บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทั้ง 2 กรณี ค่าระยะการเคลื่อนตัว ความเร่ง ความเค้นหลักประสิทธิผล ค่าร้อยละความเครียดเฉือน จากการใช้แบบจำลอง Gravity turn-on มีค่ามากกว่าแบบจำลอง Incremental และอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าเช่นกัน และเนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมของเขื่อนที่มีน้ำกักเก็บเต็มเป็นครั้งแรก ซึ่งเป็นการศึกษาในระยะสั้น (Short term) การสรุปที่กล่าวในต่อไปนี้ จะอาศัยผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง Gravity turn-on

5.1 กรณีภายใต้แรงสถิตยศาสตร์

เมื่อพิจารณาระยะการเคลื่อนตัวของเขื่อน พบว่าการทรุดตัวของเขื่อนเกิดมากที่สุดบริเวณสันเขื่อนมีค่าประมาณ 1 ซม. ส่วนระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบของเขื่อนจะมีการเคลื่อนตัวบริเวณลาดชันทางด้านท้ายเขื่อนประมาณ 1 ซม.

ความเค้นหลักประสิทธิผลของตัวเขื่อน มีลักษณะเป็นแรงอัดกระทำมากที่สุดอยู่เหนือระดับฐานเขื่อนเล็กน้อยมีค่าประมาณ 490 kPa การกระจายของความเค้นหลักเป็นลักษณะไม่สมมาตร ส่วนแรงดันน้ำต่ำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุด อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณฐานแกนดินเหนียวหน้าเขื่อน โดยมีค่าแรงดันสูงสุดประมาณ 470 kPa

ค่าสูงสุดของร้อยละความเครียดเฉือนของเขื่อนมีโดยประมาณ 0.18% หรือมีการเปลี่ยนแปลงระนาบจากแรงเฉือนเป็นมุมประมาณ 0.1° เทียบกับแนวดิ่งที่บริเวณระหว่างชั้นทรายกรอง (Filter Zone) กับแกนกลางดินเหนียว (Core Zone) ด้านท้ายน้ำ ส่วนอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.587 เทียบกับหลักเกณฑ์ขั้นต่ำของอัตราส่วนความปลอดภัยเขื่อนของกรมชลประทานกรณีสถิตยศาสตร์เท่ากับ 1.50 แล้วมีค่ามากกว่า ดังนั้น ภายใต้แรงสถิตยศาสตร์ถือว่าเขื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

5.2 กรณีภายใต้แรงพลศาสตร์

ในการศึกษานี้ พิจารณาวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติทั้งหมด 5 โหมด ซึ่งมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในช่วง 1.44 – 3.05 Hz เมื่อนำค่าความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความถี่จากคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.01 – 3.32 Hz ความถี่ของแผ่นดินไหวไม่สอดคล้องกับความโหมดพื้นฐานในโหมดแรก จึงทำให้ไม่เกิดการสั่นรุนแรง และไม่ส่งผลกับตัวเขื่อน จากนั้นนำความถี่ที่ได้มาหาค่า Rayleigh damping โดยกำหนดให้เขื่อนมีค่าเฉลี่ยของ Damping Ratio = 0.05 จะได้ค่า $\alpha = 0.40$ และ $\beta = 0.004$ ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ต่อไป

จากแบบจำลองเขื่อนที่ใช้วิเคราะห์ เกิดความเร่งมากสุดที่สันเขื่อนมีค่าเท่ากับ 0.224g ที่เวลา 6.84 วินาที, 0.513g ที่เวลา 7.18 วินาที และ 0.934g ที่เวลา 16.55 วินาที จากแผ่นดินไหว EQ1, EQ2 และ EQ3 ตามลำดับ ลักษณะการสั่นไหวของเขื่อน จะเคลื่อนตัวในลักษณะไปทางด้านท้ายเขื่อนโดยมีการยึดแน่นที่ฐาน เมื่อพิจารณาความเร่งสูงสุดของแนวตัดกลางเขื่อนในระหว่างการสั่นไหว จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี สามารถแบ่งความเร่งที่เกิดขึ้นได้เป็นส่วนความเร่งขยาย และส่วนความเร่งลด โดยที่ความเร่งส่วนขยายเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับฐานเขื่อนที่อยู่ในระดับความสูงประมาณ 1/7 ของความสูงเขื่อนนับจากฐานเขื่อน อย่างไรก็ตามตั้งแต่ความสูงประมาณ 5 - 35 ม. จากฐานเขื่อนเป็นส่วนลดของความเร่ง อาจเนื่องจากรูปทรงของเขื่อนที่มีการกระจายของมวลมีขนาดลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น

