ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล

DYNAMIC RESPONSE OF BHUMIBOL DAM

พิสิฐ หอมเกสร
PISIT HOMKESORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-090-144

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล

DYNAMIC RESPONSE OF BHUMIBOL DAM

พิสิฐ หอมเกษร

PISIT HOMKESORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 79827
วัน,เดือน,ปี 18 เม.ย. 2551

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL – 2007 – EN – M – 090 - 144

DYNAMIC RESPONSE OF BHUMIBOL DAM

PISIT HOMKESORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL – 2007 – EN – M – 090 - 144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล

Dynamic Response of Bhumibol Dam

นักศึกษา นายพิสิฐ หอมเกษร

รหัสประจำตัว 48061503

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สกุล	ห่อวโนทยาน	
ผศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ผศ.ศักดิ์ชัย	สกานุพงษ์	
ผศ.ดร.ปิติ	สุคนธสุขกุล	
รศ.ดร.ศรีกริช	หิรัญมาศ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 12 ธันวาคม 2550 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....**เดือน**.....**พ.ศ**.....

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล
นักศึกษา	นายพิสิฐ หอมเกษร
รหัสประจำตัว	48061503
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ

บทคัดย่อ

การก่อสร้างเขื่อนโดยทั่วไปจะหลีกเลี่ยงการก่อสร้างเขื่อนใกล้บริเวณรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก จากการสำรวจรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณีพบว่า มีหลายเขื่อนในประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกซึ่งน้ำหนักของน้ำในเขื่อนจะเพิ่มพลังงานความเครียดให้กับแผ่นเปลือกโลก และเป็นการกระตุ้นให้เกิดแผ่นดินไหว ในการศึกษานี้ใช้เขื่อนภูมิพลซึ่งอยู่ใกล้รอยเลื่อนเมยเป็นกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างเขื่อนภูมิพลภายใต้การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกร่วมกับมวลของน้ำที่เคลื่อนตัวกระทำกับเขื่อนด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ เพื่อทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างเขื่อนภูมิพลขณะเกิดแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Dynamic Response of Bhumibol dam
Student	Mr. Pisit Homkesorn
Student ID.	48061503
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sikrit Hiranmas

ABSTRACT

The selection of location for the construction of a dam will generally try to avoid areas of plate tectonic (fault) boundaries. The study by the Department of Mineral Resources, however, reveals that there are a couple of dams in Thailand located in the forbidden areas. The weight of water stored in the dam reservoir tends to increase the strain energy in plate tectonic boundaries which can trigger earthquake. This research chose Bhumibol dam located on the Moei fault as a case study. Utilizing the ground motion wave propagation data gathered from the location with similar soil condition as the Bhumibol dam together with the effects of dam-water interaction, this research will simulate the dynamic response of Bhumibol dam under earthquake using the finite element method of analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณทศพร เนตยานุวัฒน์ กองวิศวกรรมธรณีเทคนิค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลใช้ทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิสิฐ หอมเกษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมติฐานการศึกษา.....1

1.4 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานในการวิจัย.....3

2.1 การวิเคราะห์ทางสถิตย์.....3

2.2 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์.....3

2.3 ผลจากการรวมมวลของน้ำ.....4

2.4 ผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหว.....6

2.5 การวิเคราะห์ตามเวลาที่เปลี่ยนไป.....7

2.6 การวิเคราะห์สเปคตรัมตอบสนอง.....8

2.7 แรงตอบสนองของการสั่นสะเทือน.....8

บทที่ 3 การจำลองโครงสร้างเขื่อนภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหว.....14

3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....14

3.2 การจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล.....15

3.3 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย.....18

3.4 คุณสมบัติวัสดุ.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5 ความยาวของมวลน้ำที่ใช้จำลอง.....20

3.6 ค่าคงตัวสำหรับอิลิเมนต์จุดต่อ (Parameters for Joint Elements) 23

บทที่ 4 ผลตอบสนองของเขื่อนภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหว.....24

4.1 การเคลื่อนที่ของสันเขื่อน.....24

4.2 ผลของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในตัวเขื่อน.....27

บทที่ 5 สรุปผล.....30

บรรณานุกรม.....31

ภาคผนวก.....32

ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้จำลอง: ADAP-88.....34

ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ป้อนสำหรับการจำลองเขื่อนภูมิพล.....40

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....74

ประวัติผู้เขียน.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อน หลังเกิดแผ่นดินไหว.....24

4.2 แสดงหน่วยแรง σ_{xx} ที่เกิดขึ้นที่รูปตัด ก-ก.....28

4.3 แสดงหน่วยแรง σ_{yy} ที่เกิดขึ้นที่รูปตัด ก-ก.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงตำแหน่งของเครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือนที่สันเขื่อน	11
2.2	ภาพแสดงเครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือน	13
3.1	การติดตั้งเครื่องมือวัดในภาคสนามของเขื่อน Xiang hong dian	14
3.2	รูปแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดในภาคสนามและ ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมADAP ของเขื่อน Xiang hong dian ในประเทศจีน	15
3.3	รูปแสดงระยะเคลื่อนตัวของสันเขื่อน Xian hong dian	16
3.4	แสดงรายละเอียดของระบบอิลิเมนต์	17
3.5	แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพล	18
3.6	แปลนโครงสร้างเขื่อนภูมิพล	18
3.7	อัตราเร่งของมวลดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศจีน เมื่อปี 1997	19
3.8	แสดงผลจากมวลน้ำในกรณีทั่วๆไป	20
3.9	แสดงผลจากมวลน้ำในทุกกรณี	21
3.10	แสดงความถี่ของการสั่นไหวโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของน้ำในเขื่อน	21
3.11	แสดงการจำลองมวลน้ำภายในเขื่อน	22
3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและระยะขจัดสัมพัทธ์สำหรับอิลิเมนต์จุดต่อ สำหรับ i=1, 2, 3	23
4.1	ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 1	25
4.2	ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 2	25
4.3	ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 3	26
4.4	ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 4	26
4.5	ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 5	27
4.6	แสดงทิศทางของหน่วยแรงที่รูปตัด ก-ก	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยตั้งอยู่บนพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง แต่ในบางจังหวัดประเทศไทยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในระดับปานกลางจนถึงค่อนข้างสูง โดยเฉพาะจังหวัดที่มีชายแดนติดกับประเทศพม่า อีกทั้งการสำรวจรอยเลื่อนในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณีพบว่า มีหลายเขื่อนในประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก และตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนเมย

เนื่องจากเขื่อนภูมิพล ตั้งอยู่ใกล้กับรอยเลื่อนเมย อีกทั้งจังหวัดตากยังเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหวในระดับปานกลางจนถึงค่อนข้างสูง จึงทำให้เกิดความไม่มั่นใจในความปลอดภัยของเขื่อนภูมิพลเมื่อเกิดแผ่นดินไหว การศึกษาเรื่องดังกล่าวนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มุ่งหวังเพื่อศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างเขื่อนภูมิพล ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวจำลอง ซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นที่บริเวณเขื่อนภูมิพล ซึ่งจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลโดยใช้วิธีไฟไนอิลิเมนต์ ซึ่งสามารถทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างเขื่อนภูมิพลขณะเกิดแผ่นดินไหว

1.3 สมมติฐานการศึกษา

การที่เขื่อนภูมิพลตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนเมยและอยู่ในบริเวณที่คาดว่าจะเกิดแผ่นดินไหวในระดับปานกลางจนถึงค่อนข้างสูง ทำให้ต้องมีการศึกษาพฤติกรรมของเขื่อนภายใต้เหตุแผ่นดินไหว แต่เนื่องจากแผ่นดินไหวในระดับรุนแรงในบริเวณเขื่อนภูมิพลมีคาบการเกิดซ้ำนานมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในภาคตะวันตกของรัฐวอชิงตันมาใช้ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีลักษณะดินใกล้เคียงกับบริเวณเขื่อนภูมิพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์จะใช้โปรแกรม ADAP-88 ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ปรับปรุงชุดคำสั่งของโปรแกรมจากเมนเฟรม (Main Frame) ให้สามารถใช้งานบนคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้

การจำลองจุดต่อของโครงสร้างเขื่อนใช้ระบบ Three-centered arch dam ซึ่งจากการศึกษาของศูนย์วิจัยวิศวกรรมแผ่นดินไหวของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอเนียในเมืองเบิร์คเลย์พบว่า การจำลองจุดต่อโดยวิธีดังกล่าวให้ค่าผลการวิเคราะห์ไม่ต่างจากระบบที่มีจุดต่อจำนวนมาก

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศจีนที่เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1997 โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองด้วยโปรแกรม ADAP-88 เพื่อศึกษาพฤติกรรมเขื่อนภูมิพลขณะเกิดแผ่นดินไหว

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 4 กล่าวถึงผลจากการจำลองโครงสร้างเขื่อนภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหว

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์ทางสถิตย์ (Static analysis)

การวิเคราะห์ทางสถิตย์ สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการสมดุลทางสถิตย์

$$KU = R \tag{2.1}$$

เมื่อ K คือ เมตริกซ์ของค่าสติฟเนสในระบบโครงสร้างเขื่อน – ฐานราก (dam-foundation system)

U คือ เวกเตอร์ของระยะขจัด (Displacements)

R คือ เวกเตอร์ของแรงที่กระทำบนโหนด (nodal point)

สำหรับเขื่อนภูมิพล เวกเตอร์ของแรงที่กระทำมาจากการรวมกันระหว่างน้ำหนักโน้มถ่วง (gravity load) และแรงดันน้ำทางสถิต (hydrostatic pressure) เท่านั้น

ผลจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิต ระยะขจัดของระบบโครงสร้าง (Global displacements) สามารถคำนวณค่าได้จากสมการ (1) โดยใช้วิธีเก๊าเซียนอิลิมิเนชั่น (Gaussian elimination)

2.2 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (Dynamic analysis)

พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของระบบโครงสร้าง เขื่อน – น้ำ – ฐานราก (dam – reservoir-foundation system) สามารถคำนวณได้จาก ระบบสมการเคลื่อนที่ (system equation of Motion) ซึ่งมาจากสมดุลทางพลศาสตร์ซึ่งมีค่าเท่ากับสมการ (2.1) แต่มีการเพิ่มผลจากแรงทางพลศาสตร์และความหน่วงเข้าไปด้วย มีค่าดังสมการ

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = R(t) \tag{2.2}$$

เมื่อ M คือ เมตริกซ์ของมวลในระบบ เขื่อน – น้ำ – ฐานราก (dam – reservoir – foundation system)

C คือ เมตริกซ์ของความหน่วง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{U}$ คือ เวกเตอร์ของความเร็วบนโหนด (nodal velocity)

$\ddot{U}$ คือ เวกเตอร์ของความเร่ง

การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของเขื่อนจะนำผลจากมวลของน้ำในเขื่อนรวมกับมวลของเขื่อนคอนกรีต โดยที่ไม่ได้รวมมวลของฐานรากหิน (Foundation rock) เข้าไปด้วยในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์นี้เราจะตั้งสมมุติฐานว่ามวลของรากหินมีค่าน้อยมาก

2.3 ผลจากการรวมมวลของน้ำ

จากการศึกษาของศูนย์วิจัยวิศวกรรมแผ่นดินไหวของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนียในเมืองเบิร์คเลย์ได้มีการจำลองพลศาสตร์ของแรงดันน้ำให้อยู่ในรูปของรูปของสมการคลื่น ดังสมการ 2.3

$$\nabla^2 P(x,y,z,t) = \frac{1}{c^2} P(x,y,z,t) \qquad (2.3)$$

เมื่อ C คือ ความเร็วของเสียงในน้ำ

P คือ แรงดันน้ำทางพลศาสตร์

เมื่อพิจารณาถึงเงื่อนไขขอบแรงดันน้ำ สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.4

$$\frac{\partial P}{\partial n_s} = -\rho \ddot{U}^t_{ns} \qquad (2.4)$$

เมื่อ n_s คือ ขอบของผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับตัวเขื่อน

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

$\ddot{U}^t_{ns}$ คือ ความเร่งของน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับตัวเขื่อน

จากหลักการของกาเลอกิ้น (Galerkin) สมการที่ 2.3 สามารถเขียนได้เป็นสมการ 2.5

$$\int_v N^T \left(\nabla^2 \bar{P}\right) dv = 0 \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N คือ เวกเตอร์ของฟังก์ชันน้ำหนัก

$\bar{P}$ คือ ค่าประมาณของการกระจายแรงดันน้ำ

V คือ ปริมาตรของน้ำในเขื่อน

การกระจายของแรงดันน้ำจะใช้หลักการไฟไนอิลิเมนต์ หากพิจารณาถึงอิลิเมนต์ของน้ำในเขื่อน การกระจายแรงดันน้ำในอิลิเมนต์มีค่าเท่ากับ แรงดันที่โหนด (Nodal pressure) คูณด้วยฟังก์ชันของค่าประมาณ (interpolation function) ตามสมการ 2.6

$$\overline{\mathrm{P}}^{(e)} = N^{(e)}\mathrm{P}^{(e)} \tag{2.6}$$

เมื่อ $\overline{\mathrm{P}}^{(e)}$ คือ ค่าประมาณของแรงดันน้ำในอิลิเมนต์

$N^{(e)}$ คือ ฟังก์ชันของค่าประมาณ (interpolation function) ในอิลิเมนต์

$P^{(e)}$ คือ ค่าแรงดันน้ำที่โหนด (nodal pressure)

นำสมการที่ 2.6 แทนค่าลงในสมการที่ 2.5 จากนั้นแก้สมการออกมาจะได้ดังสมการที่ 2.7

$$g_s \mathrm{P}_s = \rho h_s \bigcup_s' \tag{2.7}$$

เมื่อ P_s คือ เวกเตอร์ของแรงดันที่โหนด

g_s, h_s คือ ค่าเมตริกซ์จากความสัมพันธ์ของอิลิเมนต์

$\bigcup_s'$ คือ เวกเตอร์ของความเร่งของโหนดที่ผิวสัมพันธ์ระหว่างเขื่อนกับน้ำ

ดังนั้นค่าแรงดันที่ผิวสัมผัสจะมีค่าตามสมการที่ 2.8

$$P_s = \rho g_s^{-1} h_s \bigcup_s' \tag{2.8}$$

จากสมการที่ 2.8 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแรงที่โหนดได้ตามสมการที่ 2.9

$$f_s = m_a \bigcup_s' \tag{2.9}$$

โดยที่ $m_a = \rho h_s' g^{-1} h_s$ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ m_a คือ มวลที่เพิ่ม (added mass) ซึ่งเกิดจากน้ำในเขื่อนทำให้เกิดความเร่งที่ผิวสัมผัสของเขื่อน

การวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายคือการรวมกันระหว่าง มวลที่เพิ่ม(added mass) และมวลของเขื่อน ซึ่งการรวมกันของมวลใช้วิธีสติฟเนสโดยตรง (direct Stiffness assembly) ดังสมการที่ 2.11

$$M = m + m_a \qquad (2.11)$$

เมื่อ M คือมวลรวม

m คือมวลของเขื่อน

m_a คือมวลที่เพิ่ม (added mass)

2.4 การวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหว (Earthquake Response Analysis)

ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวของระบบโครงสร้าง เขื่อน-น้ำ-ฐานราก จะไม่มีแรงภายนอกกระทำต่อระบบโครงสร้างโดยตรง อย่างไรก็ตามผลจากแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว จะถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยความเร่งของการสั่นไหวของที่ฐานเขื่อน ในกรณีเวกเตอร์ของระยะขจัด (displacement vector) จากการสั่นไหวของเขื่อน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฐานเขื่อน (ขอบเขตภายนอกของแบบจำลองของอิลิเมนต์ฐานราก) ซึ่งผลจากแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวสามารถเขียนได้ตามสมการที่ 2.12

$$R_{eff}(t) = \underline{M}\ \underline{r}\ \underline{\ddot{U}}_g(t) \qquad (2.12)$$

เมื่อ R_{eff} คือ แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

$\underline{M}$ คือ มวลรวมในหัวข้อ 2.3

$\underline{r}$ คือ เมตริกซ์สัมประสิทธิ์โดยที่หนึ่งหลักจะประกอบด้วยระยะขจัดรวมของเขื่อน ซึ่งทำได้จากระยะขจัดหนึ่งหน่วยที่ฐานเขื่อน

$\underline{\ddot{U}}_g$ คือ ความเร่งของการสั่นไหวที่ฐานเขื่อน

ในโปรแกรม ADAP (Arch Dam Analysis Program) ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์วิจัยวิศวกรรมแผ่นดินไหว (EERC) ของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย ที่เมืองเบิร์คเลย์ เราสามารถป้อนข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว ได้ทั้ง 3 แกน (Three global axes) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\underline{\ddot{U}}_g(t) = < \underline{\ddot{U}}_{gx}(t)\ \ \underline{\ddot{U}}_{gy}(t)\ \ \underline{\ddot{U}}_{gz}(t) > T \qquad (2.13)$$

โดยที่ $\underline{r}$ เป็นเมตริกซ์ที่มีค่า 3 หลัก (three columns matrix) ดังสมการที่ 2.14

$$r = [\underline{r}_x \underline{r}_y \underline{r}_z] \tag{2.14}$$

ผลของแรงจากเนื่องจากแผ่นดินไหวในแต่ละโหมด (modal earthquake foece) สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.15

$$P_n^{(t)} = \underline{\phi}_n^t R_{eff}(t) = -\underline{\alpha}_n \ddot{\underline{U}}_g(t) \tag{2.15}$$

โดยที่ สัมประสิทธิ์ในแต่ละโหมดของเหตุการณ์แผ่นดินไหว α_n มีค่าดังสมการ 2.16

$$\underline{\alpha}_n = +\underline{\phi}_n^T \underline{Mr} \tag{2.16}$$

2.5 การวิเคราะห์ตามเวลาที่เปลี่ยนไป (Time History Analysis)

โปรแกรม ADAP สามารถคำนวณผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหวได้ 2 วิธี คือ วิเคราะห์ตามเวลาที่เปลี่ยนไป และวิธีสเปกตรัมตอบสนอง (response spectrum method)

สำหรับการวิเคราะห์ตามเวลาที่เปลี่ยนไป เป็นการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลความเร่งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวไปใช้โดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะนำข้อมูลมาจากราฟบันทึกแผ่นดินไหว (seismograph record) จากเหตุการณ์ แผ่นดินไหวที่ตรวจจัดได้ ในกรณีผลจากแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวในแต่ละโหมด มีค่าดังสมการที่ 2.15 ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว และผลตอบสนองในแต่ละโหมด (modal response) มีค่าดังสมการที่ 2.17

$$Y_n + 2\varepsilon_n Y_n + \omega_n^2 Y_n = \frac{P_n^{(t)}}{M_n} \tag{2.17}$$

เมื่อ ε_n คือ อัตราส่วนความหน่วงในแต่ละโหมด

M_n คือ มวลในแต่ละโหมดซึ่งมีค่าดังสมการ 2.18

$P_n^{(t)}$ คือ แรงในแต่ละโหมดซึ่งมีค่าดังสมการ 2.19

Y_n คือผลตอบสนองในแต่ละโหมดซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_n = \underline{\phi}_n^t \underline{M} \underline{\phi}_n \tag{2.18}$$

$$P_n^{(t)} = \phi_n^{(t)} \underline{R(t)} \tag{2.19}$$

โดยมีค่าผลตอบสนองโดยรวม (total response) มีค่าดังสมการที่ 2.20

$$\underline{U}(t) = \sum_{n=1}^{M} \phi_n Y_n(t) = \phi Y(t) \tag{2.20}$$

ในโปรแกรม ADAP ผลตอบสนองในแต่ละโหมดจะถูกคำนวณด้วยวิธีความเร่งเชิงเส้นแบบค่าต่อค่า(Step by step method) และค่าผลตอบสนองโดยรวม สามารถคำนวณได้จากหลักการวางซ้อน (Superposition method)

2.6 การวิเคราะห์สเปคตรัมตอบสนอง (Response Spectrum Analysis)

กระทำโดย การใส่ข้อมูล แผ่นดินไหว ซึ่งอยู่ในรูปแบบผลตอบสนองของระบบหนึ่งองศาอิสระ (Single degree of freedom System) ประกอบไปด้วยข้อมูลความเร่งจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งได้กล่าวไปแล้วจากสมการผลตอบสนองในแต่ละโหมด (สมการ 2.17) สำหรับสมการ 2.15 เป็นการคำนวณแรงในแต่ละโหมดอย่างง่าย ซึ่งคำนวณมาจากความเร่งของแผ่นดินไหว ในทิศทางเดียว ดังนั้นสมการผลตอบสนอง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังสมการที่ 2.21

$$Y_n(t) = \frac{\alpha_n}{M_n \omega_n} V(t) \tag{2.21}$$

โดยที่ฟังก์ชั่นผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหว (Earthquake response function, V(t) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ โดยใช้หลักการของดูราเมล อินทิกรัล (Duhamel integral) ดังสมการที่ 2.22

$$V_n^{(t)} = \int_0^t U_g(t) e^{-\varepsilon\omega} n^{(t-\tau)} \sin \omega_n (t-\tau) d\tau \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมตอบสนองของความเร็วเสมือน (pseudo-velocity response spectrum, s_{vn}) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหว คือค่าสูงสุดของฟังก์ชันผลตอบสนอง ซึ่งสามารถใช้ได้ในทุกช่วงเวลาของ

เหตุการณ์แผ่นดินไหวซึ่ง $s_{vn} = V_n(max)$ จากสมาการที่ 2.21 เราสามารถหาค่าผลตอบสนองสูงสุดในโหมดที่ n ได้ดังสมการ ที่ 2.23

$$Y_n(max) = \frac{\alpha_n}{M_n \omega_n} s_{vn} \tag{2.23}$$

ระยะขจัดสูงสุดในโหมดที่ n เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์ในแต่ละโหมด (mode shape vector, ϕ_n) ดังสมการที่ 2.24

$$\underline{U}_n^{(max)} = \underline{\phi}_n \underline{Y}_n^{(max)} \tag{2.24}$$

เนื่องจากค่าผลตอบสนองสูงสุดซึ่งอยู่ในรูปของโหมดไม่สามารถคำนวณได้ที่เวลาเดียวกัน ดังนั้นเราจึงไม่สามารถหาค่าผลตอบสนองสูงสุดโดยใช้หลักการวางซ้อนอย่างง่ายได้ (สมการ 2.20) เราจึงนำหลักการความน่าจะเป็นมาใช้วิธีการรวมค่าสูงสุดในแต่ละโหมดเรียกว่า วิธี (Complete Quadratic Combination method, CQC) จากสมการที่ 2.24 เราสามารถหาค่าระยะขจัดสูงสุดของโหมดได้ โดยเขียนให้อยู่ในรูปสมการอย่างง่ายดังสมการที่ 2.25

$$\underline{U}^{(max)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M} \underline{U}_i^{(max)} Q_{ij} \underline{U}_J^{(max)}} \tag{2.25}$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ Q_{ij} มีค่าดังสมการที่ 2.26

$$Q_{ij} = \frac{8\varepsilon^2(1+s)s^{3/2}}{(1-s^2)+4\varepsilon^2(1+s)^2 s} \tag{2.26}$$

เมื่อ ε คือ อัตราส่วนความหน่วงในแต่ละโหมด (สมมุติให้ทุกโหมดมีค่าเท่ากัน)

S คือ อัตราส่วนความถี่ของโหมดที่ j และ i , $S = W_j / W_i$

เราสามารถหาค่าของหน่วยแรง $\sigma(t)$ ได้ จากระยะขจัดของโหนดที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma(t) = \underline{E}\underline{U}(t) \tag{2.27}$$

ค่าหน่วยแรงสูงสุดในแต่ละโหมด มีค่าดังสมการ 2.28

$$\underline{\sigma}_n^{(\max)} = \underline{E}\underline{U}_n^{(\max)} \tag{2.28}$$

จากวิธีการ CQC ซึ่งใช้ประมาณค่าผลรวมของค่าสูงสุดในทุกโหมดดังสมการ 2.29

$$\underline{\sigma}_n^{(\max)} = \sqrt{\sum_i \sum_j \underline{\sigma}_i^{(\max)} Q_{ij} \underline{\sigma}_j^{(\max)}} \tag{2.29}$$

หากค่าผลตอบสนองสูงสุดอยู่ในทิศทาง X, Y, Z เราสามารถหาค่าผลรวมสูงสุดโดยประมาณได้ดังสมการ 2.30

$$\underline{U}^{(\max)} = \sqrt{\left(\underline{U}_x^{(\max)}\right)^2 + \left(\underline{U}_y^{(\max)}\right)^2 + \left(\underline{U}_z^{(\max)}\right)^2} \tag{2.30}$$

2.7 แรงตอบสนองของการสั่นสะเทือน (Forced Vibration Response)

