สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อราคาการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย
Study and Analysis of Factors affecting tunnel costs in Thailand

โดย

นายวิชญุตร์ พันธ์ธนพฤกษ์

นายวุฒิชัย วงศ์จันทร์

นายจตุรพัฒน์ โทนแก้ว

ส/ม.
จ 5351 ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72630
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ย. 2550

b 11770945
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study and Analysis of Factors affecting tunnel costs in Thailand

MR.WICHAYUT PUNTHANAPLUCK
MR.WUTTICHAI WONGJAN
MR.JATURAPHAT TONEKEAW

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**การศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อราคาการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย**			
	Study and Analysis of Factors affecting tunnel costs in Thailand			
นักศึกษา	1. นาย วิชญุตร์	พันธ์ธนพฤกษ์	รหัสนักศึกษา	46010699
	2. นาย วุฒิชัย	วงศ์จันทร์	รหัสนักศึกษา	46010754
	3. นาย จตุรพัฒน์	โทนแก้ว	รหัสนักศึกษา	46012221
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ. สุพจน์ ศรีนิล ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วัน 12 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อราคาการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย STUDY AND ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING TUNNEL COSTS IN THAILAND
นักศึกษา	นายวิชญุตร์ พันธ์ธนพฤกษ์ นายวุฒิชัย วงศ์จันทร์ นายจตุรพัฒน์ โทนแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ในส่วนของโครงสร้างอุโมงค์ (Lining) โดยทำการศึกษาจากโครงการที่ได้รวบรวมข้อมูลทางด้านราคาจำนวน 10 โครงการ และนำข้อมูลที่ได้มาจำแนกประเภทของงานในแต่ละหมวดให้เป็นรูปแบบเดียวกันทั้ง 10 โครงการ เพื่อหาความสัมพันธ์ของราคาค่าก่อสร้าง กับปัจจัยที่ส่งผลกับราคาค่าก่อสร้าง และทำให้ทราบถึงความสำคัญของตัวแปรในแต่ละตัวแปร ซึ่งผลของการศึกษาจะนำไปสู่การประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Science (SPSS)โดยวิธีถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งสามารถวิเคราะห์สร้างสมการประมาณราคาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDY AND ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING TUNNEL COSTS IN THAILAND
Name	:	MR.WICHAYUT PUNTHANAPLUCK MR.WUTTICHAI WONGJAN MR.JATURAPHAT TONEGEAW
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Adviser	:	ASST.PROF.SUSHUTVEE SUWANSAWAT
Year	:	2006

ABSTRACT

The purpose of this research is the study and analysis of factors affecting tunnel costs in Thailand. The study collected the cost information of lining section in 10 tunnels and find related construction factors between each of tunnel to compare and determine which factors are affecting the cost of construction. The result of this research leads to cost approximation by using of SPSS (Statistical Package for the Social Science) which proceeds through Regression Analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้วางแนวคิดของปริญญานิพนธ์ อีกทั้งได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็น คลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุพจน์ ศรีนิล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ ขวัญพฤษ์ กรรมการปริญญานิพนธ์ที่ได้ให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณสำหรับความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจากสำนักงานกรุงเทพมหานคร การประปานครหลวงและการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ข้อมูลที่ผู้ประพันธ์ได้รับช่วยให้งานศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ของข้าพเจ้าซึ่งคอยห่วงใยและให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

นายวิชญุตร์ พันธ์ธนพฤกษ์
นายวุฒิชัย วงศ์จันทร์
นายจตุรพัฒน์ โทนแก้ว
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกในภาษาไทย	ก
	ปกในภาษาอังกฤษ	ข
	ใบรับรองโครงงานพิเศษ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
1	**บทนำ**	
	1.1 บทนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.5 วิธีการศึกษา	3
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	**วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย	11
	2.2 1. ทฤษฎีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	11
	2.2 2. ทฤษฎีการประมาณราคาโดยวิธี All Possible Regression	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**การขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน**	
	3.1. การวางแผนงานก่อสร้าง (Construction Planning)	21
	3.2. การสำรวจสำหรับงานอุโมงค์ใต้ดิน	21
	3.3. การดำเนินการก่อสร้าง (Execution)	22
	3.3.1. ปล่องแนวดิ่ง (Shaft)	22
	3.3.2. ทางออกและทางเข้าของหัวเจาะ	24
	3.3.3. การขุดเจาะ เสถียรภาพของดิน และการขนย้ายดินออกจากหัวเจาะประเภท EPB	28
	3.3.4. การฉีดอัดน้ำปูนกลับ (Backfill Grouting)	31
	3.3.5. การเปลี่ยนใบมีดขุดเจาะดิน (Cutter Bits Change)	34
4	**การเก็บรวบรวมข้อมูล**	
	4.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล	36
	4.2. การแยกหมวดหมู่ของงาน	38
	4.2.1. งานเตรียมการและดำเนินงานเบื้องต้น	38
	4.2.2. งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	39
	4.2.3. งานก่อสร้างอุโมงค์	40
	4.3. การปรับสภาพข้อมูล	45
5	**การวิเคราะห์ข้อมูล**	
	5.1. บทนำ	52
	5.2. การวิเคราะห์เชิงพรรณนา	52
	5.2.1. ความยาวของอุโมงค์	52
	5.2.2. ขนาดของอุโมงค์	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
5.2.3. ประเภทของหัวขุดเจาะ	53
5.2.3.1. ราคาของหัวเจาะที่ใช้ในโครงการ	55
5.2.3.2. โครงสร้างต่างๆของหัวขุดเจาะ	55
5.2.3.3. การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวขุดเจาะ	55
5.2.4. ประเภทของชั้นดินบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์	56
5.2.5. ความลึกของอุโมงค์ (ระดับของแนวอุโมงค์)	56
5.2.6. จำนวน Shaft	57
5.2.7. ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ (Segment)	59
5.2.8. สถานที่ตั้งของโครงการ	60
5.2.9. ลักษณะความเป็นอยู่ของชุมชนบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์	61
5.2.10. สถานที่เก็บวัสดุอุปกรณ์	62
5.2.11. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนผิวดิน	63
5.2.12. GROUND IMPROVEMENT	63
5.2.13. ระยะเวลาในการก่อสร้าง	64
5.2.14. ประเภทของโครงการ	64
5.2.15. งานอุปสรรค	64
5.3. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ	65
5.3.1. ความยาวของอุโมงค์	65
5.3.2. ขนาดของอุโมงค์	67
5.3.3. จำนวนหัวเจาะ	69
5.3.4. ความลึกของอุโมงค์	73
5.3.5. จำนวนปล่องอุโมงค์(Shaft)	75
5.3.6. อธิบายตารางแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยและตัวแปร(หมวดงาน)ต่างๆ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
6	การประมาณราคาโดยโปรแกรม SPSS	
	6.1. กล่าวนำ	81
	6.2. การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล	81
	6.3. ขั้นตอนการวิเคราะห์	83
	6.3.1. เขียนตารางและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R_p^2 ของแต่ละสมการ	83
	6.3.2. เขียนกราฟแสดงค่า R_p^2 ของแต่ละรูปแบบคู่กับจำนวนตัวแปรอิสระ	84
	6.3.3. พิจารณา R_p^2 เลือกสมการที่มีค่า R_p^2 สูงสุด หรือค่าใกล้เคียง	85
	6.4. การสรุปชุดตัวแปรและการหาสมการการถดถอย	86
	6.5. สรุปการหาค่าความผิดพลาดของสมการ	88
7	**สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	
	7.1. กล่าวนำ	89
	7.2. ผลการศึกษา	90
	7.3. ข้อเสนอแนะ	93
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก.	
	ภาคผนวก ข.	
	ภาคผนวก ค.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	ตารางแสดงคะแนนของนักเรียน 8 คน	12
2.2.	ตารางแสดงการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียรสัน	12
2.3.	ตารางข้อมูลของวิธีการ All Possible Regression	16
2.4.	ตารางผลลัพธ์ของวิธีการ All Possible Regression	17
2.5.	ตารางCorrelation matrix ของข้อมูลตัวอย่างที่ 2.1.	18
2.6.	ตารางการประมวลผลสมการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_2 , X_3 , X_5 โดยโปรแกรม SPSS	20
4.1.	ตารางแสดงข้อมูลขอบเขตโครงการก่อสร้างอุโมงค์	37
4.2.	ตารางแสดงข้อมูลราคาเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง	42
4.3.	ตารางแสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	43
4.4.	ดารางแสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างอุโมงค์	44
4.5.	ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง	44
4.6.	ตารางแสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคาการเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง	46
4.7.	ตารางแสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	47
4.8.	ตารางแสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างอุโมงค์	48
4.9.	ตารางแสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานรวมของโครงการอุโมงค์	49
4.10.	แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานรวมของโครงการอุโมงค์	49
4.11.	แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างอุโมงค์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	50
5.1.	ตารางแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยและตัวแปรต่างๆ	80
6.1.	ตารางข้อมูลของวิธีการ All Possible Regression	83
6.2.	ตารางผลลัพธ์ของวิธีการ All Possible Regression	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	กราฟแสดงความสัมพันธ์	13
2.2.	พล็อต R_p^2 คู่กับจำนวนตัวแปรอิสระสำหรับ All Possible Regression	18
3.1.	ปล่องอุโมงค์แนวดิ่ง (Shaft)	22
3.2.	การขุดปล่องแนวดิ่ง (Shaft)	23
3.3.	การขนย้ายหัวเจาะลงทางปล่องแนวดิ่ง (Shaft)	24
3.4.	การติดตั้งหัวเจาะ	25
3.5.	ตัวอย่างวิธีการนำหัวเจาะออกจากกำแพงปล่องแนวดิ่ง	26
3.6.	ตัวอย่างแสดงวิธีการเข้าของหัวเจาะ	27
3.7.	หัวเจาะกำลังเข้าสู่ปล่องแนวดิ่ง	27
3.8.	หัวเจาะแบบ EPB	28
3.9.	การลำเลียงดินออกจากหัวเจาะโดยสายพานลำเลียง	30
3.10.	วัสดุทั่วไปในการฉีดอัดน้ำปูน	32
3.11.	การ Grouting	33
5.1	หัวเจาะชนิดต่างๆ	54
5.2	แสดงหัวขุดเจาะแบบ EPB	54
5.3	แสดงแรงดันเนื่องจากดินด้านหน้าของหัวเจาะ	56
5.4	การลำเลียงดินขุดที่ออกจากช่องอุโมงค์	57
5.5	เป็นการลำเลียงหัวเจาะผ่านช่อง Shaft	58
5.6	การทำการค้ำยันปล่องอุโมงค์	58
5.7	ลักษณะของชิ้นส่วนของผนังอุโมงค์	59
5.8.	การติดตั้งชิ้นส่วนผนังอุโมงค์	60
5.9.	แสดงสถานที่ก่อสร้างที่มีความแออัด	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.10.	แสดงสถานที่ก่อสร้างที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างมาก	61
5.11	แสดงให้เห็นถึงการจราจรที่ส่งผลกับกานขนส่งสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์	62
5.12	แสดงสถานที่เก็บชิ้นส่วนอุโมงค์	62
5.13.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์รวมทั้งโครงการกับความยาวของอุโมงค์	65
5.14.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์เทียบโดยปริมาตรกับความยาวของอุโมงค์	66
5.15.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์	67
5.16.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์เทียบโดยปริมาตรกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์	68
5.17.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์กับจำนวนหัวขุดเจาะ	69
5.18.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับจำนวนหัวขุดเจาะอุโมงค์	70
5.19.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อลูกบาศก์เมตรกับจำนวนหัวขุดเจาะ	71
5.20.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อจำนวนหัวเจาะทั้งโครงการกับ จำนวนหัวขุดเจาะ	72
5.21.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับความลึกอุโมงค์	73
5.22.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรกับความลึกอุโมงค์	74
5.23.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์กับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft)	75
5.24.	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรกับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป **หน้า**

5.25. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร กับจำนวนปล่องอุโมงค์ 77

6.1. การประกาศตัวแปรและระบุคุณสมบัติตัวแปรในโปรแกรม SPSS 82

6.2. การลงข้อมูลในโปรแกรม SPSS 82

6.3. พล็อต R_p^2 คู่กับจำนวนตัวแปรอิสระสำหรับ All Possible Regression 85

6.4. หน้าจอแสดงสมการทำนายผลที่ได้จากโปรแกรม SPSS 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. บทนำ

การประเมินราคาของโครงการก่อสร้างต่างๆ เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของการก่อสร้าง เพราะก่อนการก่อสร้างจะเริ่มขึ้นจะต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของการก่อสร้างนั้นๆ ว่ามีผลดีผลเสียอย่างไรคุ้มกับการลงทุนหรือไม่ เรื่องของราคาค่าก่อสร้างก็เป็นปัจจัยหนึ่งของการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ และก็ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจว่าโครงการมีความเป็นไปได้หรือไม่ เพราะถ้าหากว่าค่าก่อสร้างมีราคาที่สูงจนเกินไปจนไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เพราะฉะนั้นการประมาณราคาค่าก่อสร้างจะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำเพื่อให้ผู้ที่ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการตัดสินใจในการลงทุนได้ถูกต้อง เนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทยพึ่งเริ่มต้นยังขาดผู้ที่มีความรู้ความสามารถทางด้านงานอุโมงค์ใต้ดินอยู่มากและยังไม่มีทฤษฎีการประมาณราคางานอุโมงค์ที่ถูกต้องแน่นอน ส่วนใหญ่ผู้ที่ทำราคาจะคิดรูปแบบการประมาณราคาขึ้นมาเอง จึงเกิดแนวความคิดที่จะทำรูปแบบการประมาณราคาขึ้นมาและหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์และหาสมการประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์อย่างง่ายขึ้นมาเพื่อเป็นราคากลางประกอบการติดสินใจลงทุนก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในประเทศไทย

1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากทุกวันนี้กรุงเทพมหานครได้เกิดปัญหาการจราจร เป็นเหตุมาจากความแออัดของยวดยานพาหนะที่เพิ่มมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ทำให้ทางรัฐบาลได้แก้ปัญหาโดยการสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อให้ประชาชนได้เดินทางอย่างสะดวกรวดเร็วขึ้นและในปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงปรับตัวสูงขึ้น การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัวสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ทำให้ประชาชนมีทางเลือกสามารถหันมาใช้ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย ตามนโยบายรัฐบาลอีกทางหนึ่ง รวมถึงอุโมงค์ระบายน้ำเพื่อแก้ปัญหาการระบายน้ำที่ไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำฝน

ประเทศไทยได้มีโครงการเกี่ยวกับโครงสร้างใต้ดินเพิ่มขึ้นมาตลอด เป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนทางด้านเทคนิคในการก่อสร้างอย่างมาก เพื่อแก้ปัญหาทางการขนส่งการจราจรซึ่งเป็นโครงการของรัฐบาล เช่นรถไฟฟ้าใต้ดิน อุโมงค์ส่งน้ำ อุโมงค์ระบายน้ำ แต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเป็นโครงการที่จะต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างที่สูง จะต้องพิจารณาจุดคุ้มทุนเนื่องจากการลงทุน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ การวิเคราะห์ราคาจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก

เนื่องจากการประมาณราคาในการก่อสร้างอุโมงค์ นั้นมีปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาหลายปัจจัย จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดความไม่แน่นอนของราคาส่งผลทำให้เกิดราคาค่าก่อสร้างที่สูงเกินจริงซึ่งส่งผลเสียต่องบประมาณของแผ่นดิน การนำปัจจัยของราคาต่อการก่อสร้างอุโมงค์มาศึกษาวิเคราะห์จึงมีความสำคัญและมีประโยชน์ในการก่อสร้างอย่างมาก โดยเป็นแนวทางชี้วัดมูลค่างานก่อสร้างเป็นข้อมูลให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อราคาเพื่อพิจารณาในการออกแบบ ก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในพื้นที่ต่างๆของประเทศไทย

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1. เพื่อศึกษาถึงสภาพการณ์การเจริญเติบโตของการก่อสร้างในอุโมงค์ประเทศไทย

1.3.2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.3.3. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.3.4. เพื่อสร้างสมการทำนายผลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.3.5. เพื่อเสนอแนะในการจัดทำนโยบายเพื่อการพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทยต่อไป

1.4. ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทยในครั้งนี้ ได้ใช้จำนวนข้อมูล 10 ข้อมูล จากหน่วยงานของทางรัฐบาล 3 หน่วยงานด้วยกัน คือ

- สำนักงานกรุงเทพมหานคร จำนวน 3 โครงการ
- การประปานครหลวง จำนวน 6 โครงการ
- การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย จำนวน 1 โครงการ

โดยข้อมูลที่ได้รับมีขอบเขตของข้อมูลดังนี้

1. ทุกโครงการเป็นอุโมงค์ที่ทำการก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร
2. วิธีการขุดเจาะและหัวเจาะที่ใช้ในการขุดเจาะเป็นชนิด EPB (Earth Pressure Balance)
3. อุโมงค์มีระยะทางตั้งแต่ 1,600 เมตร ถึง 15,500 เมตร
4. อุโมงค์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในตั้งแต่ 2.30 เมตร ถึง 5.70 เมตร
5. อุโมงค์มีความลึกอยู่ในช่วง 18.00 เมตร ถึง 28.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. วิธีการศึกษา

1.5.1. ขั้นตอนทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานและขั้นดอนการก่อสร้าง
- ศึกษาวิธีการประมาณราคาค่าก่อสร้าง
- ศึกษาการปรับฐานข้อมูล

1.5.2. ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาการหาค่าสหสัมพันธ์
- ศึกษาถึงทฤษฎีการประมาณราคาค่าก่อสร้าง

1.5.3. ขั้นตอนการปรับฐานข้อมูล

- รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ
- ปรับฐานข้อมูลโดยใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างจากกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์กระทรวงพาณิชย์

1.5.4. ขั้นดอนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงบรรยาย

- บรรยายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย
- บรรยายปัญหาและอุปสรรดของการเพิ่มมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.5.5. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ

- วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัย
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหมวดงานแต่ละหมวดงาน

1.5.6. ขั้นตอนการหาสมการทำนายผล

- บันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม SPSS
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรเพื่อเลือกตัวแปรใส่ในสมการทำนาย
- รันโปรแกรมหาสมการทำนายผลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์

1.5.7. ขั้นตอนการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. ทราบถึงสภาพการณ์การเจริญเติบโตของการก่อสร้างในอุโมงค์ประเทศไทย

1.6.2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.6.3. ทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.6.4. สามารถสร้างสมการทำนายผลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

1.6.5. ทราบถึงอุปสรรคของการเพิ่มมูลค่าของการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย เพื่อนำไปใช้ในการจัดทำนโยบายเพื่อการพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุบลรัตน์ ลิมป์ปิยาภิรมย์ (2540) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่กำหนดการลงทุนภาคเอกชนในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางนโยบาย และมาตรการต่างๆ ของรัฐบาลที่จะส่งเสริมให้การลงทุนของภาคเอกชนขยายตัวสูงขึ้น การศึกษาปัจจัยกำหนดการลงทุนภาคเอกชนในประเทศไทย จะอาศัยแบบจำลองตามแนวความคิดของ Greene Joshua และ Villanueva Delano (1991) โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรบางตัวเพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศไทย นำมาประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares : OLS) โดยอาศัยข้อมูลทุติยภูมิแบบอนุกรมเวลา (Time Series) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518-2537

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปัจจัยที่กำหนดการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทย ได้แก่ อัตราดอกเบี้ยเงินฝากที่แท้จริง รายได้ต่อหัวของประชาชนในประเทศปีที่ผ่านมา อัตราค่าจ้างขั้นต่ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปีที่ผ่านมา และอัตราส่วนภาระการชำระหนี้ในปีที่ผ่านมา มีความเหมาะสมในการอธิบายสมการการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยได้ร้อยละ 94 ซึ่งปัจจัยแต่ละตัวสามารถสรุปผลได้ดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินฝากที่แท้จริงมีความสัมพันธ์กับปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 99 กล่าวคือ หากอัตราดอกเบี้ยเงินฝากที่แท้จริงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยลดลงร้อยละ 1.23 รายได้ต่อหัวของประเทศในปีที่ผ่านมามีความสัมพันธ์กับปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 99 กล่าวคือ หากรายได้ต่อหัวของประชาชนในประเทศในปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้น 1 บาท จะส่งผลให้ปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.001 อัตราค่าจ้างขั้นต่ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์กับปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 99 กล่าวคือ หากอัตราค่าจ้างขั้นต่ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นอีกวันละ 1 บาท จะส่งผลให้ปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยลดลงร้อยละ 0.57 อัตราส่วนภาระการชำระหนี้ในปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 กล่าวคือ หากอัตราส่วนการชำระหนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ปริมาณการลงทุนของภาคเอกชนในประเทศไทยลดลงร้อยละ 0.47

สมชาย เด่นตระกูลวงศ์ (2538) ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุปสงค์ของปูนซีเมนต์ในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุปสงค์การใช้ปูนซีเมนต์ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์พร้อมทั้งพยากรณ์แนวโน้ม ของอุปสงค์สำหรับปูนซีเมนต์ในช่วงปี พ.ศ. 2537 - 2546 การศึกษานี้ได้อาศัย ข้อมูลทุติยภูมิระหว่างปี พ.ศ. 2521- 2536 จากหน่วยงานราชการต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์โดยวิธีสมการถดถอยพหุคูณ ในการวิเคราะห์อุปสงค์สำหรับปูนซีเมนต์ได้แบ่งเป็น 3 ภาค คือ อุปสงค์สำหรับปูนซีเมนต์ของภาครัฐบาล ภาคธุรกิจเอกชน และภาคครัวเรือน

ผลการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2536 ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ของภาครัฐบาลมีจำนวน 7,288 พันตัน ภาคธุรกิจเอกชนมีจำนวน 8,821 พันตัน และภาคครัวเรือนมีจำนวน 9,782 พันตัน ในช่วงปี พ.ศ. 2521 - 2536 ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 6.8 ในภาครัฐบาลร้อยละ 11.5 ในภาคธุรกิจเอกชน และร้อยละ 14.0 ในภาคครัวเรือน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ของภาครัฐบาล คือ รายจ่ายเพื่อการก่อสร้างของรัฐบาล ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ของภาคธุรกิจเอกชน คือ ราคาปูนซีเมนต์ อัตราดอกเบี้ย ปริมาณสินเชื่อเพื่อการก่อสร้าง และปริมาณเงินทุนโดยตรงจากต่างประเทศ ปัจจัยที่มีพลต่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ของภาคครัวเรือน คือ รายได้เฉลี่ยต่อบุคคล จำนวนประชากรที่อยู่ในวัยแรงงานและดัชนีราคาที่อยู่อาศัย

วิบูลย์ สุรสาคร (2537) ใช้วิธีการประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารด้วยวิธีมอนติคาร์โล โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลราคาค่าก่อสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานคร แยกตามประเภทของอาคารคือ อาคารสำนักงาน และอาคารชุดพักอาศัย โดยพิจารณาเฉพาะงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมเท่านั้น ซึ่งมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าก่อสร้าง 13 ตัวแปร ดังนี้

1. ค่าดำเนินการและค่าโสหุ้ย
2. งานเสาเข็ม
3. งานดินและระบบป้องกันดินพัง
4. งานคอนกรีต
5. งานไม้แบบ
6. งานเหล็กเสริม
7. งานผิวพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. งานผนังและผิวผนัง
9. งานฝ้าเพดาน
10. งานประตูหน้าต่างและกระจก
11. งานสุขภัณฑ์และอุปกรณ์ประกอบ
12. งานสี
13. งานอื่นๆ

การสร้างแบบจำลองเพื่อการประมาณราคาค่าก่อสร้างด้วยวิธีมอนติคาร์โล ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายรวมโครงการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน (Correlate) และส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent) ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของโครงการหาได้จากสมการ

$$Y = (C_{de} + C_{ide})A$$

โดยที่ Y = ค่าใช้จ่ายรวมของโครงการ มีหน่วยเป็นบาท

C_{de} = องค์ประกอบค่าใช้จ่ายที่มีความสัมพันธ์กัน มีหน่วยเป็นบาทต่อตารางเมตร

C_{ide} = องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายที่เป็นอิสระต่อกัน มีหน่วยเป็นบาทต่อตารางเมตร

A = พื้นที่ใช้สอยอาคารซึ่งพิจารณาจากเส้นรอบรูปภายนอกรอบตัวอาคารโดยหักช่องบันได ช่องลิฟต์และช่องอื่นๆ ในอาคารออก มีหน่วยเป็นตารางเมตร

ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของค่าใช้จ่ายต่างๆ ซึ่งสรุปได้ว่า ค่าใช้จ่ายต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน นั่นคือองค์ประกอบของค่าใช้จ่าย 13 องค์ประกอบที่กำหนดไว้ทุกตัวเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นจะได้สมการเป็น

$$Y = C_{ide}A$$

จากการใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายรวมของโครงการมีการแจกแจงแบบ lognormal แล้วสร้างตัวเลขสุ่ม 1,000 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต่างๆ จากนั้นจึงรวมค่าใช้จ่ายต่างๆเข้าด้วยกันก็จะได้ต้นทุนทั้งหมดซึ่งเท่ากับ 5,202 บาทต่อตารางเมตร โดยต้นทุนที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองจะเป็นต้นทุนในปี 2528 ดังนั้นการคำนวณหาราคาค่าก่อสร้างรวมสำหรับโครงการใหม่ จะต้องนำค่าที่ได้คูณด้วยดัชนีราคาที่มีปี 2528 เป็นปีฐาน

การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้โดยทำการทดสอบกับต้นทุนรวมของอาคารสำนักงานสูง 30 ชั้น สร้างปี 2533 มีพื้นที่ใช้งานรวม 43,000 ตารางเมตร ต้นทุนรวม 332,487,170 บาท

พื้นที่รวม = 43,000 ตารางเมตร

Y = 5,200 × 43,000

= 223,706,210 บาท

ดัชนีราคาปี 2533 = 1.396 เทียบกับปี 2528

ดังนั้นแปลงเป็นต้นทุนในปี 2533

ต้นทุนรวม = 223,706,210 × 1.396

= 312,293,869 บาท

ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณ

= (312,293,869 – 332,487,170) × 100 / 332,487,170

= -6.07 %

งานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายของโครงการถึง 13 ตัวแปร และมีการแบ่งประเภทของอาคารออกเป็น อาคารสำนักงาน และอาคารพักอาศัย ผู้วิจัยได้นำวิธีการมอนติคาร์โลมาใช้แทนวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอย แต่การตั้งสมมติฐานของค่าใช้จ่ายต่างๆว่ามีการแจกแจงแบบลอกนอร์มอนเพียงแบบเดียว และไม่ได้คำนึงถึงตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อความแม่นยำในการทำนายค่าการก่อสร้าง เช่น ความสูงระหว่างชั้น จำนวนชั้น อาจมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายค่าการก่อสร้างได้

วรศักดิ์ ทวีกิจการ (2533) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) ในการสร้างแบบจำลองสำหรับประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคาร โดยจำแนกต้นทุนออกเป็นหมวดหมู่ ได้แก่ หมวดงานโครงสร้าง หมวดงานสถาปัตยกรรม หมวดไฟฟ้า และหมวดสุขาภิบาล และทำการศึกษาในประเด็นต่อไปนี้

1) ศึกษาถึงตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อต้นทุน ตัวแปรอิสระที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 9 ตัวแปร ได้แก่ ความสูงของอาคาร ความสูงระหว่างชั้นเฉลี่ย จำนวนชั้น เส้นรอบรูปเฉลี่ย พื้นที่ใช้งานรวม พื้นที่หลังคา พื้นที่ห้องน้ำ พื้นที่แผ่นพื้นที่วางบนดิน และพื้นที่ช่องเปิด แล้วทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีอิทธิพลต่อต้นทุน โดยอาศัยข้อมูลต้นทุนค่าก่อสร้างรวมของ 19 อาคารด้วยวิธีสเตปไวสรีเกรซชัน (The Stepwise Regression Procedure) พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนคือ ความสูงระหว่างชั้นเฉลี่ย จำนวนชั้น เส้นรอบรูปเฉลี่ย และพื้นที่ใช้งานรวม

2) ศึกษาการจัดกลุ่มประเภทอาคาร โดยการหาค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ r^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการทำนายการแจกแจงของต้นทุนรวม จากการศึกษากลุ่มอาคารซึ่งประกอบด้วยโรงพยาบาล อาคารเรียน อาคารสำนักงาน คอนโดมิเนียมและแฟลต ได้ค่า $r^2 = 0.4288387$ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากอาคารทั้ง 4 ประเภทนี้ไม่สามารถนำมารวมกลุ่มกันเพื่อสร้างแบบจำลองได้ เนื่องจากสามารถทำนายการแจกแจงแจงต้นทุนรวมได้เพียง 43 % สำหรับกลุ่มซึ่งประกอบด้วยอาคารเรียน อาคารสำนักงาน คอนโดมิเนียมและแฟลต ได้ค่า $r^2 = 0.8712246$ แต่ยังมีค่าน้อยกว่าค่า r^2 ของอาคารแต่ละประเภท แสดงว่าอาคารทั้ง 3 ประเภทนี้ก็ไม่สามารถนำมารวมกลุ่มกันเพื่อสร้างแบบจำลองได้ ในการศึกษากลุ่มอาคารซึ่งประกอบด้วยสำนักงานกับคอนโดมิเนียมและแฟลต ได้ค่า $r^2 = 0.9689215$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่า r^2 ของอาคารแต่ละประเภทมาก ดังนั้นจึงสามารถนำมารวมกลุ่มกันเพื่อสร้างแบบจำลองได้ ในการศึกษากลุ่มอาคารทั้ง 3 กลุ่มประเภทอาคารคือ อาคารโรงพยาบาล อาคารเรียน และกลุ่มอาคารสำนักงานกับคอนโดมิเนียมและแฟลต

3) ศึกษาการแยกจำนวนชั้นของอาคาร จากการวิเคราะห์โดยอาศัยค่า r^2 ที่เป็นตัวบ่งบอกความแม่นยำในการทำนายการแจกแจงของต้นทุนพบว่า การแบ่งช่วงชั้นของอาคารเป็น 1 – 3 ชั้น 4 – 12 ชั้น และมากกว่า 12 ชั้น จะเหมาะสมกว่าการแบ่งช่วงชั้นแบบอื่น และได้สร้างแบบจำลองการประมาณต้นทุนโดยแยกตามช่วงชั้นของอาคารดังที่กล่าวมา

4) ตัวอย่างแบบจำลองที่ได้ในอาคารโรงพยาบาลที่มีความสูงระหว่าง 4 – 12 ชั้น คือ ราคาก่อสร้างรวม

$$Y_{tot} = \exp(11.6569 - 0.573405 \ln X_2 + 0.7427313 \ln X_3 + 0.8760934 \ln X_4 - 0.01807693 \ln X_5)$$

โดย X_2 = ความสูงระหว่างชั้นเฉลี่ย

X_3 = จำนวนชั้น

X_4 = เส้นรอบรูปเฉลี่ย

X_5 = พื้นที่ใช้งานรวม

Y_{tot} = ราคาค่าก่อสร้างรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การประมาณต้นทุนด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอยเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์โดยพื้นที่และโดยปริมาตร พบว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 11 % ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์โดยพื้นที่และปริมาตรมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 32% แสดงว่าการประมาณต้นทุนโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอยมีความแม่นยำสูงกว่าการใช้วิธีวิเคราะห์โดยพื้นที่และปริมาตร

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมของงานอาคาร 7 ชั้นที่ก่อสร้างจริง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองเพียง 5.83 % แต่ถ้าหากใช้วิธีการประมาณราคาโดยวิธีการเฉลี่ยค่าก่อสร้างต่อพื้นที่ จะมีความคลาดเคลื่อนสูงถึง 20.56 %

งานวิจัยนี้นอกเหนือจากการคำนึงถึงพื้นที่ของอาคารในการประมาณราคาค่าก่อสร้างแล้วผู้วิจัยยังได้ใช้ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อต้นทุนคือ ความสูงระหว่างชั้น จำนวนชั้น และเส้นรอบรูปเฉลี่ยในการสร้างความสัมพันธ์ อีกทั้งได้แบ่งกลุ่มอาคารตามประเภท และช่วงความสูงของอาคารซึ่งได้แก่ การใช้วัสดุ และเทคนิคที่ใช้ในการก่อสร้าง