การเคลื่อนตัวของเขื่อน มีลักษณะคล้ายการเคลื่อนตัวของโหมดที่ 5 บริเวณที่มีการเคลื่อนตัวมากสุดของแบบจำลองจากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี เกิดที่บริเวณหลังเขื่อนที่ระดับ 1/2 ของความสูงเขื่อน การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนเกิดขึ้นโดยมีระนาบการเคลื่อนตัวอยู่ที่บริเวณเหนือชั้นกรองน้ำ (Filter Zone) และตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ เนื่องจากดินทั้งสองบริเวณได้รับผลจากพฤติกรรมของมุมไดเลชั่น (ψ) ทำให้ดินมีกำลังรับแรงเฉือนมากขึ้นและแข็งแรงกว่าบริเวณดินข้างเคียวกัน จึงไม่เคลื่อนตัวตามบริเวณมวลคละเหนือชั้นกรองน้ำ โดยระยะเคลื่อนตัวจากแบบจำลองชนิด Gravity turn-on มีค่าประมาณ 19 - 45 ซม. จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี

ความแตกต่างของความเค้นสัมพัทธ์ของกำลังต้านแรงเฉือนของดิน ระหว่างแผ่นดินไหวและหลังหยุดแผ่นดินไหว อยู่ที่บริเวณฐานส่วนมวลคละ (Random Zone) หน้าเขื่อน และแกนกลางเขื่อน (Core Zone) ฐานเขื่อน ขณะเกิดแผ่นดินไหวจะเกิดค่าวิกฤตขึ้นที่สองบริเวณดังกล่าว และ

หลังแผ่นดินไหวหยุดค่าความเค้นสัมพัทธ์ของกำลังต้านแรงเฉือนของดินที่บริเวณดังกล่าว จะมีค่าประมาณ 0.50 – 0.80 แสดงให้เห็นว่าแรงแผ่นดินไหวกระทำ ณ ฐานเขื่อนทำให้ดินบริเวณดังกล่าวต้องรับแรงมากกว่าปกติ จนทำให้คุณสมบัติของดินขณะนั้นเปลี่ยนเป็นพลาสติกซึ่งเสี่ยงต่อการพังทลายขณะเกิดแผ่นดินไหว

ส่วนความเค้นหลักประสิทธิผล เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้นค่าความเค้นหลักของดินมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดินมีการทรุดตัวมากขึ้น และพฤติกรรมของดินบริเวณต่างๆ ในตัวเขื่อนมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพฤติกรรมยืดหยุ่นหรือพลาสติก ตามแรงมากน้อยที่กระทำ หลังจากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี ค่าความเค้นหลักประสิทธิผล ณ ตำแหน่งเดียวกันกับจุดที่เกิดสูงสุดภายใต้แรงสถิตย์ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกรณีสถิตยศาสตร์ ดังนั้น แรงแผ่นดินไหวมีผลเล็กน้อยต่อความเค้นประสิทธิผล

เมื่อพิจารณาผลของแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นขณะที่เกิดแผ่นดินไหวที่บริเวณฐานเขื่อน เนื่องจากที่ฐานเขื่อนเป็นจุดที่มีน้ำซึมผ่านตลอดมีความเสี่ยงที่จะเกิดการเหลวตัวของดิน (Liquefaction) ในกรณีที่เกิดแรงดันน้ำมีค่าสูงขึ้น และค่าความเค้นหลักประสิทธิผลของดินลดลง จากการวิเคราะห์ค่าแรงดันน้ำที่เพิ่มมากสุดที่ฐานขณะเกิดแผ่นดินไหวมีค่าประมาณ 460 – 780 kPa จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี แสดงให้เห็นว่าน้ำสามารถที่จะไหลเข้าไปในมวลดินได้ ซึ่งหากแรงดันน้ำมีค่ามากแล้วอาจทำให้ค่าความเค้นหลักประสิทธิผลของดินมีค่าลดลงได้ ในการศึกษาภายใต้การวิเคราะห์นี้ความเค้นหลักประสิทธิผลยังคงมีค่าที่แสดงถึงดินมีการอัดตัว ดังนั้น เขื่อนที่วิเคราะห์ไม่เกิดการเหลวตัวของดิน (Liquefaction) ขึ้น ณ บริเวณที่พิจารณาดังกล่าว

