

การศึกษาผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวต่อถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลม

SEISMIC ASSESSMENT OF A CIRCULAR LIQUID-CONTAINING CONCRETE STRUCTURE

จิรัฐ บ่างตระกูลนนท์^{1*} นคร ภู่วโรดม²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี

² ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี

*Corresponding author; E-mail address: ¹ jeerut@hotmail.com, ² pnakhorn@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

ถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมขนาดใหญ่เป็นหนึ่งในโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในกิจการการประปา ในประเทศไทยโครงสร้างดังกล่าวจำนวนมากถูกก่อสร้างมาก่อนที่จะมีการเริ่มใช้ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวต่อถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมดังกล่าว โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method, FVM) คู่ควบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) เพื่อหาแรงที่เกิดจากการกระเพื่อมของของเหลว (Sloshing) ส่วนที่ 2 วิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นจากการกระเพื่อมของของเหลว (Sloshing) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อประเมินกำลังต้านทาน (Capacity) ที่เกิดขึ้น สำหรับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (Ground Acceleration Time History) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61) ในพื้นที่โซน 5 โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่มิตินที่คาบการสั่นของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที 0.5 วินาที และ 3.0 วินาที ซึ่งการศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างถังน้ำภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหวโดยการประยุกต์ใช้ไฟไนต์วอลุ่มเพื่อหาแรงที่เกิดจากการกระเพื่อมของของเหลว นั้น เป็นการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้เพื่อใช้ในการประเมินความปลอดภัยของโครงสร้างจากการตอบสนองเนื่องจากแผ่นดินไหว

คำสำคัญ: ถังน้ำต้านแผ่นดินไหว, การกระเพื่อมของของเหลว, แผ่นดินไหว, การวิเคราะห์ด้วยวิธีประวัติเวลา

Abstract

Large size circular liquid-containing structure is one of the most important infrastructures in water supply service. In Thailand, several of them have been constructed before implementation of the national seismic regulations. This paper

proposes procedures for seismic assessment of the existing circular liquid-containing concrete structures. The first part of the analysis is to estimate the sloshing force acting on the structure induced from oscillation of water during earthquake. The fundamental of coupling of finite volume and finite element method, coupler Eulerian Lagrangian (CEL) are applied. To analyze the hydrodynamic force from sloshing, penalty contract algorithm is used in 3D model and column of the clarifier is modeled as a single column, stiffness equivalent to the stiffness of the clarifier. The second part is an analysis of the supporting structures subjected to the sloshing force by using linear time history analysis. Ground motions corresponding to the design response spectral in Zone 5 of DPT 1301/1302-61 are used for analysis. The selected ground motions correspond with the Conditional Mean Spectrum (CMS) at 0.2, 0.5 and 3.0 second. The results of this research demonstrate the applicability to model the force transfer from finite volume into a single column under seismic load by comparing with the model of water sloshing. The on-going research is to evaluate the safety of the structure from the earthquake response.

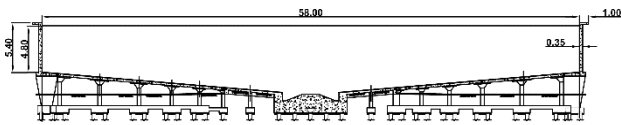
Keywords: concrete liquid-containing structures, liquid sloshing, earthquake, time history analysis

1. คำนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวของโครงสร้างถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมด้วยวิธีแบบประวัติเวลาในช่วงพิกัดยืดหยุ่นเชิงเส้น ในการศึกษาได้เลือกถึงตกตะกอนที่โรงงานผลิตน้ำประปาที่มีหน้าตัดรูปวงกลมมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากถังหน้าตัดรูปวงกลมดังกล่าวถูกนำมาใช้งานในกระบวนการผลิตน้ำเป็นจำนวนมาก

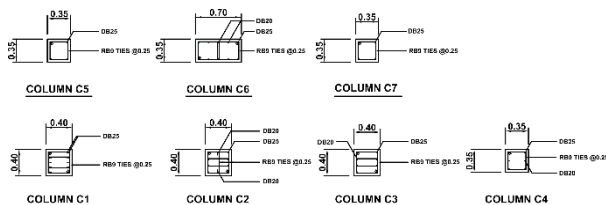
นอกจากนี้ถึงกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมดังกล่าวถูกออกแบบและใช้งานตั้งแต่ก่อนการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมแผ่นดินไหวของประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่แห่งกรุงเทพฯ ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนอยู่ห่างจากรอยเลื่อนที่ยังมีพลัง ซึ่งแอ่งพื้นที่ดังกล่าวสามารถขยายคลื่นทำให้เกิดความรุนแรงในการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีความสำคัญ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวต่อถึงกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลม

ถึงกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมที่ทำการศึกษานี้ ใช้ถึงกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลมดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ระบบพิกัดแบบ Cylindrical ดังดังกล่าวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 58.00 เมตร ผนังมีความสูง 5.4 เมตร มีความหนา 0.35 เมตร บรรจุเหลวที่ระดับสูง 4.80 เมตร ด้านบนของถึงมีทางเดินขนาดความกว้าง 1.00 เมตร หนา 0.12 เมตร



รูปที่ 1 ภาพตัดของถึงกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลม

เสาของถึงกักเก็บของเหลวแบ่งออกเป็น 7 ขนาด ที่มีขนาดหรือการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันไป ได้แก่ เสา C1 ขนาด 0.40X0.40 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 20 เส้น เสา C2 ขนาด 0.40X0.40 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 8 เส้น และเหล็กเสริม DB20 จำนวน 2 เส้น เสา C3 ขนาด 0.40X0.40 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 4 เส้น และเหล็กเสริม DB20 จำนวน 4 เส้น เสา C4 ขนาด 0.35X0.35 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 4 เส้น และเหล็กเสริม DB20 จำนวน 2 เส้น เสา C5 ขนาด 0.35X0.35 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 4 เส้น เสา C6 ขนาด 0.70X0.35 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 4 เส้น และเหล็กเสริม DB20 จำนวน 6 เส้น และเสา C7 ขนาด 0.35X0.35 เมตร เสริมแรงด้วยเหล็กเสริม DB25 จำนวน 4 เส้น ดังแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 รายละเอียดของเสา C1 C2 C3 C4 C5 C6 และ C7

2. หลักการและทฤษฎีที่ใช้วิจัย

2.1 สมการการเคลื่อนที่ (Equation of Motion)

วิธีการวิเคราะห์แบบประวัติเวลานั้น เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ละขั้นตอนการตอบสนองทางพลศาสตร์ของโครงสร้างต่อลักษณะเฉพาะของการกระตุ้นซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละเวลา และการวิเคราะห์แบบประวัติเวลานั้นสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น แต่ในการวิเคราะห์นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น โดยมีสมการการเคลื่อนที่ดังนี้ [1]

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -p_{eff}(t) \quad (1)$$

โดย m คือมวล

c คือความหน่วง

k คือค่าความแข็งของโครงสร้าง

p_{eff} คือแรงแผ่นดินไหวประสิทธิผล

2.2 Eulerian Method

ในปัจจุบันการหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ สำหรับการไหลของของเหลวสามารถใช้สมการของ Eulerian เพื่อพิจารณาในจุดที่ต้องการในแต่ละจุดซึ่งค่าที่ใช้ในการพิจารณานั้น ได้แก่ ค่าความเค้น (Stress) ค่าความเครียด (Strain) หรือค่าความเร็ว โดยของเหลวที่พิจารณานี้เป็นของเหลวทั่วไป ที่มีคุณสมบัติของไหลแบบนิวโทเนียน (Newtonian fluid) และสมการที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อหาค่าต่าง ๆ นั้น ได้แก่ สมการเชิงอนุพันธ์มวล สมการเชิงอนุพันธ์โมเมนตัม และสมการเชิงอนุพันธ์พลังงาน โดยจัดอยู่ในรูปดังต่อไปนี้ [2]

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(pv_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(pv_i)}{\partial t} + \frac{\partial(pv_iv_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho f_i \quad (3)$$

$$\frac{\partial(pe)}{\partial t} + \frac{\partial(pv_ie)}{\partial x_i} = \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right)^2 \right] - p \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \rho q \quad (4)$$

โดย P คือแรงดัน

P คือค่าความหนาแน่นของของเหลว

e คือค่าพลังงานภายใน

f คือแรงภายนอก

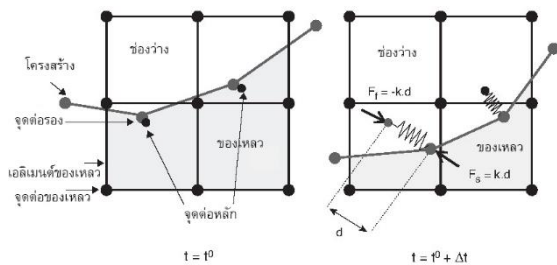
q คือปริมาณฟลักซ์ความร้อน

v คือการเคลื่อนที่ในแนวแกน

- i คือแนวแกน x
- j คือแนวแกน y
- z คือแนวแกน z -
- k คือค่าการนำความร้อน
- t คือเวลา