ส่งศักดิ์ วัฒนศักดิ์ (2548) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการหากำลังอัดคอนกรีต โดยหาความสัมพันธ์ของสัดส่วนผสมคอนกรีตแต่ละชนิด ได้แก่ ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณน้ำ ปริมาณหิน ปริมาณทราย ปริมาณและอายุการบ่ม และทำการศึกษาในประเด็นต่อไปนี้

1) ศึกษาถึงตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลกำลังอัดคอนกรีต ตัวแปรอิสระที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 10 ตัวแปร คือ ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณน้ำ ปริมาณหิน ปริมาณทราย ปริมาณเพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อมวลรวม หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด และอายุการบ่มคอนกรีต แล้วทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดคอนกรีต โดยการทดสอบคอนกรีตชนิดลูกบาศก์ขนาด 15 × 15 × 15 เซนติเมตร ทั้งหมด 1,435 ตัวอย่าง (69 ชุดข้อมูล) ด้วยวิธีการรีเกรซชัน (The Regression Procedure) พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกำลังคอนกรีตคือ ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณน้ำ ปริมาณหิน ปริมาณทราย ปริมาณเพสต์ และอายุการบ่มคอนกรีต

2) ตัวอย่างสมการถดถอยที่ได้คือ

$$Y_{tot} = (-0.090X_1^2 + 359.394X_1 + 59108.716)(-0.201X_2^2 + 87.9000X_2 - 7191.147)(0.142X_3^2 - 155.532X_3 + 55540.464)(0.023X_4^2 - 16.037X_4 + 4726.385)(1.177X_5^2 - 0.726X_5 + 0.280)(1.619E-14X_6 + 4.875E-14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย X_1 = ปริมาณซีเมนต์

X_2 = ปริมาณน้ำ

X_3 = ปริมาณหิน

X_4 = ปริมาณทราย

X_5 = ปริมาณเพสต์

X_6 = อายุการบ่มคอนกรีต

Y_{tot} = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

3) กำลังรับแรงอัดที่ได้จากสมการแนวโน้มกับผลการทดสอบจริงได้ค่าผิดพลาดมากกว่า 10% 7 ชุดตัวอย่างซึ่งทั้งหมดเป็นชุดตัวอย่างที่มีค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดระหว่าง 0 เซนติเมตรและ 18 เซนติเมตรทั้งสิ้น โดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 6.58%

2.2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1. ทฤษฎีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด โดยข้อมูลที่นำมาทำการหาค่าจะต้องอยู่ในรูปค่าคะแนนความเบี่ยงเบน สูตรที่ใช้ คือ

$$r = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

เมื่อ r แทน ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปร x และตัวแปร y

x แทน ค่าเบี่ยงเบน $(x - \bar{x})$ ของตัวแปร x

y แทน ค่าเบี่ยงเบน $(y - \bar{y})$ ของตัวแปร y

ตัวอย่าง : การหาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์และหาว่าคะแนนวิชาคณิตศาสตร์กับวิชาวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ จากนักเรียน 8 คน ที่สอบวิชาคณิตศาตร์และวิชาวิทยาศาสตร์ ได้คะแนนดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. แสดงคะแนนของนักเรียน 8 คน

คนที่	คะแนนคณิตศาสตร์	คะแนนวิทยาศาสตร์
1	6	2
2	8	4
3	4	4
4	9	6
5	10	9
6	7	9
7	5	5
8	5	6

วิธีทำ

เมื่อ x แทนคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ และ y แทนคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ปรับข้อมูลใหม่ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2. แสดงการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียรสัน

คนที่	**x**	**y**	**x** (x - x)	**y** (y - y)	**x^2** $(x - x)^2$	**y^2** $(y - y)^2$	**xy** (x - x)(y - y)
1	6	2	-0.75	-3.63	0.56	13.14	2.72
2	8	4	1.25	-1.63	1.56	2.64	-2.03
3	4	4	-2.75	-1.63	7.56	2.64	4.47
4	9	6	2.25	0.38	5.06	0.14	0.84
5	10	9	3.25	3.38	10.56	11.39	10.97
6	7	9	0.25	3.38	0.06	11.39	0.84
7	5	5	-1.75	-0.63	3.06	0.39	1.09
8	5	6	-1.75	0.38	3.06	0.14	-0.66
	54	**45**	**0**	**0**	**31.50**	**41.88**	**18.25**

เมื่อ x = 6.75, y = 5.625

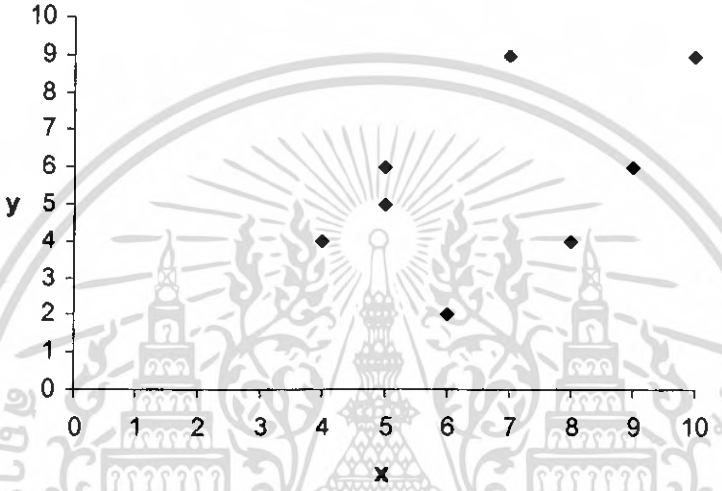
$$r = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r = \frac{18.25}{\sqrt{31.50 \times 41.88}}$$

$$r = 0.50$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพัทธ์ของคะแนนวิชาคณิตศาสตร์กับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์กับคะแนนวิทยาศาสตร์เท่ากับ 0.50 จากตัวอย่างจะได้กราฟการกระจาย (Scatter Diagram) ต่อไปนี้



รูปที่ 2.1. กราฟแสดงความสัมพันธ์

การแปลผลค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (r)

1. ในการแปลผลของความสัมพันธ์ ผลจากการคำนวณที่ได้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว คือ x กับ y เท่านั้น ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ หรือสัมพันธ์กันอย่างไร (สมพันธ์กันทางบวกหรือสัมพันธ์กันทางลบ) และจะไม่แปลผลว่า ตัวแปรหนึ่งเป็นสาเหตุของอีกตัวแปรหนึ่ง

2. ถ้าแปลผลในรูปของปริมาณให้นำค่า r ที่คำนวณได้ยกกำลังสอง แล้วคูณด้วย 100 ผลที่จะได้ทำให้เราแปลข้อมูลได้ว่า เมื่อเราทราบค่าของตัวแปรที่หนึ่งแล้ว จะทำให้เราพยากรณ์ตัวแปรตัวที่สองได้ถูกต้อง เป็นกี่เปอร์เซ็นต์ เขียนเป็น $r^2 \times 100 = ?\%$

จากตัวอย่างที่คำนวณได้ ค่า r = 0.5 สมมุติว่า เราทราบว่าคะแนนวิชา 8 คนนี้ ได้ถูกต้องประมาณ $(0.50)^2 \times 100 = 25\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเดียวกันถ้าสมมติว่า ค่า r ที่คำนวณได้เท่ากับ 1 เราก็จะพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 ได้ถูกต้องประมาณ $(1)^2 \times 100 = 100\,\%$

2.2.2. ทฤษฎีการประมาณราคาโดยวิธี All Possible Regression

จุดประสงค์ของวิธี All Possible Regression คือ เลือกกลุ่มตัวแปรอิสระกลุ่มเล็กๆ ที่ดี (good) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตรวจสอบรูปแบบการถดถอยเหล่านี้

วิธีนี้จะคัดเลือกสมการดีที่สุดจากรูปแบบการถดถอยทั้งหมดที่เป็นไปได้ รูปแบบการถดถอยทั้งหมดที่เป็นไปได้นี้ คือ รูปแบบที่เกิดจากการนำตัวแปรอสระต่างๆใส่ไว้ในรูปแบบ โดยเริ่มจากรูปแบบที่ไม่มีตัวแปรอิสระอยู่ในรูปแบบเลย คือ $Y = \beta_0 + \varepsilon$ ต่อมาเป็นรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว รูปแบบตัวแปรอิสระ 2 ตัว 3 ตัว จนถึงรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระครบทุกตัว ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว จำนวนรูปแบบเซตย่อยเท่ากับ 2^k เช่น ถ้า $k = 10$ จะมีจำนวนรูปแบบเซตย่อยทั้งหมดเท่ากับ $2^{10} = 1024$ รูปแบบที่จะคัดเลือก หลังจากนั้นแล้วสร้างสมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด แล้วคัดเลือกรูปแบบด้วยเกณฑ์ต่างๆ ในที่นี้จะกล่าวถึง คือ พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R_p^2 เมื่อ p คือจำนวนพารามิเตอร์ในรูปแบบการถดถอย และจำนวนตัวแปรอิสระเท่ากับ p -1 ตัว

สรุปขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ใส่ตัวแปรอิสระทุกตัวที่คาดว่ามีขีดความสามารถและเป็นประโยชน์ลงในรูปแบบ ทั้งนี้โดยการใส่ตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน แล้วเพิ่มขั้นทีละตัวและสร้างสมการจากรูปแบบต่างๆ ทั้ง 2^k รูปแบบเซตย่อย โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด
2. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R_p^2 ของแต่ละสมการ
3. เขียนตารางและกราฟแสดงค่า R_p^2 ของแต่ละรูปแบบ คู่กับจำนวนตัวแปรอิสระ
4. พิจารณา R_p^2 เลือกสมการที่มีค่า R_p^2 สูงสุด หรือค่าใกล้เคียง

เกณฑ์ R_p^2

การใช้เกณฑ์ R_p^2 คือ การตรวจสอบรูปแบบต่างๆ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหูคูณ ตัวห้อยของ R^2 แสดงถึงจำนวนพารามิเตอร์ในรูปแบบการถดถอย ค่า R_p^2 คำนวณได้จากสูตร

$$R_p^2 = \frac{SSR_p}{SST} = 1 - \frac{SSE_p}{SST}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SST มีค่าเท่ากันในทุกรูปแบบของสมการถดถอย R_p^2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้า SSE_p ลดลง ซึ่ง SSE_p จะลดลงเสมอเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการ ดังนั้น R_p^2 จะมีค่าสูงสุดเมื่อสมการนั้นมีตัวแปรอิสระครบทุกตัวการใช้เกณฑ์ R_p^2 เลือกรูปแบบการถดถอยจึงไม่ควรเลือกรูปแบบการถดถอยที่มี R_p^2 สูงสุด แต่จะเลือกรูปแบบการถดถอยที่เมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปอีกแล้ว ทำให้ R_p^2 มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ตัวอย่างที่ 2.1. ผู้เชี่ยวชาญอสังหาริมทรัพย์สนใจที่จะสร้างสมการถดถอย ที่เกี่ยวกับราคาขายของอาคารที่อยู่อาศัย ปรากฏว่ามีข้อมูลของ 30 อาคารที่ได้ขายไป เมื่อเร็วๆ นี้ ผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวแปรอิสระมา 5 ตัว สำหรับประมาณราคาขาย ตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้

Y คือ ราคาขายอาคาร (1,000 บาท)

X_1 คือ ภาษีที่ดินโรงเรือน (ภาษีต่อปี , บาท)

X_2 คือ ขนาดบ้าน (ตารางฟุต)

X_3 คือ ขนาดพื้นที่ดิน (เอเคอร์)

X_4 คือ ขนาดพื้นที่ดินกำลังสอง ($X_4 = X_3^2$)

X_5 คือ ดัชนีความสนใจที่จะซื้อ

รวบรวมข้อมูลได้ดังตารางที่ 2.3. ต้องการสร้างสมการถดถอยที่มีกลุ่มตัวแปรอิสระดีที่สุดในการประมาณ Y โดยวิธี All Possible Regression

ตารางที่ 2.4. แสดงผลลัพธ์ค่าต่างๆ สำหรับวิธี All Possible Regression จำนวนรูปแบบเซตย่อยทั้งหมดมี $2^5 = 32$ รูปแบบ แต่ละรูปแบบจะมีตัวแปรอิสระแตกต่างกัน ดังสดมภ์ที่ 1 รูปแบบแรก คือ รูปแบบที่ไม่มีตัวแปรอิสระเลยซึ่งมีรูปแบบเป็น $Y = \beta_0 + \varepsilon$ รูปแบบที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว มี 5 รูปแบบ ตัวแปรอิสระ 2 ตัวมี 10 รูปแบบ ตัวแปรอิสระ 3 ตัว มี 10 รูปแบบ ตัวแปรอิสระ 4 ตัว มี 5 รูปแบบ และตัวแปรอิสระ 5 ตัว มี 1 รูปแบบ สร้างสมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั้ง 32 รูปแบบและคำนวณค่า R_p^2 สำหรับรูปแบบการถดถอยเซตย่อยต่างๆ แสดงไว้ในสดมภ์ที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณค่า R_p^2 เช่นรูปแบบที่มีตัวแปร X_2 , X_3 และ X_5 เราได้

$$R_p^2 = 1 - \frac{SSE(X_2, X_3, X_5)}{SST}$$
$$= 1 - \frac{27141.926}{92641.467}$$

หมายเหตุ ค่าเหล่านี้มาจากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม SPSS ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. ข้อมูลของวิธีการ All Possible Regression

อาคารที่	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1	7337	3000	3.6	12.96	64	550
2	4204	2300	1.2	1.44	69	461
3	5574	3300	1.3	1.69	72	501
4	5924	2100	3.2	10.24	71	455
5	5182	3900	1.1	1.21	40	503
6	5932	3100	2.0	4.00	74	529
7	5966	3600	1.6	2.56	69	478
8	5574	2900	2.5	6.25	85	562
9	4927	2000	2.6	6.76	70	417
10	5025	3500	1.3	1.69	74	566
11	6210	3100	2.3	5.29	79	494
12	5425	3200	1.5	2.25	75	515
13	4178	2800	1.3	1.69	62	490
14	7048	3300	3.3	10.89	62	537
15	7540	3000	3.9	15.21	70	527
16	5807	3400	2.4	5.76	81	577
17	4875	2800	1.7	2.89	77	490
18	5540	2000	3.4	11.56	67	486
19	5980	2400	2.9	8.41	68	450
20	7324	3600	2.9	8.41	84	674
21	4582	2400	1.9	3.61	75	454
22	6759	3000	2.8	7.84	63	523
23	6444	2200	3.6	12.96	78	469
24	6307	3600	2.4	5.76	73	628
25	4285	2900	1.1	1.21	85	570
26	7722	3000	4.4	19.36	69	564
27	4917	3100	1.8	3.24	54	444
28	5068	2200	2.1	4.41	75	494
29	6500	2500	3.9	15.21	61	479
30	4612	2900	1.1	1.21	74	477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4. ผลลัพธ์ของวิธีการ All Possible Regression

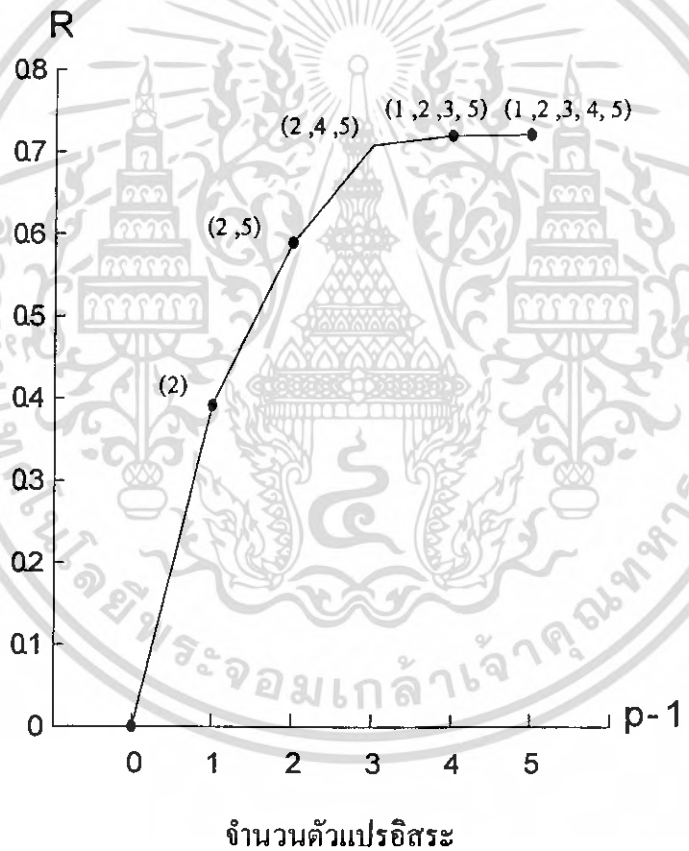
ตัวแปรอิสระในรูปแบบ	P	R_p^2
Y	0	0
X_1	2	0.1933
X_2	2	0.3916**
X_3	2	0.0146
X_4	2	0.0139
X_5	2	0.1303
X_1, X_2	3	0.4795
X_1, X_3	3	0.3609
X_1, X_4	3	0.3498
X_1, X_5	3	0.3306
X_2, X_3	3	0.4912
X_2, X_4	3	0.4797
X_2, X_5	3	0.5897**
X_3, X_4	3	0.0146
$X_3 X_5$	3	0.1466
X_4, X_5	3	0.1505
X_1, X_2, X_3	4	0.4914
X_1, X_2, X_4	4	0.4828
X_1, X_2, X_5	4	0.6750
X_1, X_3, X_4	4	0.3611
X_1, X_3, X_5	4	0.4974
X_1, X_4, X_5	4	0.4650
X_2, X_3, X_4	4	0.4971
X_2, X_3, X_5	4	0.7070
X_2, X_4, X_5	4	0.7089**
X_3, X_4, X_5	4	0.1562
X_1, X_2, X_3, X_4	5	0.4977
X_1, X_2, X_3, X_5	5	0.7213**
X_1, X_2, X_4, X_5	5	0.7168
X_1, X_3, X_4, X_5	5	0.5054
X_2, X_3, X_4, X_5	5	0.7092
X_1, X_2, X_3, X_4, X_5	6	0.7226**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72630

ตารางที่ 2.5. Correlation matrix ของข้อมูลตัวอย่างที่ 2.1.

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
Y	1.000	0.4397*	0.6258**	0.1206	0.1181	0.3610
X1	0.4397*	1.0000	0.2431	0.8145**	0.8038**	-0.0214
X2	0.6258**	0.2431	0.10000	-0.2898	-0.2680	-0.1284
X3	0.1206	0.8145**	-0.2898	1.0000	0.9848**	-0.0189
X4	0.1181	0.8038**	-0.2680	0.9848**	1.0000	-0.0657
X5	0.3610	-0.0214	-0.1284	-0.0189	-0.0657	1.0000



รูปที่ 2.2. พล็อต R_p^2 คู่กับจำนวนตัวแปรอิสระสำหรับ All Possible Regression

นำค่า R_p^2 พล็อตกราฟคู่กับจำนวนตัวแปรอิสระ (p-1) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3. รูปแบบการถดถอยที่ดีคือรูปแบบที่มี R_p^2 สูง ค่า R_p^2 สูงสุดแต่ละกลุ่มของจำนวนตัวแปรอิสระปรากฏไว้ที่จุดสูงสุดของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละ (p-1) จุดเหล่านี้โยงด้วยเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าในรูปแบบการถดถอย จากรูปที่ 2.2. จะเห็นว่าหลังจากที่ตัวแปร X สามตัวอยู่ในรูปแบบแล้ว ค่า R_p^2 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย พิจารณารูปแบบที่มีตัวแปร (X_2 , X_3 , X_5) มีค่า $R_4^2 = 0.7089$ และรูปแบบที่มีตัวแปร (X_2 , X_3 , X_5) มีค่า $R_4^2 = 0.7070$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า R^2 สูงสุดในกลุ่มตัวแปร X สี่ตัว คือ $(R_5)^2(X_1 , X_2 , X_3 , X_5) = 0.7213$ ในตัวอย่างนี้เราจะเลือกรูปแบบที่มีตัวแปร (X_2 , X_3 , X_5) ทั้งนี้เพราะเมื่อพิจารณา correlation matrix ในตารางที่ 2.5. จะเห็นว่า X_1 และ X_3 ความสัมพันธ์กันสูงมี $r_{13} = 0.8145$ ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปร X_1 เข้าในรูปแบบที่มี X_2 , X_3 และ X_5 อยู่ในสมการแล้ว จะมีประโยชน์น้อยมาก ดังนั้น สมการถดถอยที่ดีที่สุดคือ

$$Y = 15.044 + 0.085X_2 + 20.819X_3 + 2.828X_5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6. การประมวลผลสมการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_2 , X_3 , X_5 โดยโปรแกรม SPSS

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Y	512.13	56.520	30
X2	2,903.33	522.912	30
X3	2.370	0.9731	30
X5	70.67	9.378	30

Model Summary(b)

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
				R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
0.841	0.707	0.673	32.310	0.707	20.915	3	26	0.000	2.397

a. Predictors: (Constant), X5, X3, X2

b. Dependent Variable: Y

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	15.044	66.623		0.226	0.823	-121.901	151.989
	X2	0.085	0.012	0.790	7.052	0.000	0.060	0.110
	X3	20.819	6.453	0.358	3.226	0.003	7.555	34.084
	X5	2.828	0.646	0.469	4.376	0.000	1.500	4.156

a. Dependent Variable: Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน

3.1. การวางแผนงานก่อสร้าง (Construction Planning)

ก่อนที่จะเริ่มงานก่อสร้างควรทำความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขต และตารางเวลาทำงานให้ละเอียดถี่ถ้วนเสียก่อนและควรจะมีเอกสารประกอบงานออกแบบรายละเอียดพิเศษที่สอดคล้องกับสภาพทางธรณีวิทยาที่ได้ทำการสำรวจมา รวมถึงปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม เช่น ความปลอดภัย สภาพการจราจรในพื้นที่ และวิธีการก่อสร้าง

3.2. การสำรวจสำหรับงานอุโมงค์ใต้ดิน

การสำรวจสำหรับวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling) นั้นต้องมีความปลอดภัย รวดเร็ว และประหยัด

การสำรวจประกอบด้วย

1. การสำรวจสภาพสถานที่ตั้ง
2. การสำรวจสิ่งที่เป็นอุปสรรค
3. การสำรวจเพื่อการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจสภาพดิน
4. การสำรวจเพื่อหามาตรการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
5. การควบคุมงานสำรวจและการวางแนวสำหรับอุโมงค์ใต้ดิน
6. การสำรวจทางธรณีวิทยา
7. การสำรวจขณะทำการก่อสร้าง

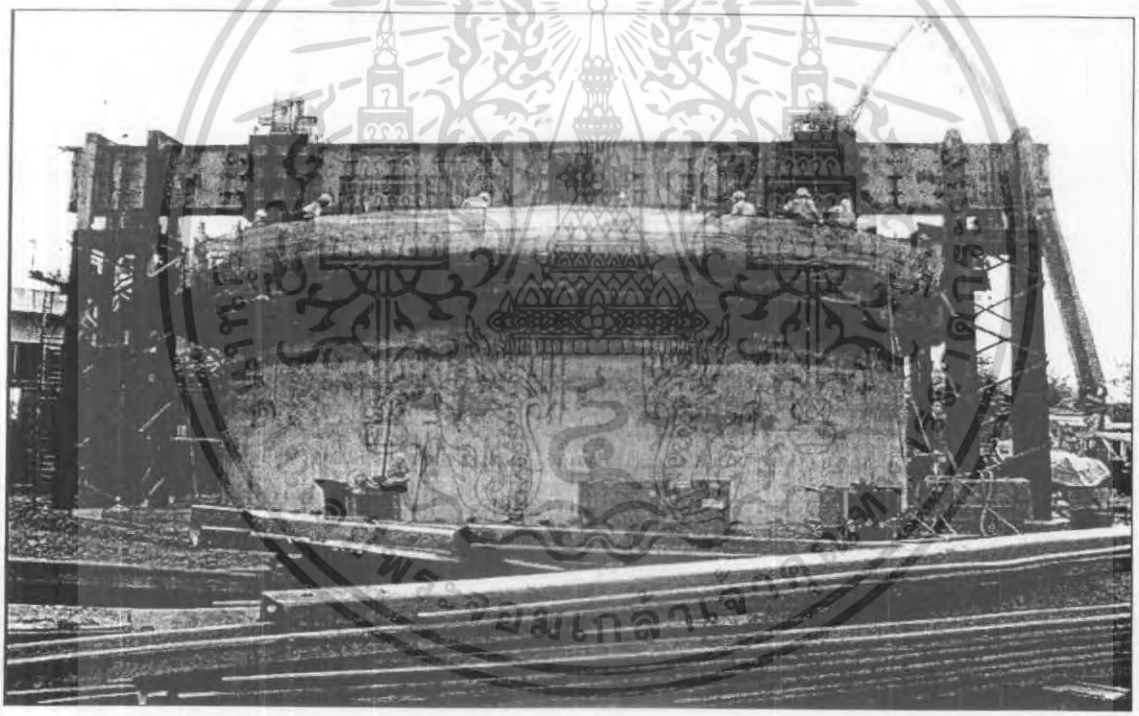
การสำรวจจะถูกดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐาน อันได้แก่ การวางแผน การออกแบบการก่อสร้างและการบำรุงรักษา ผลของการสำรวจจะใช้สำหรับการเลือกเส้นทางอุโมงค์ ให้อยู่ในแนวทางที่เหมาะสมและการเลือกวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling Method) ให้เหมาะสมกับเส้นทางของงานเหล่านั้น มาตรการการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ขนาดของโครงการและรายละเอียดของโครงการ และข้อมูลสำหรับการบำรุงรักษาเกี่ยวกับอุโมงค์หลังจากการเสร็จสิ้นของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. การดำเนินการก่อสร้าง (Execution)

3.3.1. ปล่องแนวดิ่ง (Shaft)

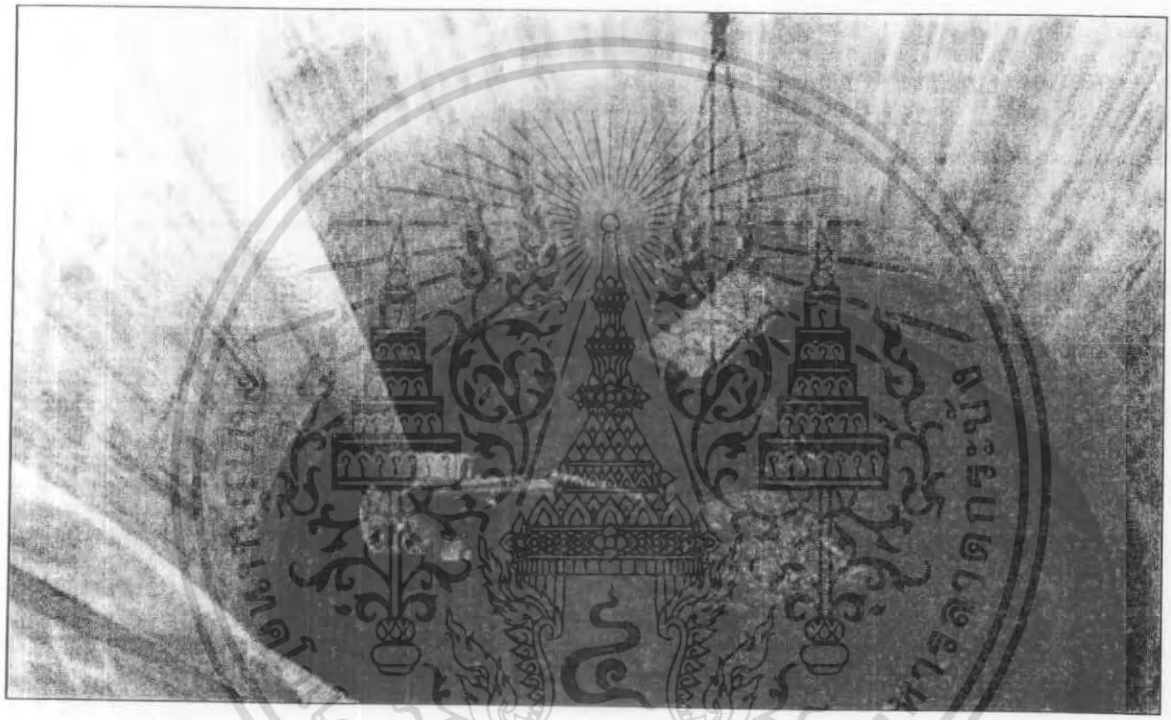
ปล่องแนวดิ่งจัดว่าเป็นโครงสร้างถาวรชนิดหนึ่งที่ต้องทำการก่อสร้าง ซึ่งจะต้องนำเศษดินที่ทำการขุดเจาะออกและทำการบุภายในอาคารไปพร้อมๆกับการขุดเจาะเพื่อให้เป็นไปตามตารางเวลาที่ได้ระบุไว้ การออกแบบโครงสร้างปล่องแนวดิ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของหัวเจาะ การนำหัวเจาะลงไป และชิ้นส่วนของหัวเจาะ วิธีการเริ่มการก่อสร้าง ความปลอดภัยจากแรงปฏิกิริยาในการก่อสร้าง และสภาพแวดล้อมในการก่อสร้างปล่องแนวดิ่ง จะต้องใช้วิธีที่ประหยัดและปลอดภัยและยังต้องคำนึงถึงสภาพทางธรณีวิทยา สภาพของท้องถนน การจราจร และผลกระทบที่เกิดจากสภาพแวดล้อม ตลอดทั้งเสียง และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง



รูปที่ 3.1. ปล่องอุโมงค์แนวดิ่ง Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปล่องแนวดิ่งจะทำการก่อสร้างตามแนวเส้นทางของอุโมงค์โดยจะทำการก่อสร้างโดยใช้การเจาะเปิดหน้าดิน (Open-cut) หรือใช้เคซอง (Caisson) หัวเจาะก็สามารถใช้งานในปล่องแนวดิ่งได้ ในการก่อสร้างจะต้องเลือกวิธีที่ปลอดภัยที่สุดและประหยัดที่สุด โดยจะพิจารณาถึงขนาดปล่องแนวดิ่ง สภาพทางธรณีวิทยา สภาพของถนน ปริมาณการจราจร สภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ในกรณีที่ปล่องแนวดิ่งไม่สามารถก่อสร้างในแนวเส้นทางอุโมงค์ได้จำต้องเลือกตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไป จะต้องมีการก่อสร้างทางเชื่อมต่อระหว่างปล่องแนวดิ่งกับแนวอุโมงค์โดยให้มีระยะทางสั้นที่สุด

