สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 รูปแบบการพังทลายพื้นฐานของความลาดเอียงมวลหิน	7
2.2 อุโมงค์ในมวลหิน	10
2.3 ผลกระทบของแผ่นดินไหว	12
2.4 แท่นทดสอบสำหรับแบบจำลองเชิงกายภาพ	14
บทที่ 3 การจัดเตรียมตัวอย่างหิน	17
3.1 ตัวอย่างหิน	17
3.2 การจัดเตรียมตัวอย่างหิน	17
3.2.1 การจัดรูปแบบความลาดเอียงของตัวอย่างหิน	17
3.2.2 การจัดรูปแบบของตัวอย่างหินรอบอุโมงค์	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การประดิษฐ์แท่นทดสอบ 21

4.1 ที่มาของปัญหา 21

4.2 วัตถุประสงค์ 22

4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแท่นทดสอบ 23

4.4 การจำลองมวลหิน 28

4.4.1 การทดสอบการพังทลายของมวลหินบนความลาดเอียง 28

4.4.2 การทดสอบเสถียรภาพของมวลหินรอบอุโมงค์ 30

บทที่ 5 การจำลองความลาดเอียงของมวลหิน 31

5.1 การทดสอบเพื่อวัดมุมเสียดทานพื้นฐาน 31

5.2 การทดสอบการพังทลายแบบไหลเลื่อนในแนวระนาบของรอยแตกภายใต้สภาวะแห้ง 31

5.2.1 การจำลองการพังทลายแบบแผ่นระนาบ 31

5.2.2 การคำนวณเสถียรภาพของความลาดเอียงในแบบจำลอง 34

5.2.3 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทางกายภาพ 35

5.2.4 ผลการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัย 39

5.2.5 การวิเคราะห์ค่าปัจจัยความปลอดภัยด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข 39

5.3 การจำลองการพังทลายแบบพลิกคว่ำ 43

5.3.1 วิธีการจำลอง 43

5.3.2 การวิเคราะห์การพังทลายแบบพลิกคว่ำ 43

5.3.3 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทางกายภาพ 52

5.3.4 ผลการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัย 52

5.4 การจำลองการพังทลายตามแนวระนาบในสภาวะที่ความลาดเอียงจมน้ำ 52

5.4.1 วิธีการจำลองการพังทลายของความลาดเอียงที่จมน้ำ 52

5.4.2 การศึกษาผลการพังทลายของความลาดเอียงที่จมน้ำ 59

5.4.3 การคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5 การจำลองการพังทลายของความลาดเอียงภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 65
5.5.1 วิธีการทดสอบการพังทลายของความลาดเอียงภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 65
5.5.2 การศึกษาการพังทลายของความลาดเอียงภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 65
5.5.3 ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทางกายภาพ 68

บทที่ 6 การทดสอบอุโมงค์ในมวลหินด้วยแบบจำลอง 87
6.1 การจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ภายใต้แรงดันสถิต 87
6.2 การจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 91

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 115
7.1 กล่าวนำ 115
7.2 การออกแบบและการประดิษฐ์แท่นทดสอบ 115
7.3 ผลการจำลองด้วยแท่นทดสอบ 116
7.4 การนำผลการทดสอบมาประยุกต์ใช้ 117

บรรณานุกรม 119

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ผลการจำลองความลาดเอียงของมวลหิน ก-1
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยของความลาดเอียง ข-1
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์การพังทลายแบบพลิกคว่ำ ค-1

ประวัตินักวิจัย 179

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ประเมินจาก Mercalli scale 15

5.1 ผลการทดสอบ Tilt Test เพื่อหาค่ามุมเสียดทานพื้นฐานของผิวตัวอย่างหินทราย หมวดหินภูพาน 32

5.2 สรุปค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบความลาดเอียงของตัวอย่างหินที่ได้รับผลกระทบจาก คลื่นแผ่นดินไหว 69