สำหรับแรงพลศาสตร์,R(t) ในสมการการสั่นไหว(สมการ 2.2) เราจะนำสมการของการเคลื่อนที่แบบฮาโมนิคมาใช้กระทำที่โหนดของแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ ดังสมการ 2.31

$$R(t) = F \sin \omega t \tag{2.31}$$

เมื่อ F คือ เวกเตอร์ของแรงฮาร์โมนิค

ω คือ ความถี่

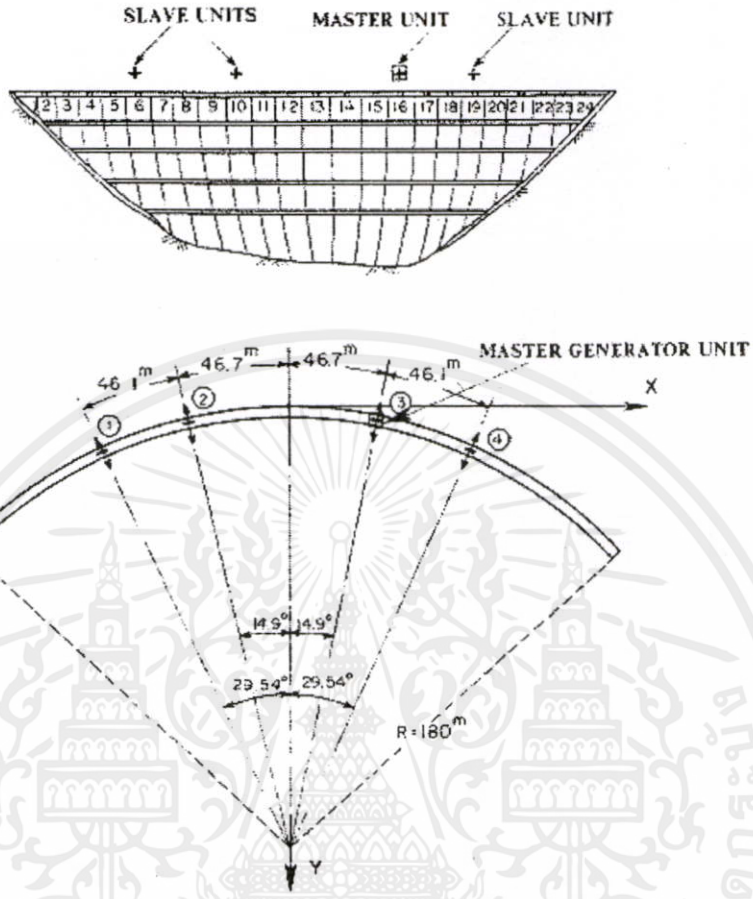
ได้มีการลงทุนติดตั้งเครื่องมือวัดแรงเนื่องจากการสั่นสะเทือนไว้ที่สันเขื่อนเพื่อทำการตรวจวัดผลตอบสนองของแรงฮาร์โมนิคที่สันเขื่อน แรงจากเครื่องมือวัดมีค่าดังสมการที่ 2.32

$$\mathrm{R(t)} = \mathrm{M_e\ r\ \omega^2 \sin \omega t} \tag{2.32}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_e คือ มวลเยื้องศูนย์ (eccentric mass) ของเครื่องมือวัด

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของเครื่องมือวัด



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งของเครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือนที่สันเขื่อน

ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของเขื่อน Xiang Hong dian ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.1 ซึ่งมีการติดตั้งบนสันเขื่อนจำนวน 4 ตำแหน่ง ดังนั้นจะมีแรง 4 แรงกระทำเท่าๆกันใน ทิศทาง x และ y ดังนั้นจึงสามารถเขียนแรงทางพลศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2.33

$$R(t) = < f_{1x} f_{1y} f_{2x} f_{2y} f_{3x} f_{3y} f_{4x} f_{4y} >^{T} M_e \, r \, \omega^2 \sin \omega t \qquad (2.33)$$

เมื่อ f_{px}, f_{py} คือ แรงหมุนตัวหนึ่งหน่วย(unit radial load) ในทิศทาง x และ y กระทำที่ ตำแหน่ง p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเขียนสมการ 2.33 ให้อยู่ในรูปได้ดังสมการที่ 2.34

$$P_n(t) = P_{n0} \sin \omega t \tag{2.34}$$

โดยที่

$$P_{n0} = \sum_{p=1}^{4} [\phi_{npx} f_{px} + \phi_{npy} f_{py}] M_e \, r \, \omega^2 \tag{2.35}$$

ผลตอบสนองในแต่ละโหมดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิคสามารถคำนวณค่าผลเฉลยของสมการได้จากสมการการเคลื่อนที่ในแต่ละโหมด(สมการ 2.17) ซึ่งผลเฉลยของสมการจะมีค่าดังสมการที่ 2.36

$$Y_n(t) = \frac{P_{n0}}{M_n \varpi_n^2} [\frac{(1-\beta_n^2)\sin \omega t - 2\xi_n \beta_n \cos \omega t}{(1-\beta_n^2)^2 + (2\xi_n \beta_n)^2}] \tag{2.36}$$

เมื่อ $\beta_n = \dfrac{\omega}{\omega_n}$

หากพิจารณาเพียง 3 โหมด สมการที่ 2.36 สามารถเขียนได้เป็นสมการ 2.37

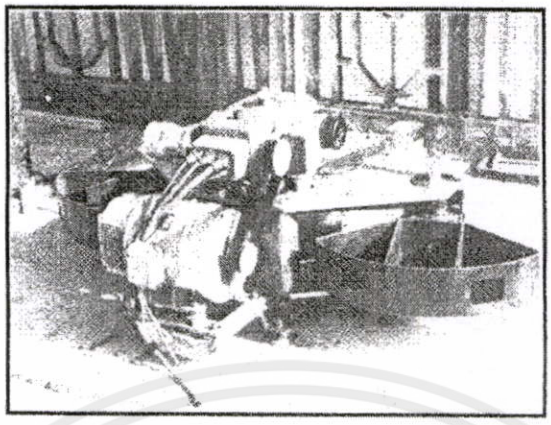
$$Y_i(t) = \frac{P_{i0}}{M_i \varpi_i^2} [\frac{(1-\beta_i^2)\sin \omega t - 2\xi_i \beta_i \cos \omega t}{(1-\beta_i^2)^2 + (2\xi_i \beta_i)^2}] \tag{2.37}$$

เมื่อ $i = n-1, n, n+1$

สำหรับแอมพริจูดของผลตอบสนองของความถี่ในโหมดที่ n สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการวางซ้อนของ 3 โหมด ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของรากที่สองของผลรวมกำลังสองที่อยู่ในรูปไซน์ และโคไซน์ ดังสมการ 2.38

$$U_n(t) = \sqrt{\left[\sum_{i=n-1}^{n+1} \phi_i A_i\right]^2 + \left[\sum_{i=n-1}^{n+1} \phi_i B_i\right]^2} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงเครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือน

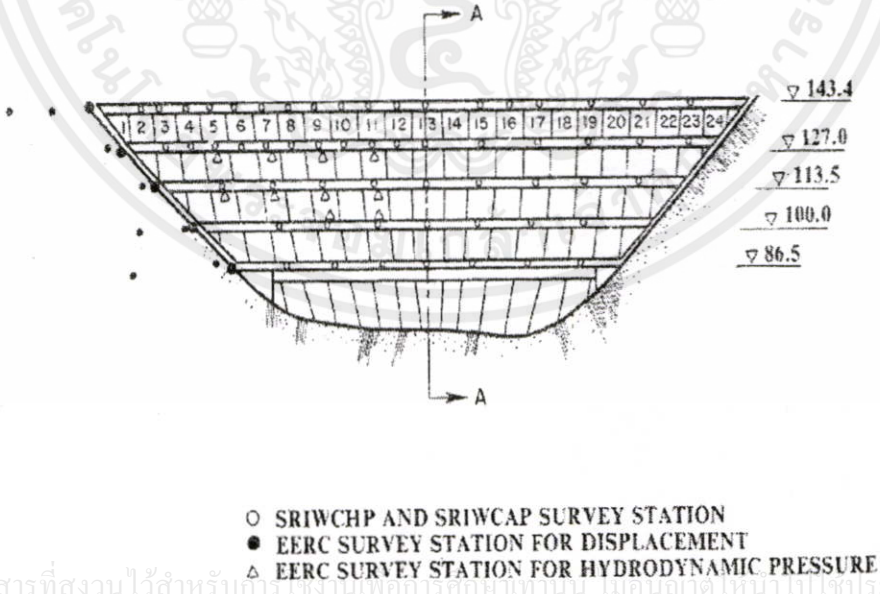
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การจำลองโครงสร้างเขื่อนภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหว

3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลอง และผลตอบสนองของเขื่อน Xiang hong dian

เนื่องจากยังไม่มีรายงานการพังทลายของเขื่อนคอนกรีตโค้งในเหตุแผ่นดินไหว จึงได้เริ่มมีการทำวิจัยด้านนี้ในปี 1982 ในหัวข้อ Interaction Effects in the Seismic Response of Arch Dams ภายใต้ความร่วมมือระหว่างประเทศ สหรัฐ-จีน ซึ่งการดำเนินการวิจัยดำเนินการโดย EERC ของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย และ SRIWCAP ของมหาวิทยาลัย Tsinghua จึงได้มีการลงทุนสร้างเครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือนของ 2 เขื่อนโค้งในประเทศจีนโดยเป็น Single curvature 1 เขื่อน และ Double curvature 1 เขื่อน และได้มีการนำเสนอใน 4 หัวข้อ คือ การลงทุนการทดลอง , การศึกษาการวิเคราะห์ , ความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองกับผลการวิเคราะห์ , พฤติกรรมผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหว

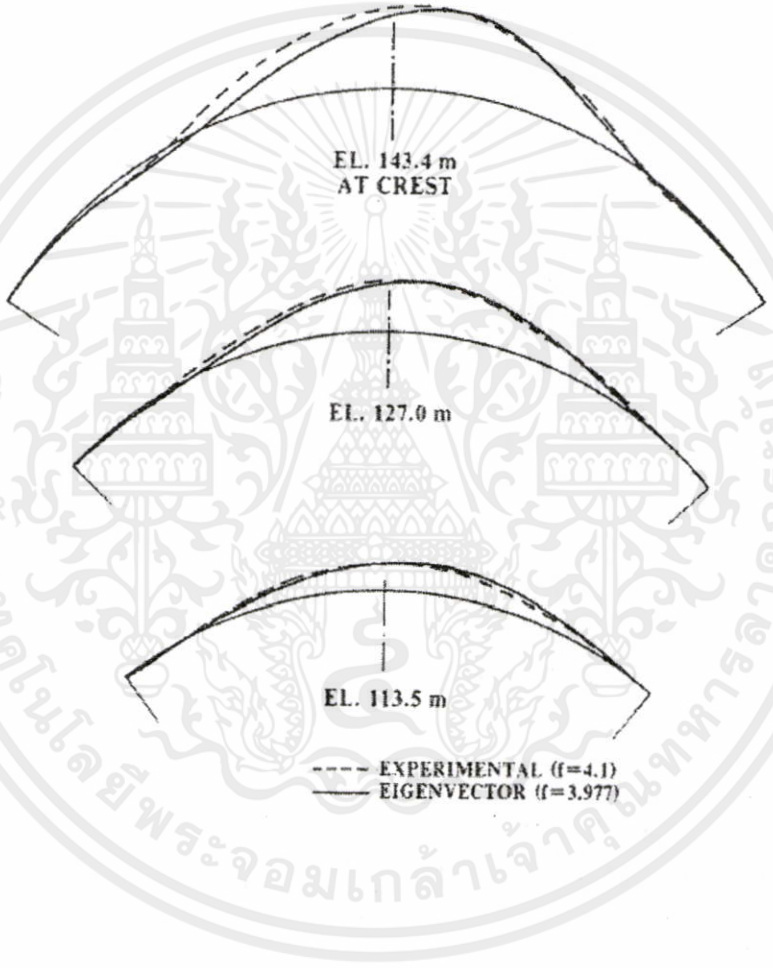
ได้มีการวิจัยประสิทธิภาพของการทำนายการวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหวเปรียบเทียบกับ เครื่องมือตรวจวัดภาคสนามของเขื่อน สำหรับการวิเคราะห์จะใช้หลักการไฟไนอิลิเมนท์โดยได้เริ่มต้นทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ADAP ซึ่งเป็นโปรแกรมใช้วิเคราะห์ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนคอนกรีตโค้ง ซึ่งเขียนโดย EERC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

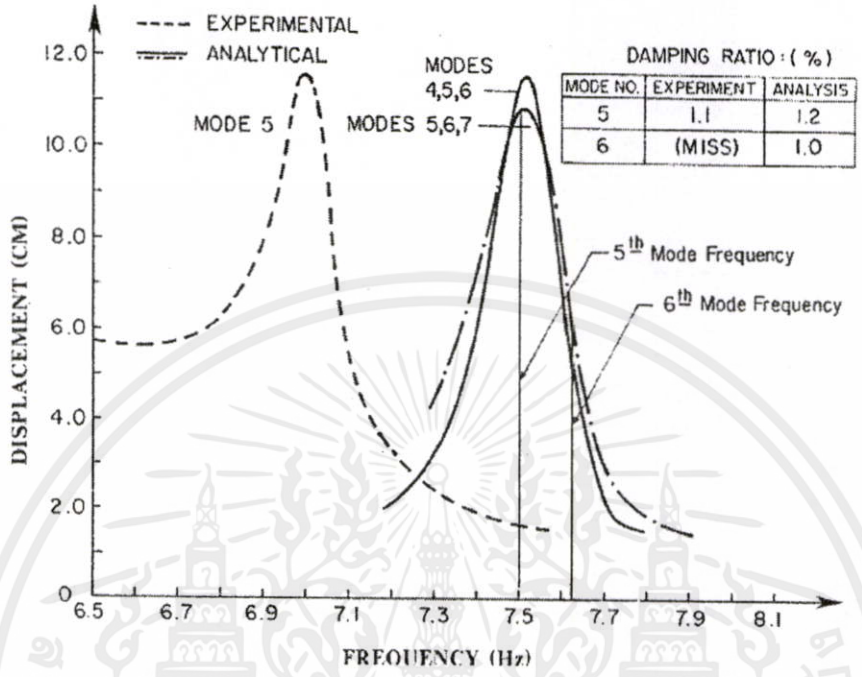
รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดในภาคสนามของเขื่อน Xiang hong dian

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม ADAP กับเครื่องมือวัดในภาคสนาม พบว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมให้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดในภาคสนามมาก วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำโปรแกรม ADAP-88 มาใช้จำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ และได้ปรับปรุงชุดคำสั่งของโปรแกรมจาก Main Frame ให้สามารถใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้



รูปที่ 3.2 รูปแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดในภาคสนามและ ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมADAP ของเขื่อน Xiang hong dian ในประเทศจีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงระยะเคลื่อนตัวของสันเขื่อน Xiang hong dian ในประเทศจีน

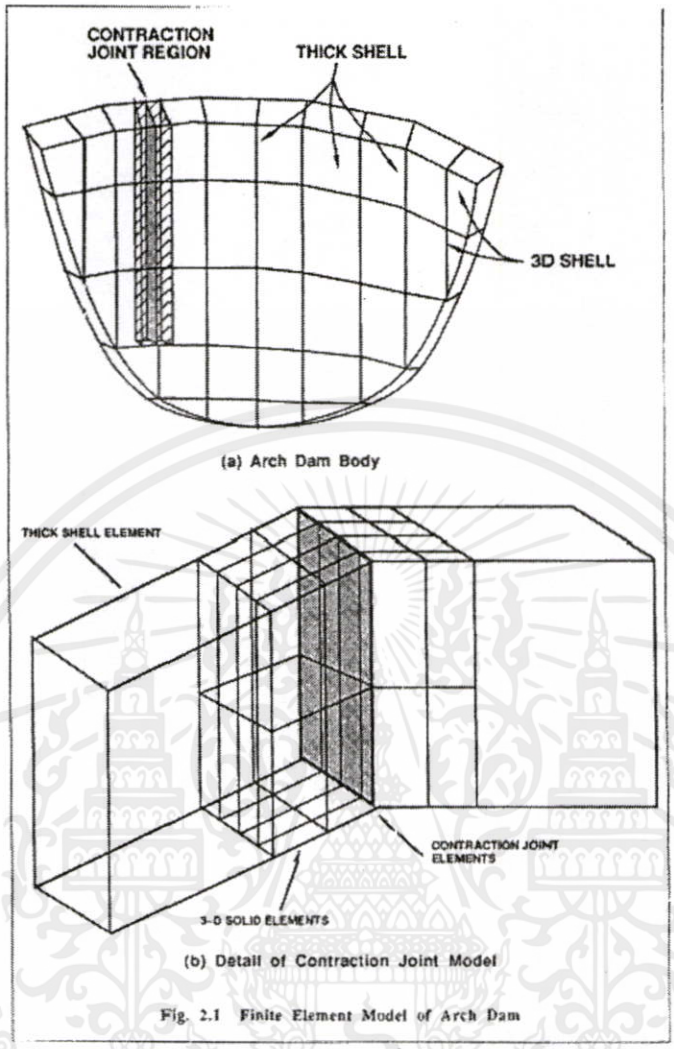
จากการจำลองโครงสร้างเขื่อน Xiang hong dian ด้วยโปรแกรม ADAP โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวท้องถิ่น(Local Earthquake) คูณด้วยตัวคูณเพิ่มความรุนแรง(Amplification factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 พบว่าเขื่อนมีระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด 11.5 เซนติเมตร

3.2 การจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล

แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพลจะใช้อิลิเมนต์ประเภท thick shell สำหรับบริเวณฐานเขื่อนที่เป็นส่วนโค้งจะใช้อิลิเมนต์ประเภท 3D-shell สำหรับจุดต่อของโครงสร้างเขื่อนจะใช้ระบบ Three-centered arch dam ซึ่งจากการศึกษาของ EERC พบว่าการจำลองจุดต่อโครงสร้างเขื่อนโดยใช้ระบบ Three-centered arch dam ให้ค่าผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างจากระบบที่มีจุดต่อจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.4 ระบบการจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเขื่อนด้วยโปรแกรม ADAP-88

สำหรับอิลิเมนต์ประเภท 3D-shell จะเป็นระบบอิลิเมนต์ 16 โหนด และการคำนวณระยะขจัดจะใช้ระบบสมการกำลังสอง(Quadratic displacement) สำหรับอิลิเมนต์ประเภท thick shell การคำนวณจะคล้ายกับอิลิเมนต์ประเภท 3D-shell แต่จะลดรูปเหลือ 8 โหนดที่ผิวกลาง(eight mid-surface nodes)

เขื่อนภูมิพลเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ มีความสูง 154 เมตร ยาว 486 เมตร การจำลองโครงสร้างเขื่อนด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์จะใช้โปรแกรม ADAP-88

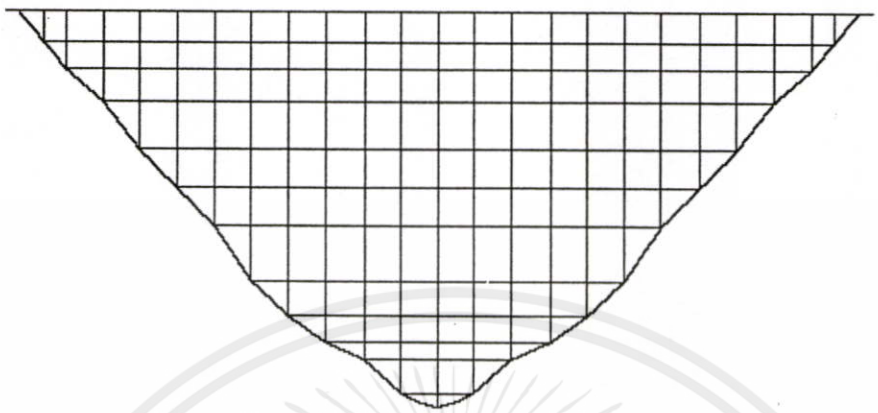
สำหรับแบบจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล ประกอบด้วยโหนดและอิลิเมนต์ดังนี้

จำนวนโหนดทั้งหมด	1988
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-solid	798
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-shell	17
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท thick shell	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

79827

จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-solid ของฐานราก 72



FINITE ELEMENT MESH FOR BHUMIBOL DAM

รูปที่ 3.5 แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพล

BHUMIBOL DAM PLAN

รูปที่ 3.6 แปลนโครงสร้างเขื่อนภูมิพล

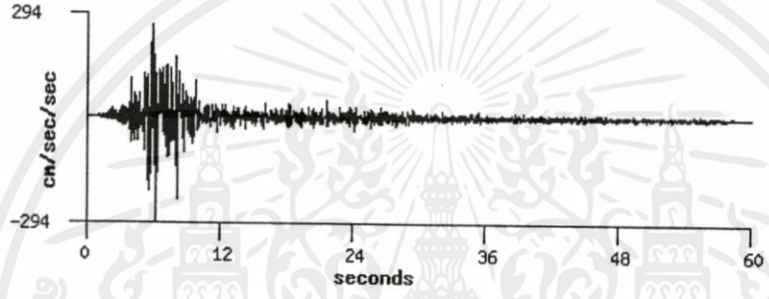
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว ได้ศึกษาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจาก กลุ่มสมาคมเฝ้าระวังเหตุการณ์แผ่นดินไหวในระดับรุนแรง (COSMOS: The Consortiums for Strong-Motion

Observation System) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนวิทยาศาสตร์แห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ดำเนินงานโดย ฝ่ายธรณีและเหมืองแร่ของรัฐแคลิฟอร์เนีย, หน่วยงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา, หน่วยงานฟื้นฟูของสหรัฐอเมริกา และหน่วยงานวิศวกรรมแห่งกองทัพบกของสหรัฐอเมริกา

จากการศึกษาข้อมูลอัตราเร่งของมวลดินในเหตุการณ์แผ่นดินไหวจาก COSMOS ผู้เขียนจึงได้เลือกใช้ข้อมูลที่อยู่ใกล้จังหวัดตากมากที่สุด คือข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศจีน ที่เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1997 ซึ่งมีขนาดความรุนแรง 6.1 ริกเตอร์



รูปที่ 3.7 อัตราเร่งของมวลดินของมวลดินจาดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศจีน เมื่อปี 1997

3.4 คุณสมบัติของวัสดุ

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ด้านแหล่งน้ำของจังหวัด Anhui (SRIWCAP)ในประเทศจีน[3] ได้แนะนำให้ใช้ค่าคุณสมบัติของวัสดุของเขื่อนคอนกรีตดังนี้

สำหรับผนังเขื่อนใช้ค่าดังนี้

อีลาสติกโมดูลัส (Es) $= 2 \times 10^9$ kg/m^2

โมดูลัสทางพลศาสตร์ (Ed) $= 4 \times 10^9$ kg/m^2

Poisson's ratio $= 0.2$

สำหรับฐานรากเขื่อนใช้ค่าดังนี้

อีลาสติกโมดูลัส (Es) $= 2.6 \times 10^9$ kg/m^2

โมดูลัสทางพลศาสตร์ (Ed) $= 2.6 \times 10^9$ kg/m^2

Poisson's ratio $= 0.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความยาวของมวลน้ำที่ใช้จำลอง

จากการศึกษาของศูนย์วิศวกรรมแผ่นดินไหวของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ผลจากของมวลน้ำในเขื่อน xiang hong dian ซึ่งตัวเขื่อนมีความยาวสันเขื่อน 361 เมตร และสูง 143 เมตร สำหรับผลจากของมวลน้ำในกรณีทั่วๆไปแสดงในรูปที่ 3.8 และ ผลจากของมวลน้ำในทุกกรณีแสดงในรูป 3.9 ซึ่งได้จำลองโดยใช้ความยาวของมวลน้ำ 300 เมตร

	Frequency (Hz)			
CASE	A	B	C	Experimental Forced Response Frequency
Basic Foundation	No	Yes	Yes	
Basic Reservoir	No	No	Yes	
Mode 1	4.80	4.50	4.06	4.1
Mode 2	5.06	4.76	4.46	4.3
Mode 3	5.84	5.55	5.32	5.1
Mode 4	6.67	6.39	6.24	6.0
Mode 5	8.08	7.73	7.69	7.0
Mode 6	9.02	8.68	7.84	-
Mode 7	10.00	8.98	8.72	8.2
Mode 8	11.61	10.12	9.16	9.5
Mode 9	11.81	11.02	10.32	-
Mode 10	12.56	11.25	11.06	10.8
Mode 11	13.14	12.35	12.20	12.5
Mode 12	13.82	12.45	12.32	14.1

รูปที่ 3.8 แสดงผลจากมวลน้ำในกรณีทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Frequency (Hz)			
CASE	1	2	3	4
Foundation Mesh	Rigid	Type 1	Type 2	Type 3
Mode 1	4.41	4.06	4.07	4.02
Mode 2	4.80	4.46	4.46	4.43
Mode 3	5.64	5.32	5.31	5.29
Mode 4	6.54	6.24	6.22	6.20
Mode 5	8.06	7.69	7.65	7.64
Mode 6	8.65	7.84	7.86	7.75
Mode 7	9.09	8.72	8.70	8.67
Mode 8	10.17	9.16	9.15	9.01
Mode 9	11.55	10.32	10.31	9.92
Mode 10	12.21	11.06	11.02	10.94
Mode 11	12.40	11.20	11.18	11.10
Mode 12	13.11	12.32	12.25	11.71

