

## คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของประตูระบายน้ำล้น

### Dynamic Properties of a Spillway Radial Gate

ราชนันท์ ชันทกสิกรรม<sup>1,\*</sup> พุทธิรักษ์ จรัสพันธุ์กุล<sup>2</sup> และ ชยานนท์ ทรราชภิญโญ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

<sup>2,3</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการภัยพิบัติทางธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

\*Corresponding author; E-mail address: Rachan\_ka@cmu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของประตูระบายน้ำจากแผ่นดินไหว ปัจจุบันนอกเหนือจากการประเมินความปลอดภัยของเขื่อนแล้วยังจำเป็นต้องพิจารณาความปลอดภัยของอาคารประกอบเขื่อนและอุปกรณ์ต่างๆ ร่วมด้วย เนื่องจากความผิดปกติของอาคารประกอบเขื่อนหรืออุปกรณ์ต่างๆ อาจส่งผลทำให้เกิดการพิบัติของเขื่อนหรือก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อพื้นที่ท้ายน้ำ สำหรับการศึกษาที่มุ่งเป้าไปที่ประตูระบายน้ำ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในอาคารระบายน้ำ หากมีความเสียหายเกิดขึ้นจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวอาจจะส่งผลทำให้ไม่สามารถกักเก็บหรือควบคุมน้ำในอ่างกักเก็บได้และก่อให้เกิดน้ำท่วมแบบฉับพลันในบริเวณพื้นที่ท้ายน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ประตูระบายน้ำตัวแทนที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ทำการคัดเลือกมาจากพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนบน โดยนำมาสร้างแบบจำลองจากนั้นทำการวิเคราะห์การตอบสนองไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response Time-History Analysis) ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา (Maximum Considered Earthquake, MCE) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302-61) สำหรับผลการวิเคราะห์จากการศึกษาได้นำเสนอคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของประตูระบายน้ำรวมถึงข้อสังเกตในด้านความปลอดภัยของเขื่อนจากแผ่นดินไหวร่วมด้วย

คำสำคัญ: การวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์, ความปลอดภัยจากแผ่นดินไหว, ประตูระบายน้ำ, แผ่นดินไหว

#### Abstract

This paper presents the dynamic properties of a spillway radial gate. Recently, the seismic safety evaluation of the dam itself seems to be insufficient because the damage or failure of dam relevant structures and their equipment could bring about the dam failure and cause disastrous losses to the cities located downstream. Hence, the seismic safety of the dam relevant

structures and their relate equipment must be taken into account. This study focuses on a spillway radial gate since it plays an important role to a dam spillway. Besides, any damage of a spillway radial gate may cause severe losses owing to flash flood caused by the uncontrollable release of the reservoir water. In this study, the representative spillway radial gate is selected from the dam located in Northern Thailand. The nonlinear response history analysis of the spillway radial gate is performed using finite element analysis. For the input motions, the maximum considered Earthquake (MCE) were considered. The earthquake records were then selected following Thailand, Seismic design criteria in National Standard DPT1302-6. Therefore, the dynamic properties of a spillway radial gate is then presented along with the note on the seismic safety of a spillway radial gate.

Keywords: Dynamic, Seismic safety, Spillway radial gate, Earthquake

#### 1. บทนำ

ความเสียหายและการสูญเสียที่เกิดจากการพังทลายของเขื่อนนั้นมีความสำคัญอย่างมากเพราะการพังทลายของเขื่อนส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของชุมชนท้ายน้ำ นอกจากนี้เขื่อนยังเป็นแหล่งทรัพยากรน้ำและแหล่งพลังงานที่สำคัญ ทุกวันนี้ความปลอดภัยของเขื่อนจากแผ่นดินไหวได้รับความสนใจและได้รับการประเมินตรวจสอบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การศึกษาความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวของอาคารประกอบเขื่อนเช่น ศูนย์ควบคุม ประตูระบายน้ำ และอาคารระบายน้ำล้นจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น

ในบางครั้งการทำงานของเขื่อนอาจไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้หลังเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากอาคารประกอบเขื่อนได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ความเสียหายของอาคารประกอบเขื่อนอาจนำไปสู่การพังทลายของเขื่อนและความเสียหายต่อชุมชนท้ายน้ำ ตัวอย่างเช่นความเสียหายของ

ประตูละบายน้ำและศูนย์ควบคุมอาจทำให้เขื่อนปิดทำการ เนื่องจากปัญหา ด้านความปลอดภัยและทำให้ไม่สามารถควบคุมการปล่อยน้ำได้

นักวิจัยหลายคนได้เสนอมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการ สั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้างดังกล่าว ตัวอย่างเช่น Wieland(2012)และ ICOLD(2002) [1-2] กล่าวว่ากรอกแบบโครงสร้าง ดังกล่าวภายใต้แรงแผ่นดินไหวต้องทำให้มั่นใจว่าส่วนประกอบและอุปกรณ์ ของโครงสร้างดังกล่าวต้องสามารถใช้งานได้ในช่วงเกิดและหลังเกิด แผ่นดินไหว

ในปี ค.ศ.1996 องค์กรวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบจากภัยแผ่นดินไหวของ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Applied Technology Council) ได้ตีพิมพ์คู่มือ การออกแบบโครงสร้างอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว (seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, ATC-40) [3] ซึ่งมีการ ให้คำแนะนำการออกแบบอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวและรายละเอียด เกี่ยวกับการวิเคราะห์และการประเมินความปลอดภัยของอาคารจาก แผ่นดินไหว วิธีการออกแบบตามประสิทธิภาพ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรม ของโครงสร้างอาคารภายใต้ระดับการสั่นไหวที่สอดคล้องกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารเป้าหมาย

