การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน

นายสมบัติ พงษ์มี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RANKING RISK FACTORS IN TUNNELING PROJECTS BY EPB SHIELD METHOD

Mr. Sombat Pongmee

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490782

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน
โดย	นายสมบัติ พงษ์มี
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

สมบัติ พงษ์มี : การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน. (RANKING RISK FACTORS IN TUNNELING PROJECTS BY EPB SHIELD METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์, 288 หน้า.

การก่อสร้างอุโมงค์แบบวิธีสมดุลแรงดันดินเป็นวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ที่มีกระบวนการก่อสร้างที่สลับซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนสูง อันอาจมีผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการรวมถึงความปลอดภัยของบุคคลและสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง ผู้ก่อสร้างอาจจะต้องเผชิญกับเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า อันอาจก่อให้เกิดอุปสรรคต่างๆระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งมีทั้งส่วนที่สามารถควบคุมได้และเกินความสามารถในการควบคุม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ก่อสร้างจักต้องตระหนักถึงปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญเหล่านี้

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง เพื่อให้โครงการก่อสร้างอุโมงค์ที่ใช้วิธีการขุดเจาะแบบสมดุลแรงดันดิน ได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยนำไปใช้จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงก่อนเริ่มการก่อสร้าง และนำผลที่ได้ อันได้แก่ ลำดับความสำคัญและความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยง มากำหนดเป็นมาตรการสำหรับป้องกันและแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการก่อสร้าง

งานวิจัยทำการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญ และหาระดับความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยง กล่าวคือ ในการประเมินจัดลำดับความสำคัญได้พิจารณาจากคะแนนความเสี่ยง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตัดปัจจัยในส่วนที่มีค่าลำดับความสำคัญน้อยออกจากการพิจารณา ซึ่งคะแนนความเสี่ยงดังกล่าวคำนวณได้จากผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งได้จากวิธีวิเคราะห์เชิงลำดับขั้นกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากแบบสอบถามของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา ส่วนในการประเมินหาระดับความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยง ได้ทำการประเมินใน 3 ด้านพร้อมกัน อันได้แก่ ด้านโอกาสของการเกิดปัจจัย ด้านผลกระทบจากการเกิดปัจจัย และด้านระยะเวลาสำหรับรอคอยหรือแก้ไขสถานการณ์อันเนื่องมาจากการเกิดปัจจัย โดยคำนวณจากผลคูณจากทั้ง 3 ด้านดังกล่าว ซึ่งผลจากการประเมินในส่วนนี้ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของแต่ละปัจจัยที่นำมาพิจารณา

วิธีการดังกล่าวได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำซึ่งถูกเลือกเป็นกรณีศึกษา ซึ่งพบว่า วิธีการหาลำดับความสำคัญสามารถแสดงความสำคัญของปัจจัยจากมากไปหาน้อยเรียงตามลำดับ จึงสามารถตัดปัจจัยในส่วนที่มีค่าลำดับความสำคัญน้อยออกจากการพิจารณาได้ ในการประเมินหาความรุนแรงของปัจจัยพบว่า สามารถจำแนกปัจจัยเสี่ยงได้ตามระดับความรุนแรง ซึ่งผลจากการประเมินนี้ ช่วยในการกำหนดแผนหรือมาตรการสำหรับลดความเสี่ยงในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง เพื่อเตรียมรับผลกระทบรวมถึงแก้ไขปัญหาได้ในทันท่วงที อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับโครงการก่อสร้างที่ได้นำวิธีที่นำเสนอดังกล่าวไปประยุกต์ใช้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สมบัติ พงษ์มี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Teerasak

ปีการศึกษา 2549

4670540721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: RISK ASSESSMENT / RISK FACTORS / EPB SHIELD / TUNNELING

SOMBAT PONGMEE : RANKING RISK FACTORS IN TUNNELING PROJECTS BY EPB SHIELD METHOD. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.VEERASAK LIKHITRUANGSILP, Ph.D., 288 pp.