5.3 ปัจจัยการทดสอบการพังทลายของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ภายใต้คลื่น ไหวสะเทือน 72

5.4 ปัจจัยและผลการทดสอบการพังทลายของตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 75

5.5 ปัจจัยและผลการทดสอบการพังทลายของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 81

6.1 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร 86

6.2 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 8 เซนติเมตร 92

6.3 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 12 เซนติเมตร 95

6.4 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 100

6.5 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 8 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 105

6.6 ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์โดยใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร โดยมี ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 12 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน 109

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 ตัวอย่างหินทราย หมวดหิน ภูพาน ประมาณ 1,000 ก้อน จัดเตรียมเพื่อทำการทดสอบ โดยมีขนาด 4×4×4 เซนติเมตร 4×4×8 เซนติเมตร และ 4×4×12 เซนติเมตร 18

3.2 ตัวแปรที่ใช้สำหรับการคำนวณความสูงของความลาดชันของแบบจำลองที่จุดพังทลาย 20

4.1 ภาพเพอร์สเปคทีฟของแท่นทดสอบการเคลื่อนตัวของมวลหินบนความลาดเอียงและมวลหินรอบอุโมงค์ภายใต้แรงสั่นสะเทือน 24

4.2 ภาพตัดขวางด้านหน้าของแท่นทดสอบการเคลื่อนตัวของมวลหินบนความลาดเอียงและมวลหินรอบอุโมงค์ภายใต้แรงสั่นสะเทือน 26

4.3 ภาพตัดขวางด้านข้างของแท่นทดสอบการเคลื่อนตัวของมวลหินบนความลาดเอียงและมวลหินรอบอุโมงค์ภายใต้แรงสั่นสะเทือน 27

4.4 ภาพตัดขวางด้านหลังของแท่นทดสอบการเคลื่อนตัวของมวลหินบนความลาดเอียงและมวลหินรอบอุโมงค์ภายใต้แรงสั่นสะเทือน 29

5.1 ผลการทดสอบ Tilt Test ให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในแนวตั้งฉาก และความเค้นแรงเฉือน 33

5.2 ตัวอย่างการจำลองการพังทลายของตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร ที่มุม $\psi_f = 72°$ 36

5.3 ตัวอย่างการจำลองการพังทลายแบบไหลเลื่อน ของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร ที่มุม $\psi_f = 68°$ 37

5.4 การพังทลายแบบไหลเลื่อนของความลาดเอียงของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร (a) 4×4×8 เซนติเมตร (b) และ 4×4×12 เซนติเมตร (c) 38

5.5 ผลการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยเปรียบเทียบกับสภาวะจริงของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ในช่วงของความชัน (ψ_f) ที่ต่างกัน 40

5.6 ผลการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยเปรียบเทียบกับสภาวะจริงของตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร ในช่วงของความชัน (ψ_f) ที่ต่างกัน 41

5.7 ผลการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยเปรียบเทียบกับสภาวะจริงของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร ในช่วงของความชัน (ψ_f) ที่ต่างกัน 42

5.8 การเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรม FLAC_Slope กับแบบจำลองทางกายภาพสำหรับตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ที่ $\psi_p = 25°$ $\psi_f = 51°$ ความสูงของความลาดเอียง = 36.2 เซนติเมตร และค่าปัจจัยความปลอดภัย = 1.07 44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ | หน้า

5.9 การเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรม FLAC_Slope ร่วมกับแบบจำลองทางกายภาพ สำหรับตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ที่ ψ_p= 25° ψ_f= 52° ความสูงของความลาดเอียง = 41.6 เซนติเมตร และค่าปัจจัยความปลอดภัย = 1.05 45

5.10 การเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรม FLAC_Slope ร่วมกับแบบจำลองทางกายภาพ สำหรับตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ที่ ψ_p= 25° ψ_f= 52° ความสูงของความลาดเอียง = 70 เซนติเมตร และค่าปัจจัยความปลอดภัย = 1.04 46