โดยทั่วไปข้อกำหนดและมาตรฐานการประเมินโครงสร้างภายใต้แรง แผ่นดินไหวส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่อาคารทั่วไป แม้ว่าบางข้อกำหนดอาจให้ แนวคิดการออกแบบเพิ่มเติมเพื่อประเมินความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวของ โครงสร้างที่สำคัญอื่น ๆ แต่สำหรับอาคารประกอบเขื่อนยังไม่ได้รับความ สนใจในการใช้ข้อกำหนดดังกล่าว ในปี ค.ศ.2000 งานวิจัยของ Wendy และ Colin [4] ได้นำเสนอการประเมินความปลอดภัยของประตูโค้งบนสัน ฝาย (spillway radial gate)โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ใน รูปแบบ 3 มิติ จากแรงแผ่นดินไหวที่เขื่อน Kilmorack เพื่อศึกษาเกี่ยวกับ ความอ่อนแอของประตูเมื่อเกิดแผ่นดินไหวและเพื่อกำหนดวิธีการที่ เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์คลื่นไหวสะเทือนของประตู และสามารถนำ ผลการวิเคราะห์ไปใช้กับประตูระบายน้ำล้นที่อื่นที่คล้ายคลึงกัน ส่วนใน ประเทศไทย เจนคณิต [5-6] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์และ ประเมินความปลอดภัยของโครงสร้างอาคารระบายน้ำล้นเขื่อนกัวคองมา จากแผ่นดินไหว โดยทำการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างไม่เชิงเส้น แบบ ประวัติเวลา (Nonlinear Response History Procedure) ด้วย แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อประเมินความปลอดภัยของโครงสร้าง อาคารระบายน้ำล้นจากแรงแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวยัง ไม่ได้ประเมินความเสียหายของประตูระบายน้ำล้นในเขื่อนเดียวกัน

ในประเทศไทยเกณฑ์การออกแบบอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวได้ถูก กำหนดไว้ใน มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว (มยผ.1302) [7-8] ได้กำหนดระดับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่ พิจารณา (Maximum Considered Earthquake, MCE) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น น้อยที่รอบการเกิดซ้ำ 2475 ปี และ ระดับแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Basis Earthquake, DBE) ที่รอบการเกิดซ้ำ 475 ปี โดย DBE คือ 2/3 ของ MCE

อย่างไรก็ตามระดับป้องกันการพังทลายอาจป้องกันไม่ให้สิ่งปลูกสร้าง พังทลายเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงระดับสมรรถนะของอาคารประกอบ เขื่อนจะต้องอยู่ในระดับปฏิบัติงานได้

มีรายงานแผ่นดินไหวในระดับปานกลางถึงใหญ่ในภาคเหนือของ ประเทศไทย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม ปี ค.ศ. 2014 แผ่นดินไหวขนาด 6.1 ที่ แม่ลาวและบริเวณทางตอนเหนือของประเทศไทยและพม่า แผ่นดินไหวทำให้ เกิดผู้เสียชีวิตและความเสียหายต่ออาคารถนนและวัด เหตุการณ์ครั้งนี้ เป็นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกไว้ในประเทศไทย [9-10]

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อเสนอ แนวทางในการประเมินความปลอดภัยของแผ่นดินไหวต่อโครงสร้างประตู ระบายน้ำล้นซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในอาคารระบายน้ำ เนื่องจาก หากมีความเสียหายเกิดขึ้นจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวอาจจะส่งผลทำให้ไม่ สามารถกักเก็บหรือควบคุมน้ำในอ่างกักเก็บได้และก่อให้เกิดน้ำท่วมแบบ ฉับพลันในบริเวณพื้นที่ท้ายน้ำ เพื่อให้แน่ใจว่าประตูระบายน้ำสามารถ ทำงานได้ตามปกติหลังจากเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต

## 2. ประตูระบายน้ำล้นเขื่อนกัวคองมาและคลื่นแผ่นดินไหว

เขื่อนที่ถูกเลือกในการศึกษาครั้งนี้คือเขื่อนกัวคองมา ซึ่งเป็นเขื่อนดิน ที่ตั้งอยู่ใน อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง (ละติจูด 18-48 ' - 24" N, ลองจิจูด 99-38-48" E) โดยเขื่อนแห่งนี้ใช้กักเก็บน้ำจากแม่น้ำวังซึ่งเป็นสายหนึ่งของ แม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งอยู่ห่างจากลำปาง 61 กิโลเมตรไปทางทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ เขื่อนแห่งนี้ตั้งอยู่ ห่างจากต้นกำเนิดแผ่นดินไหวแม่ ลาวปี พ.ศ. 2557เป็นระยะ 90 กิโลเมตร การก่อสร้างเขื่อนเริ่มต้นขึ้นในปี พ.ศ. 2548 และเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2553 เขื่อนนี้ไม่เพียงแต่สร้างขึ้น เพื่อป้องกันน้ำท่วมแต่ยังให้น้ำเพื่อการชลประทานการบริโภคของมนุษย์ และการใช้ในอุตสาหกรรมในจังหวัดลำปาง ตัวเขื่อนมีความจุ 170 ล้าน ลูกบาศก์เมตร เขื่อนกัวคองมามีอาคารประกอบเขื่อน 3 ส่วนได้แก่ อาคาร ระบายน้ำล้น อาคารระบายน้ำล้นน้ำเดิม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [11] ใน การศึกษานี้จากข้อมูลที่มีอยู่และความสำคัญของเขื่อนเขื่อนแห่งนี้ได้ คัดเลือกประตูระบายน้ำล้นเพื่อทำการประเมินความปลอดภัยภายใต้แรง แผ่นดินไหว

