน้ำหน้าเขื่อนขณะเกิดแผ่นดินไหว โดยสร้างแบบจำลองของเขื่อนเป็น Gravity turn-on Model และ Incremental Model สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น จะอาศัยข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต และเปรียบเทียบให้มีสภาพใกล้เคียงกับแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นในประเทศไทยในอนาคต โดยมีแนวทางพิจารณาดังนี้

(1) ขนาดของแผ่นดินไหว ตามบันทึกแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้น ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยสามารถนำมาคาดคะเนขนาดของแผ่นดินไหวที่จะเกิดมีค่าประมาณ 3.0 – 6.0 ริคเตอร์ ค่าอัตราเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในรอบ 2,475 ปี บริเวณที่ตั้งเขื่อนดังรูป 3.9 ได้ค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (PGA) $\sim 0.32g$ บริเวณที่ตั้งเขื่อน

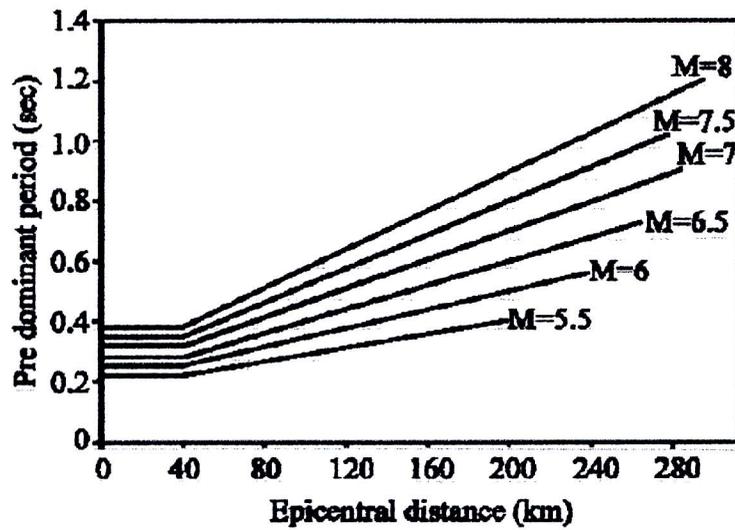
(2) ระยะห่างจากตัวเขื่อน จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าแนวรอยเลื่อนในพื้นที่เขื่อนแม่ทะลบลวงอยู่ระหว่างรอยเลื่อน 3 รอยเลื่อน ได้แก่ รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่ทา และรอยเลื่อนพะเยา ระยะห่างจากบริเวณรอยเลื่อนถึงเขื่อนประมาณ 20 – 150 km อย่างไรก็ตามรอยเลื่อนที่อยู่ในระยะใกล้กับเขื่อน

(3) ลักษณะของดินบริเวณเขื่อนเป็นชั้นหินแข็งมีความเร็วประมาณ 360 – 750 m/s ค่าแสดงในรูป 3.10

จากการพิจารณาปัจจัยดังกล่าว รวมทั้งพิจารณาลักษณะแผ่นดินไหวในรูปแบบคุณลักษณะต่างๆ จะได้แรงแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ 3 แบบ คือ แผ่นดินไหวที่มีระยะเวลาสั่นสะเทือนยาวนาน (Long Duration) แผ่นดินไหวที่มีระยะเวลาสั่นสะเทือนสั้น (Short Duration) และแผ่นดินไหวที่มีลักษณะเป็นแรงกระแทกฉับพลัน (Impulse Load) โดยกำหนดให้เป็นแผ่นดินไหว EQ1 EQ2 และ EQ3 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3.3 ค่า Pre dominant period สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหว และระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวดังแสดงรูป 3.8 ค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (PGA) ดังแสดงในรูป 3.11 ข้อมูลแต่ละข้อมูลมีระยะห่างอยู่ในเกณฑ์ 20 – 50 km และลักษณะของดินบริเวณจุดวัดเป็นชั้นหินแข็งมีความเร็วประมาณ 360 – 750 m/s บริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งเขื่อน สามารถสรุปการวิเคราะห์ ดังแสดงตาราง 3.4