5.11 เปรียบเทียบค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ได้จาก 3 วิธี สำหรับการจำลองด้วยตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร โดยมีมุมของระนาบที่ไหลเลื่อนเท่ากับ 25° 47

5.12 เปรียบเทียบค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ได้จาก 3 วิธี สำหรับการจำลองด้วยตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 48

5.13 เปรียบเทียบค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ได้จาก 3 วิธี สำหรับการจำลองด้วยตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร โดยมีมุมของระนาบที่ไหลเลื่อนเท่ากับ 25° 48

5.14 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางกายภาพสำหรับการพลิกคว่ำ 51

5.15 การจำลองการพังทลายของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ที่มุม ψ_f = 63° 53

5.16 การจำลองการพังทลายแบบพลิกคว่ำของตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร (a) ระยะสุดท้ายก่อนที่จะมีการพังทลาย (ที่มุม ψ_f = 72°) (b) ขณะพังทลาย (c) หลังการพังทลาย 54

5.17 การจำลองการพังทลายแบบพลิกคว่ำของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร (a) ระยะสุดท้ายก่อนที่จะมีการพังทลาย (ที่มุม ψ_f = 77°) (b) ขณะพังทลาย (c) หลังการพังทลาย 55

5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (H) กับค่า ψ_p สำหรับการพังทลายแบบพลิกคว่ำที่จำลองจากตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร (บน) 4×4×8 เซนติเมตร (กลาง) และ 4×4×12 เซนติเมตร (ล่าง) 56

5.19 ผลการจำลอง (รูปบน) และการคำนวณ (รูปล่าง) ของการพังทลายแบบพลิกคว่ำสำหรับตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร โดยการพังทลายเกิดขึ้นที่มุมของผิวหน้าความลาดเอียงเท่ากับ 72° 57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.20	ผลการจำลอง (รูปบน) และการคำนวณ (รูปล่าง) ของการพังทลายแบบพลิกคว่ำสำหรับตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร โดยการพังทลายเกิดขึ้นที่มุมของผิวหน้าความลาดเอียงเท่ากับ 63°	58
5.21	ตัวอย่างของการจำลองการพังทลายของความลาดเอียงที่จมน้ำของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร ที่ความสูงของความลาดเอียงเท่ากับ 57.3 เซนติเมตร	60
5.22	ตัวอย่างของการจำลองการพังทลายของความลาดเอียงที่จมน้ำของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร ที่ความสูงของความลาดเอียงเท่ากับ 55.6 เซนติเมตร	61
5.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (H) กับมุม ψ_p สำหรับการพังทลายแบบไหลเลื่อนของความลาดเอียงที่จมน้ำ (วงกลมทึบ) และความลาดเอียงที่แห้ง (วงกลมโปร่ง) ของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร (a) 4×4×8 เซนติเมตร (b) และ 4×4×12 เซนติเมตร (c)	62
5.24	การเปรียบเทียบผลของการจำลองการพังทลายด้วยโปรแกรม FLAC_Slope กับผลการจำลองทางกายภาพของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร ที่มุม ψ_p =23° ψ_f = 49° ความสูงของความลาดเอียงเท่ากับ 55.6 เซนติเมตร และความสูงของระดับน้ำคือ 56 เซนติเมตร	63
5.25	ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม FLAC_Slope (เส้นประ) ของความลาดเอียงที่จมน้ำ ณ จุดที่เกิดการพังทลาย	64
5.26	ส่วนประกอบของข้อเหวี่ยงและจานหมุนของมอเตอร์ที่ผลักให้แบบจำลองเกิดการเคลื่อนที่ในการจำลองคลื่นไหวสะเทือน	67
5.27	การคำนวณตามทฤษฎีของความลาดเอียงในสภาวะที่มีคลื่นไหวสะเทือนที่ผันแปรค่าความเค้นยึดติด โดยน้ำหนักของมวลหินที่พังทลายเท่ากับ 13.2 kN/m ความยาวของระนาบที่พังทลายเท่ากับ 1.44 เมตร ที่มุมเสียดทานเท่ากับ 24°	70
5.28	การคำนวณตามทฤษฎีของความลาดเอียงในสภาวะที่มีคลื่นไหวสะเทือนที่ผันแปรค่ามุมเสียดทาน โดยน้ำหนักของมวลหินที่พังทลายเท่ากับ 13.2 kN/m ความยาวของระนาบที่พังทลายเท่ากับ 1.44 เมตร และไม่มีค่าความเค้นยึดติด	71
5.29	ผลการจำลองการพังทลายตามระนาบเนื่องจากคลื่นไหวสะเทือนของตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี	82