The Earth Pressure Balance (EPB) tunneling method is a tunnel construction technique encompassing numerous complex and risky processes, which are attributed to the success of project and the safety of people and adjacent facilities. The contractor must be encountered with various unexpected events that might present controllable and uncontrollable obstacles during construction. It is therefore necessary for the contractor to realize important tunneling risk factors.

This research presents the procedure for ranking risk factors for EPB tunneling projects prior to construction. It provides the critical risk factors and the severity of factors, which can be used to prepare plans or measures for mitigating critical risks during the construction phase.

In this research, tunneling risk factors are ranked and their severity is assessed. Ranking factors intends to evaluate and sort the important risks of the project by calculating the project's risk score, which is the summation of the product between the weight factor assessed by the Analytic Hierarchy process (AHP) and the degree of risk assessed by questionnaires for each risk factor. The severity assessment considers three attributes, namely, the likelihood of occurrence, the impact, and the idle time while correcting the consequence for each risk factor. The multiplication of these three attributes provides the severity level of such factor.

The proposed procedure is applied to a water drainage tunneling project selected as a case study. The results show that the assessment procedure can be used to identify significant risk factors. For the severity assessment, the procedure can classify risk factors by severity levels, which can in turn be used to prepare plans or measures for mitigating critical risks during construction promptly. This will be very useful for the tunneling that applies the proposed procedure.

Department.....Civil Engineering..... Student's signature.....

Field of study.....Civil Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year.....2006.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน" ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์ อาจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว และอาจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ ที่ได้ร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองลาดพร้าวและคลองแสนแสบลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา โครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำระหว่างถนนวงแหวนรอบนอก ถนนตากสิน – เพชรเกษม ถึงถนนพระรามที่ 2 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำจากบึงมักกะสันลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา และโครงการจัดซื้อพร้อมติดตั้งอุปกรณ์สายส่งใต้ดินขนาด 230 kV และก่อสร้างอุโมงค์สายส่งระหว่างสถานีต้นทางบางกะปิ ถึงสถานีต้นทางชิดลม ที่อนุญาตในการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยและให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณบิดาและมารดาที่ได้อบรมสั่งสอนและเป็นแรงผลักดัน ให้สามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฒ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ลำดับขั้นตอนการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 วิวัฒนาการด้านงานขุดเจาะอุโมงค์ 4

2.1.1 วิธีการขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์ 6

2.1.2 ประเภทของการขุดเจาะอุโมงค์ 12

2.2 การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธี Shield Tunneling 15

2.2.1 การจำแนกชนิดเครื่องขุดเจาะประเภท Shield 15

2.2.2 เกณฑ์การเลือกใช้เครื่องขุดเจาะประเภท Shield 21

2.2.3 ภาพแสดงหัวเจาะประเภทต่างๆ 23

2.3 งานก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย 29

2.4 ความเสี่ยง 32

บทที่ หน้า

2.4.1 นิยามความเสี่ยง 32
2.4.2 ความเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ 37
2.4.3 การจัดการความเสี่ยง 40
2.5 สรุปท้ายบท 42

บทที่ 3 ลำดับขั้นตอนการวิจัย 43
3.1 บทนำ 43
3.2 การกำหนดแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 43
3.3 กระบวนการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 43
3.3.1 การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 43
3.3.2 การประเมินระดับความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยง 44
3.3.3 การสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ประเมิน 44
3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 44
3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและข้อจำกัดของแนวทางการจัดลำดับ
ความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 46
3.5 การนำเสนอแนวทางเบื้องต้นสำหรับการลดความเสี่ยง 46
3.6 สรุปท้ายบท 46

บทที่ 4 เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 47
4.1 การก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 47
4.1.1 งานก่อสร้างอุโมงค์ 47
4.1.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับงานขุดเจาะอุโมงค์ 47
4.1.3 การขุดเจาะอุโมงค์ (Tunneling) 50
4.1.4 ระบบฉีดน้ำปูน (Back Grouting) 58
4.1.5 ระบบระบายอากาศ (Ventilation System) 61