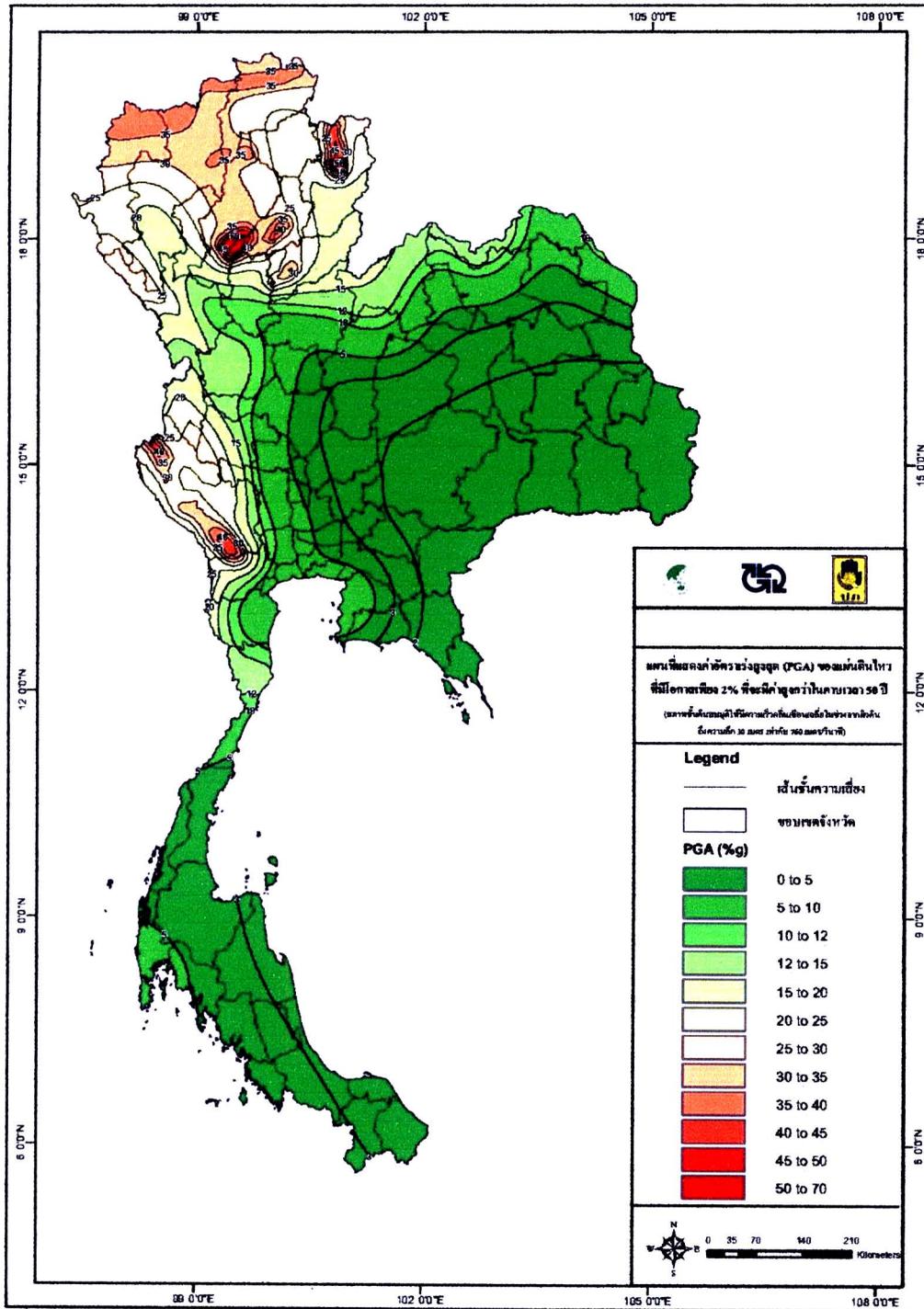
รูป 3.7 ที่ตั้งของเขื่อนแม่ทะลบลวง และรอยเลื่อนที่มีในภาคเหนือ