2.3 Eulerian-Lagrangian Coupling (CEL)

ในการพิจารณาปัญหา Euler-Lagrange coupling เราจะกำหนดให้ของเหลวอยู่ในรูปแบบของ Eulerian โดยจุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์จะอยู่กับที่ ในส่วนของโครงสร้างจะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ Lagrangian โดยใช้วิธีการพิจารณาการคู่ควบกันระหว่างสมการ Eulerian กับ Lagrangian ซึ่งเรียกว่า Arbitrary Lagrangian Eulerian วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในการพิจารณาปัญหาที่เกี่ยวกับการถ่ายแรงระหว่างของเหลวกับโครงสร้าง เนื่องจากในอดีตปัญหาจากการพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายแรงระหว่างของเหลวกับโครงสร้างนั้นจะทำให้เกิดการเสียรูปที่ส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของเอลิเมนต์ ซึ่งเกิดเนื่องจากการกำหนดให้พฤติกรรมของของเหลวเป็นแบบ Lagrangian [3]



รูปที่ 3 แผนภาพการ Coupling กันระหว่างของเหลวกับโครงสร้าง
(Mhamed Souli, David J. Benson 2010)

Penalty Coupling ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาในการถ่ายแรงระหว่างของเหลวกับโครงสร้าง ซึ่งจะใช้การถ่ายแรงแบบ Penalty Coupling ซึ่งจะพิจารณาเปรียบเสมือนระบบสปริง โดยแรงที่ส่งถ่ายนั้นสามารถคำนวณได้จากสัดส่วนระยะห่างที่เกิดขึ้นระหว่างเอลิเมนต์ของโครงสร้างและเอลิเมนต์ของของเหลว โดยส่วนบนของสปริงนั้นจะยึดติดกับเอลิเมนต์ของโครงสร้างหรือเอลิเมนต์รอง (Slave Node) ส่วนล่างของสปริงนั้นจะยึดติดกับเอลิเมนต์ของของเหลวหรือเอลิเมนต์หลัก (Master Node) ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่ k คือค่าของสติฟเนสของสปริงและ d คือระยะระหว่าง Node ของโครงสร้างกับ Node ของของเหลว แรง F กระทำที่ Node ของของเหลวและโครงสร้าง แต่กระทำในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้เกิดสมดุลของแรง ซึ่งแรงดังกล่าวเป็นแรงที่ถ่ายสู่เอลิเมนต์ของโครงสร้าง

โดย k คือค่าของสติฟเนสของสปริง

d คือระยะระหว่าง Node ของโครงสร้างกับ Node ของของเหลว

2.4 การจำลองในโปรแกรม

จากสมการเชิงอนุพันธ์พลังงานที่ได้มาจากกฎข้อแรกของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในก้อนมวลมีค่าเท่ากับปริมาณพลັกซ์ความร้อนที่ให้แก่มวลรวมกับอัตราของงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงต่าง ๆ ที่กระทำบนก้อนมวล เมื่อไม่พิจารณาพจน์ของการนำความร้อน สมการเชิงอนุพันธ์พลังงานสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\rho \frac{\partial E_m}{\partial t} = (p - p_{bv}) \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + s : \dot{\epsilon} + \rho \dot{Q} \quad (5)$$

โดย E_m คือพลังงานภายใน

$\dot{\epsilon}$ คือค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากอัตราการเครียด

p คือ Pressure Stress

p_{bv} คือ Pressure Stress (Bulk Viscosity)

ρ คือค่าความหนาแน่นของของเหลว

s คือ เทนเซอร์ของแรงเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress Tensor)

\dot{Q} คือปริมาณพลັกซ์ความร้อน

สมการสถานะ (Equation of State) ถูกนำมาใช้โดยแรงดันจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของแรงดันในช่วงปัจจุบัน (p) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในก้อนมวล (E_m)

$$p = f(p, E_m) \quad (6)$$

Mie-Gruneisen Equation of State ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของ Eulerian โดยทั่วไปจะถูกจัดอยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$p = p_H \left(1 - \frac{\Gamma_0 \eta}{2} \right) + \Gamma_0 \rho_0 E_m \quad (7)$$

โดย Γ_0 คือค่าคงที่ของวัสดุ

p_H คือแรงดัน Hugoniot

η คือการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ρ_0 คือแรงดันของของเหลวในขณะเริ่มต้น