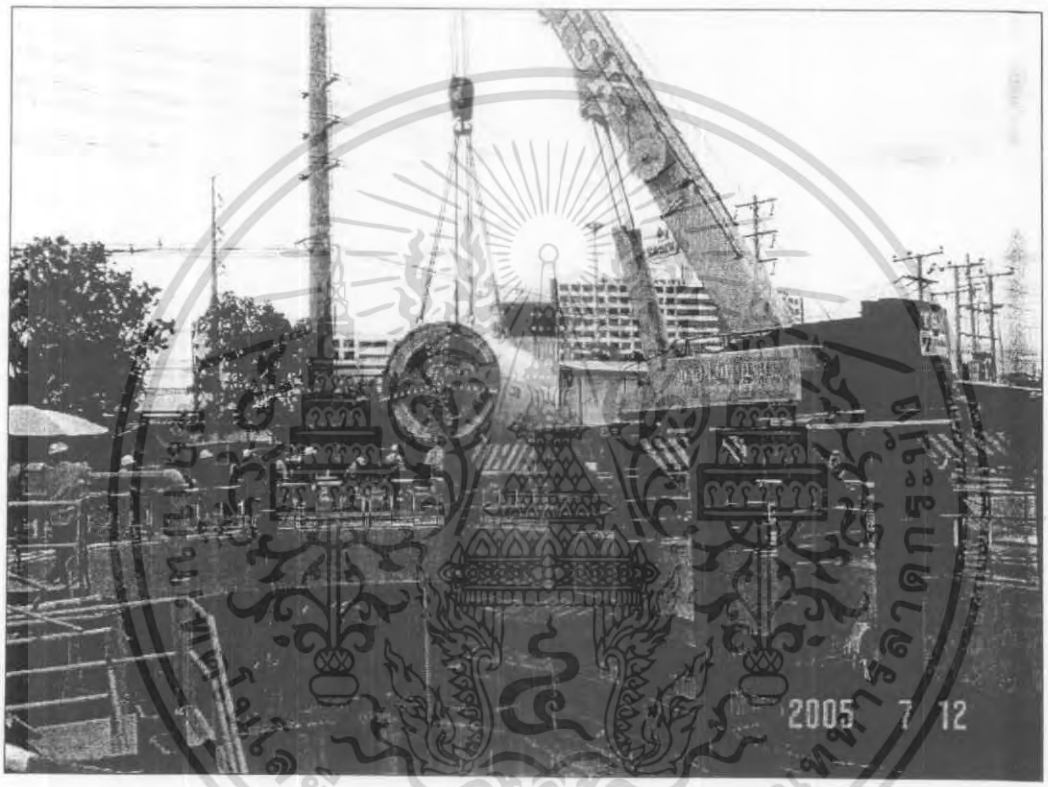


รูปที่ 3.2. การขุดปล่องแนวดิ่ง (Shaft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ทางออกและทางเข้าของหัวเจาะ (Departing and Arrival of Shield Machine)

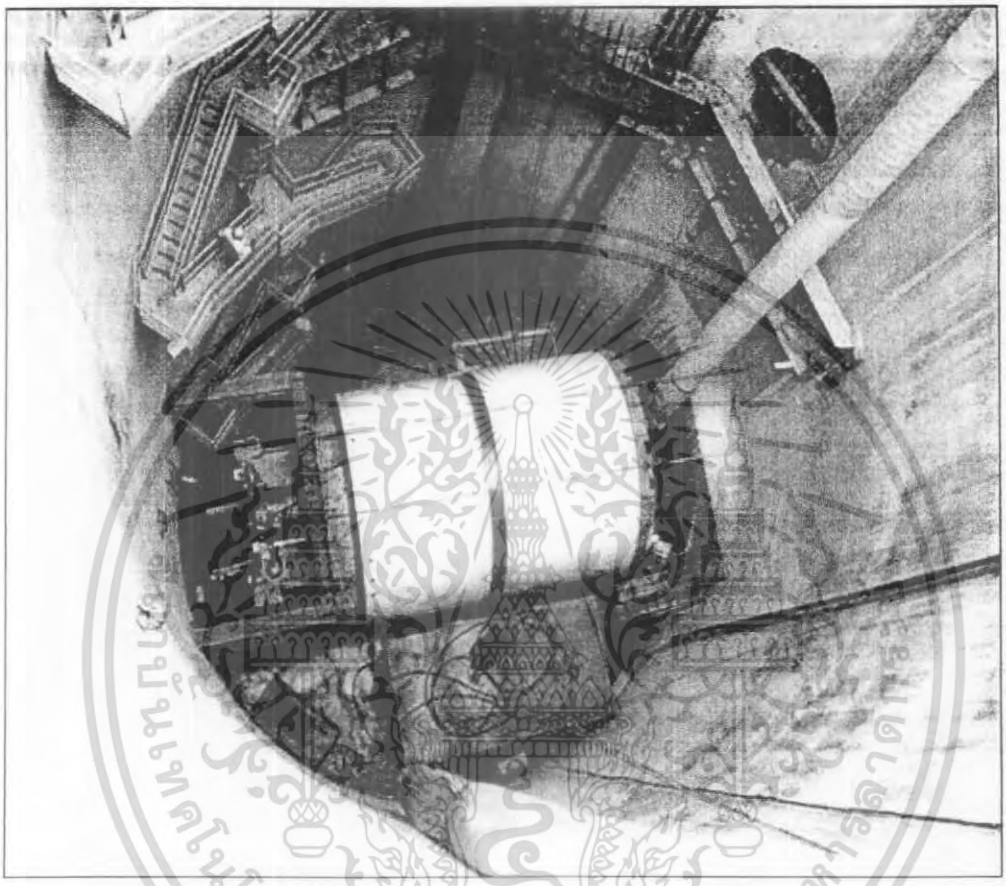
ในกรณีเริ่มต้นทำการขุดเจาะนั้นจำต้องวางหัวเจาะไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่ได้วางแผนไว้ จากนั้นจึงนำหัวเจาะลงสู่ดิน ในการขุดเจาะด้วยหัวเจาะนั้นจะต้องทำด้วยความระมัดระวังให้เป็นไปตามแนวเส้นทางที่ได้วางไว้ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ไม่ว่าจะเป็นอันตรายจากส่วนของกำแพงปล่องแนวดิ่งที่หลงเหลืออยู่ สภาพแวดล้อมของถนน สาธารณูปโภคที่อยู่ใต้ดิน เป็นต้น



รูปที่ 3.3. การขนย้ายหัวเจาะลงทางปล่องแนวดิ่ง (Shaft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

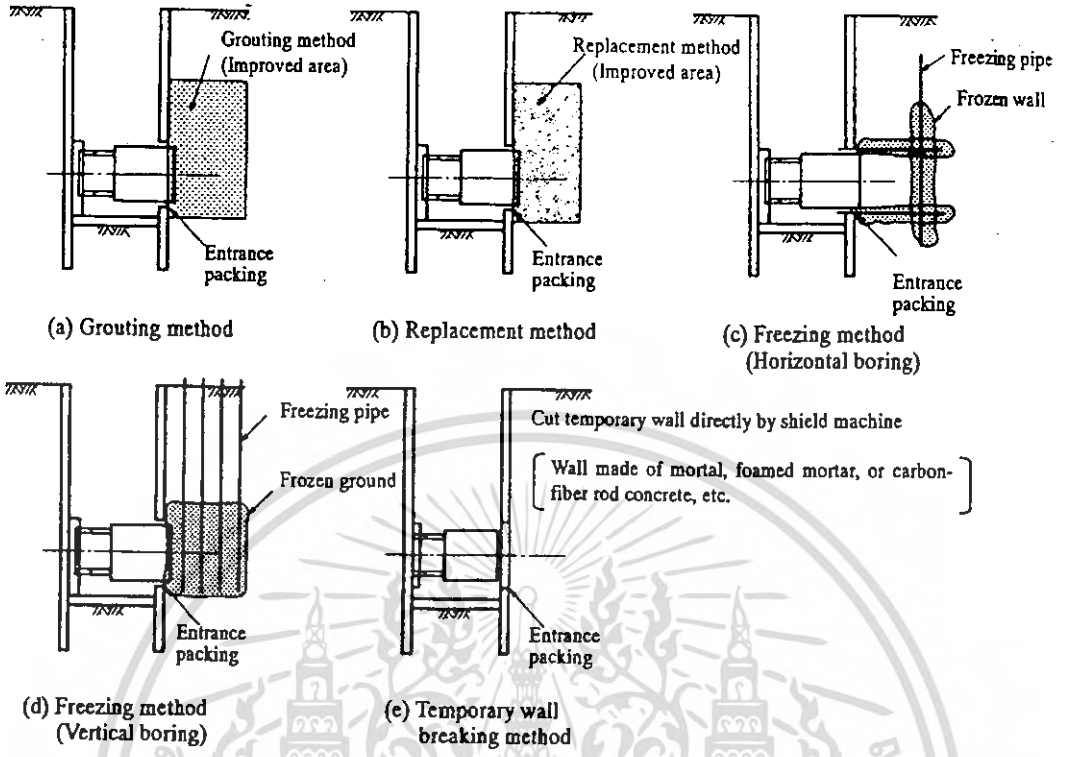
หัวเจาะจะเริ่มทำการขุดเจาะตามขั้นตอน ประกอบด้วยการผลักดันหัวเจาะให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยแม่แรงจากจุดเริ่มต้น โดยใช้แรงปฏิกิริยาจากโครงสร้าง เช่น ชิ้นส่วนชั่วคราวในปล่องแนวดิ่ง ให้เคลื่อนตัว แล้วจึงทำการขุดเจาะดินไปตามเส้นทางอุโมงค์



รูปที่ 3.4 การติดตั้งหัวเจาะ

ข้อควรระวังเมื่อนำหัวเจาะลงสู่ดิน จะมีวิธีเริ่มต้นที่ต่างกันออกไปตามแต่ชนิดของหัวเจาะที่ใช้และวิธีการ โดยทั่วไปจะต้องให้ความสำคัญกับสิ่งกีดขวางที่ยังคงเหลืออยู่ในขณะทำลายกำแพง เช่น ดินที่อุดตันอยู่ความล่าช้าของ Countermeasures เนื่องจากการไหลของดินและน้ำเข้ามาในช่องว่างระหว่างปล่องแนวดิ่งกับหัวเจาะอย่างไม่ได้คาดหมาย

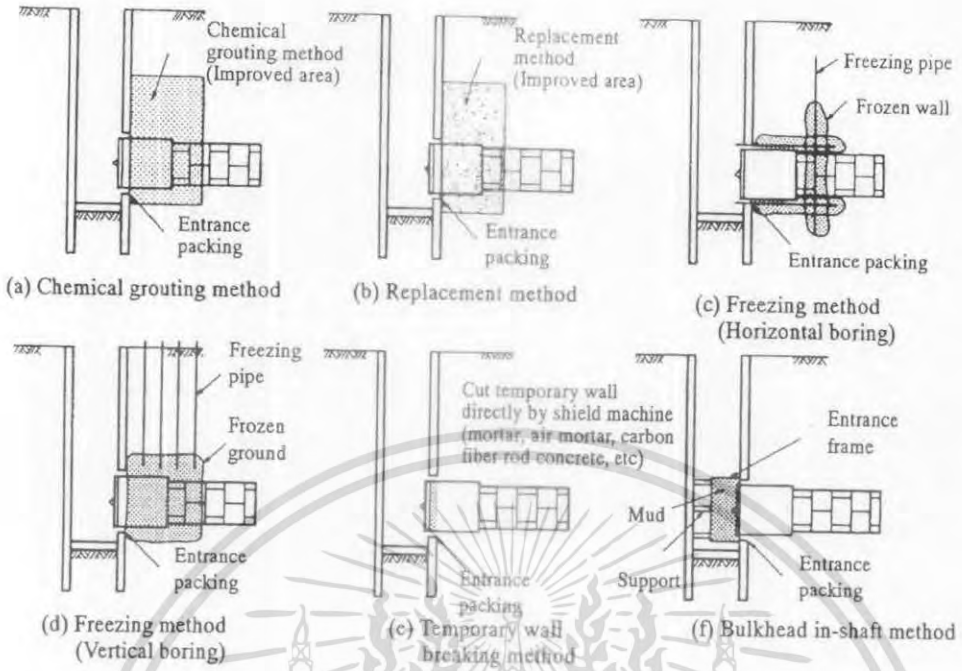
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5. ตัวอย่างวิธีการนำหัวเจาะออกจากกำแพงปล่องแนวดิ่ง
(จาก JAPANESE STANDARD FOR SHIELD TUNNELING)

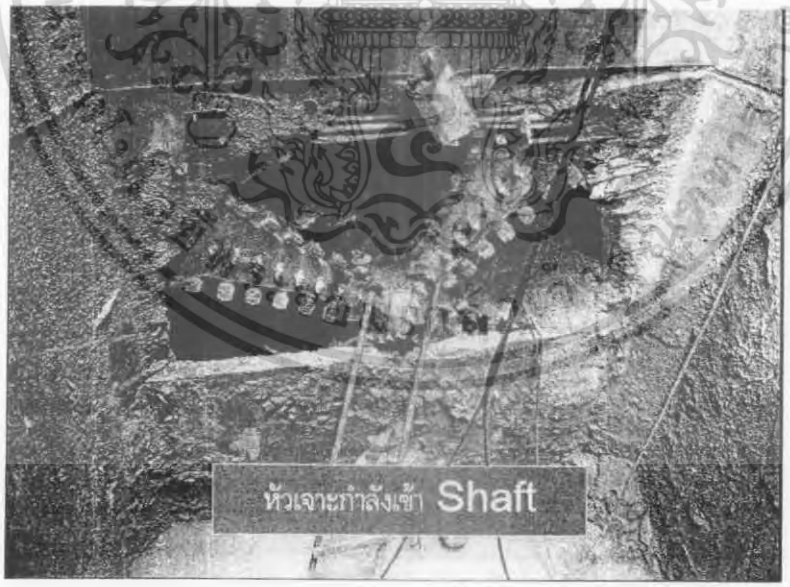
ในกรณีของทางเข้าตำแหน่งของหัวเจาะจะต้องมีการวัดขนาดให้ถูกต้อง และเครื่องจักรจะต้องขับเคลื่อนไปด้านหน้าตามแนวทางที่ได้วางไว้ จนถึงตำแหน่งที่ระบุไว้ด้วยความระมัดระวัง โดยไม่ให้มีอันตรายที่ส่งผลต่อสภาพของถนน สาธารณูปโภคใต้ดิน เป็นต้น โดยควรศึกษาหัวข้อในต่อไปนี้อย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนที่จะดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6. ตัวอย่างแสดงวิธีการเข้าของหัวเจาะ

(จาก JAPANESE STANDARD FOR SHIELD TUNNELING)



รูปที่ 3.7. หัวเจาะกำลังเข้าสู่ปล่องแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. การขุดเจาะเสถียรภาพของดินและการขนย้ายดินออกจากหัวเจาะประเภท EPB

3.3.3.1. การขุดเจาะ

จะต้องรักษาเสถียรภาพของหน้าดินเอาไว้ในขณะที่ทำการขุดเจาะ ควบคุมแรงดันในห้องขุดเจาะดิน และปริมาณดินที่ได้ขุดเจาะไปแล้วเพื่อรักษาเสถียรภาพของดินเอาไว้ ต้องมีการใส่สารปรุงแต่งตามสภาพของดิน เพื่อปรับแต่งสภาพการไหลและความฝืดตัวให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงสภาพทางธรณีวิทยาของดินและเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

ในขณะที่หัวเจาะ EPB ทำการขุดเจาะดิน ดินที่ถูกขุดเจาะออกมานั้นจะไหลเข้าสู่ในส่วนของหัวเจาะที่เรียกว่าห้องขุดเจาะดิน (Cutter chamber) และดินเหล่านี้จะถูกลำเลียงออกมาด้วยสกรูลำเลียง (Screw conveyor) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่หัวเจาะการนำดินที่ขุดเจาะแล้วออกมานั้นเป็นการตอบสนองต่ออัตราการขุดเจาะดินของหัวเจาะ การรักษาเสถียรภาพของดินจะทำได้โดยใช้แรงดันในห้องขุดเจาะซึ่งจะต้องรักษาแรงดันไว้ให้มีปริมาณที่เพียงพอในการรักษาเสถียรภาพของดิน

ต้องมีการตรวจวัดแรงดันดินและปริมาณการขุดเพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการหมุนของสกรูลำเลียงและอัตราการขุดเจาะของหัวเจาะ ต้องควบคุมอัตราการหมุนของใบมีดขุดเจาะดินและแรงผลักของแม่แรงเพื่อรักษาเสถียรภาพของหน้าดินเอาไว้ด้วยเช่นกัน

รูปที่ 3.8. หัวเจาะแบบ EPB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2. เสถียรภาพของดิน

การรักษาเสถียรภาพของดินระหว่างการขุดเจาะจะใช้สารเคมีเข้าช่วยในการทำปฏิกิริยากับดินเพื่อทำให้ดินมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สารปรุงแต่งที่ต้องผสมที่ภายนอกแล้วจึงสูบเข้าไปในหัวเจาะหรือในห้องขุดเจาะดิน วิธีการควบคุมปริมาณสารเพิ่มที่ฉีดอัดเข้าไป ส่วนมากจะใช้อัตราการขุดเจาะดินของหัวเจาะเป็นตัวควบคุมซึ่งปริมาณที่จะฉีดอัดจะมีปริมาณคงที่อยู่ในระดับหนึ่ง โดยจะใช้อัตราการขุดเจาะเป็นตัวปรับแก้ให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ สารปรุงแต่งที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 4 ประเภทดังนี้

1. ประเภทแร่ธาตุ (Mineral type) มีอนุภาคที่ละเอียด เช่น ดินเหนียวและเบนโทไนท์(Bentonite) เติมลงในดินเพื่อปรับปรุงการไหลตัวและค่าการซึมผ่านได้ของน้ำในดิน สารประเภทนี้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากว่าสามารถนำไปใช้กับดินได้หลายประเภท แต่ก็ต้องมีเครื่องจักรสำหรับผสมสารนี้ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าประเภทอื่นๆ และยังต้องมีแท็งค์บรรจุด้วย

2. ประเภทสารกระตุ้นบริเวณพื้นผิวด้านนอก (Surface active agent type) ได้แก่สารประเภทโฟม (Foam) ซึ่งทำมาจากสารอัดอากาศเข้าไปจะทำการฉีดอัดเข้าไปในดิน สารประเภทนี้จะไปป้องกันไม่ให้ดินเกาะกับใบมีดตัดดินและยังช่วยเพิ่มการไหลตัวและค่าการซึมผ่านได้ให้กับดินอีกด้วย โฟมจะสลายไปเองได้ ดังนั้นจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด

3. ประเภทโพลิเมอร์ที่ดูดซึมน้ำได้สูง สารประเภทนี้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้หลายร้อยเท่าของตัวมันเองและจะมีสภาพคล้ายกับเจลลี่ ไม่เจือจางในน้ำใต้ดิน และมีประสิทธิภาพในการป้องกันการไหลพุ่งของน้ำภายใต้แรงดันสูง อีกนัยหนึ่งสารประเภทนี้จะถูกทำลายความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ง่ายถ้ามีคลอไรด์หรือไอออนของโลหะหนัก เช่น เหล็ก (Iron) หรือทองแดง (Copper) ที่มีอยู่ในดินอย่างหนาแน่นหรือในดินที่มีสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่าง

4. ประเภทโพลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (Water soluble polymer type) โพลิเมอร์ประเภทนี้จะช่วยเพิ่มความหนืดและความสามารถในการสูบ (Pump) ซึ่งจะคล้ายกับโพลิเมอร์ประเภทดูดซึมน้ำได้สูง สาร CMC (Carboxy methyl cellulose) จะถูกใช้มาก แต่ก็มีผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงตัวใหม่ๆออกมามากมายในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามปริมาตรและน้ำหนักของดินจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการพองตัว การแปรผันของหน่วยน้ำหนักในดิน ชนิดและปริมาณของสารปรุงแต่งที่ฉีดอัดเข้าไป และวิธีการขนย้ายดินออก จึงเป็นการยากในการวัดปริมาณของการขุดเจาะที่ได้อย่างแน่นอน ยิ่งไปกว่านั้น คุณสมบัติของดินที่ขุดได้นั้นสามารถเปลี่ยนสถานะได้ตั้งแต่กึ่งของแข็ง (Semi-solid) ไปถึงของไหล (Liquid) ดังนั้น จึงเป็นการยากที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

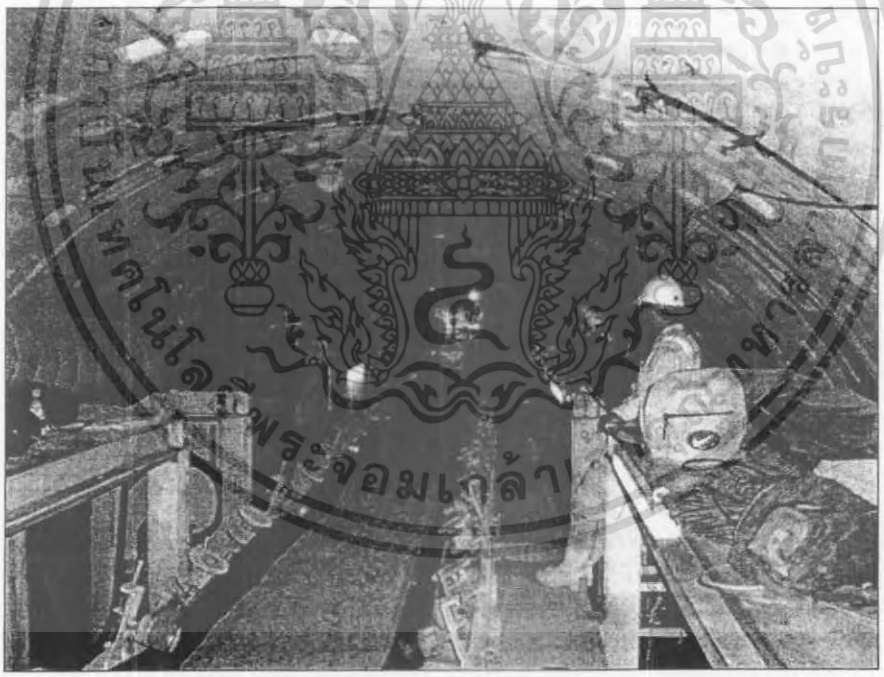
จะป้องกันการพังทลายของหน้าดินและการทรุดตัวของดิน เพียงแค่ควบคุมปริมาตรของดินอย่างเดียว ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมแรงดันในห้องขุดเจาะและปริมาตรของดินที่ขุดเจาะออกมาด้วย

3.3.3.3. การลำเลียงดิน

การลำเลียงดินจะต้องพิจารณาจากวิธีการที่ใช้ในการขุดเจาะ วิธีการขนย้ายดินออก และคุณสมบัติของดิน สมรรถนะของเครื่องที่ใช้ต้องมีความเหมาะสมกับกำหนดการขุดเจาะ จะต้องมีเครื่องมือสำหรับจัดการกับสิ่งปนเปื้อนที่มากับดิน โดยขนาดของการลำเลียงดินจะต้องวางแผนไว้

- วิธีการขนถ่ายดินออก (Discharging method) : มีหลายวิธีที่ใช้ในการขนย้ายดินออกจากเครื่องขุดเจาะ EPB เช่น ใช้รถขน ใช้การสูบออก และใช้การสูบโดย Slurry เป็นต้น

- การกำจัดดินที่ขุดเจาะออกมา : ถ้าดินมีลักษณะที่เป็นโคลน คล้ายของไหล จะจัดให้อยู่ในกลุ่มของของเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องมีการปรับสภาพระดับปานกลางก่อนที่จะมีการขนย้ายออกไป



รูปที่ 3.9. การลำเลียงดินออกจากหัวเจาะโดยสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4. การฉีดอัดน้ำปูนกลับ (Backfill Grouting)

การทำการฉีดอัดน้ำปูนจะทำโดยใช้วัสดุและวิธีการฉีดอัดที่เหมาะสมที่สุด โดยจะต้องทำการฉีดอัดน้ำปูนในขณะที่หัวเจาะทำการขุดเจาะไปด้วย หรือในทันทีที่หัวเจาะได้เคลื่อนตัวออกไปแล้ว ดังนั้นช่องว่างที่จะเกิดขึ้นจะถูกอุดสนิทอย่างสมบูรณ์ และยังช่วยป้องกันการหลวมตัวของดินหรือการทรุดตัวของดินได้ นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันการไหลของน้ำเข้ามาจากทางรอยต่อของชิ้นส่วนของผนัง ช่วยรักษาเสถียรภาพชิ้นส่วนวงแหวนให้แน่นหนาขึ้น และช่วยป้องกันสัตว์เลื้อยคลานจำพวกงูเลื้อยเข้ามาในอุโมงค์อีกด้วย

(1) วัสดุที่ใช้ในการฉีดอัดน้ำปูน : วัสดุที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

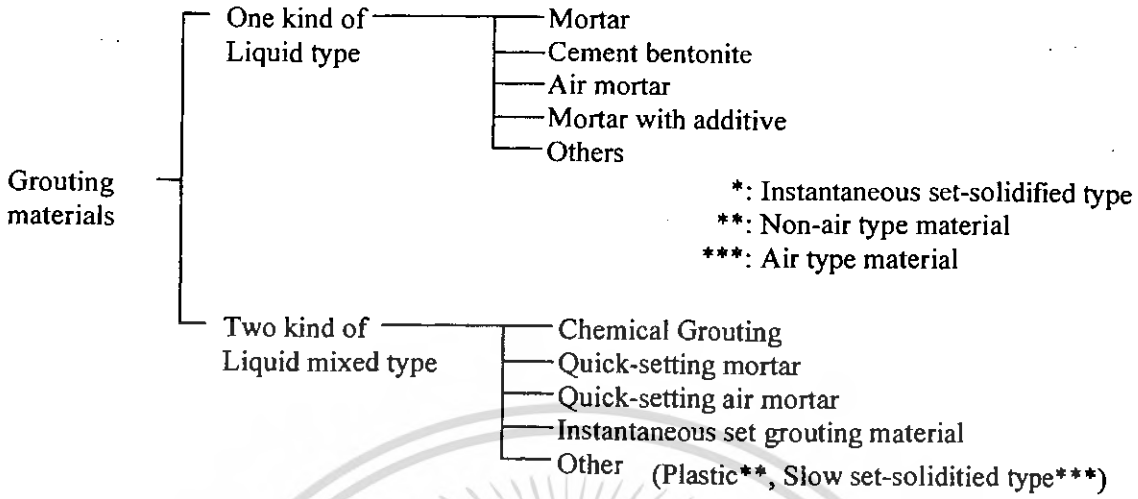
- ไม่มีการแยกตัว
- ไม่สูญเสียคุณสมบัติการไหลตัว
- มีปริมาตรลดลงเล็กน้อยหลังการฉีดอัด
- มีกำลังขึ้นสูงกว่าหรือเทียบเท่ากำลังของดินในเวลาอันสั้น
- มีความฝืดตัวในปริมาณพอดี

โดยทั่วไปแล้วในกรณีดินที่มีความแข็งแรงอยู่แล้วจะไม่มีความจำเป็นในการฉีดอัดน้ำปูนเข้าไป แต่จะใช้สารประเภท One-liquid เพียงตัวเดียวในการฉีดอัดซึ่งถือว่าเพียงพอแล้ว อย่างไรก็ตามในกรณีของดินเหนียวที่ไม่แข็งแรงหรือดินทรายที่สามารถพังทลายได้จึงต้องมีการฉีดอัดสารเข้าไปพร้อมๆกับการขุดเจาะ ดังนั้นจึงต้องใช้สารประเภท Two- liquid ฉีดเข้าไป

คุณสมบัติสารประเภท One-liquid มีดังต่อไปนี้

- จะต้องมีความไหลตัวเพียงพอ
- สามารถอุดรอยรั่วได้
- ไม่มีการแยกตัวหรือเยิ้มจนกว่าจะแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10. วัสดุทั่วไปในการฉีดอัดน้ำปูน
(จากJAPANESE STANDARD FOR SHIELD TUNNELING)

คุณสมบัติของสารประเภท Two-liquid จะมีลักษณะไหลตัวได้ก่อนการฉีดอัดและจะกลายมาเป็น Thixotropic ในระหว่างหรือหลังการฉีดอัด

- สามารถฉีดอัดเข้าไปในพื้นที่ที่จำกัดได้
- สามารถกำหนดระยะเวลาแข็งตัวได้
- ถ้าจำเป็นควรมีความแข็งแรง(Strength) ที่ขึ้นเร็ว

(2) จังหวะเวลาในการฉีดอัดน้ำปูน : โดยทั่วไปแล้วจะทำการฉีดอัดไปพร้อมกันหรือในทันทีที่บุผนังอุโมงค์เสร็จในกรณีที่ทำไปพร้อมๆกันนั้นจะต้องฉีดอัดน้ำปูนผ่านท่อไปที่แผ่นจานที่อยู่ด้านท้ายของหัวเจาะหรือฉีดอัดเข้าไปตามรูในชิ้นส่วนของผนังพร้อมกับการขุดเจาะอุโมงค์ ส่วนการทำแบบทันทีทันใดหลังจากขุดเจาะดินนั้นจะทำการฉีดอัดสารเข้าไปหลังจากที่ทำการขุดเจาะไปแล้ว

(3) วิธีการฉีดอัดน้ำปูน : จะทำการฉีดอัดไปตามรูช่องว่างของชิ้นส่วนผนังหรือฉีดอัดผ่านทางท่อไปยังแผ่นจานที่อยู่ท้ายหัวเจาะวัสดุที่ใช้ในการฉีดอัดจะลำเลียงไปโดยรถพ่วงขนาดเล็กแต่ก็สามารถทำการสูบออกมาโดยตรงจากเครื่องจักรที่อยู่บนผิวดินได้ เพื่อที่จะป้องกันวัสดุที่ใช้ในการฉีดอัดหรือน้ำใต้ดินที่เป็นส่วนเกินจะเข้ามาต้องฉีดอัดจาระบีที่ท้ายหัวเจาะให้ทำหน้าที่เป็นตัวหุ้ม ป้องกันสิ่งแปลกปลอมหลุดเข้าไปในหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การ Grouting

(4) แรงดันที่ใช้ในการฉีดอัด : โดยทั่วไปจะใช้แรงดันอยู่ที่ 100 – 300 kN/m^2 อย่างไรก็ตามกำลังความแข็งแรงของชิ้นส่วนผนัง แรงดันดิน แรงดันน้ำใต้ดิน และแรงดันใน Slurry ควรจะพิจารณาให้สอดคล้องกัน เพื่อตั้งค่าแรงดันของการฉีดอัดได้ถูกต้อง การฉีดอัดน้ำปูนควรจะฉีดอัดเพื่อให้แรงดันกระทำทั่วพื้นผิวของชิ้นส่วนวงแหวน เนื่องจากสาเหตุของการรั่วซึมเข้าสู่ดิน การเจาะทะลุเข้าไปในดินด้วยแรงฉีดอัด การสูญเสียน้ำ และการตัดหน้าดินที่มากเกินไป ทำให้ปริมาณของสารที่ใช้ในการฉีดอัดต้องเพิ่มขึ้นถึง 150-200% ของปริมาณช่องว่างตามทฤษฎี (พื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะลบด้วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนวงแหวน) โดยปกติการฉีดอัดน้ำปูนจะถูกควบคุมแรงดันหรือไม่ก็ปริมาตร ถ้าเป็นไปได้ควรจะควบคุมทั้งสองอย่างทั้งแรงและปริมาตร

(5) การควบคุมคุณภาพ : เนื่องจากการฉีดอัดน้ำปูนในการขุดเจาะอุโมงค์เป็นสิ่งสำคัญจึงต้องมีการดูแลและควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้ด้วย และยังจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพตามระยะเวลาที่กำหนด โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องทำการตรวจวัดค่าของอัตราการไหล ความหนืด อัตราการเยิ้ม ระยะเวลาแข็งตัว และกำลังรับแรงกดอัดตามกำหนดด้วย

(6) ผลกระทบจากการฉีดอัดน้ำปูนและแรงผลักดันที่ถูกผลักส่งมา : จุดประสงค์ของการฉีดอัดน้ำปูน เพื่อป้องกันดินเกิดการหลวมตัวและเพื่อถ่ายแรงผลักดันจากแม่แรงไปยังดิน เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์นี้ จะต้องทำการอุดรูรั่ว และช่องว่างที่มีให้หมดทุกรู

3.3.5. การเปลี่ยนใบมีดขุดเจาะดิน (Cutter Bits Change)

การเสียดสี ความทนทานและวิธีการเปลี่ยนใบมีดจะต้องนำมาพิจารณาในระยะทางการทำงานที่ยาวนานและสภาพของใต้ดินนั้นๆ

ใบมีดจำเป็นต้องเปลี่ยนเมื่อเกิดการสึกหรอ หรือปลายใบมีดเกิดความเสียหาย การเสียดสีที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของหัวเจาะ ลักษณะของดิน ระยะห่างของใบมีด รูปทรงและวัสดุที่นำมาทำเป็นใบมีด จะต้องคำนึงถึงความทนทาน การเสียดสีที่เกิดกับใบมีด และการคำนวณไว้ด้วยว่าควรเปลี่ยนใบมีดที่ตำแหน่งใด เมื่อใด

มาตรการสำหรับความปลอดภัยในการก่อสร้างที่พึงกระทำมีดังนี้

(1) ประมาณค่าการเสียดสี : โดยทั่วไปแล้ว จะประมาณค่าการเสียดสีที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$\delta = K.\pi.D.N.L/V$$

โดยที่ δ = ปริมาณการเสียดสี (มม.) (ที่ผิวที่อยู่ชั้นนอกสุด)

