ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบของอุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

BASIC OF CHARACTERISTIC AND FORM OF TUNNEL,STATION AND ELECTRIC TRAIN

โดย

นาย ธานินทร์ ภูกองสังข์

นาย อรุช ช่างทอง

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASIC OF CHARACTERISTIC AND FORM OF TUNNEL,STATION AND ELECTRIC TRAIN

BY

Mr.Tanin Phookongsung

Mr.Aruch Changthong

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบของอุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

นักศึกษา นาย ธานินทร์ ภูกองสังข์ รหัสประจำตัว 34.103151
นาย อรุช ช่างทอง รหัสประจำตัว 34.109493

หลักสูตร วิศวกรรมศาตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์
อาจารย์ ดร. แดง เหรียญสุวรรณ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ ดร. แดง เหรียญสุวรรณ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นาย อำนวย พานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบของอุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

BASIC OF CHARACTERISTIC AND FORM OF TUNNEL, STATION AND ELECTRIC TRAIN

โดย นาย ธานินทร์ ภูกองสังข์

นาย อรุช ช่างทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์

อาจารย์ ดร. แดง เหรียญสุวรรณ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษ เรื่อง ระบบขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้าใต้ดิน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบของอุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนที่ 2 เรื่องขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนที่ 3 เรื่องระบบบริการในระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดิน

โดยโครงงานพิเศษเล่มนี้ เป็นส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ

-ลักษณะทางกายภาพ การเลือกเส้นทางที่เหมาะสม การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

-การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสม ลักษณะและรูปแบบรวมทั้งองค์ประกอบต่างๆของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน และสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน

-ลักษณะรูปแบบและระบบต่างๆที่สำคัญของตัวรถไฟฟ้าบางชนิดที่ใช้ในระบบขนส่งมวลชนแบบใต้ดิน

ABSTRACT

The spacial project about "the mass transit system by underground train" that consists of ;

first part : about the basic of characteristic and form of tunnel,station and electrictrain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

second part . about the steps and techniques of the construction of underground train 's tunnel

third part : about service system of the mass transit system by underground train

From part one , we learn

-the physically characteristic,that consist of how to choose the suitable rout , the right measurement,and the caring for the underground train's tunnel

-the way to choose the suitable route , characteristics and forms including the composition of underground train's station and the depot

-the characteristic , forms and some improtant system of underground train's body which used with the mass transit system by underground train

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณแก่บุคคลดังต่อไปนี้

อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์ , ผศ ดร.แดง เหรียญสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ ดร.แดง เหรียญสุวรรณ, อาจารย์ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อเอกสารข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น

Prof.Dr. Felix E.H. Haser ที่คอยแนะนำและเอื้อเฟื้อข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น

คุณ สันติ เสถียรกิจเจริญ เจ้าหน้าที่ฝ่ายการพาณิชย์ สถานเอกอัครราชฑูตฝรั่งเศส ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารข้อมูลต่าง ๆ

บริษัท คริสเตียนี แอนด์ นิลเส็น, สำนักงานช่างช่าง ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ

บิดามารดาและญาติพี่น้องทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

เพื่อน ๆ ทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือในทุก ๆ อย่างที่เกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

นาย ธานินทร์ ภูกองสังข์

นาย อรุช ช่างทอง

คณะผู้จัดทำ

30 เมษายน 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	เลขหน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	8
2.1 ลักษณะของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	8
2.2 ลักษณะการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	16
2.2.1 หลักการพิจารณาเลือกเส้นทางของอุโมงค์โดยทั่วไป	16
2.2.2 วิธีการพิจารณาเลือกเส้นทางของอุโมงค์	17
2.2.2.1 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Saddle	17
2.2.2.2 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Base	17
2.2.2.3 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Spiral	18
2.2.2.4 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Offspur	18
2.2.2.5 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Slope	19
2.2.3 หลักการเลือกเส้นทางของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	20
2.2.3.1 หลักการพิจารณาเลือกเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน	21
2.2.3.2 แนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพมหานคร	22
2.3 ลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	26
2.3.1 ลักษณะรูปร่างของหน้าตัดอุโมงค์แบบต่างๆ	26
Circular	26
Horseshoe	27
Vertical Sidewall	27
Basket Handle	27
2.3.1.1 หลักการเลือกลักษณะหน้าตัดอุโมงค์ที่เหมาะกับการใช้งาน	29
2.3.1.2 เนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์(Tunnel Clearance)	33
2.3.1.3 ผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อหน้าตัดอุโมงค์	34
ผลกระทบทางธรณีวิทยาที่มีต่อหน้าตัดอุโมงค์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เรื่อง **เลขหน้า**

ผลกระทบของวิธีการก่อสร้างที่มีผลต่อหน้าตัดอุโมงค์ 35
ผลกระทบของผนังอุโมงค์ที่มีผลต่อหน้าตัดอุโมงค์ 35
2.3.2 ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน 36
ข้อเปรียบเทียบอุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน 39
ของกลุ่ม METRO 2000
2.3.3 ลักษณะของผนังอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน 43
2.3.3.1 ผนังอุโมงค์ใต้ดินสำหรับดินอ่อน 43
ผนังอุโมงค์ชั่วคราว 43
ผนังอุโมงค์ถาวร 45
2.3.3.2 ผนังอุโมงค์ใต้ดินในหินแข็ง 46
2.3.3.3 ผนังอุโมงค์ใต้ดินแบบชิ้นส่วนประกอบ 47
เหล็กหล่อ 47
เหล็กกล้า 49
คอนกรีตเสริมเหล็ก 50
2.3.3.4 การพิจารณาเลือกชนิดของผนังอุโมงค์ใต้ดิน 55
2.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุโมงค์เพื่อป้องกันความวิบัติ 57
ที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
2.4.1 สาเหตุของความวิบัติของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน 57
2.4.1.1 ความวิบัติอันเนื่องมาจากวัสดุและการทำงาน 57
2.4.1.2 ความวิบัติเนื่องจากน้ำ 58
2.4.1.3 ความวิบัติเนื่องจากควัน 58
2.4.1.4 ความวิบัติอันเนื่องมาจากสภาพบรรยากาศ 58
2.4.1.5 ความวิบัติเนื่องจากแรงกระแทก 59
2.4.1.6 ความวิบัติอันเนื่องมาจากการบรรทุกเกินน้ำหนัก 59
2.4.1.7 ความวิบัติเนื่องจากแรงดันในอุโมงค์ 59
2.4.1.8 ความวิบัติของตัวรางรถไฟ 59
2.4.2 การตรวจสอบเพื่อป้องกันความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้น 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง **เลขหน้า**

กับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

2.4.2.1 การตรวจสอบรูปร่างของอุโมงค์ 60

2.4.2.2 การตรวจสอบรางรถไฟ 60

2.4.2.1 การตรวจสอบผนังอุโมงค์ 60

2.4.3 องค์กรของงานบริการซ่อมบำรุงอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน 61

บทที่ 3 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 62

3.1 ที่ตั้งและหลักเกณฑ์ในการพิจารณา 62

3.2 รูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 64

3.2.1 สถานีร่วม 64

3.2.2 สถานีทั่วไป 64

3.3 องค์ประกอบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 69

3.4 การวางแผนออกแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 70

3.5 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร 74

3.5.1 ขนาดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมในเขตกรุงเทพมหานคร 74

3.5.2 รายชื่อสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร 75

บทที่ 4 สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน(Depot) 77

4.1 ที่ตั้งและหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็น สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน 78

4.2 รูปแบบโครงสร้างและขนาดพื้นที่สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน 78

4.3 องค์ประกอบของสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน 79

4.3.1 ส่วนพื้นที่กลางแจ้ง 80

4.3.2 พื้นที่ในอาคาร 82

4.4 ข้อเสนอแนะพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์เป็นสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน ของกรุงเทพมหานคร 84

บทที่ 5 ตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน 88

5.1 รูปแบบของตัวรถไฟฟ้าโดยทั่วไป 88

5.1.1 รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยแรงผลักดันแม่เหล็ก(Maglev) 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	เลขหน้า
5.1.2 รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	90
5.2 ลักษณะล้อที่ใช้กับรถไฟฟ้าใต้ดิน	91
5.3 ทางวิ่งและรางรถไฟ (Track and Rail)	95
5.3.1 มาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟ	97
5.3.1.1 ความยาวของทาง ราง และระยะทางบริการ	97
5.3.1.2 ฐานและระดับก่อสร้าง	97
5.3.1.3 ระยะศูนย์กลางราง	99
5.3.1.4 ขอบเขตทางสถาปัตยกรรม	100
5.3.1.5 ส่วนโค้ง	100
5.3.1.6 ความลาด	101
5.3.1.7 สแลค	101
5.3.1.8 คันท์	102
5.3.1.9 เส้นโค้งชคเชย	103
5.4 ลักษณะและระบบของตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน	103
5.4.1 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้าใต้ดินแบบ "BART"	103
5.4.2 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้าใต้ดินแบบ MF 88	116
5.4.3 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้าใต้ดินแบบ VAL	125
5.5 ระบบถ่ายเทอากาศของรถไฟฟ้าใต้ดิน	129
5.5.1 การระบายอากาศตามธรรมชาติ	129
5.5.2 เครื่องระบายอากาศแบบอัตโนมัติ	130
5.5.3 การระบายอากาศแบบฉุกเฉิน	131
5.5.4 สถานีปรับอากาศ	131
5.6 การควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดิน	133
บทสรุป	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
1.1 อุโมงค์ทางหลวงเชื่อมต่อระหว่างเมือง	3
1.2 ภาพเปรียบเทียบระหว่างสะพานกับอุโมงค์ใต้น้ำ	4
1.3 แสดงตำแหน่งการลำเลียงน้ำและ pressure tunnel	5
2.1 ลักษณะอุโมงค์รถไฟใต้ดิน	9
2.2 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์เดี่ยว	10
2.3 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์คู่รางเดี่ยว	11
2.4 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์เดี่ยวรางคู่	12
2.5 อุโมงค์เชื่อมระหว่างรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงลอนดอนประเทศอังกฤษ	13
2.6 อุโมงค์ข้ามช่องแคบอังกฤษฝรั่งเศส	15
2.7 เปรียบเทียบระหว่างวิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ saddle กับแบบ dase	17
2.8 แสดงวิธีการเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ spiral	18
2.9 แสดงวิธีการเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ offspur	19
2.10 แสดงวิธีการวางอุโมงค์แบบ slope	20
2.11 แนวเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุง budapest	22
2.12 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ circular	26
2.13 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ horseshoe	27
2.14 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ vertical sidewall	28
2.15 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ badket handle	28
2.16 รูปร่างหน้าตัดของ railway tunnel	29
2.17 รูปร่างหน้าตัดของ water-conveying tunnel	30
2.18 รูปร่างหน้าตัดของ subway tunnel	30
2.19 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลมของ subway tunnel	31
2.20 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์ของ passenger tunnel	31
2.21 รูปร่างหน้าตัดของ public utility tunnel	32
2.22 รูปร่างหน้าตัดของอุโมงค์ยานพาหนะ(vehicular tunnel)	32
2.23 เนื้อที่ว่างที่ต้องการสำหรับ railway tunnel	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
2.24 เนื้อที่ว่างที่ต้องการสำหรับ motorway tunnel	34
2.25 มาตรฐานหน้าตัดของอุโมงค์แบบรางเดี่ยวและรางคู่ soviet railway	37
2.26 ภาพแสดงวิธีขยายอุโมงค์รถไฟแบบรางเดี่ยวให้เป็นรางคู่(lack-bay kay)	38
2.27 ภาพเปรียบเทียบความกว้างของเส้นทางเมื่ออุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ผ่านใต้ถนนซึ่งอยู่ระหว่างตัวอาคาร โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม metro 2000	41
2.28 ภาพเปรียบเทียบความกว้างของเส้นทางเมื่ออุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ผ่านเข็มสะพานทางด่วน โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม metro 2000	41
2.29 ผนังอุโมงค์ชั่วคราวชนิดโครงเหล็ก(steel ribs)	44
2.30 การพ่นคอนกรีต(shortcreate)	45
2.31 ผนังอุโมงค์คอนกรีตในหินแข็ง	46
2.32 ผนังอุโมงค์แบบเหล็กหล่อ (bolted grey iron)	48
2.33 รายละเอียดผนังอุโมงค์แบบเหล็กกล้า (bolt fabricated steel lining)	50
2.34 ผนังอุโมงค์แบบมาตรฐานสถานรถไฟใต้ดิน bupot circle ,washingtion D.C	51
2.35 ผนังอุโมงค์มาตรฐานแบบ concrete segment	51
2.36 ผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ (frouted smots bor concrete)	52
2.37 ผนังอุโมงค์แบบ expanded concrete	53
2.38 การพัฒนาผนังอุโมงค์จากอดีตจนถึงปัจจุบัน	54
3.1 แสดงที่ตั้งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของโครงการ cairo metro	63
3.2 สถานรถไฟฟ้าใต้ดินแห่งกรุงลอนดอน	65
3.3 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของเมือง rotterdam ประเทศ เนเธอร์แลนด์	66
3.4 ลักษณะสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแบบทั่วไป	67
3.5 สถานรถไฟฟ้าใต้ดิน westminster station	68
3.6 แสดงองค์ประกอบต่างๆของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	69
3.7 สถานรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีทางวิ่งคู่ชานชาลาขนาด 2 ด้านของกลุ่ม metro 2000	72
3.8 สาถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ทางวิ่งคู่ชานชาลาอยู่ระหว่างทางวิ่งของกลุ่ม metro 2000	73
3.9 เส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินและสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
4.1 สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศฝรั่งเศส	77
4.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างของโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินในฝรั่งเศส	79
4.3 บริเวณที่จอดรถไฟฟ้าในโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน	80
4.4 บริเวณทดสอบการวิ่งของรถไฟฟ้าใต้ดินหลังจากทำการซ่อมบำรุงแล้ว	81
4.5 วงเวียนสำหรับกลับหัวรถจักร	81
4.6 บริเวณภายในโรงซ่อมบำรุงที่ใช้ทดสอบเกี่ยวกับราง	82
4.7 บริเวณทดสอบรางภายโรงซ่อมบำรุง	83
4.8 ห้องควบคุมการทำงานภายในโรงซ่อมบำรุง	84
4.9 แสดงบริเวณที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพ	85
5.1 ภาพแสดงการดึงดูดของรถ maglev	89
5.2 รถไฟ jr maglave ที่ใช้ทดสอบวิ่งในประเทศญี่ปุ่น	90
5.3 รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าในเมืองยัมบูร์ก(new s-basn type 472	91
5.4ตัวรถไฟฟ้า y 32 g ซึ่งใช้ล้อเหล็กในการขับเคลื่อน	91
5.5 ลักษณะล้อเหล็กที่ใช้กับรถไฟฟ้า y 32 g	92
5.6 แสดงภาพ top view ของล้อเหล็กที่ใช้กับตัวรถไฟฟ้า y 32 g	92
5.7 ลักษณะตัวรถไฟฟ้า mp 86 ในฝรั่งเศสที่ใช้ล้อยาง	93
5.8 ลักษณะล้อยางที่ใช้กับรถไฟฟ้า mp 86	93
5.9 แสดงภาพ top view ของล้อยางที่ใช้กับรถไฟฟ้า mp 86	94
5.10 แสดงการยึดไม้หมอนกับรางด้วยแผ่นเหล็กประกบ	96
5.11 ทางวิ่ง รางรถไฟ และcontact rail	98
5.12 หน้าตัดรางรถไฟ	99
5.13 ขอบเขตทางสถาปัตยกรรมในอุโมงค์	100
5.14 ตัวรถไฟฟ้าของ bart rapid transit	104
5.15 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้า bart แบบ a	105
5.16 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้า bart แบบ b	106
5.17 แสดงที่นั่งภายในรถไฟฟ้า bart แบบ a และแบบ b	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
5.18 ลักษณะภายนอกของตัวรถไฟฟ้า bart	108
5.19 แสดงโครงสร้างหลังคาของตัวรถไฟฟ้า bart	109
5.20 แสดงโครงสร้างช่วงล่างของตัวรถไฟฟ้า bart	111
5.21 แสดงระบบเบรคแบบไฮดรอลิก ของตัวรถไฟฟ้า bart	113
5.22 มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้ในระบบทำความเย็นของตัวรถไฟฟ้า bart	114
5.23 รถไฟฟ้าใต้ดินแบบ mf 88	116
5.24 แสดงจำนวนตู้ของรถไฟฟ้า mf 88 ใน 1 ขบวน	116
5.25 แสดงโครงสร้างของตัวรถแบบ mf 88	117
5.26 แสดงพื้นที่ภายในรถไฟฟ้า mf 88	118
5.27 ภายในห้องควบคุมของรถไฟฟ้า mf 88	119
5.28 แสดงเบาะนั่งภายในรถไฟฟ้า mf 88	120
5.29 แสดงมอเตอร์ขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า mf 88	121
5.30 แสดงช่วงล่างตัวรถพ่วงของรถไฟฟ้า mf 88	121
5.31 แสดงระบบเบรคของตัวรถไฟฟ้า mf 88	122
5.32 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับของตัวรถไฟฟ้า mf 88	122
5.33 เครื่องช่วยอัดอากาศของตัวรถไฟฟ้า mf 88	123
5.34 ลักษณะบานประตูของตัวรถไฟฟ้า mf 88	123
5.35 ชุดวงจรควบคุมปิด-เปิด ประตูของรถไฟฟ้า mf 88	124
5.36 รถไฟฟ้าแบบ val	125
5.37 ขนาดของตัวรถไฟฟ้า val	126
5.38 แสดงส่วนประกอบต่างของตัวรถไฟฟ้า val	127
5.39 รถไฟฟ้า val ในขณะสับเปลี่ยนเส้นทาง	128
5.40 แสดงการระบายอากาศตามธรรมชาติของรถไฟฟ้าใต้ดิน	129
5.41 การระบายอากาศตามธรรมชาติระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	130
5.42 เครื่องระบายอากาศแบบอัติโนมัติติดตั้งระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	130
5.43 การระบายอากาศแบบฉุกเฉินของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
5.44 การระบายอากาศร้อนออกทางใต้พื้นชานชาลา	131
5.45 การสูบอากาศภายนอกถ่ายเทเข้าในบริเวณแนวรางรถไฟ	132
5.46 การถ่ายเทอากาศระดับฝ้าเพดาน	132
5.47 ห้องควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดิน	134

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินนับได้ว่าเป็นระบบขนส่งมวลชน(Mass transit)ขนาดใหญ่ที่ได้รับการยอมรับตามเมืองใหญ่ ๆ ในหลายประเทศ เช่น มหานครนิวยอร์ค ประเทศสหรัฐอเมริกา มหานครลอนดอน ประเทศ อังกฤษ เมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น ถึงปัจจุบันมีอีกหลายประเทศที่เปิดให้บริการระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินเพิ่มขึ้น ตลอดจนหลายประเทศได้ขยายเส้นทางหรือเพิ่มเส้นทางใหม่ ๆ ซึ่งในไม่ช้า ประเทศไทยก็จะเป็นประเทศต่อไปที่จะมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมาใช้เป็นระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ

เมื่อกล่าวถึงระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ก็จะต้องนึกถึงรถไฟฟ้าที่ใช้ขนส่งผู้คนจำนวนมากซึ่งวิ่งอยู่ใต้พื้นดินไปตามแนวเส้นทางอุโมงค์ถึงจุดหมายต่าง ๆ โดยมีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นจุดบริการผู้โดยสารในการเปลี่ยนเส้นทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง จะเห็นได้ว่า รูปแบบระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ อุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรูปแบบของอุโมงค์ สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน และตัวรถไฟฟ้าโดยทั่วไป ถึงแม้ว่าในประเทศไทยยังไม่เคยมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมาก่อน แต่ความจริงแล้วการก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทยมิใช่สิ่งแปลกใหม่เลย ได้เริ่มทำมานานแล้วนานกว่า 20 ปี ซึ่งในปัจจุบันนี้มีเครือข่ายอุโมงค์อยู่ใต้ดินของกรุงเทพฯ เกือบ 40 กม. เป็นอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงและอุโมงค์ระบายน้ำของ กทม.

อุโมงค์จัดได้ว่าเป็นระบบขนส่งผู้คน หรือเป็นสิ่งก่อสร้างที่สามารถลดอุปสรรคต่าง ๆ ที่จะเจอได้ โดยขึ้นอยู่กับอุปสรรคและระบบจราจรตามพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งอุปสรรคที่พบอาจจะเป็นภูเขา แม่น้ำ เขตจราจรหนาแน่น เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบและลักษณะของอุโมงค์ก็อาจจะแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศนั้น ๆ และจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น อุโมงค์รถไฟ อุโมงค์ทางหลวง อุโมงค์ส่งน้ำ เป็นต้น

อุโมงค์อาจจะแบ่งตามประโยชน์ที่ใช้ ตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสม โดยทั่วไปอุโมงค์จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1. <u>อุโมงค์จราจร</u> (Traffic Tunnels) ซึ่งจะต้องคำนึงระบบอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยผู้คนที่ใช้บริการ

1.1 อุโมงค์รถไฟ (Railway Tunnels)

1.2 อุโมงค์ทางหลวง (Highway Tunnels)

1.3 อุโมงค์รถไฟใต้ดิน (Subway Tunnels)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุโมงค์ขนส่ง (Transportation Tunnels) ซึ่งไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงระบบอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยสำหรับผู้คน แต่จะคำนึงถึงประโยชน์ในการสำเสียงและขนส่ง ได้แก่

2.1 อุโมงค์พลังงานไฟฟ้า (Hydroelectric Power Station Tunnels)

2.2 อุโมงค์ส่งน้ำ (Water Supply Tunnels)

2.3 อุโมงค์สาธารณูปโภค (Public Utilities Tunnels)

2.4 อุโมงค์ขนย้ายของเสีย (Sewer Tunnels)

เกณฑ์การแบ่งที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะที่ตั้ง ตำแหน่งความสัมพันธ์ของภูมิประเทศและขอบเขต สิ่งเหล่านี้จะมีอิทธิพลอย่างยิ่งกับส่วนของอุโมงค์ วิธีการก่อสร้าง การออกแบบและแรงกระทำต่ออุโมงค์

อุโมงค์จราจร (Traffic Tunnels)

อุโมงค์รถไฟ (Railway Tunnels)

ในจำนวนของ Traffic Tunnels ทั้งหมด Railway Tunnels มีลักษณะสำคัญคือไม่มีปัญหามากที่สุดส่วนมากจะพบ Railway Tunnels ตามประเทศที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขา แต่บางครั้งก็อาจจะพบว่าจะสร้างใต้พื้นน้ำหรือในพื้นที่ในเมือง (เช่นในนิวยอร์ค) ในลักษณะที่ตั้งต่าง ๆ กัน บทบาทของอุโมงค์รถไฟตามเทือกเขาจะถูกพิจารณามากกว่า

นอกจากนั้นลักษณะการแบ่งก็ใช้ได้เหมือนกับ Highway Tunnels ตามเทือกเขาต่าง ๆ ลักษณะทั่วไปของ Railway Tunnels จะพิจารณาในส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบ ตำแหน่งที่ตั้ง รูปตัด และ Profile

อุโมงค์รถไฟใต้ดิน (Subway Tunnels)

อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินจะจัดเป็นกลุ่มแยกออกมาจาก Railway Tunnel เพราะว่ามีความแตกต่างจาก Railway Tunnel อื่นๆ เมื่อพิจารณาในด้านที่ตั้ง วิธีการก่อสร้าง วัสดุและอุปสงค์ในการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินจะกล่าวในบทต่อไป

อุโมงค์ทางหลวง (Highway Tunnels)

Highway Tunnels สามารถจำแนกอย่างกว้าง ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

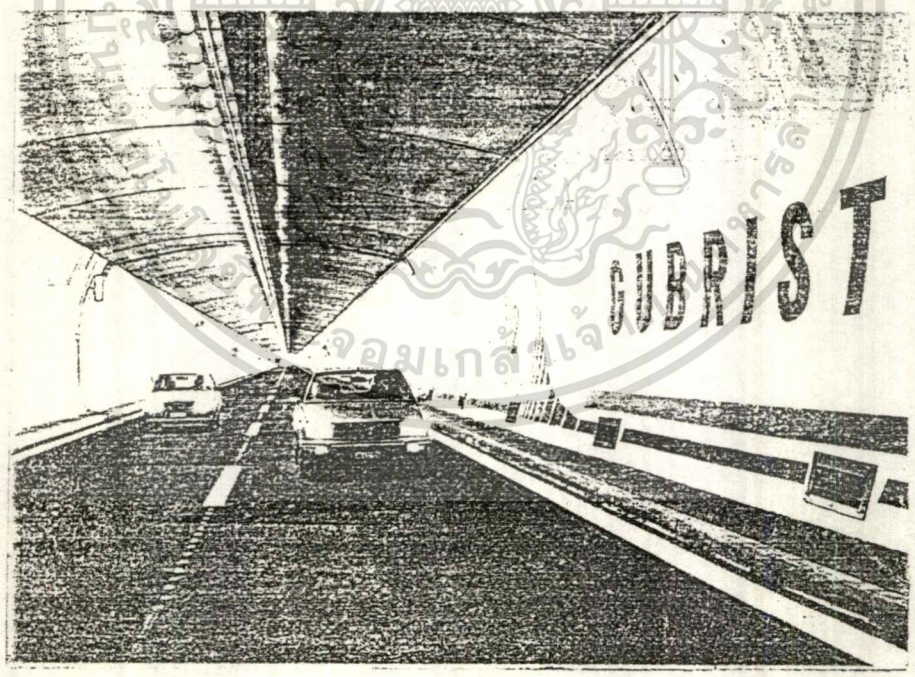
1. อุโมงค์ที่สร้างสำหรับรถยนต์ หรือเส้นทางการจราจรสายหลักใหม่ ๆ อาจจะวางไปตามเช่นเดียวกับอุโมงค์รถไฟเป็นแนวแบบ Pass Tunnel, Base Tunnels (ที่ Mont Blanc เมืองเซ็นต์เบอร์นาร์ด) Offspur หรือ Slope Tunnels แล้วแต่ความเป็นไปได้ โดยมีความลาดชันตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎทางหลวง สำหรับ Spiral Tunnels ต้องไม่สร้างให้ยาวเกินไป เมื่อเทียบข้อแตกต่างกับอุโมงค์รถไฟแล้ว จะมีข้อแตกต่างทางด้าน Cross Section เท่านั้น ที่ความสูงจะลดลง อัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูงในกรณีของการจราจร 2 ช่องทางจะแตกต่างจากเนื้อที่ว่างของทางรถไฟที่ต้องการ Highway Tunnels ตามลักษณะภูมิประเทศเช่นนี้จะถูกก่อสร้างเมื่อไม่นานมานี้ เนื่องจากความสำคัญของการจราจรทางหลวงมีเพิ่มขึ้นอย่างมากมายพร้อมกับการเติบโตขึ้นของยานพาหนะ

ในช่วงเวลาแรก ๆ เส้นทางหลวงจะวางไปตามความลาดชันของภูมิประเทศ ส่วนทางรถยนต์รูปแบบใหม่ ๆ ที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับการจราจรจำนวนมากจะคล้ายกับแบบทางรถไฟ