Linear $U_s - U_p$ Hugoniot โดยทั่วไปแล้วจะถูกใช้ในการจำลองคลื่นกระแทก (Shock Wave) ของของแข็งแต่ในการศึกษานี้ถูกนำมาปรับใช้กับของเหลว โดยทั่วไปจะอยู่ในสมการดังต่อไปนี้

$$p_H = \frac{\rho_0 c_0^2 \eta}{(1 - s\eta)^2} \quad (8)$$

โดย c_0 คือค่าความเร็วของคลื่นในของเหลว

s คือค่าคงที่ของวัสดุ

p_H คือแรงดัน Hugoniot

เมื่อนำสมการดังกล่าวไปแทนค่าในสมการ Mie-Grüneisen Equation of State เมื่อการจำลองของเหลวเป็นน้ำโดยค่าของ Γ_0 และ s มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$p = \rho_0 c_0^2 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (9)$$

สมการดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณหาแรงดัน และพลังงานโดยใช้วิธีแบบชัดแจ้ง (Explicit Method)

2.5 วิธีแบบชัดแจ้ง (Explicit Method)

ในวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการหาค่าต่าง ๆ ใน Eulerian นั้น โปรแกรมจะใช้วิธีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในแต่ละขั้นโดยใช้วิธีแบบชัดแจ้ง (Explicit Method) ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลการคำนวณที่ลู่เข้า (Convergence) เมื่อค่าผลต่างของเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Time Step) มีค่าน้อยกว่าค่าของขนาดของเอลิเมนต์ที่เล็กที่สุดหารด้วยค่าความเร็วของเสียงในแต่ละวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

วิธีผลต่างแบบตรงกลาง (Central Difference Method) ถูกนำมาใช้ในการประมาณการเพื่อหาค่าของสมการเชิงอนุพันธ์ในแต่ละช่วงเวลาดังนี้ [4]

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{f(t + (1/2)\Delta t) - f(t - (1/2)\Delta t)}{\Delta t} \quad (10)$$

2.6 ทฤษฎีพลศาสตร์ของไหลสำหรับ Tuned Liquid Damper

ความถี่ธรรมชาติของถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมที่มีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ ด้านยาวที่อยู่ในทิศทางที่สนใจ a โดยที่อัตราส่วนระหว่างความสูงของน้ำต่อความยาวต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 เพื่อให้มวลของน้ำในส่วที่ไม่สั่นไหวมีมากเกินไป (Dead Mass) ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [5]

$$f_t = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{a} \pi \tanh\left(\frac{\pi h}{a}\right)} \quad (11)$$

โดย f_t คือความถี่ธรรมชาติของมวลน้ำ (Hz)

g คือค่าความเร่งของแรงโน้มถ่วง

h คือความยาวของมวลน้ำในทิศทางการสั่น

a คือความลึกของน้ำ

มวลน้ำที่ใช้นั้นจะมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ โดยมวลน้ำประสิทธิภาพนั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\psi_R = \frac{\beta_R^2}{\alpha_R} = \frac{(2a / h\pi^2)^2}{a / (2\pi \tanh(\pi h / a))} \quad (12)$$

$$M_{eff} = \psi_R M_0 \quad (13)$$

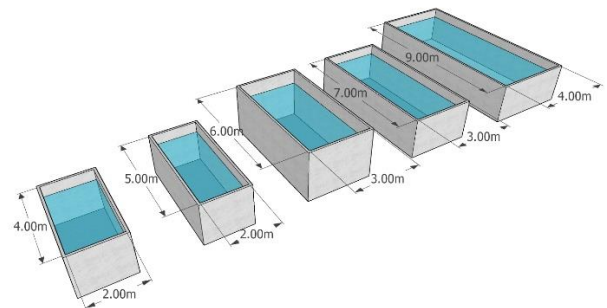
โดย M_{eff} คือมวลประสิทธิภาพของน้ำ

M_0 คือมวลของน้ำ

ψ_R คือค่าประสิทธิภาพของมวลน้ำ

3. การสอบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองด้วยการวิเคราะห์กับค่าที่ได้จากการคำนวณค่าตัวแปรที่เหมาะสมของ Tuned Liquid Damper

ในการเปรียบเทียบนี้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขกับค่าที่ได้จากการคำนวณค่าตัวแปรที่เหมาะสมของ Tuned Liquid Damper โดยคำนวณแบบทีละขั้น (Step by Step) ในการศึกษานี้จะทำการสอบเทียบโดยใช้แบบจำลองจำนวน 5 ตัวอย่าง ดังแสดงตามรูปที่ 4 เพื่อให้มั่นใจว่าการใช้งานโดยโปรแกรมนั้นมีความถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์กับการใช้งานอื่น ๆ ต่อไป