บทที่ หน้า

4.1.6 ระบบควบคุมหัวเจาะอุโมงค์ (TBM Alignment Control System) 61
4.2 การก่อสร้างปล่องอุโมงค์ (Shaft Construction) 63
4.2.1 ปล่องอุโมงค์ชนิดใช้เข็มพืด 64
4.2.2 ปล่องอุโมงค์ชนิดใช้เสาเข็มเจาะเรียงชิดกัน 65
4.2.3 ปล่องอุโมงค์ชนิดกำแพงใต้ดิน 65
4.2.4 ปล่องอุโมงค์ชนิดใช้คอนกรีตหล่อในที่ 65
4.3 สรุปท้ายบท 73

บทที่ 5 แนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง
อุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 74
5.1 บทนำ 74
5.2 การกำหนดแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 74
5.3 การบ่งชี้ปัจจัยเสี่ยง 76
5.4 การกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยง 88
5.5 ประเภทของการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 89
5.5.1 การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 89
5.5.2 การประเมินระดับความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยง 98
5.6 การตอบโต้ความเสี่ยง 103
5.7 การนำแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงไปประยุกต์ใช้ 106
5.8 สรุปท้ายบท 109

บทที่ 6 กรณีศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการ
ก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ 111
6.1 บทนำ 111
6.2 การคัดเลือกโครงการสำหรับใช้เป็นกรณีศึกษา 111

บทที่ หน้า

6.3 ขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 116
6.3.1 การบ่งชี้ปัจจัยเสี่ยง 116
6.3.2 การให้ชื่อรหัสปัจจัยเสี่ยง 117
6.3.3 ประเภทของการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 130
6.4 การตอบโต้ความเสี่ยง 146
6.5 ประสิทธิภาพและข้อจำกัดของแนวทางการจัดลำดับความสำคัญ
ของปัจจัยเสี่ยง 161
6.6 สรุปท้ายบท 161

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 163
7.1 สรุปผลการวิจัย 163
7.2 ข้อเสนอแนะ 167

รายการอ้างอิง 169
ภาคผนวก 172
ภาคผนวก ก แบบสอบถามชุดด้านเทคนิค 173
ภาคผนวก ข แบบสอบถามชุดด้านบริหารจัดการ 195
ภาคผนวก ค ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค 219
ภาคผนวก ง ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการ 232
ภาคผนวก จ ค่าระดับความเสี่ยงจากการประเมินด้านเทคนิค 244
ภาคผนวก ฉ ค่าระดับความเสี่ยงจากการประเมินด้านบริหารจัดการ 265
ภาคผนวก ช การคำนวณคะแนนความเสี่ยง 273
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 288

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเครื่องขุดเจาะตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และสภาพดินที่เหมาะสมต่อการทำงาน 20

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบ - เสียเปรียบของหัวเจาะประเภท Shield Tunneling 22

ตารางที่ 2.3 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพฯ 30

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมสำหรับน้ำปูนเกร๊าต์ 59

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดหน่วยงานก่อสร้างอุโมงค์สำหรับใช้เก็บข้อมูล 78

ตารางที่ 5.2 ลักษณะวิธีการเก็บข้อมูลจากแต่ละหน่วยงาน 79

ตารางที่ 5.3 ปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิคในระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 81

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการในระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 85

ตารางที่ 5.5 มาตรวัดสำหรับการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค 91

ตารางที่ 5.6 ระดับคะแนนสำหรับใช้ประเมินหาค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยเสี่ยง 93

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบระดับคะแนนในระดับกลุ่มปัจจัยหลักด้านเทคนิค 93

ตารางที่ 5.8 การแปลงค่าระดับคะแนนในกรณีที่ประเมินแล้วมีเครื่องหมายติดลบ 95

ตารางที่ 5.9 การแปลงค่าระดับคะแนนตามวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น 95