2. อุโมงค์เชื่อมต่อระหว่างเมือง (Interconnection Tunnels) จะลอดผ่านบริเวณภูเขาน้อยมาก จะอยู่ในเมือง แตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ ในด้านขนาด อุโมงค์ประเภทนี้ตามปกติจะต่อโดยตรงกับถนนสายสำคัญและจำแนกได้โดยความกว้างของถนนและความสูงของหน้าตัดมากจะดีเพื่อช่วยให้ระบายอากาศที่ดี ตัวอย่างเช่น อุโมงค์ในเมืองซานฟรานซิสโก บูคาเบสท์ เนเปิล โรม ฯลฯ หรืออาจติดตั้งระบบระบายอากาศเมื่อใช้หน้าตัดกว้าง ๆ เช่น ในเมืองบรัสเซลส์ ปารีส เป็นต้น

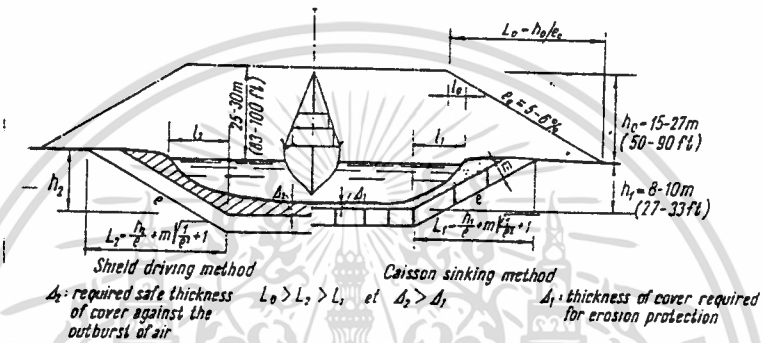


รูปที่ 1.1 อุโมงค์ทางหลวงเชื่อมต่อระหว่างเมือง

3. อุโมงค์ใต้น้ำ จะพบในพื้นที่เมืองประชากรหนาแน่น ในการรองรับการจราจรในเมืองเพื่อการขนส่งแทนสะพานในแม่น้ำ หรือช่องทางที่มีธุรกิจทางเดินเรือขนาดใหญ่มาก สะพานจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุโมงค์ในการเดินเรือ ต้องสร้างสะพานที่มีขนาดใหญ่มากและสูงมาก ๆ ซึ่งมีปัญหาเรื่องฐานรากและการออกแบบ อุโมงค์ใต้น้ำจึงเป็นทางแก้ไขอีกแนวทางหนึ่ง ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ภาพเปรียบเทียบระหว่างสะพานกับอุโมงค์ใต้น้ำ

<u>อุโมงค์ขนส่ง</u> (Transportation Tunnels)

<u>อุโมงค์พลังงานไฟฟ้า</u> (Hydroelectric Plant Tunnels)

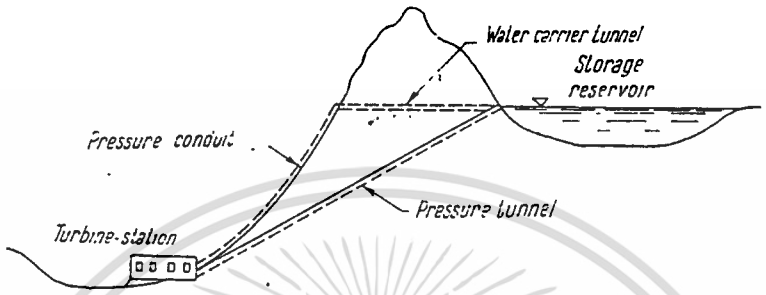
แหล่งน้ำจะให้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะลำเลียงน้ำจากแหล่งน้ำด้านบนส่งมายังโรงงานผลิต (Power House) ซึ่งตั้งอยู่ระดับต่ำกว่า สำหรับอุโมงค์ที่ใช้ประโยชน์ด้านนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้ดังนี้

Pressure Tunnels เป็นอุโมงค์ที่บรรจุน้ำเต็มหน้าตัดอุโมงค์ลงมาหากังหันน้ำ (Turbine) โดยตรง เมื่อพิจารณาความแตกต่างของระดับ จะพบว่าจะมีแรงดันภายในมาก จำเพาะตามธรรมชาติจากด้านหนึ่งของภูเขาไปยังที่อื่น ๆ ดังรูปที่.1.3

อุโมงค์ทั้ง 2 กลุ่มจะแตกต่างกันในด้านแรงกระทำ หน้าตัด และรูปร่าง โดย Pressure Tunnels เมื่อใช้ขนส่งน้ำหลาย ๆ ครั้งจะกิดแรงดันเกินแรงดันของหินภายนอกและแรงดันของน้ำในดิน ซึ่งทำให้เกิด Tensile Stresses แต่ถ้าใช้หน้าตัดอุโมงค์รูปวงกลม (Circular Cross Section) จะสามารถต้านทานได้ Pressure Tunnels มีทั้งอุโมงค์หน้าตัดวงกลม และหน้าตัดรูปเกือกม้า (Horseshoe-shaped Cross-section) สำหรับการต้านแรงดึง หน้าตัดจะใช้ผนังอุโมงค์แบบคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมเหล็ก แต่ถ้าใช้ผนังอุโมงค์แบบเหล็ก (Steel Linings) ก็ใช้ได้เช่นเดียวกัน ผนังอุโมงค์ต้องสามารถกันน้ำรั่วซึมได้ด้วย



รูปที่ 1.3 แสดงตำแหน่งการตำเลียงน้ำและ Pressure Tunnel

สำหรับ discharge Tunnels ตามปกติจะออกแบบใช้หน้าตัดรูปเกือกม้าคล้ายกับ Railway Tunnels ความดันภายในจากการขนส่งน้ำจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความดันของหิน (Rock Pressure) ที่กระทำกับอุโมงค์ จะใช้หน้าตัดรูปเกือกม้าเพราะจะประหยัดสำหรับอุโมงค์ชนิดนี้ จะต้องคำนึงถึงการป้องกันการซึมของน้ำภายในอุโมงค์ด้วย

อุโมงค์ชนิดนี้จะเหมือนกับอุโมงค์เดินเรือ ในด้านสถานที่ก่อสร้าง คือไม่ควรสร้างบริเวณที่มีแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวของหิน

อุโมงค์ส่งน้ำ (Water Supply Tunnels)

อุโมงค์ส่งน้ำจะมีความจำเป็นเหมือนกับ Discharge Tunnels แต่จะแตกต่างกันโดยอุโมงค์ส่งน้ำจะขนส่งน้ำสำหรับบ้าน มาจากน้ำพุ บ่อ อ่างเก็บน้ำ หรือถ้าเก็บน้ำของเมืองซึ่งจากความแตกต่างนี้ ทำให้การก่อสร้างสำหรับการขนส่งน้ำตามบ้านต้องคำนึงถึงการทรุดตัว Supply Tunnels จะสร้างอยู่บนชั้นดินทรายเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ Pressure Tunnels จะวางขวางไปตามแนวเขาซึ่งเป็นหินแข็ง

อุโมงค์สาธารณูปโภค (Public Utility Tunnels)

ตามปกติอุโมงค์ที่ใช้ประโยชน์ด้านงานสาธารณูปโภคนี้จะสร้างตามพื้นที่ในเมืองเพื่อเดินสายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ และสายเคเบิ้ลต่าง ๆ แก๊ส น้ำและท่อใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ที่อยู่ใต้ผิวน้ำ ถนน ทางรถไฟ บ้าน ฯลฯ และจะต้องมีการตรวจสอบ บำรุงรักษาและซ่อมแซมอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของอุโมงค์ประเภทนี้จะแตกต่างจากอุโมงค์แบบอื่น ๆ คือจะมีช่องในแนวดิ่ง (Vertical Shafts) มีช่องทางเข้าออกที่ลาดเอียง ใช้เชื่อมต่อกันกับผิวดินด้านบน ข้อได้เปรียบอย่างมากของ Urban Public Utility Tunnels ก็คือมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถก่อสร้างได้โดยใช้วิธีเจาะ (tunnelling Method) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การเปิดหน้าดินกว้างมากทำให้เกิดผลเสียกับการจราจร ซึ่งการบำรุงรักษาและตรวจสอบก็สามารถปฏิบัติได้คล้ายคลึงกัน Shoft Utility Tunnels ที่มีขนาดเล็กสามารถสร้างได้โดยใช้ Jacking แล้วใช้ผนังอุโมงค์ที่สำเร็จรูปแล้วนำมาติดตั้งโดยส่งมาตาม Shaft ส่วนสายเคเบิ้ล สายส่งแก๊ส ท่อน้ำ ก็จัดให้เหมาะสมเหมือนกับอุโมงค์ทั่วไปโดยเฉพาะตามโรงงานอุตสาหกรรมและเขตผู้อยู่อาศัยใหม่

Utility Tunnels อาจจะใช้ได้ทั้งหน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลมหรือสี่เหลี่ยม ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้วิธีการก่อสร้าง

<u>อุโมงค์ขนย้ายของเสีย</u> (Sewer Tunnels)

อุโมงค์ประเภทนี้สร้างขึ้นเพื่อขนย้ายของเสียตามบ้านพักอาศัย จะแตกต่างจาก Utility Tunnel อื่น ๆ จะเหมือนกับ Water Supply Tunnel มากกว่า ของเสียจะไหลไปตามอุโมงค์ภายใต้แรงกระทำของความถ่วงจำเพาะ ด้วยในอุโมงค์ต้องทาน้ำยากันน้ำซึม เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่อยู่ในของเหลว และป้องกันการไหลซึมของน้ำด้วย ด้วยเหตุนี้ภายในผนังอุโมงค์ของอิฐเผา เซรามิค ต้องด้านทานกรด และน้ำมันดินก็จำเป็นต้องใช้เช่นกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ส่งของเสียจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถใช้การก่อสร้างโดยใช้การเจาะได้ (Tunnelling Method) เพราะว่ามันจะต้องวางอยู่ระดับลึกใต้ผิวดินอย่างพอเพียงจึงยอมให้ใช้วิธีนี้ เนื่องจากการคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของบริเวณของเสีย อุโมงค์ชนิดนี้ถึงใช้รูปร่างหน้าตัดแบบพิเศษ คือมีรางน้ำขนาดเล็กอยู่ด้านล่างสุด เพื่อสะสมการไหลของตะกอน ดังนั้นรางน้ำจะใช้การก่ออิฐวางเป็นแนว

การก่อสร้าง Sewer Tunnel อาจจะจำเป็นจะต้องอยู่ใต้ผิวน้ำซึ่งจะดีเหมือนกับอยู่ใต้ช่องทางการจราจร ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำการขนย้ายของเสียเท่านั้น แต่ยังนำของเสียไปยังภาชนะที่เก็บอีกด้วย

ซึ่งเส้นทางของอุโมงค์เหล่านี้จะวางไปตามเส้นทาง (Loute)ที่เลือกไว้ ซึ่งอาจจะวางไปตามถนนในเมือง หรือผ่านพื้นน้ำและเทือกเขาต่าง ๆ แต่ส่วนใหญ่จะเลือกเส้นทางไปตามแนวจราจรและการขนส่ง โดยคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศที่อยู่รอบ ๆ ด้วย ดังนั้นอุโมงค์จะมีขนาดและรูปร่างหน้าตัดอุโมงค์ที่เหมาะกับการใช้ประโยชน์ตามสภาพภูมิประเทศนั้นๆ รวมทั้งจะต้องเลือกใช้ผนังอุโมงค์ให้เหมาะสมด้วย และเพื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้งานของอุโมงค์จึงควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อป้องกันความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อกล่าวถึงการเดินทางไม่ว่าจะเป็นการเดินทางโดยทางอุโมงค์ใต้ดิน โดยทางถนนหรือโดยทางน้ำ เราจำเป็นจะต้องมีสถานี(STATION)สำหรับขอดรับ-ส่ง ผู้โดยสารหรือขนถ่ายวัสดุอื่น ๆ สำหรับสถานีของรถไฟฟ้าใต้ดิน จะมีที่ตั้งของสถานีอยู่ใต้ชั้นดินตามแนวเส้นทางของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่เลือกไว้ โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆเข้ามาพิจารณาเพื่อความเหมาะสม เช่น ความสามารถในการรองรับผู้คน ลักษณะภูมิประเทศที่อำนวยต่อการสร้าง เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของสถานีก็จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นทางที่ตัดผ่าน เช่น เป็นลักษณะเส้นทางแบบมีอุโมงค์เดียวผ่าน หรือแบบอุโมงค์หลายอุโมงค์มาตัดกัน โดยที่สถานีของรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีเส้นทางอุโมงค์รถไฟฟ้าตัดผ่านหลายสายก็จะเป็นสถานีขนาดใหญ่ หรือ เรียกว่าสถานีร่วม ในส่วนของตัวสถานีก็จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายอย่างซึ่งมีไว้เพื่อบริการ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่มาใช้บริการ เช่น โทรทัศน์วงจรปิด บันไดเลื่อน เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติ เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการวางแผนออกแบบสถานีให้สามารถบริการผู้คนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแล้ว รถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละสายควรจะมีสถานีโรงซ่อมเก็บ-รถไฟฟ้าใต้ดิน(Depot)ซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยกว่าสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เพราะจะเป็นที่สำหรับจอดเก็บรถไฟฟ้าที่ไม่ได้ออกใช้งาน และภายในโรงซ่อมยังมีบริเวณต่างๆไว้สำหรับบริการรถไฟฟ้าที่เข้ามาใช้บริการ

ส่วนรูปแบบของตัวรถไฟฟ้าใต้ดินนั้นจะเป็นรถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อน ซึ่งประสิทธิภาพการวิ่งของรถไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าที่ใช้ โดยมาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าในแต่ละแห่งอาจจะไม่เหมือนกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของราง รัศมีความโค้ง ความลาดและข้อกำหนดอื่นๆ ดังนั้นลักษณะและระบบของรถไฟฟ้าใต้ดินที่ออกแบบโดยบริษัทผู้ผลิตแต่ละแห่งก็อาจจะแตกต่างกันออกไป เพื่อที่จะได้ลักษณะและระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมที่สุดกับโครงการนั้นๆ เช่น ระบบเบรค ระบบทำความเย็น ระบบตรวจจับไฟเพื่อช่วยป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้และเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสาร และองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ช่วยให้ระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินมีประสิทธิภาพก็คือจะต้องมีศูนย์ควบคุมการเดินรถ ซึ่งจะติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์และโทรทัศน์วงจรปิดเพื่อตรวจสอบและควบคุมการเดินรถได้ทุกขบวนและทุกเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
(SUBWAY TUNNEL)

ในขณะที่สังคมเริ่มเจริญขึ้น จำนวนความต้องการของผู้โดยสารและระบบขนส่งมวลชนที่ดีจะเกิดขึ้นเพิ่มขึ้นมากมาย ถึงแม้ว่าจะมีอุปสรรคจากธรรมชาติขวางกั้น เช่น แม่น้ำ ภูเขา และทะเล ซึ่งทำให้ระบบขนส่งมวลชนเกิดความล่าช้า แต่จากความพยายามของมนุษย์ พวกเขาได้พยายามสร้างสะพานแม่น้ำและอุโมงค์ลอดใต้ภูเขาเป็นจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เปรียบเสมือนโซ่ที่เชื่อมมนุษย์จากที่ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

จุดประสงค์ของอุโมงค์จริง ๆ คือเป็นระบบขนส่งผู้โดยสารหรือเป็นสิ่งก่อสร้างที่สามารถลดอุปสรรคต่าง ๆ ที่จะเจอได้ โดยขึ้นอยู่กับอุปสรรคและระบบจราจรตามพื้นที่นั้น ๆ

อุปสรรคอาจจะเป็นภูเขา พื้นที่ที่เป็นน้ำเขตชุมชนหนาแน่น หรือเขตอุตสาหกรรม เป็นต้น อุโมงค์อาจจะลอดผ่านใต้ภูเขา แม่น้ำ ช่องแคบ เขตชุมชนหนาแน่น หรือเขตอุตสาหกรรม ดึกและเส้นทางจราจร เป็นประโยชน์ในการทำเป็นทางรถไฟ ถนนทางเท้า หรือท่อเดินน้ำ ท่อพลังงานไฟฟ้า แก๊ส บำบัดของเสีย เป็นต้น ซึ่งเส้นทางของอุโมงค์เหล่านี้จะวิ่งไปตามเส้นทางที่เลือกไว้ซึ่งอาจจะวิ่งไปตามถนนในเมืองหรือผ่านพื้นน้ำและเทือกเขาต่างๆ แต่ส่วนใหญ่เส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดินจะวางเส้นทางไปตามแนวจราจรและการขนส่ง โดยคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศที่อยู่รอบๆ ด้วย ดังนั้นลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์ ได้แก่ ขนาด รูปร่างหน้าตัด และลักษณะผนังอุโมงค์ก็จะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่นั้นๆ และเพื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้งานของอุโมงค์จึงควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุโมงค์เพื่อป้องกันความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

2.1 ลักษณะของอุโมงค์รถไฟใต้ดิน (Subway Tunnels)

อุโมงค์รถไฟใต้ดินจะจัดเป็นกลุ่มแยกออกมาจาก Railway Tunnels เพราะว่ามีความแตกต่างจาก Railway tunnels อื่น ๆ เมื่อพิจารณาในด้านที่ตั้ง วิธีการก่อสร้าง วัสดุและวัตถุประสงค์ในช่วงหลัง ๆ นี้อุโมงค์ส่วนมากจะเป็นแบบ Horseshoe Section ในขณะที่อุโมงค์รถไฟใต้ดินโดยทั่วไปจะเป็นรูปตัวแบบ Circular Rectangular หรือ Polygonal โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของที่ตั้งการขุดหรือพิจารณาถึงตำแหน่งความลึกของอุโมงค์ ในการออกแบบส่วนมากจะคล้ายคลึงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Highway Tunnels ที่อยู่ใต้น้ำ การที่จะทำทางใต้ดิน จะคำนึงถึงการจราจร ในกรณีนี้คือ เขตที่ผู้คนหนาแน่น โครงข่ายของถนนและอาคาร อุโมงค์รถไฟใต้ดินจึงกลายเป็นสิ่งจำเป็น

สถานีของรถไฟใต้ดินจะออกแบบด้วยโครงสร้างพิเศษและมีมากมายหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อยู่ลึก ๆ จากผิวดิน

ความต้องการพิเศษของอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ที่แตกต่างจากอุโมงค์รถไฟธรรมดา แยกออกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้

1. มีความต้องการความปลอดภัยเพิ่มขึ้น เพราะการโดยสารจะมีคนใช้บริการมากและรถไฟมีความเร็วสูง (ปราศจากการทรุดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรางและหน้าอุโมงค์)

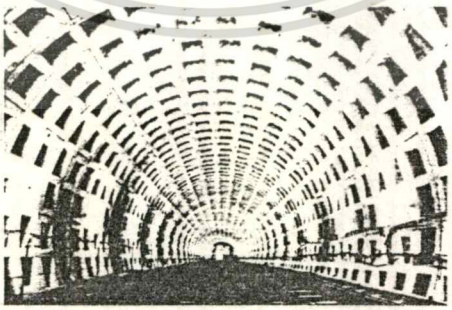
2. ป้องกันการซึมของน้ำได้

3. มีความสะอาดและการระบายอากาศอยู่ในมาตรฐานสูง

จากข้อ 1 ความเสียหายจากรถไฟตกรางหรือรางเกิดการทรุดตัวอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับความเร็วของรถไฟและพื้นที่ว่างที่จำกัดภายในอุโมงค์

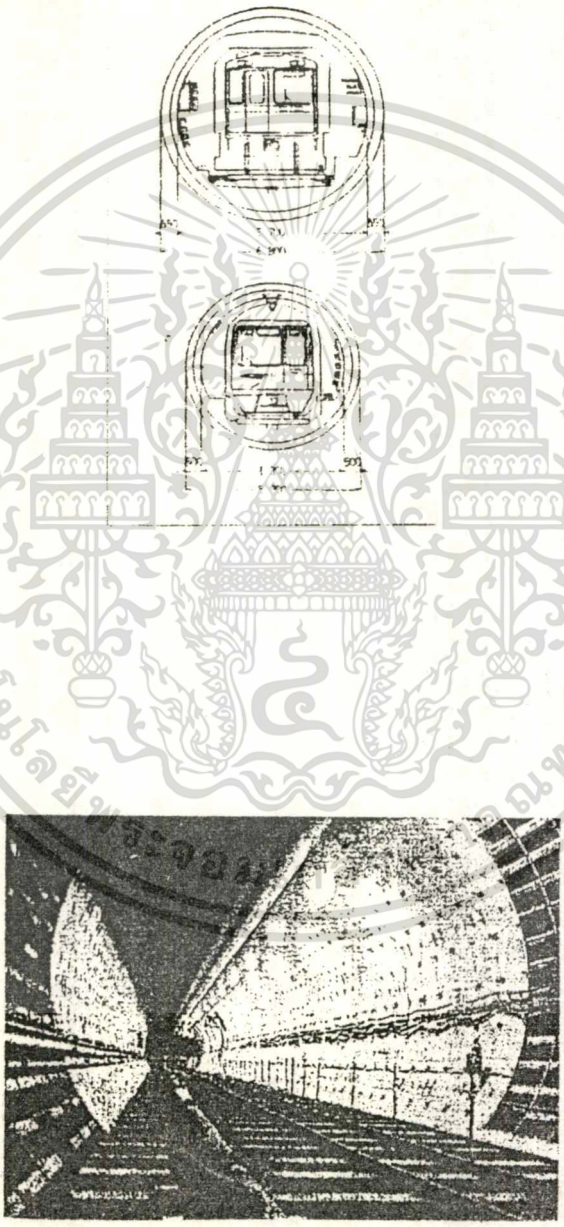
จากข้อ 2 อุโมงค์ที่อยู่ใต้ระดับน้ำ จะต้องสร้างให้ทนกับแรงดันน้ำ

จากข้อ 3 สถานีใต้ดินจะต้องสร้างความสะดวกสบาย ต้องเอาใจใส่เพิ่มในด้านงานระบบและการระบายอากาศให้พอกับความต้องการของผู้ใช้บริการจำนวนมาก ดังนั้นการระบายความร้อนและฝุ่นที่เกิดจากการหยุดรถกะทันหันและการเร่งอัตราความเร็วของรถไฟจะต้องใช้ได้เสมอ และอุโมงค์จะต้องรักษาความสะอาดด้วย



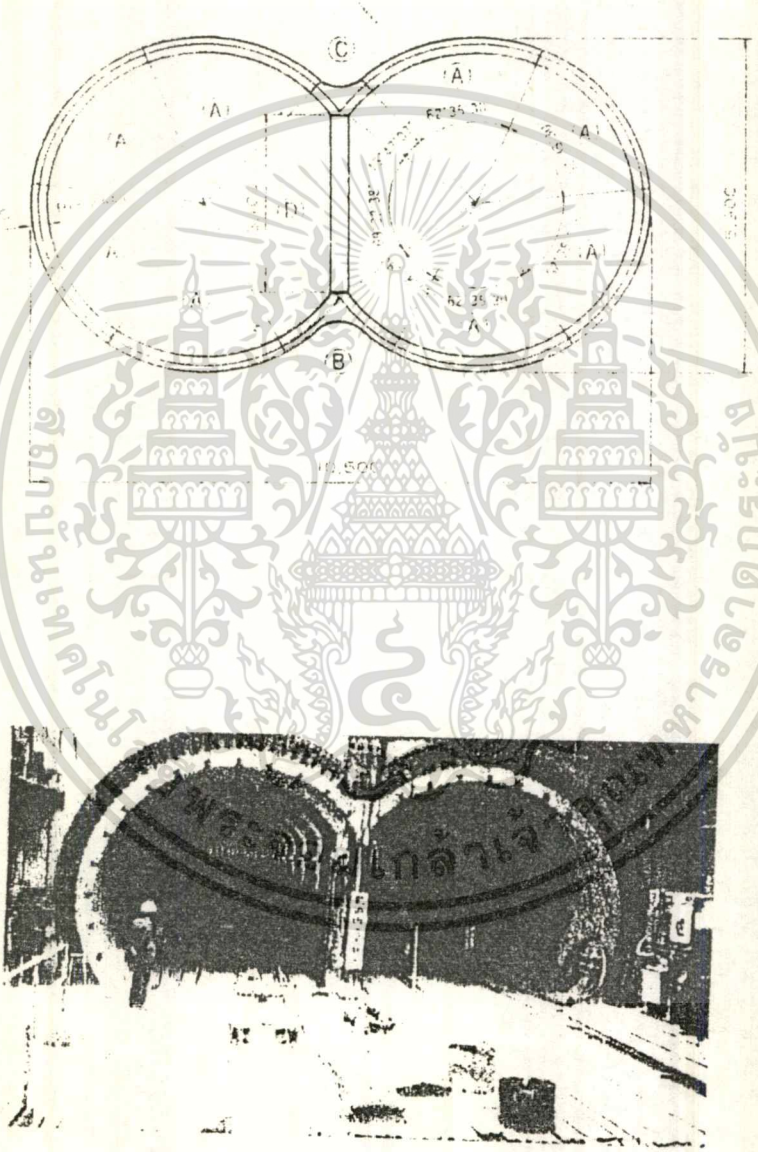
รูปที่ 2.1 ลักษณะอุโมงค์รถไฟใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034919



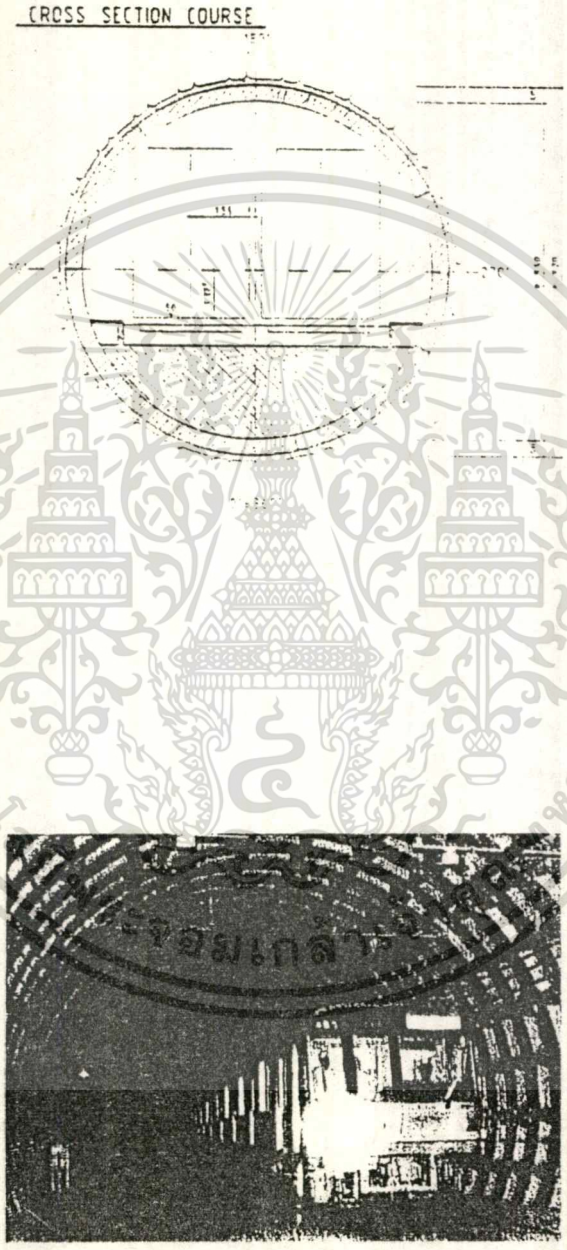
รูปที่ 2.2 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์เดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์คู่ รางเดี่ยว