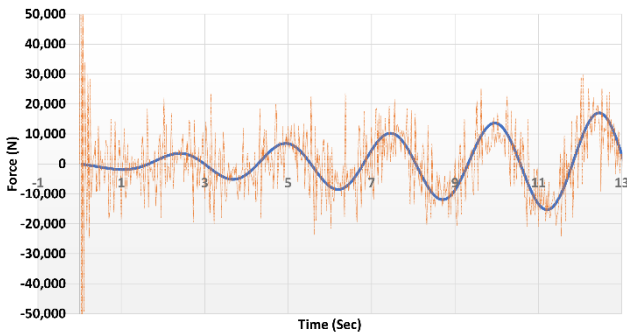
รูปที่ 4 ขนาดของถังหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยในถังแต่ละขนาดนั้นทำการกระตุ้นด้วยคลื่นการสั่นสะเทือนที่มีความถี่แตกต่างกันไป ซึ่งคลื่นดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของมวลน้ำดังแสดงตามตารางที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (11)

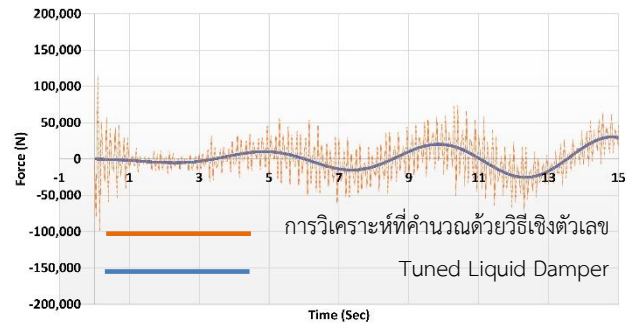
ตารางที่ 1 มิติของถังหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและค่าความถี่ธรรมชาติ

ลำดับที่	ขนาดถัง (เมตร)		ความลึกน้ำ (เมตร)	ความถี่ธรรมชาติ (Hz)
	กว้าง	ยาว		
1	2	4	1.5	0.40
2	2	5	1.5	0.34
3	3	6	1.8	0.31
4	3	7	1.5	0.26
5	4	9	1.5	0.20

ค่าที่ได้นั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบทีละขั้น (Step by Step) ซึ่งค่าดังกล่าวที่ได้มานั้นจะมีค่าความถี่ในโหมดที่สูงอยู่ด้วย ดังแสดงตามรูปที่ 5 ก-จ



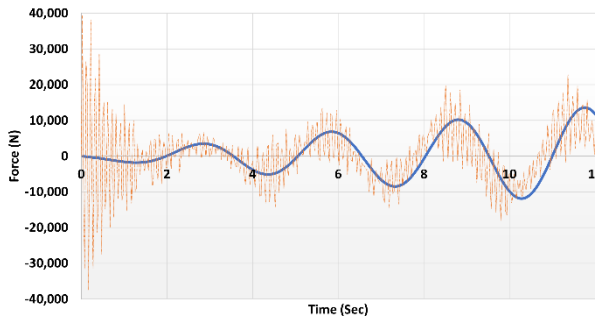
(ก)



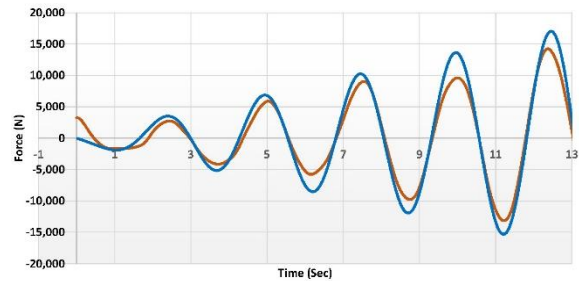
(จ)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบแรงที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณ
(ก) 0.40Hz (ข) 0.34Hz (ค) 0.31Hz (ง) 0.26Hz (จ) 0.20Hz

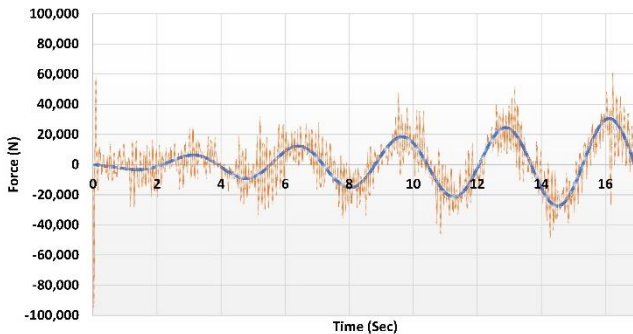
เมื่อกรองค่าความถี่ในโหมดที่สูงออกเพื่อทำการเปรียบเทียบ จะพบว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าที่สอดคล้องกันเป็นไปตามรูปที่ 6 ก-จ ซึ่งค่าที่ได้จากรีโมเดลนั้น สามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อหาแรงกระทำเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวได้



