

พฤติกรรมของจุดต่อชิ้นส่วนอุโมงค์ในอุโมงค์ชนิดประกอบแยกส่วน

นายวัชร จิตใจงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BEHAVIOR OF SEGMENTAL JOINTS IN SEGMENTAL TUNNELS

Mr. Watchara Jitjengam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

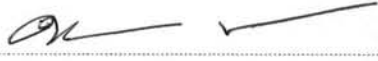
Copyright of Chulalongkorn University

501821

หัวข้อวิทยานิพนธ์      พฤติกรรมของจุดต่อชิ้นส่วนอุโมงค์ในอุโมงค์ชนิดประกอบแยกส่วน  
โดย                              นายวัชร จิตใจงาม  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล

---

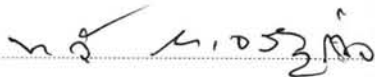
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณยศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏ์ชน)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ)

วัชร จิตใจงาม : พฤติกรรมของจุดต่อชิ้นส่วนอุโมงค์ในอุโมงค์ชนิดประกอบแยกส่วน  
(BEHAVIOR OF SEGMENTAL JOINTS IN SEGMENTAL TUNNELS)

อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล, 91 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของจุดต่อ (Joint) ของอุโมงค์ โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ดัด และค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนว Spring Line เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าสตีฟเนสของ Joint อุโมงค์ อุโมงค์ที่ศึกษาเป็นอุโมงค์เดี่ยวมีขนาดรัศมี 1, 2 และ 3 เมตร มีความหนา 0.15 เมตรวางตัวที่ความลึก 15 ถึง 20 เมตร และชั้นดินมีลักษณะเป็นชั้นดินเดี่ยวมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน

การวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีไม่มี Joint ในอุโมงค์ (Non - Jointed Lining) และกรณีมี Joint ในอุโมงค์ (Jointed Lining) จำนวน 5, 6 และ 7 Joint ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า วิธี Jointed Lining จะต้องลดค่าสตีฟเนสของ Joint อุโมงค์ลงเหลือ 5% ของค่าสตีฟเนสเริ่มต้น จึงจะได้ค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนว Spring Line ที่ใกล้เคียงกับวิธี Non - Jointed Lining เมื่อลดค่าสตีฟเนสของดาดอุโมงค์ทั้งวงลงเหลือ 60% ของค่าสตีฟเนสเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ Joint อุโมงค์โดยวิธีประมาณ และพบว่าปัจจัยต่างๆที่คาดว่า จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนว Spring Line อันได้แก่ จำนวนของ Joint อุโมงค์ และการกำหนดตำแหน่งของ Joint ในอุโมงค์นั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อได้เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดกับวิธี Empirical ซึ่งได้แก่ Einstein Method, Muir Wood Method และ JSCE Method พบว่าจะมีค่าที่ใกล้เคียงมากที่สุดกับ Einstein Method แต่จะมีผลความแตกต่างที่มากขึ้นเมื่ออุโมงค์มีขนาด 2 และ 3 เมตร เนื่องจากเป็น Elastic Model

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2550.....

# # 4870462621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: TUNNELLING / JOINT LINING / STIFFNESS / CIRCULAR TUNNEL

WATCHARA JITJIENGAM : BEHAVIOR OF SEGMENTAL JOINTS IN SEGMENTAL TUNNELS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SUPOT TECHAVARASINSKUN, Ph.D.,

91 pp.

This research aims to study behaviors of Jointed Tunnel Lining particularly to investigate the effects of bending moment changing and displacement of tunneling at spring line which response to the tunnel stiffness changing. The selected tunnel types are single tunnel having radius center of 1, 2 and 3 m. with 0.15m. thickness. The study conditions of the tunnels are that the tunnel must be locate at 15-20 meter below ground surface and the soil condition is single layer, homogeneous which water level at ground surface.