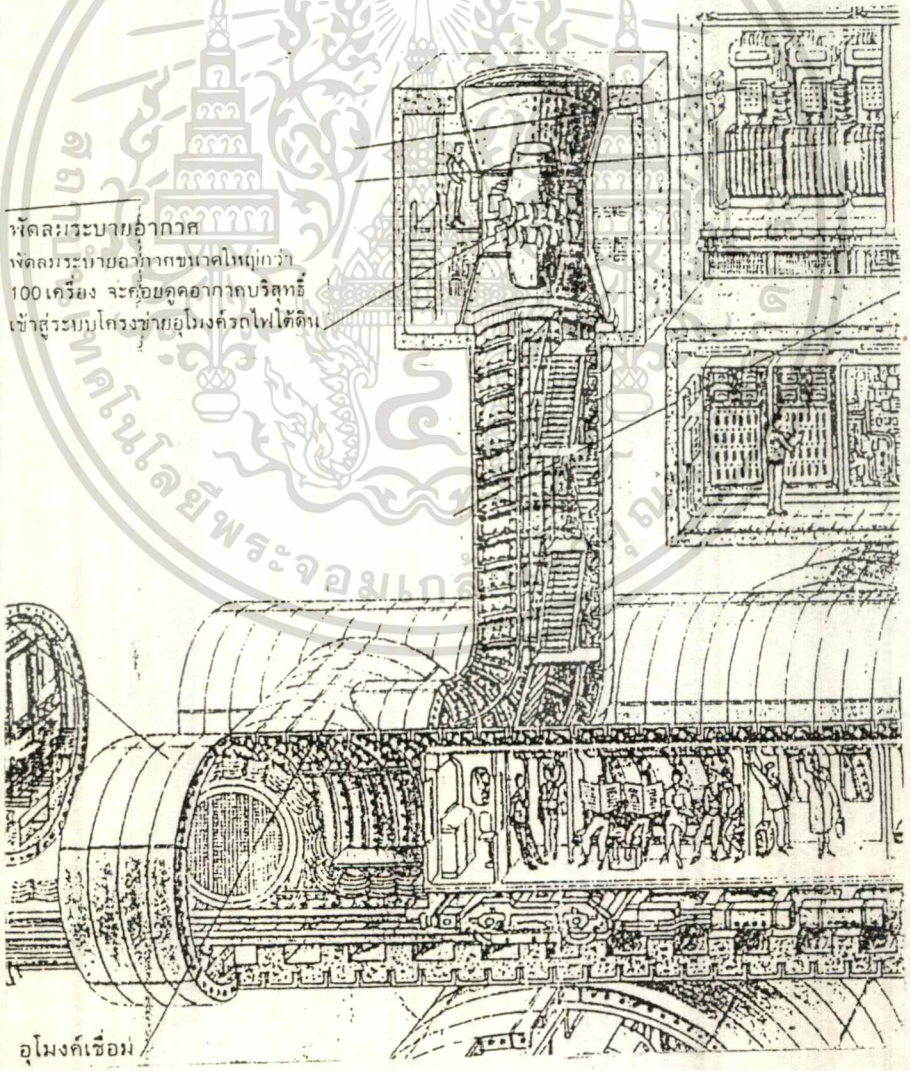
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบบอุโมงค์เดี่ยว รางคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุโมงค์รถไฟใต้ดิน นอกจากจะมีอุโมงค์สำหรับรถไฟวิ่งแล้ว ยังอาจจะมีอุโมงค์สำหรับใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น การระบายอากาศ การซ่อมแซมบำรุงรักษา ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสถานีของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละพื้นที่ โดยรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้ขนส่งผู้โดยสารในเขตชุมชนหนาแน่นตามเมืองใหญ่ ๆ ซึ่งระยะห่างระหว่างสถานีจะมีความยาวประมาณ 800 - 1000 เมตร ซึ่งเป็นช่วงระยะทางที่สั้น ระบบอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ของอุโมงค์ จะติดตั้งที่ตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ตัวอย่างเช่น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงลอนดอน จะมีอุโมงค์เชื่อมระหว่างอุโมงค์รถไฟฟ้าทั้งสองข้างเพื่อเป็นทางรับอากาศบริสุทธิ์ ให้ขบวนรถไฟที่วิ่งสวนทางกัน โดยจะมีพัดลมระบายอากาศขนาดใหญ่กว่า 100 เครื่อง จะคอยดูดอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่ระบบโครงข่ายอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 อุโมงค์เชื่อมระหว่างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินระหว่างเมืองหรือระหว่างประเทศ ซึ่งรถไฟฟ้าจะเป็นรถไฟฟ้าความเร็วสูง ระยะทางของเส้นทางมีความยาวมาก ระบบบริการและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ จำเป็นต้องติดตั้งระหว่างเส้นทาง ตัวอย่างเช่น อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินข้ามช่องแคบประเทศอังกฤษ - ฝรั่งเศส ซึ่งระหว่างอุโมงค์รถไฟฟ้าทั้งสองอุโมงค์ จะมีอุโมงค์บริการ (service tunnel) ไว้สำหรับพนักงาน (Staff)ตรวจสอบอุโมงค์ และบำรุงรักษา ซ่อมแซมอุโมงค์ โดยจะมีประตู (Bulkhead door) เป็นทางเข้า - ออกไปยังอุโมงค์ทั้ง 2 ข้าง service tunnel จะมีอุปกรณ์และเครื่องมือ อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น ยานพาหนะบริการ (service vehicles) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีท่อสำหรับระบายความดันอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าความเร็วสูง โดยจะติดตั้งไว้ทุก ๆ ความยาว 820 ฟุต โดยบริการจุดต่อท่อที่เชื่อมระหว่างอุโมงค์รถไฟฟ้าทั้ง 2 ข้าง จะมีประตูปิด - เปิด ที่มีลักษณะกลม ทำหน้าที่คล้ายลิ้นหัวใจ ในกรณีที่มีไฟไหม้ เกิดขึ้น เราสามารถที่จะปิดประตูนี้ได้ทันทีด้วย remote control เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ควันจากอุโมงค์หนึ่งไปยังอีกอุโมงค์หนึ่งได้ ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

2.2.1 หลักการพิจารณาเลือกเส้นทางของอุโมงค์โดยทั่วไป

การเลือกแนวเส้นทางโดยทั่วไป ในขั้นต้นจะบังคับไปตามการจราจรและการขนส่ง ความจำเป็นในการก่อสร้างอุโมงค์ และเป้าหมายของการขนส่งที่จะไปถึง โดยตำแหน่งของอุโมงค์จะถูกควบคุมโดยปัจจัยทางน้ำและทางธรณีวิทยาที่อยู่รอบ ๆ

เป้าหมายในการเลือกเส้นทางจะมีหลักการคล้ายกับการเลือกเส้นทางบนผิวดินไม่ว่าจะเป็นรถไฟหรือพาหนะอื่น ๆ ที่อยู่ในอุโมงค์ก็จะมีหลักการเลือกเส้นทางคล้ายกัน อาจจะมีเพียงสิ่งเดียวที่แตกต่างจากการเลือกเส้นทางบนผิวดิน คืออุโมงค์จะออกแบบโดยยึดเส้นทางที่เลือกให้ตรง ซึ่งไม่เพียงแต่ได้ระยะทางที่สั้น ยังจะประหยัดและมีทัศนวิสัยที่ดีกว่าอีกด้วย การเริ่มงานสำรวจและการก่อสร้างก็จะง่ายและไม่ซับซ้อน และท้ายที่สุดจะมีการระบายอากาศที่ดีกว่าแต่แนวเส้นทางก็ไม่ตรงเสมอไป บางครั้งก็ต้องทำมุมเปลี่ยนแปลงจากแนวเส้นทางเดิมบ้าง เพราะเจออุปสรรค เช่น หุบเขา แม่น้ำ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น อุโมงค์ล็อทช์เบิร์ก (Lotshberg Tunnel) ซึ่งเส้นทางเดิมที่เลือกไว้เป็นแนวตรง แต่เมื่อเส้นทางผ่านบริเวณที่เป็นหุบเขา ซึ่งมีแม่น้ำ Rhone ไหลผ่านบริเวณหุบเขาแคบ ๆ แนวอุโมงค์ก็จะต้องเปลี่ยนแปลงจากแนวเดิมโดยทำมุมแหลมขึ้น เพื่อที่น้ำจะได้ท่วมไม่ถึงและไม่เป็นอันตรายในการก่อสร้าง เพราะดินบริเวณนั้นจะเป็นดินตะกอนทราย (Sandy Silt) ซึ่งไม่เหมาะในการก่อสร้าง

สำหรับอุโมงค์จราจรใต้น้ำตามพื้นที่ในเมืองใหญ่ ๆ ทางเข้าออกของอุโมงค์จะลาดเอียงขึ้น (Ramp) ไปยังผิวดินโดยอยู่ห่างจากบริเวณริมฝั่งมาก เพราะว่าดินบริเวณริมฝั่งจะไม่คงตัว (Disturb) และเคลื่อนตัวพังง่าย

การเลือกเส้นทางของ Utility Tunnels ในพื้นที่เขตเมืองเพื่อการใช้ทางสาธารณะประโยชน์ ก็จะเลือกเส้นทางไปตามแนวถนนและบริเวณบ้านพักอาศัย

ส่วนการเลือกเส้นทางของ Water Supply Tunnels จะเริ่มจากแหล่งส่งน้ำวางเส้นทางไปบริเวณศูนย์กลางของผู้ใช้สอยที่ต้องการน้ำ โดยคำนึงถึงการก่อสร้างและความปลอดภัยที่ต้องการด้วย หลีกเลี่ยงเส้นทางที่บริเวณนั้นมีการเคลื่อนพังของดินมาก (Fault Zones) โดยเฉพาะบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวไม่ควรสร้างอุโมงค์ขนส่งน้ำ

โดยทั่วไปจะไม่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ในบริเวณที่ทำเหมืองแร่ เพราะไม่สามารถคาดขนาดของแรงกระทำและการทรุดตัวที่เกิดกับอุโมงค์ได้

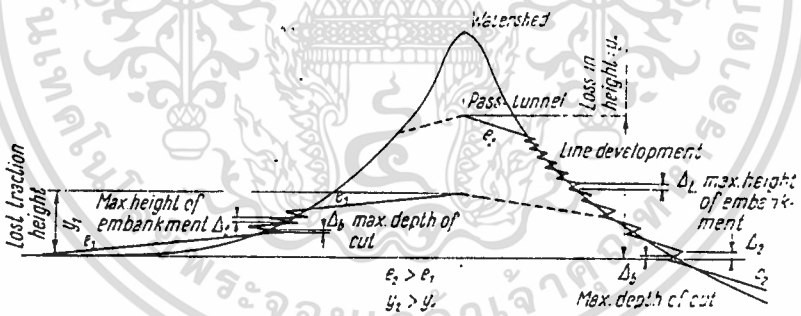
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการพิจารณาเลือกเส้นทางของอุโมงค์

เนื่องจากสภาพภูมิประเทศในแต่ละแห่งไม่เหมือนกัน ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นหุบเขา ที่ราบ เทือกเขาสูงชัน ฯลฯ ซึ่งลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการวางแนวเส้นทางของอุโมงค์แบบต่าง ๆ ทำให้แนวเส้นทางของอุโมงค์ต้องเบี่ยงเบนไป มีความคดเคี้ยวมากขึ้น ตามลักษณะภูมิประเทศนั้น ๆ

2.2.2.1 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Saddle

ในกรณีของอุโมงค์รถไฟหรือรถยนต์ที่วางไปตามหุบเขา ผ่านเทือกเขาต่าง ๆ โดยทั่วไปความลาดของเทือกเขาจะต้องไม่ชันกว่าความลาดที่กำหนดของเส้นทาง แนวเส้นทางที่ได้เทือกเขาจะต้องแน่ใจว่าปราศจากความยากลำบาก ในขณะที่หุบเขามีความลาดชันมากขึ้น เส้นทางจะต้องมีการปรับปรุงในเรื่องความยาวของระยะทาง คือจะมีความยาวของระยะทางเพิ่มขึ้น เส้นทางที่วางเป็นแนวตรงจำเป็นจะต้องวางเส้นทางใหม่ให้เป็นแนวคดเคี้ยว ทำให้สิ้นเปลืองในด้านระยะทางและจำนวนสะพานและโครงสร้างอื่น ๆ จะเพิ่มตามมา รวมทั้งราคาการก่อสร้างก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อถึงระดับสูงสุดที่เส้นทางจะไต่ได้แล้ว เส้นทางจำเป็นจะต้องตัดผ่านเข้าไปในภูเขา ซึ่งแนวอุโมงค์ที่วางจะเป็นแบบ Saddle หรือ Watershed ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบระหว่างวิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Saddle กับแบบ Base

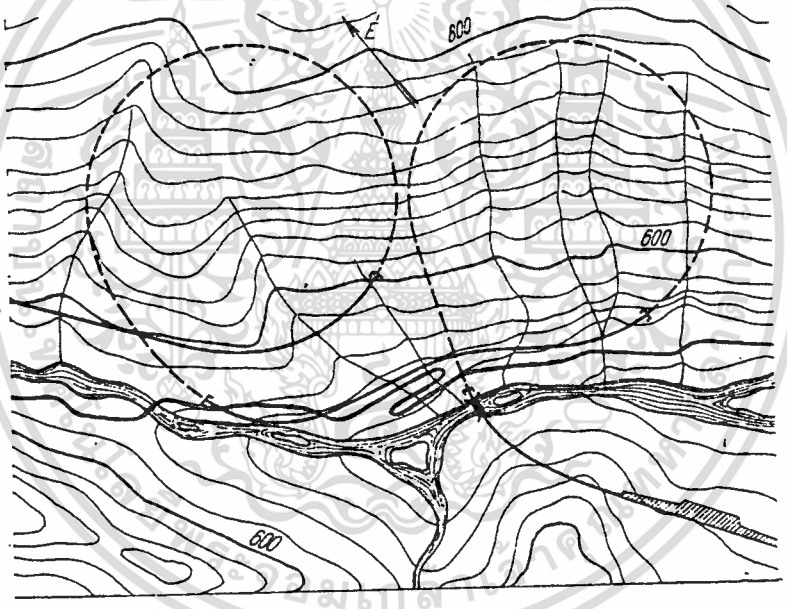
2.2.2.2 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Base

สำหรับเส้นทางการจราจรสายหลัก ที่มีการจราจรหนาแน่น และมีรถบรรทุกหนักผ่านบริเวณที่เป็นเทือกเขา การเพิ่มความยาวของระยะทางโดยวางเส้นทางเป็นทางคดเคี้ยวไต่ตามความสูงของเทือกเขาแล้ววางแนวอุโมงค์แบบ Saddle นั้น จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายต่าง ๆ พอ ๆ กับการสร้างอุโมงค์ที่บริเวณฐานของหุบเขาซึ่งมีความยาวของอุโมงค์ยาวกว่า ดังรูปที่ 2.7 แต่เมื่อคำนึงถึงผลในระยะยาว การสร้างอุโมงค์บริเวณฐานของหุบเขา (Base Tunnel) ซึ่งมีความลาดน้อยกว่าจะประหยัดกว่า จะพบว่าการวางแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Base ได้นำมาใช้กับ ทางหลวงในประเทศที่สำคัญๆ เช่น ในเมืองเซนต์เบอร์นาร์ด (St.Bernard) ซึ่งมีความยาวอุโมงค์ 6 กิโลเมตร และอุโมงค์ทางหลวงใน Mont Blanc ซึ่งมีความยาวอุโมงค์ 12 กิโลเมตร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Spiral

สำหรับเส้นทางการคมนาคมที่ผ่านพื้นที่ที่เป็นหุบเขาที่มีความแคบเกินไปสำหรับการเลี้ยวสำหรับรถที่มาจากด้านหนึ่งจะไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยมีรัศมีความโค้งน้อยที่สุดตามที่ยอมให้ และมีความชันของหุบเขามาก ซึ่งไม่สามารถวางเส้นทางได้ตามได้ เราจำเป็นต้องวางแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Spiral หรือแบบ Loop เพื่อให้ได้ระยะทางยาวตลอดไม่ขาดตอน โดยความยาวของอุโมงค์ที่ลอดทะลุเข้าไปภายในหุบเขาและทะลุออกมาจากหุบเขา จะต้องเป็นแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Loop ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสภาพทางธรณีวิทยา คือจะมีลักษณะของชั้นหินหลายแบบที่แนวเส้นทางจะต้องเจอ ซึ่งชั้นหินจะมีทั้งวางขวางและขนานกับแนวเส้นทางแบบ Loop ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Spiral

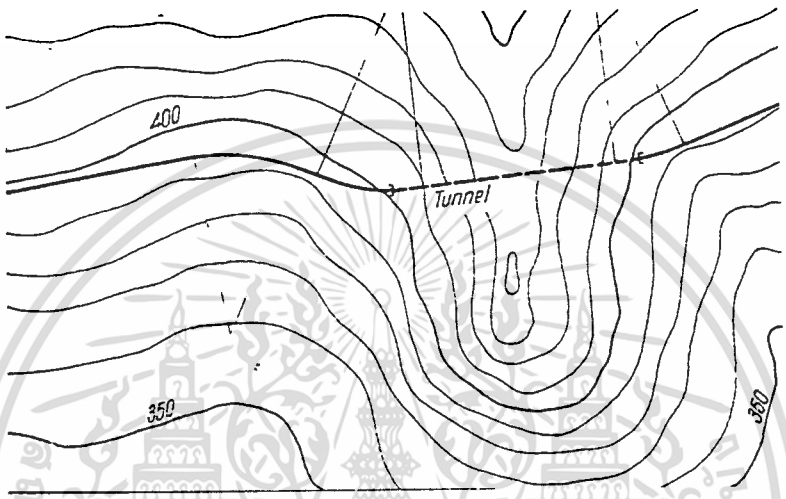
แนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Sppial หรือ Loop ที่มีชื่อเสียง ได้แก่ Gotthard and Albula Railways ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์

2.2.2.4 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Offspur

การวางแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Offspur จะใช้กับพื้นที่ที่มีอุปสรรคน้อย เพื่อต้องการที่จะรักษาเส้นทางการจราจรสำหรับรถไฟ รถยนต์ ให้เป็นแนวเส้นทางตรง หรือใช้กับเส้นทางที่มีความโค้งและความลาดชันไม่เป็นไปตามความโค้งสูงสุดที่ยอมให้ ลักษณะเฉพาะของแนวเส้นทางอุโมงค์แบบนี้ คือถ้าตัดผ่านหุบเขาโดยตรงจะต้องวางอุโมงค์ให้อยู่ในระดับลึกมาก หรือถ้าทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดขุด (Open Cut) ก็จะเพิ่มการเคลื่อนพังของชั้นหินมากขึ้น โดยทั่วไปสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์จะขุดลึกประมาณ 20-25 เมตร ซึ่งจะประหยัดมากกว่า ดังรูปที่ 2.9



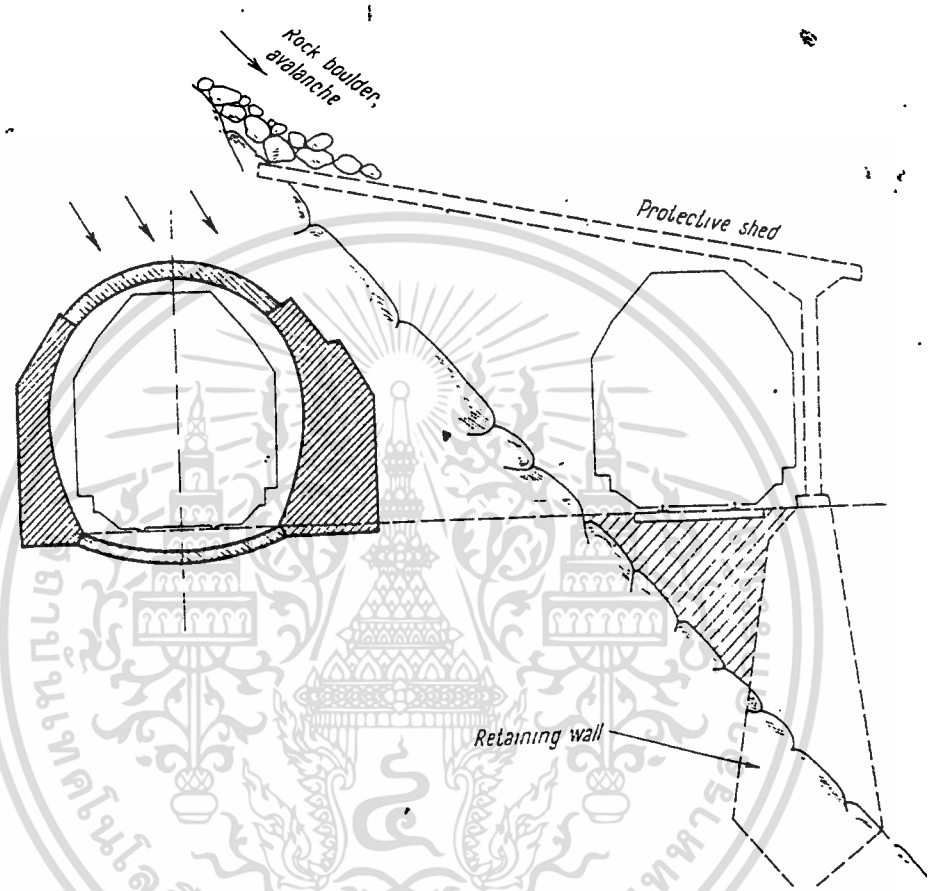
รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Offspur

2.2.2.5 วิธีเลือกเส้นทางอุโมงค์แบบ Slope

การวางแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Slope นี้ จะก่อสร้างกับพื้นที่เฉพาะ วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยกับทางรถไฟและทางหลวงตามเทือกเขาที่ลาดชัน ซึ่งจะต้องศึกษาถึงลักษณะของชั้นหินทั้งชั้นนอกและชั้นในเป็นสำคัญ ชั้นหินด้านนอกจะเป็นอันตรายกับเส้นทางที่เปิดใช้ด้านนอก ส่วนแนวเส้นทางอุโมงค์แบบ Slope จะอยู่ลึกเข้าไปทางด้านข้างของเทือกเขาภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.10 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีข้อมูลของชั้นหินอย่างเพียงพอ ตัวอย่างเช่น ชั้นหินด้านในที่ลาดเอียง ไม่เหมาะสำหรับการขุดและถม ดังนั้นมักจะจะไม่มีอันตรายจากการเคลื่อนพังของหินและผิวดิน หรือก้อนหินมะ จุดประสงค์แรก ๆ ของการวางแนวอุโมงค์แบบนี้ก็คือ ป้องกันเส้นทางการจราจรให้มีความปลอดภัย และบางครงก็จะเกิดความประหยัดอีกด้วย เพราะว่าการก่อสร้างแบบขุดแล้วกลบ (Cut and Fill) อาจจะใช้สำหรับการก่อสร้างบริเวณที่มีความชันยาวมาก ๆ และมีกำแพงกันดินที่สูงมาก ราคาการก่อสร้างก็อาจจะมากเกินไปด้วย ดังนั้นการวางแนวอุโมงค์ Slope นอกจากจะประหยัดกว่าแล้ว ยังจะปลอดภัยกว่าด้วย

จะเห็นได้ว่าลักษณะภูมิประเทศมีผลต่อแนวเส้นทางของอุโมงค์อย่างไร ถ้าเส้นทางมีความคดเคี้ยวมาก ก็จะทำให้ความยาวของอุโมงค์ยาวมากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นตามมาด้วย การก่อสร้างก็จะมีความยากลำบาก และมีความปลอดภัยในการทำงานน้อยลง นอกจากสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการวางอุโมงค์แบบ Slope

ภูมิประเทศแล้วยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่กำหนดแนวเส้นทางของอุโมงค์ ซึ่งจะต้องใช้หลักในการพิจารณาเลือกแนวเส้นทางของอุโมงค์ที่เหมาะสมที่สุด

2.2.3 หลักการเลือกเส้นทางของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

แนวเส้นทางของอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ขึ้นอยู่กับการคำนึงถึงการจราจรและการวางแผนผังของเมือง สิ่งจำเป็นก็คือต้องคำนึงถึงทำเลที่ตั้งของสถานีและจุดเข้าออกของโครงข่ายถนน รวมทั้งแผนผังของเมือง ด้วยเหตุนี้ การจัดวางเส้นทางตามผังเมืองจะทำให้เกิดเส้นทางที่เป็นแนวโค้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมของอุโมงค์ จะยากลำบากเป็นพิเศษในกรณีของอุโมงค์รถไฟใต้ดินที่ต้องวางไปตามแนวถนน ซึ่งบางครั้งเส้นทางจะโค้งมาก ดังนั้นรถไฟใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ลึกพอที่จะสามารถลดแรงต้านทานทางโค้งลง และทำให้รถไฟแล่นด้วยความเร็วที่ปลอดภัยได้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อมูลด้านความเร็วและรัศมีความโค้งน้อยที่สุดของรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีชื่อเสียงบางแห่ง

เมือง	ความเร็วตามตารางเวลา(กม/ชม)	ความเร็วสูงสุดที่คำนวณได้(กม/ชม)	รัศมีความโค้งน้อยที่สุด Rmin(เมตร)
นิวยอร์ค	29.6	38.8	100
ปารีส	45.5	41.6	75
ลอนดอน	34.8	60.8	241
เบอร์ลิน	24.6	47.2	201
กลาสโกว์	22.4	38.4	201
ชิคาโก	33.4	81.4	103
ฮัมบูร์ก	29.6	47.0	180
สตอร์คโฮม	30.4	70.5	201

(ที่มา : หนังสือ "The Art of Tunnelling" ข้อมูลอ้างอิงถึงปี ค.ศ. 1954)

2.2.3.1 <u>หลักในการพิจารณาเลือกเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน</u>

สำหรับเส้นทางที่กำหนดขึ้นในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน มีแนวทางในการกำหนดเส้นทางดังนี้

1. เป็นเส้นทางที่มีการจราจหนาแน่นมากจนเกิดสภาพการจราจรติดขัด
2. เป็นเส้นทางที่ผ่านย่านประชากรหนาแน่นมาก หรือเป็นย่านธุรกิจ สำนักงาน ศูนย์การค้า
3. สามารถขนถ่ายประชากรจากที่อยู่อาศัยบริเวณชานเมืองไปยังตัวเมืองซึ่งเป็นแหล่งการทำงาน ธุรกิจ ย่านการค้า ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ
4. ปลายเส้นทางจะผ่านไปยังย่านที่มีแนวโน้มความเจริญจากการขยายตัวเมืองในอนาคต
5. สามารถที่จะเชื่อมต่อกับเส้นทางของโครงการอื่นได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