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.30 ผลการจำลองการพังทลายตามระนาบเนื่องจากคลื่นไหวสะเทือนของตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 83

5.31 การจำลองการพังทลายตามระนาบเนื่องจากคลื่นไหวสะเทือนของตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 84

6.1 ตัวอย่างของแบบจำลองอุโมงค์ในมวลหินในระดับตื้น ใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร เพื่อจำลองระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้ง เท่ากับ 4 เซนติเมตร 87

6.2 ตัวอย่างของแบบจำลองอุโมงค์ในมวลหินที่ระดับความลึกปานกลาง ใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร เพื่อจำลองระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้ง เท่ากับ 4 เซนติเมตร 88

6.3 ตัวอย่างของแบบจำลองอุโมงค์ในมวลหินในระดับลึก ใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×4 เซนติเมตร เพื่อจำลองระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้ง เท่ากับ 4 เซนติเมตร 89

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกกับอัตราส่วนของความกว้างสูงสุด โดยมีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้งคงที่เท่ากับ 4 เซนติเมตร สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.961 90

6.5 ตัวอย่างของแบบจำลองอุโมงค์ในมวลหินในระดับลึก ใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×8 เซนติเมตร เพื่อจำลองระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้ง เท่ากับ 8 เซนติเมตร 93

6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกกับอัตราส่วนของความกว้างสูงสุด โดยมีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้งคงที่เท่ากับ 8 เซนติเมตร สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.985 94

6.7 ตัวอย่างของแบบจำลองอุโมงค์ในมวลหินในระดับลึก ใช้ตัวอย่างหินขนาด 4×4×12 เซนติเมตร เพื่อจำลองระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้ง เท่ากับ 12 เซนติเมตร 96

6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกกับอัตราส่วนของความกว้างสูงสุด โดยมีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวตั้งคงที่เท่ากับ 12 เซนติเมตร สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.995 97

6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับความกว้างสูงสุดของอุโมงค์ สำหรับแบบจำลองมวลหินที่มีระยะระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งต่างกัน 98

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.10	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.193 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.992	101
6.11	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.225 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.972	102
6.12	เปรียบเทียบผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ภายใต้แรงดันสถิตและคลื่นไหวสะเทือนสำหรับมวลหินที่มีระยะระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร	104
6.13	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 8 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.132 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.979	106
6.14	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 8 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.225 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.993	107
6.15	เปรียบเทียบผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ภายใต้แรงดันสถิตและคลื่นไหวสะเทือนสำหรับมวลหินที่มีระยะระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 8 เซนติเมตร	108
6.16	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 12 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.132 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.968	110
6.17	ผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 12 เซนติเมตร ภายใต้คลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร่งเท่ากับ 0.225 g สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) = 0.999	111
6.18	เปรียบเทียบผลการจำลองเสถียรภาพของอุโมงค์ภายใต้แรงดันสถิตและคลื่นไหวสะเทือนสำหรับมวลหินที่มีระยะระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งเท่ากับ 12 เซนติเมตร	112