รูปที่ 3.9 แสดงผลจากมวลน้ำในทุกกรณี

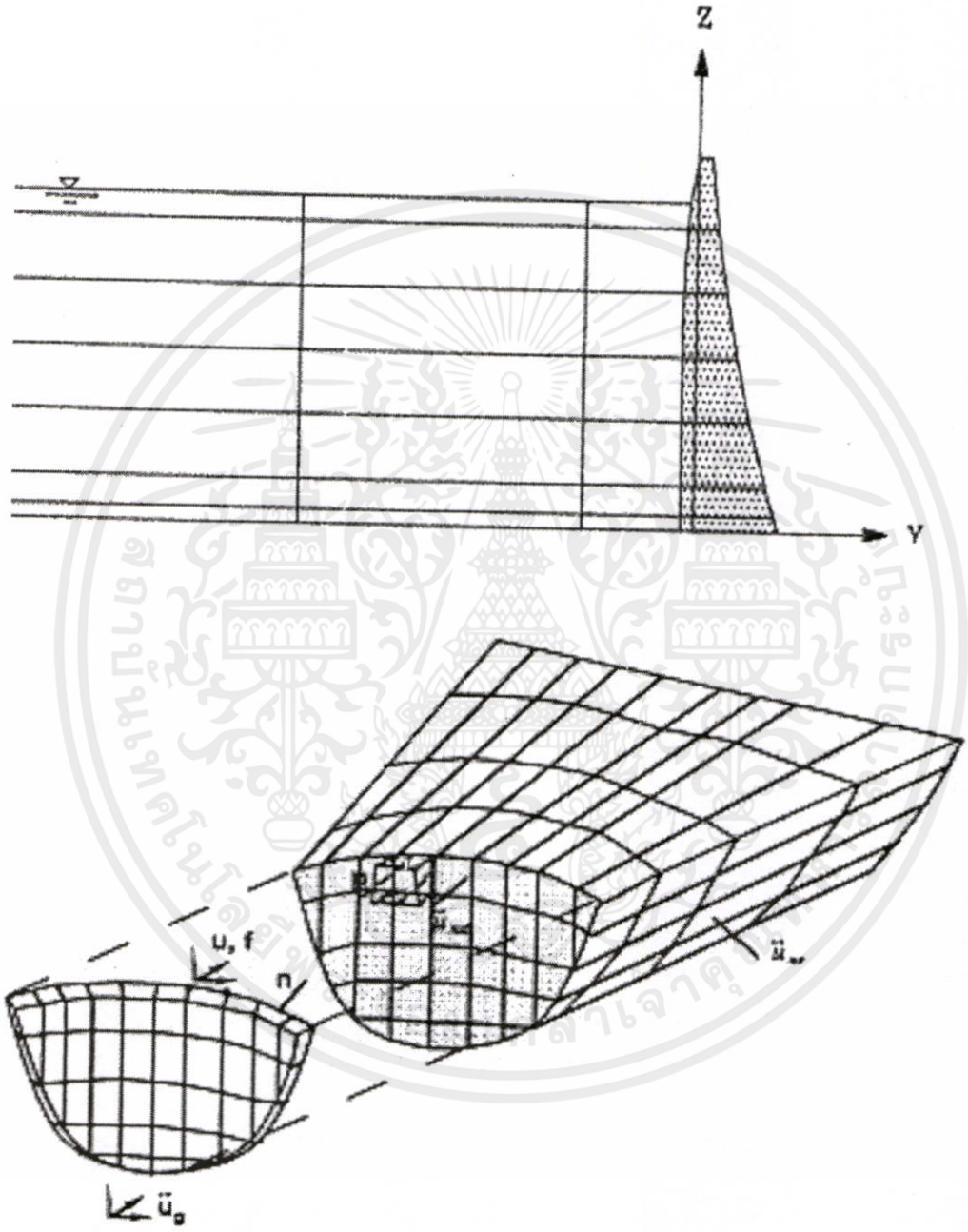
นอกจากนั้นได้มีการศึกษาความถี่ของการสั่นไหวโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของน้ำในเขื่อนจำนวน 6 ค่า ซึ่งได้แสดงไว้ในรูป 3.10

Mode	Reservoir Length (m)					
No.	L = 15	L = 65	L = 130	L = 300	L = 600	L = 700
1	2.841	3.233	3.242	3.262	3.262	3.262
2	3.411	3.577	3.596	3.606	3.606	3.606
3	4.178	4.255	4.332	4.342	4.342	4.342
4	5.083	5.122	5.237	5.266	5.266	5.266
5	6.523	6.553	6.632	6.750	6.750	6.750
6	6.525	7.049	7.137	7.156	7.156	7.156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงความถี่ของการสั่นไหวโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของน้ำในเขื่อน

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า เมื่อความยาวของมวลน้ำภายในเขื่อนมีค่ามากกว่า 300 เมตร ความถี่ของการสั่นไหวของเขื่อนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการจำลองโครงสร้างของเขื่อน xiang hong dian จะสมมุติให้ภายในเขื่อนมีมวลน้ำยาว 300 เมตร



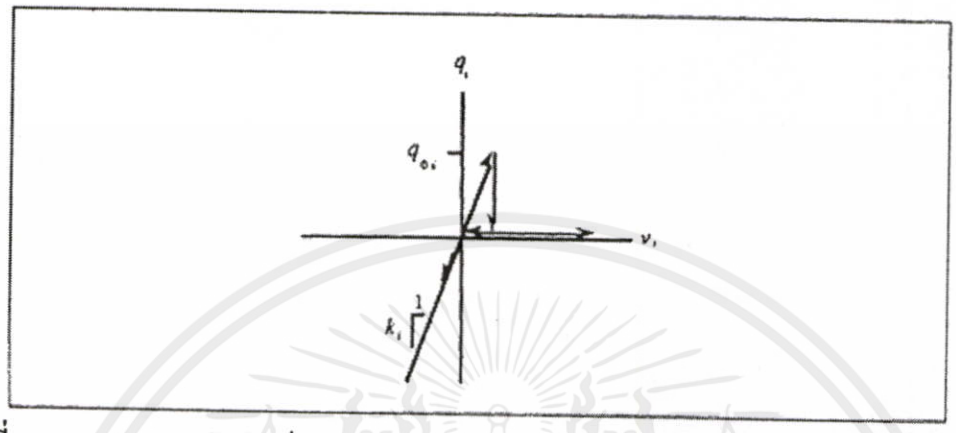
รูปที่ 3.11 แสดงการจำลองมวลน้ำภายในเขื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเขื่อนภูมิพลจะมีการจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล โดยใช้การจำลองมวลของน้ำยาว 1200 เมตร

3.6 ค่าคงตัวสำหรับอิลิเมนต์จุดต่อ (Parameters for Joint Elements)

สำหรับอิลิเมนต์จุดต่อจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นซึ่งการส่งถ่ายหน่วยแรงและระยะขจัดระหว่างจุดต่อจะแสดงดังรูป 3.12 (Fenves, 1989)



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและระยะขจัดสัมพัทธ์สำหรับอิลิเมนต์จุดต่อ สำหรับ i=1, 2, 3

ทิศทาง 1, 2, 3 คือ vertical tangential direction, horizontal tangential direction, normal direction direction โดยที่ k คือ normal stiffness และ q_0 คือ normal strength

สำหรับโปรแกรม ADAP-88 ค่าคงตัวของอิลิเมนต์จุดต่อที่ใช้ในการคำนวณคือ ค่า KN(Normal stiffness for joint element) และ ค่า KS(Tangential stiffness for joint element) ซึ่ง EERC แนะนำให้ใช้ค่าประมาณดังสมการ 3.3

$$KN, KS = (n*E)/L \qquad (3.3)$$

เมื่อ E คือ อีลาสติกโมดูลัส

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดต่อ (Contraction joint)

n มีค่าเท่ากับ 100

สำหรับเขื่อนภูมิพลซึ่งใช้จุดต่อระบบ Three-centered arch dam มีความยาวสันเขื่อน 486 เมตร L มีค่าเท่ากับ 60.75 เมตร KN,KS มีค่าเท่ากับ 3.29×10^9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลตอบสนองของเขื่อนภายใต้เหตุการณ์แผ่นดินไหว

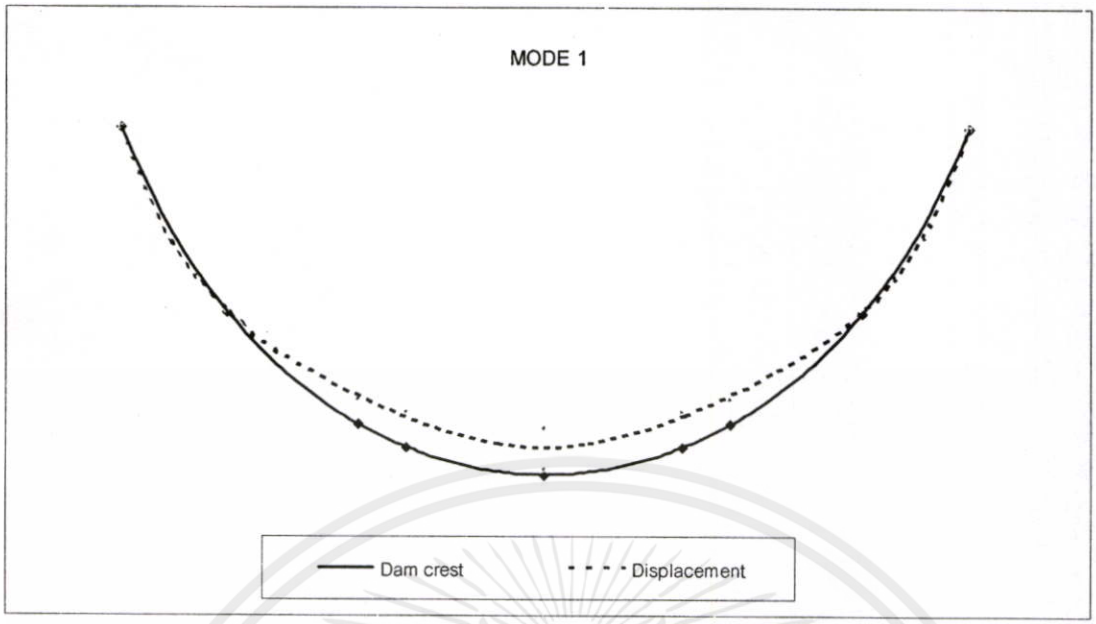
4.1 การเคลื่อนที่ของสันเขื่อน

จากการศึกษาพบว่าผนังเขื่อนมีการเคลื่อนตัวสูงสุด 6.72 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อน หลังจากเริ่มเกิดแผ่นดินไหวได้ 6.44 วินาที

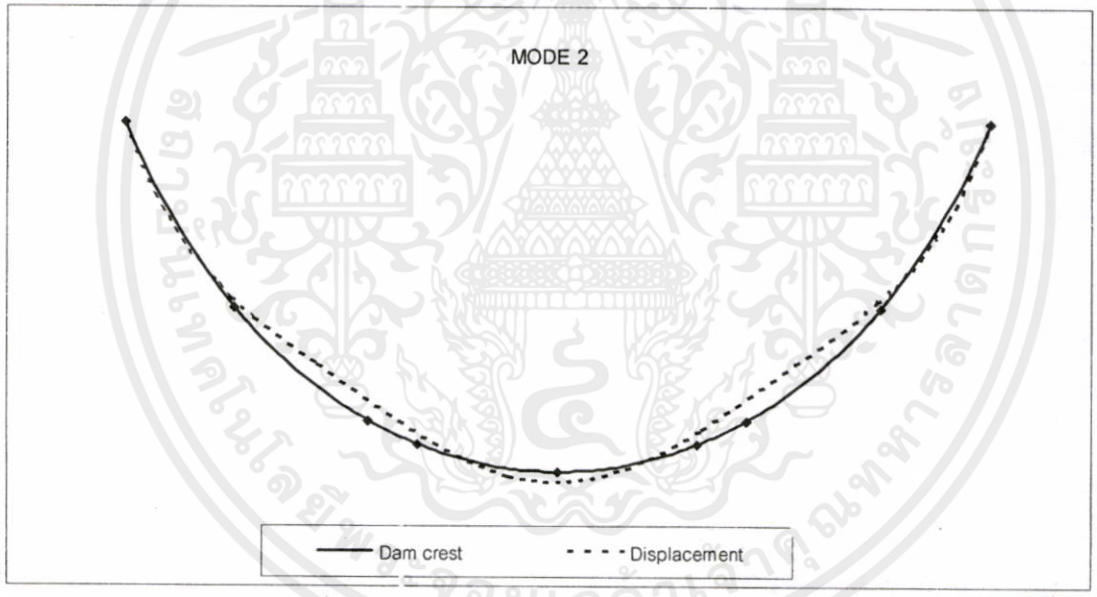
ตารางที่ 4.1 แสดงการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อน หลังเกิดแผ่นดินไหว

เวลา (วินาที)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน X (เมตร)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน Y (เมตร)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน Z (เมตร)
0	0	0	0
1	-0.11×10^{-6}	0.16×10^{-3}	0.21×10^{-4}
2	0.22×10^{-6}	-0.72×10^{-4}	-0.17×10^{-4}
3	-0.13×10^{-5}	0.13×10^{-2}	0.18×10^{-3}
4	-0.14×10^{-5}	0.51×10^{-3}	-0.30×10^{-4}
5	0.33×10^{-5}	-0.84×10^{-3}	0.90×10^{-4}
6	0.35×10^{-5}	-0.47×10^{-2}	-0.66×10^{-3}
6.44	-0.65×10^{-4}	0.67×10^{-1}	0.78×10^{-2}
6.76	0.38×10^{-4}	-0.43×10^{-1}	-0.54×10^{-2}
7	-0.12×10^{-4}	0.16×10^{-1}	0.23×10^{-2}
8	-0.23×10^{-4}	0.21×10^{-1}	0.25×10^{-2}
9	-0.41×10^{-5}	0.11×10^{-1}	0.17×10^{-2}
10	-0.12×10^{-4}	0.11×10^{-1}	0.13×10^{-2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

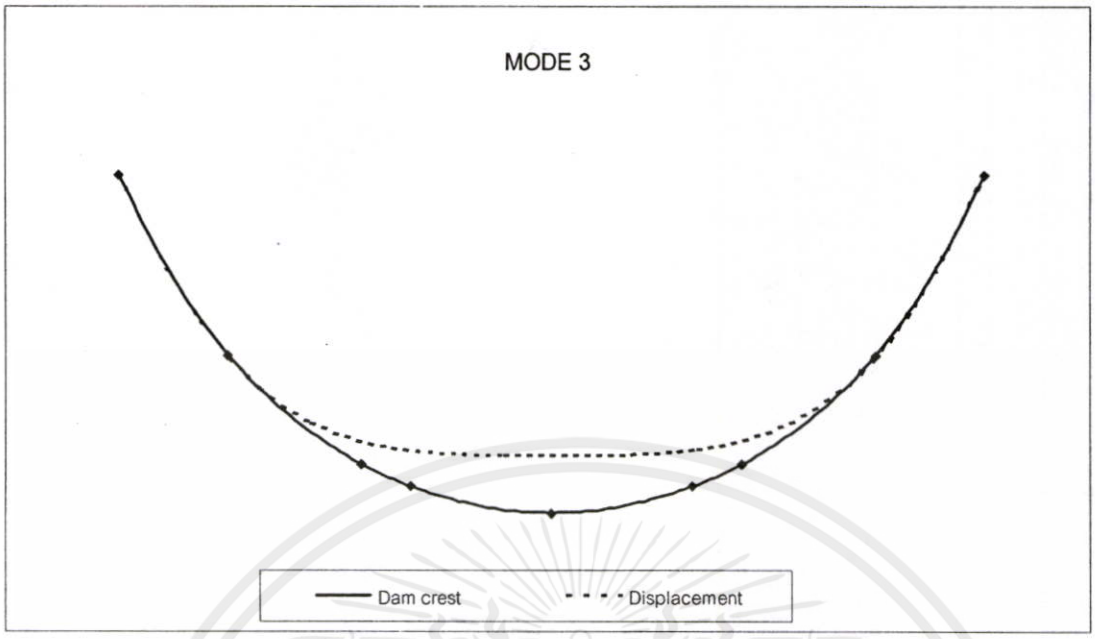


รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 1

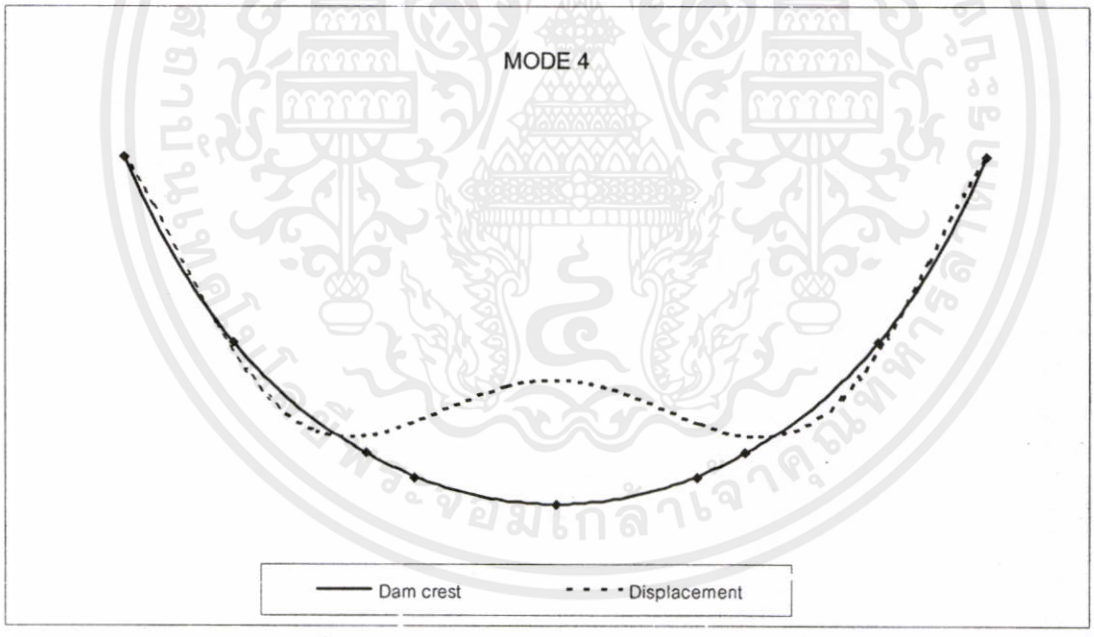


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

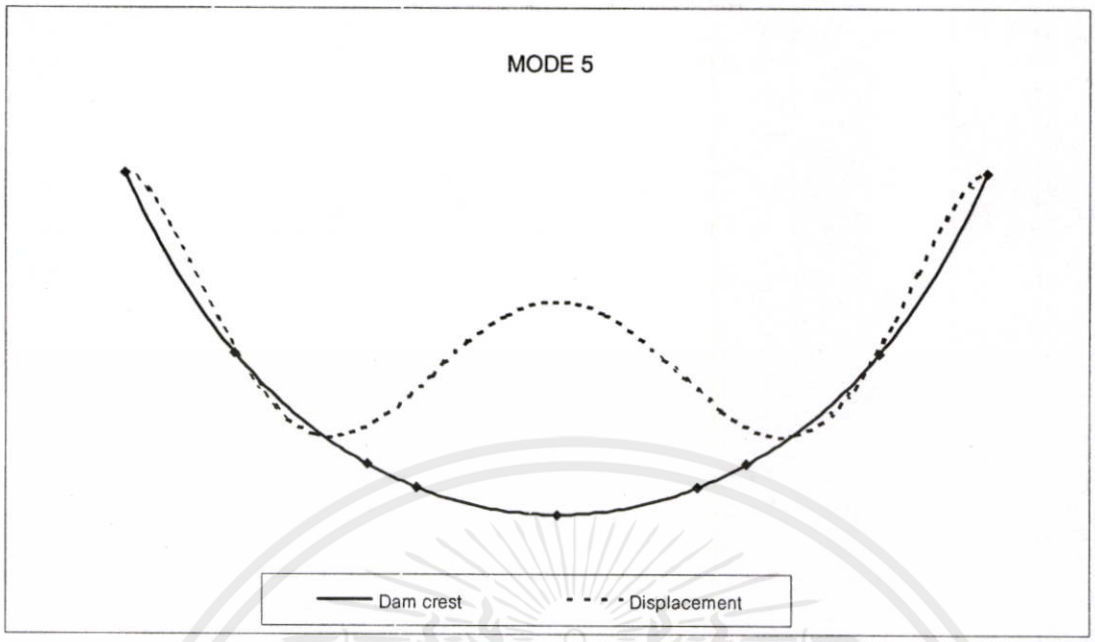


รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 3



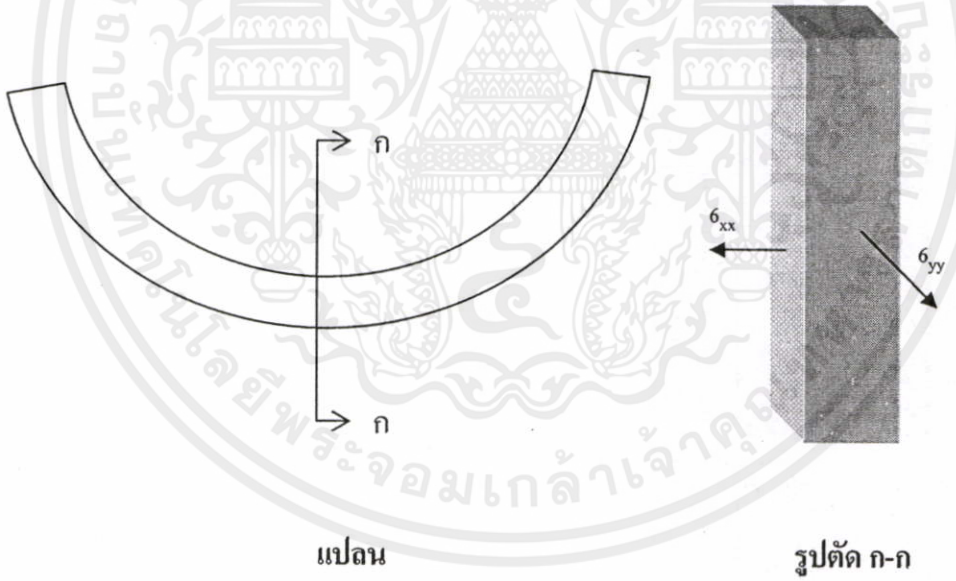
รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 5

4.2 ผลของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในตัวเขื่อน



รูปที่ 4.6 แสดงทิศทางของหน่วยแรงที่รูปตัด ก-ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงหน่วยแรง 6_{xx} ที่เกิดขึ้นที่รูปตัด ก-ก

ระดับความสูง (เมตร)	ผลของหน่วยแรงด้านเหนือเขื่อน (กก/ซม.^{2})			ผลของหน่วยแรงด้านท้ายเขื่อน (กก/ซม.^{2})		
	น้ำหนักเขื่อนและแรงดันน้ำทางสถิตย์	แผ่นดินไหว	รวม	น้ำหนักเขื่อนและแรงดันน้ำทางสถิตย์	แผ่นดินไหว	รวม
152	-58.14	-74.36	-132.50	-33.84	-32.31	-66.15
135	-65.18	-56.32	-121.50	-29.65	-27.92	-57.57
110	-69.17	-47.03	-116.20	-22.33	-21.21	-43.54
80	-60.07	-30.62	-90.69	-9.47	-14.85	-24.32
55	-48.06	-17.65	-65.71	0.42	7.38	7.80
30	-35.91	-10.67	-46.58	3.98	4.93	8.91

ตารางที่ 4.3 แสดงหน่วยแรง 6_{yy} ที่เกิดขึ้นที่รูปตัด ก-ก

ระดับความสูง (เมตร)	ผลของหน่วยแรงด้านเหนือเขื่อน (กก/ซม.^{2})			ผลของหน่วยแรงด้านท้ายเขื่อน (กก/ซม.^{2})		
	น้ำหนักเขื่อนและแรงดันน้ำทางสถิตย์	แผ่นดินไหว	รวม	น้ำหนักเขื่อนและแรงดันน้ำทางสถิตย์	แผ่นดินไหว	รวม
152	-5.18	-3.26	-8.44	-2.34	-5.24	-7.58
135	-20.50	-18.90	-39.40	7.69	17.24	24.93
110	-35.43	-40.77	-76.20	15.13	-58.67	-43.54
80	-30.88	-30.49	-61.37	4.24	23.26	27.50
55	-15.92	-23.16	-39.08	-12.52	-24.35	-36.87
30	-9.45	-24.96	-34.41	-23.70	-24.62	-48.32

ค่าหน่วยแรงอัดสูงสุดจากน้ำหนักเขื่อนและแรงดันน้ำทางสถิตย์ มีค่าเท่ากับ 69.17 ksc

ค่าหน่วยแรงอัดสูงสุด เมื่อรวมเหตุการณ์แผ่นดินไหว มีค่าเท่ากับ 132.50 ksc

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่ากรณีใด... ครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการคำนวณค่าโมดูลัสของคอนกรีต $E_c=15100\sqrt{f_c'}$ เมื่อค่า $E_c = 2x10^5$ ksc ดังนั้น ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต(f_c') จึงมีค่าเท่ากับ 175 ksc

จากรายงานการวิจัยซึ่งนำเสนอใน "Design Criteria for Concrete Arch and Gravity Dams, UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR" ได้กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับตัวเขื่อนมีค่าดังนี้

- ค่ากำลังอัดที่ยอมให้สำหรับแรงที่เกิดขึ้นเป็นปกติ(Usual Loading Combinations) ให้มีค่าเท่ากับ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตของหารด้วย 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 58.33 ksc
- ค่ากำลังอัดที่ยอมให้สำหรับแรงที่เกิดขึ้นผิดปกติ(Unusual Loading Combinations) ให้มีค่าเท่ากับ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตของหารด้วย 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 87.50 ksc
- ค่ากำลังอัดที่ยอมให้สำหรับแรงที่เกิดขึ้นรุนแรง(Extreme Loading Combinations) ให้มีค่าเท่ากับ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตของหารด้วย 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 175 ksc

จากผลการวิเคราะห์จะหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น จะเห็นว่า เมื่อมีน้ำเข้ามาภายในเขื่อนจนเต็มสันเขื่อน จะมีค่าหน่วยแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 69.17 ksc ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมให้สำหรับกรณีแรงที่เกิดขึ้นผิดปกติ (Unusual Loading Combinations) และเมื่อรวมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จำลองจะมีค่าหน่วยแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 132.50 ksc ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมให้สำหรับแรงที่เกิดขึ้นรุนแรง (Extreme Loading Combinations)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล

จากการศึกษาผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล สามารถสรุปได้ดังนี้

1.ในกรณีที่ไม่ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งต่างๆของเขื่อน เราสามารถทำนายพฤติกรรมของเขื่อนขณะเกิดแผ่นดินไหวในระดับรุนแรงได้ โดยนำคลื่นแผ่นดินไหวในพื้นที่ใกล้เคียงกันมาใช้จำลอง

2. ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งต่างๆของเขื่อน เราสามารถทำนายพฤติกรรมของเขื่อนขณะเกิดแผ่นดินไหวในระดับรุนแรงได้ โดยนำคลื่นแผ่นดินไหวขนาดเล็กที่เกิดขึ้นบริเวณเขื่อนมาใช้จำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยนำค่าตัวคูณเพิ่มความรุนแรงซึ่งมีค่าเป็นจำนวนเท่าของแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และสามารถนำผลการจำลองโครงสร้างเขื่อนจากแผ่นดินไหวขนาดเล็กด้วยคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดในภาคสนาม

3. ค่าหน่วยแรงอัดสูงสุดขณะเกิดแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับ 132.50 ksc ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (175 ksc)

4. ผลการจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลด้วยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โดยเปรียบเทียบกับเขื่อน Xian hong dian แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อนในแนวราบ ตั้งฉากสันเขื่อน

เขื่อน	Δ ,cm.	H ,cm.	L ,cm.	Δ/H	Δ/L
เขื่อน Xiang hong dian	11.50	14,340	36,100	8.02×10^{-4}	3.19×10^{-4}
เขื่อนภูมิพล	6.72	15,400	48,200	4.36×10^{-4}	1.39×10^{-4}

จะเห็นได้ว่ามีระยะเคลื่อนตัวไม่มากนักใกล้เคียงกันกับเขื่อน Xiang hong dian จึงพอสรุปได้ว่าเขื่อนภูมิพลสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ หากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีระดับความรุนแรงไม่ต่างจากคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจำลองมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1]Hanchen Tan, **Earthquake analysis and response of concrete arch dam**. Berkeley: University of California, 1995.