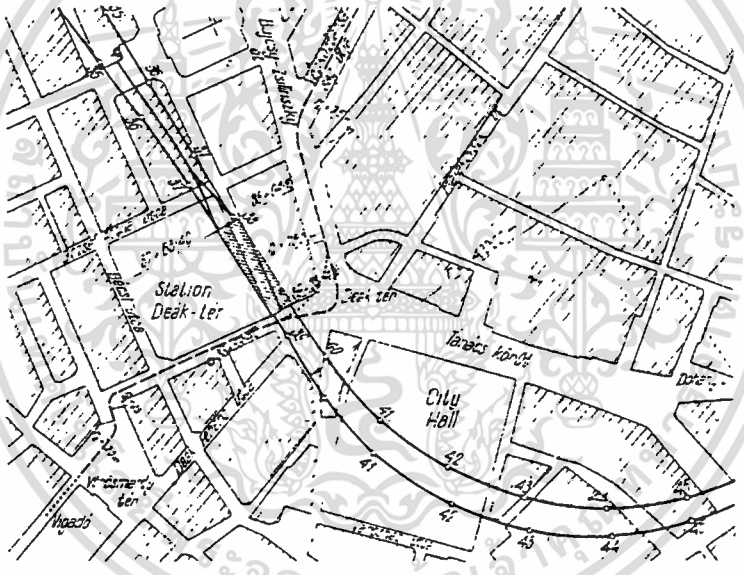
6. ปลายเส้นทางสามารถขยายเส้นทางต่อไปได้ในอนาคต

7. มีความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคการก่อสร้าง ที่เกี่ยวเนื่องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่

8. ไม่เป็นอุปสรรคต่อการถูกล้ำเส้นทางที่มีปัญหา โดยหลีกเลี่ยงปัญหาการเวนคืนที่ดินให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

9. เส้นทางที่มีปัจจัยต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกับเส้นทางของโครงการที่เคยทำมาแล้ว

10. เป็นเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายเพื่อสะดวกในการเดินทางในจุดหมายต่าง ๆ จุดตัดของเส้นทางมีมาก



รูปที่ 2.11 แนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงบูดาเปสท์

2.2.3.2 แนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานคร

การนำระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ (รถไฟฟ้าใต้ดิน) มาใช้ในกรุงเทพมหานคร จำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากเป็นโครงการซึ่งใช้งบประมาณในการลงทุนสูงมาก แม้ว่าจะเป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพในการขนส่งประชากรได้เป็นจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะแวดล้อมในเมือง แต่ความเป็นไปได้ในการลงทุนทางเศรษฐกิจก็เป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดโครงข่ายเส้นทาง โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นโยบายการใช้ที่ดินของกรุงเทพมหานคร ซึ่งจะกำหนดทิศทางการพัฒนาเมืองไว้ในผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร

2. ระบบการสัญจรภายในศูนย์กลางเมืองและการเชื่อมโยงที่เหมาะสมระหว่างแหล่งงานกับที่อยู่อาศัย (Job-Housingbalance) ย่านชุมชนสำคัญ ๆ และโครงการของรัฐ เช่น สนามบินหนองงูเห่า

3. การประสานเชื่อมโยงกับโครงข่ายของระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่โครงการอื่นได้รับสัมปทานแล้ว ได้แก่ โครงการทางรถไฟและถนนยกระดับในเขตกรุงเทพมหานคร (BTS) รวมทั้งการประสานกับระบบคมนาคมขนส่งอื่น ๆ เช่น ระบบทางด่วนโครงข่ายของถนนสายหลักและถนนสายรอง รวมทั้งการคมนาคมขนส่งทางน้ำ

4. ความเหมาะสมในการช่วยแก้ไขปัญหาการจราจร ในถนนที่มีปริมาณการเดินทางสูง

5. ความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคการก่อสร้างที่เกี่ยวเนื่องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่และหลีกเลี่ยงปัญหาการเวนคืนที่ดินให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การวางโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพมหานครได้พยายามวางโครงข่ายในส่วนของตัวเมืองที่มีความจำเป็นและโครงข่ายอื่นยังครอบคลุมไม่ถึงด้วยการกำหนดเป็นระบบวงแหวน (Loop) และรัศมี (Radius) ทิศทางเข้าออกตัวเมืองซึ่งสามารถขึ้นลงเปลี่ยนเส้นทางได้สะดวกทุกเส้นทาง ดังนี้

1. ทิศทางด้านทิศใต้จากถนนสุขสวัสดิ์ และถนนพระรามที่ 2

2. ทิศทางที่มาจากถนนเพชรเกษม (จากจังหวัดนครปฐม)

3. ทิศทางที่มาจากถนนบรมราชชนนี (จากพุทธมลฑล)

4. ทิศทางด้านเหนือ จากจังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี ทางด้านถนนติวานนท์ และถนนกรุงเทพ-นนทบุรี

5. ทิศทางจากถนนพหลโยธิน (รังสิต)

6. ทิศทางที่มาจากบางกะปิ บริเวณแยกลำสาลี

7. ทิศทางด้านทิศตะวันออกที่จะไปถนนชลบุรีสายใหม่ และสนามบินหนองงูเห่า

8. ทิศทางจากถนนบางนา-ตราด ระบบโครงข่ายที่เป็นวงแหวนและรัศมีนี้ จะผ่านเข้ามาโดยเชื่อมโยงกันทั่วทั้งพื้นที่ รวมทั้งเชื่อมโยงกับโครงข่ายระบบขนส่งมวลชนโครงการอื่น และเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพในการช่วยพัฒนากรุงเทพมหานครจากศูนย์กลางเดียว (Monocentric) ให้เป็นหลายศูนย์กลาง (Ployentric) ได้ในอนาคต ตามนโยบายของคณะผู้บริหารกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวเส้นทางที่เสนอแนะ

โครงข่ายของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบด้วยวงแหวนเพื่อการสัญจรภายในศูนย์กลางเมือง และเส้นรัศมีเพื่อการสัญจรระหว่างชานเมืองและศูนย์กลางเมือง

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น ได้กำหนดเป็นเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน 4 เส้นทางรวมระยะทางทั้งสิ้น 76.56 กิโลเมตร

1. สายนนทบุรี-บางนา

เริ่มต้นจากสามแยกนนทบุรี (แยกถนนกรุงเทพ-นนทบุรี ตัดกับถนนติวานนท์) มาตามแนวถนนกรุงเทพ-นนทบุรี ถนนประชาราษฎร์ สาย 2 ผ่านที่ดินของการรถไฟฯ บริเวณสวนจตุจักร มาตามถนนพหลโยธินผ่านกรมการขนส่งทางบกมาตามแนวถนนวิภาวดี-รังสิต ถึงสามเหลี่ยมดินแดง ผ่านแนวทางด่วนเฉลิมมหานครเข้าตัวถนนวิทยุ (ลอดถนนเพชรบุรีตัดใหม่) ถนนพระรามที่ 4 ถนนสุขุมวิทไปสิ้นสุดที่แยกถนนบางนา-ตราด

2. สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

เริ่มต้นจากแยกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาตามแนวถนนพหลโยธินถึงแยกลาดพร้าว แล้วเลี้ยวเข้าถนนวิภาวดี-รังสิตตามเส้นทางสายนนทบุรี-บางนา จนถึงแยกพระรามที่ 4 แยกไปตามแนวถนนสาธรลอดแม่น้ำเจ้าพระยาไปฝั่งธนบุรีตามแนวสะพานตากสิน ถนนกรุงธนบุรี เลี้ยวเข้าถนนตากสินสิ้นสุดที่วงเวียนใหญ่

เที่ยวกลับจากวงเวียนใหญ่ไปตามแนววถนนอินทรพิทักษ์ เลี้ยวเข้าถนนเพชรเกษมถึงแยกท่าพระเลี้ยวเข้าถนนรัชดาภิเษกวนกลับขึ้นตามแนวถนนตากสินข้ามสะพานตากสินกลับไปตามเส้นทางเดิม

3. สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

เริ่มต้นจากสถานีขนส่งสายใต้มาตามแนวถนนบรมราชชนนีลอดแม่น้ำเจ้าพระยาตามแนวสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้ามาตามแนวถนนราชดำเนินกลาง ถนนหลานหลวง ถนนพระราม 6 ถนนราชวิถี อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถนนดินแดงอโศกดินแดงถนนพระรามที่ 9 ถนนรามคำแหงไปสิ้นสุดที่แยกบางกะปิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สายขนส่งสายใต้-สาธร

เริ่มจากสถานีขนส่งสายใต้ทับเส้นทางสถานีขนส่งสายใต้ บางกะปีแยกออกที่สะพานพระปิ่นเกล้ามาตามแนวถนนราชินี ถนนเจริญกรุง จนถึงสถานีรถไฟหัวลำโพง เลี้ยวเข้าถนนมหาพฤฒาราม มาตามถนนเจริญกรุงสิ้นสุดที่แยกถนนสาธร

สำหรับเส้นทางวงแหนวนภายในใจกลางเมืองได้ใช้บางส่วนของเส้นทางทั้งสี่ข้างต้น ซึ่งเชื่อมโยงกันในศูนย์กลางเมือง เพื่อให้บริการแก่ผู้ที่ต้องการเดินทางติดต่อภายในเมือง โดยมีเส้นทางเริ่มตั้งแต่เชิงสะพานพระปิ่นเกล้าฝั่งพระนครไปตามถนนราชดำเนินกลาง ถนนหลานหลวง ผ่านถนนอุรุพงษ์ ถนนพระรามที่ 6 ถนนราชวิถี ผ่านอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถนนดินแดง ทางด่วนเฉลิมมหานคร ตัดเข้าถนนวิทยุ ถนนสาธร ถนนเจริญกรุง ถนนราชินี

เส้นทางที่เสนอแนะเหล่านี้สามารถขยายต่อไปได้ในอนาคต ดังนี้

1. สายนนทบุรี-บางนา

จากสามแยกนนทบุรีไปตามแนวถนนติวานนท์ ถึงห้าแยกปากเกร็ด

จากบางนาไปตามแนวถนนบางนาตราด ถึงเมืองใหม่บางพลี และสนามบินหนองงูเห่า

2. สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ไปตามถนนพหลโยธินถึงคอนเมือง

จากสี่แยกท่าพระไปตามแนวถนนเพชรเกษมถึงบางแค

จากบุคคโลไปตามถนนสุขสวัสดิ์ถึงถนนพระรามที่ 2

3. สายขนส่งสายใต้-บางกะปี

จากขนส่งสายใต้ไปพุทธมณฑล

จากบางกะปีไปตามแนวถนนสุขาภิบาล 3 ถึงมีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะทางกายภาพของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ขนาดและรูปร่างของอุโมงค์ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้อุโมงค์และสภาพดินที่อุโมงค์ขุดผ่าน สำหรับอุโมงค์ที่ใช้ในการคมนาคมขนส่ง (Trnsit Tunnel) ขนาดของอุโมงค์ที่จะต้องทำการออกแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้คือ

1.ความกว้าง ความยาวของยวดยานพาหนะที่จะแล่นผ่าน

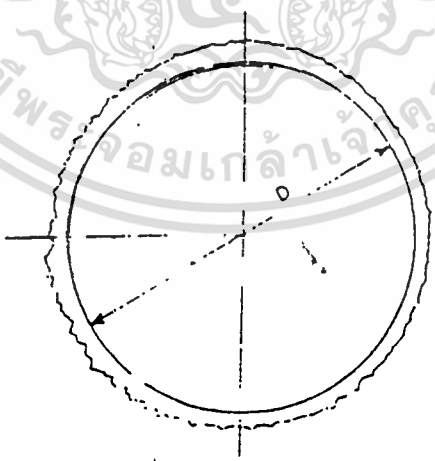
2.รัศมีทางแนวราบและรัศมีทางแนวดิ่งของแนวโค้งของอุโมงค์

3.ช่องว่างสำหรับการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น ทางเดินฉุกเฉิน ระบบการระบายน้ำ พื้นที่สำหรับการซ่อมแซม

2.3.1 ลักษณะรูปร่างของหน้าตัดอุโมงค์แบบต่าง ๆ

Circular shaped

อุโมงค์แบบนี้มีรูปตัดภายนอกเป็นวงกลม ซึ่งลักษณะวงกลมนี้จะช่วยลดผลของแรงดันที่กระทำต่อพื้นผิวอุโมงค์จากทั้งภายในและภายนอก ทั้งนี้เพราะโครงสร้างรูปวงกลมสามารถแผ่กระจายแรงไปยังส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างได้ดี และสม่ำเสมอกว่าโครงสร้างรูปทรงอื่น ๆ ทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้สำหรับการทำผนังแบบติดตั้งแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปทุกชิ้น และผนังคอนกรีตแบบหล่อในที่รับน้ำหนักได้มากกว่าและมั่นคงกว่าด้วย อุโมงค์รูปแบบนี้เหมาะสำหรับการก่อสร้างในดินอ่อน และเป็นรูปทรงเบื้องต้นที่สามารถดัดแปลงรูปทรงอื่น ๆ ได้ง่าย ดังรูปที่ 2.12

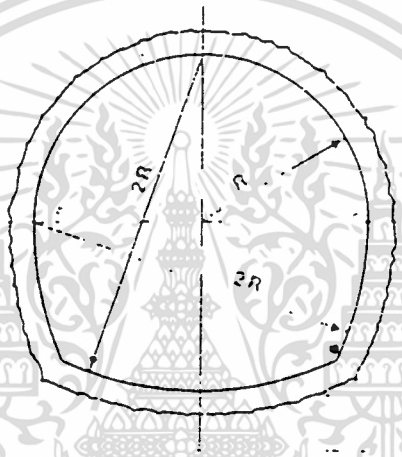


รูปที่ 2.12 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ Circular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Horseshoe shaped

อุโมงค์แบบนี้มีรูปร่างคล้ายเกือกม้า มีพื้นที่ราบซึ่งกว้างพอสำหรับรถบรรทุก และยวดยาน สำหรับขนวัสดุหนักผ่านไปมาได้ โดยที่ส่วนของพื้นทางจะมีลักษณะแคบทำให้ใช้ปริมาณของคอนกรีต ในส่วนของ Invert น้อยกว่าแบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.13 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ Horseshoe

Vertical sidewall tunnel

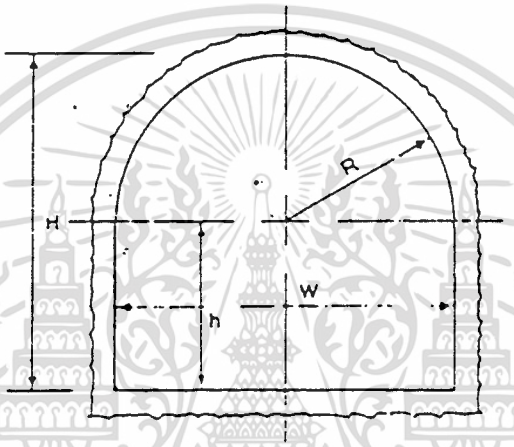
เป็นรูปแบบของอุโมงค์ที่คุ้นตามากกว่าแบบอื่น เพราะนิยมก่อสร้างอุโมงค์แบบนี้มาตั้งแต่ยุคแรก ๆ ของการก่อสร้างอุโมงค์ ซึ่งส่วนมากจะเป็นการขุดเจาะอุโมงค์ในหินแข็งและมีความมั่นคงพอสมควรใช้สำหรับเป็นเส้นทางการขนส่งและการค้าขายมาตั้งแต่อดีต พื้นที่บริเวณฐานกว้างพอสมควร และที่สำคัญไม่จำเป็นต้องทำการปรับพื้นทางมากนัก เพียงแต่ผิวการจราจรก็สามารถใช้เป็นเส้นทางการขนส่งได้ทันที

Basket handle tunnel

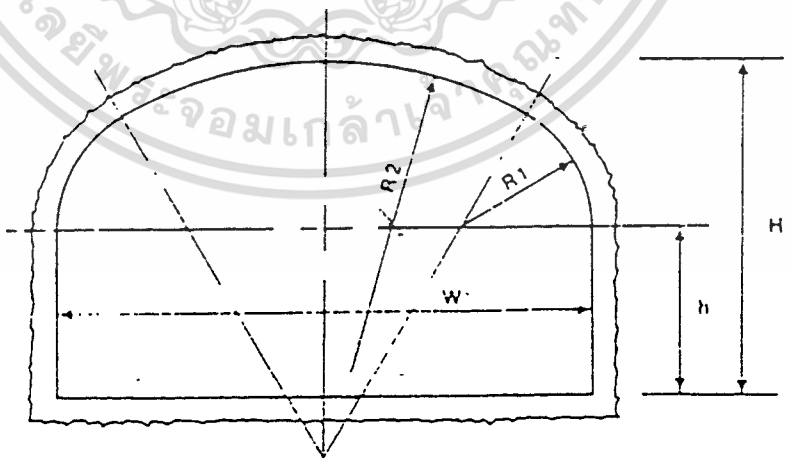
เป็นรูปแบบของอุโมงค์ที่พื้นที่กว้างขวางที่สุด สามารถใช้ทำเป็นสถานีภายในอุโมงค์ได้โดยปกติแล้วสามารถทำเป็นเส้นทางการขนส่งที่มีความกว้างของผิวถนนประมาณ 3 - 4 เลน สำหรับอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบนี้ที่ใช้เป็นอุโมงค์สำหรับการขนส่ง จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในอย่างน้อย 12 - 13 ฟุต แต่มีข้อจำกัดสำหรับอุโมงค์รูปแบบนี้ คือจะต้องก่อสร้างในบริเวณที่เป็นหินแข็งมีความมั่นคงแข็งแรงดีเท่านั้น



รูปที่ 2.14 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ Vertical Sidewall



รูปที่ 2.15 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบ Basket Handle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 หลักการเลือกลักษณะหน้าตัดอุโมงค์ที่เหมาะกับการใช้งาน

การเลือกหน้าตัดอุโมงค์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1.ชนิดของกำลัง ความหนาแน่นของน้ำ และแรงดันดิน

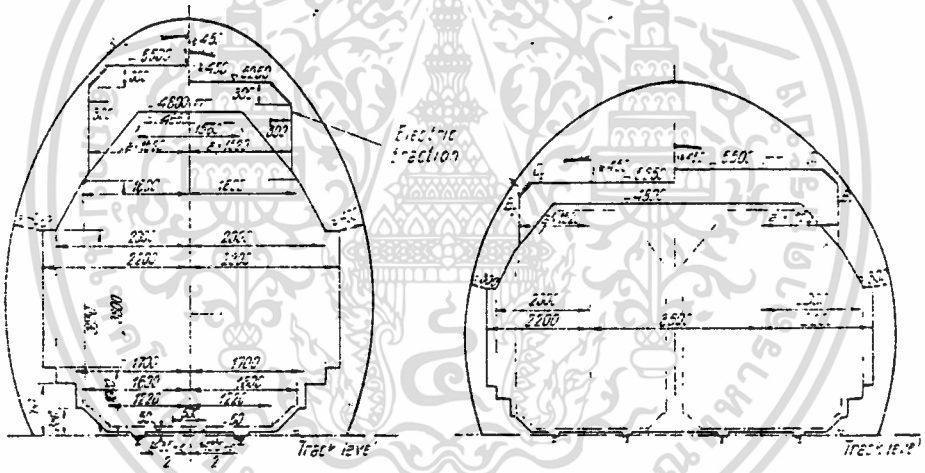
2.วัสดุที่นำมาทำเป็นผนังอุโมงค์จะต้องมีกำลังต้านทานแรงกระทำจากภายนอกได้

3.ความจำเป็นในการจัดแบ่งรางรถไฟให้เป็นแบบรางเดี่ยวหรือแบบรางคู่

4.วิธีการที่ใช้ขุดอุโมงค์

ตัวอย่างการเลือกลักษณะหน้าตัดอุโมงค์ที่เหมาะกับการใช้งาน

1.สำหรับหน้าตัดอุโมงค์แบบเกือกม้า(horseshoe cross-section) โดยทั่วไปจะใช้กับอุโมงค์ประเภทรางเดี่ยว ตัวอุโมงค์จะเป็นทรงสูง สำหรับอุโมงค์ประเภทรางคู่ตัวอุโมงค์จะมีรูปทรงแบน ดังรูปที่ 2.16

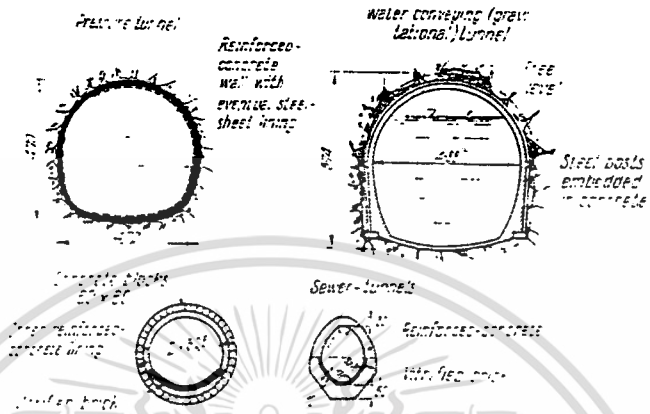


รูปที่ 2.16 รูปร่างหน้าตัดของ Railway Tunnel

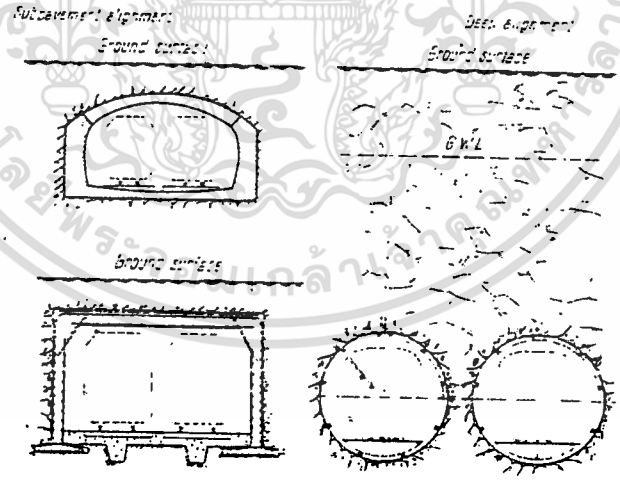
2.หน้าตัดอุโมงค์แบบเกือกม้า(horseshoe cross-section)จะถูกดัดแปลงมาใช้กับอุโมงค์ได้น้ำ (Water-Conveying) ซึ่งจะอยู่ภายใต้สภาพการไหลของน้ำ อย่างไรก็ตามแรงดันภายในอุโมงค์หน้าตัดแบบเกือกม้าสูงสุดจะใกล้เคียงกับหน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลม(Circular cross-section) ดังรูปที่ 2.17

3.สำหรับอุโมงค์รถไฟใต้ดินโดยทั่วไปจะใช้หน้าตัดแบบ flat-arched cross-section ถ้าอยู่ใต้ผิวดินไม่มากนัก แต่ถ้าอยู่ใต้ผิวดินมาก ๆ จะใช้หน้าตัดแบบวงกลม (circular cross-section) สองอันแยกกัน ดังรูปที่ 2.18 และรูป 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

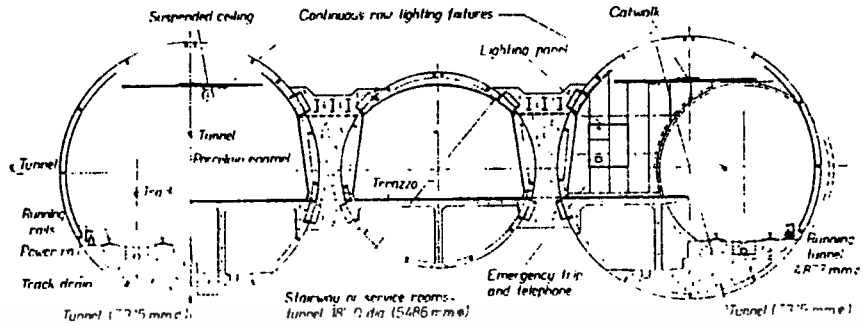


รูปที่ 2.17 รูปร่างหน้าตัดของ Water-conveying Tunnel



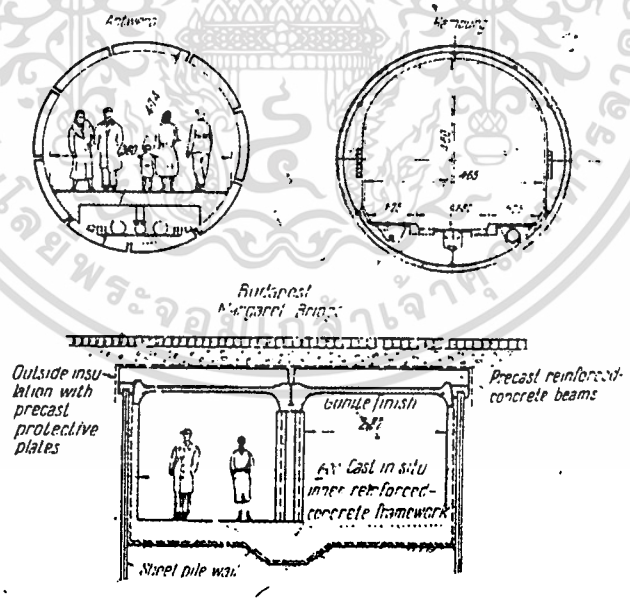
รูปที่ 2.18 รูปร่างหน้าตัดของ Subway Tunnel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



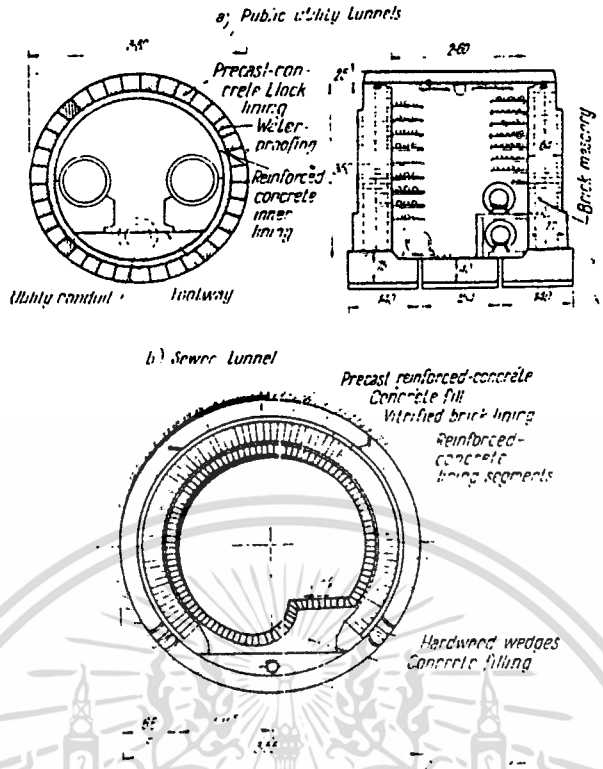
รูปที่ 2.19 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลมของ Subway Tunnel

4.อุโมงค์สำหรับคนเดินและใช้ประโยชน์ทั่วไป จะเลือกใช้หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม(Rectangular Cross-section) หรือแบบวงกลม (circular cross-section)โดยจะก่อสร้างไว้ใต้ผิวดินหรือระดับลึกกว่านี้ก็ได้ ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21



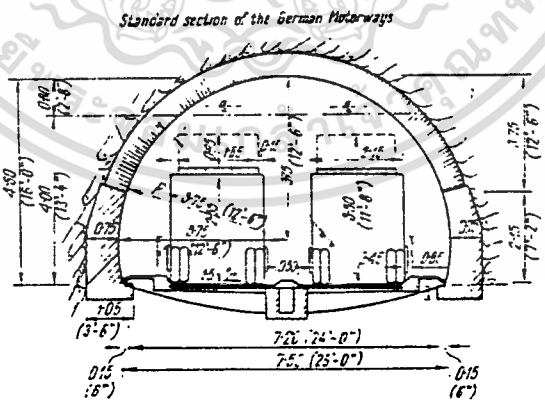
รูปที่ 2.20 รูปร่างหน้าตัดอุโมงค์ของ Passenger Tunnel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 รูปร่างหน้าตัดของ Public Utility Tunnels