π = ค่าคงที่สำหรับการเสียดสีที่เกิดขึ้น (mm/Km)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเจาะ

N = จำนวนรอบในการหมุนต่อนาทีของใบมีด (RPM)

L = ความยาวที่ทำการขุดเจาะ (Km)

V = ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า (m/min)

*K เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ชนิดของหัวเจาะ วัสดุและตำแหน่งของใบมีด โดยจะเลือกจากพื้นฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ที่คล้ายๆ กันมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การตรวจสอบการเสียดสี : เพื่อที่จะคำนวณดีกรีของการเสียดสีที่ใบมีด ต้องมีการบันทึกข้อมูลของการขุดเจาะและต้องมีการวิเคราะห์หัวเจาะและลักษณะของดิน ในการตรวจหาการเสียดสีที่เกิดขึ้นจะใช้อุปกรณ์ เช่น ไฮดรอลิก ไฟฟ้าหรือคลื่นอัลตร้าโซนิก

(3) การเปลี่ยนใบมีด : ในการเปลี่ยนใบมีดในระหว่างทำการก่อสร้างจะต้องพิจารณาถึงความง่ายในการเปลี่ยนด้วยโดยจะใช้การติดตั้งด้วยหมุด (Pin) หรือสลักเกลียว ในกรณีที่ใบมีดต้องทำการเปลี่ยนในอุโมงค์ หน้าตัดของดินจะต้องมีเสถียรภาพมากพอโดยมีวิธีเสริม เช่น การฉีดอัดน้ำปูน การกดอัดอากาศหรือการแช่แข็งดิน เพื่อความปลอดภัยในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลได้มาจากการติดต่องานกับหน่วยงานต่างๆ ของทางรัฐบาลโดยมีหน่วยงานที่ไปติดต่อขอข้อมูลดังต่อไปนี้ (โดยใช้ชื่อแฝงของโครงการ)

1. สำนักงานกรุงเทพมหานคร

ข้อมูลโครงการอุโมงค์ระบายน้ำจำนวน 3 โครงการ ได้แก่

- โครงการ A
- โครงการ B
- โครงการ C

2. การประปานครหลวง

ข้อมูลโครงการอุโมงค์ส่งน้ำจำนวน 6 โครงการ ได้แก่

- โครงการ D
- โครงการ E
- โครงการ F
- โครงการ G
- โครงการ H
- โครงการ I

3. การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย

ข้อมูลโครงการอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินจำนวน 1 โครงการ ได้แก่

- โครงการ J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. แสดงข้อมูลขอบเขตของโครงการก่อสร้างอุโมงค์

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1. ลักษณะของโครงการ										
1.1. ประโยชน์ของโครงการ	ระบายน้ำ	ระบายน้ำ	ระบายน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ขนส่ง
1.2. ปีที่ทำการก่อสร้าง	2543	2546	2547	2547	2544	2543	2547	2548	2549	2539
2. ลักษณะรูปทรงอุโมงค์										
2.1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง(ม.)	3.40	5.00	4.50	2.90	2.90	2.30	2.80	3.20	3.20	5.70
2.2. ความยาวของอุโมงค์(ม.)	1,900	5,300	5,800	6,100	2,400	14,800	17,500	3,000	9,700	15,497
2.3. ความลึกเฉลี่ยของอุโมงค์(ม.)	-26.00	-27.50	-20.00	-20.00	-19.00	-21.00	-21.00	-18.00	-18.00	-20.00
2.4. สภาพผิวของอุโมงค์	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
หนา(มม.)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
3. ลักษณะของหัวเจาะ										
3.1. ชนิดหัวเจาะ	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB
3.2. ขนาดหัวเจาะ(ม.)	4.10	5.70	5.20	3.60	3.60	3.00	3.50	3.90	3.90	6.40
3.4. สภาพหัวเจาะ	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่
3.5. การปารุงรักษาที่ระยะทาง(ม.)	2,500	2,500	3,000	3,000	2,500	3,000	3,500	3,000	2,500	800
3.6. จำนวนหัวเจาะที่ใช้ในโครงการ	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1
4. ลักษณะรูปทรงของปอ										
4.1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปอ(ม.)	10.00	15.00	15.00	10.00	10.00	7.50	10.00	10.00	10.00	15.00
4.2. ความลึกของปอ(ม.)	-28.00	-29.00	-23.00	-23.00	-25.00	-23.00	-23.00	-20.00	-20.00	-23.00
4.3. จำนวนปอในโครงการ(ปอ)	2	3	3	3	2	6	7	2	5	24
4.4. ระยะห่างเฉลี่ยของปอ(ม.)	1,900	2,500	3,000	3,000	2,400	2,735	3,500	3,000	2,500	800
5. ลักษณะสภาพชั้นดิน										
5.1. สภาพชั้นดิน	Clay	Sand	Clay	Clay	Clay	Sand	Sand	Clay	Clay	Sand

4.2. การแยกหมวดหมู่ของงาน

หลังจากที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลราคางานก่อสร้างอุโมงค์มาจากแหล่งต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาแยกตามหมวดหมู่ของงาน โดยการแยกหมวดหมู่ของงานจะพิจาณาจากบัญชีแสดงรายการเนื้องาน โดยจะรวมราคาของงานแต่ละรายการ แต่จะไม่รวมราคางานในส่วนของค่าโสหุ้ยได้แก่ เงินเผื่อเหลือเผื่อขาด ภาษี กำไร

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจะถูกแยกตามหมวดหมู่ของงาน แต่เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานการแยกหมวดหมู่ของงานไว้ชัดเจน ดังนั้นส่วนใหญ่จะดิดรูปแบบของการแยกงานใช้เองตามความเหมาะสม สำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์ การแยกหมวดหมู่ของงานโดยพิจาณาจากบัญชีแสดงรายการเนื้องาน สามารถแบ่งองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายตามประเภทของการทำงาน ได้เป็น 4 หมวดต่างๆ ดังนี้

1. งานเตรียมการและดำเนินงาน
2. งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์
3. งานก่อสร้างอุโมงค์
4. งานอื่นๆ

4.2.1. งานเตรียมการและดำเนินงานเบื้องต้น

ขั้นตอนงานเตรียมการและดำเนินงานเบื้องต้น คือ ขั้นตอนตั้งแต่ช่วงของการออกแบบรวมถึงการเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ และ การเตรียมสถานที่ที่จะทำการก่อสร้าง โดยเฉลี่ยค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับขั้นตอนการเตรียมการและดำเนินงานเบื้องต้นจะคิดเป็น 3-7 % ของราคาค่าก่อสร้างรวมตลอดทั้งโครงการ

<u>งานเตรียมการและดำเนินงานเบื้องต้นประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในด้าน</u>

- การเคลื่อนย้ายและติดตั้งหน่วยงาน คือ ราคาค่าเคลื่อนย้ายเครื่องจักรในการก่อสร้างอุโมงค์ เช่น หัวเจาะ รถเคน รถเทรเลอร์ รถยก และปรับพื้นที่ๆทำการติดตั้ง
- การติดตั้งสำนักงานชั่วคราว คือ ราคาค่าก่อสร้างและวัสดุเครื่องใช้สำนักงาน ค่าระบบปรับอากาศ ระบบไฟ ระบบน้ำโทรศัพท์ สำนักงานชั่วคราว ห้องสุขา
- การเตรียมการ คือ ราคาค่าติดต่อกับหน่วยงานและบริษัทที่เกี่ยวข้อง ค่าใช้จ่ายในการทำสัญญา เตรียมพื้นในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- งานบริหารและการจัดการ คือ ค่าใช้จ่ายในการวางแผนโครงการ ค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญและวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- การทำ shop drawing คือ ราคาค่าออกแบบและรายละเอียดแบบในการก่อสร้าง
- งานติดตั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์ คือ ราคาอุปกรณ์ป้ายบอกขอบเขตค่าก่อสร้างหน้าหน่วยงาน ป้ายสถานที่ ป้ายเตือนในเขตสถานที่ก่อสร้างต่างๆ
- การจัดการการจราจร คือ ราคาการควบคุมการจราจรบริเวณการก่อสร้างเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัด
- ราคาป้ายจราจร คือ ราคาป้ายเตือนสำหรับการจราจร
- งานทำถนนทางเข้า คือ ราคาการทำถนนชั่วคราว ที่ใช้ในการลำเลียงขนส่ง
- งานรักษาความปลอดภัย คือ ราคาค่าป้อมยามรักษาความปลอดภัย ค่าเครื่องมือป้องกันอัคคีภัยต่างๆ ราคารั้วป้องกันบุคคลภายนอกเข้ามาบริเวณก่อสร้าง
- งานสิ่งแวดล้อม คือ ราคางานรั้วผ้าใบป้องกันเสียงและฝุ่นละออง ระบบบำบัดน้ำเสีย
- ทำความสะอาดหน่วยงาน คือ ราคาค่าเครื่องมือทำความสะอาดวัสดุเครื่องมือที่ใช้ในหน่วยงาน เครื่องล้างล้อรถบรรทุก
- การประกันและค้ำประกันผลงาน คือ ราคาค่าทำการค้ำประกันอัคคีภัย ประชีวิตของพนักงานในหน่วยงาน และค่าประกันอื่นๆ
- งานอื่นๆ คือ ราคาแผงกั้นจราจร งานย้ายสิ่งของที่ไม่จำเป็น รื้อย้ายเสาไฟฟ้า และสิ่งกีดขวางต่างๆ ค่าน้ำ ค่าไฟ ราคางานสำรวจดิน ค่าปรับปรุงดินบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

4.2.2. งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์

งานก่อสร้างบ่อพัก การก่อสร้างบ่อพักมีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของงานระบบ และใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ระหว่างทำการก่อสร้างด้วย ขนาดของบ่อพักจะขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์เพื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ที่จะทำการติดตั้ง และขนาดของหัวเจาะด้วยส่วนจำนวนบ่อพักจะขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน ขนาดของอุโมงค์ และระยะทางระหว่างบ่อพัก ขั้นตอนของการก่อสร้างปล่องอุโมงค์ประกอบด้วยงานต่างๆ หลายขั้นตอนซึ่งราคาค่าก่อสร้างปล่องอุโมงค์ของแต่ละโครงการย่อมไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในด้าน

- งานขุดดิน คือ ราคาค่าเครื่องจักรในการขุดดิน ค่าขนย้ายดิน
- งานคอนกรีต คือ ราคาค่าคอนกรีตสำหรับหล่อผนังปล่องอุโมงค์
- งานถมดิน คือ งานถมดินบริเวณปล่องอุโมงค์หลังจากก่อสร้างเสร็จ
- การซ่อมแซมในงาน คือ งานเครื่องมือในการซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
- งานเกราท์คอนกรีตแบบนอนซิงค์ คือ เป็นราคาของคอนกรีตผสมที่อุดช่องว่างระหว่างผนังปล่องอุโมงค์และดินรอบๆ รวมทั้งราคาอุปกรณ์ในงานอุดคอนกรีต
- ติดตั้งท่อต่างๆ คือ เป็นราคาท่อขนาดต่างๆ อุปกรณ์ตัดต่อท่อ ของงานระบบ
- งานเหล็กรูปพรรณ ราคาค่าระบบโครงสร้างเหล็ก
- การเคลื่อนย้ายดินและอุปกรณ์ต่างๆ คือ เป็นราคาในส่วนของการขนย้ายที่ได้จากการขุดไปยังสถานที่กักเก็บชั่วคราวเพื่อลำเลียงต่อไปยังที่อื่นๆ
- ตรวจสอบความปลอดภัย คือ ราคาค่าอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบระบบความปลอดภัย
- การปรับปรุงดิน คือ ราคางานระบบค้ำยันเพื่อป้องกันดินเคลื่อนตัวทางด้านข้างบริเวณที่ทำการขุดเจาะปล่องอุโมงค์
- การสำรวจดิน คือ ราคาค่าอุปกรณ์เครื่องมือในการสำรวจดิน
- การวัดและควบคุม คือ ราคาเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการวางแนวปล่องอุโมงค์ รวมถึงการควบคุมการก่อสร้าง
- งานอื่นๆ คือ ราคาค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าเช่าพื้นที่ ค่าจัดสถานที่ ค่าที่พักคนงาน และอื่นๆ

4.2.3. งานก่อสร้างอุโมงค์

งานก่อสร้างอุโมงค์ ในการขุดเจาะอุโมงค์ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ เริ่มตั้งแต่ การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อในการขุดเจาะ การติดตั้งหัวเจาะ จนถึงการติดตั้งชิ้นงานคอนกรีต (Concrete- Segment) รวมถึงการอัดน้ำปูน (Grout) รอบอุโมงค์ โดยราคาค่าก่อสร้างตัวอุโมงค์คิดเป็น 80-90 % ของราคาค่าก่อสร้างรวมตลอดทั้งโครงการ เนื่องจากตัวอุโมงค์เป็นการก่อสร้างหลักของโครงการทุกโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานก่อสร้างตัวอุโมงค์ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังนี้

- ราคาหัวเจาะ คือ เป็นราคาของหัวขุดเจาะรวมถึงระบบติดตั้งผนังหัวเจาะ โดยมีจำนวนหัวเจาะที่แตกต่างกันแล้วแต่ แต่ระโครงการเลือกใช้
- ราคา Primary segment คือ เป็นราคาของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตของอุโมงค์ ค่าใช้จ่ายในการผลิต ราคาการขนส่ง
- งานขนย้ายดิน คือ เป็นราคาในส่วนของการลำเลียงดินที่ได้จากการขุดเจาะไปยังสถานที่กักเก็บชั่วคราวลำเลียงต่อไปยังที่อื่นๆ
- งานทำความสะอาดอุโมงค์ คือ ราคาเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ทำความสะอาดผนังอุโมงค์ภายใน
- งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง คือ เป็นราคาของเครื่องจักร เครื่องปั๊มน้ำเพื่อสูบน้ำใต้ดินในขณะที่ทำการขุดเจาะและน้ำฝนเมื่อน้ำฝนไหลเขามาทางปล่องอุโมงค์
- งาน Safety คือ เป็นราคางานดับเพลิง ระบบแสงสว่าง ทางเดิน และเกี่ยวกับความปลอดภัยอื่นๆ
- งานระบบ คือ เป็นราคางานระบบระบายอากาศ ระบบท่อ รางรถขนย้ายดินและอุปกรณ์ระบบสื่อสาร
- การฆ่าเชื้อโรค คือ ราคาค่าคลอรีน น้ำ และท่อส่งน้ำ และ ค่าช่างผู้เชี่ยวชาญ
- งานคอนกรีตเกร้าท์ คือ เป็นราคาคอนกรีตผสม อุปกรณ์ท่อ รวมทั้งค่ารถปั๊มคอนกรีต
- งานทดสอบอุโมงค์ คือ เป็นราคาอุปกรณ์ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ และเสถียรภาพอุโมงค์
- งานรื้อถอน คือ งานรื้อถอนระบบรางขนส่ง ระบบน้ำขาทำความสะอาด ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้า เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ
- งานควบคุมและขับหัวเจาะ คือ ราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการควบคุมและค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญ
- งานอื่นๆ คือ ราคาค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าเช่าพื้นที่ในการก่อสร้างค่าจัดสถานที่ค่าที่พักคนงานและอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. แสดงข้อมูลราคาการเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
เคลื่อนย้ายและติดตั้งหน่วยงาน	3,500	3,129	2,376	2,640	793	3,027	2,767	3,100	5,863	76,875
สำนักงาน	1,500	4,421	5,912	3,356	1,298	6,549	12,380	4,010	5,804	127,856
การเตรียมการ	3,961	8,251	11,168	5,213	3,134	17,813	19,170	13,694	12,317	267,757
งานบริหารและการจัดการ	657	1,263	1,403	2,317	347	2,553	3,154	3,192	4,203	53,959
shop drawing	45	142	340	383	43	314	388	400	292	6,636
งานติดตั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์	12	20	22	30	6	43	40	100	36	874
การจัดการการจราจร	1,731	2,934	3,260	646	868	12,293	11,280	1,296	459	98,279
งานทำถนนทางเข้า	513	1,301	2,490	1,360	413	3,036	3,751	3,460	5,377	61,344
งานรักษาความปลอดภัย	287	1,902	303	6,669	248	1,826	2,256	40	120	38,589
งานสิ่งแวดล้อม	659	354	485	447	119	876	1,082	600	1,927	18,512
ทำความสะอาดหน่วยงาน	75	158	175	252	47	344	425	300	794	7,264
การประกันและค้ำประกัน	4,500	10,344	13,293	6,681	3,638	17,600	14,000	12,500	28,893	315,044
อื่นๆ	60	4,046	4,465	-	-	12,178	10,704	-	196	89,464
รวม	17,500	38,265	45,692	29,993	10,954	78,452	81,397	42,692	66,281	1,162,454

เอกสารนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3. แสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานขุดดิน	5,372	23,357	15,305	9,040	5,369	28,159	24,781	4,943	24,322	25,349
งานคอนกรีต	6,896	45,429	29,769	18,801	9,500	46,478	43,102	7,254	39,440	44,457
งาน Backfill	2,086	7,525	4,931	2,570	1,730	7,806	6,500	6,500	6,089	8,243
การซ่อมแซมในงาน	684	1,277	837	543	293	1,703	1,500	551	3,033	1,878
งานเกราท์แบบนอนชิงค์	837	2,338	1,532	363	537	627	5,925	706	1,688	2,623
ติดตั้งท่อต่างๆ	3,235	8,556	5,607	4,576	1,967	8,387	5,920	1,530	13,661	9,631
เหล็กรูปพรรณ	886	2,675	1,753	179	615	9,221	2,735	904	349	3,482
การเคลื่อนย้าย	1,216	4,961	3,251	8,269	1,140	10,211	1,250	500	26	5,555
ตรวจสอบความปลอดภัย	686	1,289	844	975	296	1,580	1,267	610	4,521	2,175
การปรับปรุงดิน	973	3,273	2,145	2,849	752	2,300	7,056	610	2,521	4,051
การสำรวจดิน	59	410	269	1,110	94	20	500	380	123	534
การวัดและควบคุม	170	1,043	683	6	240	55	1,910	1,375	806	1,133
อื่นๆ	-	6,627	4,342	1,962	1,523	15,827	1,500	-	-	5,728
รวม	23,100	108,760	71,268	51,242	24,056	132,374	103,946	25,863	96,579	114,839

ตารางที่ 4.4.แสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ราคาหัวเจาะ	26,868	292,100	353,447	130,163	44,197	309,468	289,666	100,436	286,323	943,868
ราคา primary segment	108,276	403,400	418,691	168,594	66,938	406,186	872,536	170,949	479,153	1,590,330
งานขนย้ายดิน	2,215	12,009	39,859	6,172	8,969	18,377	13,580	9,598	24,023	69,049
งานทำความสะอาดอุโมงค์	401	13,780	2,237	1,326	575	4,588	3,500	694	2,081	14,948
งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	84	40	467	400	871	2,827	875	166	471	3,176
safety	4,180	2,001	23,339	9,588	7,202	6,000	43,750	8,308	23,551	65,524
งานระบบ	9,159	9,480	27,273	37,816	69,011	67,473	75,350	18,500	61,500	192,374
การฆ่าเชื้อโรค	252	121	1,408	1,131	362	1,559	1,750	890	4,978	6,378
งานคอนกรีตเกร้าท์	11,017	5,662	66,036	27,387	34,555	59,653	106,492	17,294	54,596	196,026
งานทดสอบอุโมงค์	5,000	4,876	632	755	1,095	1,274	2,100	520	5,117	10,946
งานรื้อถอน	1,720	823	9,602	3,945	2,468	1,318	18,000	3,418	9,690	26,115
งานควบคุมและขับหัวเจาะ	989	563	6,562	2,696	1,687	460	5,000	7,300	4,382	15,182
อื่นๆ	-	16,907	435	306	6,244	14,365	10,000	108	2,751	42,930
รวม	170,160	761,762	949,989	390,280	244,174	893,548	1,442,600	338,180	958,615	3,176,845

ตารางที่ 4.5. แสดงข้อมูลราคางานรวม ทั้งโครงการก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง	17,500	38,265	45,692	29,993	10,954	78,452	81,397	42,692	66,281	1,162,454
งานก่อสร้างอุโมงค์	170,160	814,456	949,989	390,280	244,174	893,548	1,442,600	338,180	958,615	3,176,845
งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	23,100	108,760	71,268	51,242	24,056	132,374	103,946	25,863	96,579	114,839
รวม	210,760	961,481	1,066,949	471,514	279,184	1,104,373	1,627,942	406,736	1,121,475	4,454,138

4.3. การปรับสภาพข้อมูล

การคิดราคางานในแต่ละปีใดๆจะมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากสภาวะเงินเฟ้อของปีนั้นๆ ปัญหาที่สำคัญในการนำข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมารวมกันคือการปรับสภาพข้อมูล ซึ่งหากการปรับสภาพข้อมูลโดยใช้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ก็จะส่งผลให้แบบจำลองที่ได้มีความไม่ถูกต้องด้วย การปรับสภาพข้อมูลโดยทั่วไปทำได้โดยการใช้เลขดัชนี ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมามีการปรับราคางานก่อสร้างที่ได้จากแบบจำลองให้เป็นราคางานก่อสร้างปัจจุบันหรือราคางานก่อสร้างในปีที่ก่อสร้างโดยการใช้ดัชนีราคา (Cost Index) ซึ่งวิธีการหาดัชนีราคาของแต่ละงานวิจัยที่แตกต่างกันดังที่กล่าวมาแล้วในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2

เลขดัชนีก็คือตัวเลขที่แสดงอัตราส่วนของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่งกับข้อมูลเดียวกัน ณ อีกเวลาหนึ่งที่กำหนด ให้เป็นเวลาฐานหรือปีฐาน การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในสองช่วงเวลาดังกล่าวจะกำหนดให้เลขดัชนีมีค่าเป็น 100 ณ ปีฐาน ส่วนการกำหนดปีฐาน กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ มีหลักในการพิจารณาโดยจะเลือกปีที่มีเหตุการณ์ปกติ คือ ไม่มีภัยสงครามหรือภัยธรรมชาติ ไม่อยู่ในระยะเวลาที่เศรษฐกิจรุ่งเรืองเต็มที่หรือตกต่ำอย่างขีดสุด ต้องมีสภาพเศรษฐกิจที่มั่นคงและไม่ห่างจากปีปัจจุบันมากนัก

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง นำข้อมูลมาปรับให้อยู่ในในปีเดียวกันหรือปีฐาน โดยการกำหนดปีฐาน ตามกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์กระทรวงพาณิชย์ซึ่งได้กำหนดปี 2543 เป็นปีฐานของดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้ปี 2543 เป็นปีฐาน โดยสามารถนำข้อมูลค่าใช้จ่ายมาทำการปรับสภาพของข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลใช้จ่ายที่นำมาใช้ = (ค่าวัสดุ × ดัชนีราคาวัสดุปีฐาน / ดันชีราคาวัสดุปีที่คิดราคา)

ดัชนีราคาที่ใช้คือ ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง ซึ่งจัดทำโดยกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์กระทรวงพาณิชย์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6. และคิดค่าใช้จ่ายต่างๆ ต่อหน่วยความยาว จาก

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยความยาว(บาท/เมตร) = ค่าใช้จ่ายของแต่ละหมวดงาน/ ความยาว(เมตร)

หลังจากที่ได้ข้อมูลราคาต่อหน่วยความยาว(เมตร) ของงานในหมวดต่างๆ ซึ่งอยู่ในปีฐานเดียวกันแล้ว เราจะนำข้อมูลราคาเหล่านั้นมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างหมวดงานต่างๆ โดยวิธีสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6. ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง

ป	ดัชนี	หมายเหตุ
2521	18.73	
2522	27.83	
2523	34.13	
2524	38.23	
2525	40.43	
2526	40.83	
2527	41.13	
2528	42.43	
2529	41.83	
2530	44.53	
2531	52.23	
2532	61.03	
2533	67.63	
2534	72.23	
2535	71.83	
2536	72.83	
2537	74.83	
2538	78.53	
2539	79.73	
2540	85.03	
2541	104.13	
2542	98.33	
2543	100.00	ปีฐาน
2544	104.43	
2545	105.03	
2546	112.80	
2547	124.30	
2548	124.30	
2549	127.40	

ที่มา : กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7. แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคาการเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
เคลื่อนย้ายและติดตั้งหน่วยงาน	3,500	3,530	2,953	3,282	828	3,027	3,439	3,853	7,470	80,742
สำนักงาน	1,500	4,987	7,349	4,171	1,356	6,549	15,388	4,984	7,394	134,287
การเตรียมการ	3,961	9,307	13,882	6,480	3,273	17,813	23,828	17,022	15,692	281,225
งานบริหารและการจัดการ	657	1,425	1,744	2,880	362	2,553	3,920	3,968	5,354	56,674
shop drawing	45	160	423	476	45	314	482	497	372	6,970
งานติดตั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์	12	23	27	37	6	43	50	124	46	918
การจัดการการจราจร	1,731	3,310	4,052	803	906	12,293	14,021	1,611	585	103,223
งานทำถนนทางเข้า	513	1,468	3,095	1,690	431	3,036	4,662	4,301	6,851	64,430
งานรักษาความปลอดภัย	287	2,145	377	8,290	259	1,826	2,804	50	153	40,530
งานสิ่งแวดล้อม	659	399	603	556	124	876	1,345	746	2,455	19,443
ทำความสะอาดหน่วยงาน	75	178	218	313	49	344	528	373	1,011	7,630
การประกันและค้ำประกัน	4,500	11,668	16,523	8,304	3,799	17,600	17,402	15,538	36,809	330,891
อื่นๆ	60	4,564	5,550	-	-	12,178	13,305	-	250	93,964
รวม	17,500	43,163	56,795	37,282	11,439	78,452	101,176	53,066	84,442	1,220,926

ตารางที่ 4.8. แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานขุดดิน	5,372	26,347	19,024	11,236	5,607	28,159	30,803	6,144	30,986	26,624
งานคอนกรีต	6,896	51,244	37,003	23,369	9,921	46,478	53,576	9,017	50,247	46,693
งาน Backfill	2,086	8,488	6,129	3,194	1,807	7,806	8,080	8,080	7,758	8,658
การซ่อมแซมในงาน	684	1,440	1,040	675	306	1,703	1,865	685	3,864	1,973
งานเกราท์แบบนอนชิงค์	837	2,637	1,904	451	561	627	7,365	878	2,150	2,755
ติดตั้งท่อต่างๆ	3,235	9,651	6,970	5,688	2,054	8,387	7,359	1,902	17,404	10,116
เหล็กรูปพรรณ	886	3,017	2,179	222	642	9,221	3,400	1,124	445	3,657
การเคลื่อนย้าย	1,216	5,596	4,041	10,279	1,191	10,211	1,554	622	34	5,835
ตรวจสอบความปลอดภัย	686	1,454	1,049	1,212	309	1,580	1,575	758	5,760	2,284
การปรับปรุงดิน	973	3,692	2,666	3,541	785	2,300	8,771	758	3,211	4,255
การสำรวจดิน	59	462	334	1,380	98	20	622	472	156	561
การวัดและควบคุม	170	1,177	849	7	251	55	2,374	1,709	1,027	1,190
อื่นๆ	-	7,475	5,397	2,439	1,590	15,827	1,865	-	-	6,016
รวม	23,100	122,681	88,586	63,694	25,122	132,374	129,205	32,148	123,042	120,615

ตารางที่ 4.9. แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ราคาหัวเจาะ	26,868	340,769	439,335	161,793	46,155	309,468	360,055	124,842	364,775	991,345
ราคา primary segment	108,276	466,315	520,433	209,563	69,904	406,186	1,084,562	212,490	610,440	1,670,323
งานขนย้ายดิน	2,215	13,546	49,544	7,672	9,366	18,377	16,880	11,930	30,605	72,522
งานทำความสะอาดอุโมงค์	401	15,544	2,781	1,648	600	4,588	4,351	862	2,651	15,700
งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	84	45	580	497	909	2,827	1,088	206	600	3,336
safety	4,180	2,257	29,010	11,918	7,521	6,000	54,381	10,327	30,004	68,819
งานระบบ	9,159	10,693	33,900	47,005	72,069	67,473	93,660	22,996	78,351	202,050
การฆ่าเชื้อโรค	252	136	1,750	1,406	378	1,559	2,175	1,106	6,343	6,699
งานคอนกรีตเกร้าท์	11,017	6,387	82,083	34,043	36,086	59,653	132,370	21,496	69,555	205,886
งานทดสอบอุโมงค์	5,000	5,500	786	938	1,143	1,274	2,610	646	6,519	11,496
งานรื้อถอน	1,720	928	11,935	4,904	2,577	1,318	22,374	4,249	12,345	27,429
งานควบคุมและซับหัวเจาะ	989	635	8,157	3,351	1,762	460	6,215	9,074	5,582	15,945
อื่นๆ	-	55,949	541	380	6,521	14,365	12,430	134	3,504	45,089
รวม	170,160	918,706	1,180,836	485,118	254,991	893,548	1,793,151	420,358	1,221,275	3,336,641

ตารางที่ 4.10. แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานรวมของโครงการอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานเตรียมการและดำเนินการก่อสร้าง	17,500	43,163	56,795	37,282	11,439	78,452	101,176	53,066	84,442	1,220,926
งานก่อสร้างอุโมงค์	170,160	918,706	1,180,836	485,118	254,991	893,548	1,793,151	420,358	1,221,275	3,336,641
งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	23,100	122,681	88,586	63,694	25,122	132,374	129,205	32,148	123,042	120,615
รวม	210,760	1,084,550	1,326,217	586,093	291,552	1,104,373	2,023,532	505,572	1,428,759	4,678,182

ตารางที่ 4.11. แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างอุโมงค์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.	รวม
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
ราคาหัวเจาะ	15.79	37.09	37.21	33.35	18.10	34.63	20.08	29.70	29.87	29.71	28.55
ราคา primary segment	63.63	50.76	44.07	43.20	50.56	45.46	60.48	50.55	49.98	50.06	50.88
งานขนย้ายดิน	1.30	1.47	4.20	1.58	3.67	2.06	0.94	2.84	2.51	2.17	2.27
งานทำความสะอาดอุโมงค์	0.24	1.69	0.24	0.34	0.24	0.51	0.24	0.21	0.22	0.47	0.44
งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	0.05	0.00	0.05	0.10	0.36	0.32	0.06	0.05	0.05	0.10	0.11
safety	2.46	0.25	2.46	2.46	2.95	0.67	3.03	2.46	2.46	2.06	2.12
งานระบบ	5.38	1.16	2.87	9.69	5.11	7.55	5.22	5.47	6.42	6.06	5.49
การฆ่าเชื้อโรค	0.15	0.01	0.15	0.29	0.15	0.17	0.12	0.26	0.52	0.20	0.20
งานคอนกรีตเกร้าท์	6.47	0.70	6.95	7.02	14.15	6.68	7.38	5.11	5.70	6.17	6.63
งานทดสอบอุโมงค์	2.94	0.60	0.07	0.19	0.45	0.14	0.15	0.15	0.53	0.34	0.56
งานรื้อถอน	1.01	0.10	1.01	1.01	1.01	0.15	1.25	1.01	1.01	0.82	0.84
งานควบคุมและขับหัวเจาะ	0.58	0.07	0.69	0.69	0.69	0.05	0.35	2.16	0.46	0.48	0.62
อื่นๆ	-	6.09	0.05	0.08	2.56	1.61	0.69	0.03	0.29	1.35	1.27
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากตารางที่ 4.11. ค่าเปอร์เซ็นต์ราคางานที่มีค่ามากที่สุด คือราคางานผนังอุโมงค์คอนกรีตอยู่ที่โครงการ A คือ 63.63% และค่าต่ำสุดอยู่ที่โครงการ C คือ 44.07% แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกโครงการ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ50.88% ของราคาการก่อสร้างอุโมงค์ รองลงมาเป็นราคาหัวเจาะและระบบติดตั้งผนังอุโมงค์ โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ที่โครงการ C คือ 37.21% และค่าต่ำสุดอยู่ที่โครงการ A คือ 15.79% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.55% ราคางานที่มีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุดคือ งานสูบน้ำ คือมีค่าเฉลี่ย 0.11% รวมถึงราคางานอื่นๆ ที่มีสัดส่วนไม่ถึง 1% ได้แก่ งานทำความสะอาดอุโมงค์ 0.44% ราคางานฆ่าเชื้อโรค ราคางานทดสอบอุโมงค์ 0.56% ราคางานรื้อถอน 0.46% ราคางานควบคุมและขับหัวเจาะ 0.29%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1. บทนำ