[2] R.W. CLOUGH, **Dynamic Reservoir interaction with Monticello dam**. Berkeley: University of California, 1987.

[3] R.W. CLOUGH, **Dynamic Response behavior of Xiang Hong Dian dam**. Berkeley: University of California, 1984.

[4] Soheil Mojtahedi, **ADAP-88 A Computer Program for Nonlinear Earthquake Analysis of Concrete arch dam**. Berkeley: University of California, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

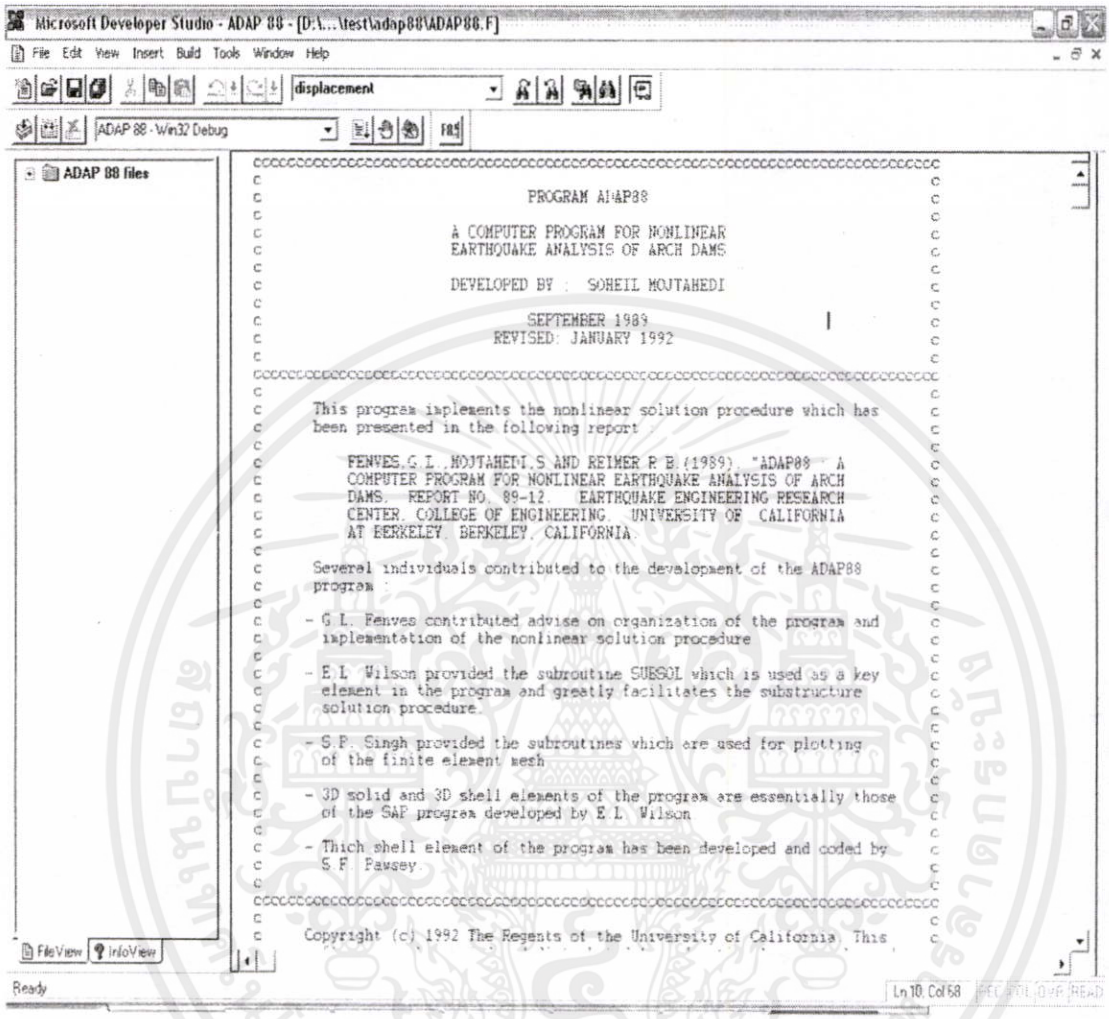
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

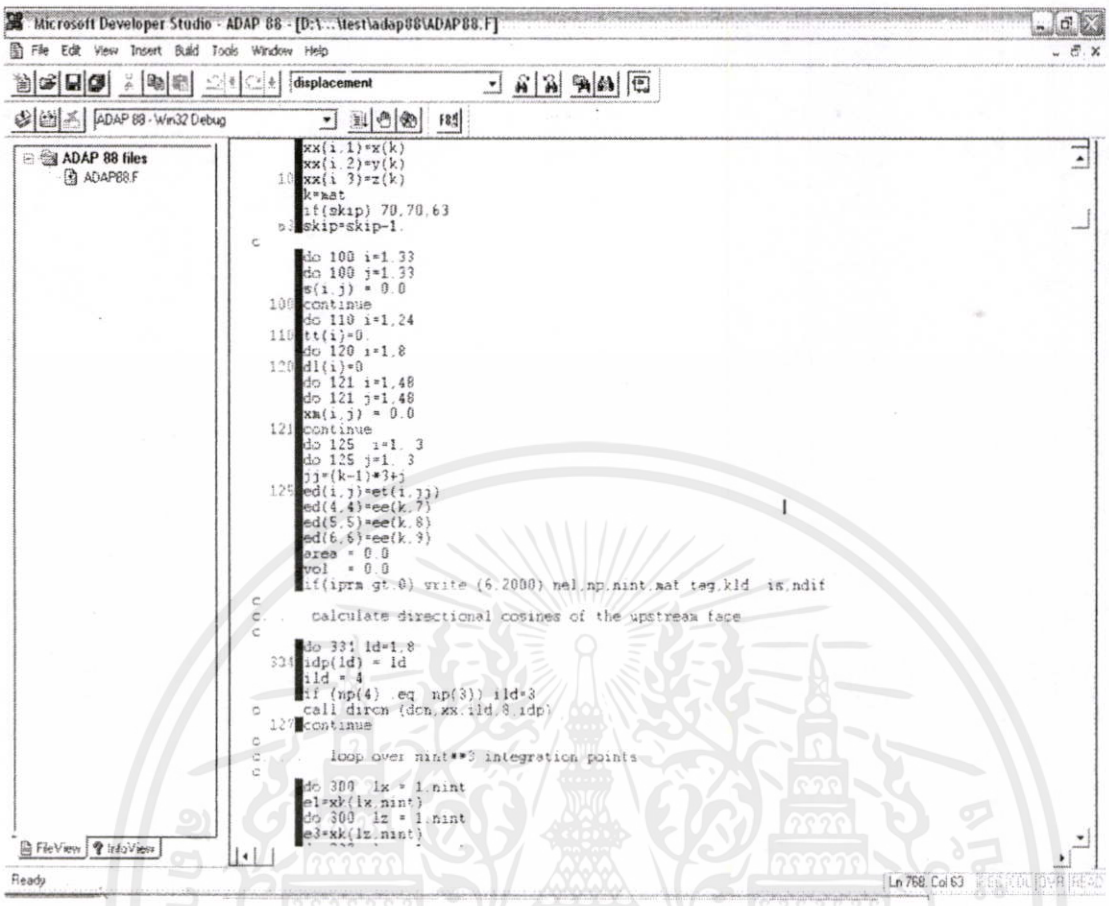
โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง : ADAP88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



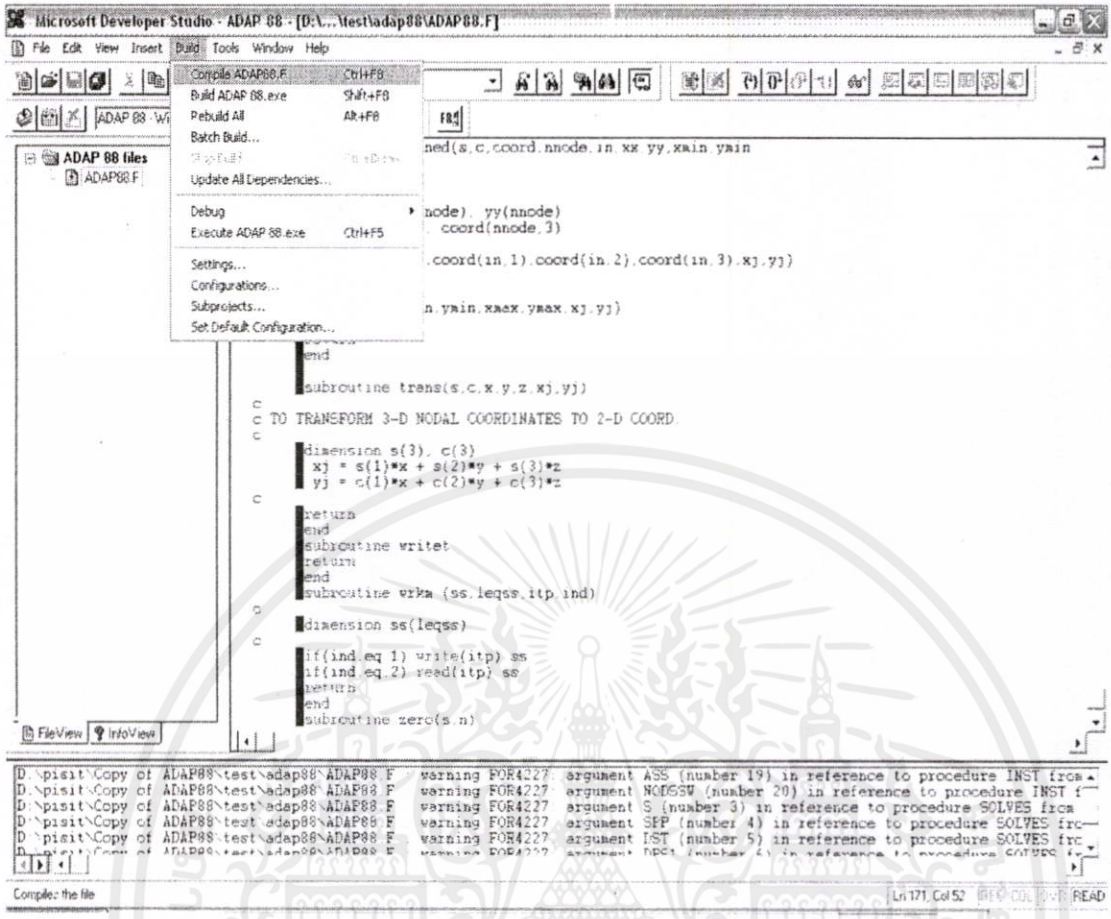
ชุดคำสั่งของโปรแกรม ADAP-88 เปิดและแก้ไข โดยใช้ Microsoft Fortran PowerStation 4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



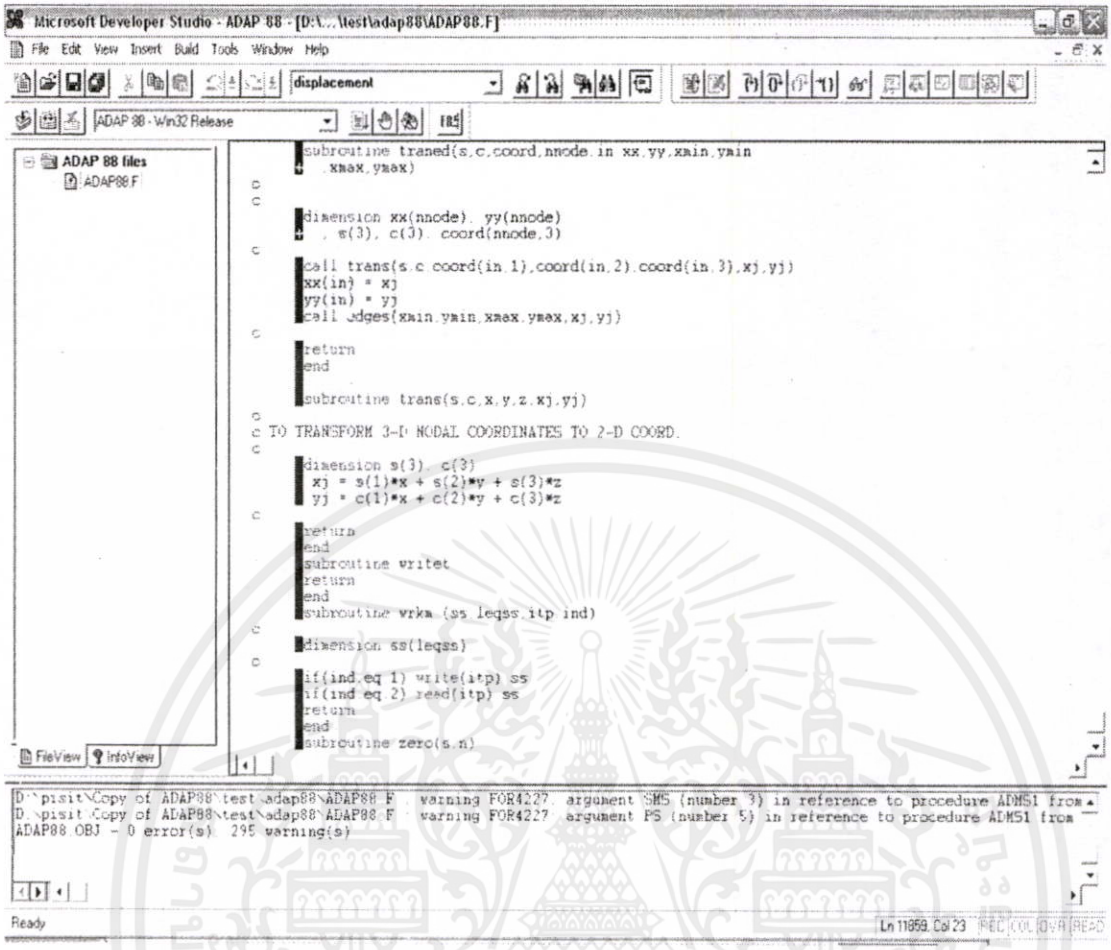
แก้ไขชุดคำสั่งของโปรแกรม ADAP-88 เพื่อให้สามารถทำงานบน PC ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



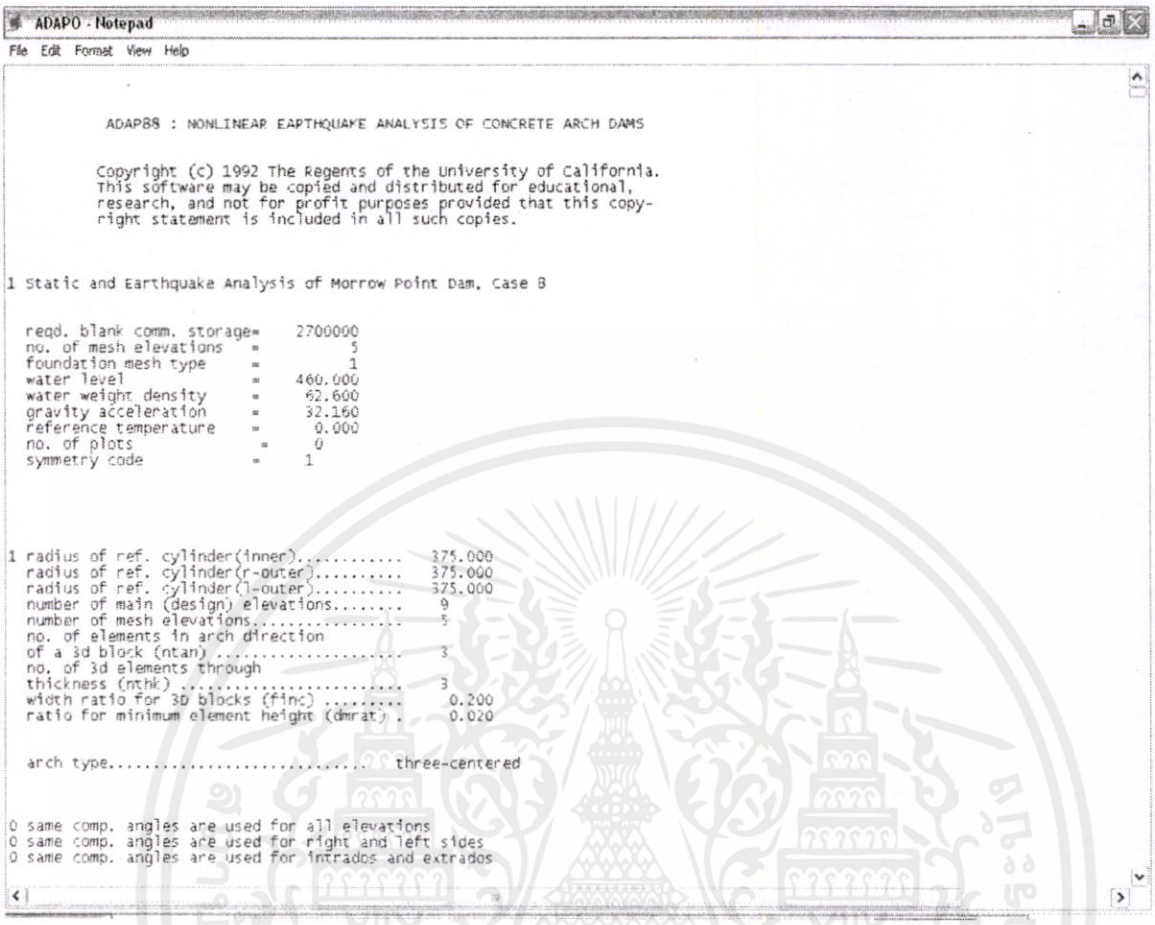
หลังจากแก้ไขชุดคำสั่งของโปรแกรม ADAP-88 เสร็จสิ้นแล้ว ทำการ compile เพื่อทดสอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อทำการ compile เสร็จสิ้นแล้ว ถ้าหากพบ error ให้ทำการแก้ไขต่อแล้ว compileใหม่ จนกระทั่งไม่พบ error จากนั้นทำการ Run โปรแกรมโดยนำข้อมูลตัวอย่างของเขื่อนMorrow Point มาทำการทดสอบ (ข้อมูลตัวอย่างได้มาจาก EERC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



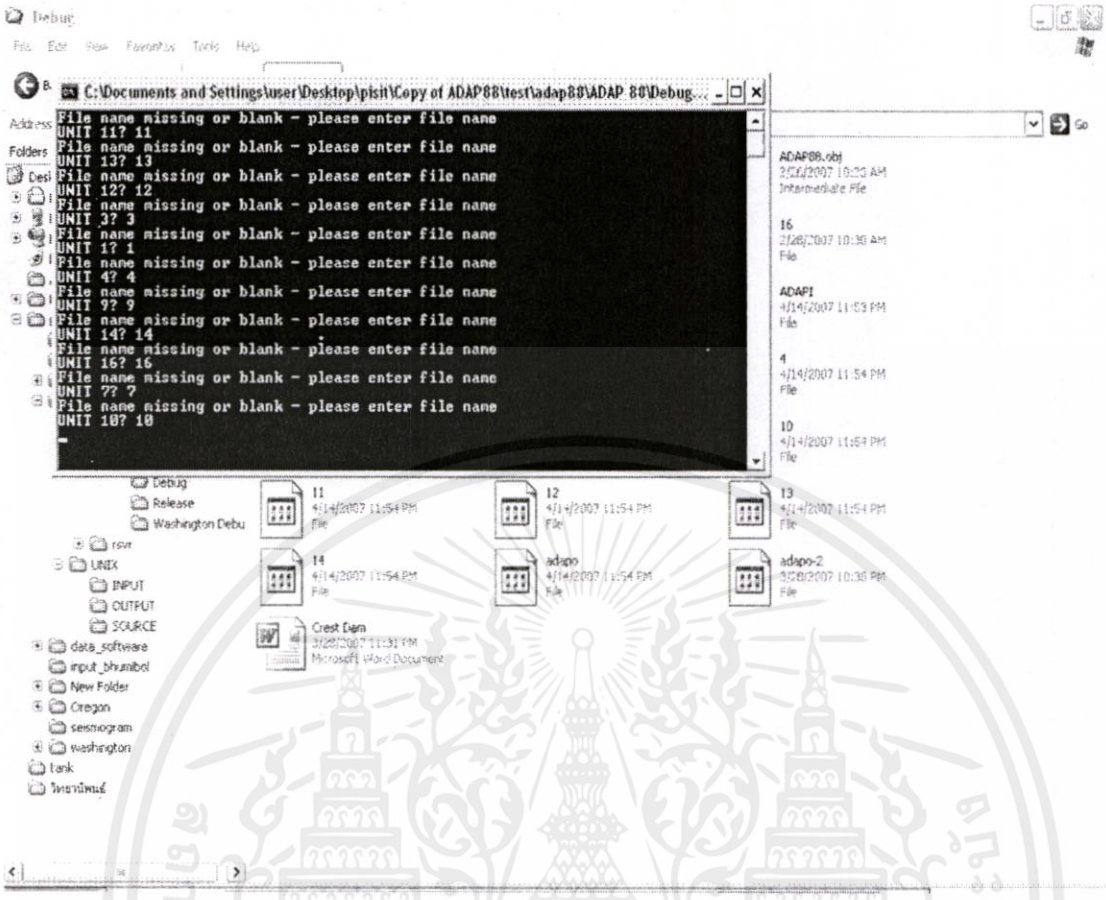
ADAPO - Notepad

File Edit Format View Help

```
          ADAP88 : NONLINEAR EARTHQUAKE ANALYSIS OF CONCRETE ARCH DAMS

         Copyright (c) 1992 The Regents of the University of California.
         This software may be copied and distributed for educational,
         research, and not for profit purposes provided that this copy-
         right statement is included in all such copies.


1 Static and Earthquake Analysis of Morrow Point Dam, Case B

  reqd. blank comm. storage=    2700000
  no. of mesh elevations    =          5
  foundation mesh type      =          1
  water level               =    460.000
  water weight density      =     62.600
  gravity acceleration      =     32.160
  reference temperature     =      0.000
  no. of plots              =          0
  symmetry code             =          1



1 radius of ref. cylinder(inner).............    375.000
  radius of ref. cylinder(r-outer)..........    375.000
  radius of ref. cylinder(l-outer)..........    375.000
  number of main (design) elevations........      9
  number of mesh elevations.................      5
  no. of elements in arch direction
  of a 3d block (ntan) .....................      3
  no. of 3d elements through
  thickness (nthk) .........................      3
  width ratio for 3D blocks (finc) .........      0.200
  ratio for minimum element height (dmrat) .      0.020


  arch type.............................   three-centered


0 same comp. angles are used for all elevations
0 same comp. angles are used for right and left sides
0 same comp. angles are used for intrados and extrados
```

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมที่แก้ไขบนPC กับ ผลการวิเคราะห์เดิมที่มาจากการทำงานบนเครื่องเมนเฟรม(ข้อมูลตัวอย่างได้มาจาก EERC) ซึ่งในครั้งแรกผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมที่แก้ไขบนPC ไม่สามารถคำนวณได้ครบทั้งหมด จึงนำชุดคำสั่งไปศึกษาอีกครั้งและดำเนินการแก้ไขใหม่ จนในที่สุดโปรแกรมที่แก้ไขสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Run โปรแกรม ADAP-88 เพื่อจำลองเขื่อนภูมิพลขณะเกิดแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลที่ป้อนสำหรับการจำลองเขื่อนภูมิพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

******Record A : Title******

Static and Earthquake Analysis of Bhumibol Dam

******Record B : Master control Parameter******

7 1 152. 1000 9.81 00.0 0 +1

******Record C : Generation of Finite Element Mesh******

****** C-1 : Control Parameter ******

228. 228. 228. 7 1 1 1 0 0 .2 .02 3 3

****** C-2 : Compounding Angles and Angles to Abutments ******

0. 0.0 0.0 0.0 0.0 0 0

5. 0.0 0.0 0.0 0.0 9.32 9.32

18. 0.0 0.0 0.0 0.0 13.97 13.97

48. 0.0 0.0 0.0 0.0 28.34 28.34

84. 0.0 0.0 0.0 0.0 38.13 38.13

117. 0.0 0.0 0.0 0.0 48.33 48.33

152. 0.0 0.0 0.0 0.0 62.43 62.43

****** C-3 : Contraction Joint Data ******

****** C-3-1 : Contraction Joint to Right Crown Section ******

3 9.32 18.64 27.96

****** C-3-2 : Contraction Joint to Left Crown Section ******

4 0 9.32 18.64 27.96

****** C-4 : Temperature Data ******

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

****** C-5 : Initial Mesh Elevation ******

5. 30. 55. 80. 110. 135. 152.