To examine the effects of bending moment and displacement at spring line, two scenarios are set; Non – Jointed Lining and Jointed Tunnel Lining (5, 6 and 7 joint's). The results from the analysis found that when use the Jointed lining method must decrease tunnel joints stiffness value to 5% of initial value so that get the result which close to the Non – Jointed Lining method' result when decrease ring segment to 60% of initial value (that is the approximate method design value). The analysis also found other factors that have potential to effect the change of the bending moment and displacement of tunneling such as joint number, orientation found to have minor effects to the change of bending moment and displacement value. When comparing the analysis result between the Empirical method, the Einstein Method, Muir Wood Method and JSCE Method, found that the analysis of this research is very close to the Einstein Method but will have more the result different when the tunnel having radius center of 2 and 3 m. because the model is elastic model.

Department..... Civil Engineering ..... Student's signature..... *Watchara Jitjiengam* .....  
 Field of study..... Civil Engineering ..... Advisor's signature..... *Supot Techavarasinskun* .....  
 Academic year..... 2007 .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษา แนวคิดและคำแนะนำในการวิจัยด้วยดีตลอดมา และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏาชน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี ที่ได้ร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกๆท่านที่ได้ช่วยแนะนำและส่งเสริมจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิด อบรมสั่งสอนและส่งเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษาจนถึงทุกวันนี้ และคอยเป็นกำลังใจในยามทุกข์และสุขตลอดมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉุ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ประเภทของดาดอูโมงค์.....	4
2.2 การกำหนดตำแหน่งรับแรงของอูโมงค์.....	6
2.3 พฤติกรรมของ Flexible Ring.....	7
2.3.1 Unconfined Ring.....	7
2.3.2 Partially Confined Ring.....	7
2.3.3 Fully Confined Ring.....	7
2.3.4 เกณฑ์การพิจารณาผลจากการเสียรูปของอูโมงค์.....	9
2.4 การวิเคราะห์แรงภายในที่เกิดขึ้นกับผนังอูโมงค์.....	13
2.4.1 Einstein Method.....	13
2.4.2 A.M. Muir Wood Method.....	18
2.4.3 JSCE Method.....	21
2.5 การพิจารณาปรับค่าของ Stiffness ของ Segmental Liner.....	28
3. แนวทางและขั้นตอนการวิจัย.....	31
3.1 สมมุติฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์.....	31
3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....	31

บทที่	หน้า
3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกโปรแกรม.....	32
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	32
3.5 แบบจำลองหน้าตัดอุโมงค์.....	36
3.6 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม STAAD.Pro.....	40
4. การวิเคราะห์แรงภายในและการเคลื่อนตัวของอุโมงค์.....	42
4.1 กรณีที่ทำการวิเคราะห์.....	42
4.2 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	42
4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Empirical.....	83
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	88
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัย.....	89
รายการอ้างอิง.....	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความหนาโดยประมาณของดาดอุโมงค์ชนิดต่างๆตามขนาดของอุโมงค์.....	6
2.2 Distortion Ratios.....	9
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงกระทำด้านข้าง.....	21
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ k ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน.....	24
3.1 คุณสมบัติของคอนกรีตของชั้นส่วนอุโมงค์.....	36
3.2 ค่าโมดูลัสแรงปฏิกิริยาของดิน (Modulus of subgrade reaction, ks).....	38
3.3 ค่า K ของ soil springs.....	38
3.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	41
4.1 ค่าแรงที่กระทำต่ออุโมงค์.....	43
4.2 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์ กรณีลดค่า I ทั้งวง(Non-Jointed Lining) รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร.....	56
4.3 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์ กรณีลดค่า I 5 - Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร.....	68
4.4 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์ กรณีลดค่า I 6 - Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร.....	70
4.5 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวในแนว Spring Line ของอุโมงค์ กรณีลดค่า I 7 - Joint รัศมีของอุโมงค์เท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร.....	71
4.6 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในกรณีเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชั้นส่วนใน อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 , 2 และ 3 เมตร.....	73
4.7 ตารางแสดงค่าโมเมนต์ดัดและค่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์กรณีลดค่า I 3 , 6 และ 10 ชั้นส่วนที่ติดกันจำนวน 5 - Joint.....	75
4.8 แสดงข้อมูลคุณสมบัติที่บันทึกในโปรแกรม AFT-LINER 2005.....	83
4.9 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัด.....	85