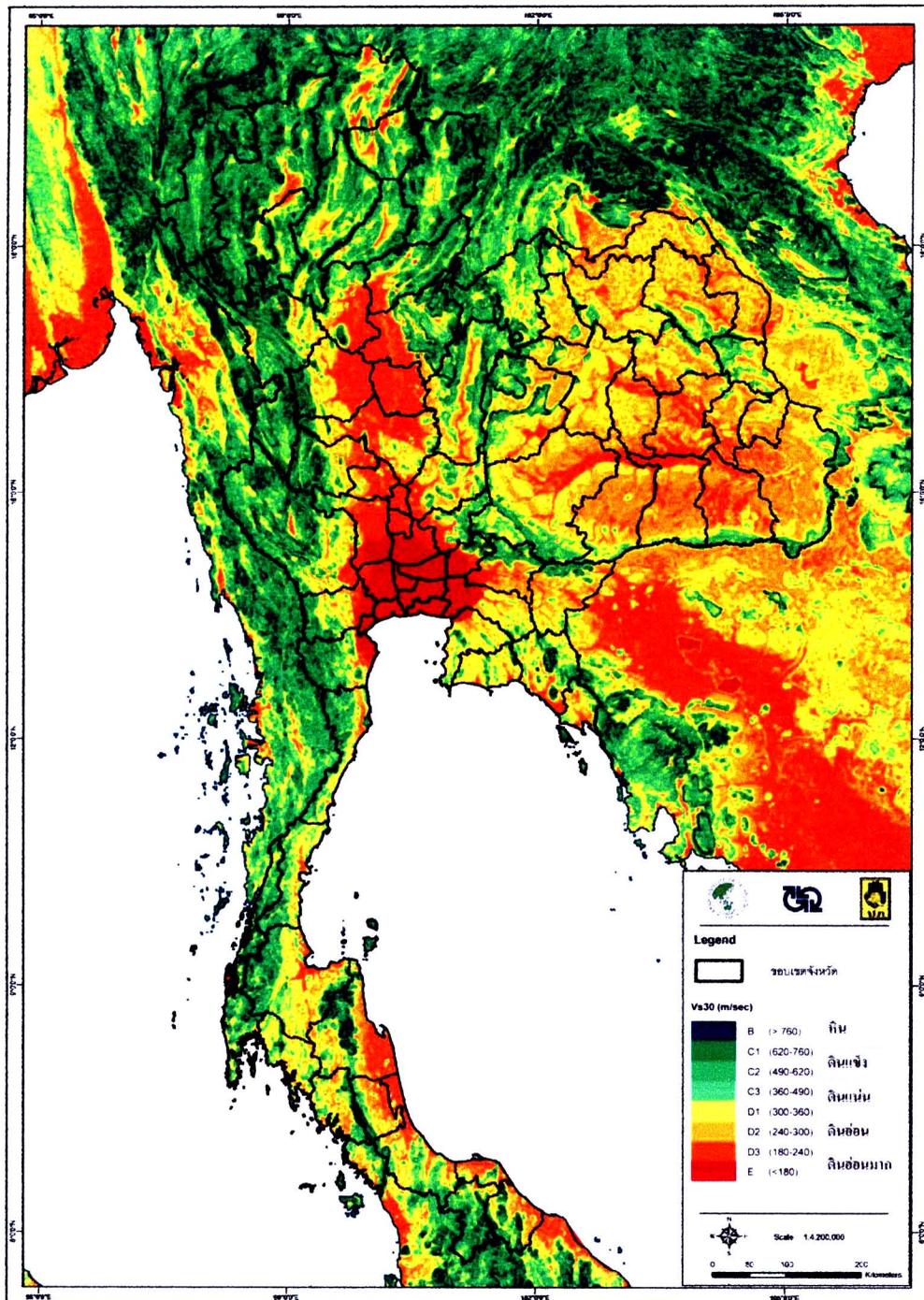
รูป 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pre dominant period กับ ระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว
ที่มา: Haley and Huni (1974)