### 2.1 ประตูระบายน้ำล้น

อาคารระบายน้ำล้นตั้งอยู่ทางด้านขวาของเขื่อนหลัก (มองจากทางต้น น้ำ)ดังแสดงในรูปที่ 1 อาคารดังกล่าวเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ความยาวโดยรวมของอาคารระบายน้ำล้นคือ 800 เมตร และความกว้าง ของช่องระบายน้ำคือ 42.5 ม. ความสูงสุดของการกักเก็บน้ำคือ 352.90 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) อาคารสามารถระบายน้ำได้สูงสุด 1,209 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อรองรับอัตราการระบายน้ำรอบการเกิด ซ้ำ 1,000 ปี [11] อาคารดังกล่าวติดตั้งประตูระบายน้ำล้นเป็นแบบประตู โค้งบนสันฝาย (spillway radial gate) มีขนาดของแผ่นเหล็กกันน้ำคือ 12.5 x 7.00 เมตรและรัศมีของแขนรับจากจุดหมุนถึงแผ่นเหล็กกันน้ำคือ 10 เมตร ติดตั้งจำนวน 3 บาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 เขื่อนกักคอกหมาและอาคารระบายน้ำ(cite  
<https://www.google.co.th/maps/place/hl=th>)



รูปที่ 2 อาคารระบายน้ำล้นเขื่อนกักคอกหมา



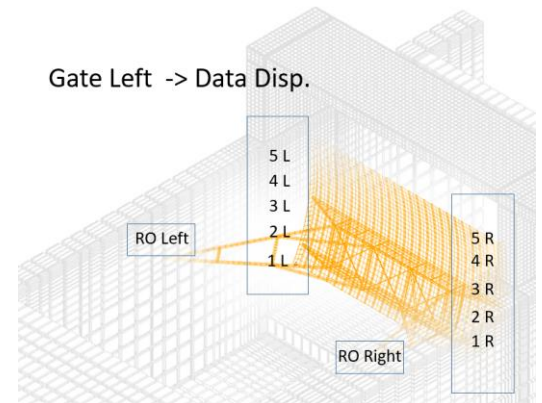
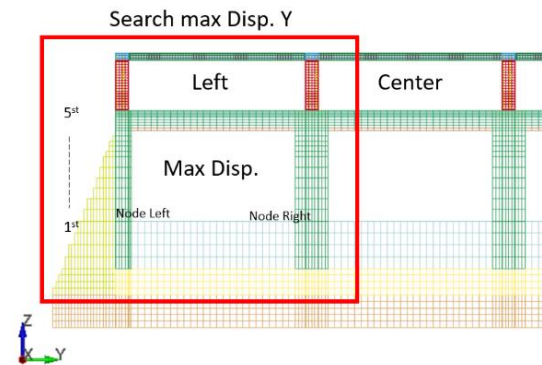
รูปที่ 3 ประตูระบายน้ำล้น(spillway radial gate)

## 2.2 การเคลื่อนที่ที่กระทำกับประตูระบายน้ำล้นจากแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้มีรอบการเกิดซ้ำที่ 2475 ปี (MCE) สำหรับพื้นที่ที่ศึกษามีรอยเลื่อนมีพลังหลายแห่งที่ตั้งอยู่ใกล้กับเขื่อนกักคอกหมา รอยเลื่อนที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือรอยเลื่อนพะเยาซึ่งเป็นรอยเลื่อนแบบรอยเลื่อนปกติ(normal fault)ซึ่งอยู่ใกล้เขื่อนมากที่สุด รอยเลื่อนดังกล่าวอยู่ห่างจากเขื่อนกักคอกหมาคือ 20 กิโลเมตร ในขณะที่รอยเลื่อนที่ถูกนำมาใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 100 กิโลเมตร จากเขื่อน [8] สำหรับระดับสมรรถนะของอาคารระบายน้ำล้นที่เกิดขึ้นภายใต้แผ่นดินไหว MCE ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ ส่วนประกอบโครงสร้างของอาคารระบายน้ำล้นทั้งหมดจะต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และสามารถควบคุมการปล่อยน้ำในอ่างเก็บน้ำได้

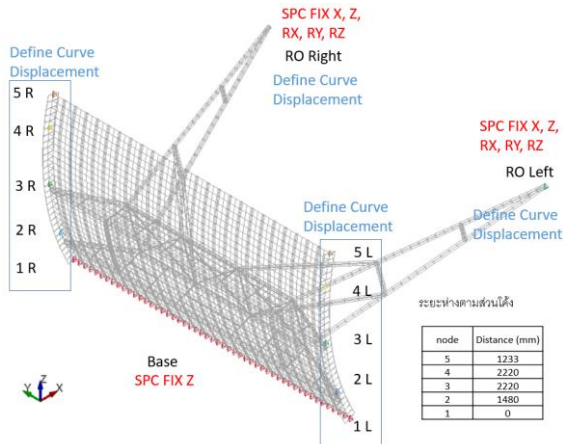
เนื่องจากการขาดการบันทึกข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ของ

อาคารระบายน้ำล้นเขื่อนกักคอกหมาของ เจนคณิต [5-6] ที่ได้ทำการเลือกคลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาวิเคราะห์พิจารณาจากแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ในพื้นที่อาคารระบายน้ำล้นเขื่อนกักคอกหมา โดยการดัดแปลงคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลก ที่มีขนาด ลักษณะการเกิดและลักษณะอื่นๆ ที่มีลักษณะของค่าสเปกตรัมใกล้เคียงกับพื้นที่วิเคราะห์ นำมาปรับค่าตามสเปกตรัมตอบสนองตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1302) [7] โดยพิจารณาเลือกคลื่นแผ่นดินไหวมา 3 คลื่น จากลักษณะของรอยเลื่อน, ระยะทาง, ขนาดแผ่นดินไหว และค่าอัตราเร่ง งานวิจัยนี้ได้ใช้ผลการเคลื่อนที่จากการวิเคราะห์โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่ให้ผลรุนแรงที่สุดมาพิจารณา