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 Primary Lining และ Secondary Lining.....	4
2.2 หน้าตัดองค์ประกอบของชิ้นส่วนควดอุโมงค์ใน 1 วง.....	5
2.3 ตำแหน่งอุโมงค์.....	6
2.4 การเสียรูปของควดอุโมงค์ในลักษณะ Unconfined Ring ภายใต้ หน่วยแรงกระทำคงที่ (Uniform Load).....	7
2.5 การเสียรูปของควดอุโมงค์ในลักษณะ Unconfined Ring ภายใต้ หน่วยแรงกระทำไม่คงที่ (Concentrated Load).....	8
2.6 การเสียรูปของควดอุโมงค์ในลักษณะ Partially Confined Ring ภายใต้ หน่วยแรงกระทำไม่คงที่ (Concentrated Load).....	8
2.7 การเสียรูปของควดอุโมงค์ในลักษณะ Fully confined Ring ภายใต้ หน่วยแรงกระทำไม่คงที่ (Concentrated load).....	8
2.8 การเสียรูปของควดอุโมงค์ในลักษณะ Fully Confined Ring กรณี Active pressure ไม่คงที่ (Random load).....	9
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาของผนังอุโมงค์ แบบ Flexibility Ring กับ ค่า $q_u$ ต่ำสุด.....	10
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ในอุโมงค์กับอัตราส่วนการเสียรูป.....	11
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนกับความลึกของอุโมงค์ และขนาดอุโมงค์.....	12
2.12 แสดงตำแหน่งทิศทางของแรงและการเสียรูปในวิธีของ Einstein.....	13
2.13 กราฟแสดงลักษณะค่า stiffness ของ ground และ support.....	14
2.14 แรงกระทำรอบดินและควดอุโมงค์ที่เท่ากันทุกด้าน(ทิศทางของแรงสมมาตร).....	15
2.15 แรงกระทำรอบดินและควดอุโมงค์ที่เท่ากันทุกด้าน(ทิศทางของแรงไม่สมมาตร).....	16
2.16 แผนภาพแสดงแรงกระทำเริ่มแรกที่กระทำบนอุโมงค์ก่อนการเสียรูป.....	18
2.17 การเคลื่อนตัวในแนวราบของผนังอุโมงค์.....	24
2.18 Working Load Distribution Diagram.....	25
2.19 แสดงทิศทางของโมเมนต์และแรงที่กระทำและแรงที่กระทำต่อผนังอุโมงค์.....	27
2.20 แสดงโครงสร้าง Joint แบบต่างๆของ Lining.....	28

ภาพประกอบ	หน้า
2.21 แสดงชิ้นส่วนอุโมงค์ก่อนทำการประกอบ.....	29
2.22 แสดงลักษณะอุโมงค์เมื่อทำการประกอบเสร็จ.....	29
3.1 หน้าตัดคานที่ใช้เป็นชิ้นส่วนคานอุโมงค์ในโปรแกรม.....	37
3.2 แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	37
3.3 แสดงแบบจำลองอุโมงค์และ support เป็น soil springs.....	39
3.4 แสดงแบบจำลองอุโมงค์และ support ในโปรแกรม STAAD.Pro.....	39
3.5 แสดงลักษณะของแรงที่กระทำต่ออุโมงค์.....	40
4.1 แสดงรูปโมเมนต์ดัด(Bending Moment)ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์.....	43
4.2 แสดงรูปการเคลื่อนตัว(Displacement)ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์.....	44
4.3 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	44
4.4 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	45
4.5 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	45
4.6 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	46
4.7 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m.....	46
4.8 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m.....	47
4.9 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	47
4.10 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	48
4.11 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	48
4.12 กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของคานอุโมงค์ กรณีอุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	49