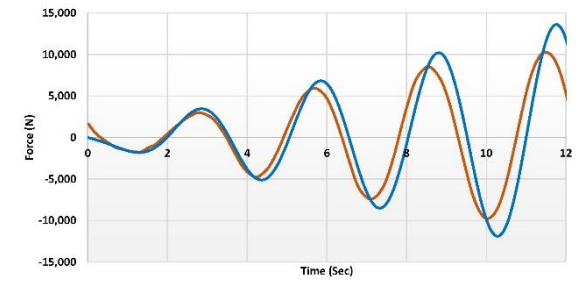
(ข)



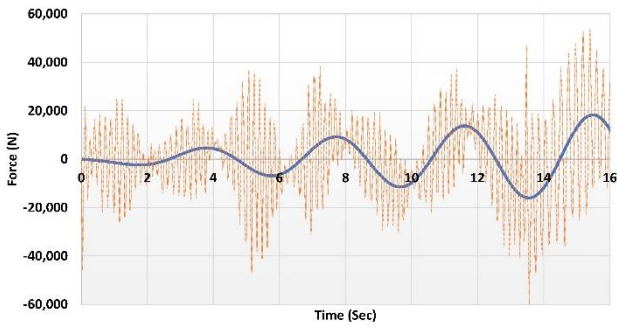
(ก)



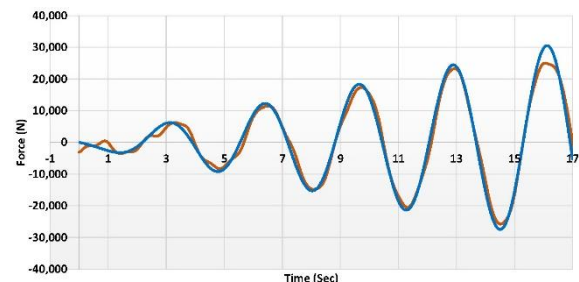
(ค)



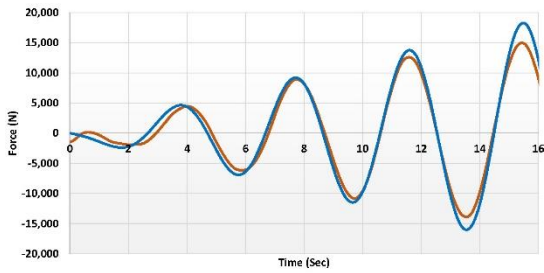
(ข)



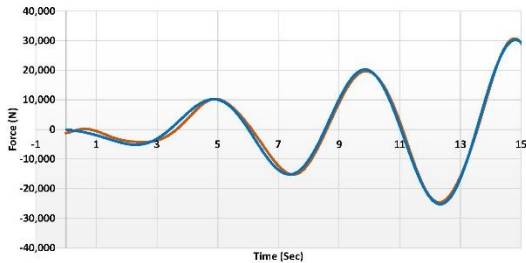
(ง)



(ค)



(ง)



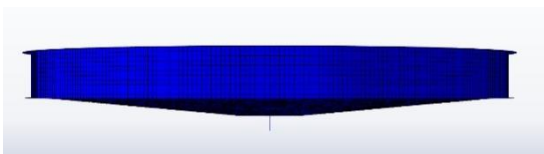
(จ)

การวิเคราะห์ที่คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลข
Tuned Liquid Damper

รูปที่ 6 เปรียบเทียบแรงที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณเมื่อรองความถี่สูงแล้ว
(ก) 0.40Hz (ข) 0.34Hz (ค) 0.31Hz (ง) 0.26Hz (จ) 0.20Hz

4. การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมที่คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขที่ได้ทำการสอบเทียบแล้วเพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระเพื่อมของของเหลว (Sloshing) โดยสามารถนำหลักการเดียวกันกับการสอบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองตามหัวข้อที่ 3 การจำลองของถังหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและถังหน้าตัดรูปวงกลมนั้นมีหลักการที่เหมือนกันสามารถนำมาใช้ได้โดยตรง และเพื่อเป็นการลดเวลาและทรัพยากรในการคำนวณ จึงกำหนดคุณสมบัติของเสาให้มีสตีพเนสเทียบเท่ากับโครงสร้างจริง ซึ่งสามารถหาได้จากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างทั่วไปดังแสดงตามรูปที่ 7