****** C-6 : Intrados and Extrados Arcs ******

228 228 196.99 233.34 196.99 233.34 196.99 233.34

228 228 197.99 233.34 197.99 233.34 197.99 233.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

228 228 200.38 233.34 200.38 233.34 200.38 233.34

228 228 206.45 233.34 206.45 233.34 206.45 233.34

228 228 213.55 233.09 213.55 233.09 213.55 233.09

228 228 217.91 232.33 217.91 232.33 217.91 232.33

228 228 220.00 228.00 220.00 228.00 220.00 228.00

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

******Record D : Control Parameter for Static and Earthquake analysis******

.02 ,2000,16, .25 , .5 , 1.37 , 0.001732 , 5e-4 , .3 1 3 1 1 2 3005 1 1 1 648 30 55 145 141

******Record E : Properties of Joint Element for Earthquake analysis******

3.3e9 3.3e9 0.0 100 .001 100 .001

3.3e9 3.3e9 0.0 100 .001 100 .001

3.3e9 3.3e9 0.0 100 .001 100 .001

6.6e9 6.6e9 0.0 100 .001 100 .001

******Record F : Control of Output******

****** F-1 : Control Parameters ******

1 0 0 1

****** F-2 : Request of Response Histories ******

****** F-2-1 : Nodal Point displacement ******

9

1 1 1 2 1 3

97 1 97 2 97 3

1825 1 1825 2 1825 3

****** F-2-2 : Joint displacement ******

4

1 1 1 2 1 3 3 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*** F-2-3 : Stresses in 3-D soild elements ***

4

13 1 13 2 15 1 15 2

*** F-2-4 : Stresses in 3-D shell elements ***

32

16 1 16 2 16 6 16 7 16 11 16 12 16 16 16 17 16 21 16 22 16 26 16 27 16 31 16 32 16 36 16 37 17 1 17 2 17 6 17 7 17 11 17 12 17 16 17 17 17 21 17 22 17 26 17 27 17 31 17 32 17 36 17 37

*** F-2-5 : Stresses in thick shell elements ***

96

1 1 1 3 2 1 2 3 3 2 3 4 4 1 4 3 5 1 5 3 6 2 6 4

7 1 7 3 8 1 8 3 9 2 9 4 10 1 10 3 11 1 11 3 12 2 12 4

13 1 13 3 14 1 14 3 15 2 15 4 16 1 16 3 17 1 17 3 18 2 18 4

19 1 19 3 20 1 20 3 21 2 21 4 22 1 22 3 23 1 23 3 24 2 24 4

25 1 25 3 26 1 26 3 27 2 27 4 28 1 28 3 29 1 29 3 30 2 30 4

31 1 31 3 32 1 32 3 33 2 33 4 34 1 34 3 35 1 35 3 36 2 36 4

37 1 37 3 38 1 38 3 39 2 39 4 40 1 40 3 41 1 41 3 42 2 42 4

43 1 43 3 44 1 44 3 45 2 45 4 46 1 46 3 47 1 47 3 48 2 48 4

Record G : Nodal Point Numbering at Dam-Water Interface

1 2 3 4 5 6 7 8 58 59 60 61 86 87 88 89 90 91 92 141 142 143 144 167 168 169 170 171 172 173 1 3 27 28 29 30 59 60 31 2 65 66 33 34 50 51 61 67 68 50 51 61 67 68 99 100 50 51 61 67 68 99 100,

9 10 11 12 13 14 15 16 62 63 64 65 93 94 95 96 97 98 99

145 146 147 148 174 175 176 177 178 179 180 218 219 220 221

242 243 244 245 246 247 248 249 250 289 290 291 292 311 312 313 314 315 316 317 318,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64 97 98 103 104 141 142 149 105 151 205 243 99 100 107 143 144 153 154

143 153 193 499 107 143 144 153 154 193 285 69 70 109 110

69 71 96 101 102 111 112 145 146 96 102 112 146 96 101 111 113 114 146 195 159,

17 18 19 20 21 22 23 24 66 67 68 69 100 101 102 103 104 105 106

149 150 151 152 181 182 183 184 185 186 187 222 223 224 225

251 252 253 254 255 256 257 258 293 294 295 296 319 320 321 322 323 324 325 326

354 355 356 357 358 359 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 415 416 417

418 419 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 465 466 467 468 469 480 481 482 483 484

485 486 487 488 509 510 511 512 522 523 524 525 526 527 528 529 547 548 549 550 558 559

560 561 562 563 564 579 580 581 588 589 590 591 592 593 605 606 607 612 613 614 615 616

625 626 630 631 632,

191 192 417 493 494 530 541 955 453 495 543 1061 193 285 499 500 531 532 545

531 545 1015 1209 499 500 531 532 545 961 1015 155 289 503 504

157 195 367 469 508 510 534 549 195 469 510 549 221 297 436 512 513 514 551 973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

115 114 159 221 436 513 115 117 147 132 148 161 197 301 340 516 517 147 148 197 340 517 132 147 148 163 229 343 481 482 521 522 148 229 481 521 555 148 163 229 305 481 520 521 538 555

182 448 525 557 237 313 527 238 452 528 559 1043 406 540 699 996 406 539 540 561 699 1043 996

540 563 1052 540 563 564 1051 1052 1121 564 1052 1246 711 1059 1060 1129 1253 1060 1261 1060 1137 1261,

25 26 27 28 29 30 -31 70 71 -72 107 108 109 110 111 112 113 -114

153 -154 188 189 190 191 192 -193 226 227 228 229 -230

259 260 261 262 263 264 265 -266 297 298 299 -300 327 328 329 330 331 332 -333

360 361 362 363 -364 385 386 387 388 389 390 391 392 393 -394 420 421 422 423 -424

442 443 444 445 446 447 448 449 -450 470 471 472 -473 489 490 491 492 493 494 495 -496 513 514 515 -516 530 531 532 533 534 535 -536 551 552 -553 565 566 567 568 569 -570

582 583 -584 594 595 596 597 -598 608 -609 617 618 619 -620 627 -628 633 634 635 -636 639 640 -641 642 643 644 645 -646 -647 -648,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1061 1077 1201 1535 1597 1615 1825 1267 1539 1829 961 1015 1085 1209 1543 1599 1623 1833

1599 1833 1085 1209 1549 1599 1623 1833 547 1089 1213 1547 1837

1023 1065 1093 1219 1551 1601 1631 1841 1065 1219 1601 1841 1030 1097 1221 1555 1558 1635 1845

551 1030 1221 1558 1845 535 597 1031 1067 1101 1226 1559 1603 1639 1849 597 1067 1226 1603 1849

555 1035 1038 1105 1229 1563 1566 1643 1853 1038 1229 1566 1853 1035 1038 1105 1229 1564 1566 1605 1853

1069 1233 1605 1857 1046 1113 1237 1571 1605 1651 1861 1181 1607 1865 1117 1181 1575 1607 1655 1865

1246 1659 1869 1246 1517 1659 1660 1869 1659 1869 1526 1611 1671 1877 1611 1885 1596 1611 1678 1885

1261 1611 1885 1261 1596 1613 1679 1889 1961 1963

******Record H : Material Properties for Dam and Foundation******

1 0 4000000000. 0.0 0.0 .2 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0 .0000056 0.0 0.0 2400.

2 0 2600000000. 0.0 0.0 .2 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0 .0000056 0.0 0.0 0.0

4000000000. .2 2400. .0000056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***Record I : Joint Element Properties and Control for Water/Temperature Analysis ***

1 10

3.3e9 3.3e9 0.0

3.3e9 3.3e9 0.0

3.3e9 3.3e9 0.0

6.6e9 6.6e9 0.0

***Record J : Earthquake Ground Motion Records ***

JIASHI 1997 component 0

3004 9.81

0.0000 0.0000 0.0200 0.0000 0.0400 0.0000 0.0600 0.0000

.08 .00102033 .10 .00120289 .12 .00137321 .14 .00204217 .16 .00111119

.18 .00055955 .2 -.000182778 .22 -.00104033 .24 .000743176 .26 -.000323422

.28 -.000787367 .3 -.000238734 .32 -.00122987 .34 -.00135323 .36 -.000760751

.38 .00122976 .4 .00035487 .42 -.0014031 .44 -.00107064 .46 .000188733

.48 -.000133471 .5 -.000963494 .52 .000245915 .54 .00042643 .56 .00051823

.58 -.000688068 .6 -.0007686 .62 -.00035355 .64 -9.14567E-05 .66 .0007325

.68 .000908936 .7 .000599988 .72 -.000187207 .74 .000115675 .76 -.000884641

.78 .000159574 .8 .00117422 .82 -.000162605 .84 -.000690792 .86 -.000968129

.88 -.000219632 .9 .000647153 .92 .000444255 .94 -.000469385 .96 .00021691

.98 -.000133846 1 -.000187866 1.02 .000177219 1.04 -.000850629 1.06 1.00368E-05

1.08 -.000345818 1.1 -.00139916 1.12 .000292576 1.14 .00405331 1.16 .000249799

1.18 -.00171721 1.2 -.000368097 1.22 -.00124401 1.24 -6.31505E-05 1.26 -.000879917

1.28 -.000581115 1.3 .000621156 1.32 6.13581E-05 1.34 -.00257764 1.36 .000122593

1.38 .000483598 1.4 -.00206159 1.42 -.000151634 1.44 .00187049 1.46 -.00118659

1.48 -.000502338 1.5 .00291272 1.52 -.00407231 1.54 -.0058935 1.56 .00154026

1.58 .00258957 1.6 -1.06805E-05 1.62 -.00166973 1.64 .00113655 1.66 -1.67214E-05

1.68 -.00381616 1.7 .000838872 1.72 .00191368 1.74 .00107448 1.76 -.002779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.78 .00147018 1.8 .00413064 1.82 -.000239833 1.84 .00211574 1.86 -.00677004

1.88 -.00418504 1.9 .00987381 1.92 .00257267 1.94 -.00417068 1.96 -.00224339

1.98 .00822198 2 .00652316 2.02 -.0101186 2.04 -.00266647 2.06 .0138183

2.08 .00303685 2.1 -.00595804 2.12 -.00660553 2.14 .00782551 2.16 .00524872

2.18 -.00915067 2.2 -.0114521 2.22 .00119848 2.24 .0172091 2.26 .001947

2.28 -.00714068 2.3 .00259152 2.32 .00746171 2.34 -.00636052 2.36 -.00574968

2.38 .00663072 2.4 .024021 2.42 .00539793 2.44 -.010582 2.46 -.00726689

2.48 -.00569446 2.5 -.00119443 2.52 -.00471039 2.54 -.00113626 2.56 .0147061

2.58 .00881928 2.6 .00286213 2.62 -.00866778 2.64 -.0098445 2.66 .0144982

2.68 .0165417 2.7 .0042093 2.72 -.00568192 2.74 .00123382 2.76 -.00464482

2.78 -.0037556 2.8 -.00866755 2.82 -.0121376 2.84 .0055606 2.86 -.00246352

2.88 -.00922421 2.9 -.011128 2.92 .00106988 2.94 .00271267 2.96 -.00948515

2.98 -.00960239 3 .0145262 3.02 .0148637 3.04 -.0154687 3.06 -.0211118

3.08 .0114579 3.1 .0229216 3.12 -.0208303 3.14 -.0108952 3.16 .00932071

3.18 .0169299 3.2 -.0175508 3.22 -.0150209 3.24 .0257647 3.26 .00268554

3.28 -.021084 3.3 -.00818254 3.32 .0305687 3.34 .020703 3.36 -.0226165

3.38 -.0227705 3.4 .0175715 3.42 .0170862 3.44 -.00940908 3.46 .0140006

3.48 .0232729 3.5 .0114829 3.52 -.0187955 3.54 -.0150561 3.56 .0193002

3.58 .0091846 3.6 -.0102705 3.62 -.0220023 3.64 .0201986 3.66 .0222799

3.68 -.016504 3.7 -.0140515 3.72 .0142966 3.74 .0198908 3.76 -.0167465

3.78 -.0113023 3.8 .00347141 3.82 -.00829915 3.84 -.0119038 3.86 .0120789

3.88 .0385803 3.9 .0243767 3.92 .00158203 3.94 -.00392543 3.96 -.0379115

3.98 -.0389118 4 -.0542147 4.02 -.0712623 4.04 -.0675525 4.06 -.0527992

4.08 .0269548 4.1 .108559 4.12 .0781517 4.14 -.00602172 4.16 -.0378195

4.18 -.0474435 4.2 -.00588908 4.22 -.00109741 4.24 .00987069 4.26 .00697676

4.28 .00700431 4.3 .0304384 4.32 .0650721 4.34 .00810976 4.36 -.0676602

4.38 -.0612064 4.4 -.0406357 4.42 .00533012 4.44 -.0335914 4.46 -.0130359

4.48 .000214276 4.5 -.038591 4.52 -.00698079 4.54 .0530489 4.56 .0576805

4.58 .0179575 4.6 .0113976 4.62 .0219833 4.64 -.00925665 4.66 .000661137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.68 .0397877 4.7 -.000288169 4.72 -.067722 4.74 -.00379492 4.76 .0650951

4.78 .0342181 4.8 -.00208784 4.82 .0115285 4.84 .0143633 4.86 -.0124746

4.88 -.0237822 4.9 -.00692729 4.92 .0111839 4.94 .00386339 4.96 .00417341

4.98 .00257452 5 -.00182859 5.02 .000404617 5.04 .011286 5.06 .00705424

5.08 .0197793 5.1 .00651893 5.12 -.00217106 5.14 .0190778 5.16 -.00972405

5.18 -.0796796 5.2 -.0959542 5.22 -.00279704 5.24 .122884 5.26 .111488

5.28 .0552697 5.3 .038627 5.32 .0221718 5.34 .00622555 5.36 -.00150897

5.38 .0163483 5.4 .0238545 5.42 .0610966 5.44 .0966368 5.46 .104042

5.48 .115926 5.5 .120494 5.52 .112322 5.54 .0814931 5.56 .0218193

5.58 -.0276399 5.6 -.0977933 5.62 -.169107 5.64 -.203342 5.66 -.211906

5.68 -.176746 5.7 -.0871861 5.72 .0240751 5.74 .0205021 5.76 -.0511401

5.78 -.0791374 5.8 -.0893243 5.82 -.107742 5.84 -.142671 5.86 -.161283

5.88 -.102884 5.9 .0761706 5.92 .164811 5.94 .264711 5.96 .190614

5.98 -.0336517 6 -.0265402 6.02 -.0323097 6.04 .00906428 6.06 .0806586

6.08 .153313 6.1 .179475 6.12 .151254 6.14 .0939139 6.16 .0531131

6.18 .00172759 6.2 -.0632905 6.22 -.0896083 6.24 -.196194 6.26 -.300074

6.28 -.219017 6.3 -.158771 6.32 -.0332587 6.34 .123517 6.36 .0335429

6.38 -.074863 6.4 -.113292 6.42 -.113556 6.44 -.129572 6.46 -.156098

6.48 -.109029 6.5 -.00154123 6.52 .0339408 6.54 .00685414 6.56 .0509752

6.58 .136294 6.6 .124862 6.62 .0537938 6.64 .0469577 6.66 .0546494

6.68 .0789574 6.7 .0790502 6.72 .00854402 6.74 .0244384 6.76 .0521981

6.78 .0382025 6.8 .0379334 6.82 .108868 6.84 .14059 6.86 .136081

6.88 .0327013 6.9 -.0440466 6.92 -.0342349 6.94 .012098 6.96 .0585247

6.98 .0103992 7 -.031299 7.02 -.0545822 7.04 -.0504472 7.06 .000466237

7.08 .0513837 7.1 .090909 7.12 .0828522 7.14 -.0162101 7.16 -.0866235

7.18 -.0550816 7.2 -.00679194 7.22 .055529 7.24 .123088 7.26 .137488

7.28 .146354 7.3 -.0122004 7.32 -.115483 7.34 -.0710747 7.36 -.0112316

7.38 .0157154 7.4 -.0292234 7.42 -.0669835 7.44 -.0997357 7.46 -.0718332

7.48 .0189705 7.5 .0180048 7.52 -.0268371 7.54 -.0902543 7.56 -.110992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.58 -.0380172 7.6 -.0104522 7.62 -.0207197 7.64 -.0133095 7.66 .0123293

7.68 .0713841 7.7 .105168 7.72 .140253 7.74 .0552003 7.76 -.0628002

7.78 -.0597125 7.8 -.018365 7.82 -.0221318 7.84 -.0690418 7.86 -.00266132

7.88 .0135043 7.9 -.0425148 7.92 -.0656308 7.94 -.0626328 7.96 -.0385644

7.98 -.0273913 8 -.0392435 8.02 -.0472044 8.04 .0122196 8.06 .0956997

8.08 .139339 8.10 .171465 8.12 .142144 8.14 .0334706 8.16 -.0853253

8.18 -.195776 8.2 -.236698 8.22 -.232589 8.24 -.171261 8.26 -.0666796

8.28 -.0538353 8.3 -.0286982 8.32 .0433233 8.34 .0795936 8.36 .0670011

8.38 .0614009 8.4 .101808 8.42 .129145 8.44 .0913245 8.46 .0124556

8.48 .0344652 8.5 .0354992 8.52 .0257814 8.54 .0321842 8.56 .000236491

8.58 -.00362719 8.60 .0114504 8.62 .0274303 8.64 .0424467 8.66 .0669036

8.68 .0898544 8.7 .0356024 8.72 -.0454823 8.74 -.0638188 8.76 -.0177215

8.78 .0431637 8.8 .0209798 8.82 -.0272956 8.84 -.0771382 8.86 -.0985645

8.88 -.0625165 8.9 -.0362302 8.92 -.00348711 8.94 .0224045 8.96 .0213593

8.98 .00412819 9 .00166764 9.02 .0502041 9.04 .0733354 9.059999 .0614088

9.08 .0506314 9.10 .0364452 9.12 -.0129244 9.14 -.0231541 9.16 -.0225984

9.179999 -.037941 9.2 -.0359382 9.22 -.0330942 9.24 -.0160405 9.26 -.00398334

9.28 .0346323 9.3 .0334535 9.32 -.0106777 9.34 -.022539 9.36 -.0419493

9.38 -.0566077 9.4 -.054297 9.42 -.0384414 9.44 -.00400762 9.46 .0207011

9.48 .0368341 9.5 .0491421 9.52 .0509409 9.54 .0392376 9.559999 .0270133

9.58 .00813837 9.60 -.00813933 9.62 -.0369493 9.64 -.0746299 9.66 -.060671

9.68 -.0319139 9.7 .0113129 9.72 .05285 9.74 .00542508 9.76 -.0589536

9.78 -.0445348 9.8 -.0237387 9.82 .01126 9.84 .0769124 9.86 .103838

9.88 .0482819 9.9 .00819684 9.92 .0108359 9.94 .0126877 9.96 .0126673

9.98 .00706198 10 -.017608 10.02 -.0357548 10.04 -.0393208 10.06 -.0297374

10.08 .0171308 10.1 .00422118 10.12 -.0207506 10.14 -.0215021 10.16 -.00687429

10.18 -.0208332 10.2 -.0276193 10.22 .0256731 10.24 .0429185 10.26 .019772

10.28 -.00360801 10.3 .00614763 10.32 .0112717 10.34 .00879588 10.36 -.00454199

10.38 -.0106776 10.4 -.00685772 10.42 -.00566565 10.44 -.0110599 10.46 -.0033274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.48 .00380757 10.5 -.00669752 10.52 .00256968 10.54 .00467337 10.56 -.0205738