ตาราง 3.3 แผ่นดินไหวที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์

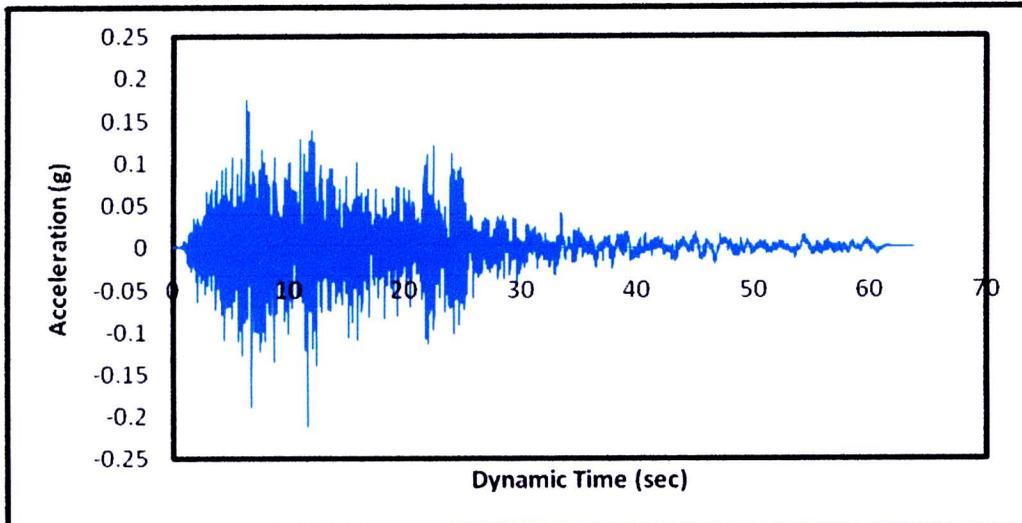
แผ่นดินไหว (ลักษณะดินบริเวณสถานี วัดแผ่นดินไหว)	ปีที่เกิด (A.C.)	PGA (g)	ระยะเวลา (sec)	ขนาด (M)	ระยะห่างจากจุด กำเนิด (km)	Pre dominant Period (sec)	ลักษณะของ แผ่นดินไหว
EQ1:Imperial Valley (Rock Site)	1979	0.212g	63	6.53	26.50	0.321	ระยะเวลา สั้น สะท้อน ยาวนาน
EQ2:Victoria Mexico (Rock Site)	1980	0.302g	24	6.33	34.80	0.301	ระยะเวลา สั้น สะท้อนสั้น
EQ3:Northridge (Stiff Soil Site)	1994	0.493g	40	6.69	34.60	0.332	แรง กระแทก ฉับพลัน



รูป 3.9 แผนที่ค่าอัตราเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในรอบ 2,475 ปี
ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2553)

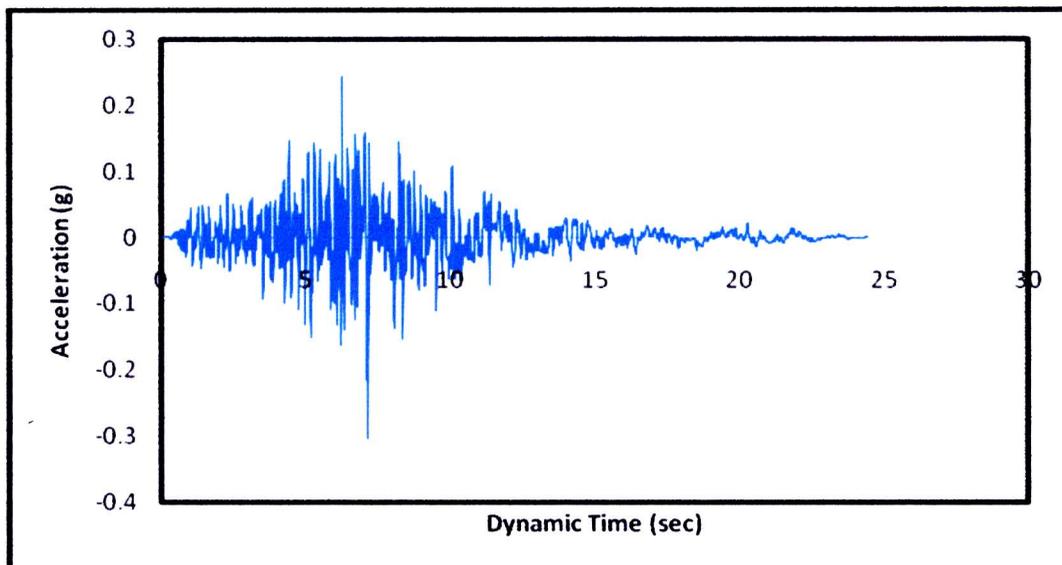


รูป 3.10 แผนที่ประเภทของดินในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ข้อมูล SRTM 30 โดยปรับปรุงข้อมูลประเภทดินในเขตกรุงเทพและปริมณฑลตามข้อมูลหลุมเจาะ
ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2553)