ตารางที่ 5.10 วิธีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก 96

ตารางที่ 5.11 การจำแนกระดับความรุนแรงตามค่าของผลคูณของค่าพิกัด 100

ตารางที่ 5.12 ขั้นตอนการนำแนวทางไปประยุกต์ใช้ 106

ตารางที่ 6.1 การกำหนดชื่อรหัสปัจจัยเสี่ยง 118

ตารางที่ 6.2 กลุ่มปัจจัยเสี่ยงและปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิคสำหรับกรณีศึกษา 121

ตารางที่ 6.3 กลุ่มปัจจัยเสี่ยงและปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการสำหรับกรณีศึกษา 125

หน้า

ตารางที่ 6.4 ตำแหน่งและประสบการณ์ของบุคลากรผู้ตอบแบบสอบถาม สำหรับด้านบริหารจัดการ 129
ตารางที่ 6.5 ตำแหน่งและประสบการณ์ของบุคลากรผู้ตอบแบบสอบถาม สำหรับด้านเทคนิค 130
ตารางที่ 6.6 สรุป 10 ลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงสำหรับกรณีศึกษา 133
ตารางที่ 6.7 การจำแนกกลุ่มตามค่าพิกัดที่เหมือนกันสำหรับปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค (โอกาสการเกิดของปัจจัย, ผลกระทบต่ออัตราการขุดเจาะ, ระยะเวลา – X, Y_1, Z) 139
ตารางที่ 6.8 การจำแนกกลุ่มตามค่าพิกัดที่เหมือนกันสำหรับปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค (โอกาสการเกิดของปัจจัย, ผลกระทบต่อต้นทุนก่อสร้าง, ระยะเวลา – X, Y_2, Z) 140
ตารางที่ 6.9 การจำแนกกลุ่มตามค่าระดับความเสี่ยงกลางที่เหมือนกันสำหรับด้านบริหารจัดการ 143
ตารางที่ 6.10 การจำแนกปัจจัยเสี่ยงตามระดับความรุนแรง 144
ตารางที่ 6.11 แนวทางแก้ไขปัญหาสืบเนื่องจากปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการ สำหรับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ 147
ตารางที่ 6.12 แนวทางแก้ไขปัญหาสืบเนื่องจากปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค สำหรับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ 151
ตารางที่ 6.13 รายการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานอุโมงค์ 153
ตารางที่ ก1 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยหลัก ด้านเทคนิค 177
ตารางที่ ก2 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยรอง ด้านกระบวนการขุดเจาะ 178
ตารางที่ ก3 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยย่อย ด้านขั้นตอนการขุดเจาะ 178
ตารางที่ ก4 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยย่อย ด้านขั้นตอนการลำเลียงดินและผนังอุโมงค์ 179
ตารางที่ ก5 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยย่อย ด้านระบบสนับสนุน 179
ตารางที่ ก6 การเปรียบเทียบระดับปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค 180

หน้า

ตารางที่ ข1 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยรองด้านบุคลากร 199
ตารางที่ ข2 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยรองด้านวัสดุ อุปกรณ์ก่อสร้าง และเครื่องจักรกลหนัก 199
ตารางที่ ข3 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยรองด้านฝ่ายผู้ว่าจ้าง และแหล่งเงินทุน 200
ตารางที่ ข4 การเปรียบเทียบระดับกลุ่มปัจจัยหลักด้านบริหารจัดการ 201
ตารางที่ ข5 การเปรียบเทียบระดับปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการ 202
ตารางที่ ค1 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยหลักด้านเทคนิค 220
ตารางที่ ค2 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงรองด้านกระบวนการขุดเจาะ 221
ตารางที่ ค3 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงย่อยด้านขั้นตอนการขุดเจาะ 222
ตารางที่ ค4 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงย่อยด้านขั้นตอนการลำเลียงดินและผนังอุโมงค์ 223
ตารางที่ ค5 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงย่อยด้านระบบสนับสนุน 224
ตารางที่ ค6 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับปัจจัยเสี่ยงด้านเทคนิค 225
ตารางที่ ง1 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงหลักด้านบริหารจัดการ 233
ตารางที่ ง2 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงรองด้านบุคคลากร 234