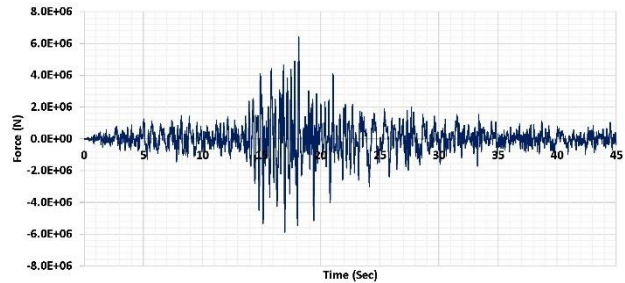


รูปที่ 7 การจำลองถังกักเก็บของเหลวหน้าตัดรูปวงกลม

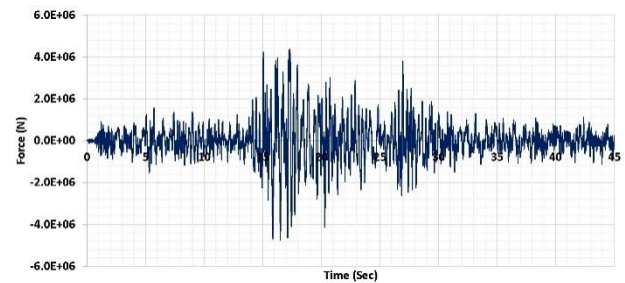
เนื่องจากการวิเคราะห์นี้ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีประวัติเวลา ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (Ground Acceleration Time History) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61) ในพื้นที่โซน 5 โดยใช้ตัวอย่างข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวน 9 ชุด และใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่คาบการสั่นของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที จำนวน 3 ชุด 0.5 วินาที จำนวน 3 ชุด และ

3.0 วินาที อีก 3 ชุด [6] ที่ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่คาบการเกิดซ้ำ 475 ปี ซึ่งแต่ละชุดประกอบด้วยคู่ความเร่งของพื้นในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกันเป็นไป

โดยค่าที่ได้มากที่สุดจากการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาที่ฐาน (Support) ได้จากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่คาบการสั่นของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที ชุด EQ3 และ EQ4 ดังแสดงตามรูปที่ 8



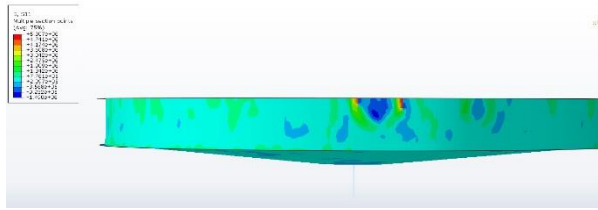
(ก)



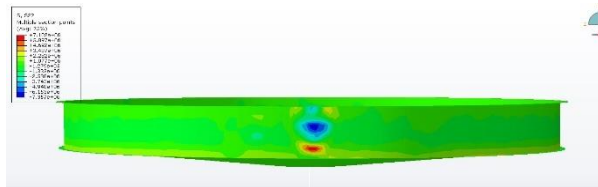
(ข)

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์แบบประวัติเวลาจากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่คาบการสั่นของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที (ก) ชุด EQ3 (ข) ชุด EQ4

และได้ค่าของแรงสูงสุดตามแนวเส้นรอบวงและตามแนวตั้งฉากรอบวงตามรูปที่ 8 และตารางที่ 2

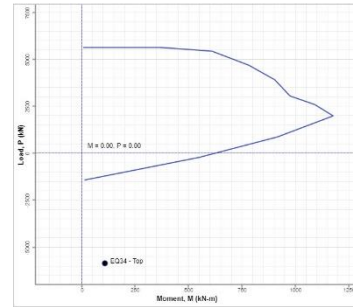


(ก)



(ข)

รูปที่ 8 แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ผนังของถังกักเก็บของเหลว
(ก) แนวเส้นรอบวง (ข) แนวตั้งฉากรอบวง



รูปที่ 9 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกน
กับโมเมนต์ดัดของผนัง เนื่องจากแรงตามแนวตั้งฉากรอบวง

5. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เป็นกรนำเสนอแนวทางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาแรงอันเกิดขึ้นเนื่องจากการกระเพื่อมของของเหลว (Sloshing) ซึ่งแรงดังกล่าวจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวได้

จากการศึกษาจะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขที่ได้จากการสอบเทียบค่าจากถังหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมซึ่งกระตุ้นด้วยความถี่ที่สอดคล้องความถี่ธรรมชาติทั้ง 5 ตัวอย่าง ได้แก่ที่ ความถี่ 0.40 Hz 0.34 Hz 0.31 Hz 0.26 Hz และ 0.20 Hz โดยค่าที่ได้ดังกล่าวนั้นเมื่อรองความถี่สูงออกจะได้ค่าที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณค่าตัวแปรที่เหมาะสมของ Tuned Liquid Damper โดยคำนวณแบบทีละขั้น (Step by Step) ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีความถูกต้องและเหมาะสมซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการกระเพื่อมของของเหลวได้ (Sloshing)

เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวต่อถังกักเก็บหน้าตัดรูปวงกลมพบว่า แรงที่เกิดขึ้นที่ผนังจากซึ่งเป็นแรงตามแนวตั้งฉากรอบวงนั้นมีค่าที่มากกว่าความสามารถในการรับแรงขององค์อาคารดังกล่าวได้ และเกิดขึ้นที่บริเวณเหนือจากฐานของของกักเก็บของเหลว ซึ่งสอดคล้องกับความเสียหายที่เกิดกับถังกักเก็บก๊าซเหลวอันเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือนขนาด 7.1 ตามมาตราริกเตอร์ [7]

ดังนั้นเพื่อให้ถังกักเก็บของเหลวสามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับปรุงเพื่อให้ถังดังกล่าวสามารถต้านทานแรงที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งการปรับปรุงนั้นมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การเสริมแรงด้วยไฟเบอร์ หรือการติดตั้ง Tube Settle เพื่อใช้ในการสลายพลังงานจากการกระเพื่อมของของเหลวก็สามารถทำได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศ.ดร.นคร ภู่วโรดม อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้แนวทางในการทำงานวิจัย นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ ดร.จิรวรรณ จันทร์เรือง ที่ให้แนวทางในการเริ่มงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 ค่าแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ผนังของถังกักเก็บของเหลว

	แรงดึง (kN)	แรงดัด (kN.m)
แนวเส้นรอบวง	2,257	54
แนวตั้งฉากเส้นรอบวง	5,841	106

นำค่าแรงสูงสุดที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร โดยนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม SAP2000 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม SAP2000 ให้ค่าที่เกิดขึ้นดังแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจำลองโครงสร้างในโครงสร้างเสาแต่ละขนาด

เสา	แรงสูงสุดจากคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่ ค่าการสั่นของอาคารเท่ากับ 0.2 วินาที (EQ3 และ EQ4)				
	แรงอัด (kN)	แรงเฉือน 2-2 (kN)	แรงเฉือน 3-3 (kN)	โมเมนต์ 2-2 (kN.m)	โมเมนต์ 3-3 (kN.m)
C1	452	4.5	4.45	8.93	9.03
C2	499	6.09	6.02	10.90	11.02
C3	557	8.44	8.39	13.55	13.63
C4	473	6.70	6.77	9.84	9.83
C5	473	6.70	6.77	9.84	9.83
C6	1,149	24.10	81.88	97.62	28.73
C7	641	16.15	16.28	17.36	17.42

ทำการประเมินกำลังต้านทานของเสาจาก Interaction Diagram เพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงขององค์อาคารว่ามีความสามารถเพียงพอหรือไม่ ซึ่งพบว่าผนังของถังกักเก็บของเหลวมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อที่จะมีความสามารถในการรับแรงจากการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวได้ ดังแสดงตามรูปที่ 9

เอกสารอ้างอิง

- [1] ANIL K. CHOPRA (2012). *Dynamic of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering Forth Edition*, Prentice Hall, Inc., pp.514-568
- [2] Mohammad Hossein Taghizadeh Valdi., Mohammad Reza Atrechian., Ata Jafary Shalkoohy. and Elham Chavoshi. (2018). Numerical Investigation of Water Entry Problem of Pounders with Different Geometric Shapes and Drop Heights for Dynamic Compaction of the Seabed. *Hindawi Geofluids Volume 2018, Article ID 5980386*, 18 pages
- [3] Mhamed Souli. and Davis J. Venson. (2010). *Arbitrary Lagrangian-Eulerian and Fluid-Structure Interaction Numerical Simulation*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 59-71
- [4] H. Forouzani, B. Saranjam, R. Kamali, and A. Abdollahi-far (2016). Elasto-plastic Time Dependent Impact Analysis of High Speed Projectile on Water Surface, *Journal of Solid and Fluid Mechanics*, vol. 3, pp. 281–298.
- [5] พัฒน์ศิริ ใจก้าวหน้า และ วิโรจน์ บุญญภิญโญ (2563). ผลตอบสนองต่อแรงลมของอาคารหน้าตัดรูปวงกลมและวิธีลดผลตอบสนอง โดยใช้มวลน้ำหนักปรับค่าและมวลน้ำหนักปรับค่า. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25,ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563*, หน้า STR04-01-STR04-10
- [6] มยพ.1301/1302-61(2561) *มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว*, กรมโยธาธิการและผังเมือง.
- [7] Rosario Dotoli., Daniela Lisi. and Danilo Bardaro. (2007). Sloshing response of a lng storage tank subject to seismic loading, Gothenburg, 2007, pp.173-179