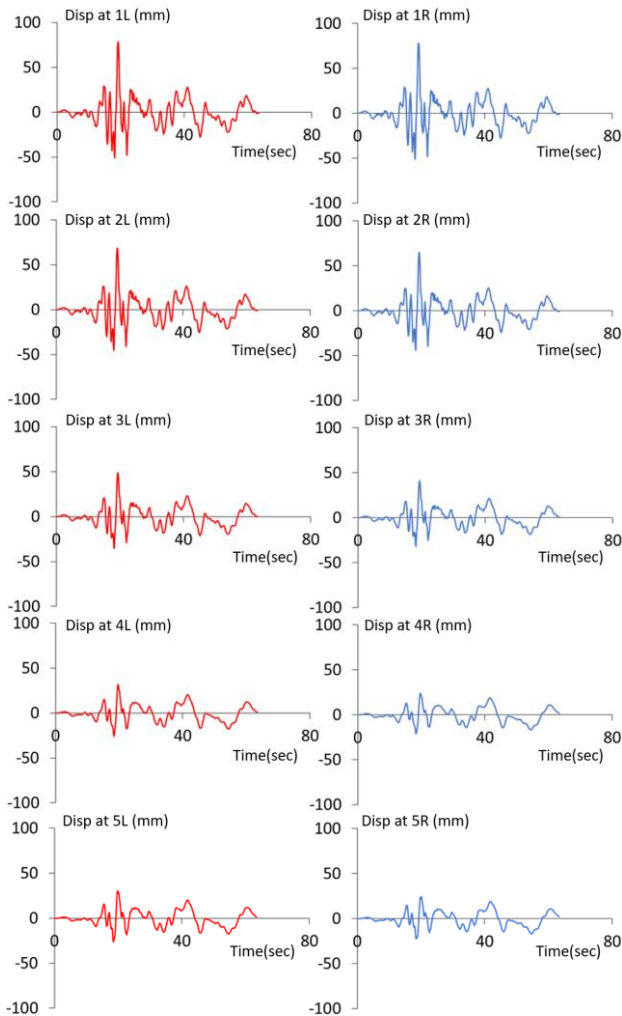


รูปที่ 4 บริเวณที่ประตูระบายน้ำล้นสัมผัสอาคารระบายน้ำล้น

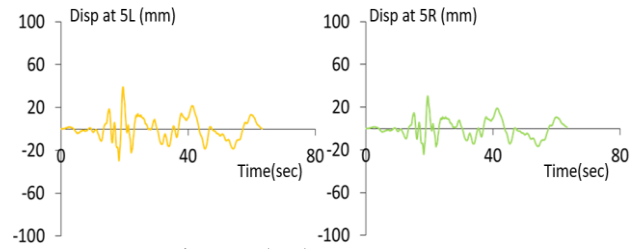
สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองประตูระบายน้ำล้นเขื่อนกักคอกหมาผ่านโปรแกรม LS-DYNA ได้นำการเคลื่อนที่ที่ผนังบริเวณที่ติดกับประตูระบายน้ำล้น และจุดรองรับแขนประตู งานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลการเคลื่อนที่ที่บริเวณดังกล่าวมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายของประตูระบายน้ำล้นโดยเลือกประตู 1 บานจาก 3 บานที่เกิดค่าการเคลื่อนที่สูงสุด(แสดงในรูปที่ 4) จากนั้นใส่ค่าการเคลื่อนที่ที่บริเวณด้านข้างของประตูระบายน้ำล้น 2 ข้าง ข้างละ 5 ตำแหน่ง และ บริเวณจุดรองรับแขนประตูทั้ง 2 ข้าง ดังแสดงในรูปที่ 5 รายละเอียดค่าการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆบนประตูระบายน้ำล้นดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 5 บริเวณที่ใส่ค่าการเคลื่อนที่บน  
ประตูระบายน้ำ



รูปที่ 6 การเคลื่อนที่บริเวณด้านข้างของประตูระบายน้ำ

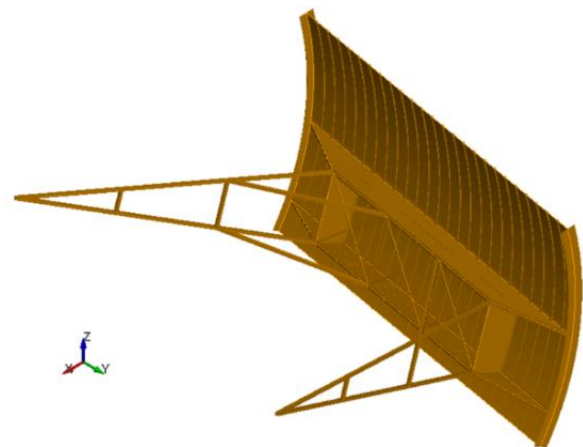


รูปที่ 7 การเคลื่อนที่บริเวณจุดจตุรรองรับแขน  
ประตูทั้ง 2 ข้าง

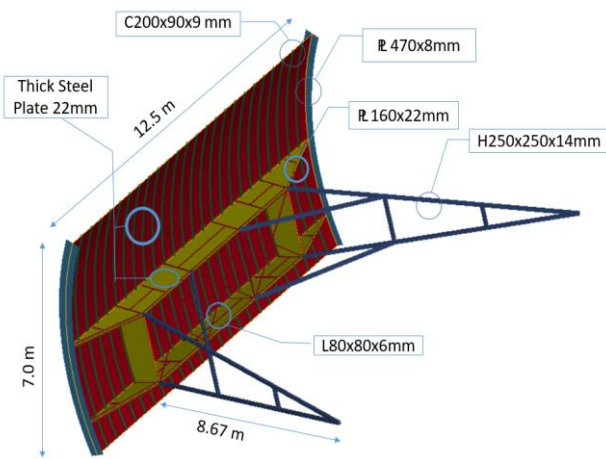
### 3. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