หน้า

ตารางที่ ง3 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงรองด้านวัสดุ อุปกรณ์ก่อสร้าง และเครื่องจักรกลหนัก 235
ตารางที่ ง4 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับกลุ่มปัจจัยเสี่ยงรองด้านผู้ว่าจ้างและแหล่งเงินทุน 236
ตารางที่ ง5 ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในระดับปัจจัยเสี่ยงด้านบริหารจัดการ 237
ตารางที่ จ1 ค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินสำหรับ ด้านโอกาสของการเกิดปัจจัยเสี่ยง 245
ตารางที่ จ2 ค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินสำหรับ ด้านผลกระทบต่ออัตราการขุดเจาะเนื่องจากการเกิดปัจจัยเสี่ยง 250
ตารางที่ จ3 ค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินสำหรับ ด้านผลกระทบต่อต้นทุนก่อสร้างเนื่องจากการเกิดปัจจัยเสี่ยง 255
ตารางที่ จ4 ค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินใน ด้านระยะเวลาสำหรับรอคอยหรือแก้ไขสถานการณ์เนื่องจากการ เกิดปัจจัยเสี่ยง 260
ตารางที่ ฉ1 ค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินสำหรับ ด้านบริหารจัดการ 266
ตารางที่ ช1 การคำนวณคะแนนความเสี่ยง 274

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปร่างอุโมงค์ที่มีการก่อสร้างในอดีตถึงปัจจุบัน 5

รูปที่ 2.2 รูปตัดของอุโมงค์รถไฟ Einmalberg 7

รูปที่ 2.3 แผนภาพชนิดของ Shield Tunneling 8

รูปที่ 2.4 กระบวนการทำงานของ Slurry Shield 9

รูปที่ 2.5 การแบ่งประเภทเครื่องขุดเจาะชนิด Shield 20

รูปที่ 2.6 การจำแนกเครื่องขุดเจาะที่เหมาะสมแต่ละสภาพของชั้นดิน 22

รูปที่ 2.7 หัวเจาะประเภท Mechanized Shield 23

รูปที่ 2.8 หัวเจาะประเภท Slurry Shield 24

รูปที่ 2.9 หัวเจาะประเภท Slurry Shield 24

รูปที่ 2.10 หัวเจาะประเภท Compressed Air Shield 25

รูปที่ 2.11 หัวเจาะประเภท Earth Pressure Balanced Shield 25

รูปที่ 2.12 เครื่องขุดเจาะชนิด Earth Pressure และ Water Pressure 26

รูปที่ 2.13 หัวเจาะประเภท Hard Rock Machine Open Beam Machine 27

รูปที่ 2.14 หัวเจาะประเภท Hard Rock Machine Kelly Type 27

รูปที่ 2.15 หัวเจาะประเภท Double Shield Machine 28

รูปที่ 2.16 หัวเจาะประเภท Mix Shield Slurry Machine 28

รูปที่ 2.17 หัวเจาะประเภท Multi-Head TBM 28

รูปที่ 2.18 อุโมงค์รถไฟขุนตาล จังหวัดลำพูน 29

รูปที่ 2.19 วงชีวิตความเสี่ยง (Risk Lifecycle) 35

รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของหัวเจาะอุโมงค์ชนิดสมดุลแรงดันดิน
แบบขุดเจาะเต็มหน้า (Full Face Earth Pressure Balance) 48