6.อุโมงค์ที่มีความกว้างของหน้าตัดมาก ๆ จะถูกนำมาใช้เป็นอุโมงค์เดินรถโดยจะใช้หน้าตัดแบบเกือกม้า (horseshoe) ดังรูปที่ 2.22

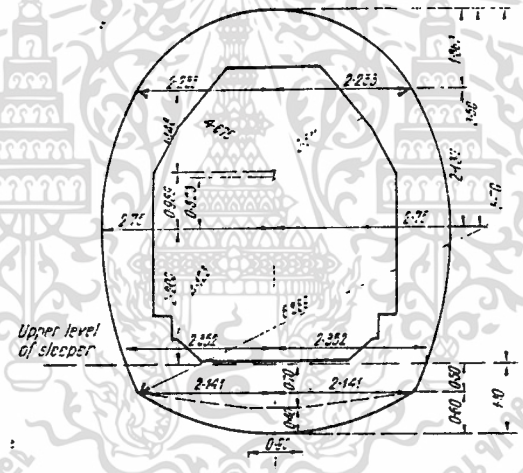


รูปที่ 2.22 รูปร่างหน้าตัดของ อุโมงค์ยานพาหนะ(Vehicular Tunnels)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 <u>เนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์</u> (Tunnel Clearance)

ขั้นตอนแรกในการออกแบบอุโมงค์คือการกำหนดขนาดหน้าตัดอุโมงค์ที่ต้องการโดยมีเนื้อที่ว่างในอุโมงค์ (tunnel clearance) ตามความจำเป็นในการใช้งาน การออกแบบเนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์รถไฟใช้ตามข้อกำหนดของ Central European Railway Association ดังนั้นจะมีเนื้อที่ว่างอย่างน้อย 30 - 40 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเนื้อที่ว่างที่ต้องการของเส้นทางเปิด (open line) จุดประสงค์ของการกำหนดเนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์ก็เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการก่อสร้าง และการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดเนื่องจากแรงดันหิน (rock pressure) การเคลื่อนตัวของหิน และการไหลของน้ำ ควรพิจารณาให้หน้าตัดมีขนาดใหญ่พอที่ช่วยให้มีการระบายอากาศที่ดีขึ้น เพราะอุโมงค์รถไฟจำเป็นจะต้องมีการระบายควันจากการขับเคลื่อนและการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ ด้วยเหตุผลนี้หน้าตัดอุโมงค์รถไฟจะมีเนื้อที่ว่างมากกว่าเส้นทางเปิดประมาณ 50 - 60 cm. ด้วย ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 เนื้อที่ว่างที่ต้องการสำหรับ Railway Tunnel

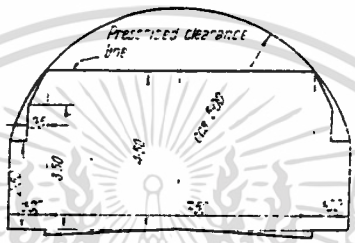
เนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์ไม่เพียงแต่จะให้พาหนะเคลื่อนที่อย่างปลอดภัยเท่านั้น ยังมีไว้สำหรับท่อและสายเคเบิ้ลอำนวยความสะดวกต่าง ๆ สำหรับอุโมงค์และบำรุงรักษาทางรถไฟ เช่น ท่อน้ำ ท่อระบายอากาศ ท่อความดันอากาศ สายเคเบิ้ลให้ความสว่าง อุปกรณ์ความปลอดภัย ฯลฯ ซึ่งจะต้องจัดวางตำแหน่งให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพที่สุด โดยเฉพาะอุโมงค์รถไฟใต้ดิน

สำหรับอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ที่ใช้ระบบรถไฟฟ้า หน้าตัดของอุโมงค์จะต้องเพิ่มเนื้อที่ว่างของอุโมงค์บริเวณด้านบนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

สำหรับอุโมงค์รถยนต์ โดยทั่วไปขนาดของอุโมงค์จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายไอเสียจากพาหนะได้อย่างดี เนื้อที่ด้านข้างจะเผื่อไว้ประมาณ 1 เมตร เพื่อความปลอดภัยในการขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ยังมีข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งว่า ยานพาหนะมีการพัฒนาระบบและขนาดรูปร่างเรื่อย ๆ ตามระยะเวลา ดังนั้นเนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์ก็จะต้องมีการออกแบบปรับปรุงขนาดด้วยตามความเหมาะสม ตัวอย่างขนาดหน้าตัดอุโมงค์ที่กำหนดสำหรับอุโมงค์รถยนต์ที่ German Autobahns แสดงตามรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 เนื้อที่ว่างที่ต้องการสำหรับ Motorway Tunnels

ในกรณีของอุโมงค์ส่งน้ำ (Water - conveying tunnels) ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์จะถูกควบคุมโดยปริมาณการไหลของน้ำ ดังนั้นจะมีผลต่อความเร็วในการไหลของน้ำด้วย โดยทั่วไปจะยอมให้มีเนื้อที่ว่างภายในอุโมงค์ ประมาณ 0.5 - 1.0 เมตร ระหว่างด้านบนขวา หน้าตัดอุโมงค์ถึงระดับน้ำภายในอุโมงค์ สำหรับหน้าตัดอุโมงค์แบบเกือกม้า(horseshoe section)

ส่วน pressure tunnels จะใช้หน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลม (circular) เพราะสามารถต้านแรงดันภายในอุโมงค์ที่มีค่าสูงมากได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าหน้าตัดอุโมงค์แบบเกือกม้า (horseshoe)

2.3.1.3 <u>ผลกระทบต่าง ๆ ที่มีผลต่อหน้าตัดอุโมงค์</u>

<u>ผลกระทบทางธรณีวิทยาที่มีต่อรูปร่างหน้าตัด</u>

ปัจจัยของการพิจารณาผลกระทบที่มีต่อขนาดของหน้าตัดอุโมงค์อันเนื่องมาจากธรรมชาติของธรณีวิทยา จะถูกนำมาใช้พิจารณาเมื่อทำการก่อสร้างอุโมงค์ ขนาดของน้ำหนักภายนอก เช่น แรงดันของหินหรือแรงดันดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังโดยธรรมชาติของหินและดิน โดยคุณสมบัติของแรงดันนี้เป็นที่ยอมรับว่าอยู่ในรูปอัตราส่วนระหว่างแรงดันด้านข้าง (Latenal pressure) กับแรงดันในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vertical pressure) ที่กระทำต่ออุโมงค์ โดยทั่วไปขนาดความสัมพันธ์ของแรงดันด้านข้างของหน้าตัดแบบวงกลมจะได้เปรียบมากกว่าหน้าตัดแบบอื่น ๆ ที่พบ

ผลสรุปที่ได้รับจากการพิจารณาขนาดและหน้าตัดและความสัมพันธ์ของแรงดันด้านข้างและแรงดันแนวดิ่ง โดยแรงดันในแนวดิ่งจะมีค่ามากกว่าแรงดันในแนวด้านข้าง

สำหรับแรงดันที่อยู่ในแนวเอียงหรือน้ำหนักที่ไม่สมดุลย์ที่กระทำต่อหน้าตัดที่ไม่สมดุลย์ เช่น สภาพของอุโมงค์ที่มีความถึกไม่มากภายใต้สภาพโครงสร้างโค้ง อาจจะมีแรงกระทำในแนวขนานกับผิวของหน้าตัดอุโมงค์ ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้าง โดยอาจมีผลมาจากชั้นของหินหรือสภาพของดินที่อยู่รอบๆอุโมงค์

ผลกระทบของวิธีการก่อสร้างที่มีต่อการเลือกหน้าตัดอุโมงค์

1.ตามวิธีการขุดพวกบ่อแร่ หรือ อุโมงค์ขุดแร่ จะเหมาะกับหน้าตัดแบบเกือกม้า (horseshoe) และแบบโค้งแบน (archeel - flat)

2.การขุดโดยใช้ shield จะจำกัดเฉพาะหน้าตัดแบบวงกลม (Circular cross-section)

3.การขุดโดยใช้ Caison หรือการปล่อยให้จมลง (Sinling Method) จะเหมาะกับหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular cross-section) กับหน้าตัดแบบวงกลม (Circular cross-section)

4.วิธี free - face method จะใช้ได้กับหน้าตัดอุโมงค์แบบต่าง ๆ ทุกหน้าตัด

ผลกระทบของผนังอุโมงค์ต่อรูปร่างของหน้าตัด

เมื่อเลือกรูปร่างหน้าตัดอุโมงค์ จะต้องพิจารณาวัสดุที่ใช้ทำผนังอุโมงค์ด้วย แต่เดิมวัสดุแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อความเค้นอัด (compressive stress) เพียงอย่างเดียว ได้แก่วัสดุพวกหิน ,อิฐก่อ และคอนกรีต โดยโครงสร้างของผนังอุโมงค์จะประกอบด้วยส่วนโค้งด้านบน (arches) และฐานและกำแพงที่แข็งแรง ซึ่งโครงสร้างจะต้านเฉพาะความเค้นอัดอย่างเดียว ส่วนความเค้นดึง (tensile stress) จะต้องไม่เกินหน้าตัดแบบเกือกม้า(horseshoe) , วงกลม และวงรี (elliptical) ซึ่งแกนหลักอาจจะอยู่ในแนวดิ่งหรือแนวนอนก็ได้

สำหรับวัสดุที่ทนทานทั้งความเค้นดึงและความเค้นดัด (bending stress) สามารถใช้กับผนังอุโมงค์ในแต่ละรูปร่างที่ออกแบบ ซึ่งออกแบบให้ประหยัด และยอมให้มีเนื้อที่วางให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 **ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน**

พื้นฐานสำคัญในการคาดหวังไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นของการจราจรที่เหมาะสมกับการที่จะสร้างอุโมงค์แบบรางคู่หรือการที่จะขยายขนาดของรางในอนาคต ซึ่งในการสร้างอุโมงค์รถไฟแบบรางคู่ปัญหาในการเลือกหน้าตัดอุโมงค์ ไม่ว่าจะเป็นแบบเกือกม้า (horseshoe) แบบสี่เหลี่ยม (rectangular) หรือ แบบวงกลม (circular) โดยการเลือกหน้าตัดอุโมงค์ขึ้นอยู่กับสภาพของดินที่มีผลต่อการก่อสร้าง ซึ่งอุโมงค์เดี่ยวรางคู่ จะมีความได้เปรียบอุโมงค์คู่รางเดี่ยวมากซึ่งหน้าตัดที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบเกือกม้า (horseshoe) แบบสี่เหลี่ยม (rectangular) โดยอาจจะเปลี่ยนแปลงได้สำหรับผิวอุโมงค์ที่อยู่ในหินแข็ง และอุโมงค์ใต้ดินที่อยู่ลึก ๆ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของหน้าตัดแบบเกือกม้า(horseshoe) และแบบวงกลม (Circular) ทั้งแบบรางเดี่ยวและรางคู่

ชนิดของหน้าตัด	จำนวนราง	พื้นที่(ตารางเมตร)
เกือกม้า(horse-shoe)	1	35-50
เกือกม้า(horse-shoe)	2	75-85
เกือกม้า(horse-shoe)	1	45-60
เกือกม้า(horse-shoe)	2	80-100
วงกลม(circular)	1	29.6
วงกลม(circular)	2	68.0

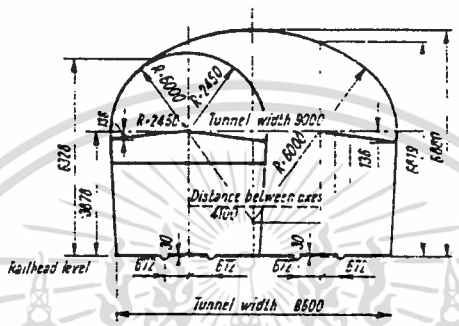
(ที่มา: หนังสือ"The Art of Tunnelling" โดย Szechy Karoly)

จากตารางจะพบว่าพื้นที่หน้าตัดแบบเกือกม้าชนิดรางคู่ จะมีพื้นที่ใหญ่กว่าอุโมงค์รางเดี่ยวชนิดหน้าตัดแบบเดียวกัน โดยในการก่อสร้างอุโมงค์แบบรางเดี่ยวชนิดหน้าตัดแบบเกือกม้าจะมีราคาแพงมากในขณะที่การก่อสร้างหน้าตัดแบบวงกลมอาจจะมีราคาต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ลักษณะหินแข็งควรใช้อุโมงค์แบบรางคู่ (double track tunnel) หน้าตัดรูปเกือกม้า (horseshoe) ในขณะที่ดินมีลักษณะร่วนซุย , อ่อน ควรใช้อุโมงค์แบบรางเดี่ยว 2 อุโมงค์ (two single - track tunnels) ซึ่งมีหน้าตัดรูปทรงกลมจึงจะดี

มาตรฐานหน้าตัด ของอุโมงค์แบบรางเดี่ยวและรางคู่ของโซเวียต (on soviet railway) ดูได้จากรูป 2.25



รูปที่ 2.25 มาตรฐานหน้าตัดของอุโมงค์แบบรางเดี่ยวและรางคู่ของ Soviet Railway

ข้อดีของอุโมงค์แบบรางคู่ (double - track tunnel) คือ มีการระบายอากาศดี และสามารถซ่อมบำรุงโดยไม่ต้องปิดการจราจรภายในอุโมงค์

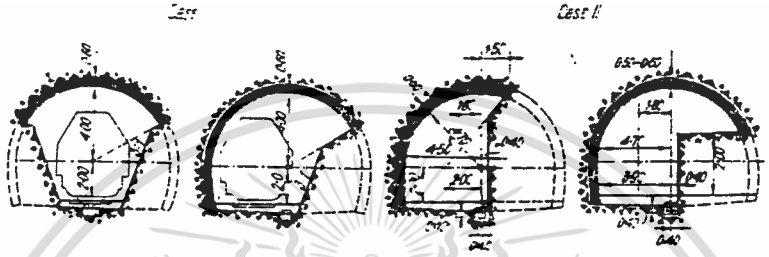
สำหรับอุโมงค์แบบรางเดี่ยว 2 อัน (Two Single - track tunnel) ระยะห่างระหว่างอุโมงค์แต่ละอันต้องเหมาะสม ต้องไม่อยู่ในโซนความดัน (Pressure Zone) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความลึกของอุโมงค์ (depth of cover) ความกว้างของอุโมงค์ ความแข็งแรงของหินหรือดินที่อยู่รอบ ๆ อุโมงค์ ปกติระยะห่างระหว่างอุโมงค์จะมีระยะห่างประมาณ 25 - 30 เมตร (สำหรับ The Budapest Underground Railway ห่าง 23.5 เมตร) ผลที่เกิดจากการสร้างอุโมงค์อันแรกจะนำไปปรับปรุงสำหรับสร้างอุโมงค์อันที่สอง ดังนั้นอุโมงค์อันแรกจะต้องศึกษาน้ำหนักรวม(additional load) และ Shift load ปรับปรุงรูปแบบความเค้น (stress pattern) ให้เหมาะสมไม่ให้ผนังอุโมงค์ร้าวหรือมีน้ำซึมเข้าอุโมงค์,

ตัวอย่างเช่นการสร้างอุโมงค์ Second Simpion tunnel ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอุโมงค์ไม่เกิน 17 เมตร ที่ความลึก 2,200 เมตร ฉะนั้นผลของความดันที่กระทำกับอุโมงค์อันที่ 1 จะนำมาปรับปรุงให้เข้ากับอุโมงค์ที่จะสร้างอันที่ 2 ซึ่งจะทำให้หน้าตัดเปลี่ยนไปประมาณครึ่งเมตร

การคาดคะเนสำหรับปริมาณการจราจรในอนาคต อุโมงค์รถไฟแบบรางคู่ (Double - Track) จะถูกเลือกนำมาก่อสร้างโดยการพิจารณาจะเป็นไปได้จากการพัฒนา 2 ขั้นตอนคือ ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อสร้างอุโมงค์รถไฟรางเดี่ยว (Single - track)ก่อน และทำการขยายให้เป็นแบบรางคู่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น เช่นตัวอย่างอุโมงค์ Lack - Bay Kai ของ Transsberian Railway ดังรูป 2.26



รูปที่ 2.26 ภาพแสดงวิธีขยายอุโมงค์รถไฟแบบรางเดี่ยวให้เป็นแบบรางคู่ของอุโมงค์ Lack-Bay Kay ของ Trans Siberian Railway

ในการออกแบบหน้าตัดอุโมงค์ ควรจะพิจารณาการทำส่วนโค้งของอุโมงค์ให้อยู่ในระดับที่สูงเพื่อประโยชน์ในการติดตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในเรื่องระบบการระบายอากาศและการป้องกันการซึมของน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างขนาดภายในของอุโมงค์แบบรางคู่ในประเทศต่างๆ

ประเทศ	อุโมงค์แบบรางคู่ (Double-Track)	
	ความกว้าง (เมตร)	ความสูงของส่วนโค้ง (เมตร)
อิตาลี	8.00	6.00
ฝรั่งเศส	8.00-8.20	5.80-6.00
เยอรมัน	8.20-8.70	6.20
ออสเตรีย	8.20	6.40

(ที่มา: หนังสือ " The Art of Tunnelling " โดย Szechy Karoly)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างขนาดภายในของอุโมงค์แบบรางเดี่ยวในประเทศต่างๆ

ประเทศ	อุโมงค์แบบรางเดี่ยว (Single-Track)	
	ความกว้าง (เมตร)	ความสูงของส่วนโค้ง (เมตร)
อิตาลี	4.60-5.50	5.00
ออสเตรีย	5.50	5.00
สวิตเซอร์แลนด์	5.20	5.80

(ที่มา: หนังสือ "The Art of Tunnelling" โดย Szechy Karoly)

ข้อเปรียบเทียบอุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน ของกลุ่ม METRO 2000

1.ขนาดของอุโมงค์ สำหรับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม METRO 2000 จะเลือกใช้หน้าตัดอุโมงค์แบบวงกลม โดยมีความหนาของผนังอุโมงค์ 0.40 เมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์เดี่ยวและคู่ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน ของกลุ่ม METRO 2000

แบบของอุโมงค์	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เมตร)
อุโมงค์เดี่ยว	8.40	9.20
อุโมงค์คู่	6.20	7.00

(ที่มา : หัวข้อโครงงานพิเศษปี 2535 เรื่อง " การศึกษารูปแบบของอุโมงค์และสถานีรถไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินฯ ")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. <u>เมื่ออุโมงค์ผ่านใต้ถนนซึ่งอยู่ระหว่างตัวอาคาร</u>

<u>อุโมงค์เดี่ยว</u> ซึ่งบรรจุรถไฟ 2 ขบวน จะต้องใช้ขนาดความกว้างของถนนอย่างน้อย คือ

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในอุโมงค์ กว้าง 8.40 ม.

ความหนาของโครงสร้างอุโมงค์

2 ด้าน ด้านละ 0.40 ม. รวมเป็น 0.80 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์ถึงผิวด้านนอกของเข็มอาคาร

ด้านละ 2 ม. รวมเป็น 4.00 ม.

รวมความกว้างรวมของถนนที่ต้องการอย่างน้อยที่สุด เป็น <u>13.20</u> ม.

<u>อุโมงค์คู่</u> ซึ่งแต่ละอุโมงค์บรรจุรถไฟ 1 ขบวนจะต้องใช้ขนาดความกว้างของถนนอย่างน้อยคือ

เส้นผ่าศูนย์กลายภายในอุโมงค์

แต่ละอุโมงค์ กว้าง 6.20 ม. รวม 2 ข้าง รวมเป็น 12.40 ม.

ความหนาของโครงสร้างอุโมงค์

2 ด้าน ด้านละ 0.40 ม. อุโมงค์คู่ รวมเป็น 1.60 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์ถึงผนังอุโมงค์ 1.00 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์

ถึงผิวด้านนอกของเข็มอาคาร ด้านละ 2 ม. รวมเป็น 4.00 ม.

รวมความกว้างรวมของถนนที่ต้องการอย่างน้อยที่สุด เป็น <u>19.00</u> ม.

3. <u>เมื่ออุโมงค์ลอดผ่านระหว่างเข็มสะพานทางด่วน</u>

ระยะห่างระหว่างผิวอุโมงค์ถึงผิวด้านนอกของเข็มสะพาน ทั้งอุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ ต้องไม่น้อยกว่า D/2 ของอุโมงค์ (D=เส้นผ่าศูนย์กลาง) ดังนั้นความกว้างของเส้นทางใต้สะพานน้อยที่สุด จะเป็นดังนี้

<u>อุโมงค์เดี่ยว</u>

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในอุโมงค์ กว้าง 8.40 ม.

ความหนาของโครงสร้างอุโมงค์

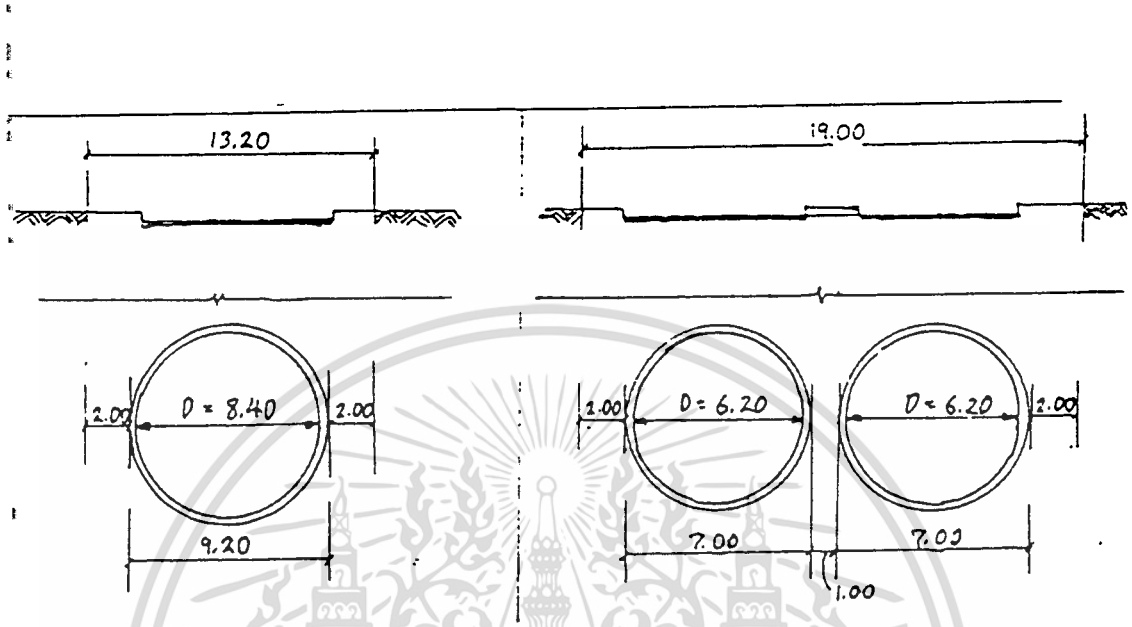
2 ด้าน ด้านละ 0.40 ม. รวมเป็น 0.80 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์และผิวด้านนอกของเข็มสะพาน

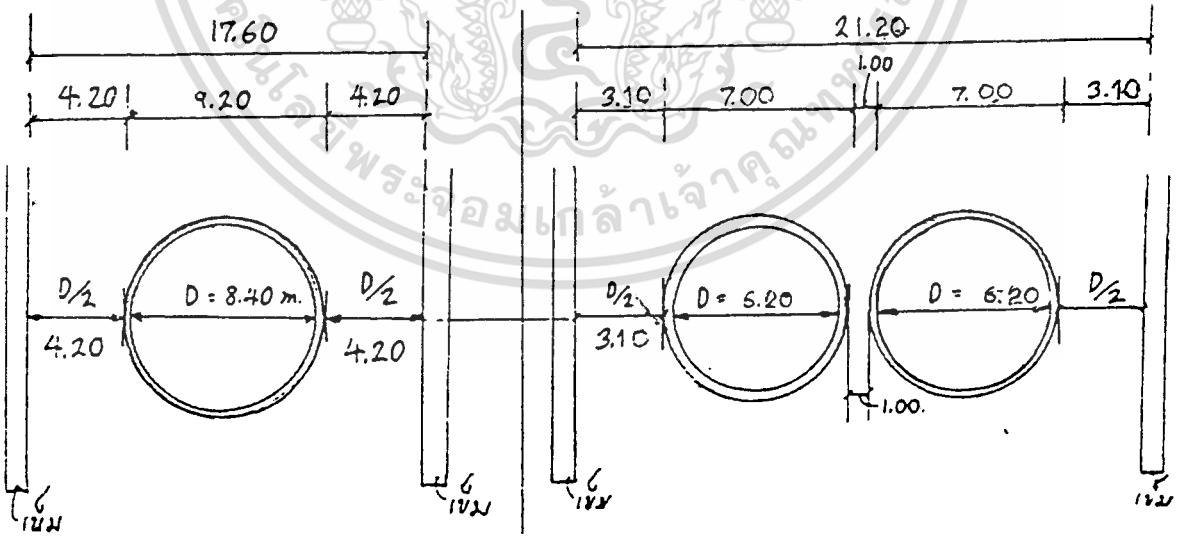
2 ด้าน ด้านละ 4.20 ม. รวมเป็น 8.40 ม.

รวมความกว้างของเส้นทางที่ต้องการอย่างน้อยที่สุด เป็น <u>17.60</u> ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ภาพเปรียบเทียบความกว้างของเส้นทางเมื่ออุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ผ่านใต้ถนนซึ่งอยู่ระหว่างตัวอาคาร โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม METRO 2000



รูปที่ 2.28 ภาพเปรียบเทียบความกว้างของเส้นทางเมื่ออุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่ลอดผ่านระหว่างเขื่อนสะพานทางด่วน โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม METRO 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุโมงค์คู่

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในอุโมงค์แต่ละอุโมงค์

กว้าง 6.20 ม. รวม 2 ข้าง เป็น 12.40 ม.

ความหนาของโครงสร้างอุโมงค์

2 ด้าน ด้านละ 0.40 ม. อุโมงค์คู่ รวมเป็น 1.60 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์ถึงผนังอุโมงค์ 1.00 ม.

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์ถึงผิวด้านนอกของเข็มสะพาน

2 ด้าน ด้านละ 3.10 ม. รวมเป็น 6.20 ม.

รวมความกว้างของเส้นทางที่ต้องการอย่างน้อยที่สุด เป็น 21.20 ม.