#### 3.1 แบบจำลองประตูระบายน้ำ

การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ถูกใช้ผ่านโปรแกรม LS-DYNA [12] โดยเป็นแบบจำลอง 3 มิติของประตูระบายน้ำที่ใช้องค์ประกอบของบานประตูกันน้ำซึ่งเป็นแผ่นเหล็กโค้งใช้เป็น ELEMENT\_SHELL สำหรับองค์ประกอบของแขนประตูและโครงถักที่เชื่อมกับบานประตูซึ่งเป็นเหล็กรูปพรรณใช้เป็น ELEMENT\_BEAM โดยพิจารณาถึงการยึดเกาะที่สมบูรณ์แบบระหว่าง ELEMENT\_SHELL กับ ELEMENT\_BEAM สำหรับคุณสมบัติของวัสดุซึ่งเป็นเหล็กทั้งหมดจะทำการสันนิษฐานว่ามีพฤติกรรมแบบเชิงเส้น (MAT\_ELASTIC) แบบจำลองประกอบด้วยองค์ประกอบของ ELEMENT\_SHELL และ ELEMENT\_BEAM จำนวน 1875 และ 1458 ชิ้นส่วน ตามลำดับ มีจุดต่อ (Node) ทั้งหมด 3645 จุดต่อ และกำหนดเงื่อนไขการเคลื่อนที่ดังต่อไปนี้ คือ ที่บริเวณสันฝายจำกัดการเคลื่อนที่ในทิศทางแกน Z, บริเวณด้านข้างของประตูทั้ง 2 ฝั่งจำกัดการเคลื่อนที่ในทิศทางแกน X และ บริเวณจุดหมุดตรงปลายสุดของแขนประตูทั้ง 2 ข้าง จำกัดการเคลื่อนที่ในทุกทิศทาง โดยแบบจำลองสามมิติของประตูระบายน้ำนั้นแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แบบจำลองสามมิติประตูระบายน้ำ



รูปที่ 9 ส่วนประกอบของประตุน้ำล้น

สำหรับรายละเอียดของเหล็กโครงสร้างของประตุน้ำล้นมีองค์ประกอบขององค์อาคารเหล็กรูปพรรณ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยส่วนของแขนประตูใช้วัสดุเป็นเหล็กรูปพรรณแบบ H250x250x14 mm, เหล็กโค้งประตูใช้วัสดุเป็นแผ่นเหล็กแบบ PL160x22 mm, Bracing ใช้วัสดุเป็นเหล็กรูปพรรณแบบ L80x80x6 mm, เหล็กขอบประตูด้านนอกใช้วัสดุเป็นแผ่นเหล็กแบบ PL 470x8 mm, เหล็กขอบประตูด้านในใช้วัสดุเป็นแผ่นเหล็กแบบ C200x90x9 mm และ บานประตูและแผ่นเหล็กโครงประตูใช้วัสดุเป็นแผ่นเหล็กขนาด 12.5x7.0 m

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของประตุน้ำล้น

ส่วนประกอบ	วัสดุ
แขนประตู	H250x250x14 mm
เหล็กโครงประตู	PL160x22 mm
Bracing	L80x80x6 mm
เหล็กขอบประตูด้านนอก	PL 470x8 mm
เหล็กขอบประตูด้านใน	C200x90x9 mm
บานประตูและแผ่นเหล็กโครงประตู	Thick Steel Plate 22mm

### 3.2 คุณสมบัติของวัสดุ

สำหรับการศึกษานี้แบบจำลองวัสดุเป็นพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (elastic behavior) โดยประตุน้ำล้นเป็นโครงสร้างเหล็กที่มีส่วนประกอบของบานประตูเป็นแผ่นเหล็กหนา 22 มิลลิเมตร และมีองค์อาคารที่ทำจากเหล็กรูปพรรณ ซึ่งเหล็กที่นำมาใช้จากแบบก่อสร้างจริงนั้นมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 1227-2539 ชั้นคุณภาพ SS400 และเหล็กที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีคุณสมบัติของวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยคุณสมบัติที่พิจารณาได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่น (E), อัตราส่วนปัวซอง (U) และความหนาแน่น (ρ) ถูกกำหนดตามคู่มือการใช้งานโปรแกรม LS-DYNA [13]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติวัสดุ

วัสดุ	โมดูลัสยืดหยุ่น (GPa)	อัตราส่วนปัวซอง	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
แผ่นเหล็ก	210	0.265	7,830
เหล็กรูปพรรณ	210	0.265	7,830

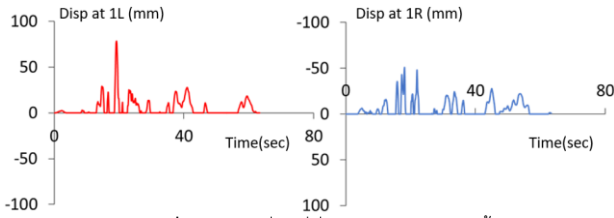
### 3.3 การเคลื่อนที่จากแบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนที่บริเวณพบว่า เกิดการเคลื่อนที่มากที่สุดที่บริเวณชายล่างตำแหน่ง 2L มีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดเท่ากับ 68.48 มิลลิเมตร โดยค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆบนผนังประตุน้ำล้น