ในการที่จะสรุปผลข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งมีความจำเป็นมากทำให้ทราบแนวโน้มของความสัมพันธ์ ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไรซึ่งนำไปสู่การสรุปผลที่แม่นยำ และถูกต้องสมบูรณ์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. การวิเคราะห์เชิงบรรยาย
2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

5.2. การวิเคราะห์เชิงบรรยาย

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและปัญหาต่างๆ เพื่ออธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์

5.2.1. ความยาวของอุโมงค์

ความยาวของอุโมงค์มีผลกระทบกับราคาในเรื่องของการขนส่งและลำเลียง การประกอบชิ้นส่วนอุโมงค์ โครงการที่มีระยะในการขุดที่ไกล ระยะเวลาจะมากขึ้น จะมีผลต่อราคาในด้านค่าแรงที่จะต้องเพิ่มขึ้นตามเวลาที่สูญเสียไป โดยอาจพิจารณาในส่วนของการเพิ่มปล่องอุโมงค์เพื่อลดระยะในการลำเลียงและลดเวลาลงแต่ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของการก่อสร้างปล่องอุโมงค์ด้วย จึงต้องมองในแง่ของจุดที่คุ้มทุนในการเลือกดังกล่าว

บางโครงการที่จำเป็นจะต้องการช่วงการขุดเจาะที่ยาวหรือระยะทางยาวจึงจำเป็นต้องใช้หัวขุดเจาะประเภทที่มีความทนทานและมีประสิทธิภาพ ที่ต้องรับแรงเสียดสีของใบมีดจากการตัดหน้าดินเป็นเวลานานและถ้าหากเจอกับสภาพดินที่แข็งก็ต้องนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งการเสียดสีอย่างรุนแรงเห็นได้จากรอบนอกของวงแหวนและเส้นรอบวงของหัวขุดเจาะ จึงต้องเลือกหัวขุดเจาะประเภทที่มีการป้องกันการเสียดสีอย่างดี อย่างประเภท Cluse-face ในส่วนนี้ก็เป็นการเพิ่มราคาในส่วนของหัวขุดเจาะด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2. ขนาดของอุโมงค์

ขอบเขตของโครงงานนี้มีเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของอุโมงค์ คือ 2.4-6.0 เมตร ซึ่งหากเส้นผ่านจุดศูนย์กลางมากจะส่งผลต่อราคาทำให้มีราคาสูง เนื่องจากต้องใช้ขนาดชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และหัวเจาะที่มีขนาดใหญ่ตามขนาดของอุโมงค์ที่ได้ออกแบบ รวมถึงเป็นตัวกำหนดรูปแบบในการก่อสร้าง เช่น การลำเลียงวัสดุเข้าออกในการขุดเจาะอุโมงค์การวางแผนงานการขุดเจาะ คือเวลาในการขุดที่ใช้เวลามากขึ้น ทำให้ส่งผลกับราคาของการขุดเจาะอุโมงค์ เนื่องจากค่าแรงงาน แนวโน้มของราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อหน่วยจึงแปรผันตามขนาดของเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของอุโมงค์

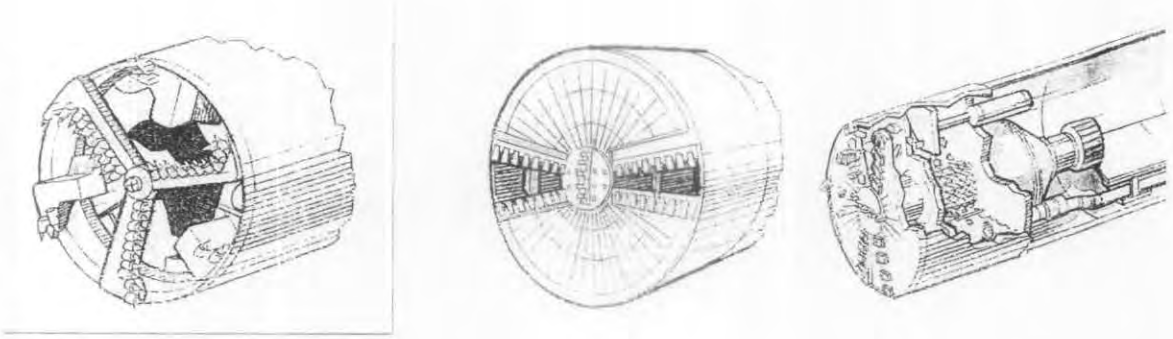
ขนาดของอุโมงค์ที่มีความแตกต่างกัน จะทำให้ เกิดผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์

- มีรายจ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของการปฏิบัติงาน
- ราคาของหัวเจาะ มีราคาเพิ่มขึ้นตามขนาดของอุโมงค์
- ราคาของเครื่องจักรในการลำเลียงที่เพิ่มขึ้น
- ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น การประกอบ การขนส่ง วัสดุที่ใช้หล่อมีปริมาณที่มาก

5.2.3. ประเภทของหัวขุดเจาะ

การเลือกหัวขุดเจาะจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของหัวขุดเจาะที่เหมาะสมกับสภาพของดินที่ทำการขุดเจาะ ความปลอดภัยในการขุดเจาะความเร็วที่ใช้ในการขับเคลื่อนหัวขุดเจาะ ดังนั้นการเลือกประเภทของหน่วยขุดเจาะจึงความสำคัญมาก ประเภทของหัวขุดเจาะมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น หัวขุดดัดแบบหมุน หัวขุดตัดแบบเคลื่อนที่ และ หัวขุดคัดแบบแกว่ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TUNNEL BORING MACHINE EARTH PRESSURE BALANCE SLURRY

หัวเจาะอุโมงค์แบบปรับแรงดันดินสมดุล

รูปที่ 5.1 แสดงหัวเจาะชนิดต่างๆ

รูปที่ 5.2 แสดงหัวขุดเจาะแบบ EPB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.1. ราคาของหัวเจาะที่ใช้ในโครงการ

หัวเจาะประกอบด้วยเครื่องจักรกลต่างๆ และระบบการควบคุมการทำงานซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ประเทศต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ละโครงการก็จะใช้ขนาดและชนิดที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับขนาดของอุโมงค์ คุณสมบัติของดินในเขตที่จะทำการขุดเจาะ โดยจะมีราคาสูงมาก หากราคาของหัวเจาะซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้างอุโมงค์ และ มีราคาสูง(อาจเป็นเพราะขนาดใหญ่หรือ เป็นของที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน) ก็จะทำให้ราคาต่อหน่อยของอุโมงค์มีค่าสูงตาม

5.2.3.2. โครงสร้างต่างๆของหัวขุดเจาะ

การเลือกสรรหัวเจาะจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานของส่วนประกอบต่างๆของหัวขุดเจาะซึ่งทำให้สามารถเลือกชนิดหัวเจาะที่เหมาะสมกับงานได้อย่างเหมาะสม ส่วนประกอบโดยหลักของหัวขุดเจาะประกอบด้วย

1. โครงเหล็กรอบนอก ทำหน้าที่ป้องกันส่วนประกอบภายใน จากแรงกระทำรอบนอก
2. หัวตัด (Cutter head) ทำหน้าที่ขุดตัดหน้าดินภายใต้การป้องกันโดยโครงเหล็กนอก
3. ชุดอุปกรณ์ในส่วนหาง ทำหน้าที่ในการจัดวางแนวอุโมงค์และขับเคลื่อนหัวขุดเจาะ

นอกจากส่วนประกอบหลักของหัวขุดเจาะ ผู้ออกแบบจะต้องสามารถออกแบบเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของหัวขุดเจาะที่เหมาะสมกับงานและปริมาณการขนส่งสูงสุด

5.2.3.3. การเลือกหัวขุดเจาะ

การเลือกหัวขุดเจาะควรพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของวงผนังอุโมงค์โดยการเลือกขนาดของหัวขุดเจาะจะมีผลต่อการเลือกชิ้นส่วนผนังของอุโมงค์ ช่องห่างที่ส่วนหางหัวขุดเจาะ(Tail) และความหนาของ Tail skin plate ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ช่องว่างของส่วนหางมีช่องว่างไม่เพียงพอ อาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการขุดเจาะ

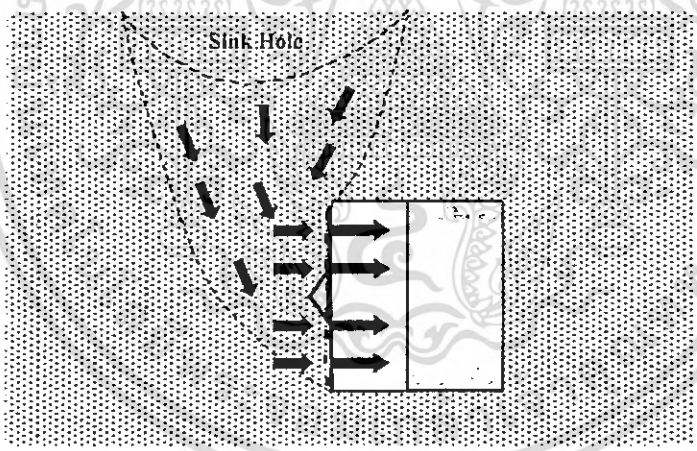
ในประเทศไทย การก่อสร้างอุโมงค์ส่วนใหญ่ ก่อสร้างในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีลักษณะชั้นดินที่คล้ายๆกันในพื้นที่จังหวัด หัวเจาะที่แต่ละโครงการที่เลือกนำมาใช้งานจึงเหมือนกัน ทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลราคาในส่วนของหัวขุดเจาะชนิดต่างๆ เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบได้ หัวเจาะที่ใช้ในกรุงเทพมหานครส่วนมาก คือ หัวเจาะชนิด EARTH PRESSURE BALANCE (EPB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4. ประเภทของชั้นดินบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์

ชั้นดินในแต่ละพื้นที่ก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ในที่ระดับความลึกในพื้นที่นั้นๆ โดยที่จะมีผลในเรื่องของราคาก็คือ ถ้าทำการขุดเจาะในชั้นดินที่มีความแข็งมาก คือจะอยู่ในระดับใต้ดินที่ลึก ก็ต้องเลือกหัวเจาะที่มีความสามารถสูงกว่าหัวเจาะที่เจาะในชั้นดินที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า และที่สำคัญคือขนาดลักษณะของ ผนังอุโมงค์ ก็ต้องมีความสามารถในการรับแรงดันจากดินมากขึ้นกว่าบนชั้นดินอ่อน ส่งผลต่อราคาการก่อสร้างที่เพิ่มมากขึ้น โดยในเรื่องชั้นดินนี้อาจจะส่งปัญหาในการเพิ่มราคาขึ้นอีก เช่น หัวเจาะมีการเจาะในอัตราความเร็วที่ลดลงเนื่องจากความฝืดของใบมีดที่ตัดหน้าดินเพิ่มมากขึ้นในดินที่มีความแข็งกว่าเดิม ทำให้ต้องฉีดน้ำยาเบนโทไนท์เพิ่มขึ้น หรือเจออุปสรรคที่สำคัญคือเจาะไปยังบริเวณที่เป็นหินกรวดเม็ดใหญ่ หินที่มีลักษณะก้อนใหญ่ก็จะเกิดปัญหาขึ้นและต้องมีการแก้ไข ทำให้ระยะเวลางานเพิ่มขึ้น

แนวโน้มของชั้นดินนั้นเป็นตัวแปรที่มีการหาค่าความสัมพันธ์ได้ยากเนื่องจากลักษณะของชั้นดินที่ทำการขุดเจาะนั้นส่งผลกับตัวแปรอื่นๆด้วย เช่น การเตรียมการ การเลือกประเภทของหัวขุดเจาะ การออกแบบชิ้นส่วนผนังอุโมงค์



รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันเนื่องจากดินด้านหน้าของหัวเจาะ

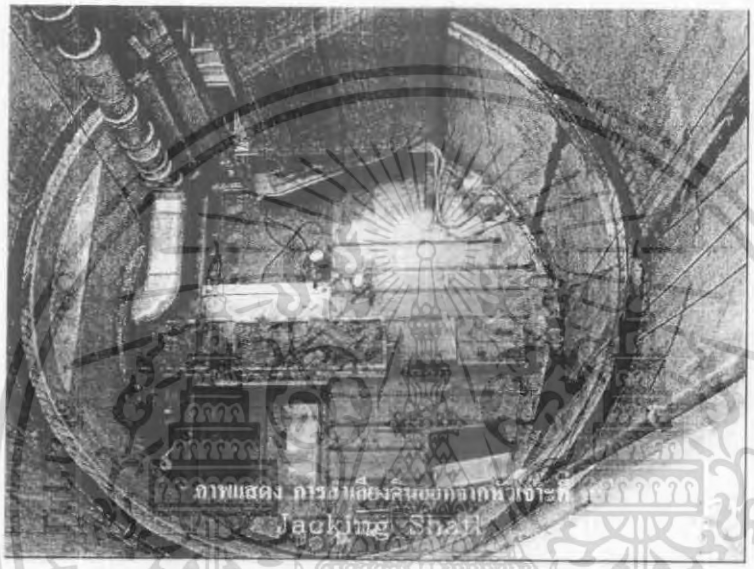
5.2.5. ความลึกของอุโมงค์ (ระดับของแนวอุโมงค์)

ความลึกจะมีผลกับราคาค่าก่อสร้างในด้านของการขุดเจาะการลำเลียงดิน ระบบอัดอากาศ ความปลอดภัยในการทำงาน รวมไปถึงความยากง่ายในการก่อสร้างอุโมงค์ ซึ่งหากระดับความลึกในการก่อสร้างอุโมงค์มากขึ้น จะทำให้การทำงานมีความยากมากขึ้นและแน่นอนราคาค่าก่อสร้างย่อมสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจาก การขุดเจาะช่องปล่องอุโมงค์ที่ลึกขึ้น การลำเลียงดินส่วนที่ได้ทำการขุดเจาะแล้วออกจากอุโมงค์ อีกทั้งยังมีผลต่อราคาการก่อสร้างในส่วนของ ปล่องอุโมงค์ (Shaft) ด้วย คือต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อสร้างปล่องอุโมงค์ที่มีความลึกมากกว่าหรือใกล้เคียงกับความลึกของอุโมงค์ โดยต้องใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้าง ระยะเวลาการก่อสร้าง และเครื่องมือที่มากกว่า ปล่องอุโมงค์ที่มีระดับความลึกที่น้อยกว่าทำให้ส่งผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้าง

ลักษณะของชั้นดินและระดับความลึกในการขุดเจาะอุโมงค์เป็นตัวแปรที่เกี่ยวเนื่องกันอยู่โดยในความเป็นจริงแล้วหากระดับความลึกในการก่อสร้างอุโมงค์มากขึ้นแล้วมีแนวโน้มว่าลักษณะชั้นดินบริเวณนั้นจะเป็นดินที่มีความแข็งแกร่งมากกว่าดินที่อยู่บริเวณความลึกที่ต่ำกว่า

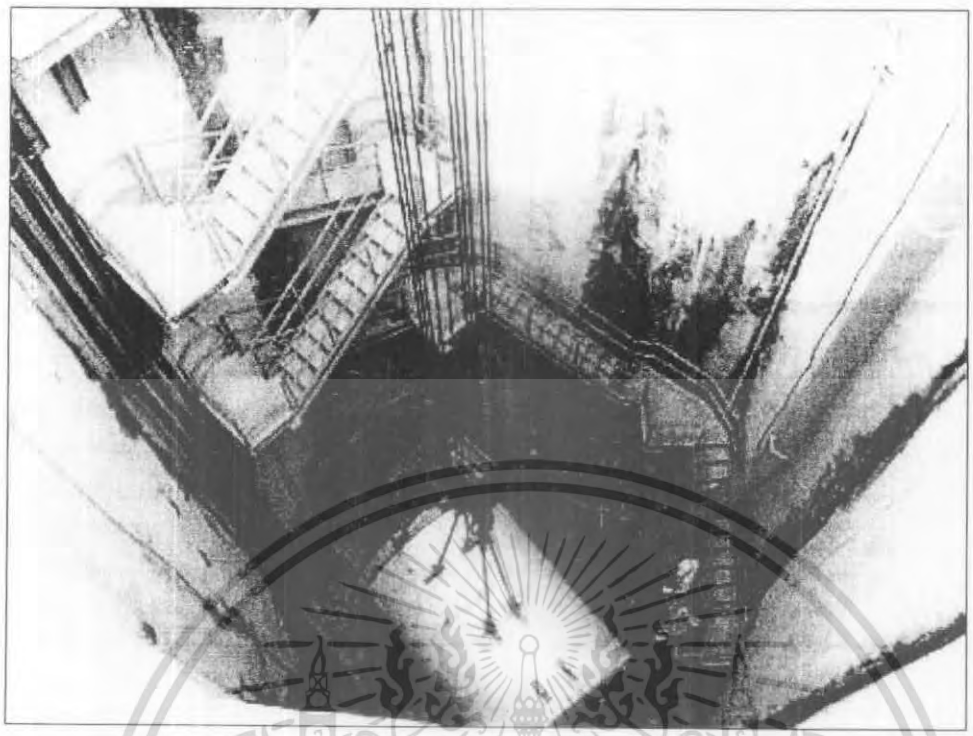


รูปที่ 5.4 การลำเลียงดินขุดที่ออกจากช่องอุโมงค์

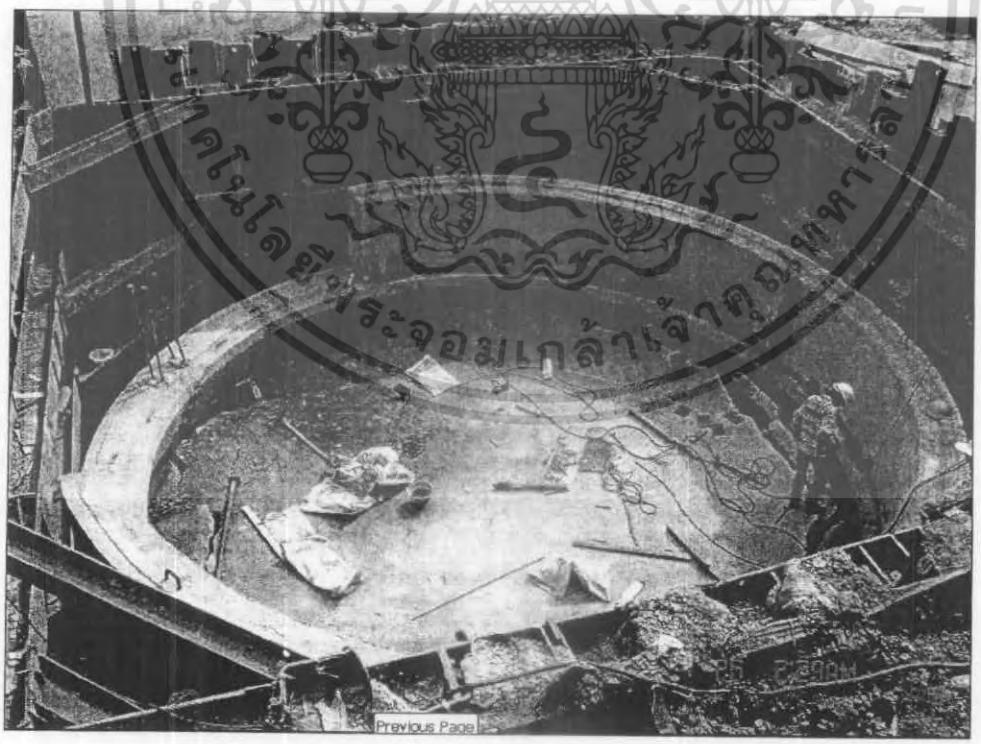
5.2.6. จำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft)

ในการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในแต่ละช่วงของความยาวของอุโมงค์จะมีปล่องอุโมงค์ (Shaft) เพื่อ เป็นส่วนที่รับน้ำที่ระบายจากคลอง หรือพักน้ำเพื่อสูบแล้วระบายไปยังที่อื่นๆ และเป็นช่องลำเลียงดินออกไปยังที่พัก ขนส่งอุปกรณ์ในการขุดเจาะ รวมทั้งมีประโยชน์ในการก่อสร้าง คือ ถ้ามีจำนวน ปล่องอุโมงค์ (Shaft) มากก็ส่งผลให้ระยะเวลาในการก่อสร้างสั้นลงเนื่องจากสามารถนำหัวขุดเจาะมาขุดในช่วงระหว่างปล่องอุโมงค์ (Shaft) ในช่วงต่อๆไปได้เลย จึงไม่ต้องรอหัวเจาะที่เริ่มจากปล่องอุโมงค์ (Shaft) แรกการลำเลียงขนส่งจากหัวเจาะทำได้เร็วขึ้น จึงประหยัดเวลาในการก่อสร้างได้ แต่ก็อาจจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนของปล่องอุโมงค์ (Shaft) มากขึ้นซึ่งก็ส่งผลต่อราคาการก่อสร้างด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 เป็นการดำเนินงานเจาะผ่านช่อง Shaft



รูปที่ 5.6 การทำการค้ำยันปล่องอุโมงค์

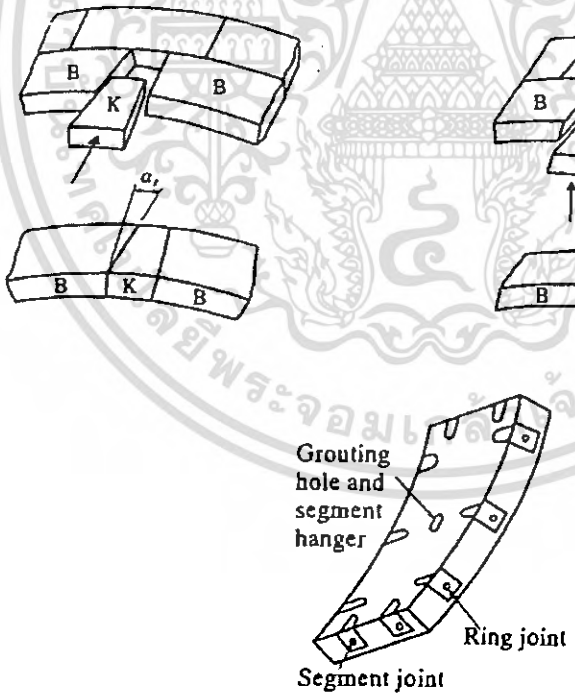
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7. ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ (Segment)

ชิ้นส่วนของผนังอุโมงค์จะมีความหนา การติดตั้ง และลักษณะชิ้นส่วนหลายแบบซึ่งส่งผลต่อราคาการก่อสร้างของอุโมงค์ โดยจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างของอุโมงค์และสามารถต้านทานแรงกดที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำบนชั้นผิวดิน เช่น บริเวณผิวดินเหนือแนวของอุโมงค์มีอาคารที่มีน้ำหนักมาก มีปริมาณการจราจรหนาแน่น เป็นต้น ต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนอุโมงค์ประกอบไปด้วย

จากข้อมูลราคาของชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ในแต่ละโครงการ ทำให้สามารถทราบเปอร์เซ็นต์เทียบกับราคาการก่อสร้างอุโมงค์ ซึ่งเป็นราคาที่มากที่สุด คือ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์นี้เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง

หน้าที่ของผนังอุโมงค์ที่ต้องคำนึงถึงอีกประการคือการรับน้ำของมวลดินที่อยู่ด้านบนของแนวการก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการคำนวณแรงด้านทานของชิ้นส่วนอุโมงค์ให้สามารถรับน้ำได้ตลอดอายุการใช้งานของอุโมงค์ และเหมาะสมกับการใช้งาน



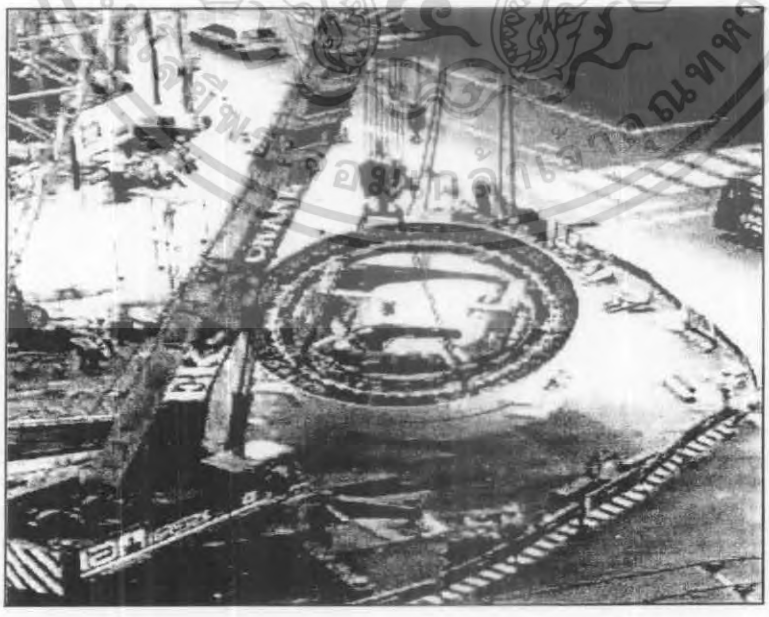
รูปที่ 5.7 ลักษณะของชิ้นส่วนของผนังอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.8. การติดตั้งชิ้นส่วนผนังอุโมงค์

5.2.8. สถานที่ตั้งของโครงการ

มีผลต่อการดำเนินงานก่อสร้างและการขนส่ง สถานที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรมาก การจราจรที่แออัดจะมีการดำเนินงานก่อสร้างและการขนส่งที่ยากลำบากมากขึ้น การลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์ หรือการขนถ่ายมาสู่หน้างานจะมีความยากลำบากและล่าช้ามาก บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นส่วนใหญ่จะทำงานได้สะดวกในเวลากลางคืน



รูปที่ 5.9. แสดงสถานที่ก่อสร้างที่มีความแออัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10. แสดงสถานที่ก่อสร้างที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างมาก

ในบางกรณีการขุดเจาะปล่องอุโมงค์อาจต้องทำการก่อสร้างบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ ทำให้การขุดเจาะนั้นทำได้อย่างยากลำบากส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างของโครงการนั้นๆจะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการทำการก่อสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูงซึ่งทำให้ดินมีความแข็งแกร่งลดลง ความยากลำบากในการทำการก่อสร้างก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

5.2.9. ลักษณะความเป็นอยู่ของชุมชนบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์

การสำรวจและวางแผนการก่อสร้างจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงสภาพชุมชนที่ทำการก่อสร้างด้วย เนื่องจากสภาพชุมชนรอบบริเวณที่ทำการก่อสร้างมีผลกระทบต่อแผนงานการก่อสร้างเช่น

- การวางแผนการลำเลียงขนส่งงานดินที่ขุดออกมาจากอุโมงค์ หากการจราจรไม่เอื้ออำนวยต่อการขนส่งจึงก่อปัญหาทำให้เวลาที่ใช้มากขึ้นตามไปด้วย

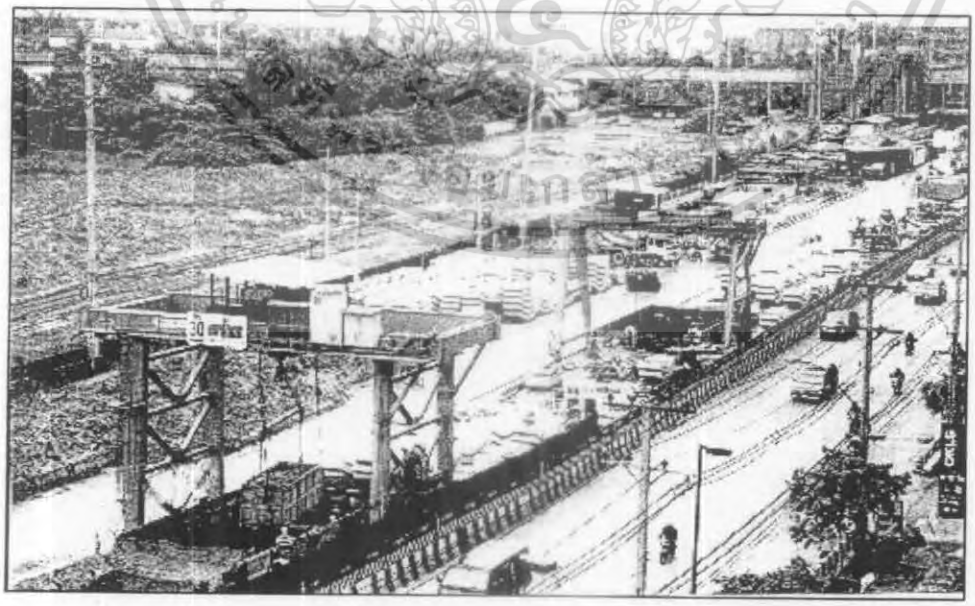
- การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น หัวขุดเจาะ ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ การขนส่งคอนกรีต เป็นต้น เกิดการล่าช้าทำให้ระยะเวลาในการก่อสร้างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นถึงการจราจรที่ส่งผลกับการขนส่งสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์

5.2.10. สถานที่เก็บวัสดุอุปกรณ์

สถานที่เก็บวัสดุอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการขนส่งความสะดวกในการขนส่ง ราคาในการเช่าพื้นที่ ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ถ้ามีการกำหนดสถานที่ผิดพลาด จะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่เพิ่มขึ้น แต่ในบางโครงการ ยอมที่จะเช่าที่ดินในราคาที่สูง เพื่อการขนส่งที่มีระยะทางที่สั้นลงค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยลงมากกว่าราคาเช่าที่ดินที่ถูก แต่มีราคาในการขนส่งที่สูง



รูปที่ 5.12 แสดงสถานที่เก็บชิ้นส่วนอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.11. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนผิวดิน

ภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ (Tunnel Overburden) จะกำหนดทั่วไปในการพิจารณาเงื่อนไขของพื้นผิวดิน และโครงสร้างใต้ดิน ธรรมชาติของดิน ขนาดของส่วนตัดของการขุด และวิธีการสร้าง ซึ่งหากมีน้ำหนักบรรทุกแบกรับเนื่องจากสิ่งก่อสร้างบริเวณผิวดินสูงภาระจากผลของน้ำหนักที่กระทำบนแนวอุโมงค์ก็จะสูงตามไปด้วย ผู้ออกแบบจึงต้องการชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ (Segment) ที่ให้ความแข็งแรงมากขึ้นด้วย

แนวโน้มของราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จากผลของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนผิวดินจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อน้ำหนักที่ผิวดินมีค่ามากขึ้น (โครงสร้างตัวอุโมงค์ต้องการความทนทานต่อการรับแรงมากขึ้น)

การรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ที่กำหนดต่ำสุด โดยทั่วไปจะเป็น 1.0D ถึง 1.5D (D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางหัวขุดเจาะอุโมงค์) การเลือกแนวทางการก่อสร้างของอุโมงค์ส่วนใหญ่จะพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการใช้ของอุโมงค์และองค์ประกอบทางด้านสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ก่อนแล้วเป็นหลัก

5.2.12. การปรับปรุงคุณภาพดิน (GROUND IMPROVEMENT)

1. ลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ของอุโมงค์ การออกแบบจะมีผลทำให้มีการทำการปรับปรุงคุณภาพดิน (GROUND IMPROVEMENT) ที่แตกต่างกันทั้งปริมาณงาน และราคาที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณงานปัญหาทางหน้างาน ระดับน้ำใต้ดิน การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารที่มีการเจาะผ่าน ซึ่งราคาที่เพิ่มขึ้น จะมีความไม่แน่นอน

2 . ความแตกต่างของราคา ของอุโมงค์ขนส่งมวลชน และ อุโมงค์ส่งน้ำ ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในส่วนของการปรับปรุงคุณภาพดิน (GROUND IMPROVEMENT)