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของอุโมงค์เดี่ยวและอุโมงค์คู่

อุโมงค์เดี่ยว	อุโมงค์คู่
1.มีราคาค่าก่อสร้างที่ถูกกว่า	1.มีราคาค่าก่อสร้างที่แพงกว่า
2.การก่อสร้างใช้เวลาน้อยกว่า	2.การก่อสร้างใช้เวลานานกว่า
3.ใช้พื้นที่ของช่องทางการจราจรในขณะการก่อสร้างมาก	3.ใช้พื้นที่ของช่องทางการจราจรในขณะการก่อสร้างน้อยกว่า
4.ไม่มีโครงสร้างที่กีดขวางการจราจรเมื่อแล้วเสร็จการก่อสร้าง	4.มีโครงสร้างที่กีดขวางการจราจรเมื่อแล้วเสร็จการก่อสร้าง

(ที่มา : หัวข้อโครงงานพิเศษปี 2535 เรื่อง "การศึกษารูปแบบของอุโมงค์ และสถานีรถไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินฯ")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะของผนังอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (Tunnel Linings)

การก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน (Soft Ground) มักจะประสบปัญหาการพังทลายของดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีผนังอุโมงค์ (Linning) ที่สามารถรับและต้านทานการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งจะเลือกใช้ผนังอุโมงค์ (Lining) ของอุโมงค์นั้นถือเป็นสิ่งสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ เนื่องจากผนังอุโมงค์นอกจากจะต้องมีเสถียรภาพสูงแล้วยังจะต้องถือว่าเป็นงานตกแต่ง (Finishing) ของอุโมงค์ด้วย และผนังอุโมงค์ก็มีผลต่อมูลค่าก่อสร้างทั้งหมดของอุโมงค์ ซึ่ง Peck et al (1969) ได้ประมาณไว้ว่ามูลค่าผนังอุโมงค์ คิดเป็น 20-42 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผนังอุโมงค์ที่เลือกใช้และยังมีผลต่ออัตราความก้าวหน้าของงานอีกด้วย

2.3.3.1 ผนังอุโมงค์ใต้ดินสำหรับดินอ่อน (Soft Ground)

การขุดอุโมงค์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของความเค้นในดิน ซึ่งจำเป็นต้องมีการรองรับและค้ำยันดินบริเวณรอบช่องเปิดของอุโมงค์ไว้เพื่อไม่ให้ดินพังลงมา ดินบางประเภทเราต้องทำค้ำยันทันที ขณะที่ดินบางประเภทจะมีระยะเวลาคงตัว (Stand-up Time) นานพอสมควร จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งค้ำยันโดยทันที

ในอดีตเราจะทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Limincg) เพื่อทำหน้าที่รองรับน้ำหนักชั่วคราวและจึงติดตั้งผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining) เพื่อรับน้ำหนักโดยถาวร แต่หลังจากมีการนำเครื่องเจาะอุโมงค์แบบขุดเจาะเต็มหน้า (Tunnel-Boring Machine, TBM) มาใช้ก็สามารถทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ ในตอนท้ายของหัวเจาะได้ทันที เพื่อทำหน้าที่เป็นผนังชั่วคราวและถาวรในตัว

ผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Lining)

ผนังอุโมงค์ชั่วคราว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) โครงเหล็ก (Steel Ribs)

2) แผ่นเหล็กรีด (Liner Plate)

3) การพ่นคอนกรีต (Shotcrete)

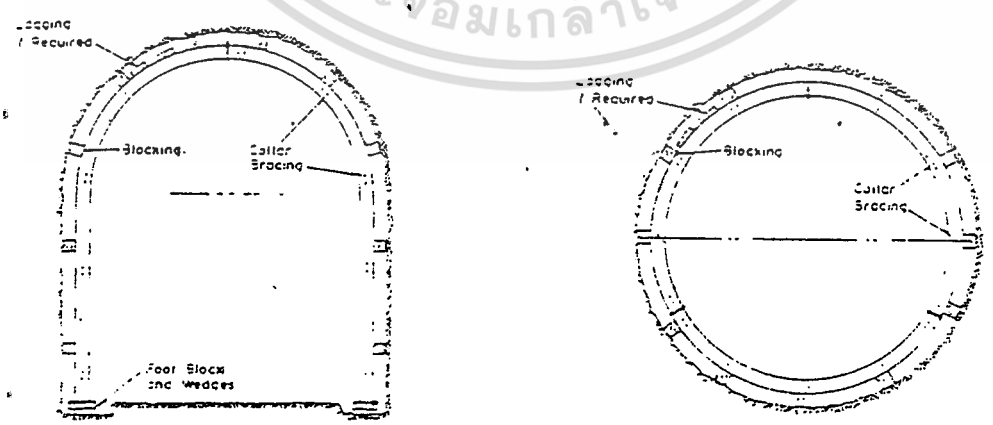
โครงเหล็ก (Steel Ribs) จะทำจากเหล็กหน้าตัดยาวซึ่งดัดให้เป็นโครงตามรูปร่างของอุโมงค์ตามที่ต้องการ การติดตั้งสามารถทำการติดตั้งด้วยมือ หรือติดตั้งโดยใช้เครื่องมือ ติดตั้งที่อยู่ด้านหลังของเครื่องเจาะอุโมงค์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วย Lagging ซึ่งอาจเป็นไม้ คอนกรีตหล่อสำเร็จ หรือแผ่นโลหะ ขึ้นอยู่กับราคาของวัสดุที่ใช้และจุดประสงค์ของผนังอุโมงค์ชั่วคราว ทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ Lagging ที่เป็นไม้ในระยะยาวจึงไม่เหมาะสมเพราะอาจผุพังได้ ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเหนืออุโมงค์

โครงเหล็ก (Steel Ribs) นี้จะวางห่างกันประมาณ 3 ถึง 4 ฟุต เพราะเครื่องเจาะสามารถเคลื่อนตัวได้ในระยะหนึ่ง ผนังชั่วคราวชนิดนี้ ไม่สามารถกันน้ำซึมได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีผนังถาวร (Secondary Lining) อีกชั้นหนึ่ง

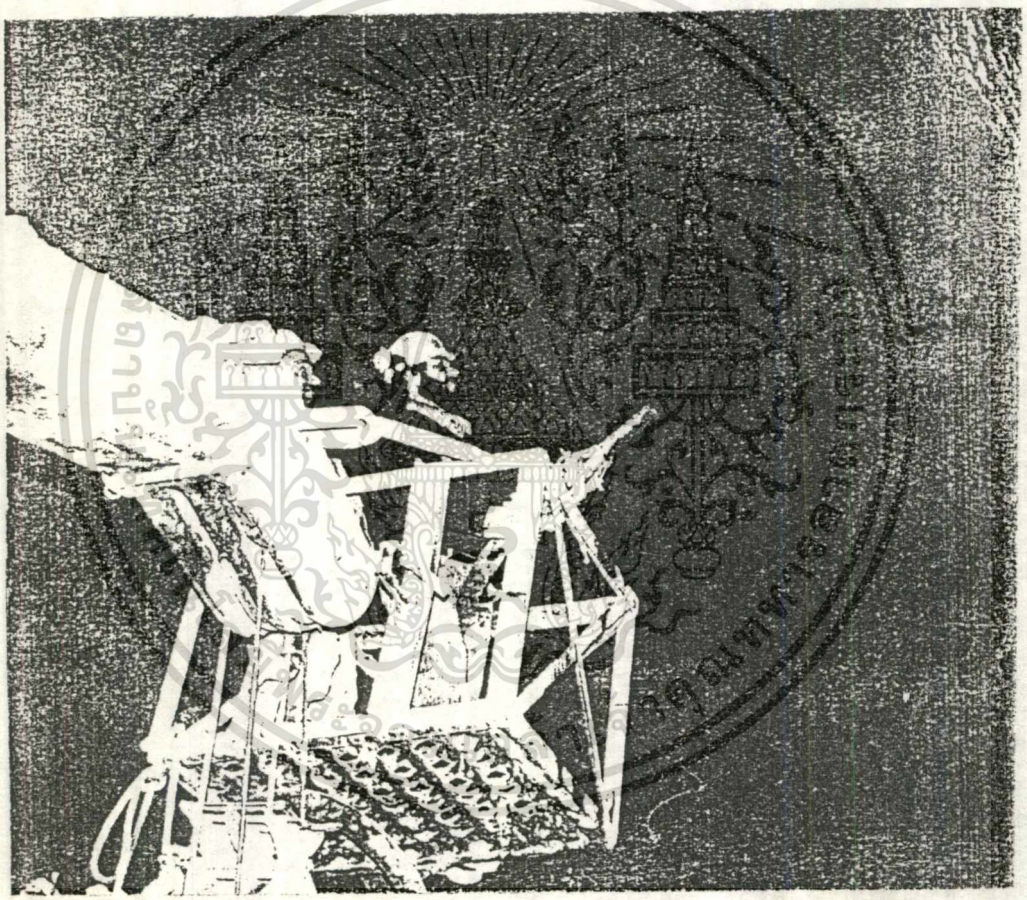
แผ่นเหล็กรีด (Liner Plate) ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่นำมาต่อกัน ซึ่งขอบทั้ง 4 ด้าน จะทำเป็นลักษณะคล้ายหน้าปีก (Flange) เพื่อเสริมความแข็งแรง ความหนา ระยะห่างระหว่างสลัก (Bolts) และขนาดอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์และน้ำหนัก แต่โดยทั่วไปจะมีความหนาประมาณ 16 นิ้ว น้ำหนักของ Plate หนึ่งตัวจะอยู่ในช่วงระหว่าง 25-80 ปอนด์ การติดตั้งสามารถติดตั้งด้วยคน หรือติดตั้งโดยเครื่องติดตั้งก็ได้ ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์ใหญ่มาก อาจใช้ Stiffening Ribs ร่วมด้วยเพื่อช่วยให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น และสามารถใช้ Gasketed Lining ติดไว้ที่ Plate เพื่อช่วยลดการรั่วซึมของน้ำ ข้อดีของแผ่นเหล็กรีด คือมีการเพิ่มมาตรฐานการออกแบบให้สามารถปรับเข้ากับแรงกระทำจากแรงดันที่ต่างกันได้ ทั้งสามารถปรับให้มีรูปร่างตามความโค้งและรัศมีของอุโมงค์ได้ง่ายต่อการขนส่ง และจัดเก็บนอกจากนี้ยังใช้ได้ทั้งในสภาพความดันบรรยากาศ และสภาวะความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังต้องมีการใช้ผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining) ที่เป็นคอนกรีต



รูปที่ 2.29 ผนังอุโมงค์ชั่วคราว ชนิดโครงเหล็ก (Steel Ribs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพ่นคอนกรีต (Shotcrete) คือผนังอุโมงค์ที่เกิดจากการพ่นคอนกรีตเพื่อเป็นผนังของอุโมงค์ทันทีหลังจากขุดความหนาของคอนกรีตที่พ่นโดยทั่วไปคือ 4-6 นิ้ว การพ่นจะต้องกระทำทันทีหลังการขุด และก่อนที่ดินจะเคลื่อนตัว การใช้วิธีนี้กับงานอุโมงค์เพื่อการคมนาคม เราจำเป็นจะต้องเทคอนกรีตที่ส่วนล่างของอุโมงค์อีกครั้ง เพื่อให้ผิวทางเรียบ และในอุโมงค์ที่ประสบปัญหาน้ำใต้ดิน ก็จำเป็นต้องทำผนังอุโมงค์ถาวรด้วย



รูปที่ 2.30 การพ่นคอนกรีต(Shortcreate)

<u>ผนังอุโมงค์ถาวร</u> **(Secondary Lining)** หลังจากที่เราได้ทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Liming) แล้ว เราก็ทำการหล่อผนังอุโมงค์ถาวร ด้วยคอนกรีต หรือวัสดุอื่น ๆ ถ้าหากเป็นคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กซึ่งถือว่ามีความแข็งเกร็ง (Rigid) ไม่เข้ากับความยืดหยุ่น และการโก่งตัว (defomation) ของผนังอุโมงค์ชั่วคราว ซึ่งจะถูกออกแบบให้ต้านทานโมเมนต์คัดเช่นเดียวกับการอัดตัวของวงแหวน (Ring Compression) สำหรับผนังอุโมงค์ส่วนเสียงของเสียหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเสีย ซึ่งปัญหาการรั่วซึมเป็นองค์ประกอบสำคัญ แต่ไม่เหมาะสำหรับอุโมงค์ที่ใช้สำหรับการคมนาคม

สำหรับผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining) ที่เป็นชิ้นส่วนประกอบกัน จะนิยมใช้กับดินที่มีระยะเวลาคงตัว (Stand-up Time) เพียงพอสำหรับการติดตั้ง โดยที่ผนังอุโมงค์ชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นทั้งผนังรับแรงชั่วคราวและถาวร

2.3.3.2 ผนังอุโมงค์ใต้ดินในหินแข็ง

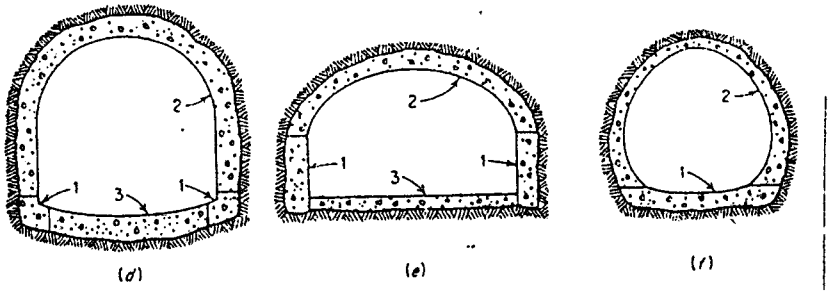
การสำรวจทางธรณีวิทยาจะทำให้ทราบว่าควรออกแบบผนังอุโมงค์ตามสภาพดินนั้น ๆ อย่างไร รับแรงกระทำในแนวดิ่ง (Vertical Pressure) และแนวราบ (Horizontal Pressure) ได้หรือไม่ ถ้าใช้เหล็กเสริมในคอนกรีต ทำเป็นผนังอุโมงค์ ก็จะสามารถลดความหนาของผนังอุโมงค์ลงได้ แต่ถ้าใช้ผนังอุโมงค์แบบเหล็กอย่างเดียว ซึ่งจะมีความหนาน้อยกว่าก็จริง แต่จะไม่ประหยัด กฎอีกอย่างหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปก็คือ ใช้ความหนาของผนังอุโมงค์คอนกรีต 1 นิ้วต่อทุก ๆ 1 ฟุต ของเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์

สำหรับในสภาพหินแข็ง (Solid Rock) น้ำหนักกระทำใด ๆ จะไม่ค่อยมีผลต่อผนังอุโมงค์มากนัก ดังนั้นการออกแบบผนังอุโมงค์จะคำนึงถึงความประหยัด และควรจะได้ความหนาของผนังอุโมงค์น้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถติดตั้งท่อสาธารณูปโภค และท่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ ได้

ความหนาของอุโมงค์จะถูกกำหนดโดยปัจจัยต่อไปนี้

1. สภาพของดินรอบ ๆ อุโมงค์
2. ขนาดและรูปร่างหน้าตัดอุโมงค์
3. การใช้วิธีการก่อสร้าง
4. แรงดันภายใน (กรณีของท่อส่งน้ำ)

ตัวอย่างเช่น Carter Lake Pressure Tunnel ของโครงการ ใช้ความหนาของผนังอุโมงค์คอนกรีตเสริมเหล็ก 5 1/2 นิ้ว โดยออกแบบสำหรับแรงดันน้ำสูงสุด (Maximum Dynamic Head) 325 ฟุต



รูป 2.31 ผนังอุโมงค์คอนกรีตในหินแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 <u>ผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ</u> **(Segmental Lining)**

มาโย (Mayo et al) และ ไซกี้ (1970) ได้บรรยายถึงจุดประสงค์และคุณสมบัติของผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบดังนี้

1 **สามารถรับแรงกระทำจากดินและน้ำโดยทันทีทันใด โดยปราศจากการโก่งตัว** (Defomation) **หรือการรั่วซึม**

2. สามารถต้านทานต่อ Axial Stress ซึ่งเกิดจากการขับดันตัวไปข้างหน้าของ Shield

3. สามารถต้านทานต่อ Impact Stress เนื่องจากการสำเลียง ขนส่ง และการติดตั้งผนังอุโมงค์

4. สามารถป้องกันความชื้นและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อ และตัวกันน้ำ (Water Tightness) รวมทั้งต้านทานการกัดกร่อนได้ดี

5. ประหยัดในการก่อสร้างและการบำรุงรักษา วัสดุที่แพงและแข็งแรงกว่าอาจจะประหยัดมากกว่าวัสดุที่ถูกและบอบบางกว่า เมื่อพิจารณาถึงเรื่องขนาด การติดตั้งผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ (Segmental Lining) ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะของเนื้อวัสดุดังนี้

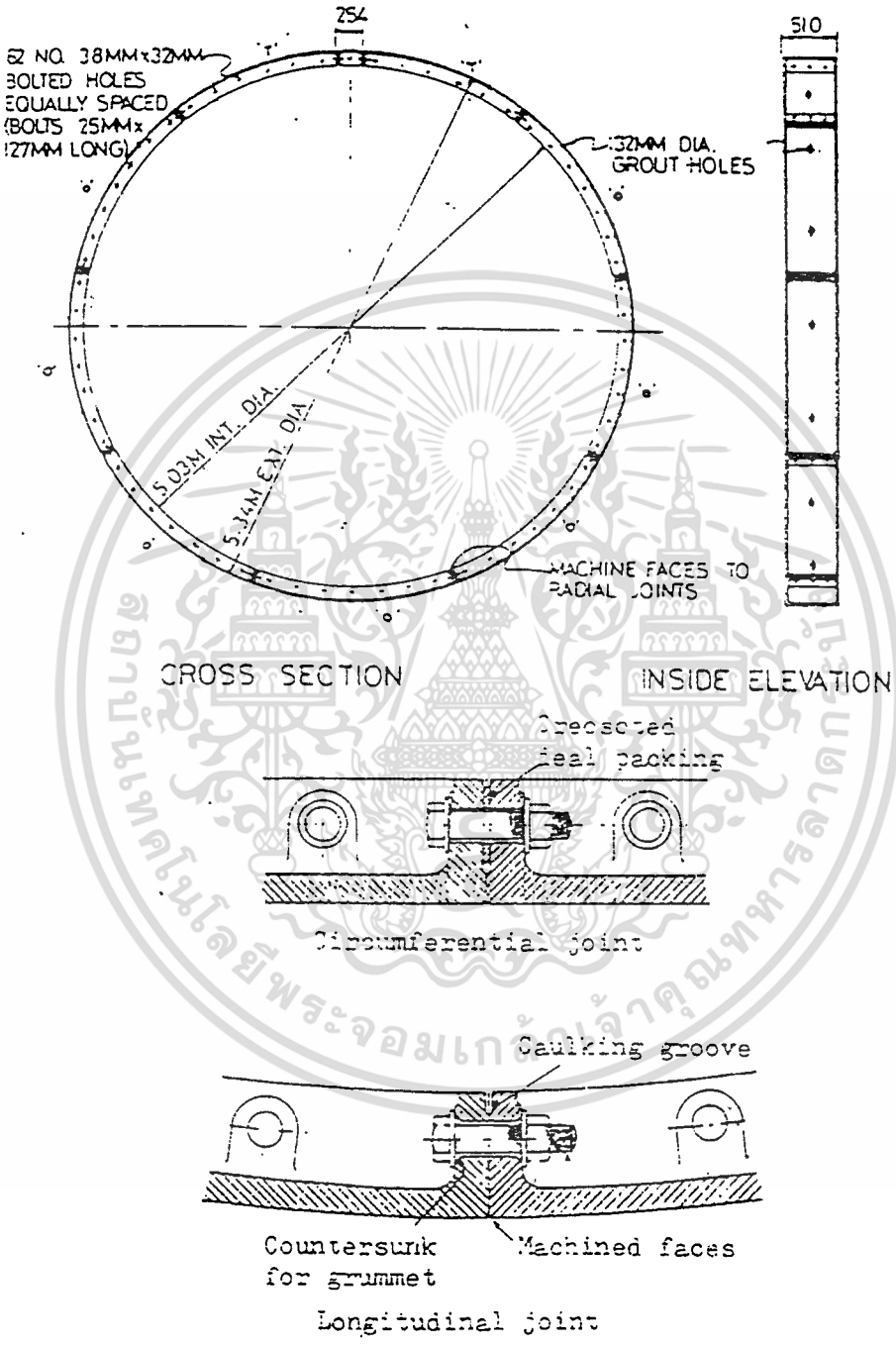
<u>เหล็กหล่อ</u> (Cast Iron)

เหล็กสีเทานำมาใช้เป็นผังอุโมงค์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1860 ในกลุ่มประเทศยุโรป ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพการกัดกร่อน และมีความคงทนถาวร ในสหราชอาณาจักรจะขุดเจาะอุโมงค์ในสภาพดินอ่อนเป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นผนังอุโมงค์เหล็กสีเทา และมักจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ เช่น อุโมงค์ถนนบาเกอร์ (Baker Street) ในกรุงลอนดอนจะเป็นอุโมงค์เหล็กหล่อสีเทาที่ยึดติดด้วย Bolt (Bolt grey iron lining)

เหล็กกราไฟท์ (Spheroidal Graphite) จะมีความทนทานต่อแรงดึงและแข็งแกร่งกว่าเหล็กสีเทา แม้ว่าจะมีราคาสูงกว่าเมื่อเทียบตามน้ำหนัก แต่จะประหยัดชิ้นส่วนมากกว่า สำหรับอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ และชิ้นส่วนกว้างกว่า 1.2 เมตร นิยใช้เหล็กกราไฟท์และในอนาคตก็จะเป็นที่นิยมมากกว่าเนื่องจากมีความต้านทานสูง และมีความอ่อนตัวได้ดี แต่ราคาที่แพงกว่าจึงมีทำชิ้นส่วน (Segment) ให้มีความบางกว่า เหล็กสีเทาคุณสมบัติทั่วไป

แม้ว่า ผนังอุโมงค์เหล็กกราไฟท์ จะนำมาทดแทนผนังแบบเหล็กหล่อสีเทา แต่ผนังชิ้นส่วนแบบเหล็กหล่อสีเทา (Grey Iron) ก็ยังคงถูกใช้อยู่ในประเทศอังกฤษ รูปที่ 2.32 แสดงรายละเอียดของ Bolt Grey Iron Lining ที่ก่อสร้างอุโมงค์วิคตอเรีย ในกรุงลอนดอน สำหรับโครงการนี้ ก่อสร้างในสภาพดินที่มีความอ่อนตัวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 ผนังอุโมงค์แบบเหล็กหล่อ (Bolted Grey Iron)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการขนส่งมวลชนของเกาะฮ่องกง ได้ใช้เทคโนโลยี ก่อสร้างแบบ Shield และใช้ผนังชิ้นส่วนประกอบแบบเหล็กกราไฟท์ ผสมกับคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดผนังอุโมงค์แบบเหล็กกราไฟท์ (Grey Iron)
ในโครงการขนส่งมวลชนของเกาะฮ่องกง

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	5,230 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	5,000 mm
ความหนาของชิ้นส่วนประกอบ	115 mm
ความกว้างของชิ้นส่วนประกอบ	900 mm
ประกอบด้วย 10 ชิ้น/ 1 วงแหวน - ธรรมดา 7 ชิ้น - ด้านบน 2 ชิ้น - จุดต่อ 1 ชิ้น ประกอบด้วย 76 bolt/1 วงแหวน	

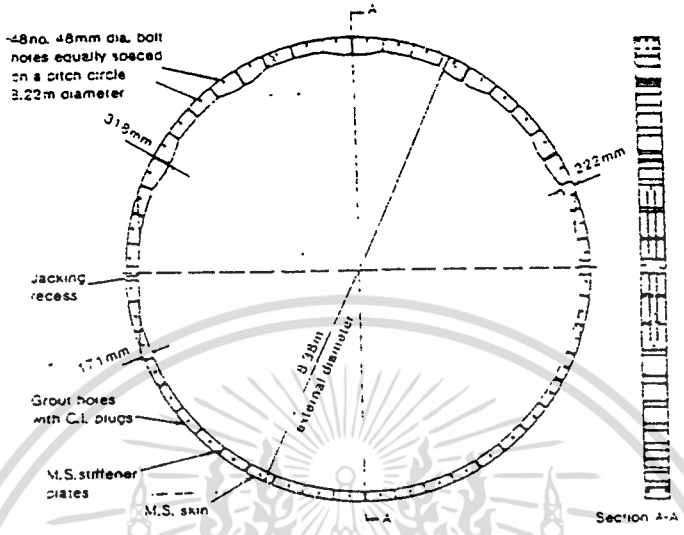
(ที่มา : หัวข้อโครงงานพิเศษปี 2536 เรื่อง "การออกแบบผนังอุโมงค์ในดินอ่อน")

<u>เหล็กกล้า</u> (Steel)

ผนังอุโมงค์ที่ทำด้วยเหล็กกล้า (Steel) มักจะถูกใช้อย่างกว้างขวางในสหรัฐอเมริกามากกว่าในอังกฤษ เพราะเหล็กกล้าจะมีราคาถูกกว่าเหล็กหล่อ และคอนกรีตในอเมริกา คุณสมบัติของเหล็กกล้า (Steel) สามารถทนต่อความกัดกร่อนได้ดี ดังอุโมงค์ในซานฟรานซิสโก และ Washington D.C.

ผนังอุโมงค์เหล็กกล้าจะใช้ในกรณีที่ต้องรับน้ำหนักมาก หรืออยู่ภายใต้ฐานรากขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะยึดกันด้วย Bolt ดังรูป 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 รายละเอียดผนังอุโมงค์แบบเหล็กกล้า (Bolt Fabricated Steel Lining)

<u>คอนกรีตหล่อสำเร็จ</u> (Precast Concrete)

ผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Segmental Lining) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. แบบมาตรฐาน (Standard Bolted Concrete Liming) มักจะใช้เป็น ผนังอุโมงค์ถาวร หรือเป็นคอนกรีตเนื้อเดียว (Insitu Concrete) ในงานส่งน้ำและระบายน้ำ

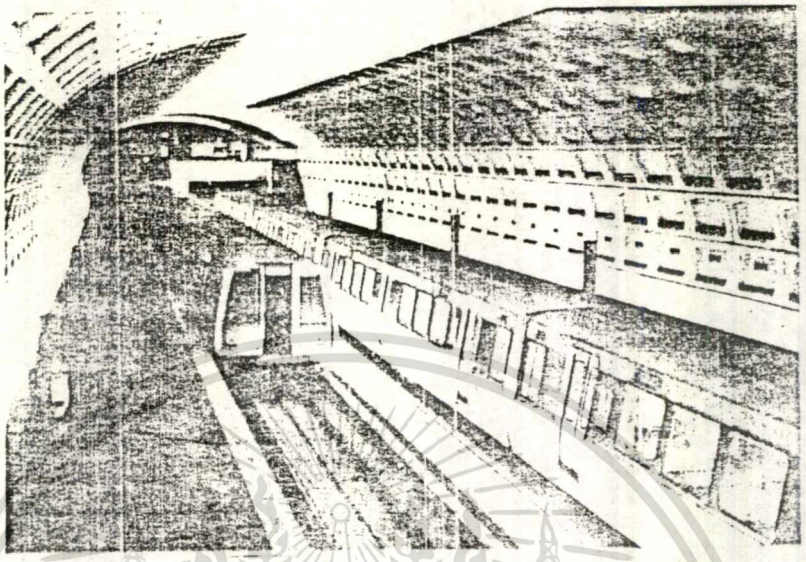
2. แบบผิวเรียบ (Grount Smooth Bore Tunnel Lining) มักจะใช้ในกรณีดินอ่อนหรือหินที่ขาดเสถียรภาพ

3. แบบ Expanded Concrete นิยมใช้อย่างกว้างขวางในสภาพดินเหนียวอ่อน สำหรับเหล็กเสริมในชิ้นส่วนคอนกรีตมีจุดประสงค์ดังนี้

- ช่วยต้านทานแรงดึงและโมเมนต์ดัด ทั้งกรณีรับแรงชั่วคราว และจากการติดตั้งหรือการเคลื่อนตัวของ Shield
- ต้านทานการรับน้ำหนักถาวร

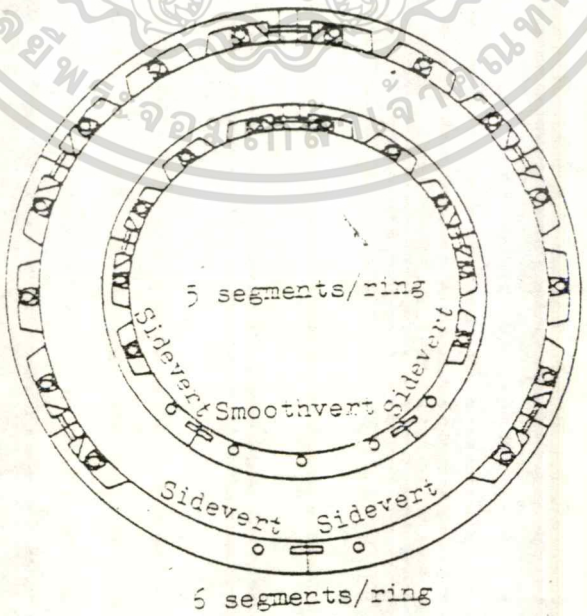
แบบมาตรฐาน (Standard Bolted Concrete Lining) เป็นแบบที่ใช้มากที่สุดในโลก โดยเฉพาะในสภาพดินอ่อนและหินไร้เสถียรภาพ ลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.34 แบบมาตรฐานหรือ Bolt Concrete Segment มักจะใช้ในอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 เมตรขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 ผนังอุโมงค์แบบมาตรฐานสถานีรถไฟใต้ดิน Dupot Circle ,Washington D.C.