ตำแหน่ง	ค่าการเคลื่อนที่สูงสุด(mm)
1R	51.03
2R	65.06
3R	41.19
4R	24.06
5R	24.00
1L	78.42
2L	68.48
3L	48.80
4L	31.74
5L	30.50
RO Right	30.35
RO Left	39.20

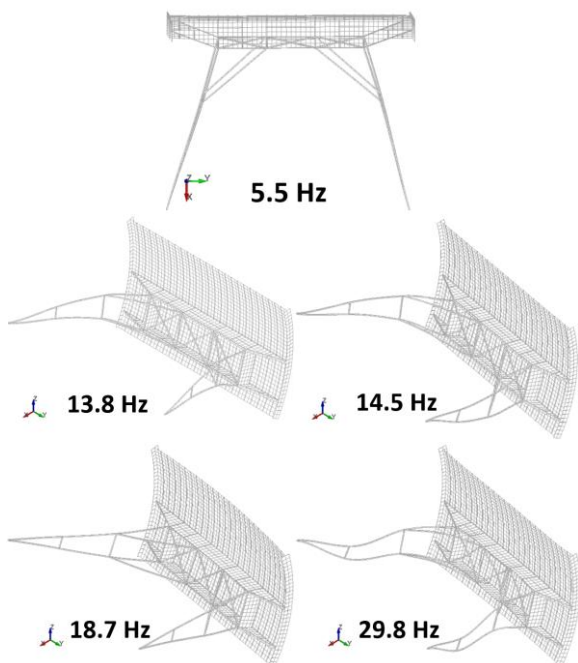
งานวิจัยนี้ได้พิจารณาแล้วว่าประตุน้ำล้นสามารถรับการเคลื่อนที่แบบกวดเท่านั้นไม่สามารถรับการเคลื่อนที่แบบดึงได้ ดังนั้นค่าการเคลื่อนที่ที่จะใช้วิเคราะห์ความเสียหายของประตุน้ำล้นบริเวณด้านซ้ายของบานประตูจะมีการเคลื่อนที่ที่เป็นเครื่องหมายบวกเท่านั้นและบริเวณด้านขวาของบานประตูจะมีการเคลื่อนที่ที่เป็นเครื่องหมายลบเท่านั้น ดังนั้นค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดขึ้นด้านขวาของประตุน้ำล้นเกิดขึ้นที่บริเวณขาล่างสุดของประตู (ตำแหน่ง 1R) มีค่าเท่ากับ 51.03 มิลลิเมตร และค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่เกิดขึ้นด้านซ้ายของประตุน้ำล้นเกิดขึ้นที่บริเวณขาล่างสุดของประตู (ตำแหน่ง 1L) มีค่าเท่ากับ 78.42 มิลลิเมตร รูปที่ 10 แสดงค่าการเคลื่อนที่บนประตุน้ำล้นเมื่อทำการปรับแก้เครื่องหมายของค่าการเคลื่อนที่แล้ว



รูปที่ 10 การเคลื่อนที่ที่มีผลกับประตุน้ำล้น

#### 4. ความถี่ธรรมชาติและลักษณะการสั่นไหว

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านโปรแกรม LS-DYNA พบว่าลักษณะการสั่นสะเทือน (Mode Shape) ในรูปแบบที่ 1 เกิดความอ่อนไหวมากที่สุดเกิดขึ้นในทิศทางแกน y หรือตามแนวการเคลื่อนที่สูงสุดของประตุน้ำล้นซึ่งมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 5.50 Hz ส่วนค่าความถี่ธรรมชาติของลักษณะการสั่นสะเทือนในรูปแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.8 Hz มันเป็นลักษณะการดัดรอบแกน y มีความอ่อนไหวสูงสุดอยู่ที่แขนของประตูทั้ง 2 ข้าง ส่วนค่าความถี่ธรรมชาติของลักษณะการสั่นสะเทือนในรูปแบบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 14.5 Hz มันเป็นลักษณะการดัดรอบแกน x มีความอ่อนไหวสูงสุดอยู่ที่แขนของประตูทั้ง 2 ข้าง จากนั้นค่าความถี่ธรรมชาติของลักษณะการสั่นสะเทือนในรูปแบบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 18.7 Hz มันเป็นลักษณะการดัดรอบแกน y มีความอ่อนไหวสูงสุดอยู่ที่บริเวณส่วนบนของแผ่นเหล็กประตู และค่าความถี่ธรรมชาติของลักษณะการสั่นสะเทือนในรูปแบบที่ 5 มีค่าเท่ากับ 29.8 Hz มันเป็นลักษณะการดัดรอบแกน y มีความอ่อนไหวสูงสุดอยู่ที่แขนของประตูทั้ง 2 ข้าง โดยที่แขนของประตูทั้ง 2 ข้าง เกิดจุดดัดกลับ 2 ตำแหน่ง ลักษณะการสั่นสะเทือนของประตุน้ำล้นในรูปแบบต่างๆถูกแสดงดังรูปที่ 11