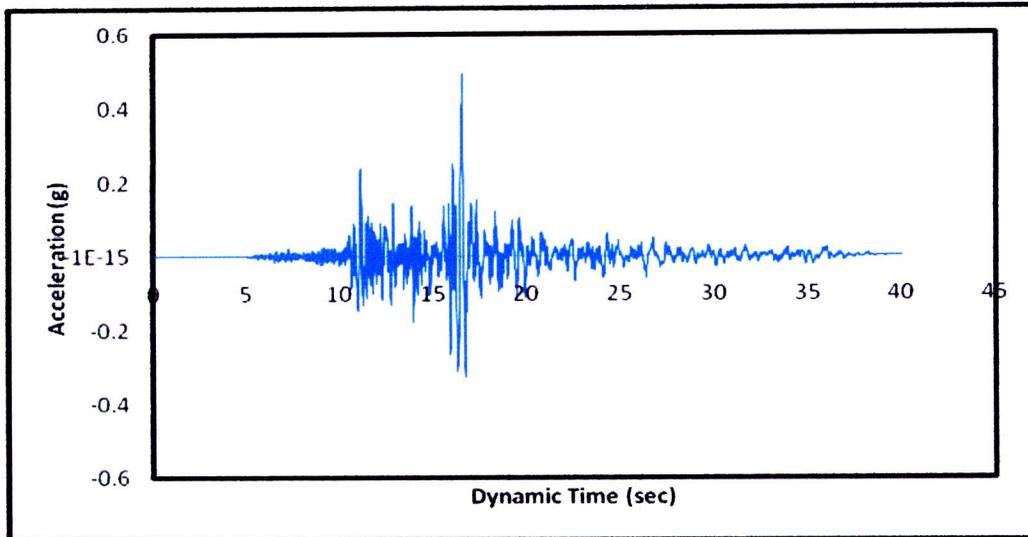
(ก) แผ่นดินไหวที่ 1 (EQ1) Imperial Valley 1979 PGA = 0.212g

ระยะห่างจากจุดกำเนิด 26.50 km $f = 3.12$ Hz



(ข) แผ่นดินไหวที่ 2 (EQ2) Victoria Mexico 1980 PGA = 0.302g

ระยะห่างจากจุดกำเนิด 34.80 km $f = 3.32$ Hz



(ค) แผ่นดินไหวที่ 3 (EQ3) Northridge 1994 PGA = 0.493g

ระยะห่างจากจุดกำเนิด 34.60 km $f = 3.01$ Hz

รูป 3.11 แรงแผ่นดินไหวที่นำมาใช้วิเคราะห์

ตาราง 3.4 สรุปกรณีการวิเคราะห์เขื่อนแม่ทะลบล่วง

ขั้นตอน	กรณีแรงวิเคราะห์	ลักษณะการวิเคราะห์	ลักษณะแบบจำลอง	โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์	ผลที่ได้
1	น้ำหนักตัวเขื่อนและแรงดันน้ำ	สถิตยศาสตร์	Gravity turn-on และ Incremental	PLAXIS	พฤติกรรมภายใต้แรงสถิตย์
2	ไม่มี	โมดอล	Gravity turn-on	FEM*	คาบเวลาและรูปแบบ การเคลื่อนตัวและค่าการหน่วง
3	แรงแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์	พลศาสตร์ตามประวัติเวลา (Time history Analysis)	Gravity turn-on และ Incremental	PLAXIS	พฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ภายใต้แรงแผ่นดินไหว

*NOTE – FEM = General Finite Element Program