ขนาดความกว้างของชิ้นส่วนขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่เหมาะสมและสะดวกในการติดตั้ง ส่วนการเสริมเหล็กจะมีวัตถุประสงค์เพื่อรับแรงขณะทำการติดตั้งมากกว่าการรับแรงถาวร ตัวอย่างการเชื่อมต่อและรายละเอียดต่าง ๆ ดังรูป 2.35ซึ่งเป็นอุโมงค์ที่ก่อสร้างโดยบริษัท ซูซูกิอุตสาหกรรม จำกัด ของญี่ปุ่น

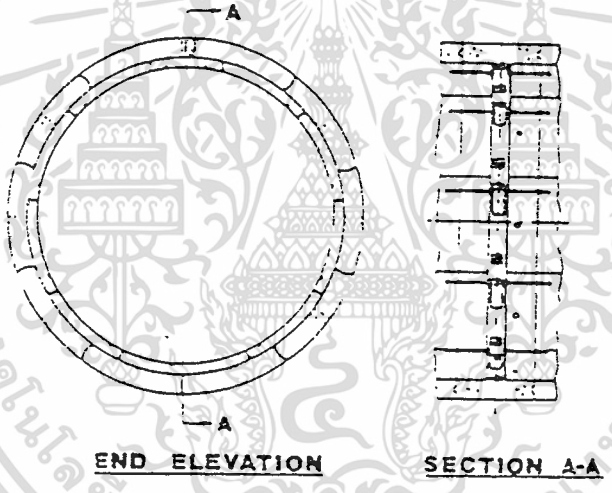


รูปที่ 2.35 ผนังอุโมงค์มาตรฐาน แบบ Concrete Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบผิวเรียบ (Grouted Smooth Bore Lining) มักนิยมใช้ในสภาพดินอ่อนและหินที่ขาดเสถียรภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นดินตะกอน ปกติแล้วแบบผิวเรียบหรือ Unbolted จะไม่เสริมเหล็กและเป็นผนังถาวร ซึ่งจะมีชิ้นส่วนประกอบต่อหนึ่งวงแหวนมากกว่าแบบมาตรฐาน (Bolt Concrate) เพื่อลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แต่ปัญหาที่สำคัญคือ มักเกิดความเสียหายในการขนส่งและการติดตั้ง และต้องมีการอุดรูรั่วอย่างละเอียด

โดยทั่วไปแบบผิวเรียบจะมีราคาใกล้เคียงกับแบบมาตรฐาน และระบบเวลาติดตั้งรวมทั้งค่าใช้จ่ายก็พอ ๆ กัน แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดระยะยาวได้ รวมทั้งเป็นผนังอุโมงค์แบบถาวรด้วย ดังรูป 2.36



รูปที่ 2.36 ผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ (Frouted Smoth Bore Concrete)

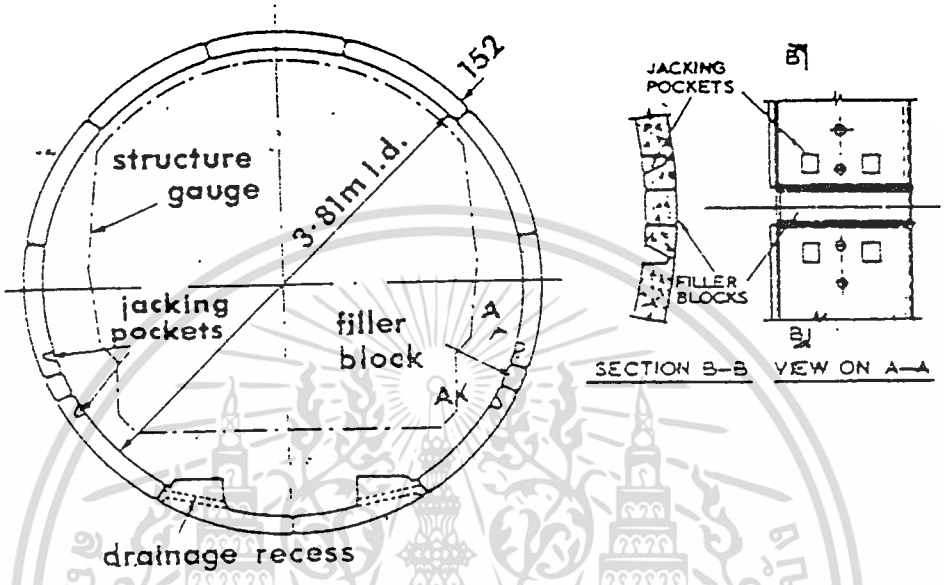
ในปัจจุบัน มีการพัฒนาผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ ที่เรียกว่า แบบทางเดียว (One Pass) ซึ่งมีการเชื่อมต่อขณะทำการก่อสร้างด้วย เหล็กยึด ทำให้ต่อกันเรียบสนิทยิ่งขึ้น

แบบ (Expanded Conerete) มีลักษณะผิวเรียบและมีการประกอบกันในลักษณะ Ket Joint โดยมีวิธีการหลักดังนี้

ก) ใน Wedged Shaped Block ยึดติดในแนวยาวด้วยเครื่องประกอบ

ข) ใช้ ซีเมนต์มอร์ตา ปิดช่องว่างจากการติดตั้งดังรูป 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 ผนังอุโมงค์แบบ Expanded Concrete

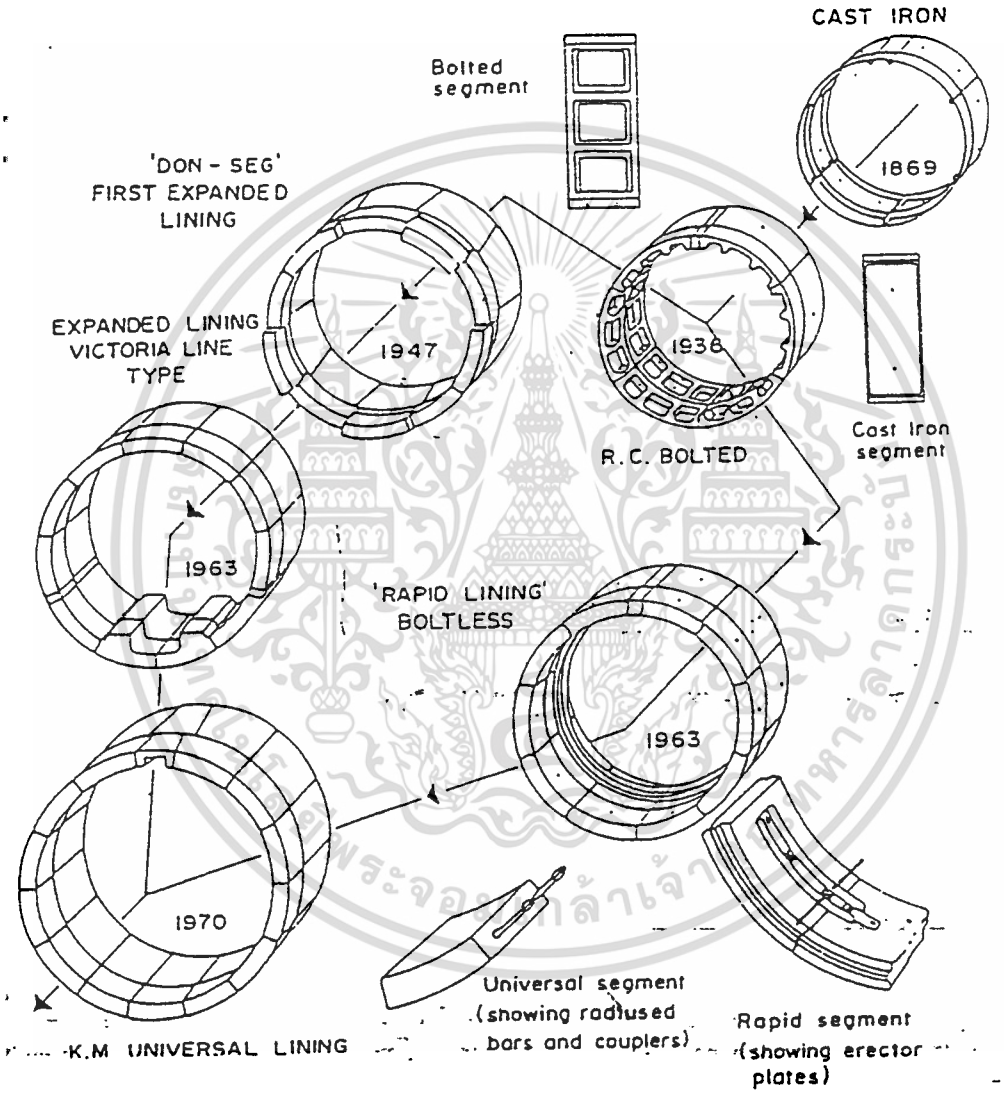
ต่อมาได้มีการพัฒนาผนังอุโมงค์แบบ Expanded Concrete เป็นหลายชนิด เช่น Universal Lining ภายใต้วิธีการเดิม คินเนียร์ โมลายน์ (1970) ได้แสดงการพัฒนาการออกแบบผนังอุโมงค์ ดังรูป 2.38 โดยการพัฒนาของ Expanded Concrete มีหลักการคือ

ก) พิจารณาผนังอุโมงค์จะอยู่ในสภาพที่เกิดแรงอัด (Compression) ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการใช้ Bolt ทำให้ผิวของผนังเรียบ ที่ความสะอาดง่าย และเป็นผนังอุโมงค์ถาวรด้วย

ข) เราสามารถเปลี่ยนแปลงการเจาะรูเพื่อใส่ Bolt มาอยู่ในตำแหน่งอื่นหรือไม่ จำเป็นต้องใช้ Bolt ทำให้ผิวของผนังเรียบ ที่สะอาดง่าย และเป็นผนังอุโมงค์ถาวรด้วย

ดังนั้นการนำผนังอุโมงค์แบบ Expanded Concrete มาใช้จึงเหมาะสมกับงานอุโมงค์ส่งน้ำและระบายน้ำ (Water and Sewer Tunnel) หรือควรใช้แบบ Expansion ที่ส่วนบนของอุโมงค์ (Crown) และส่วนล่าง (invert) เพื่อลดความเสียดทาน แต่ปัญหาสำคัญคือ ความเสียหายจากการเคลื่อนย้าย และจากน้ำหนักที่มีมาก นอกจากนี้เมื่อประกอบติดตั้งจะต้องอัด (Grouting) ลงในช่องว่างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 การพัฒนาผนังอุโมงค์จากอดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้พยายามนำแบบคอนกรีตเลื่อนตัว (Slip Form) มาใช้ในงานหล่อผนังอุโมงค์ที่เรียกว่า Extrude System ซึ่งต้องมีการเปลี่ยนแปลงลำดับและขั้นตอน วิธีทำงานของเครื่องเจาะและการเคลื่อนตัว โดยกำหนดคุณสมบัติของ Extrude ไว้ดังนี้

1. ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ง่าย
2. ประยุกต์ใช้กับเครื่องปั๊มคอนกรีตได้
3. สามารถแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยภายใต้การควบคุม
4. ให้กำลังได้เร็ว
5. การให้กำลัง (Strength) สัมพันธ์กับระยะเวลาการเคลื่อนตัวของดิน
6. มีเสถียรภาพไม่เสียรูปได้ง่าย
7. ทนทานต่อการสึกกร่อน
8. ประหยัดค่าใช้จ่าย

จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงใช้คอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะให้กำลังในตอนต้นสูง และให้กำลังได้เร็ว อัตราการเซทตัวสม่ำเสมอ แต่การพัฒนาในขั้นสมบูรณ์ Extrude Lining ยังไม่ประสบความสำเร็จ

2.3.3.4 <u>การพิจารณาเลือกชนิดของผนังอุโมงค์ใต้ดิน</u>

มีสิ่งสำคัญที่ควรเลือกของผนังอุโมงค์ในดินอ่อนดังนี้

1) ประเภทของอุโมงค์ เช่น คมนาคม ส่งน้ำ ลำเลียง เคเบิล และความจำเป็นของงานตกแต่ง

2) ชนิดของดินแต่ละกรณี

3) ค่าใช้จ่าย

4) ความรวดเร็วในการติดตั้ง

5) ความคงทนต่อแรงในการติดตั้ง และแรงจากน้ำหนักกระทำทั้งหมด

6) การป้องกันการรั่วซึม

7) ความคงทนต่อการสึกกร่อน

สำหรับความเร็วในการติดตั้ง ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์และขนาดความยาวของชิ้นส่วนจากสถิติทั่วไปที่มีการบันทึกระยะเวลาในการติดตั้งต่อวงแหวนเป็นดังนี้ ตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ระยะเวลาในการติดตั้งต่อวงแหวนแบบต่าง ๆ

รูปแบบวงแหวน	เส้นผ่านศูนย์กลาง(เมตร)	ระยะเวลาการติดตั้ง(นาที)
แบบBolted Concret	3 เมตรขึ้นไป	30-90
แบบผิวเรียบ	3 เมตรขึ้นไป	20-45
แบบ Expanded Concret	2.54 (Wedge block)	3-5
	3.80	15-30
	5-10	15-45
แบบBloted Cast Iron	2-4	15-60
	4-10	1-3 ชั่วโมง
แบบExpanded CastIron	4	15-30

(ที่มา : หัวข้อโครงงานพิเศษปี 2536 เรื่อง "การออกแบบผนังอุโมงค์ในดินอ่อน")

การใช้ผนังอุโมงค์หลายแบบในการก่อสร้างสภาวะดินอ่อน ในปัจจุบันมีแนวโน้มจะใช้ผนังอุโมงค์แบบคอนกรีตมากกว่า ยกเว้นในกรณีที่อยู่ภายใต้สภาวะดินผสมจึงหันมาใช้ผนังอุโมงค์แบบเหล็กกราไฟท์ (Spheroidal Graphite) สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การที่ชิ้นส่วนมีความกว้างมาก ก็จะสามารถติดตั้งได้รวดเร็ว แต่ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องติดตั้งว่าสามารถใช้ได้กับชิ้นส่วนขนาดเท่าไร รวมทั้งน้ำหนักสูงสุดด้วย ส่วนการติดตั้งโดยแรงงานคนจะไม่ใช้ขนาดชิ้นส่วนที่ใหญ่เกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุโมงค์เพื่อป้องกันความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

เพราะความสำคัญของรางรถไฟที่มีต่อการขนส่ง ซึ่งการก่อสร้างในช่วงครึ่งศตวรรษที่ผ่านมาเป็นช่วงเวลาที่การก่อสร้างทางรถไฟเจริญเติบโตมาก ในขณะที่การก่อสร้างโครงสร้างอื่น ๆ เช่น สะพาน โรงงาน หรืออาคาร ก็ยังมีการก่อสร้างอยู่อย่างปกติ ซึ่งความจำเป็นในการซ่อมแซมในส่วนของโครงสร้างเหล่านี้มีผลมาจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Load) และการเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยอาจจะรวมเอาผลเนื่องจากความล้าของวัสดุ (Fatigue of Materials) สภาพอากาศ (Weathering) และการผุพังในรูปแบบอื่น ๆ

ในการเดินทางระยะไกล ๆ อุโมงค์ได้มีส่วนสำคัญเพิ่มมากขึ้นโดยไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรแต่จะขึ้นอยู่กับสภาพที่ต้องการที่ว่าง (Clearance)

ความปลอดภัยเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะพูดถึงไปพร้อมกับอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ซึ่งจะไม่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างแต่จะเกี่ยวกับการทำ Reconstruction โดยทั่วไปการเดินทางโดยทางถนน (Highway) หรืออุโมงค์ใต้ดิน (Subway Tunnel) ซึ่งทั้งสองอย่างเป็นการเริ่มต้นสำหรับการเดินทางที่ดี แต่ยังขาดการพัฒนาที่เต็มที่ ประสบการณ์ที่ได้รับจากการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟเก่า ๆ มีส่วนช่วยมากสำหรับการก่อสร้างในปัจจุบัน

2.4.1 สาเหตุของความวิบัติของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

สาเหตุของความเสียหายของอุโมงค์สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือส่วนที่ไม่แสดงปฏิกริยา เช่น วัสดุโครงสร้างไม่เพียงพอ และวิธีการก่อสร้าง ส่วนที่มีผลกับความแข็งแรง เช่น น้ำหนักกระทำภายนอก (Load) โดยทั้งสองส่วนนี้ไม่สามารถแยกออกจากกันให้เห็นเด่นชัดได้

2.4.1.1 ความวิบัติอันเนื่องมาจากวัสดุและการทำงาน

ความเสียหายอันเนื่องมาจากการทำงานอย่างหนึ่งก็คือ การขุดดินที่ไม่ถูกวิธี เช่น การขยายพื้นที่โดยขุดดินเป็นวงกลมรอบ ๆ ทำให้ระยะเวลาในการเกิด Consolidation นานเกินไป และการกัดกร่อนของน้ำใต้ดินทำให้เกิดเป็นช่องเป็นผลให้เกิดดินพังทลายได้ ในส่วนต่อมา คือกำลังและความต้านทานของวัสดุโครงสร้างที่มีโดยความต้านทานน้อยกว่าแรงของธรรมชาติ เช่น แรงลม และดันดิน เป็นต้น วัสดุที่อยู่ในประเภทนี้ เช่น อิฐ หินทรายอ่อน (Soft Sandstone) หินปูน ดินเหนียวปนปูน หินกระดาน ซึ่งวัสดุพวกนี้มีความต้านทานแรงดันน้ำ จุดเชือกแข็งและควันและมลภาวะทางอากาศต่ำกว่าวัสดุแบบใหม่ที่มีกำลังสูง เช่น Cement Mortar ซึ่งแสดงโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Portland Cement พลาสติก แผ่นโลหะกันน้ำ ซึ่งอุโมงค์สมัยเก่าจะได้รับความเสียหายในส่วนนี้มากกว่าอุโมงค์สมัยใหม่

วิธีการก่อสร้างที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดความเสียหายในส่วนนี้ โดยในสมัยเก่าการทำผนังอุโมงค์ (Lining) ไม่ได้ทำไปพร้อมกับการขุดอุโมงค์ แต่จะแยกทำต่างหาก จึงทำให้เกิดผลกระทบเนื่องจากความดันของดิน

2.4.1.2 ความวิบัติเนื่องจากน้ำ

ผลกระทบเนื่องจากน้ำในส่วนนี้มีความสำคัญมาก ซึ่งน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยจะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านเชิงกลขึ้น เช่น การพังทลายของดินเนื่องจากการพัดพาของน้ำ (Wash-Outs) โดยน้ำใต้ดินจะมีสารเคมีละลายปนอยู่ด้วย เช่น คาร์บอเนต และคลอไรด์ ซึ่งสารเคมีพวกนี้จะเป็นตัวทำลายคอนกรีตและชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ซัลเฟตซึ่งจะเป็นตัวทำลายคอนกรีตและ Cement Mortar ที่อยู่ตามข้อต่อต่าง ๆ (Joint) อย่างไรก็ตามความเสียหายส่วนมากมักจะมาจากผลทางด้านกายภาพ (Physical) จากการแข็งตัวของน้ำหรือปฏิกิริยาน้ำแข็งตัว อาจจะไม่ได้มาจากการชะล้างผ่านรอยต่อเพียงอย่างเดียว หรือผ่านผนังอุโมงค์แต่จะมาจากการควบแน่นของน้ำ

สำหรับผลทางด้าน Physical อื่น ๆ ที่สาเหตุมาจากน้ำที่ยึดเหนี่ยวเกาะกันอยู่รอบ ๆ วัสดุ โดยจะไปลดความแข็งแรงและเพิ่มแรงอัดให้แก่ดิน เช่น ความเหลวของดินที่อยู่ใต้ผนัง ซึ่งอาจจะนำไปสู่การทรุดตัวพังทลาย

2.4.1.3 ความวิบัติเนื่องจากควัน

ควันอาจจะเป็นบ่อเกิดแห่งความเสียหาย แต่จะมีอันตรายน้อยกว่าผลกระทบจากน้ำสำหรับซัลเฟอร์ไดรออกไซด์ (Sulphurdioxide) ที่อยู่ในควันซึ่งจะอยู่ในรูปกรดซัลฟูริก (Sulphuric Acid) กับน้ำโดยจะเป็นตัวทำลาย Cement และหินปูน (Lime) อย่างไรก็ตามผลกระทบในส่วนนี้จะมีอันตรายเล็กน้อยและจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวนอกเท่านั้น

ในกรณีอื่น ๆ ที่ควันเป็นสาเหตุของการทำลายที่อันตรายมาก คือการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะโดยจะทำให้วัสดุที่เป็นโลหะเปื่อยขึ้น สำหรับการแตกร้าวในคอนกรีตที่เกิดจากสาเหตุนี้จะเป็นพวกคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4.1.4 ความวิบัติอันเนื่องมาจากสภาพบรรยากาศ (Weathering)

สภาพบรรยากาศและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจะเป็นสาเหตุแห่งความเสียหายที่จะเกิดขึ้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างที่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรวมทั้งความชื้นที่ถออยู่ในอากาศก็เป็นสาเหตุหนึ่ง ที่จะทำให้วัสดุเกิดความเสียหายได้ เช่น เกิดการกัดกร่อน การแตกร้าว

2.4.1.5 <u>ความวิบัติเนื่องจากแรงกระแทก</u> (Impact Damage)

ผลจากการกระแทกจากการบดอัดของการจราจร จะแยกมากล่าวในกรณีของอุโมงค์โดยไม่ใช่สาเหตุแรก แต่จะเป็นปัจจัยที่จะไปเร่งและส่งเสริมความเสียหายอื่น ๆ ในส่วนนี้จะมีเพียงความเสียหายอันเนื่องมาจากการแตกร้าว และการแยกตัวของดิน

2.4.1.6 <u>ความวิบัติอันเนื่องมาจากการบรรทุกเกินน้ำหนัก</u> (Overburden)

สำหรับความเสียหายอันเนื่องมาจากการบรรทุกเกินน้ำหนักอาจจะมีอยู่หลายรูปแบบแต่อันตรายส่วนมากที่เกิดขึ้นจริง ๆ คือเกิดจากแรงกัดดันที่เกินมา ซึ่งจะเกิดกับอุโมงค์ที่มีความลึกมาก ๆ

การเพิ่มขึ้นของแรงกดดันที่เกินมาอาจจะนำมาซึ่งการพังทลาย และสาเหตุอื่นที่เป็นไปได้ของการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวรอบ ๆ อุโมงค์

2.4.1.7 <u>ความวิบัติเนื่องจากแรงดันในอุโมงค์</u> (Pressure Tunnels)

พูดถึงแรงกดดันภายในอุโมงค์ก็จะเป็นจุดสำคัญของปัญหาที่ทำให้เกิดการแตกหักและเกิดการกัดกร่อนและเหล็กเสริมภายในผนังอุโมงค์ สาเหตุมาจากความเค้นของเหล็กดะแกรงในผนังอุโมงค์ และการรั่วซึมของน้ำ วิธีการปรับปรุงแก้ไขการแตกหัก มีดังนี้

- ใช้เหล็กที่มีความเค้น (Stree) สูง ๆ
- ทำการ Grouting ระหว่างผนังอุโมงค์กับหินที่อยู่รอบ ๆ
- สำหรับน้ำใต้ดินที่ไม่ได้อยู่ร่วมก็สามารถเร่งให้ไหลผ่านรอยแตกได้

2.4.1.8 <u>ความวิบัติของตัวรางรถไฟ</u> (Railway Tracks)

ความเปียกชื้น การกัดกร่อน และการขาดการบำรุงรักษาค่อนข้างจะต่างจากผลที่เกิดจากตัวทางรถไฟในอุโมงค์ เพราะว่าที่ว่างได้ถูกจำกัด การระบายไม่เพียงพอ และระยะเวลาในการบำรุงรักษาก็ถูกกำหนดไว้ในช่วงเวลาจำกัดอีกทั้งราคาในการใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา ตัวรางรถไฟก็มีราคามากเป็น 2 เท่า ของการซ่อมปกติ หรือมากกว่าค่าบำรุงรักษาบริเวณผิวนอกของตัวอุโมงค์ เพราะโดยทั่วไปล้อรถไฟที่เป็นเหล็กไม่นิยมใช้เพราะว่าจะเกิดการกัดกร่อนและมีมลภาวะทางเสียงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การตรวจสอบความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

เมื่อถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง องค์ประกอบต่าง ๆ ของอุโมงค์ทั้งภายในและภายนอกอาจจะเกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุโมงค์ ซึ่งปัญหาในการบำรุงรักษาอุโมงค์โดยทั่วไป อาจจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกี่ยวกับตัวรางรถไฟหรือผิวภายนอก กับกลุ่มที่เกี่ยวกับผนังอุโมงค์

ลักษณะสำคัญของการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟใต้ดิน มีดังนี้

1.การตรวจสอบขนาด รูปร่างของอุโมงค์

2.การตรวจสอบรางรถไฟ

3.การตรวจสอบสภาพผนังอุโมงค์

2.4.2.1 การตรวจสอบรูปร่างของอุโมงค์ (Inspection of Tunnel)

โดยปกติจะตรวจสอบรูปร่างของอุโมงค์โดยเครื่องมือทางกลศาสตร์ หรือตรวจสอบจากการวัดโดยตรง โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของรางรถไฟเป็นแนวเปรียบเทียบ

เครื่องมือวัดพิเศษที่สามารถปรับตั้งได้บนแท่นและกล้องส่องที่สามารถวัดพิกัดในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถเคลื่อนที่บนนั่งร้านได้ โดยจะต้องหาพื้นที่และรางที่มีสภาพแข็งแรง และตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงก็ใช้เส้นศูนย์กลางของอุโมงค์ ซึ่งทราบได้เมื่อทำการก่อสร้าง

2.4.2.2 การตรวจสอบรางรถไฟ (Inspection of Track)