- อุโมงค์ขนส่งมวลชน จะมีจำนวนของสถานี อาคารผู้โดยสาร และอื่นๆ เกี่ยวกับโครงสร้างอาคารมาก และในการขุดเจาะ จะต้องมีการเสริมความแข็งแรงของดินบริเวณดังกล่าว เพื่อการขุดเจาะที่สะดวก ทำให้ขั้นตอนการก่อสร้างในการทำการปรับปรุงคุณภาพดิน (GROUND IMPROVEMENT) มีมาก

- อุโมงค์ส่งน้ำจะมีการทำการปรับปรุงคุณภาพดิน (GROUND IMPROVEMENT) เฉพาะในการขุดเจาะ และผ่านโครงสร้างอาคาร หรือผ่านปล่องอุโมงค์เท่านั้น

เพราะฉะนั้นไม่ว่าจะทำการก่อสร้างอุโมงค์ ที่มีการใช้งานในลักษณะใด ราคาที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัญหาหน้างาน และลักษณะของการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.13. ระยะเวลาในการก่อสร้าง

ในงานก่อสร้างจะต้องมีการวางแผนตารางเวลาของแต่ละขั้นตอน ซึ่งหากการดำเนินงานก่อสร้างจริง สามารถทำได้เร็วกว่าเวลาที่กำหนดจะทำให้ค่าใช้จ่ายในโครงการน้อยลง แต่หากการดำเนินงานก่อสร้างไม่สามารถทำให้เสร็จสิ้นได้ในระยะเวลาที่กำหนดแล้ว จะทำให้งบประมาณในการก่อสร้างมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ไป

แต่หากการก่อสร้างที่ต้องการระยะเวลาในการก่อสร้างที่สั้นลง จะส่งผลกับราคาค่าก่อสร้างเช่นกันโดยจะต้องมีราคาค่าแรงงาน ราคาเครื่องจักรกล ที่เพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน เช่น การเพิ่มของหัวเจาะเพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้างให้สั้นลง เป็นต้น ซึ่งระยะเวลาที่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้าก่อนการก่อสร้างนั้นเป็นระยะเวลาที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างเหมาะสมที่สุด

5.2.14. ประเภทของโครงการ

ประเภทของการก่อสร้างจะมีผลต่อราคาในส่วนของส่วนประกอบในการก่อสร้างอุโมงค์ อย่างเช่น อุโมงค์ส่งน้ำ หรือ อุโมงค์ระบายน้ำ จะต้องมีท่อเหล็ก(Secondary Segment) หุ้มภายในของผนังคอนกรีต (Concrete Segment) อีกหนึ่งชั้น (ไม่รวมอยู่ในการวิเคราะห์ปัจจัย) ในขณะที่อุโมงค์ขนส่งมวลชนไม่มีส่วนนี้

5.2.15. งานอุปสรรค

ในการก่อสร้างอุโมงค์โดยส่วนมากจะก่อสร้างในเขตชุมชน หรือในตัวเมือง ที่มีระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างต่างๆ ที่อยู่ใต้ดิน เช่น ท่อประปา ฐานรากอาคาร ฐานรากทางยกระดับ เป็นต้น หากโครงการการก่อสร้างอุโมงค์นั้นมีเส้นทางที่ต้องผ่านหรือมีระยะที่ใกล้เคียงกับสิ่งเหล่านี้ ก็จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมไม่ให้การก่อสร้างอุโมงค์นี้มีผลกระทบกับโครงสร้างดังกล่าว อาจจะมีการซ่อมแซม ต่อเติม แก้ไขปรับปรุงฐานรากเดิมต่างๆ ให้สามารถรับน้ำหนักได้เหมือนเดิมเมื่อมีการก่อสร้างอุโมงค์ ทำให้มีการเพิ่มราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ดังกล่าว โดยขึ้นอยู่กับปริมาณงานอุปสรรคที่เจอในขั้นตอนการสำรวจก่อนการก่อสร้าง

ในกลุ่มตัวอย่างโครงการที่มีการนำราคาค่าใช้จ่ายของงานที่ต้องเสริมความมั่นคงของดินที่มีอุปสรรคกีดขวางการก่อสร้างอุโมงค์คือโครงการที่ B และโครงการที่ C ซึ่งค่าใช้จ่ายของงานนี้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ เท่ากับ 4.051 % และ 6.323 % ตามลำดับ (ราคานี้เป็นราคาที่รวมงานปรับปรุงสภาพดินเข้าไปด้วย)

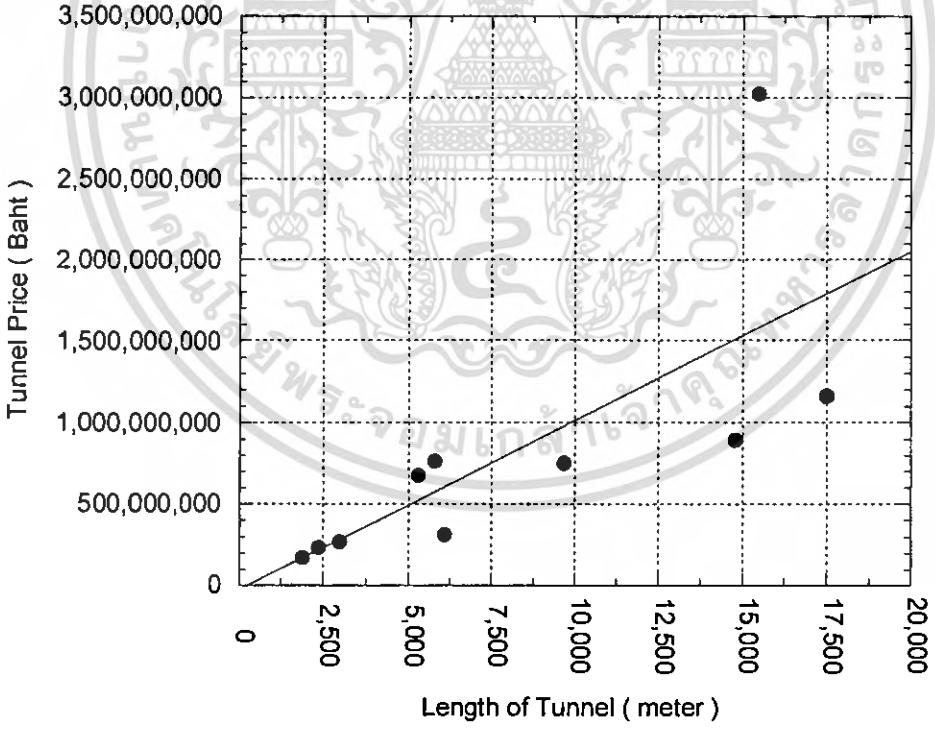
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ในการที่จะสรุปข้อมูลจากการทดลองจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาจจะเป็นตารางตัวเลข หรือกราฟระหว่างปัจจัยกับราคาของการก่อสร้างอุโมงค์ เพื่อต้องการที่จะนำปัจจัยบางอย่างไปเชื่อมโยงกับตัวแปรโดยมีตารางความสัมพันธ์ของปัจจัยและตัวแปรต่างๆที่ระบุความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีความจำเป็นมาก โดยทำให้ทราบแนวโน้มของราคามีลักษณะเป็นอย่างไร และนำไปสู่การสรุปผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 โดยข้อมูลตัวเลขจากการเก็บรวลรวมจากหน่วยงานต่างๆ มานั้น จะสามารถนำมาทดสอบได้บางปัจจัย ไม่สามารถนำปัจจัยบางปัจจัยมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากอาจไม่มีตัวเลขข้อมูลในส่วนของปัจจัยนั้นๆ หรือปัจจัยนั้นมีอยู่ในบางโครงการซึ่งพอที่จะนำมาอ้างอิงได้

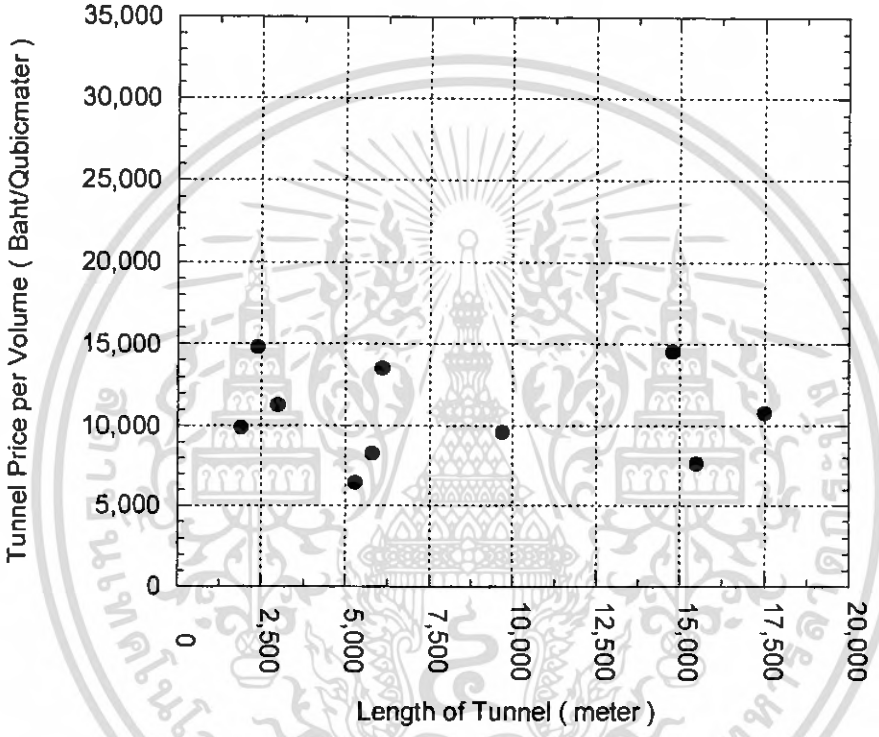
5.3.1. ความยาวของอุโมงค์



รูปที่ 5.13. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์รวมทั้งโครงการกับความยาวของอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13.จะเห็นได้ว่าเมื่ออุโมงค์มีความยาวมากขึ้นจะทำให้ราคาของอุโมงค์สูงขึ้น ทำให้ทราบแนวโน้มของราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ได้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R) ที่ได้จากการคำนวณ R = 0.719 ซึ่งค่า R แสดงให้เห็นว่าราคาค่าก่อสร้างรวมมีความสัมพันธ์ กับความยาวของอุโมงค์ เราอาจนำกราฟความสัมพันธ์นี้ไปใช้ประโยชน์เมื่อต้องการหาราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์โดยประมาณเมื่อทราบระยะทางของอุโมงค์

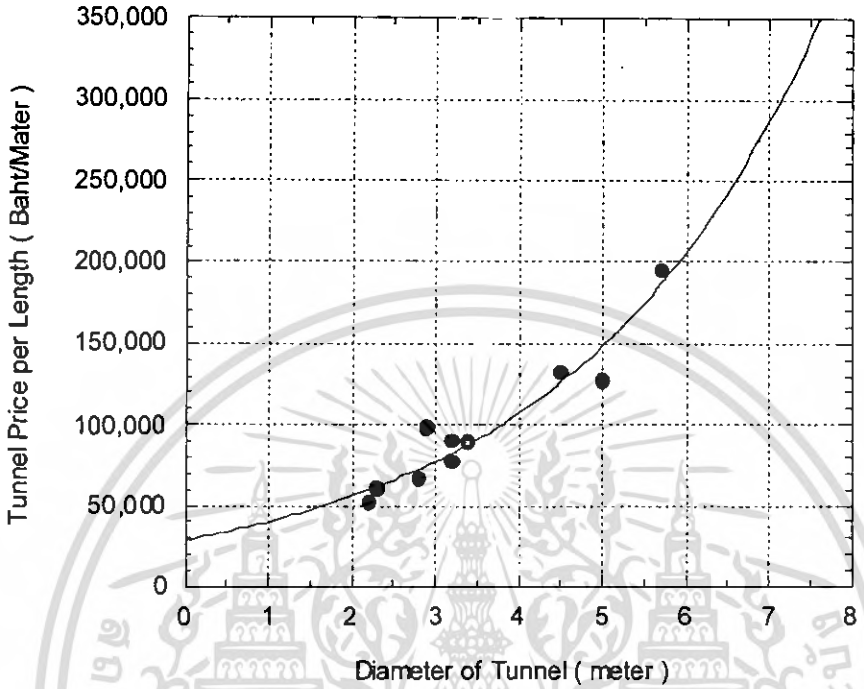


รูปที่ 5.14. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์เทียบโดยปริมาตร กับ ความยาวของอุโมงค์

จากรูปที่ 5.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาของอุโมงค์ต่อปริมาตร โดยราคาต่อหน่วยปริมาตรนี้จะคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวในรูปของราคาเทียบกับปริมาตรต่อ1 เมตรของอุโมงค์ (Cost /($\pi d^2/4$)xLength) กราฟแสดงให้เห็นว่าราคาต่อปริมาตรของอุโมงค์ไม่มีความสัมพันธ์กับความยาวของอุโมงค์ เนื่องจากราคาของอุโมงค์ที่เป็นอัตราส่วนกับปริมาตรรวมของอุโมงค์เป็นค่าที่ได้เปรียบเทียบกับความยาวของอุโมงค์แล้ว จึงสามารถสรุปได้ว่าราคาต่อปริมาตรของอุโมงค์เป็นค่าที่ใช้นำมาเปรียบเทียบกันได้ในด้านของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

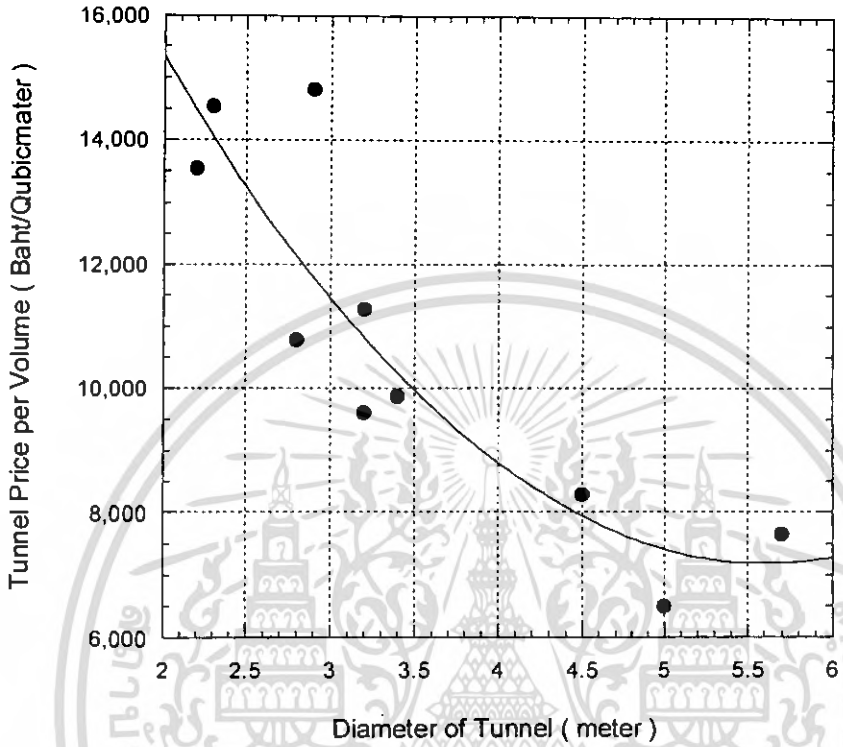
5.3.2. ขนาดของอุโมงค์



รูปที่ 5.15. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์

จากรูปที่ 5.15. เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อความยาว 1 เมตรกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ ซึ่งราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะมีแนวโน้มแปรผันตามกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์โดยเป็นความสัมพันธ์แบบ Exponential ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหากอุโมงค์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้นจะทำให้ราคาในการก่อสร้างอุโมงค์ต่อความยาว 1 เมตรสูงมากขึ้นตามไปด้วย แต่กราฟของความสัมพันธ์นี้จะไม่ตัดกับแกน x ที่จุด (0,0) แต่จะตัดกับแกน y ที่ค่าๆหนึ่งซึ่งอาจเป็นค่าใช้จ่ายพื้นฐานด้านการเตรียมการก่อสร้างเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

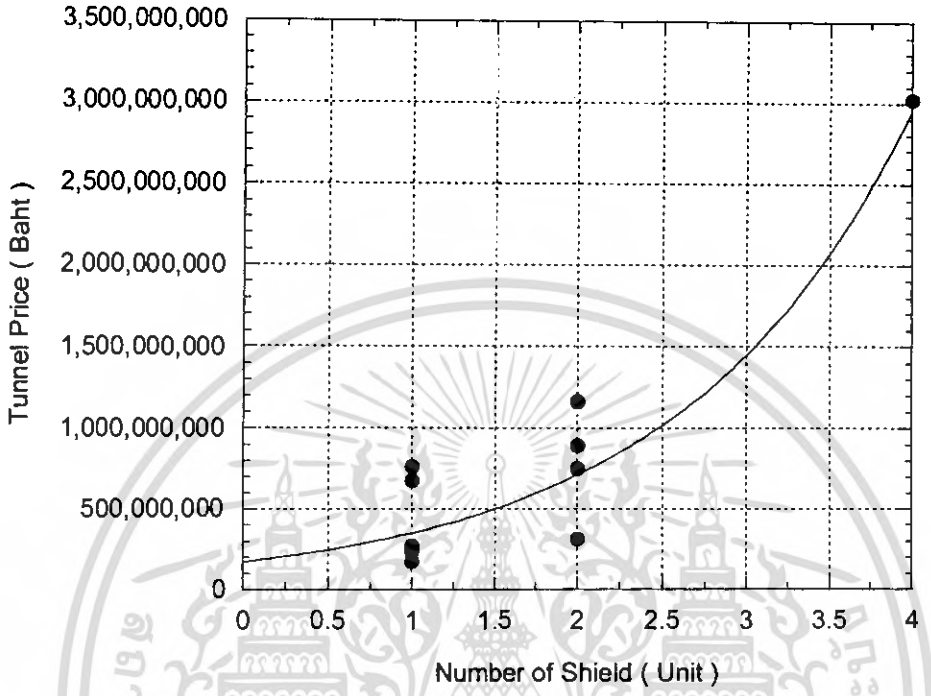


รูปที่ 5.16. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์เทียบโดยปริมาตร กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์

จากรูปที่ 5.16. จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของกราฟข้างต้นบอกได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์มีผลต่อราคาของอุโมงค์เทียบโดยปริมาตร โดยเมื่ออุโมงค์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ราคาต่อหน่อยปริมาตรลดน้อยลง โดยการลดน้อยลงจะเป็นแบบ Exponential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

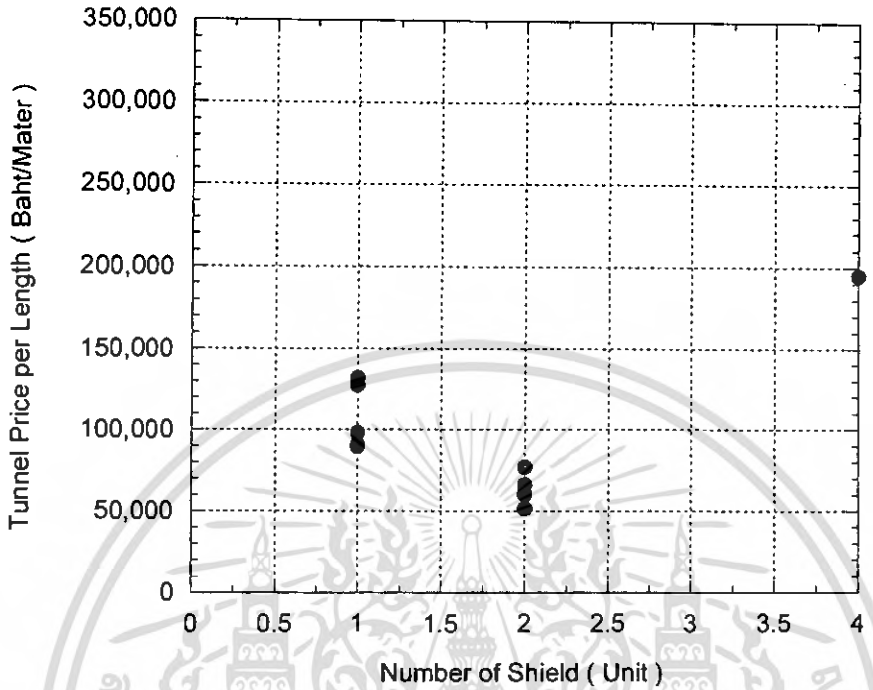
5.3.3. จำนวนหัวเจาะ



รูปที่ 5.17. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์กับจำนวนหัวขุดเจาะ

จากรูปที่ 5.17. จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนหัวเจาะที่ใช้ในโครงการมีมากขึ้นจะทำให้ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์รวมสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากราคาของส่วนหัวเจาะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับราคารวมของโครงการ (ราคาของหัวเจาะจะมีค่าประมาณ20-30% ของราคารวมในส่วนโครงสร้างอุโมงค์) ซึ่งหากมีการเพิ่มหัวเจาะมากขึ้นเกินกว่าความต้องการจริงๆของโครงการนั้น จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์สูงเกินความเป็นจริง ค่า R ที่ได้เท่ากับ 0.895 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสอดคล้องกันมาก

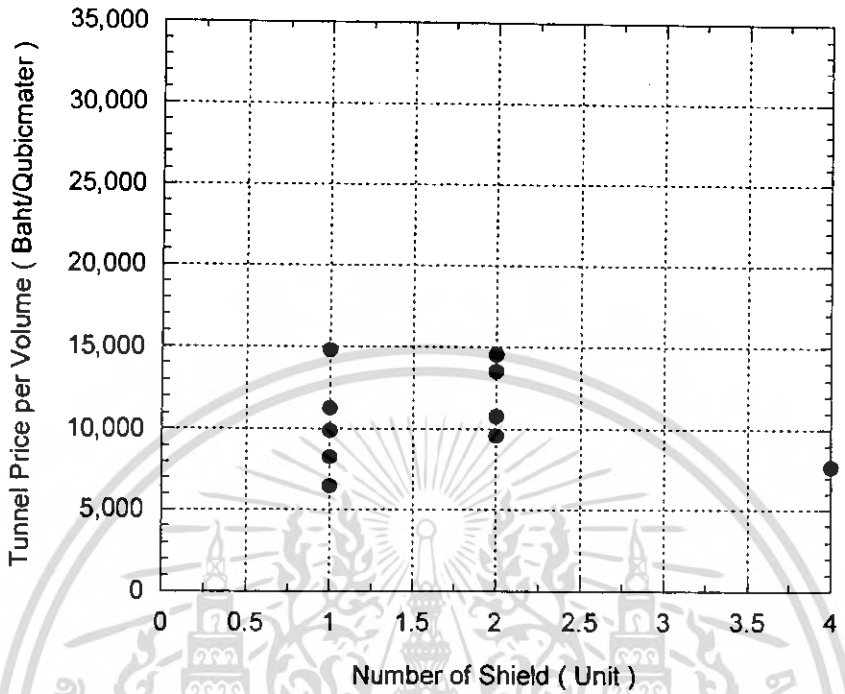
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับจำนวนหัวขุดเจาะอุโมงค์

จากรูปที่ 5.18. เป็นกราฟแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตร (Cost/Length) กับจำนวนหัวขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งในโครงการตัวอย่างแต่ละโครงการมีจำนวนหัวเจาะคือ 1 หัวเจาะ 2 หัวเจาะ และ 4 หัวเจาะ ทำให้มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นกลุ่มๆดังรูป การกระจายตัวนี้ทำให้ไม่สามารถนำมาสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

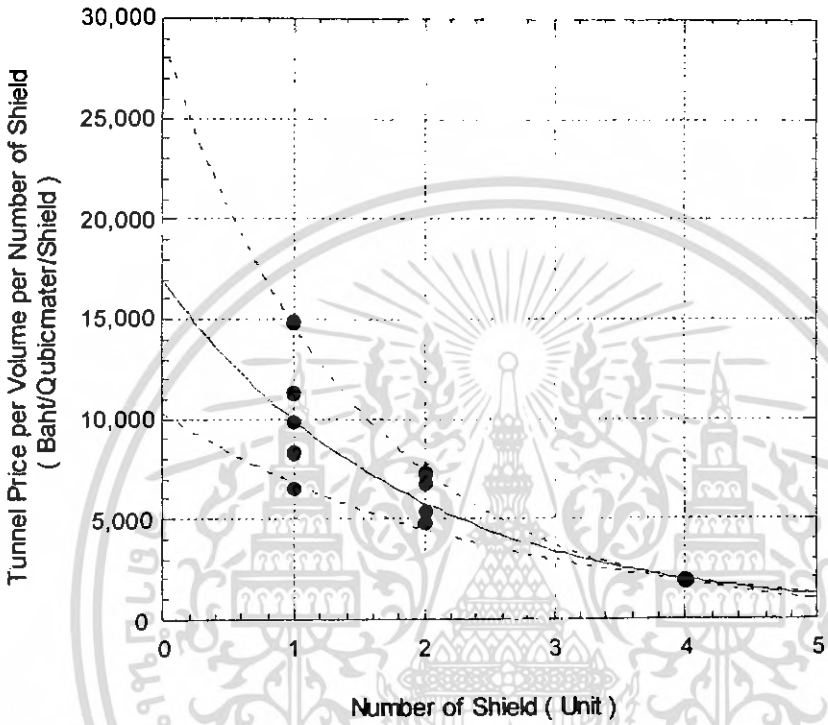


รูปที่ 5.19. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อลูกบาศก์เมตรกับจำนวนหัวขุดเจาะ

จากรูปที่ 5.19. เป็นเมื่อนำจำนวนหัวขุดเจาะมาหาความสัมพันธ์กับราคาของอุโมงค์ต่อปริมาตร (Cost /($\pi d^2/4$) x Length) ซึ่งคำนึงถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ด้วย จากกราฟทำให้ทราบว่ามีองค์ประกอบต่างๆนอกจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้โครงการที่มีจำนวนหัวขุดเจาะเท่ากันแต่ราคาต่อปริมาตรต่างกัน อาจเนื่องมาจากราคาของหัวเจาะหรืองานอุปสรรคต่างๆ ดังกล่าว

จากตารางที่ 5.1. จะเห็นว่าจำนวนหัวเจาะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรหนึ่งนั่นคือจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามราคางานระบบ ซึ่งมี ค่า R= 0.92 นั่นคือจำนวนของหัวเจาะจะส่งผลกระทบกับราคาของงานระบบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



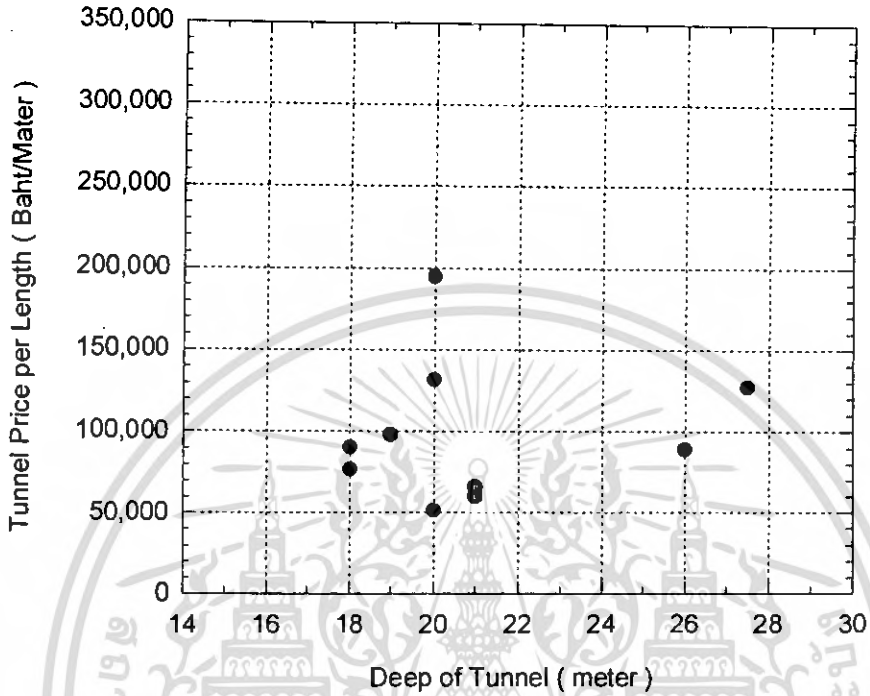
รูปที่ 5.20. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อจำนวนหัวเจาะทั้งโครงการกับ จำนวนหัวขุดเจาะ

จากรูปที่ 5.20. แสดงให้เห็นว่าเมื่อโครงการมีการใช้หัวเจาะที่มากขึ้นจะทำให้ราคาค่าก่อสร้างที่เทียบกับปริมาตรและจำนวนหัวเจาะนั้น มีค่าน้อยลง (ราคาค่าก่อสร้างต่อจำนวนหัวเจาะจะมีค่าน้อย เมื่อจำนวนหัวเจาะมีมากขึ้น) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อการก่อสร้างมีการเพิ่มจำนวนหัวเจาะในโครงการจะทำให้ราคาต่อหน่วยปริมาตรลดลง แต่ว่าหากการเพิ่มของหัวเจาะนั้นมากเกินกว่าความเหมาะสม ก็จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างมีค่าสูงขึ้นได้ ทั้งนี้จะต้องทำการศึกษาและวางแผนงานการก่อสร้างไว้อย่างดีเพื่อมิให้เกินความสิ้นเปลืองในโครงการ

เส้นประในกราฟความสัมพันธ์แสดงถึงขอบเขตของราคาที่เป็นไปได้เมื่อมีระยะทางทำการขุดเจาะต่อ 1 หัวเจาะไม่เท่ากัน ซึ่งเส้นบนแสดงถึงค่ามากที่สุดที่เป็นไปได้ และเส้นล่างคือค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

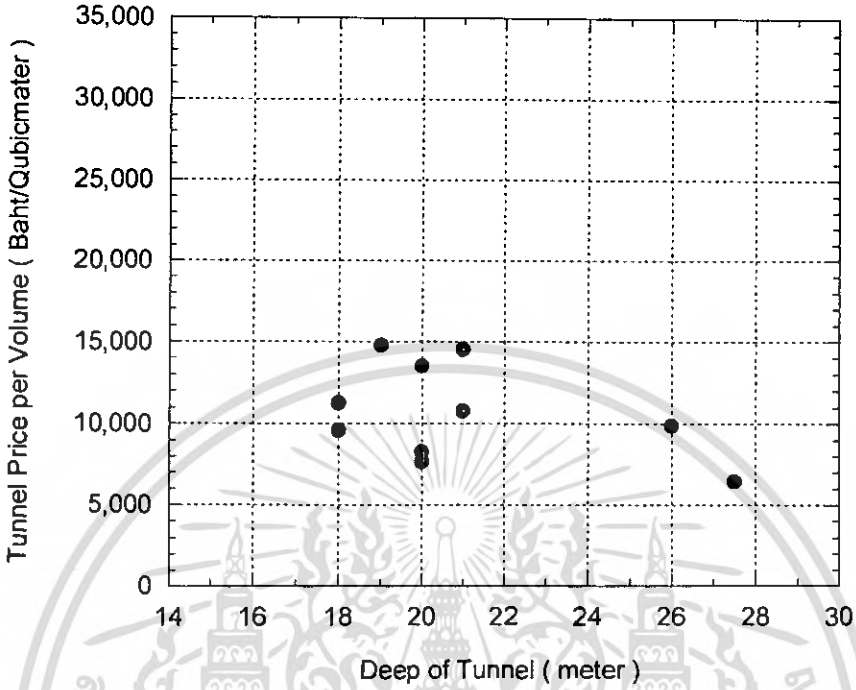
5.3.4. ความลึกของอุโมงค์



รูปที่ 5.21. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับความลึกของแนวอุโมงค์

จากรูปที่ 5.21. เป็นความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตร (Cost/Length) กับความลึกอุโมงค์ มีลักษณะกราฟที่ข้อมูลทั้งสองแกน ไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์นั้นมีช่วงของความลึกชั้นดินที่ทำการก่อสร้างแตกต่างกันไม่มากพอที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ได้ (อยู่ที่ระดับความลึก 18.0-28.0 เมตร) แต่ในทางทฤษฎีแล้วความลึกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