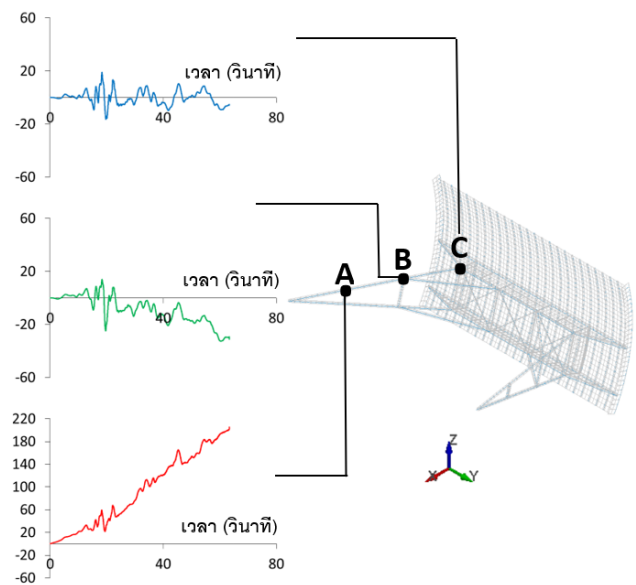
รูปที่ 11 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นไหว

#### 5. ผลการวิเคราะห์

##### 5.1 พฤติกรรมของประตุน้ำล้นภายใต้แรงแผ่นดินไหว

จากการวิเคราะห์พบว่าการตอบสนองของโครงสร้างประตุน้ำล้นขึ้นกับกัวคองการสั่นไหวของโครงสร้างมากที่สุดที่บริเวณแขนทั้ง 2 ข้าง โดยแสดงการเสียรูปจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เทียบกับจุดรองรับแขนประตู ดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งแสดงการพล็อตเวลากับการเคลื่อนที่สำหรับจุด A, B และ C เมื่ออยู่ภายใต้การเคลื่อนที่จากแบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นของเจนคณิต [5-6] จากกรณีการวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย  $U_y$  คือ 20.6 เซนติเมตร ซึ่งสามารถพบได้ที่บริเวณปลายแขนใกล้จุดรองรับแขนประตู (จุด A)

##### การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y (มิลลิเมตร)



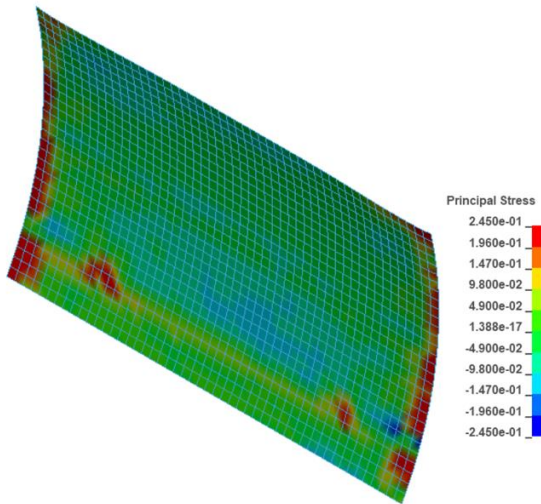
รูปที่ 12 การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ที่แขนของประตุน้ำล้น

##### 5.2 ความเสียหายของประตุน้ำล้น

ความเสียหายของโครงสร้างประตุน้ำล้นนั้นที่ส่วนของบานโค้งประตูถูกจำลองมาจาก ELEMENT\_SHELL สามารถเปรียบเทียบค่าอ้างอิงจากกำลังคราก (Yield Stress) ที่รับได้กับค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับบานประตู ดังแสดงในตารางที่ 4 และ รูปที่ 13

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบกำลังของบานประตู

ส่วนประกอบ	กำลังคราก(GPa)	ความเค้นสูงสุด(GPa)
บานประตู	0.245	0.879

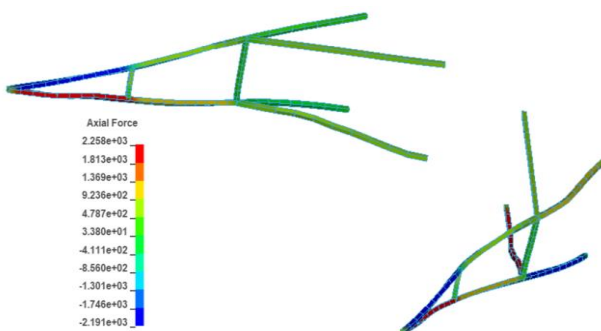


รูปที่ 13 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่บานประตู (Principal Stress)

ความเสียหายในส่วนขององค์ประกอบขององค์อาคารเหล็กรูปพรรณนั้นจะพิจารณาในส่วนของแขนประตูทั้ง 2 ข้าง (H250x250x14 mm) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการสั่นไหวสูงสุดโดยถูกจำลองมาจาก ELEMENT\_BEAM สามารถเทียบค่าอ้างอิงจากแรงดึง (Tensile Force) และแรงอัด (Compression Force) สูงสุดตามแนวแกน (Axial Force) ที่แต่ละหน้าตัดสามารถรับได้โดยคำนวณมาจากคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐาน มอก. 1227-2539 ชั้นคุณภาพ SS400 กับค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ (Axial Force Resultant) สูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของเหล็กรูปพรรณ ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 14

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบแรงตามแนวแกนของแขนประตู

ส่วนประกอบ	กำลังรับแรงดึง(kN)	แรงดึงสูงสุด (kN)	กำลังรับแรงอัด(kN)	แรงอัดสูงสุด (kN)
แขนประตู	2258.4	5383.5	2901.8	3516.3



รูปที่ 14 แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นที่แขนประตู (Axial Force)