10.58 -.0132705 10.6 .0236096 10.62 .0077377 10.64 -.0043347 10.66 -.00367696

10.68 -.0140393 10.7 -.00663817 10.72 .0146606 10.74 .012558 10.76 .00793669

10.78 .00781128 10.8 -.00754664 10.82 -.0203257 10.84 -.00315264 10.86 .0276795

10.88 .00789398 10.9 -.020813 10.92 -.0159704 10.94 -.0096981 10.96 -.0105832

10.98 .0183951 11 .0325223 11.02 .00383871 11.04 -.0162293 11.06 -.0163741

11.08 .0139707 11.1 .0281284 11.12 .0178599 11.14 .0131825 11.16 -.00200412

11.18 -.0209718 11.2 -.00914617 11.22 -.00601766 11.24 -.019071 11.26 -.0216234

11.28 -.0294231 11.3 -.0217956 11.32 -.0172844 11.34 -.010332 11.36 -.00934384

11.38 .00703078 11.4 .0158361 11.42 .0185037 11.44 .0335169 11.46 .0163817

11.48 .003003 11.5 -.000668976 11.52 .00398503 11.54 .00680558 11.56 -.00800781

11.58 -.0144759 11.6 -.0043113 11.62 .0111017 11.64 .0244325 11.66 .0316908

11.68 .0111293 11.7 -.00847675 11.72 -.0109485 11.74 -.0126371 11.76 .0019652

11.78 .0158201 11.8 .00665798 11.82 -.0140667 11.84 -.041442 11.86 -.029184

11.88 -.000699198 11.9 .00586779 11.92 .0240239 11.94 .0112784 11.96 -.00164746

11.98 -.00223683 12 .011874 12.02 .0194383 12.04 .0119026 12.06 .0172521

12.08 .00611473 12.1 -.00336453 12.12 -.00563847 12.14 -.0218581 12.16 -.0255984

12.18 -.00114657 12.2 .0120659 12.22 .00887524 12.24 .00267437 12.26 .00244291

12.28 .00152722 12.3 .00672881 12.32 .0251255 12.34 .0315222 12.36 .0271038

12.38 .0120151 12.4 -.00748696 12.42 -.0141222 12.44 -.00807529 12.46 -.00691484

12.48 -.0110018 12.5 -.00729618 12.52 -.0035538 12.54 -.0169304 12.56 -.0242938

12.58 .0156037 12.6 .0313124 12.62 .00725936 12.64 .00319173 12.66 .00388618

12.68 -.00637827 12.7 -.011383 12.72 -.0095832 12.74 -.00356889 12.76 .0157955

12.78 .014837 12.8 -.0090906 12.82 -.0175848 12.84 -.0160022 12.86 -.0122833

12.88 -.0139189 12.9 -.0132112 12.92 -.000886876 12.94 .00544456 12.96 .00826817

12.98 .00480217 13 -.0119844 13.02 -.0240476 13.04 -.0278317 13.06 -.0244106

13.08 -.0203133 13.1 -.0132834 13.12 -.00755972 13.14 -.00423135 13.16 .00842131

13.18 .0127276 13.2 .0078401 13.22 .0117079 13.24 .00688976 13.26 -.0168869

13.28 -.0338183 13.3 -.0318461 13.32 -.00655206 13.34 .0079473 13.36 .0170982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.38 .0209395 13.4 .028204 13.42 .0148325 13.44 -.015916 13.46 -.0166125
13.48 -.00869027 13.5 -.0103524 13.52 .00263168 13.54 .0130318 13.56 .0101378
13.58 .0234064 13.6 .00656071 13.62 -.00463779 13.64 .0103837 13.66 .0190401
13.68 .00172733 13.7 -.00654153 13.72 .0113688 13.74 .0132124 13.76 .0183182
13.78 .0130299 13.8 .00887768 13.82 .0230885 13.84 .00872475 13.86 -.00341291
13.88 -.00200364 13.9 -.0131716 13.92 -.0216066 13.94 -.0208551 13.96 -.00426837
13.98 .00404132 14 -.0046854 14.02 -.00359326 14.04 .00263212 14.06 .00230481
14.08 -.00186887 14.1 -.00452828 14.12 .00361315 14.14 .0050785 14.16 .000359272
14.18 .00106799 14.2 -.00230623 14.22 -.00517468 14.24 -.0102651 14.26 .000667309
14.28 .0173621 14.3 .0164597 14.32 .0157102 14.34 -.0127062 14.36 -.0322898
14.38 -.0193568 14.4 .0109064 14.42 .0288891 14.44 .0170818 14.46 .00719875
14.48 .00217463 14.5 .00715902 14.52 .0134048 14.54 .000239256 14.56 -.0110357
14.58 .00705609 14.6 .00633925 14.62 -.00702514 14.64 4.25316E-05 14.66 -
.00153903
14.68 -.00905636 14.7 .00121933 14.72 .00574077 14.74 .00681455 14.76 .0150325
14.78 .00462831 14.8 -.00455932 14.82 .003111 14.84 .00338838 14.86 .00517902
14.88 .00547577 14.9 -.0105276 14.92 -.0115066 14.94 -.0117033 14.96 -.0178716
14.98 -.0125211 15 -.0108998 15.02 -.00483753 15.04 .0134541 15.06 .0192645
15.08 .0036435 15.1 -.00502611 15.12 -.0034333 15.14 -.011227 15.16 -.0132236
15.18 -.00479356 15.2 .0100382 15.22 .0127048 15.24 .00718203 15.26 .00755832
15.28 .0139193 15.3 .000286759 15.32 -.0257802 15.34 -.0257608 15.36 -.0261289
15.38 -.00950347 15.4 .00289935 15.42 .00689359 15.44 .0021866 15.46 -.0101927
15.48 -.0142818 15.5 -.00864682 15.52 .0163709 15.54 .0129814 15.56 .00134032
15.58 -.00170148 15.6 -.00123545 15.62 .00375811 15.64 .00976935 15.66 .00327378
15.68 -.0124186 15.7 -.0135984 15.72 -.00336045 15.74 .0023877 15.76 .00368378
15.78 .00494518 15.8 .00452507 15.82 .00118246 15.84 -.00369687 15.86 -.00226313
15.88 -.00254864 15.9 -.000460248 15.92 .0129195 15.94 .0038593 15.96 -.0233518
15.98 -.0329218 16 -.016844 16.02 .00714182 16.04 .00756298 16.06 .002236
16.08 -.00533334 16.1 -.0100852 16.12 -.00887173 16.14 .00716128 16.16 .0232106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16.18 .0338605 16.2 .0393283 16.22 .0348762 16.24 .0259435 16.26 .0141515
16.28 .0035526 16.3 -.00321218 16.32 -.00873393 16.34 -.0151306 16.36 -.0119399
16.38 -.0104358 16.4 -.00293271 16.42 .00495481 16.44 -.00246361 16.46 -.0119877
16.48 -.0111261 16.5 -.00509443 16.52 -.00231264 16.54 -.00543091 16.56 -.0116328
16.58 -.000846243 16.6 .00681184 16.62 -.00604269 16.64 -.00423982 16.66
.00846382
16.68 .0200845 16.7 .0160954 16.72 -.0043244 16.74 -.00985533 16.76 -.0102336
16.78 .0140387 16.8 .0181369 16.82 -.00357484 16.84 -.00947694 16.86 -.0117713
16.88 -.00563361 16.9 .00347247 16.92 .0113477 16.94 .00844055 16.96 .0006275
16.98 -.0102784 17 -.00942585 17.02 -.00565391 17.04 -.0117987 17.06 -.0193609
17.08 -.0141858 17.1 -.00681022 17.12 .00111809 17.14 .0182728 17.16 .0217837
17.18 .0200665 17.2 .0134394 17.22 .00495432 17.24 -.00833358 17.26 -.00379379
17.28 .00855702 17.3 -.010165 17.32 -.0206527 17.34 -.0129559 17.36 -.0105218
17.38 -.00199698 17.4 .00335042 17.42 -.00606664 17.44 -.0164606 17.46 -.0165819
17.48 .0142359 17.5 .0204685 17.52 .0129613 17.54 .0137955 17.56 -.00657743
17.58 -.0127538 17.6 .00436823 17.62 .0157921 17.64 .0237847 17.66 .00902734
17.68 -.0128731 17.7 -.0102534 17.72 .00851242 17.74 .0069176 17.76 -.0143139
17.78 -.00831591 17.8 -.00406674 17.82 -.00372513 17.84 .00193125 17.86 .00532488
17.88 -.00202013 17.9 -.0112149 17.92 -.0111211 17.94 -.0106622 17.96 .0102593
17.98 .0208216 18 .0185813 18.02 .015773 18.04 .00125326 18.06 -.0114504
18.08 -.0255204 18.1 -.0207379 18.12 .00267479 18.14 .0198142 18.16 .0150348
18.18 .00784682 18.2 .00096579 18.22 -.0188391 18.24 -.0301049 18.26 -.0124812
18.28 -.00264906 18.3 -.00921704 18.32 .0142976 18.34 .0366457 18.36 .0372402
18.38 .0265975 18.4 .00730548 18.42 -.0025001 18.44 -.00462314 18.46 -.0203339
18.48 -.0252346 18.5 -.0165436 18.52 -.00349937 18.54 -.00060642 18.56 -.0113297
18.58 -.016775 18.6 -.020603 18.62 -.01781 18.64 -.00523792 18.66 .00433213
18.68 .00737294 18.7 .0165871 18.72 .00819995 18.74 -.000842885 18.76 .00414354
18.78 .0107809 18.8 .0189427 18.82 .0127275 18.84 .00721191 18.86 .00618098
18.88 .00702634 18.9 .00308617 18.92 -.00971024 18.94 -.00350016 18.96 .0129275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.98 .0148507 19 .0040988 19.02 -.00153818 19.04 -.00436482 19.06 -.0156306
19.08 -.0141612 19.1 -.00492462 19.12 -.00938994 19.14 -.00459625 19.16 .00940548
19.18 .00796667 19.2 .00500033 19.22 .00334942 19.24 -.00894019 19.26 -.0200622
19.28 -.0149412 19.3 .00317305 19.32 .00713262 19.34 .00141508 19.36 .00988383
19.38 .0144848 19.4 -.000761984 19.42 -.0218171 19.44 -.0270635 19.46 -.0148993
19.48 -.00823952 19.5 -.00903591 19.52 .00388696 19.54 .0237725 19.56 .0206766
19.58 .00812799 19.6 .00513513 19.62 .00547879 19.64 .0139588 19.66 .00752742
19.68 -.007597 19.7 -.000684339 19.72 .011797 19.74 .0109119 19.76 .00196185
19.78 -.00232095 19.8 -.00717071 19.82 -.0144433 19.84 -.0134868 19.86 -.0113464
19.88 -.0103226 19.9 -.00365468 19.92 .000420117 19.94 .00484875 19.96 .0070075
19.98 .0071829 20 .00383416 20.02 .00337224 20.04 .00376382 20.06 -.00781403
20.08 -.00740817 20.1 .0116065 20.12 .0267962 20.14 .0224961 20.16 .00575028
20.18 -.00852369 20.2 -.0211743 20.22 -.0204972 20.24 -.00170381 20.26 .00509057
20.28 .00687406 20.3 .0067048 20.32 -.00489242 20.34 -.00817794 20.36 -.00312422
20.38 -.00495052 20.4 -.0174135 20.42 -.0186514 20.44 -.00241548 20.46 .0174272
20.48 .0235669 20.5 .0127855 20.52 .00804786 20.54 -.00620776 20.56 -.0273128
20.58 -.0209406 20.6 .00198466 20.62 .0175557 20.64 .0162882 20.66 -.00220736
20.68 -.0170412 20.7 -.00487391 20.72 .00804896 20.74 .00160947 20.76 .0057587
20.78 -.00552139 20.8 -.00750269 20.82 .00840387 20.84 -.00305671 20.86 .00514997
20.88 .0129794 20.9 -.00152814 20.92 -.004728 20.94 -.00167292 20.96 -.00258964
20.98 .00264151 21 .00679891 21.02 -.00301178 21.04 -.00171061 21.06 -.00359402
21.08 -.0204917 21.1 -.0144468 21.12 -.00671025 21.14 -.00667863 21.16 .00341045
21.18 .00890673 21.2 .013836 21.22 .0148048 21.24 .00957365 21.26 .0217123
21.28 .0259217 21.3 .0073925 21.32 .00744859 21.34 -.00533355 21.36 -.0215185
21.38 -.0161874 21.4 -.0018257 21.42 .00223074 21.44 -.00623902 21.46 -.00656838
21.48 -.0150249 21.5 -.0209953 21.52 -.00790826 21.54 .000816435 21.56 .00180863
21.58 .00535928 21.6 .00291401 21.62 .00546229 21.64 .00575088 21.66 -.00111588
21.68 -.00956117 21.7 -.0188987 21.72 -.0238474 21.74 -.010483 21.76 .0236694
21.78 .0472595 21.8 .0427738 21.82 .00327405 21.84 -.0147168 21.86 -.0153256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21.88 -.024402 21.9 -.0142936 21.92 -.000158281 21.94 .00975235 21.96 .0203044
21.98 .0147102 22 -.0016399 22.02 -.00490809 22.04 -.00888599 22.06 -.0105695
22.08 .00358311 22.1 .00202805 22.12 -.00761744 22.14 -.00556372 22.16 .00919769
22.18 .0106865 22.2 -.000511011 22.22 .00441116 22.24 .00691152 22.26 .00237277
22.28 -.000468158 22.3 .00381771 22.32 .0137283 22.34 .00815356 22.36 -.00501709
22.38 -.013082 22.4 -.0122836 22.42 .00148566 22.44 .0085421 22.46 .00428174
22.48 -.0158791 22.5 -.0182652 22.52 -.00238719 22.54 .00670766 22.56 .00776919
22.58 .00599184 22.6 .00468457 22.62 -.00148675 22.64 .00171006 22.66 .00596229
22.68 .000877988 22.7 -.00215566 22.72 -.00787524 22.74 -.0151285 22.76 -.0111332
22.78 -.00399929 22.8 -.00047922 22.82 -.00435108 22.84 -.00947412 22.86 -.0127433
22.88 -.00922836 22.9 .00179172 22.92 .00572069 22.94 .0131728 22.96 .0202598
22.98 .026633 23 .0107683 23.02 -.0106009 23.04 -.0124496 23.06 -.00741322
23.08 .0076174 23.1 .0142935 23.12 .00242298 23.14 -.00824936 23.16 -.00501992
23.18 -.00666166 23.2 -.00767117 23.22 .00213748 23.24 .00641316 23.26 -.00243899
23.28 .000907722 23.3 .0114485 23.32 .0164931 23.34 .0126447 23.36 .000967906
23.38 -.00345664 23.4 -.00476493 23.42 -.00392876 23.44 -.00286111 23.46 .00254747
23.48 -.000353617 23.5 -.00711535 23.52 .003298 23.54 .0147627 23.56 -.00527577
23.58 -.0136548 23.6 -.00194129 23.62 .00235172 23.64 .00285649 23.66 -.00634441
23.68 -.0146479 23.7 -.0158696 23.72 -.00687465 23.74 -.000924598 23.76 .0170367
23.78 .0102933 23.8 -.00959115 23.82 -.00986239 23.84 -.0192213 23.86 -.0263379
23.88 -.00801669 23.9 .0200439 23.92 .0303471 23.94 .0209677 23.96 -.000507486
23.98 -.00633108 24 .00163189 24.02 .00557003 24.04 .00197044 24.06 -.00664208
24.08 -.0161183 24.1 -.0044558 24.12 .0125286 24.14 .0118413 24.16 .0153338
24.18 .00337156 24.2 -.0114939 24.22 -.00749249 24.24 .0052713 24.26 .0120422
24.28 .00478083 24.3 -.0102906 24.32 -.0224609 24.34 -.0376373 24.36 -.0279327
24.38 .0190691 24.4 .0305603 24.42 .0228778 24.44 .0146935 24.46 .00917686
24.48 .0133067 24.5 .00398651 24.52 -.0188939 24.54 -.0149272 24.56 -.0104262
24.58 -.00993464 24.6 .0035195 24.62 .00541617 24.64 -.00197677 24.66 -.00266813
24.68 .00352257 24.7 .00265377 24.72 .00106404 24.74 .00169525 24.76 -.00109673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24.78 .00276596 24.8 .00559873 24.82 .00371736 24.84 .00825 24.86 .00035434

24.88 -.0049594 24.9 .00137304 24.92 .00501751 24.94 -.00538563 24.96 -.00650221

24.98 -.00519494 25 -.0138564 25.02 -.00929011 25.04 -.00367657 25.06 -.00307493

25.08 -.00115277 25.1 .00107124 25.12 -.00852531 25.14 -.0166789 25.16 .00141999

25.18 .0162405 25.2 .0172919 25.22 .0172633 25.24 .0182117 25.26 .0099693

25.28 -.00111603 25.3 .0011559 25.32 .00627386 25.34 -.00842331 25.36 -.0172285

25.38 -.00392635 25.4 -.00312791 25.42 -.00450147 25.44 -.00567618 25.46 .00501045

25.48 .0184105 25.5 .0160509 25.52 .000236145 25.54 -.0126582 25.56 -.00778494

25.58 -.00230906 25.6 -.00553442 25.62 .00407743 25.64 .0101192 25.66 -7.89305E-05

25.68 .00253766 25.7 .0128796 25.72 .009692 25.74 -.0054671 25.76 -.0153502

25.78 -.0276102 25.8 -.0222312 25.82 -.00369075 25.84 .0135975 25.86 .0262043

25.88 .0163344 25.9 -.0009579 25.92 .000545163 25.94 -.00259862 25.96 -.011154

25.98 .00442723 26 .017915 26.02 .0170044 26.04 .00919747 26.06 -.00658774

26.08 -.0176404 26.1 -.0188488 26.12 -.0121962 26.14 .00496667 26.16 .00769034

26.18 .00253669 26.2 .00242962 26.22 .00120291 26.24 -.00985081 26.26 -.0118556

26.28 -.000957866 26.3 -.00202245 26.32 -.00607174 26.34 -.0142376 26.36 -.0127295

26.38 .0019106 26.4 .0145653 26.42 .0124178 26.44 .000317811 26.46 -.00441061

26.48 -.0121044 26.5 -.0170082 26.52 -.0026567 26.54 .00753231 26.56 .0137628

26.58 .00623625 26.6 -.0035469 26.62 -.00758906 26.64 -.0042607 26.66 .0185034

26.68 .0285782 26.7 .0228413 26.72 -.00322568 26.74 -.0159793 26.76 -.0169052

26.78 -.0164534 26.8 -.0172549 26.82 -.0109806 26.84 .00221043 26.86 -.002208

26.88 .00196672 26.9 .0144888 26.92 .0132315 26.94 .0082859 26.96 .0117764

26.98 .0172145 27 .00278861 27.02 -.00696293 27.04 -.00667741 27.06 -.00352649

27.08 -.00151356 27.1 -.0114884 27.12 -.00962744 27.14 .00594974 27.16 .0192897

27.18 .0132295 27.2 .00366252 27.22 -.00728719 27.24 -.0140255 27.26 -.0141468

27.28 -.0129191 27.3 -.000829328 27.32 .0212853 27.34 .0200902 27.36 -.00156352

27.38 -.0119779 27.4 -.0161516 27.42 -.00727087 27.44 .00545417 27.46 .00903133

27.48 -.00116889 27.5 -.0149932 27.52 -.0134167 27.54 -.00670799 27.56 -.000669228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27.58 .00824105 27.6 .00840013 27.62 .00603235 27.64 .0113777 27.66 .0088539

27.68 .00545009 27.7 .0103427 27.72 .0122608 27.74 .00197388 27.76 -.00955707

27.78 -.0171101 27.8 -.00707508 27.82 .0135058 27.84 .00988891 27.86 .00252249

27.88 .00554186 27.9 .00482806 27.92 .00575804 27.94 .00730087 27.96 -.00607984

27.98 -.0219762 28 -.0220568 28.02 -.0129578 28.04 .000876662 28.06 .0154229

28.08 .0118998 28.1 -.00150438 28.12 -.00308697 28.14 .0024042 28.16 .002187

28.18 .00260304 28.2 .0033199 28.22 -.00695578 28.24 -.0206628 28.26 -.0179055

28.28 -.0083742 28.3 -.00334599 28.32 .00850821 28.34 .0107088 28.36 .00312309

28.38 .000625806 28.4 .00117543 28.42 .00225429 28.44 .00732126 28.46 .00123559

28.48 -.00823349 28.5 -.000832391 28.52 .00644022 28.54 .00857551 28.56 .00805647

28.58 -.00358665 28.6 -.014312 28.62 -.0111744 28.64 .00386136 28.66 .0184137

28.68 .0210181 28.7 .010362 28.72 -.00604417 28.74 -.00891569 28.76 .0035432

28.78 .00560507 28.8 .00285897 28.82 -.000568297 28.84 -.00679265 28.86 -.00238645

28.88 -.00164818 28.9 -.00810604 28.92 -.0107073 28.94 -.0151604 28.96 -.0182379

28.98 -.0132464 29 -.00809891 29.02 -.00427396 29.04 .0041958 29.06 .00918018

29.08 .0110503 29.1 .0140422 29.12 .018531 29.14 .0193406 29.16 .00990315

29.18 .0075731 29.2 .00112747 29.22 -.0129365 29.24 -.0152441 29.26 -.0175078

29.28 -.0181554 29.3 -.0094011 29.32 .00227566 29.34 .00789022 29.36 .00689497

29.38 .0087427 29.4 .00820225 29.42 .00261012 29.44 -.0025578 29.46 -.00666828

29.48 -9.53312E-06 29.5 .00560604 29.52 .00360944 29.54 .0031679 29.56 -.00193476

29.58 -.00863022 29.6 .00325355 29.62 .0222865 29.64 .0151944 29.66 -.00357957

29.68 -.00824784 29.7 -.00664892 29.72 -.00882296 29.74 -.00867102 29.76 -.00204899

29.78 -.00313805 29.8 -.00622269 29.82 -.00598816 29.84 -.0067142 29.86 .00212878

29.88 .00361654 29.9 .00388269 29.92 .0104517 29.94 .00532864 29.96 -.00357246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29.98 -.00819891 30 -.008462 30.02 .00378172 30.04 .00749349 30.06 .00613421
30.08 .00973176 30.1 .00783101 30.12 .00165459 30.14 -.00731688 30.16 -.0103638
30.18 -.00456977 30.2 .00219197 30.22 .00349109 30.24 .00180447 30.26 .00273343
30.28 .00746185 30.3 .00567123 30.32 .0011651 30.34 .00340644 30.36 -.00187671
30.38 -.0167595 30.4 -.0125011 30.42 .00136394 30.44 .00440167 30.46 .00268854
30.48 .0048279 30.5 .000402335 30.52 -.00581386 30.54 -.00637572 30.56 -.00284955
30.58 .00251518 30.6 .00208078 30.62 .00294345 30.64 .00230511 30.66 .00106615
30.68 .0016637 30.7 .00504304 30.72 .00761068 30.74 .00505731 30.76 .000220794
30.78 -.00248452 30.8 -.0037561 30.82 -.00812253 30.84 -.0116202 30.86 -.0118802
30.88 -.00464939 30.9 .00789618 30.92 .0150169 30.94 .00770447 30.96 -.0038275
30.98 -.00775137 31 -.00751174 31.02 -2.55734E-06 31.04 -.000155517 31.06 -.00415281
31.08 .000469563 31.1 -.000134112 31.12 -.00692542 31.14 -3.0106E-05 31.16 .00928806
31.18 .00871701 31.2 .00863645 31.22 .00220306 31.24 -.000894839 31.26 .00633596
31.28 .0020348 31.3 -.00920451 31.32 -.00607093 31.34 -.00402436 31.36 -.0111542
31.38 -.00623001 31.4 .00472479 31.42 .00447088 31.44 .00667958 31.46 .00820711
31.48 .00388454 31.5 -.00102132 31.52 -.00255294 31.54 -.0040091 31.56 -.0068694
31.58 -.00642889 31.6 -.00657165 31.62 -.000377899 31.64 .0123053 31.66 .0134107
31.68 .00135561 31.7 -.00672564 31.72 -.000690968 31.74 .00723222 31.76 .0103791
31.78 .00934201 31.8 .00352453 31.82 .00225905 31.84 -.000431979 31.86 -.00386537
31.88 -.00309752 31.9 .00018494 31.92 .000374604 31.94 -.00766484 31.96 -.0117233
31.98 -.00458327 32 .00321246 32.02 .000677443 32.04 -.00452413 32.06 -.00665534
32.08 1.66567E-05 32.1 .00112712 32.12 -.00606188 32.14 -.00642184 32.16 -.00417949
32.18 -.00873762 32.2 .00160739 32.22 .0169918 32.24 .0111621 32.26 .00874336
32.28 .010588 32.3 .00266482 32.32 -.00851739 32.34 -.00076755 32.36 .00137487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32.38 -.00281719 32.4 -.00675737 32.42 -.00206566 32.44 .00621443 32.46 .00166649 32.48 -.00267648 32.5 -.0104712 32.52 -.00941477 32.54 .00212637 32.56 .0104014 32.58 .0108133 32.6 .00844248 32.62 .00229971 32.64 -.00729175 32.66 -.00836347 32.68 -.000344429 32.7 .00301145 32.72 -.00253173 32.74 -.00596511 32.76 -.00296919

32.78 .00218037 32.8 .00435542 32.82 .00114841 32.84 -.00288967 32.86 -.00686555 32.88 -.00317112 32.9 .00272997 32.92 -.00287439 32.94 -.00558582 32.96 .00103417 32.98 .00288801 33 .0030583 33.02 .00425545 33.04 8.32516E-06 33.06 -.000817649 33.08 .0010933 33.1 .00581152 33.12 .00735638 33.14 -.00414806 33.16 -.0129533 33.18 -.010663 33.2 .00206914 33.22 .00617043 33.24 -.00408179 33.26 -.00551654 33.28 .00506607 33.3 .00572582 33.32 .00588489 33.34 .00872174 33.36 .00962316 33.38 .00334273 33.4 -.00491901 33.42 -.00392785 33.44 -.00436838 33.46 -.00324159 33.48 -.00344452 33.5 .00457044 33.52 .00669043 33.54 -.00354039 33.56 -.00735311 33.58 -.00885108 33.6 -.00783442 33.62 .000745464 33.64 .0010371 33.66 -.00476713 33.68 .00116761 33.7 .00718087 33.72 .00517713 33.74 .00159588 33.76 -.00326715 33.78 .0012716 33.8 .00955883 33.82 .0112108 33.84 .00931715 33.86 .00799254 33.88 -.000207005 33.9 -.00702381 33.92 -.0093192 33.94 -.00710642 33.96 -.000311033

33.98 .000587332 34 -.00385965 34.02 -.00507312 34.04 -.0018029 34.06 .00397787 34.08 .00943947 34.1 .00071885 34.12 -.00602556 34.14 -.0049416 34.16 -.00644671 34.18 -.00358539 34.2 .00782217 34.22 .0109456 34.24 .00574092 34.26 .00743772 34.28 .00974942 34.3 .00593159 34.32 -.000220356 34.34 -.00598074 34.36 -.0128434 34.38 -.015148 34.4 -.00327646 34.42 .0040094 34.44 -.00239544 34.46 -.000320319 34.48 -.000811827 34.5 -.00642231 34.52 -.00155725 34.54 .00227484 34.56 -.00282476

34.58 -.00961404 34.6 -.0091052 34.62 -.00146856 34.64 .00175884 34.66 .00253382 34.68 .000710565 34.7 -.00209876 34.72 .00140294 34.74 .00130505 34.76 -.004438 34.78 -.000987285 34.8 .0142361 34.82 .0148673 34.84 .00327817 34.86 -.00350294 34.88 -.00155121 34.9 .00387775 34.92 .00406028 34.94 .00191887 34.96 .00842261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34.98 .0130501 35 -.000700795 35.02 -.0058524 35.04 .000138423 35.06 -.00757471
35.08 -.0097773 35.1 -.00590953 35.12 -.00757371 35.14 -.00659173 35.16 -.00423313
35.18 -.000876227 35.2 -.00444422 35.22 -.00205299 35.24 .00537972 35.26 .0114542
35.28 .00573049 35.3 -.00938579 35.32 .00551022 35.34 .0150507 35.36 -.00341536
35.38 -.00735351 35.4 -.00242523 35.42 -.00232938 35.44 .000883743 35.46 .0013008
35.48 -.00190723 35.5 -.0038865 35.52 -.00377434 35.54 .00278447 35.56 .00991126
35.58 .0171451 35.6 .0150822 35.62 -.00588314 35.64 -.0146598 35.66 -.00459728
35.68 -.00210612 35.7 -.00453305 35.72 .00388878 35.74 .00708865 35.76 -.00284645
35.78 -.00567311 35.8 .000593039 35.82 .00210323 35.84 .0037929 35.86 .00462192
35.88 -.00340733 35.9 -.00177884 35.92 .000340121 35.94 -.00284752 35.96 -
.000395103
35.98 .000182051 36 -.00033189 36.02 -.00178805 36.04 -.00306474 36.06 -
.000443054
36.08 -.00212151 36.1 -.00349303 36.12 -.00189718 36.14 -.00641657 36.16 -
.00516436
36.18 .0012109 36.2 .00370002 36.22 .00384277 36.24 .00572517 36.26 .00882306
36.28 .0116772 36.3 .0079206 36.32 -.00178098 36.34 -.00638908 36.36 -.010419
36.38 -.00906585 36.4 -.000240211 36.42 .00312893 36.44 .00231315 36.46
6.97685E-05
36.48 -.00105192 36.5 -.00168925 36.52 .00103848 36.54 .00570368 36.56 .00694059
36.58 .00291373 36.6 -.00321273 36.62 -.00093265 36.64 .00147285 36.66 -.00452308
36.68 -.00293947 36.7 .00524477 36.72 .0025986 36.74 -.000417722 36.76 -.00570292
36.78 -.00774949 36.8 -.00321278 36.82 .00134025 36.84 -8.22596E-05 36.86
.00195615
36.88 .00319408 36.9 .00236504 36.92 .00549965 36.94 .00102921 36.96 -.00251431
36.98 .000342929 37 .0040088 37.02 .00059173 37.04 .00237827 37.06 -.00140182
37.08 -.00555921 37.1 -.00115812 37.12 -.00613332 37.14 -.00887738 37.16 -
.00123563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37.18 .00144825 37.2 .000376527 37.22 .000895558 37.24 -.000357678 37.26 -.00208916