4.43	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	66
4.44	กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	66
4.45	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	67
4.46	กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m.....	67
4.47	กราฟแสดงค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอุโมงค์เมื่อลดค่า I ของ Joint อุโมงค์ (7-Joint) อุโมงค์ขนาดรัศมีเท่ากับ 2 เมตรและค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 500 kN/m.....	68
4.48	กราฟแสดงค่า Distortion ที่ 0.5 % เมื่อค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 3000 kN/m.....	77
4.49	กราฟแสดงค่า Distortion ที่ 0.5 % เมื่อค่า K ของจุดรองรับเท่ากับ 1500 kN/m.....	78
4.50	แสดงการ Normalized Non - Jointed Ko = 0.75.....	79
4.51	แสดงการ Normalized 5 - Joint Ko = 0.75.....	79
4.52	แสดงการ Normalized 6 - Joint Ko = 0.75.....	80
4.53	แสดงการ Normalized 7 - Joint Ko = 0.75.....	80
4.54	แสดงการ Normalized Non - Jointed Ko = 0.5.....	81
4.55	แสดงการ Normalized 5 - Joint Ko = 0.5.....	81
4.56	แสดงการ Normalized 6 - Joint Ko = 0.5.....	82
4.57	แสดงการ Normalized 7 - Joint Ko = 0.5.....	82
4.58	ค่าโมเมนต์ของวิธี Einstien: Full-Slip จากผลการเสียดกันของดาดอุโมงค์.....	84
4.59	ค่าโมเมนต์ของวิธี JSCE จากผลการเสียดกันของดาดอุโมงค์.....	84
4.60	ค่าโมเมนต์ของวิธี Muir Wood จากผลการเสียดกันของดาดอุโมงค์.....	85

## สัญลักษณ์

$b$	=	ความกว้างของดาดอุโมงค์
$D_o$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของดาดอุโมงค์
$D_i$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของดาดอุโมงค์
$E$	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดิน (Young's modulus of soil)
$E_s$	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดาดอุโมงค์ (Young's modulus of segment lining)
$f_c'$	=	ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอก
$g$	=	หน่วยน้ำหนักของดาดอุโมงค์
$H_c$	=	ระยะจากจุดบนสุดของดาดอุโมงค์จนถึงผิวดิน
$I_o$	=	โมดูลัสของความเฉื่อย (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Ring)
$I$	=	โมดูลัสของความเฉื่อย (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Segment)
$K_o$	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของมวลดิน
$K$	=	ค่าคงที่ของสปริง (Soil spring constant)
$M$	=	โมเมนต์ดัดที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
$M_i$	=	โมเมนต์ดัดมากที่สุด (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Ring)
$M_o$	=	โมเมนต์ดัดมากที่สุด (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Segment)
$N$	=	จำนวนชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์ต่อ 1 วง
$T$	=	Axial force หรือ Normal force ที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
$R_c$	=	รัศมีเฉลี่ยของดาดอุโมงค์
$R_i$	=	รัศมีขอบในของดาดอุโมงค์
$R_o$	=	รัศมีขอบนอกของดาดอุโมงค์
$S$	=	แรงเฉือนที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
$S_u$	=	กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
$t$	=	ความหนาของดาดอุโมงค์
$\phi$	=	มุมแรงเสียดทานภายในของมวลดิน (friction angle of soil)
$\gamma$	=	หน่วยน้ำหนักรวมน้ำหนักของดิน

$\gamma_s$	=	หน่วยน้ำหนักของดาดคูโมงค์
$\gamma_w$	=	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
$v$	=	Possion's Ratio ของดิน
$v_s$	=	Possion's Ratio ของดาดคูโมงค์
$\eta$	=	Joint stiffness reduction factor
$q_R$	=	การกระจายตัวของหน่วยแรงต้านทานด้านข้างของมวลดิน
$k$	=	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของมวลดิน
$\Delta$	=	ค่าการเคลื่อนตัวของดาดคูโมงค์ที่ Spring line