## 6. บทสรุป

สำหรับผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของประตูระบายน้ำล้นโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ความถี่ธรรมชาติของประตูระบายน้ำล้น(spillway radial gate)ในรูปแบบการสั่นไหวพื้นฐานมีรูปแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 5.5 Hz เมื่อนำค่าความถี่ธรรมชาติไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Wendy และ Colin [4] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความถี่ธรรมชาติของประตูระบายน้ำล้นแบบโค้งบนสันฝาย (spillway radial gate) ที่เขื่อน Kilmorack โดยประตูระบายน้ำล้นดังกล่าวมีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับประตูระบายน้ำล้นที่เขื่อนกัวคองหมา พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นไหวในรูปแบบต่างๆ 5 รูปแบบแรกมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติ

No.Mode Shape	Frequencies (Hz)		
	Kilmorack Dam		Kiew Kho Ma Dam
	Tests	Model	model
1	7.4	6.3	5.5
2	14.6	13.6	13.8
3	14.0	13.9	14.5
4	19.8	18.9	18.7
5	25.5	22.8	29.8

การที่ค่าความถี่ธรรมชาติของประตูระบายน้ำล้นที่เขื่อนกัวคองหมามีค่าใกล้เคียงกับประตูระบายน้ำล้นที่เขื่อน Kilmorack นั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของประตูระบายน้ำล้นที่เขื่อนกัวคองหมามีความน่าเชื่อถือและใช้เป็นตัวแทนของประตูระบายน้ำล้นจริงได้

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของประตูระบายน้ำล้นภายใต้แรงแผ่นดินไหวนั้นพบว่าบริเวณปลายแขนใกล้จุดรองรับแขนประตู (จุด A) เกิดการเคลื่อนที่มากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนแขนของประตูใกล้จุดรองรับเป็นจุดอ่อนแอที่สุดของประตูระบายน้ำล้น

ความเสียหายของประตูระบายน้ำล้นหลังจากการวิเคราะห์พบว่าทั้งส่วนของบานโค้งประตูและส่วนขององค์ประกอบขององค์อาคารเหล็กรูปพรรณนั้นมีหลายชิ้นส่วนที่เกินกำลังของวัสดุที่จะรับได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีความไม่สมบูรณ์จึงต้องทำการการวิจัยต่อ โดยอาจมีการเปลี่ยนเงื่อนไขที่บริเวณสันฝายและจุดรองรับแขนประตูทั้ง 2 ข้าง และมีการเปลี่ยนแบบจำลองคุณสมบัติของวัสดุที่ปัจจุบันสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (elastic behavior) ได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุเมื่อเกิดหน่วยแรงเค้นที่เกินกำลังคราก (Yield Stress) ไปแล้วได้ และอาจมีการเปลี่ยนจากการใส่ค่าการเคลื่อนที่ลงบนแบบจำลองประตูระบายน้ำล้นมาเป็นการใส่ค่าแรงลงบนแบบจำลองประตูระบายน้ำล้นแทน เนื่องจากแรงจะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยา

(Reaction) จากประตูลอยน้ำล้นกระทำกับผนังกำแพงของอาคารระบายน้ำล้น ทำให้พฤติกรรมของแบบจำลองประตูลอยน้ำล้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งประเทศไทย (MRG6080109)

ขอแสดงความขอบคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในหัวข้องานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ICOLD (2002). Seismic design and evaluation of structures appurtenant to dams. *Commission Internationale des Grands Barrages. Bulletin 123*.
- [2] Wieland (2012). Seismic Hazard and Seismic Design and Safety Aspects of Large Dam Projects. *Geological and Earthquake Engineering 34*.
- [3] Applied Technology Council (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC 40). *Seismic safety commission state of California. Inc.*
- [4] Wendy, E. and Colin, T. (2000). Seismic analysis and dynamic testing of a spillway radial gate, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, Sunday 30 January - Friday 4 February 2000.
- [5] Bhuddarak, C., Chayanon, H. and Junji, K. (2020). seismic analysis of dam-relevant structures in Northern Thailand, *International Journal of GEOMATE*, Jan., 2020, Vol.18, Issue 65, pp. 94-101, ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.65.56966>.
- [6] เจนคณิต ชัดทองคำ, พุทธิรักษ์ จรัสพันธุ์กุล, ชยานนท์ ทรัพย์ภิญโญ, ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา และ ชินพัฒน์ บัวชาติ, การวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ของอาคารระบายน้ำล้นเขื่อนกัวคองหมา, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*, จ.อุดรธานี, 9-10 ก.ค. 2019, หน้า 219 -227, 2019.
- [7] Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior, Thailand (2009). Seismic design criteria in National Standard DPT 1302. *Seismic Resistant Design of Buildings and Structures*.
- [8] Ornthammarath, T., Warnitchai, P., Worakanchana, K., Zaman S., Sigbjornsson R. and Lai C., (2010). Probabilistic seismic hazard assessment for Thailand. *Bull Earthquake Eng*, 9(2), 367-394.
- [9] U.S. Geological Survey USGS (2014). M 6.1 – 13 km NNW of Phan, Thailand, accessed August 2, 2019, at URL <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000qack/executive>.
- [10] Earthquake-Report.com (2014). Very strong deadly earthquake close to Chiang Rai, Thailand - At least 1 dead and 32 injuries + huge number of aftershocks, accessed August 23, 2017, at URL <https://earthquakereport.com/2014/05/05/strong-earthquakethailand-on-may-5-2014/>.
- [11] Electricity Generating Authority of Thailand EGAT (2018). Kiew Kho Ma Dam, accessed August 23, 2017, at URL <https://www.egat.co.th/en/information/power-plants-and-dams?view=article&id=481>.
- [12] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) ground motion database., accessed August 23, 2017, at URL <https://peer.berkeley.edu/peer-strong-groundmotion-databases>.
- [13] Hallquist JO (2010). LS-DYNA keyword user's manual, Livermore Software Technology Corporation (LSTC). version 971, Vol. 1.