37.28 -.00474757 37.3 -.00650658 37.32 -.00263574 37.34 .00110253 37.36 .00376093

37.38 .00617663 37.4 .00442373 37.42 .00182651 37.44 .0001246 37.46 .00260149

37.48 .000599779 37.5 -.00626495 37.52 -.00469052 37.54 -.00155388 37.56 -.00388801

37.58 -.00671263 37.6 -.00503928 37.62 .00395869 37.64 .0103686 37.66 .0116637

37.68 .00784074 37.7 -.00099001 37.72 -.0024115 37.74 -.00131837 37.76 .000125545

37.78 .00239951 37.8 .000794469 37.82 .00530773 37.84 .00687401 37.86 -.00357605

37.88 .000480378 37.9 .00626726 37.92 .0028247 37.94 -.00139081 37.96 -.00431231

37.98 -.00454787 38 -.00376575 38.02 .00194874 38.04 .00583283 38.06 .00288075

38.08 -.00323959 38.1 -.0038606 38.12 -.00297346 38.14 -.00425015 38.16 -.00285518

38.18 .000849446 38.2 -.00544323 38.22 -.006414 38.24 .00165195 38.26 .00362509

38.28 .00243814 38.3 -.0014531 38.32 -.00442558 38.34 -.00333856 38.36 .000929963

38.38 .00454485 38.4 .00195783 38.42 -.0025483 38.44 -.000935116 38.46 .00147753

38.48 .000116202 38.5 .00665972 38.52 .0107834 38.54 .00504651 38.56 .000674988

38.58 .00168348 38.6 .00330891 38.62 -.00100144 38.64 8.0763E-06 38.66 -.00158574

38.68 -.0096619 38.7 -.0109233 38.72 -.00669657 38.74 -.00546986 38.76 -.00550759

38.78 .00363212 38.8 .012005 38.82 .00887039 38.84 .00540641 38.86 .00120109

38.88 -.00377308 38.9 -.00818336 38.92 -.00828024 38.94 -.000481454 38.96 .00597844

38.98 .00467524 39 -.00126563 39.02 -.00388426 39.04 -.00551377 39.06 -.00356918

39.08 .000968552 39.1 .0057296 39.12 .00974116 39.14 .00768847 39.16 .00368914

39.18 .00479756 39.2 .000194562 39.22 -.00398118 39.24 -.00228336 39.26 -.00469091

39.28 -.00743803 39.3 -.00534252 39.32 -.000627355 39.34 .0023859 39.36 .00305891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39.38 -.000434641 39.4 2.42272E-05 39.42 -.00014607 39.44 -.00244451 39.46 -.00424534

39.48 -.00431162 39.5 .00120606 39.52 .00435596 39.54 .00183317 39.56 .00558572

39.58 .0129481 39.6 .00599666 39.62 -.00473687 39.64 -.00466142 39.66 -.00259038

39.68 -.00276577 39.7 -.00185517 39.72 -.00186843 39.74 -.00268625 39.76 .00117235

39.78 -.00105471 39.8 -.00344289 39.82 .0019718 39.84 .000688992 39.86 -.000677431

39.88 .00261217 39.9 .00251937 39.92 -.00121279 39.94 .000138326 39.96 .00581916

39.98 .00433445 40 -.00205713 40.02 -.00246604 40.04 -.00267611 40.06 -.00368257

40.08 .000331025 40.1 .000173985 40.12 -.00457178 40.14 -.00798171 40.16 -.0034297

40.18 .00552952 40.2 .00570593 40.22 .00138233 40.24 -.00203475 40.26 -.00218363

40.28 -.00339506 40.3 -.00353272 40.32 .00516443 40.34 .0074384 40.36 .00107333

40.38 -.000727497 40.4 .00226639 40.42 .00190438 40.44 -.00393553 40.46 -.00442908

40.48 .00301688 40.5 .00506753 40.52 .00320552 40.54 .000972341 40.56 -.00627274

40.58 -.0076718 40.6 -.00103753 40.62 -.000432842 40.64 -.000175877 40.66 .000255459

40.68 -.000127957 40.7 .00435165 40.72 .00297809 40.74 .000617445 40.76 .00404573

40.78 .00141995 40.8 -.00398862 40.82 -.00494614 40.84 -.00414567 40.86 .000119803

40.88 .00396413 40.9 .00151579 40.92 -.00172487 40.94 .00165956 40.96 .00338492

40.98 -.00249069 41 -.00481157 41.02 -.00439145 41.04 -.00424155 41.06 -.00460763

41.08 -.00132313 41.1 .00358374 41.12 .00372242 41.14 .00820101 41.16 .00841208

41.18 .00814084 41.2 .0027241 41.22 -.00422425 41.24 -.00114063 41.26 -.000730705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41.28 .000904917 41.3 .00278935 41.32 .00339302 41.34 .00485937 41.36 .00564658

41.38 -.000614476 41.4 -.00713352 41.42 -.00791055 41.44 -.00601082 41.46 -.00325147

41.48 -.00449859 41.5 -.00279873 41.52 .000915078 41.54 -.000334077 41.56 .000454161

41.58 .00514995 41.6 .00156565 41.62 -.00113457 41.64 .000802892 41.66 .000578552

41.68 -.00133444 41.7 -.0019789 41.72 .000690713 41.74 -.00410705 41.76 -.0073936

41.78 -.00227463 41.8 .00250886 41.82 .0029147 41.84 .00192149 41.86 .00727092

41.88 .00644087 41.9 -.00730694 41.92 -.00729267 41.94 .0019898 41.96 .00141468

41.98 .0045809 42 .00269952 42.02 -.0015527 42.04 -.00198608 42.06 -.00142932

42.08 -.000916406 42.1 -.00456597 42.12 -.000819537 42.14 .00473485 42.16 .00509073

42.18 3.90566E-05 42.2 -.000673727 42.22 .00274742 42.24 .00185924 42.26 -.00224206

42.28 -.00485355 42.3 -.00216762 42.32 .00215393 42.34 .00550268 42.36 .00278207

42.38 .00269437 42.4 .00227323 42.42 -.00563467 42.44 -.00664521 42.46 -.00158232

42.48 -.00151808 42.5 .00535786 42.52 .00983747 42.54 .00131366 42.56 -.00197798

42.58 -.00206976 42.6 -.00288145 42.62 -.00372272 42.64 -.00392157 42.66 -.00304971

42.68 .00103119 42.7 .00422902 42.72 .000925135 42.74 -.00515747 42.76 -.00648514

42.78 -.00426624 42.8 .00343975 42.82 .00661922 42.84 -.000184326 42.86 -.00202288

42.88 -.00265612 42.9 -.00184647 42.92 -4.15725E-05 42.94 .00288603 42.96 .00395775

42.98 -.00234817 43 -.00802392 43.02 -.00830434 43.04 -.00508306 43.06 .00196624

43.08 .00645197 43.1 .00707909 43.12 .00837209 43.14 .0069761 43.16 .00492035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43.18 -.00109904 43.2 -.00463745 43.22 -.000537175 43.24 .00359981 43.26 .00277588

43.28 .00116575 43.3 -.000595304 43.32 .00161442 43.34 .00438193 43.36 .000448882

43.38 -.00124079 43.4 -.00379518 43.42 -.0022238 43.44 -.00100524 43.46 -.00429994

43.48 -.00270103 43.5 -.00390429 43.52 -.00290293 43.54 .000734394 43.56 .00378029

43.58 .00932754 43.6 .00572386 43.62 .000405023 43.64 .000435613 43.66 -.00222075

43.68 -.00183835 43.7 .00345907 43.72 .00182956 43.74 -.00221769 43.76 -.00145188

43.78 -.00141518 43.8 -.00190872 43.82 -.00298758 43.84 -.00104298 43.86 .00478266

43.88 .000394818 43.9 -.00775475 43.92 -.00923028 43.94 -.00653008 43.96 .000105217

43.98 .00370379 44 .00327144 44.02 .00263003 44.04 .00410046 44.06 .00205389

44.08 -.00285502 44.1 -.00512797 44.12 -.00298656 44.14 .000717045 44.16 .000785366

44.18 -.00129995 44.2 .000382578 44.22 .006042 44.24 .00729319 44.26 .00338768

44.28 .000318336 44.3 .000954639 44.32 .00116164 44.34 .0018836 44.36 .00392813

44.38 .00107293 44.4 .00250359 44.42 -.00114394 44.44 -.0100828 44.46 -.00964123

44.48 -.00855625 44.5 -.00869697 44.52 -.00542572 44.54 -.00312932 44.56 -.00293353

44.58 -.00101545 44.6 .000588566 44.62 .0024628 44.64 .0068741 44.66 .00952536

44.68 .00693936 44.7 .00552297 44.72 .00231903 44.74 -.00445495 44.76 -.00399301

44.78 -.000631008 44.8 .0050019 44.82 .00900327 44.84 .00455017 44.86 .000986265

44.88 -.00068097 44.9 -.00214018 44.92 -.00103277 44.94 -.00190565 44.96 -.00772211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44.98 -.00524215 45 -7.83114E-05 45.02 .000763975 45.04 .00124426 45.06 -.00183426

45.08 -.00810449 45.1 -.0052503 45.12 .00452265 45.14 .0108673 45.16 .0105186

45.18 .00495196 45.2 .00254543 45.22 .000567183 45.24 -.000363816 45.26 .000771129

45.28 -.000944031 45.3 -.0046609 45.32 -.00522989 45.34 -.00575097 45.36 -.00573975

45.38 -.00153954 45.4 .000613085 45.42 .000771143 45.44 .00166136 45.46 .00403424

45.48 .00607775 45.5 .00231398 45.52 -.00218908 45.54 -.00257351 45.56 -.00134068

45.58 -.000669701 45.6 .00301454 45.62 .00467871 45.64 .00060699 45.66 -.00152014

45.68 -.00564794 45.7 -.00703985 45.72 -.000551399 45.74 -.000439227 45.76 -.0021238

45.78 .00259341 45.8 .00192958 45.82 -.000370897 45.84 -.000470827 45.86 .00034189

45.88 -.00134778 45.9 -.00340148 45.92 .00154618 45.94 .00308086 45.96 .00185618

45.98 .00348773 46 .00637353 46.02 .000750817 46.04 -.00452621 46.06 -.00315877

46.08 -.00559589 46.1 -.00594769 46.12 -.00503096 46.14 -.00426617 46.16 -.000530946

46.18 .00192657 46.2 .000392923 46.22 -.00214719 46.24 .000681509 46.26 .00793475

46.28 .00906052 46.3 .0058423 46.32 -6.28706E-05 46.34 -.00310162 46.36 -.00436811

46.38 -.00700407 46.4 -.00570495 46.42 -.000700176 46.44 .01022 46.46 .0109215

46.48 .00351024 46.5 .00357041 46.52 .00226008 46.54 -.0033351 46.56 -.00623007

46.58 -.00302714 46.6 -.000528831 46.62 .00351027 46.64 .00933693 46.66 .00960614

46.68 .00638486 46.7 .00139233 46.72 -.00208489 46.74 -.00370114 46.76 -.00614233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46.78 -.00473512 46.8 -.000969308 46.82 -.00261309 46.84 -.00549786 46.86 -.00991628

46.88 -.00905462 46.9 -.0048024 46.92 -.00258655 46.94 -.0014516 46.96 .000317609

46.98 .00527547 47 .0077697 47.02 .00849982 47.04 .00496855 47.06 .00175237

47.08 -.000164689 47.1 -.00291792 47.12 -.00381526 47.14 -.00164428 47.16 .000575644

47.18 .00053486 47.2 .000203458 47.22 .000583817 47.24 .00185541 47.26 -.00229483

47.28 -.00422311 47.3 -.00118333 47.32 .00273952 47.34 .00562736 47.36 .003281

47.38 .000330969 47.4 .00308115 47.42 .00719367 47.44 .0025764 47.46 .000873479

47.48 .00375826 47.5 .00175962 47.52 -.000296118 47.54 -.00125261 47.56 -.00317884

47.58 -.00348169 47.6 .000895953 47.62 .000198473 47.64 -.00404762 47.66 -.00501328

47.68 -.00492558 47.7 -.00619818 47.72 -.00530592 47.74 -.000510194 47.76 .00187289

47.78 .000592132 47.8 -.00110059 47.82 -.00291568 47.84 -.00266278 47.86 .00130188

47.88 .000774692 47.9 -.00667433 47.92 -.00915121 47.94 -.00255058 47.96 .00383795

47.98 .00545114 48 .00356773 48.02 .00347801 48.04 .00299569 48.06 .00074518

48.08 -.00201314 48.1 -.00401892 48.12 -.00514672 48.14 -.000370362 48.16 .00551239

48.18 .00459363 48.2 .00535435 48.22 .0057704 48.24 .000644291 48.26 -.00425034

48.28 -.00419425 48.3 -.00209668 48.32 -.000348883 48.34 -8.06903E-05 48.36 -.00234241

48.38 -.00176015 48.4 .00173851 48.42 .000659654 48.44 -.00203953 48.46 -.000152025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48.48 .000794279 48.5 .000611758 48.52 .0052219 48.54 .0037627 48.56 -.00450209
48.58 -.00101058 48.6 .00702173 48.62 .00656695 48.64 .0040452 48.66 .00378008
48.68 .00188648 48.7 .000332436 48.72 -.001604 48.74 -.00613561 48.76 -.00604178
48.78 .00143376 48.8 .00325396 48.82 -.00320287 48.84 -.00402271 48.86 -.00152542
48.88 -.00167837 48.9 -.00160698 48.92 .00109018 48.94 .00345797 48.96 .00377001
48.98 .00245765 49 .000770024 49.02 -.00103079 49.04 -.00178231 49.06 8.32304E-06
49.08 .00104538 49.1 -.00245631 49.12 -.00194543 49.14 .00199069 49.16 -.00232576
49.18 -.00107354 49.2 .00452879 49.22 .00535681 49.24 .0056505 49.26 .0029452
49.28 .00132182 49.3 .000366357 49.32 -9.45453E-05 49.34 -9.9634E-05 49.36 -.000261759
49.38 .000231793 49.4 -.00188921 49.42 -.00243678 49.44 -.000812366 49.46 -.00113561
49.48 -.00146904 49.5 .000954833 49.52 .00440964 49.54 .006962 49.56 .00846609
49.58 .00568432 49.6 .000629595 49.62 -.00231839 49.64 -.00236121 49.66 -.00309336
49.68 -.00508383 49.7 -.0075393 49.72 -.00786254 49.74 -.0077942 49.76 -.00494919
49.78 -.00327582 49.8 -.00375406 49.82 -.00224283 49.84 .000299337 49.86 .00191254
49.88 -.000430757 49.9 .00158421 49.92 4.85317E-05 49.94 -.00364487 49.96 -.00178591
49.98 -.000644841 50 -.000994592 50.02 -.000769223 50.04 -.000862006 50.06 3.73955E-05
50.08 .00208908 50.1 .00159758 50.12 -.000443875 50.14 -3.34581E-06 50.16 .00148647
50.18 .00192394 50.2 .00167208 50.22 -.00136666 50.24 -.00202232 50.26 -4.91604E-05
50.28 .00131217 50.3 .00638731 50.32 .0084084 50.34 .00633941 50.36 .000289447

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50.38 -.00457051 50.4 -.00391992 50.42 -.00183356 50.44 .00131839 50.46 -.000666983

50.48 -.00191 50.5 -.000703667 50.52 -.00102996 50.54 .000590379 50.56 .00344764

50.58 .00482019 50.6 .00438172 50.62 .000116263 50.64 -.0031825 50.66 -.00251458

50.68 -.00442347 50.7 -.00769981 50.72 -.00611821 50.74 -.000417987 50.76 .00379039

50.78 .00336927 50.8 .00231081 50.82 .0023302 50.84 .00544239 50.86 .00654574

50.88 .0009872779 50.9 -.00115819 50.92 -.000434178 50.94 -.000242457 50.96 -.00285394

50.98 -.00428254 51 -.00333929 51.02 -.00394091 51.04 -.0011948 51.06 .00290447

51.08 .00212644 51.1 .000816124 51.12 .000231841 51.14 -.0037328 51.16 -.00454754

51.18 -.00140986 51.2 .00211124 51.22 .00597394 51.24 .00364798 51.26 -.00384692

51.28 -.00702434 51.3 -.00477891 51.32 -.00167998 51.34 .00033092 51.36 .00208077

51.38 .00101212 51.4 -.000705065 51.42 -.000911032 51.44 -.000230866 51.46 .00152

51.48 .00189935 51.5 .00175763 51.52 .00258667 51.54 .00173828 51.56 .000868483

51.58 .00406735 51.6 .00401434 51.62 .000667647 51.64 -.000557015 51.66 -.000913899

51.68 .000401551 51.7 .000365877 51.72 -.000334651 51.74 .00158141 51.76 .00190264

51.78 .00103692 51.8 -.000592573 51.82 .000556664 51.84 .00337926 51.86 .00463862

51.88 .00463456 51.9 .00106047 51.92 -.00628453 51.94 -.00991776 51.96 -.0094711

51.98 -.00437455 52 -.00267262 52.02 -.000236503 52.04 .00574517 52.06 .00482336

52.08 .00339782 52.1 .0040474 52.12 .00333259 52.14 .000792497 52.16 .00170414

52.18 .00220892 52.2 .00161954 52.22 7.97877E-05 52.24 .000629433 52.26 .000696752

52.28 -.0010551 52.3 -.000810351 52.32 .0016533 52.34 .00193068 52.36 -.00254483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

52.38 -.00428853 52.4 -.00250605 52.42 -.000614454 52.44 -.000888738 52.46 .000306388

52.48 -.000236082 52.5 .000251361 52.52 .000741864 52.54 -.000625556 52.56 -.000601064

52.58 -.00364388 52.6 -.00441374 52.62 .000250457 52.64 .00205333 52.66 .000265792

52.68 -.000384767 52.7 -.000180804 52.72 -.00113422 52.74 -.000392865 52.76 -.00111786

52.78 -.000640616 52.8 -.000813948 52.82 -.00167967 52.84 .00225748 52.86 .0048435

52.88 .00428369 52.9 .00652403 52.92 .00637517 52.94 -.00150007 52.96 -.00680666

52.98 -.0106245 53 -.01024 53.02 -.00509347 53.04 .000781135 53.06 .0016418

53.08 .00105242 53.1 -.0011583 53.12 -.00238908 53.14 .00152359 53.16 .00143592

53.18 -.0012969 53.2 -.00081761 53.22 .00189893 53.24 .00362126 53.26 .0039221

53.28 .00393027 53.3 .00387931 53.32 .000868111 53.34 -.00137728 53.36 -.00134463

53.38 -.00319029 53.4 -.0033004 53.42 -.00175857 53.44 -.00187683 53.46 -.000815285

53.48 .00193797 53.5 .00404575 53.52 .00566406 53.54 .00264878 53.56 -.00230702

53.58 -.00225397 53.6 .0011774 53.62 .00247756 53.64 .00174135 53.66 .000395347

53.68 .000890952 53.7 .00109492 53.72 -.00256686 53.74 -.000889402 53.76 -.00145022

53.78 -.0045277 53.8 -.00152054 53.82 .00132348 53.84 .00399312 53.86 .00526473

53.88 -.000207046 53.9 -.00500479 53.92 -.00682393 53.94 -.0050078 53.96 -.00103394

53.98 .00244638 54 .00171832 54.02 .000474294 54.04 .0022782 54.06 .00282173

54.08 .00411374 54.1 .00207841 54.12 .00259237 54.14 .00255466 54.16 -.00105409

54.18 -.000955149 54.2 .00122299 54.22 -.000141365 54.24 -.00180144 54.26 .00131076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54.28 .00143927 54.3 -.00246825 54.32 -.00238869 54.34 -.00153516 54.36 -.00175846
54.38 -.0018655 54.4 -.000482739 54.42 -.000304262 54.44 .000597193 54.46
.00122944
54.48 -.00106591 54.5 -.00298295 54.52 -.00417701 54.54 -.00327454 54.56 -
.00302774
54.58 -.0029859 54.6 .000240504 54.62 .00378608 54.64 .0031651 54.66 .00225962
54.68 .000123344 54.7 -.00139499 54.72 -.00197926 54.74 -.000842245 54.76
.000993271
54.78 .00103205 54.8 -.000340462 54.82 -.00158347 54.84 -.0017415 54.86
.000352008
54.88 .00492648 54.9 .00664167 54.92 .00798569 54.94 .00549761 54.96 -
.000252543
54.98 -.0031893 55 -.00331265 55.02 -.0023908 55.04 -.000708243 55.06 .00119152
55.08 .00331255 55.1 .000967237 55.12 -1.26816E-05 55.14 .00321475 55.16
.00326474
55.18 .00232154 55.2 .00268866 55.22 .00108672 55.24 -.00321645 55.26 -.00265252
55.28 -.00192747 55.3 -.00384553 55.32 -.00334278 55.34 -.000880137 55.36 -
.000629257
55.38 .00035072 55.4 -.000490516 55.42 -.00298471 55.44 -.00522908 55.46 -
.00586739
55.48 -.00547375 55.5 -.000586218 55.52 .00647229 55.54 .00983534 55.56
.00865148
55.58 .00167461 55.6 .000932293 55.62 .000619271 55.64 -.000857247 55.66 -
.00387965
55.68 -.0043752 55.7 -.0028354 55.72 -.00143938 55.74 -.00273643 55.76 -.00285162
55.78 .00123441 55.8 .00400093 55.82 .00466378 55.84 -.000427631 55.86 -
.00461047
55.88 -.000982293 55.9 .00471081 55.92 .00640256 55.94 .0062741 55.96 .00431628
55.98 -.00160824 56 -.00424519 56.02 -.00177744 56.04 .000197778 56.06 .00131848

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

56.08 .000301855 56.1 -.00537997 56.12 -.00819333 56.14 -.00340471 56.16 .00173571

56.18 .00122996 56.2 -.00285397 56.22 -.00438759 56.24 -.00440489 56.26 -.00463837

56.28 -.004104 56.3 -.00223381 56.32 -.00173819 56.34 .00179108 56.36 .00390906

56.38 .00230712 56.4 .00122218 56.42 -.00186039 56.44 -.00369278 56.46 .000389174

56.48 .00402042 56.5 .00607722 56.52 .00598752 56.54 .00290087 56.56 -.000742536

56.58 -.000117415 56.6 .00321097 56.62 .00144792 56.64 -.00242493 56.66 -.00440926

56.68 -.00248706 56.7 .00212515 56.72 .00384035 56.74 .00227818 56.76 -.000602479

56.78 -.00279483 56.8 -.00465884 56.82 -.00693889 56.84 -.00195958 56.86 .00469411

56.88 .00582807 56.9 .00447188 56.92 .00429245 56.94 .00216944 56.96 -.000637804

56.98 -.00156673 57 -.000965059 57.02 .000457482 57.04 .00152516 57.06 .0031649

57.08 .00311332 57.1 .000912239 57.12 3.63537E-06 57.14 .000171366 57.16 -.00082576

57.18 -.000408558 57.2 -.000362625 57.22 .00165646 57.24 .00319719 57.26 .000811928

57.28 .00162227 57.3 .00307812 57.32 .0010472 57.34 -.000407086 57.36 -.0022853

57.38 -.0043511 57.4 -.00153091 57.42 .0011609 57.44 -6.2391E-05 57.46 7.79157E-05

57.48 -.00234317 57.5 -.0014817 57.52 .00277568 57.54 .00381059 57.56 .00200848

57.58 -.000564058 57.6 -.00138693 57.62 -.00269056 57.64 -.00385797 57.66 -.0032055

57.68 -.0012821 57.7 -.00156596 57.72 -.00245096 57.74 -4.79618E-05 57.76 .000645088

57.78 -.0019161 57.8 -.00142545 57.82 -.00187108 57.84 -.00426181 57.86 -.00280882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

57.88 -.000628182 57.9 .000342948 57.92 .00044168 57.94 .000551308 57.96 .000415374

57.98 -.000184319 58 .00149234 58.02 .00074846 58.04 -.00070451 58.06 -.00123233

58.08 -.00155924 58.1 -.000651048 58.12 -.000374927 58.14 .000124266 58.16 .000875384

58.18 .000484924 58.2 .00064511 58.22 .00161307 58.24 .00156419 58.26 .00171422

58.28 .00244226 58.3 .000890113 58.32 -.000249228 58.34 -.000279884 58.36 -.00123177

58.38 -.000282157 58.4 .00131887 58.42 .000912139 58.44 -.00117549 58.46 -.00184719

58.48 -.000649452 58.5 .000393534 58.52 .00212491 58.54 .00333178 58.56 .00159814

58.58 9.28402E-05 58.6 -.000754632 58.62 -.000686952 58.64 .000463825 58.66 .00106202

58.68 .000545975 58.7 -.00012173 58.72 -.000380336 58.74 -.00105811 58.76 -.00127444