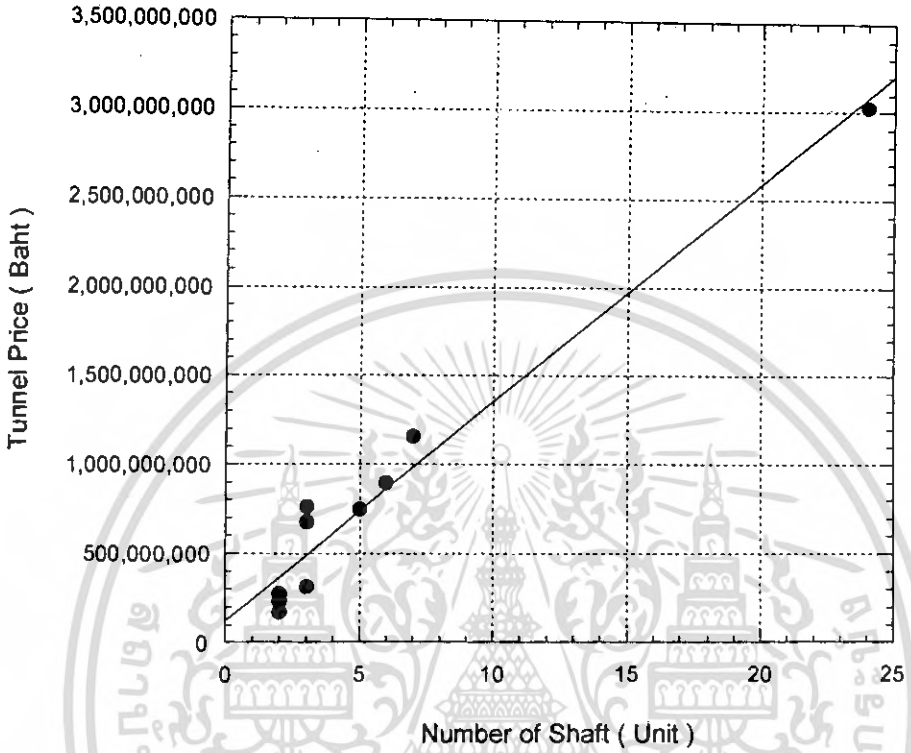


รูปที่ 5.22. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรกับความลึกอุโมงค์

จากรูปที่ 5.22. แสดงถึงความสัมพันธ์ของราคาต่อปริมาตรของอุโมงค์ (Cost/($\pi d^2/4$)x Length) กับความลึกของแนวอุโมงค์ ซึ่งไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลมีช่วงของความลึกที่ใกล้เคียงกันมากทำให้ยากต่อการนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5. จำนวนปล่องอุโมงค์(Shaft)

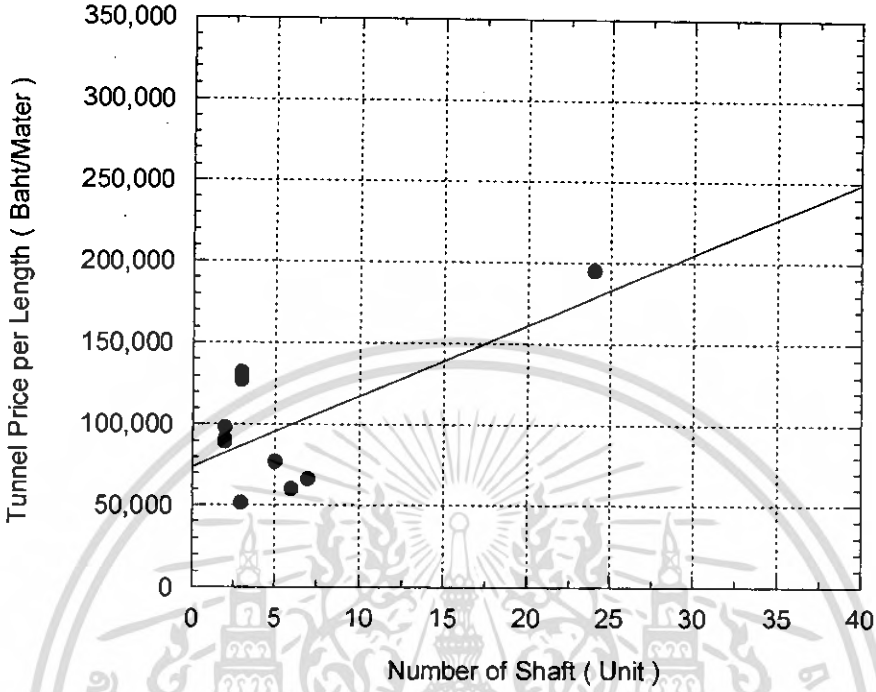


รูปที่ 5.23. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์กับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft)

จากรูปที่ 5.23. เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์กับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft) ซึ่งราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะมีแนวโน้มแปรผันตามกับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft) หมายความว่าหากมีจำนวนปล่องอุโมงค์มากขึ้นจะทำให้ราคาในการก่อสร้างอุโมงค์สูงมากขึ้นไปด้วย

จำนวนปล่องอุโมงค์ในแต่ละโครงการจะขึ้นอยู่กับ ความยาวขององุโมงค์ ระยะทางที่หัวเจาะสามารถเดินเครื่องได้โดยไม่ต้องทำการปรับแต่ง(Maintenance) ซึ่งเมื่อจำนวนปล่องอุโมงค์มาก หมายความว่าอุโมงค์มีความยาวมาก โดยกราฟจะมีค่า R=0.98 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ มีความสัมพันธ์กับจำนวนปล่องอุโมงค์มาก

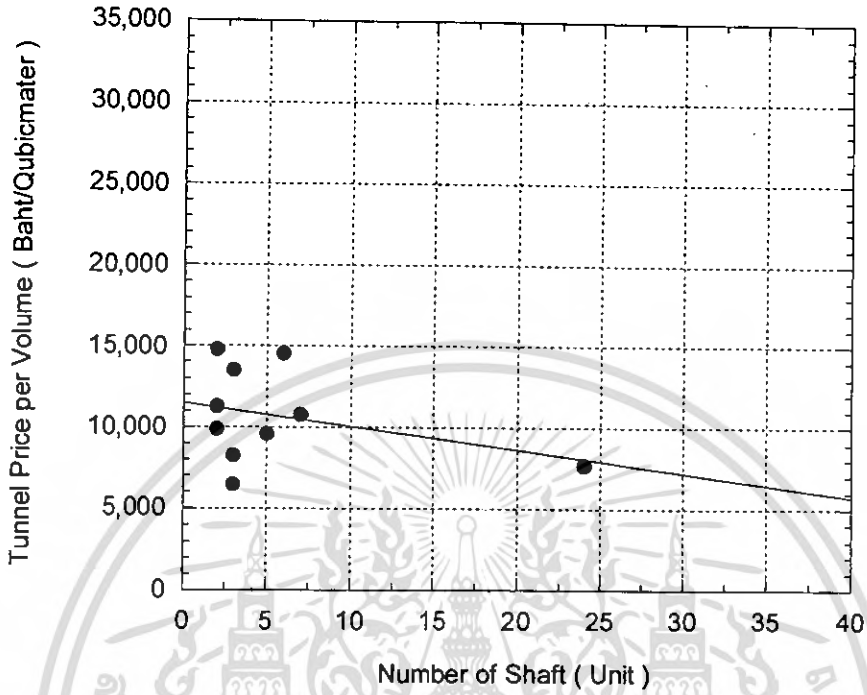
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตรกับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft)

จากรูปที่ 5.24. เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อเมตร (Cost/Length) กับจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft) โดยไม่คำนึงถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งจากกราฟ ราคาอุโมงค์ต่อความยาวของอุโมงค์ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนหัวเจาะ และในช่วงที่มีจำนวนปล่องอุโมงค์ 2-5 ปล่องจะมีราคาต่อความยาวหลายราคา เกิดจากมีปัจจัยอื่น มาเกี่ยวข้องทำให้การกระจายของข้อมูลเป็นดังกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างราคาอุโมงค์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรกับจำนวนปล่องอุโมงค์

จากกราฟที่ 5.25. แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างราคาต่อปริมาตรอุโมงค์ (Cost/($\pi d^2/4$)xLength) และจำนวนปล่องอุโมงค์ ซึ่ง มีลักษณะคล้ายรูปที่ 5.24. สามารถคาดการได้ว่า ราคาอุโมงค์ต่อปริมาตรของอุโมงค์ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนหัวเจาะและในช่วงที่มีจำนวนปล่องอุโมงค์ 2-5 ปล่องจะมีราคาต่อปริมาตรหลายราคา เกิดจากมีปัจจัยอื่น มาเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.6. แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยและตัวแปร(หมวดงาน)ต่างๆ

จากตารางที่ 5.1 เป็นการนำปัจจัยและข้อมูลราคาของหมวดงานในการก่อสร้างอุโมงค์มาหาค่าความสัมพันธ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์เป็นตัววัดค่าความสัมพันธ์ ค่า R ที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 มีความหมายว่าตัวแปรทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูงมาก หากค่า R ที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ค่า R ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงตัวแปรทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรผันตามกัน ส่วนค่า R ที่มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงถึงตัวแปรทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรผกผัน สมมติว่า ค่า R ที่คำนวณได้เท่ากับ 1 เราก็จะพยากรณ์ปัจจัยที่ 2 จากปัจจัยที่ 1 ได้ถูกต้องเท่ากับ 100 % ในขณะเดียวกันถ้าสมมติว่า ค่า R ที่คำนวณได้เท่ากับ 0 เราก็จะพยากรณ์ปัจจัยที่ 2 ได้ถูกต้องเท่ากับ 0 % โดยมีปัจจัยหรือหมวดงานที่มีความสัมพันธ์กันมาก มีดังนี้

ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์	R=0.992
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ปริมาตรอุโมงค์	R=0.978
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ราคาหัวเจาะ	R=0.975
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - จำนวนปล่องอุโมงค์	R=0.963
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ราคางานคอนกรีตเกร้าท์	R=0.952
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ราคางานระบบความปลอดภัย	R=0.918
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ - ราคางานรื้อถอน	R=0.905
ราคาหัวเจาะ - ปริมาตรอุโมงค์	R=0.976
ราคาหัวเจาะ - ราคางานขนย้ายดิน	R=0.939
ราคาหัวเจาะ - จำนวนปล่องอุโมงค์	R=0.937
ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ - ปริมาตรอุโมงค์	R=0.957
ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ - จำนวนปล่องอุโมงค์	R=0.944
ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ - ราคางานระบบความปลอดภัย	R=0.935
ราคางานระบบ - จำนวนปล่องอุโมงค์	R=0.938
ราคางานระบบ - จำนวนหัวเจาะ	R=0.915
ราคางานขนย้ายดิน - ปริมาตรอุโมงค์	R=0.905

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคางานคอนกรีตเกร้าท์ - จำนวนปล่องอุโมงค์	R=0.932
ราคางานทำความสะอาดอุโมงค์ - ราคางานอื่นๆ	R=0.978
ราคางานระบบความปลอดภัย - ราคางานรื้อถอน	R=0.999
ราคางานระบบความปลอดภัย - ราคางานคอนกรีตเกร้าท์	R=0.958

ความสัมพันธ์ของปัจจัยและหมวดงานที่กล่าวมา มีค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่มากกว่า 0.900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1. ตารางแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยและตัวแปรต่างๆ

	ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์	ราคาหัวเจาะ	ราคายื่นส่วนผนังอุโมงค์	ราคางานขนย้ายดิน	ราคางานทำความสะอาดอุโมงค์	ราคางานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	ราคางานระบบความปลอดภัย	ราคางานระบบ	ราคางานซ่าเชื้อโรค	ราคางานคอนกรีตเกร้าท์	ราคางานทดสอบอุโมงค์	ราคางานร็อดถอน	ราคางานควบคุมและขับหัวเจาะ	ราคางานอื่นๆ	ปริมาตร	ความยาว	เส้นฝาศูนย์กลาง	ความลึก	จำนวนหัวเจาะ	จำนวนปล่องอุโมงค์
ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์	1.000	0.975*	0.992*	0.893	0.733	0.720	0.918*	0.885	0.814	0.952*	0.748	0.905*	0.807	0.815	0.978*	0.741	0.629	-0.127	0.882	0.963*
ราคาหัวเจาะ	0.975*	1.000	0.944*	0.939*	0.786	0.725	0.831	0.832	0.801	0.891	0.743	0.815	0.786	0.661	0.976*	0.662	0.702	-0.095	0.845	0.937*
ราคายื่นส่วนผนังอุโมงค์	0.992*	0.944*	1.000	0.840	0.715	0.678	0.935*	0.862	0.792	0.947*	0.740	0.925*	0.788	0.602	0.957*	0.773	0.597	-0.096	0.869	0.944*
ราคางานขนย้ายดิน	0.893	0.939*	0.840	1.000	0.600	0.657	0.806	0.786	0.801	0.861	0.642	0.792	0.844	0.454	0.905*	0.500	0.710	-0.267	0.735	0.856
งานทำความสะอาดอุโมงค์	0.733	0.786	0.715	0.600	1.000	0.471	0.457	0.520	0.421	0.514	0.727	0.444	0.412	0.978*	0.797	0.414	0.774	0.393	0.550	0.692
ราคางานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	0.720	0.725	0.878	0.657	0.471	1.000	0.553	0.833	0.585	0.762	0.433	0.511	0.457	0.406	0.677	0.714	0.176	-0.230	0.783	0.786
ราคางานระบบรักษาความปลอดภัย	0.918*	0.831	0.935*	0.806	0.457	0.553	1.000	0.845	0.799	0.958*	0.612	0.999*	0.850	0.324	0.860	0.709	0.471	-0.310	0.817	0.867
ราคางานระบบ	0.885	0.832	0.862	0.786	0.520	0.833	0.845	1.000	0.810	0.932*	0.654	0.821	0.733	0.434	0.858	0.678	0.360	-0.358	0.915*	0.938*
ราคางานซ่าเชื้อโรค	0.814	0.801	0.792	0.801	0.421	0.585	0.799	0.810	1.000	0.800	0.711	0.790	0.746	0.282	0.780	0.601	0.393	0.432	0.857	0.818
งานคอนกรีตเกร้าท์	0.952*	0.891	0.947	0.861	0.514	0.762	0.958*	0.932	0.800	1.000	0.612	0.943*	0.814	0.388	0.897	0.768	0.447	-0.310	0.881	0.932*
งานทดสอบอุโมงค์	0.748	0.743	0.740	0.642	0.727	0.433	0.612	0.854	0.711	0.612	1.000	0.606	0.555	0.681	0.821	0.333	0.706	0.248	0.888	0.797
ราคางานร็อดถอน	0.905*	0.815	0.925	0.792	0.444	0.511	0.999*	0.821	0.790	0.943*	0.606	1.000	0.849	0.310	0.848	0.892	0.474	-0.305	0.799	0.848
ราคางานควบคุมและขับหัวเจาะ	0.807	0.786	0.788	0.844	0.412	0.457	0.850	0.733	0.746	0.814	0.555	0.849	1.000	0.262	0.820	0.382	0.588	-0.436	0.696	0.808
ราคางานอื่นๆ	0.615	0.661	0.602	0.454	0.978*	0.406	0.324	0.434	0.282	0.388	0.661	0.310	0.262	1.000	0.686	0.335	0.711	0.474	0.429	0.581
ปริมาตร	0.978*	0.976*	0.957*	0.905*	0.797	0.677	0.860	0.858	0.780	0.897	0.821	0.848	0.820	0.686	1.000	0.595	0.742	-0.041	0.845	0.966*
ความยาว	0.741	0.662	0.773	0.500	0.414	0.714	0.709	0.678	0.601	0.768	0.333	0.692	0.382	0.335	0.595	1.000	0.046	0.182	0.749	0.660
เส้นฝาศูนย์กลาง	0.629	0.702	0.597	0.710	0.774	0.176	0.471	0.360	0.393	0.447	0.706	0.474	0.588	0.711	0.742	0.046	1.000	0.308	0.297	0.566
ความลึก	-0.127	-0.095	-0.096	-0.267	0.393	-0.230	-0.310	-0.358	0.432	-0.310	0.248	-0.305	-0.436	0.474	-0.041	0.182	0.308	1.000	0.269	0.148
จำนวนหัวเจาะ	0.882	0.845	0.869	0.735	0.550	0.783	0.817	0.915*	0.857	0.881	0.688	0.799	0.696	0.429	0.845	0.749	0.297	0.269	1.000	0.933*
จำนวนปล่องอุโมงค์	0.963*	0.937*	0.944*	0.856	0.692	0.766	0.867	0.938*	0.818	0.932*	0.797	0.848	0.806	0.581	0.966*	0.660	0.566	0.148	0.933*	1.000

หมายเหตุ * ค่า r มากกว่า 0.90

บทที่ 6
การประมาณราคาโดยโปรแกรม SPSS

6.1. กล่าวนำ

โปรแกรม SPSS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ผลด้วยทฤษฎีทางสถิติ ย่อมาจาก Statistical Package for the Social Science เป็นโปรแกรมซึ่งรวมการวิเคราะห์ผลทางสถิติต่างๆ ให้สามารถใช้ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการวิเคราะห์ทางสถิติจะยุ่งเกี่ยวกับตัวเลขจำนวนมากในการคำนวณด้วยตนเองอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้ง่าย ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และหาสมการการถดถอยเพื่อนำมาทำนายราคาอุโมงค์ต่อหน่วยความยาว 1 เมตร ในครั้งนี้จึงใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำและความรวดเร็วมากขึ้น

6.2. การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้วิเคราะห์เบื้องต้นแล้วนั้น จะนำมาบันทึกเป็นฐานข้อมูลในโปรแกรมโดย ระบุตัวแปรแต่ละตัวว่าเป็นตัวแปรชนิดใดมีคุณสมบัติเช่นไร ก่อนนำค่าข้อมูลต่างๆ มาใส่เป็นตารางข้อมูลในโปรแกรมดังรูปที่ 6.1. กับ 6.2. และตารางที่ 6.1. โดยตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้

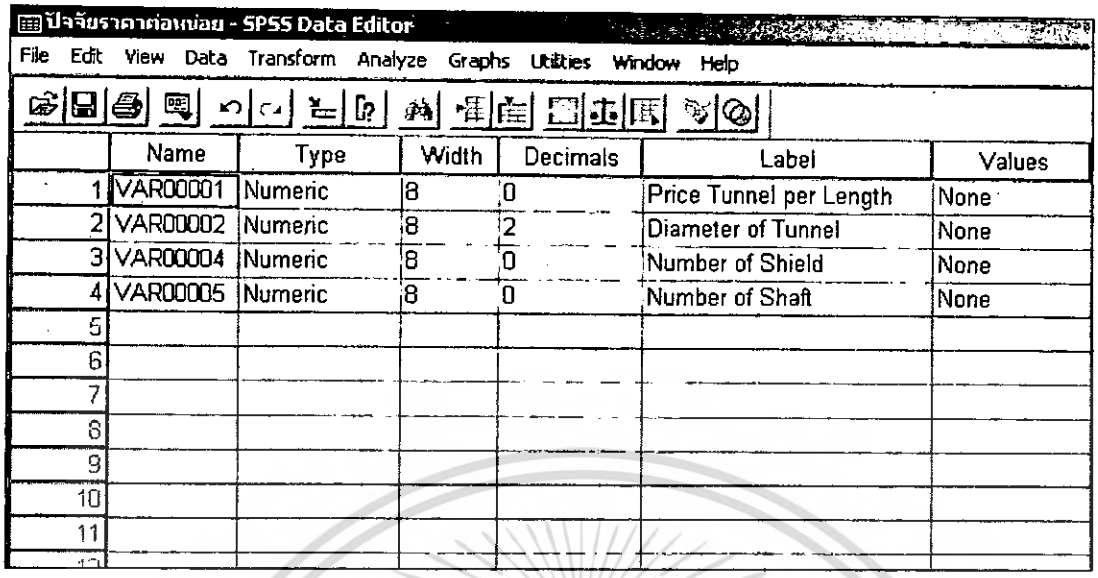
Y คือ ราคาอุโมงค์ต่อ 1 เมตร (บาท/เมตร)

X_1 คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ (เมตร)

X_2 คือ จำนวนหัวขุดเจาะ

X_3 คือ จำนวนปล่องอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

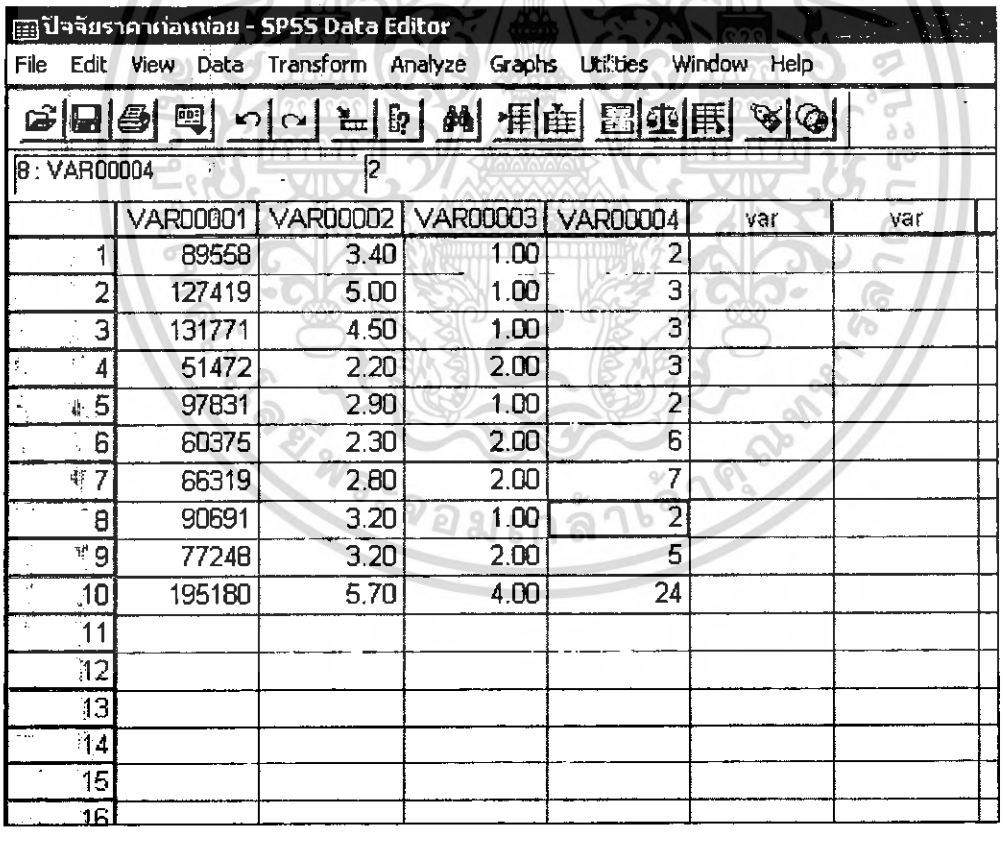


ปัจจัยราคาต่อเหมือย - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values
1	VAR00001	Numeric	8	0	Price Tunnel per Length	None
2	VAR00002	Numeric	8	2	Diameter of Tunnel	None
3	VAR00004	Numeric	8	0	Number of Shield	None
4	VAR00005	Numeric	8	0	Number of Shaft	None
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

รูปที่ 6.1. การประกาศตัวแปรและระบุคุณสมบัติตัวแปรในโปรแกรม SPSS



ปัจจัยราคาต่อเหมือย - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

8 : VAR00004 2

	VAR00001	VAR00002	VAR00003	VAR00004	var	var
1	89558	3.40	1.00	2		
2	127419	5.00	1.00	3		
3	131771	4.50	1.00	3		
4	51472	2.20	2.00	3		
5	97831	2.90	1.00	2		
6	60375	2.30	2.00	6		
7	66319	2.80	2.00	7		
8	90691	3.20	1.00	2		
9	77248	3.20	2.00	5		
10	195180	5.70	4.00	24		
11						
12						
13						
14						
15						
16						

รูปที่ 6.2. การลงข้อมูลในโปรแกรม SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1. ข้อมูลของวิธีการ All Possible Regression

โครงการที่	Y	X_1	X_2	X_3
1	89558	3.40	1	2
2	127419	5.00	1	3
3	131741	4.50	1	3
4	51472	2.20	2	3
5	97831	2.90	1	2
6	60375	2.30	2	6
7	66319	2.80	2	7
8	90691	3.20	1	2
9	77248	3.20	2	5
10	195180	5.40	4	24

6.3. ขั้นตอนการวิเคราะห์

6.3.1. เขียนตารางและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R_p^2 ของแต่ละสมการ

เลือกตัวแปรและสร้างสมการประมาณราคาโดยวิธี All Possible Regression เริ่มจากรูปแบบที่ไม่มีตัวแปรอิสระอยู่ในรูปแบบเลยมาเป็นรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว รูปแบบตัวแปรอิสระ 2 ตัว จนถึงรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว มีจำนวนรูปแบบเซตย่อยทั้งหมดเท่ากับ $2^3 = 9$ รูปแบบที่จะคัดเลือก ต่อมาใส่ตัวแปรอิสระทุกตัวที่คาดว่ามีขีดความสามารถและเป็นประโยชน์ลงในรูปแบบ ทั้งนี้โดยการใส่ตัวแปรอิสระตัวแรกก่อน แล้วเพิ่มขั้นทีละตัวและสร้างสมการจากรูปแบบต่างๆ จนครบทั้ง 9 รูปแบบเซตย่อย โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

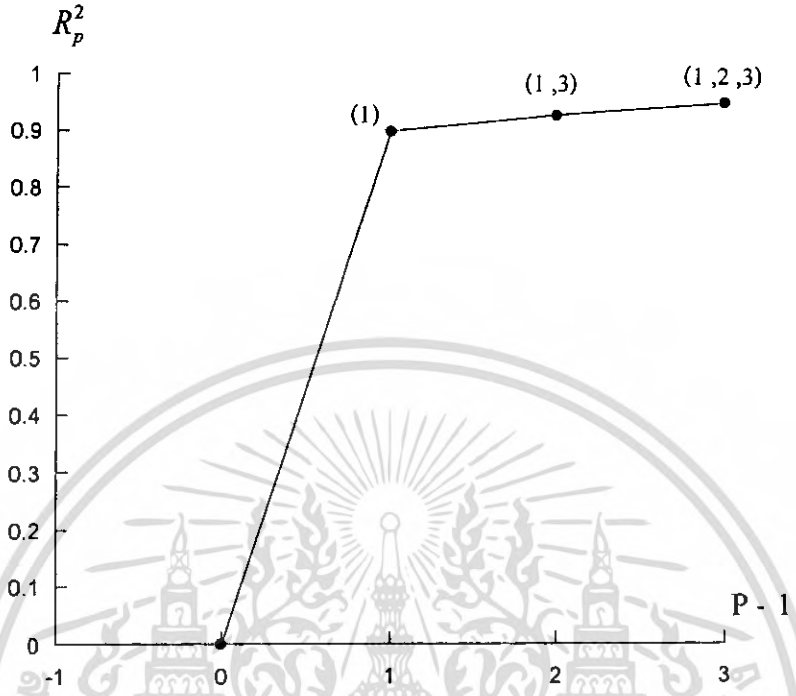
ตารางที่ 6.2. ผลลัพธ์ของวิธีการ All Possible Regression

ตัวแปรอิสระในรูปแบบ	p	$(R_p)^2$
Y	1	0
X_1	2	0.904**
X_2	2	0.166
X_3	2	0.464
X_1, X_2	3	0.922
X_1, X_3	3	0.934**
X_2, X_3	3	0.863
X_1, X_2, X_3	4	0.958**

6.3.2. เขียนกราฟแสดงค่า R_p^2 ของแต่ละรูปแบบคู่กับจำนวนตัวแปรอิสระ

นำค่า R_p^2 พล็อตกราฟคู่กับจำนวนตัวแปรอิสระ (p-1) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.3. รูปแบบการถดถอยที่ดีคือรูปแบบที่มี R_p^2 สูง ค่า R_p^2 สูงสุดแต่ละกลุ่มของจำนวนตัวแปรอิสระปรากฏไว้ที่จุดสูงสุดของกราฟในแต่ละ (p-1) จุดเหล่านี้โยงด้วยเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าในรูปแบบการถดถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

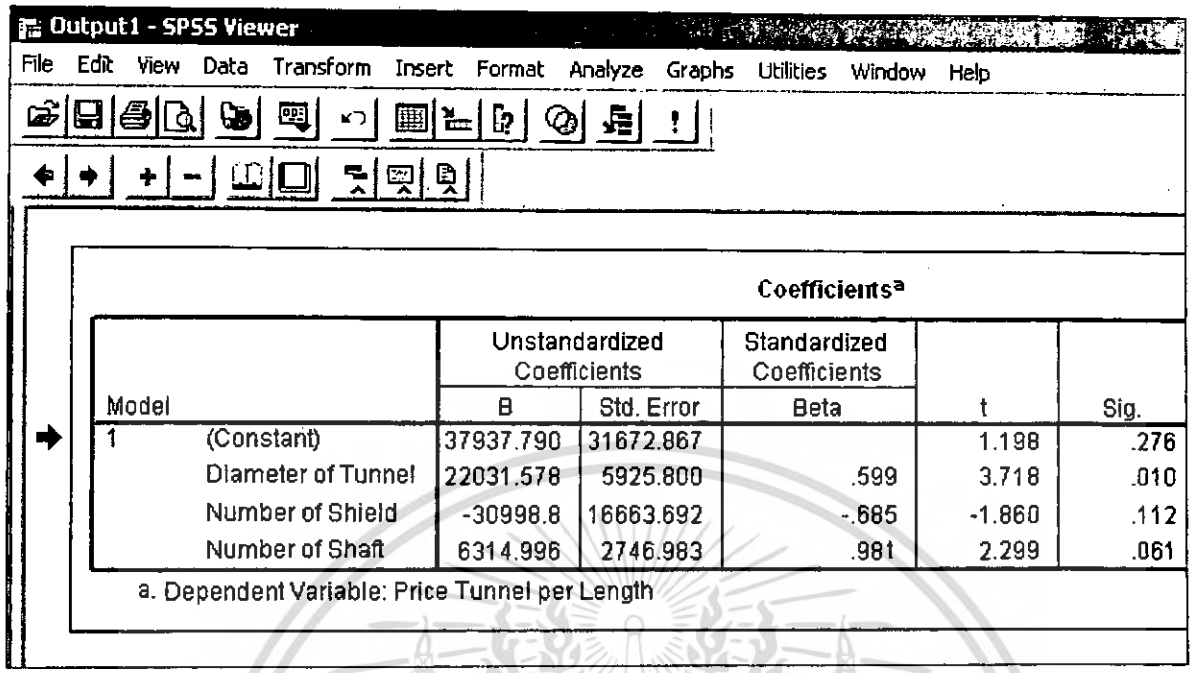


รูปที่ 6.3. พล็อต R_p^2 คู่กับจำนวนตัวแปรอิสระสำหรับ All Possible Regression

6.3.3. พิจารณา R_p^2 เลือกสมการที่มีค่า R_p^2 สูงสุด หรือค่าใกล้เคียง

เริ่มพิจารณาจาก รูปแบบที่มีตัวแปรอยู่ในสมการเพียงตัวเดียวมีค่า $R_1^2 = 0.904$ พิจารณารูปแบบที่มีตัวแปร (X_1 , X_3) มีค่า $R_2^2 = 0.934$ จะเห็นได้ว่าเมื่อตัวแปร X สองตัวอยู่ในรูปแบบแล้ว ค่า R_p^2 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพื่อให้ได้ผลของการประมาณราคาที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเราจะทำการเลือกรูปแบบที่มีค่า R_p^2 สูงที่สุด คือรูปแบบที่มีตัวแปรอยู่ในสมการครบทุกตัว (X_1 , X_2 , X_3) มีค่า $R_3^2 = 0.958$ ถึงแม้ว่ารูปแบบสมการอื่นที่มีตัวแปรอยู่ในสมการน้อยกว่าจะง่ายต่อการนำไปใช้งานมากกว่า แต่ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาทำสมการประมาณราคาที่ต้องการค่าความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	37937.790	31672.867		1.198	.276
	Diameter of Tunnel	22031.578	5925.800	.599	3.718	.010
	Number of Shield	-30998.8	16663.692	-.685	-1.860	.112
	Number of Shaft	6314.996	2746.983	.981	2.299	.061

a. Dependent Variable: Price Tunnel per Length

รูปที่ 6.4. หน้าจอแสดงสมการทำนายผลที่ได้จากโปรแกรม SPSS

6.4. การสรุปชุดตัวแปรและการหาสมการการประมาณราคา

สรุปตัวแปรที่ใช้ในการหาสมการการถดถอยมี 3 ตัวแปร คือ

1. คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ (เมตร)
2. คือ จำนวนหัวขุดเจาะ
3. คือ จำนวนปล่องอุโมงค์