ค่าสูงสุดของร้อยละความเครียดเฉือนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 5 – 14% หรือมีการเปลี่ยนแปลงระนาบจากแรงเฉือนเป็นมุมประมาณ 3° – 8° เทียบกับแนวดิ่ง จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี ที่บริเวณฐานเขื่อนกับฐานหินแข็ง และบริเวณฐานรากแกนดินเหนียวด้านท้ายน้ำ เนื่องจากวัสดุที่อยู่โดยรอบในทั้งสองตำแหน่งเป็น ฐานรากชั้นหินซึ่งมีความแข็งมาก และดินชั้นทรายกรองของเขื่อนซึ่งมีความแน่นมากขึ้นจากอิทธิผลของมุมไดเลชั่น (ψ)

การทรุดตัวมากสุดเกิดบริเวณสันเขื่อน มีค่าประมาณ 10 - 36 ซม. จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี เทียบกับระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ของเขื่อนที่มีเท่ากับ 2.05 เมตร แล้วมีค่าน้อยกว่า ส่วนอัตราส่วนความปลอดภัยหลังแผ่นดินไหวมีค่าลดลงจากกรณีสถิตยศาสตร์เล็กน้อย คือมีค่าเฉลี่ย

ประมาณ 1.557 จากแผ่นดินไหวทั้ง 3 กรณี ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 จากหลักเกณฑ์ขั้นต่ำของอัตราส่วนความปลอดภัยเขื่อนของกรมชลประทานหลังแผ่นดินไหว เมื่อพิจารณาทั้งระยะทรุดตัวและค่าอัตราส่วนความปลอดภัยถือว่าเขื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยน้ำ

5.3 ผลของแผ่นดินไหว

แรงแผ่นดินไหวที่นำมาวิเคราะห์ มีรูปแบบลักษณะต่างกันตามที่ระบุไว้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลที่ได้จากแผ่นดินไหวแต่ละประเภทแตกต่างกันไป จากผลการศึกษาพบว่า แผ่นดินไหวที่ทำให้เขื่อนสั่นด้วยความเร่งมากสุด เกิดจากกรณีแผ่นดินไหวที่มีลักษณะคลื่นแรงกระแทกฉับพลัน (EQ3) เนื่องด้วยแผ่นดินไหวมีขนาดความเร่งที่ระดับพื้นดินสูงสุด (PGA) มากสุด ส่วนแผ่นดินไหวที่ให้ระยะการเคลื่อนตัวมากสุด เกิดจากกรณีแผ่นดินไหวที่มีระยะเวลาการสั่นยาวนาน (EQ2) ซึ่งเป็นแผ่นดินไหวที่มีขนาดความเร่งที่ระดับพื้นดินสูงสุด (PGA) ต่ำสุด ดังนั้น ถึงแม้ว่าขนาดความเร่งที่ระดับพื้นดินสูงสุดแผ่นดินไหวจะน้อยหากมีระยะเวลาการสั่นที่ยาวนาน ก็สามารถทำให้เกิดระยะเคลื่อนตัวที่มากกว่าแผ่นดินไหวที่มีขนาดความเร่งที่ระดับพื้นดินสูงสุดที่สูงกว่าได้ แต่ความเร่งจากการสั่นของตัวเขื่อนต่อลักษณะของแรงแผ่นดินไหวต่างๆ จะไม่ต่างกันหากแผ่นดินไหวมีขนาดความเร่งที่ระดับพื้นดินสูงสุด (PGA) ที่เท่ากัน