58.78 -.000264524 58.8 .000927404 58.82 .000427257 58.84 -7.5984E-05 58.86 -.000495174

58.88 -.000502866 58.9 -.000514198 58.92 8.6206E-05 58.94 .0014033 58.96 .00167378

58.98 .00103477 59 .000339748 59.02 -.000250582 59.04 -.000671961 59.06 -.000872433

59.08 -.000405886 59.1 .000523833 59.12 .000462111 59.14 -.000153497 59.16 -.000574484

59.18 -.00113674 59.2 -.00103851 59.22 -.000196189 59.24 .000125274 59.26 .000125123

59.28 -2.23023E-05 59.3 -.000315674 59.32 -.000124325 59.34 .00024928 59.36 .000130954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

59.38 -.000261777 59.4 -.000251324 59.42 -.000101259 59.44 -.000286583 59.46 -.000435049

59.48 -.000517989 59.5 -.000231063 59.52 .000261603 59.54 .000432266 59.56 .000353995

59.58 .000317745 59.6 .000270038 59.62 6.15957E-05 59.64 -.000162893 59.66 -.000216939

59.68 -.000220307 59.7 -.000312746 59.72 -.000331755 59.74 -.000184495 59.76 -3.73036E-05

59.78 6.70748E-05 59.8 .00011239 59.82 9.45212E-05 59.84 .000111829 59.86 .000111964

59.88 8.62274E-05 59.9 6.35684E-05 59.92 5.66485E-05 59.94 6.54862E-05 59.96 7.38708E-05

59.98 8.64275E-05 60 9.19948E-05 60.02 9.23563E-05 60.04 9.14647E-05 60.06 8.61953E-05

→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12

The 12th National Convention on Civil Engineering

PROCEEDINGS

"ประเทศไทยก้าวไกลไปกับวิศวกรรมโยธา"

Thailand Advances with Civil Engineering

volume 7

เล่มที่ 7

STR

วิศวกรรมโครงสร้าง

Structural Engineering

ปูนซีเมนต์สยามซิตี้ SIAM CITY CEMENT

การจำลองการสั่นไหวของเขื่อนคอนกรีตโค้งในประเทศไทย

DYNAMIC RESPONSE SIMULATION OF CONCRETE ARCH DAM IN THAILAND

พิสิฐ หอมเกษร (Pisit Homkesorn) [1]

ศรีกริช หิรัญมาศ (Sikrit Hiranmas) [2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Email: hpisit@gmail.com

[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Email: sikrit@hotmail.com

บทคัดย่อ : การก่อสร้างเขื่อนโดยทั่วไปจะหลีกเลี่ยงการก่อสร้างเขื่อนใกล้บริเวณรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก จากการสำรวจรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณีพบว่า มีหลายเขื่อนในประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกซึ่งน้ำหนักของน้ำในเขื่อนจะเพิ่มพลังงานความเครียดให้กับแผ่นเปลือกโลก และเป็นการกระตุ้นให้เกิดแผ่นดินไหว ในการศึกษานี้ใช้เขื่อนภูมิพลซึ่งอยู่ใกล้รอยเลื่อนเมยเป็นกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างเขื่อนภูมิพลภายใต้การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกร่วมกับมวลของน้ำที่เคลื่อนตัวกระทำกับเขื่อนด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ เพื่อทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างเขื่อนภูมิพลขณะเกิดแผ่นดินไหว

ABSTRACT : The selection of location for the construction of a dam will generally try to avoid areas of plate tectonic (fault) boundaries. The study by the Department of Mineral Resources, however, revcals that there are a couple of dams in Thailand located in the forbidden areas. The weight of water stored in the dam reservoir tends to increase the strain energy in plate tectonic boundaries which can trigger earthquake. This research chose Bhumibol dam located on the Moei fault as a case study. Utilizing the ground motion wave propagation data gathered from the location with similar soil condition as the Bhumibol dam together with the effects of dam-water interaction, this research will simulate the dynamic response of Bhumibol dam under earthquake using the finite element method of analysis.

KEYWORDS : Concrete Dam, Earthquake, Seismic, Dynamic response, Bhumibol dam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยตั้งอยู่บนพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง แต่ในบางจังหวัดของประเทศไทยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในระดับปานกลางจนถึงค่อนข้างสูง โดยเฉพาะจังหวัดที่มีชายแดนติดกับประเทศพม่า อีกทั้งการสำรวจรอยเลื่อนในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณีพบว่า มีหลายเขื่อนในประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา ผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.สามเงา จ.ตาก และตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนเมย

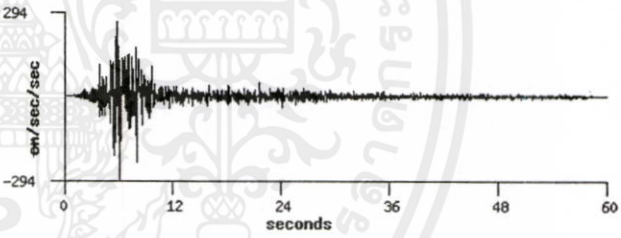
เนื่องจากเขื่อนภูมิพล ตั้งอยู่ใกล้กับรอยเลื่อนเมย อีกทั้งจังหวัดตากยังเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหวในระดับปานกลางจนถึงค่อนข้างสูง จึงทำให้เกิดความไม่มั่นใจในความปลอดภัยของเขื่อนภูมิพลเมื่อเกิดแผ่นดินไหว การศึกษาเรื่องดังกล่าวนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ภาพที่ 1 แผนที่รอยเลื่อนในประเทศไทย โดยกรมทรัพยากรธรณี

2. คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้จำลอง

ผู้เขียนได้ศึกษาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจาก กลุ่มสมาคมเฝ้าระวังเหตุการณ์แผ่นดินไหวในระดับรุนแรง (COSMOS: The Consortiums for Strong-Motion Observation System) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนวิทยาศาสตร์แห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ดำเนินงานโดย ฝ่ายธรณีและเหมืองแร่ของรัฐแคลิฟอร์เนีย, หน่วยงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา, หน่วยงานฟื้นฟูของสหรัฐอเมริกา และหน่วยงานวิศวกรรมแห่งกองทัพบกของสหรัฐอเมริกา

จากการศึกษาข้อมูลอัตราเร่งของมวลดินในเหตุการณ์แผ่นดินไหวจาก COSMOS ผู้เขียนจึงได้เลือกใช้ข้อมูลที่อยู่ใกล้จังหวัดตากมากที่สุด คือข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศจีน ที่เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1997 ซึ่งมีขนาดความรุนแรง 6.1 ริกเตอร์



ภาพที่ 2 ความเร่งของมวลดินที่เกิดจากแผ่นดินไหวในประเทศจีน ข้อมูลโดยกลุ่มสมาคมเฝ้าระวังเหตุการณ์แผ่นดินไหวในระดับรุนแรง(COSMOS)

3. หลักการวิเคราะห์

3.1 การวิเคราะห์ทางสถิตย์

จากหลักการสมดุลทางสถิตย์ ความสัมพันธ์ของแรง(R) กับระยะขจัด (U) มีค่าตามสมการ 1

$$K U = R \qquad (1)$$

เมื่อ K คือ ค่าสติฟเนสของโครงสร้าง

3.2 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์

จากหลักการสมดุลทางพลศาสตร์ ค่าของแรง(R) มีค่าตามสมการ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = R(t) \qquad (2)$$

เมื่อ M คือ ค่าเมตริกซ์ของมวล (Mass matrix) จากแรงดันน้ำ

C คือ เมตริกซ์ของความหนืด (Viscous damping matrix)

$\dot{U}$ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Node ในโครงสร้าง

$\ddot{U}$ คือ เวกเตอร์ความเร่ง

3.3 ผลจากมวลของน้ำ(Added Mass of the Reservoir)

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมแผ่นดินไหว (EERC) ของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนียในเมืองเบิร์คเลย์ได้ทำการศึกษาด้าน Fluid-Structure Interaction: Added Mass Computation for Incompressible Fluid ซึ่งมีการจำลองพลศาสตร์ของแรงดันน้ำให้อยู่ในรูปของสมการคลื่น ตามสมการ 3

$$\nabla^2 P(x,y,z,t) = \frac{1}{C^2}\ddot{P}(x,y,z,t) \qquad (3)$$

เมื่อ C คือ ค่าความเร็วของเสียงในน้ำ

P คือ ค่าแรงดันน้ำทางพลศาสตร์

จากหลักการของกาเลอร์กิล (Galergin) สมการที่ 3 สามารถเขียนได้เป็น

$$\int_V N^T(\nabla^2 \bar{P})dV = 0 \qquad (4)$$

เมื่อ N คือ เวกเตอร์ของฟังก์ชันน้ำหนัก

$\bar{P}$ คือ ค่าประมาณของแรงดันน้ำ

V คือ ปริมาตรของน้ำ

ดังนั้นค่าแรงดันที่ผิวสัมผัสจะมีค่าตามสมการที่ 5

$$P_s = \rho g_s^{-1} h_s \cup_s' \qquad (5)$$

เมื่อ P_s คือ เวกเตอร์ของแรงดันที่โหนด

g_s, h_s คือ ค่าเมตริกซ์จากความสัมพันธ์ของอิลิเมนต์

$\cup_s'$ คือ เวกเตอร์ของความเร่งของโหนดที่ผิวสัมพันธ์ระหว่างเขื่อนกับน้ำ

จากสมการที่ 5 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแรงที่โหนดได้ตามสมการที่ 6

$$f_s = m_a \cup_s' \qquad (6)$$

โดยที่ $m_a = \rho h_s' g^{-1} h_s \qquad (7)$

เมื่อ m_a คือ มวลที่เพิ่ม (added mass) ซึ่งเกิดจากน้ำในเขื่อนทำให้เกิดความเร่งที่ผิวสัมผัสของเขื่อน

การวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายคือการรวมกันระหว่าง มวลที่เพิ่ม(added mass) และมวลของเขื่อนซึ่งการรวมกันของมวลใช้วิธีสติฟเนสโดยตรง (direct Stiffness assembly) ดังสมการที่ 8

$$M = m + m_a \qquad (8)$$

เมื่อ M คือมวลรวม

m คือมวลของเขื่อน

m_a คือมวลที่เพิ่ม (added mass)

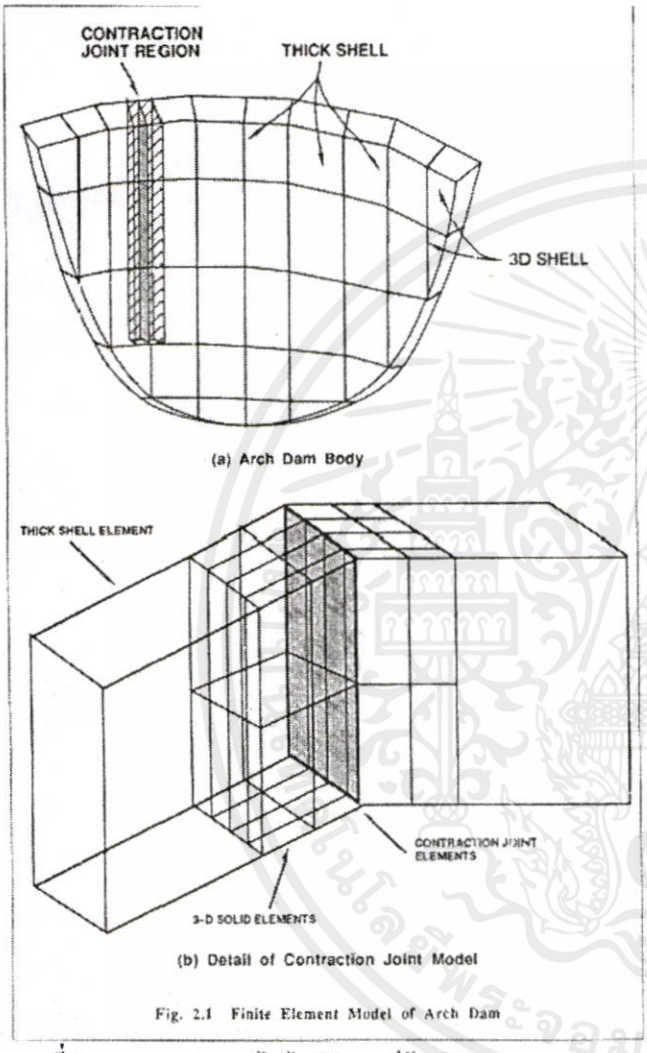
ผลจากการวิเคราะห์ได้ถูกนำมาสร้างเป็นโปรแกรมย่อยชื่อว่า RSVOIR ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม ADAP-88[4] จากการศึกษาผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนคอนกรีตโค้งโดยศูนย์วิจัยวิศวกรรมแผ่นดินไหวของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย ได้นำเอาผลการศึกษามาสร้างเป็นโปรแกรม ADAP-88[4] โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวทำงานบนเครื่อง Main Frame และได้มีการศึกษาผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของเขื่อนในภาคสนาม พบว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมให้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดในภาคสนามมาก โปรแกรมดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมใช้ในการวิจัยอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน

4. แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 แบบจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล

แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพลจะใช้อิลิเมนต์ประเภท thick shell บริเวณฐานเขื่อนที่เป็นส่วนโค้งจะใช้อิลิเมนต์ประเภท 3D-shell สำหรับบริเวณใกล้จุดต่อจะใช้อิลิเมนต์ประเภท 3D-solid

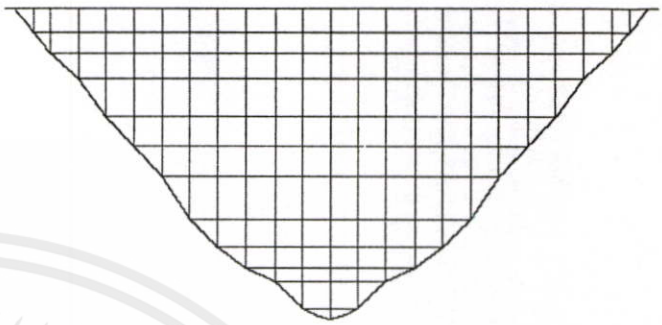


ภาพที่ 3 ระบบการจำลองไฟไนอิลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ADAP88

เขื่อนภูมิพลเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีความสูง 154 เมตร ความยาว 486 เมตร การจำลองโครงสร้างเขื่อนด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์จะใช้โปรแกรม ADAP-88 ซึ่งผู้เขียนได้ปรับปรุงชุดคำสั่งของโปรแกรมจาก Main Frame ให้ใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้

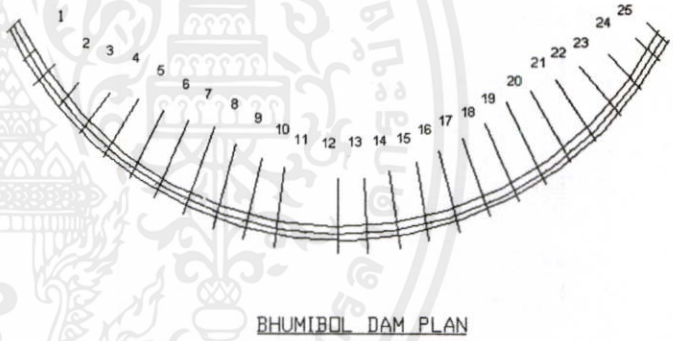
สำหรับแบบจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพล ประกอบด้วยโหนดและอิลิเมนต์ดังนี้

จำนวนโหนดทั้งหมด	1988
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-solid	798
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-shell	17
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท thick shell	28
จำนวนอิลิเมนต์ประเภท 3D-solid ของฐานราก	72



ภาพที่ 4 แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพล

ภาพที่ 5 แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ของเขื่อนภูมิพล



ภาพที่ 5 แปลนโครงสร้างเขื่อนภูมิพล

4.2 แบบจำลองจุดต่อของเขื่อนภูมิพล(Contraction joint Model)

การจำลองจุดต่อของโครงสร้างเขื่อนจะใช้ระบบ Three-centered arch dam ซึ่งจากการศึกษาของ EERC พบว่า การจำลองจุดต่อโครงสร้างเขื่อนโค้งโดยใช้ระบบ Three-centered arch dam ให้ค่าผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างจากระบบที่มีจุดต่อจำนวนมาก

4.3 คุณสมบัติของวัสดุ

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ด้านแหล่งน้ำของจังหวัด Anhui (SRIWCAP)ในประเทศจีน[3] ได้แนะนำให้ใช้ค่าคุณสมบัติของวัสดุของเขื่อนคอนกรีตดังนี้

สำหรับผนังเขื่อนใช้ค่าดังนี้

อีลาสติกโมดูลัส (Es) = $2x10^9$ kg/m^2

โมดูลัสทางพลศาสตร์ (Ed) = $4x10^9$ kg/m^2

Poisson's ratio = 0.2

สำหรับฐานรากเขื่อนใช้ค่าดังนี้

อีลาสติกโมดูลัส (Es) = $2.6x10^9$ kg/m^2

โมดูลัสทางพลศาสตร์ (Ed) = $2.6x10^9$ kg/m^2

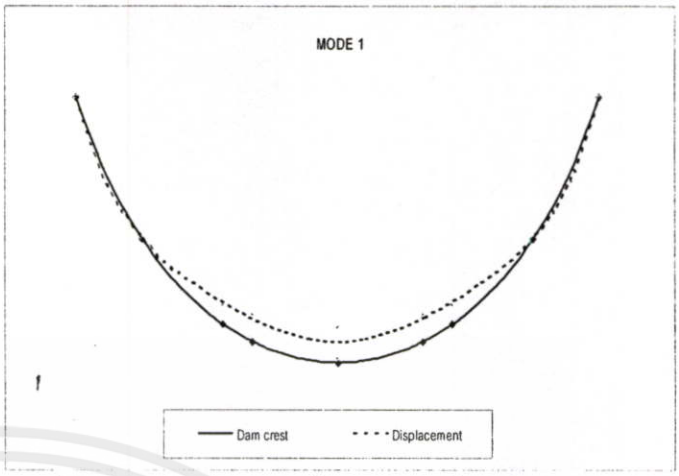
Poisson's ratio = 0.2

5. ผลตอบสนองของเขื่อนภูมิพล

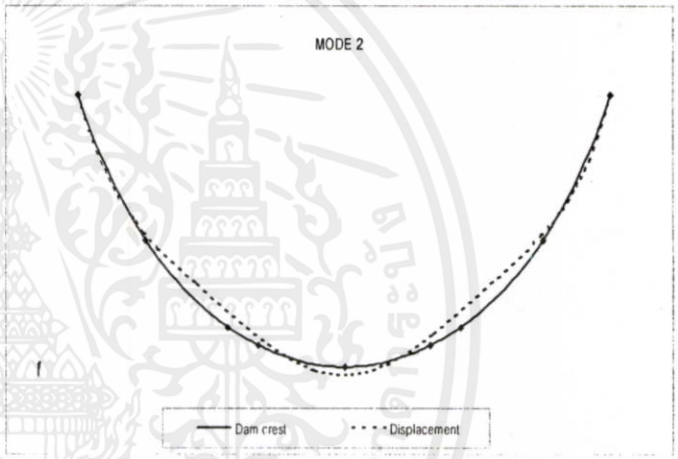
จากการศึกษาพบว่าผนังเขื่อนมีการเคลื่อนตัวสูงสุด6.72 ซม. ที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อน หลังจากเริ่มเกิดแผ่นดินไหว 6.44 วินาที

ตารางที่ 1 แสดงการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางสันเขื่อน หลังเกิดแผ่นดินไหว

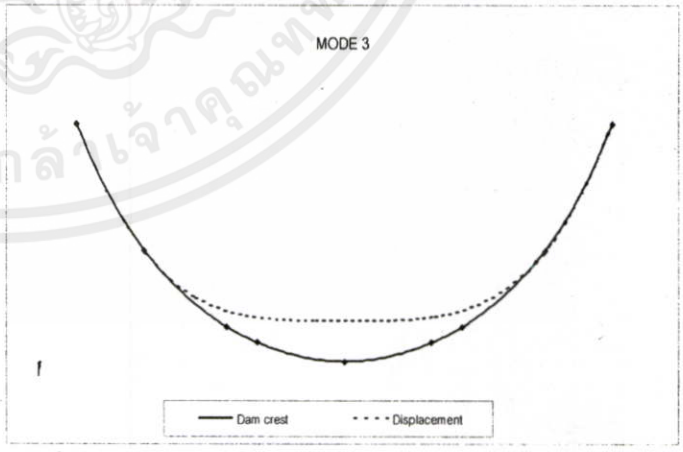
เวลา (วินาที)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน X (เมตร)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน Y (เมตร)	ระยะเคลื่อนตัวทางแกน Z (เมตร)
0	0	0	0
1	$-0.11x10^{-6}$	$0.16x10^{-3}$	$0.21x10^{-4}$
2	$0.22x10^{-6}$	$-0.72x10^{-4}$	$-0.17x10^{-4}$
3	$-0.13x10^{-5}$	$0.13x10^{-2}$	$0.18x10^{-3}$
4	$-0.14x10^{-5}$	$0.51x10^{-3}$	$-0.30x10^{-4}$
5	$0.33x10^{-5}$	$-0.84x10^{-3}$	$0.90x10^{-4}$
6	$0.35x10^{-5}$	$-0.47x10^{-2}$	$-0.66x10^{-3}$
6.44	$-0.65x10^{-4}$	$0.67x10^{-1}$	$0.78x10^{-2}$
6.76	$0.38x10^{-4}$	$-0.43x10^{-1}$	$-0.54x10^{-2}$
7	$-0.12x10^{-4}$	$0.16x10^{-1}$	$0.23x10^{-2}$
8	$-0.23x10^{-4}$	$0.21x10^{-1}$	$0.25x10^{-2}$
9	$-0.41x10^{-5}$	$0.11x10^{-1}$	$0.17x10^{-2}$
10	$-0.12x10^{-4}$	$0.11x10^{-1}$	$0.13x10^{-2}$



ภาพที่ 6 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 1

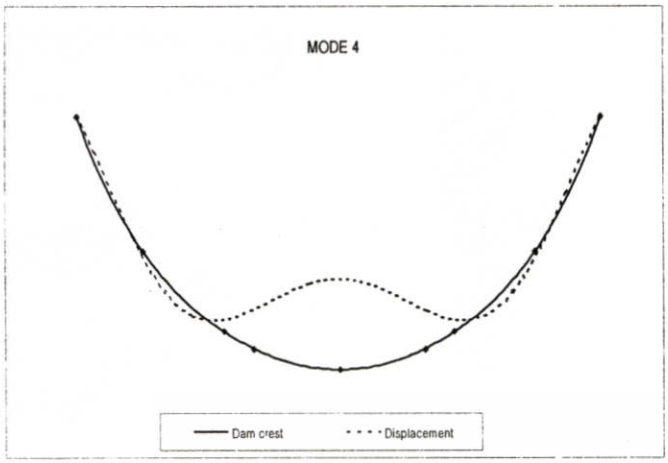


ภาพที่ 7 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 2

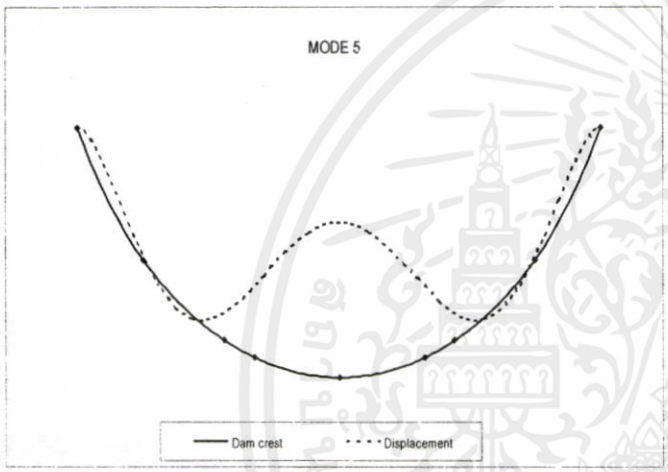


ภาพที่ 8 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 4



ภาพที่ 10 ผลตอบสนองของสันเขื่อนในโหมดที่ 5

6. บทสรุป

จากการศึกษาผลตอบสนองต่อการสั่นไหวของเขื่อนภูมิพล สามารถสรุปได้ดังนี้

จากผลการจำลองโครงสร้างเขื่อนภูมิพลด้วยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พบว่าเขื่อนมีระยะการเคลื่อนตัวไม่มากนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณทศพร เนตยานุวัฒน์ กองวิศวกรรมธรณีเทคนิค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลแก่ผู้เขียน

เอกสารอ้างอิง

[1] Hanchen Tan, 1995. Earthquake analysis and response of concrete arch dam. Berkeley: University of California.

[2] R.W. CLOUGH, 1987. Dynamic Reservoir interaction with Monticello dam. Berkeley: University of California.

[3] R.W. CLOUGH, 1984. Dynamic Response behavior of Xiang Hong Dian dam. Berkeley: University of California.

[4] Soheil Mojtahedi, 1992. ADAP-88 A Computer Program for Nonlinear Earthquake Analysis of Concrete arch dam. Berkeley: University of California.

เกี่ยวกับผู้เขียน

นายพิสิฐ หอมเกษร เกิดเมื่อ วันที่ 7 พ.ค. 2523 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง

รศ. ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ เกิดเมื่อ วันที่ 14 ส.ค. 2491 สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกวิศวกรรมโยธา จาก University of Texas at Arlington

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายพิสิฐ หอมเกษร

เกิด วันที่ 7 พฤษภาคม 2523

การศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี 2544

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้