ดังนั้นสมการการประมาณราคา คือ

$$Y = 37938 + 22032X_1 - 30999X_2 + 6315X_3$$

โดย X_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ (เมตร)

X_2 = จำนวนหัวเจาะ

X_3 = จำนวนปล่องอุโมงค์

Ytot = ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อ 1 เมตร (บาท/เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขของสมการ

1. หัวเจาะที่ใช้ในการขุดเจาะจะต้องเป็นชนิด EPB (Earth Pressure Balance) เท่านั้น

2. อุโมงค์จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในระหว่าง 2.30 เมตร ถึง 5.70 เมตร

3. อุโมงค์จะต้องมีความลึกอยู่ในช่วง 18.00 เมตร ถึง 28.00 เมตร

4. ตัวแปรจำนวนหัวเจาะ(X_2)ที่ทำการป้อนข้อมูลลงในสมการที่มีระยะทางไม่เกิน 8,000 เมตร ใช้ 1 หัวเจาะ ระยะทางตั้งแต่ 8,001 ถึง 16,000 เมตร ใช้ 2 หัวเจาะ ระยะทางตั้งแต่ 16,001 ถึง 24,000 เมตร ใช้ 3 หัวเจาะ สำหรับระยะทางที่มากกว่า 24,001 เมตร ทุกๆระยะทางที่เพิ่มขึ้น 8,000 เมตร จำนวนหัวเจาะจะเพิ่มขึ้น 1 หัวเจาะ

5. ตัวแปรจำนวนปล่องอุโมงค์(X_3)ที่ทำการป้อนข้อมูลลงในสมการที่มีระยะทางไม่เกิน 3,000 เมตร ใช้ 2 ปล่องอุโมงค์ ระยะทางตั้งแต่ 3,001 ถึง 6,000 เมตร ใช้ 3 ปล่องอุโมงค์ ระยะทางตั้งแต่ 6,001 ถึง 9,000 เมตร ใช้ 4 ปล่องอุโมงค์ สำหรับระยะทางที่มากกว่า 9,001 เมตร ทุกๆระยะทางที่เพิ่มขึ้น 3,000 เมตร จำนวนปล่องอุโมงค์จะเพิ่มขึ้น 1 ปล่องอุโมงค์

**หมายเหตุ หากค่าตัวแปรต่างๆที่นำมาป้อนค่าลงในสมการไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการอาจทำให้ค่าที่ได้จากสมการประมาณราคามีค่าความผิดพลาดสูง

การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้โดยทำการทดสอบกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ของโครงการ C ก่อสร้างในปี 2547 มีความยาวของอุโมงค์เท่ากับ 5,800 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายในอุโมงค์เท่ากับ 4.50 เมตร จำนวนหัวเจาะที่ใช้จำนวน 1 หัวเจาะ จำนวนปล่องอุโมงค์ที่ใช้จำนวน 3 ปล่องอุโมงค์ ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ 949,988,600 บาท

$$Y = 37938 + 22032X_1 - 30999X_2 + 6315X_3$$

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์	=	4.50	เมตร
จำนวนหัวขุดเจาะ	=	1	หัวเจาะ
จำนวนปล่องอุโมงค์	=	3	ปล่องอุโมงค์

$$Y = 37938 + (22032 \times 4.50) - (30999 \times 1) + (6315 \times 3)$$

$$= 125,062 \text{ บาท/เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อความยาว 1 เมตร = 125,062 บาท/เมตร

ความยาวอุโมงค์ = 5,800 เมตร

ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ = 125,062 × 5,800

= 725,151,044 บาท

ดัชนีราคาปี 2547 = 1.243 เทียบกับปี 2543

ดังนั้นแปลงเป็นต้นทุนในปี 2547

ต้นทุนรวม = 725,151,044 × 1.243

= 901,362,748 บาท

ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณ

= (901,362,748– 949,988,600) × 100 / 949,988,600

= -5.12 %

6.5. สรุปการหาค่าความผิดพลาดของสมการ

นำสมการที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดจากข้อมูลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ของโครงการทั้งหมด 10 โครงการ ได้ค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการต่างๆ ดังนี้

- โครงการ A มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 5.49 %
- โครงการ B มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 6.77 %
- โครงการ C มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 5.12 %
- โครงการ D มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 15.77 %
- โครงการ E มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 14.69 %
- โครงการ F มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 6.84 %
- โครงการ G มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 23.39 %
- โครงการ H มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.68 %
- โครงการ I มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 7.55 %
- โครงการ J มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.99 %

ราคาอุโมงค์ต่อหนึ่งเมตรที่ได้จากสมการประมาณราคาเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้างจริงได้ค่าผิดพลาดมากกว่า 10 % จำนวน 3 โครงการจากทั้งหมด 10 โครงการ ค่าผิดพลาดสูงสุดมีค่า 23.39 % โดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 8.18 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 กล่าวนำ

จากการรวบรวมปัจจัยต่างๆ สามารถจะสรุปผลที่ได้ว่า ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆมากมาย เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วิธีการก่อสร้าง รูปแบบการใช้งาน การตกแต่ง ความยาวของอุโมงค์ ระบบป้องกันภัย ระบบรักษาความปลอดภัย และหมวดงานอื่นๆ ซึ่งมีผลกระทบที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์เปลี่ยนแปลง

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์

เนื่องจากจำนวนในการก่อสร้างอุโมงค์ประปา และ อุโมงค์ขนส่งมวลชน ในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก ทำให้รูปแบบของราคาค่าก่อสร้างยังคงมีไม่มาก แต่อาจจะแบ่งได้ตามลักษณะการใช้งาน เพราะฉะนั้นในการประมาณราคาค่าก่อสร้าง จะต้องมีข้อมูลต่างๆที่ถูกต้องแม่นยำ ถึงจะทำให้การประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ มีความเที่ยงตรง

โดยเมื่อดูจากลักษณะการใช้งานแล้ว อุโมงค์ขนส่งมวลชน จะมีปัจจัยที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างมีราคาที่สูงกว่า ถึงแม้ว่า ขนาดของอุโมงค์จะมีขนาดที่เท่ากันก็ตาม เนื่องจากอุโมงค์ขนส่งมวลชน จำเป็นจะต้องมีระบบรักษาความปลอดภัย เพื่อรักษาชีวิตของประชาชน รูปแบบการตกแต่ง ความสวยงาม และจุดเชื่อมต่อต่างๆทั้งหลายเหล่านี้จะต้องมีการก่อสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น

ในขณะที่อุโมงค์ส่งน้ำ ไม่จำเป็นจะต้องมีปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมา เพราะฉะนั้น พอจะสรุปได้ว่า ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอุโมงค์ ขนาดอุโมงค์ ความยาวของอุโมงค์ พื้นที่ในการก่อสร้างอุโมงค์ และสถานที่เตรียมวัสดุ ความหนาแน่นของประชากรในการใช้พื้นที่ดังกล่าว ซึ่งทำให้การก่อสร้าง มีความยากลำบากมากขึ้นทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 สรุปผลผลการศึกษา

1. สรุปการแบ่งหมวดหมู่ของงานก่อสร้างอุโมงค์ทั้งโครงการ ได้แก่ งานเตรียมการเบื้องต้น งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ งานก่อสร้างอุโมงค์ โดยแยกข้อมูลในส่วนของราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์มาวิเคราะห์โดยไม่คำนึงถึงราคาของหมวดหมู่งานอื่นๆ

2. นำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ที่ได้จาการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายนำมาศึกษาสามารถสรุปได้จำนวน 15 ปัจจัย มีดังนี้ ความยาวของอุโมงค์ ขนาดของอุโมงค์ ประเภทหัวขุดเจาะ ประเภทของชั้นดินบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ ความลึกของอุโมงค์ จำนวนปล่องอุโมงค์ ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ สถานที่ตั้งของโครงการ สิ่งแวดล้อมบริเวณที่ทำการก่อสร้าง สถานที่เก็บวัสดุอุปกรณ์ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนผิวดิน การปรับปรุงคุณภาพดิน ระยะเวลาในการก่อสร้าง ประเภทของการก่อสร้างและงานอุปสรรค

3. จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยการนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ขั้นต้น มาเขียนกราฟหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้างสูง สามารถสรุปได้ 4 ปัจจัย ดังนี้

- ความยาวของอุโมงค์ โดยเมื่อความยาวของอุโมงค์เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อราคาอุโมงค์ต่อปริมาตรของอุโมงค์ แต่จะมีผลในส่วนของราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์โดยตรง
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ โดยราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะมีแนวโน้มแปรผันตามกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์โดยเป็นความสัมพันธ์แบบ Exponential แต่กราฟของความสัมพันธ์นี้จะไม่ตัดกับแกน x ที่จุด (0,0) แต่จะตัดกับแกน y ที่ค่าๆหนึ่งซึ่งอาจเป็นค่าใช้จ่ายพื้นฐานด้านการเตรียมการก่อสร้างเบื้องต้น
- เมื่ออุโมงค์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นทำให้ราคาต่อหน่วยปริมาตรลดน้อยลง โดยการลดน้อยลงจะเป็นแบบ Exponential เช่นกัน
- จำนวนหัวเจาะ โดยเมื่อมีการใช้หัวเจาะที่มากขึ้นจะทำให้ราคาค่าก่อสร้างที่เทียบกับปริมาตรและจำนวนหัวเจาะนั้น มีค่าน้อยลง แต่หากมีการใช้หัวเจาะที่มากเกินความพอดีซึ่งอยู่ในขั้นตอนของการวางแผนก็จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์สูงเกินกว่าความเป็นจริงได้
- จำนวนปล่องอุโมงค์ โดยจำนวนปล่องอุโมงค์ (Shaft) จะมีแนวโน้มแปรผันตามกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ ราคาค่าก่อสร้างปล่องอุโมงค์มีค่าร้อยละเทียบกับราคาค่าก่อสร้างทั้งโครงการอยู่ที่ 8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างราคาของหมวดงานหรือปัจจัยต่างๆ โดยมีคู่ความสัมพันธ์ที่มีความสอดคล้องกันดังนี้

- ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จะแปรผันตามกับหมวดงานดังนี้ คือ ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ ราคาหัวเจาะ ปริมาตรอุโมงค์ จำนวนปล่องอุโมงค์ ราคางานคอนกรีตเกร้าท์ ราคางานระบบความปลอดภัย ราคางานรื้อถอน

- ราคาหัวเจาะจะแปรผันตามกับปริมาตรอุโมงค์

- ราคาชิ้นส่วนผนังอุโมงค์จะแปรผันตามกับปริมาตรอุโมงค์ และ จำนวนปล่องอุโมงค์

- ราคางานขนย้ายดินจะแปรผันตามกับปริมาตรอุโมงค์

5. ราคาหมวดงานที่มีสัดส่วนมากที่สุดในการก่อสร้างอุโมงค์คือ ราคางานผนังอุโมงค์คอนกรีตอยู่ที่โครงการ A คือ 63.63% และค่าต่ำสุดอยู่ที่โครงการ C คือ 44.07% แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกโครงการ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ50.88% ของราคาการก่อสร้างอุโมงค์ รองลงมาเป็นราคาหัวเจาะและระบบติดตั้งผนังอุโมงค์ โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ที่โครงการ C คือ 37.21% และค่าต่ำสุดอยู่ที่โครงการ A คือ 15.79% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.55% ราคางานที่มีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุดคือ งานสูบน้ำ คือมีค่าเฉลี่ย 0.11% รวมถึงราคางานอื่นๆ ที่มีสัดส่วนไม่ถึง 1% ได้แก่ งานทำความสะอาดอุโมงค์ 0.44% ราคางานฆ่าเชื้อโรค ราคางานทดสอบอุโมงค์ 0.56% ราคางานรื้อถอน 0.46% ราคางานควบคุมและขับหัวเจาะ 0.29%

6. แนวโน้มราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อความยาวมีดังนี้

ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ต่อความยาว(บาท/เมตร) = 37,938 + 22,032(ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ (เมตร)) - 30,999(จำนวนหัวเจาะ) + 6,315(จำนวนปล่องอุโมงค์)

เงื่อนไขของสมการ

6.1 หัวเจาะที่ใช้ในการขุดเจาะจะต้องเป็นชนิด EPB (Earth Pressure Balance)

6.2 อุโมงค์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในระหว่าง 2.30 เมตร ถึง 5.70 เมตร

6.3 อุโมงค์มีความลึกอยู่ในช่วง 18.00 เมตร ถึง 28.00 เมตร

6.4 ตัวแปรจำนวนหัวเจาะ(X_2)ที่ทำการป้อนข้อมูลลงในสมการที่มีระยะทางไม่เกิน 8,000 เมตร ใช้ 1 หัวเจาะ ระยะทางตั้งแต่ 8,001 ถึง 16,000 เมตร ใช้ 2 หัวเจาะ ระยะทางตั้งแต่ 16,001 ถึง 24,000 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ 3 หัวเจาะ สำหรับระยะทางที่มากกว่า 24,001 เมตร ทุกๆระยะทางที่เพิ่มขึ้น 8,000 เมตร จำนวนหัวเจาะจะเพิ่มขึ้น 1 หัวเจาะ

- ตัวแปรจำนวนปล่องอุโมงค์(X_3)ที่ทำการป้อนข้อมูลลงในสมการที่มีระยะทางไม่เกิน 3,000 เมตร ใช้ 2 ปล่องอุโมงค์ ระยะทางตั้งแต่ 3,001 ถึง 6,000 เมตร ใช้ 3 ปล่องอุโมงค์ ระยะทางตั้งแต่ 6,001 ถึง 9,000 เมตร ใช้ 4 ปล่องอุโมงค์ สำหรับระยะทางที่มากกว่า 9,001 เมตร ทุกๆระยะทางที่เพิ่มขึ้น 3,000 เมตร จำนวนปล่องอุโมงค์จะเพิ่มขึ้น 1 ปล่องอุโมงค์

**หมายเหตุ หากค่าตัวแปรต่างๆที่นำมาป้อนค่าลงในสมการไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการอาจทำให้ค่าที่ได้จากสมการประมาณราคามีค่าความผิดพลาดสูง

7.. นำสมการที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดจากข้อมูลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ของโครงการทั้งหมด 10 โครงการ ได้ค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการต่างๆ ดังนี้

- โครงการ A มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 5.49 %
- โครงการ B มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 6.77 %
- โครงการ C มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 5.12 %
- โครงการ D มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 15.77 %
- โครงการ E มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 14.69 %
- โครงการ F มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 6.84 %
- โครงการ G มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 23.39 %
- โครงการ H มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.68 %
- โครงการ I มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 7.55 %
- โครงการ J มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.99 %

ราคาอุโมงค์ต่อหนึ่งเมตรที่ได้จากสมการประมาณราคาเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้างจริงได้ค่าผิดพลาดมากกว่า 10 % จำนวน 3 โครงการจากทั้งหมด 10 โครงการ ค่าผิดพลาดสูงสุดมีค่า 23.39 % โดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 8.18 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.ข้อเสนอแนะ

- ราคาในส่วนของชิ้นส่วนผนังอุโมงค์มีอัตราส่วนราคาเมื่อเทียบกับราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ มากถึง 50.06% หากมีการออกแบบให้ความหนาของผนังอุโมงค์มีความหนาน้อยที่สุดโดยคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย จะสามารถลดราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ลงได้มาก

- ราคาต่อความยาวของอุโมงค์จะแปรผันตามกับของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดถ้าไม่คำนึงถึงความยาวของอุโมงค์(คิดราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ในหน่วยของราคาค่าก่อสร้างต่อความยาว 1 เมตร)โดยหากเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ดลงจะสามารถลดราคาของหมวดงานในหลายหมวดงานได้ เช่น ราคาของหัวเจาะจะถูกลงเนื่องจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงจะทำให้ขนาดของหัวเจาะเล็กลงไปด้วย ราคาของผนังอุโมงค์หากใช้ผนังอุโมงค์ที่มีความหนาดงที่ก็จะทำให้ปริมาตรของคอนกรีตที่ทำการหล่อผนังอุโมงค์ลดลงส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ถูกลง ราคาของงานขนย้ายดินเนื่องจากปริมาตรของอุโมงค์ที่ลดลงจะทำให้ปริมาตรดินที่ต้องทำการขนย้ายน้อยลงตามไปด้วย

ในด้านการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำหากสามารถลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ส่งน้ำได้ ก็จะทำให้สามารถลดราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ลงได้ แต่อาจจะต้องออกแบบอัตราเร็วของน้ำ เพื่อให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสมตามที่ต้องการ

- เนื่องจากจำนวนข้อมูลราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์ที่ได้นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์นั้นมีอยู่ค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีการคาดเคลื่อน ถ้าหากมีจำนวนข้อมูลมากกว่านี้ก็น่าจะทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ดร. ยุทร ไกยวรรณ์, 2546. สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพ : บริษัทพิมพ์ดีจำกัด
- สุพจน์ ศรีนิล, 2547. คู่มือการพิมพ์และการเขียนปริญญานิพนธ์. 100 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพ : แผนกตำรา คณะวิศวะกรรมศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาลาดกระบัง
- สรวิศ แสงกาญจนวนิช, 2549. ระบบการจัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร. ปริญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ธวัชชัย งามสันติวงศ์, 2540. เอส พี เอส เอส/พีซี+ เอส พี เอส เอส ฟอร์วิน โดวส์หลักการและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพ : บริษัทเซ็นจูรี่จำกัด
- วิชิด หล่อจีระชุณห์กุล, 2548. เทคนิคการพยากรณ์. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพ : โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการสถาบันพัฒนบริหารศาสตร์
- นิรันดร์ เล้าสกุล, 2546. การประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์และงานท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยวิธีแบบจำลองมอนติคาร์โล. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง

ปี	ดัชนี	หมายเหตุ
2521	18.73	
2522	27.83	
2523	34.13	
2524	38.23	
2525	40.43	
2526	40.83	
2527	41.13	
2528	42.43	
2529	41.83	
2530	44.53	
2531	52.23	
2532	61.03	
2533	67.63	
2534	72.23	
2535	71.83	
2536	72.83	
2537	74.83	
2538	78.53	
2539	79.73	
2540	85.03	
2541	104.13	
2542	98.33	
2543	100.00	ปีฐาน
2544	104.43	
2545	105.03	
2546	112.80	
2547	124.30	
2548	124.30	
2549	127.40	

ที่มา : กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลราคาที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ราคาหัวเจาะ	26,868	340,769	439,335	161,793	46,155	309,468	360,055	124,842	364,775	991,345
ราคา primary segment	108,276	466,315	520,433	209,563	69,904	406,186	1,084,562	212,490	610,440	1,670,323
งานขนย้ายดิน	2,215	13,546	49,544	7,672	9,366	18,377	16,880	11,930	30,605	72,522
งานทำความสะอาดอุโมงค์	401	15,544	2,781	1,648	600	4,588	4,351	862	2,651	15,700
งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	84	45	580	497	909	2,827	1,088	206	600	3,336
safety	4,180	2,257	29,010	11,918	7,521	6,000	54,381	10,327	30,004	68,819
งานระบบ	9,159	10,693	33,900	47,005	72,069	67,473	93,660	22,996	78,351	202,050
การฆ่าเชื้อโรค	252	136	1,750	1,406	378	1,559	2,175	1,106	6,343	6,699
งานคอนกรีตเกร้าท์	11,017	6,387	82,083	34,043	36,086	59,653	132,370	21,496	69,555	205,886
งานทดสอบอุโมงค์	5,000	5,500	786	938	1,143	1,274	2,610	646	6,519	11,496
งานรื้อถอน	1,720	928	11,935	4,904	2,577	1,318	22,374	4,249	12,345	27,429
งานควบคุมและขับหัวเจาะ	989	635	8,157	3,351	1,762	460	6,215	9,074	5,582	15,945
อื่นๆ	-	55,949	541	380	6,521	14,365	12,430	134	3,504	45,089
รวม	170,160	918,706	1,180,836	485,118	254,991	893,548	1,793,151	420,358	1,221,275	3,336,641

ตารางที่ ข.9 แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานรวมของโครงการอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานเตรียมการและดำเนินการก่อสร้าง	17,500	43,163	56,795	37,282	11,439	78,452	101,176	53,066	84,442	1,220,926
งานก่อสร้างอุโมงค์	170,160	918,706	1,180,836	485,118	254,991	893,548	1,793,151	420,358	1,221,275	3,336,641
งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	23,100	122,681	88,586	63,694	25,122	132,374	129,205	32,148	123,042	120,615
รวม	210,760	1,084,550	1,326,217	586,093	291,552	1,104,373	2,023,532	505,572	1,428,759	4,678,182

ตารางที่ ข.7 แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานขุดดิน	5,372	26,347	19,024	11,236	5,607	28,159	30,803	6,144	30,986	26,624
งานคอนกรีต	6,896	51,244	37,003	23,369	9,921	46,478	53,576	9,017	50,247	46,693
งาน Backfill	2,086	8,488	6,129	3,194	1,807	7,806	8,080	8,080	7,758	8,658
การซ่อมแซมในงาน	684	1,440	1,040	675	306	1,703	1,865	685	3,864	1,973
งานเกราท์แบบนอนชิงค์	837	2,637	1,904	451	561	627	7,365	878	2,150	2,755
ติดตั้งท่อต่างๆ	3,235	9,651	6,970	5,688	2,054	8,387	7,359	1,902	17,404	10,116
เหล็กรูปพรรณ	886	3,017	2,179	222	642	9,221	3,400	1,124	445	3,657
การเคลื่อนย้าย	1,216	5,596	4,041	10,279	1,191	10,211	1,554	622	34	5,835
ตรวจสอบความปลอดภัย	686	1,454	1,049	1,212	309	1,580	1,575	758	5,760	2,284
การปรับปรุงดิน	973	3,692	2,666	3,541	785	2,300	8,771	758	3,211	4,255
การสำรวจดิน	59	462	334	1,380	98	20	622	472	156	561
การวัดและควบคุม	170	1,177	849	7	251	55	2,374	1,709	1,027	1,190
อื่นๆ	-	7,475	5,397	2,439	1,590	15,827	1,865	-	-	6,016
รวม	23,100	122,681	88,586	63,694	25,122	132,374	129,205	32,148	123,042	120,615

ตารางที่ ข.6 แสดงข้อมูลที่ปรับสภาพแล้วของราคาการเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
เคลื่อนย้ายและติดตั้งหน่วยงาน	3,500	3,530	2,953	3,282	828	3,027	3,439	3,853	7,470	80,742
สำนักงาน	1,500	4,987	7,349	4,171	1,356	6,549	15,388	4,984	7,394	134,287
การเตรียมการ	3,961	9,307	13,882	6,480	3,273	17,813	23,828	17,022	15,692	281,225
งานบริหารและการจัดการ	657	1,425	1,744	2,880	362	2,553	3,920	3,968	5,354	56,674
shop drawing	45	160	423	476	45	314	482	497	372	6,970
งานติดตั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์	12	23	27	37	6	43	50	124	46	918
การจัดการการจราจร	1,731	3,310	4,052	803	906	12,293	14,021	1,611	585	103,223
งานทำถนนทางเข้า	513	1,468	3,095	1,690	431	3,036	4,662	4,301	6,851	64,430
งานรักษาความปลอดภัย	287	2,145	377	8,290	259	1,826	2,804	50	153	40,530
งานสิ่งแวดล้อม	659	399	603	556	124	876	1,345	746	2,455	19,443
ทำความสะอาดหน่วยงาน	75	178	218	313	49	344	528	373	1,011	7,630
การประกันและค้ำประกัน	4,500	11,668	16,523	8,304	3,799	17,600	17,402	15,538	36,809	330,891
อื่นๆ	60	4,564	5,550	-	-	12,178	13,305	-	250	93,964
รวม	17,500	43,163	56,795	37,282	11,439	78,452	101,176	53,066	84,442	1,220,926

ตารางที่ ข.4 แสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ราคาหัวเจาะ	26,868	292,100	353,447	130,163	44,197	309,468	289,666	100,436	286,323	943,868
ราคา primary segment	108,276	403,400	418,691	168,594	66,938	406,186	872,536	170,949	479,153	1,590,330
งานขนย้ายดิน	2,215	12,009	39,859	6,172	8,969	18,377	13,580	9,598	24,023	69,049
งานทำความสะอาดอุโมงค์	401	13,780	2,237	1,326	575	4,588	3,500	694	2,081	14,948
งานสูบน้ำในขณะก่อสร้าง	84	40	467	400	871	2,827	875	166	471	3,176
safety	4,180	2,001	23,339	9,588	7,202	6,000	43,750	8,308	23,551	65,524
งานระบบ	9,159	9,480	27,273	37,816	69,011	67,473	75,350	18,500	61,500	192,374
การฆ่าเชื้อโรค	252	121	1,408	1,131	362	1,559	1,750	890	4,978	6,378
งานคอนกรีตเกร้าท์	11,017	5,662	66,036	27,387	34,555	59,653	106,492	17,294	54,596	196,026
งานทดสอบอุโมงค์	5,000	4,876	632	755	1,095	1,274	2,100	520	5,117	10,946
งานรื้อถอน	1,720	823	9,602	3,945	2,468	1,318	18,000	3,418	9,690	26,115
งานควบคุมและขับหัวเจาะ	989	563	6,562	2,696	1,687	460	5,000	7,300	4,382	15,182
อื่นๆ	-	16,907	435	306	6,244	14,365	10,000	108	2,751	42,930
รวม	170,160	761,762	949,989	390,280	244,174	893,548	1,442,600	338,180	958,615	3,176,845

ตารางที่ ข.5 แสดงข้อมูลราคางานรวม ทั้งโครงการก่อสร้างอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง	17,500	38,265	45,692	29,993	10,954	78,452	81,397	42,692	66,281	1,162,454
งานก่อสร้างอุโมงค์	170,160	814,456	949,989	390,280	244,174	893,548	1,442,600	338,180	958,615	3,176,845
งานก่อสร้างปล่องอุโมงค์	23,100	108,760	71,268	51,242	24,056	132,374	103,946	25,863	96,579	114,839
รวม	210,760	961,481	1,066,949	471,514	279,184	1,104,373	1,627,942	406,736	1,121,475	4,454,138

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลราคางานก่อสร้างปล่องอุโมงค์ (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
งานขุดดิน	5,372	23,357	15,305	9,040	5,369	28,159	24,781	4,943	24,322	25,349
งานคอนกรีต	6,896	45,429	29,769	18,801	9,500	46,478	43,102	7,254	39,440	44,457
งาน Backfill	2,086	7,525	4,931	2,570	1,730	7,806	6,500	6,500	6,089	8,243
การซ่อมแซมในงาน	684	1,277	837	543	293	1,703	1,500	551	3,033	1,878
งานเกราท์แบบนอนชิงค์	837	2,338	1,532	363	537	627	5,925	706	1,688	2,623
ติดตั้งท่อต่างๆ	3,235	8,556	5,607	4,576	1,967	8,387	5,920	1,530	13,661	9,631
เหล็กรูปพรรณ	886	2,675	1,753	179	615	9,221	2,735	904	349	3,482
การเคลื่อนย้าย	1,216	4,961	3,251	8,269	1,140	10,211	1,250	500	26	5,555
ตรวจสอบความปลอดภัย	686	1,289	844	975	296	1,580	1,267	610	4,521	2,175
การปรับปรุงดิน	973	3,273	2,145	2,849	752	2,300	7,056	610	2,521	4,051
การสำรวจดิน	59	410	269	1,110	94	20	500	380	123	534
การวัดและควบคุม	170	1,043	683	6	240	55	1,910	1,375	806	1,133
อื่นๆ	-	6,627	4,342	1,962	1,523	15,827	1,500	-	-	5,728
รวม	23,100	108,760	71,268	51,242	24,056	132,374	103,946	25,863	96,579	114,839

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลราคาการเตรียมการและการดำเนินงานก่อสร้าง (พันบาท)

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
เคลื่อนย้ายและติดตั้งหน่วยงาน	3,500	3,129	2,376	2,640	793	3,027	2,767	3,100	5,863	76,875
สำนักงาน	1,500	4,421	5,912	3,356	1,298	6,549	12,380	4,010	5,804	127,856
การเตรียมการ	3,961	8,251	11,168	5,213	3,134	17,813	19,170	13,694	12,317	267,757
งานบริหารและการจัดการ	657	1,263	1,403	2,317	347	2,553	3,154	3,192	4,203	53,959
shop drawing	45	142	340	383	43	314	388	400	292	6,636
งานติดตั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์	12	20	22	30	6	43	40	100	36	874
การจัดการการจราจร	1,731	2,934	3,260	646	868	12,293	11,280	1,296	459	98,279
งานทำถนนทางเข้า	513	1,301	2,490	1,360	413	3,036	3,751	3,460	5,377	61,344
งานรักษาความปลอดภัย	287	1,902	303	6,669	248	1,826	2,256	40	120	38,589
งานสิ่งแวดล้อม	659	354	485	447	119	876	1,082	600	1,927	18,512
ทำความสะอาดหน่วยงาน	75	158	175	252	47	344	425	300	794	7,264
การประกันและค้ำประกัน	4,500	10,344	13,293	6,681	3,638	17,600	14,000	12,500	28,893	315,044
อื่นๆ	60	4,046	4,465	-	-	12,178	10,704	-	196	89,464
รวม	17,500	38,265	45,692	29,993	10,954	78,452	81,397	42,692	66,281	1,162,454

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลขอบเขตของโครงการก่อสร้างอุโมงค์

โครงการ / หมวดงาน	สนน.กรุงเทพมหานคร			การประปานครหลวง						ร.ฟ.ม.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1. ลักษณะของโครงการ										
1.1. ประโยชน์ของโครงการ	ระบายน้ำ	ระบายน้ำ	ระบายน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ส่งน้ำ	ขนส่ง
1.2. ปีที่ทำการก่อสร้าง	2543	2546	2547	2547	2544	2543	2547	2548	2549	2539
2. ลักษณะรูปทรงอุโมงค์										
2.1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง(ม.)	3.40	5.00	4.50	2.90	2.90	2.30	2.80	3.20	3.20	5.70
2.2. ความยาวของอุโมงค์(ม.)	1,900	5,300	5,800	6,100	2,400	14,800	17,500	3,000	9,700	15,497
2.3. ความลึกเฉลี่ยของอุโมงค์(ม.)	-26.00	-27.50	-20.00	-20.00	-19.00	-21.00	-21.00	-18.00	-18.00	-20.00
2.4. สภาพผิวของอุโมงค์	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
หนา(มม.)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
3. ลักษณะของหัวเจาะ										
3.1. ชนิดหัวเจาะ	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB
3.2. ขนาดหัวเจาะ(ม.)	4.10	5.70	5.20	3.60	3.60	3.00	3.50	3.90	3.90	6.40
3.4. สภาพหัวเจาะ	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่	หัวเจาะใหม่
3.5. การปารุงรักษาที่ระยะทาง(ม.)	2,500	2,500	3,000	3,000	2,500	3,000	3,500	3,000	2,500	800
3.6. จำนวนหัวเจาะที่ใช้ในโครงการ	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1
4. ลักษณะรูปทรงของปล่อง										
4.1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปล่อง(ม.)	10.00	15.00	15.00	10.00	10.00	7.50	10.00	10.00	10.00	15.00
4.2. ความลึกของปล่อง(ม.)	-28.00	-29.00	-23.00	-23.00	-25.00	-23.00	-23.00	-20.00	-20.00	-23.00
4.3. จำนวนปล่องในโครงการ(ปล่อง)	2	3	3	3	2	6	7	2	5	24
4.4. ระยะห่างเฉลี่ยของปล่อง(ม.)	1,900	2,500	3,000	3,000	2,400	2,735	3,500	3,000	2,500	800
5. ลักษณะสภาพชั้นดิน										
5.1. สภาพชั้นดิน	Clay	Sand	Clay	Clay	Clay	Sand	Sand	Clay	Clay	Sand