รูปที่ 4.2 หัวรถลากและแบตเตอรี่สำหรับหัวรถลาก 51

รูปที่ 4.3 รถบรรทุกดิน (Muck Car) และรถขนส่งผนังอุโมงค์ (Segment Car) 51

หน้า

รูปที่ 4.4 รถขนส่งน้ำปูนเกร๊าต์ ขณะกำลังเติมน้ำปูนเกร๊าต์ผ่านท่อจากโม่ผสมด้านบน 52
รูปที่ 4.5 การติดตั้ง Launching Cradle และ Erection Frame 52
รูปที่ 4.6 บริเวณช่องเจาะทะลุ (Soft eye) 52
รูปที่ 4.7 การเริ่มขุดเจาะอุโมงค์และการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั่วคราว 53
รูปที่ 4.8 ระบบชุดอุปกรณ์ที่ช่วยสนับสนุนในการขุดเจาะ 55
รูปที่ 4.9 การเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของหัวเจาะอุโมงค์โดยใช้ Hydraulic Thrust Jack ยันกับผนังอุโมงค์ที่ประกอบแล้วเสร็จ 57
รูปที่ 4.10 การติดตั้งผนังอุโมงค์ด้วย Segment Erector 58
รูปที่ 4.11 การฉีดน้ำปูนเกร๊าต์ และการตรวจสอบความหนาของชั้นน้ำปูนเกร๊าต์ 60
รูปที่ 4.12 การก่อสร้างปล่องอุโมงค์ชนิดใช้เข็มพืด (Sheet Pile Type) 64
รูปที่ 4.13 การก่อสร้างปล่องอุโมงค์ชนิดกำแพงใต้ดิน (Diaphragm Wall) 66
รูปที่ 4.14 การก่อสร้างปล่องอุโมงค์โดยใช้รูปแบบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Wall) 67
รูปที่ 4.15 การก่อสร้างปล่องอุโมงค์โดยใช้แบบหล่อชนิดปรับเลื่อนได้ (Slip Form) 68
รูปที่ 4.16 ความเสียหายเนื่องจากปล่องอุโมงค์จมลงในอัตราที่เร็วเกินไป 71
รูปที่ 4.17 การควบคุมการขุดดินภายในปล่องต้องไม่ทำในลักษณะ Over cut 72
รูปที่ 4.18 การควบคุมการจมปล่องโดยการใช้น้ำหนักถ่วง (Counterweight) 72
รูปที่ 4.19 การเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้ท่อ Tremie Pipe 72
รูปที่ 5.1 ช่วงเวลาสำหรับประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง 74
รูปที่ 5.2 แนวทางการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 77

หน้า

รูปที่ 5.3 การจำแนกปัจจัยเสี่ยงสำหรับโครงการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีสมดุลแรงดันดิน 80
รูปที่ 5.4 แนวคิดความเสี่ยง 3 มิติ 98
รูปที่ 5.5 แบบจำลองความเสี่ยง 3 มิติ 99
รูปที่ 5.6 ระนาบหรือชั้นที่ 4 (Layer 4, Y = 4) 100
รูปที่ 5.7 การกำหนดขอบเขตความรุนแรง (X, Y_1, Z) 104
รูปที่ 5.8 การกำหนดขอบเขตความรุนแรง (X, Y_2, Z) 105
รูปที่ 6.1 แนวอุโมงค์และที่ตั้งอาคารระบายน้ำ สำหรับโครงการที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษา 114
รูปที่ 6.2 แผนผังแนวอุโมงค์รวม พร้อมรูปขยายที่ตั้งอาคารระบายน้ำและจุดตัดผ่านสิ่งก่อสร้างสำคัญ 115
รูปที่ 6.3 ลักษณะการให้ชื่อรหัสปัจจัยเสี่ยง 117
รูปที่ 6.4 สรุปคะแนนความเสี่ยงด้านเทคนิค 134
รูปที่ 6.5 สรุปคะแนนความเสี่ยงด้านบริหารจัดการ 135
รูปที่ 6.6 การกำหนดค่าพิกัดของปัจจัย (X, Y_1, Z) ลงในเขตความรุนแรง 141
รูปที่ 6.7 การกำหนดค่าพิกัดของปัจจัย (X, Y_2, Z) ลงในเขตความรุนแรง 142