การตรวจสอบรางรถไปจะรวมอยู่กับการตรวจหิน (ballast)ที่ใช้รองทางรถไฟ ซึ่งการตรวจสอบนี้จะช่วยป้องกันการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของตัวรางที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ซึ่งเมื่อรางเกิดการแตกร้าวก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ

นอกจากนั้น ต้องตรวจสอบรัศมีความโค้งของราง และความลาดของราง โดยรัศมีความโค้งของรางจะต้องกำหนดจากความเร็ว ความปลอดภัย และความประหยัด โดยทั่วไปรัศมีความโค้งจะช่วยลดค่าบำรุงรักษาราง ส่วนความลาดของรางจะมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการขนส่ง

2.4.2.3 การตรวจสอบผนังอุโมงค์ (Inspection and Maintenance of Linings and track) การตรวจสอบและการบำรุงรักษาผนังอุโมงค์และรางรถไฟจะทำควบคู่กันไป โดยจุดประสงค์หลักของการตรวจสอบผนังอุโมงค์ก็เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของรอยต่อ (joint) และการเกิดจุดที่รั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเกิดการแตกร้าว ซึ่งการตรวจสอบรอยแตกร้าวจะมีความสำคัญมาก โดยการแตกร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก (load) หรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหน้าตัดที่ตั้งฉากกับแนวแกนของอุโมงค์ การแตกร้าวจะเกิดขึ้นทั้ง 2 ทิศทางคือ การแตกร้าวตามขวาง (Transvert) และการแตกร้าวตามแนวยาว (Longitudinal)

ถ้ายังคงเกิดการแตกร้าว อาจจะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากอากาศหรือน้ำตามมา ในการตรวจสอบสภาพการเสียรูปและการเคลื่อนตัวของผนังตรงส่วนที่บางสามารถตรวจสอบทุก ๆ 1 ตารางหลาของบริเวณผนังอุโมงค์

2.4.3 <u>องค์กรของงานบริการซ่อมบำรุงอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน</u>

องค์กรของงานบริการซ่อมบำรุงจะต้องมีการวางแผนงานอย่างละเอียดและมีความประณีตสำหรับระบบใต้ดิน ซึ่งรูปแบบจะเป็นการเชื่อมโยงทุกเครือข่ายของงานอุโมงค์ โดยจะทำทุก ๆ ความยาว 100 ไมล์ สำหรับรถไฟใต้ดิน การบำรุงรักษารางรถไฟมีความสำคัญเท่ากับตัวอุโมงค์ซึ่งถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ วัสดุหรือเครื่องมือเล็ก ๆ สามารถที่จะเก็บไว้ใต้พื้นของสถานีและสำนักงานเล็ก ๆ ก็สามารถที่จะสร้างไว้ภายในสถานีใต้ดินเพื่อทำการเก็บเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่

สำหรับสิ่งอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น สถานีดับเพลิง (Fire Station) โดยอุปกรณ์ดับเพลิงจำนวนมากจะต้องถูกเตรียมไว้ให้พร้อมกับการใช้งาน ซึ่งอาจเกิดอันตรายจากไฟไหม้ที่เกิดจากสาเหตุไฟฟ้าลัดวงจร การรั่วของน้ำมัน และฉนวนห่อหุ้มสายไฟเปียกชื้น เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก็จำเป็นจะต้องมีระบบป้องกันภัยและการบำรุงรักษาที่ดีพอเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น คงจะช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบและลักษณะเบื้องต้นของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้พอสมควร ระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินจะมีแนวเส้นทางอุโมงค์ไปตามเส้นทางการจราจรและการขนส่งสายสำคัญในเมืองนั้นๆ ซึ่งขนาด รูปร่างหน้าตัดของอุโมงค์ และลักษณะผนังอุโมงค์ที่ใช้ก็อาจจะแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยเกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น วิธีการก่อสร้าง ลักษณะของดิน สภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินอีกอย่างหนึ่งก็คือ สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งเป็นจุดบริการผู้โดยสารในการเปลี่ยนเส้นทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยลักษณะและรูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจะกล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
(STATION)

สถานี โดยความหมายทั่วไป จะหมายถึงบริเวณหรือจุดสำหรับการโดยสารของผู้คนที่เดินทาง เช่น สถานีรถประจำทาง สถานีรถไฟ ท่าเรือ ฯลฯ สำหรับสถานีรถไฟใต้ดินจะเป็นบริเวณที่มีความกว้าง ความสูง อยู่ใต้ชั้นดินตามแนวเส้นทางที่เลือกไว้ โดยที่ตั้งของสถานีจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาพิจารณาเพื่อความเหมาะสม เช่น ความสามารถในการรองรับผู้คน ปัญหาการเวนคืนที่ดิน เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละจุดอาจจะแตกต่างกันไป โดยจุดที่มีเส้นทางอุโมงค์รถไฟฟ้าตัดผ่านหลายสายก็จะเป็นสถานีขนาดใหญ่หรือสถานีร่วม ในส่วนของตัวสถานีก็จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายอย่างซึ่งมีไว้เพื่อบริการ และ อำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่มาใช้บริการ เช่น บันไดเลื่อน เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติ เป็นต้น นอกจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแล้ว รถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละสายควรจะมีสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน (Deport) ซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เพราะจะเป็นที่สำหรับจอดเก็บรถไฟฟ้าที่ไม่ได้ออกใช้งาน และภายในโรงซ่อมยังมีบริเวณต่างๆสำหรับบำรุงรักษา บริการรถไฟฟ้าอีกด้วย

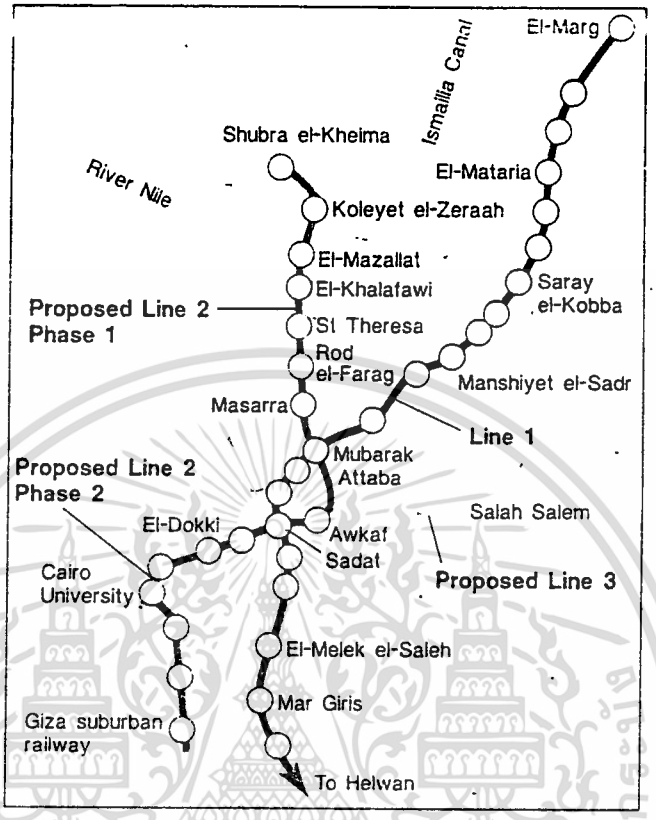
3.1 ที่ตั้งและหลักเกณฑ์ในการพิจารณา

การกำหนดที่ตั้งสถานีเบื้องต้น จะเป็นไปตามที่ที่ว่างและกระจายไปตามเส้นทางที่เลือกไว้

การกำหนดตำแหน่งครั้งสุดท้ายของสถานีและทางเข้า จะเน้นถึงประโยชน์ใช้สอยทางด้านบริการ สภาพการจราจรทั่ว ๆ ไป และการปรับปรุงพัฒนาพื้นที่ในอนาคตซึ่งต้องพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทางด้านการใช้สอย เศรษฐกิจ และผลที่เกิดขึ้นในขณะก่อสร้าง

สถานีใต้ดินจะไม่สร้างผ่านที่ดินผู้อื่นและทางเท้า แต่จะวางไปตามแนวเดียวกับถนน และจะไม่ปรากฏขึ้นมาให้เห็นบนพื้นดิน ยกเว้นส่วนที่เป็นทางเข้า - ออก ของสถานีซึ่งจะเป็นช่องบันไดเล็ก ๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของโครงการ Cairo Metro

ปัจจัยที่คำนึงถึงในการเลือกที่ตั้งสถานีมีดังนี้

1.ทำเลที่ตั้งสถานีกำหนดจากการคาดประมาณขีดความสามารถในการรองรับประชากรตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถบริการได้สูงสุด ทางแยก ถนนสายหลัก-สายรอง ย่านชุมชน ย่านการค้า และย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่น เป็นต้น

2.ที่ตั้งสถานีจะมีระยะห่างกันประมาณ 600-1,000 เมตร ในเขตศูนย์กลางเมืองหรือเขตเมืองที่มีความหนาแน่นสูง และประมาณ 800-1,500 เมตร ในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นรองลงมา

3.พิจารณาจากความเหมาะสมเกี่ยวกับทางขึ้น - ลง ซึ่งไม่มีอุปสรรคจากอาคารที่ปลูกสร้างอยู่เหนือพื้นดิน ความกว้างของทางเดินเท้าและความต่อเนื่องกับระบบการสัญจรอื่น ๆ

4.คำนึงถึงการใช้พื้นที่สาธารณะเป็นส่วนใหญ่ ให้มีการเวนคืนที่ดินน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.จุดที่สามารถประสานกับระบบขนส่งมวลชนอื่นได้ จะกำหนดให้เป็นสถานีร่วมหรือสถานีที่มีย่านการค้าอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าสถานีธรรมดาตามรายการทั่วไป และจะอยู่ตามจุดที่เป็นศูนย์รวมของผู้คนและสามารถกระจายการเดินทางไปได้หลายทิศทาง

6.กรรมสิทธิ์ที่ดิน

7.เหตุผลอื่นตามความเหมาะสม

3.2 รูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

รูปแบบโดยทั่วไปของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- ทำเลที่ตั้ง
- ความสำคัญของสถานี
- ปริมาณผู้โดยสาร
- ทิศทางการสัญจรเข้า-ออกสถานี
- ระบบการของรถไฟฟ้าใต้ดินที่จะผ่านเข้ามา

ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดขนาดและรูปแบบของสถานี ประกอบด้วย

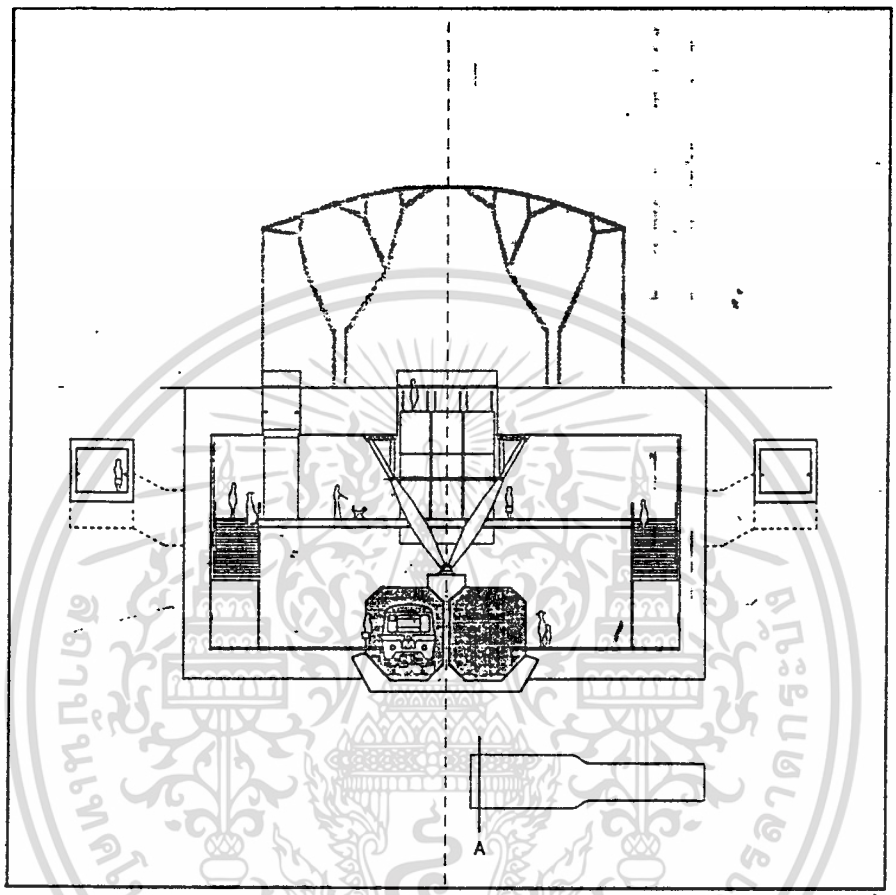
3.2.1 สถานีร่วม

จะเป็นสถานีซึ่งมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินผ่านเข้ามาหลายสายในสถานีเดียวกัน หรือเป็นสถานีที่ประสานกับระบบขนส่งมวลชนระบบอื่น ทำให้ประชาชนสามารถที่จะเปลี่ยนการเดินทางจากเส้นทางหนึ่ง ไปยังอีกเส้นทางหนึ่งได้ประมาณผู้โดยสารที่ผ่านเข้า - ออก สถานีจะมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะต้องคาดประมาณจำนวนเที่ยวเดินทาง (Ridership) ในระยะยาวด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีพื้นที่รองรับผู้โดยสารที่กว้างขวางเพียงพอ องค์ประกอบที่จำเป็นของสถานีจะเพิ่มมากขึ้นตามความสำคัญของสถานี ดังรูปที่ 3.2

3.2.2 สถานีทั่วไป

เป็นสถานีย่อยตามรายทาง ซึ่งมีรถไฟฟ้าใต้ดินผ่านเข้ามา 1 สาย 2 ทิศทางรูปแบบโดยทั่วไปของสถานีจะกว้างประมาณ 18 - 26 เมตร และมีความยาวประมาณ 150 - 200 เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณผู้โดยสาร (max.passenger flow perhour)ความลึกจากระดับพื้นดินประมาณ 14 - 24 เมตร ภายในสถานีจะประกอบด้วยพื้นที่อาคารต่างระดับ ติดต่อกันด้วยลิฟต์ บันได และบันไดเลื่อน มีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นของสถานีและชานชาลาดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

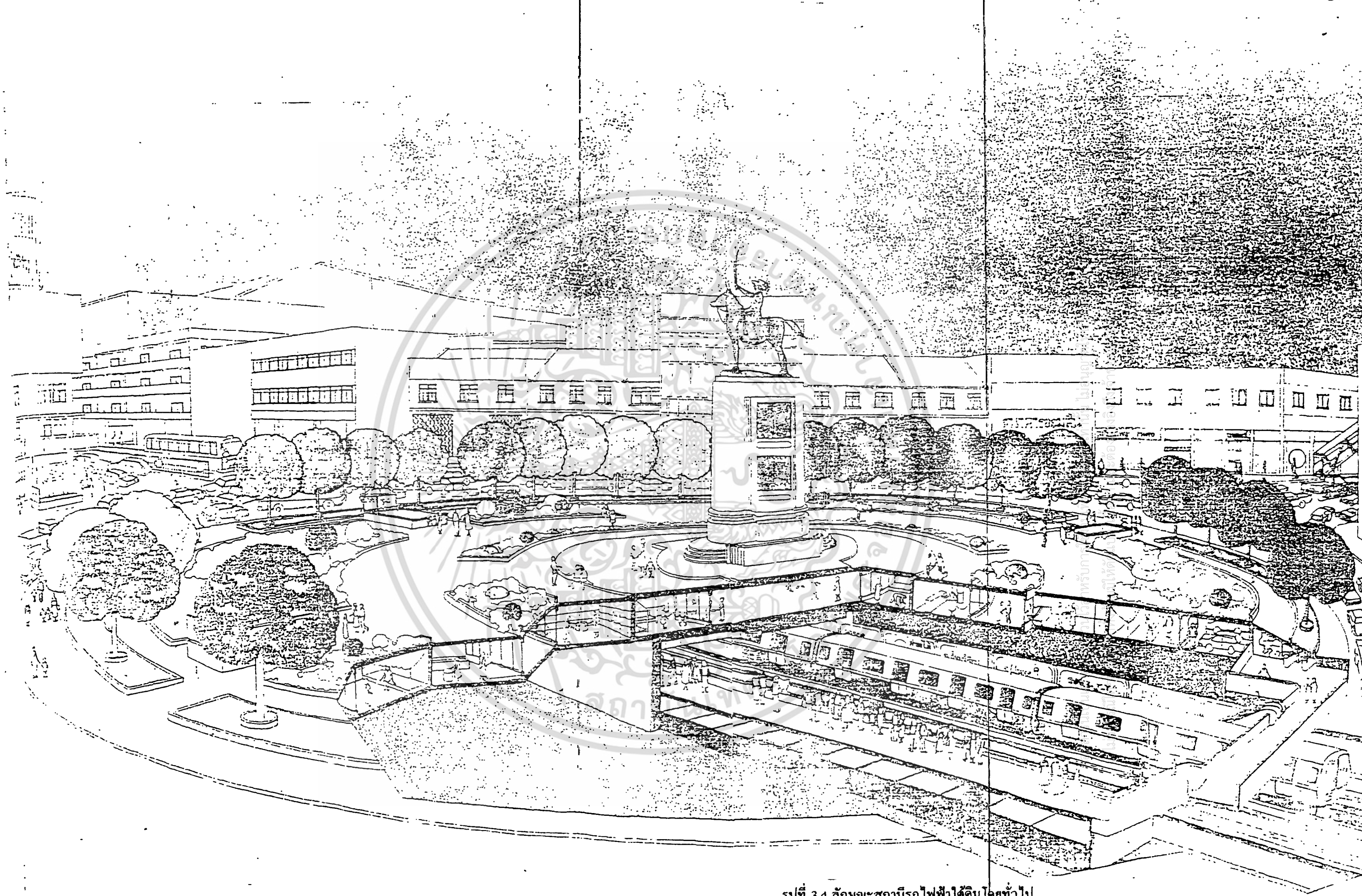
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของเมือง Rotterdam ประเทศเนเธอร์แลนด์

นอกเหนือจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นของสถานีแล้ว ในบริเวณสถานีสามารถที่จะพัฒนากิจกรรมการค้ารวมอยู่ด้วยได้ ขึ้นอยู่กับทำเลที่ตั้งของสถานีซึ่งอาจจะมีพื้นที่ประกอบการค้าขนาดใหญ่หรือร้านค้าย่อยภายในสถานี หรือมีการวางแผนร่วมกันในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ให้เชื่อมโยงกับอาคารเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นศูนย์การค้าหรืออาคารทางธุรกิจขนาดใหญ่ได้ เช่น ในกรุงบริสเบน (Brisbane) รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย เหนือสถานี Central มีการสร้างโรงแรม Sheraton สูงถึง 30 ชั้น คร่อมอยู่บนสถานี ห่างจากสถานี Central ไปอีกเพียง 1 กิโลเมตร ที่สถานี Roma ก็มีการก่อสร้างอาคารพาณิชย์สูงถึง 70 ชั้น โดยเอกชนเป็นผู้ลงทุน ซึ่งทำรายได้ให้กับการรถไฟรัฐควีนส์แลนด์อย่างมากมาย

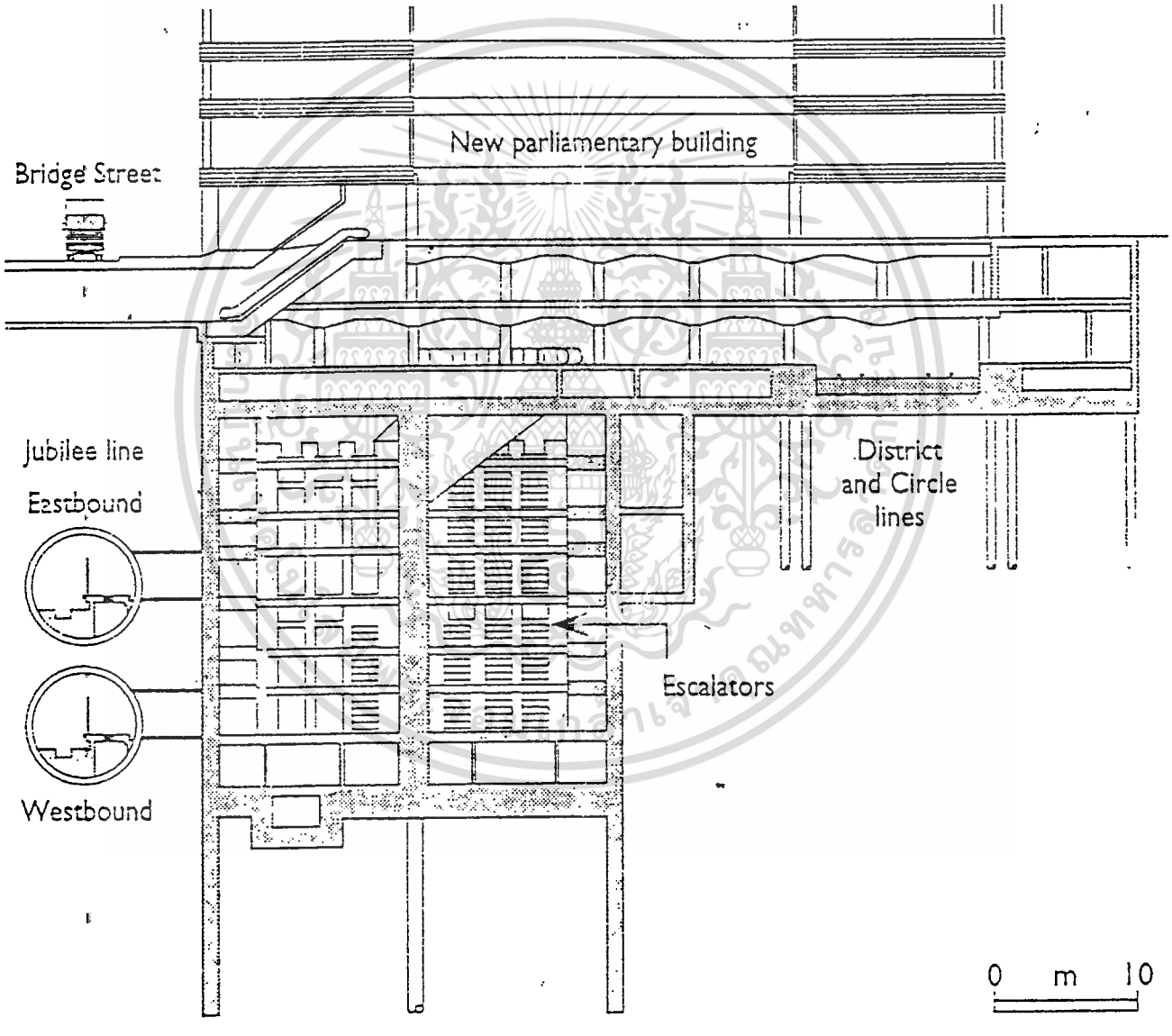
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยทั่วไป

(ที่มา : ห้องสมุดสถาบัน AIT)

จากแนวโน้มตรงจุดนี้ ทำให้อาคารขนาดใหญ่ที่อยู่ติดถนนสร้างชั้นใต้ดินถึกหลายชั้น เพื่อประโยชน์ในการใช้สอย และวางแผนสำหรับเชื่อมโยงกับเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินเพื่อทำเป็นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน Westminster Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 องค์ประกอบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

องค์ประกอบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน แบ่งออกเป็นพื้นที่สาธารณะ และพื้นที่เฉพาะ ได้แก่

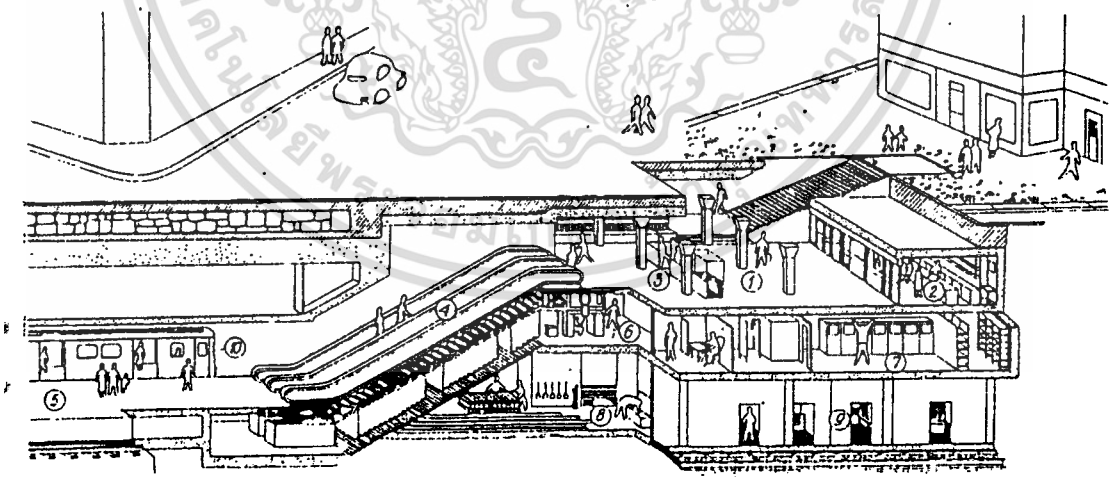
3.3.1 ทางเข้า - ทางออก เป็นทางขึ้น - ลง ซึ่งจะกำหนดให้ผสมผสานกับระบบทางสัญจร

3.3.2 โถงภายในและทางเดินขนาดใหญ่เชื่อมโยงติดต่อกันด้วยลิฟต์ บันได และบันไดเลื่อน แบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนจ่ายเงิน เครื่องจำหน่ายตั๋วเครื่องอัตโนมัติ (Automatic Ticket Vendor) ประตูตรวจตั๋วอัตโนมัติ (Automatic Ticket Gate)แผนผังแสดงโครงข่ายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินและอัตราค่าโดยสารแผนที่แสดงตำแหน่งสถานีและบริเวณใกล้เคียงสัญลักษณ์ชี้บอกทิศทางไปยังชานชาลาป้ายต่าง ๆ ร้านค้า ห้องน้ำ โทรศัพท์ สาธารณะ เป็นต้น

3.3.3 ชานชาลา เป็นส่วนสำคัญของสถานีการออกแบบขึ้นอยู่กับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่จะเข้าสู่สถานีจำนวนตู้รถและปริมาณผู้โดยสาร ความยาวของชานชาลาประมาณ 150 - 200 เมตร กว้างประมาณ 5 - 10 เมตร มีอยู่ 3 ลักษณะคือ

- **ชานชาลาอยู่สองข้างสำหรับอุโมงค์เดี่ยว**
- **ชานชาลาอยู่ตรงกลางสำหรับอุโมงค์คู่**
- **ชานชาลาอยู่ต่างระดับสำหรับอุโมงค์เดี่ยวต่างระดับ**

3.3.4 ระบบอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ได้แก่ ระบบระบายอากาศอัตโนมัติ ระบบเตือนภัยฉุกเฉิน โทรทัศน์วงจรปิดระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบควบคุมอัตโมมัติ เป็นต้น



รูป 3.6 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวางแผนออกแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

หลักการวางแผนออกแบบสถานีนี้ต้องก่อให้เกิดการจราจรที่มีประสิทธิภาพและสะดวกสบายให้แก่ผู้โดยสาร ซึ่งจะคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

3.4.1 ชานชาลาสถานี จะต้องกำหนดขนาดของชานชาลาให้เหมาะสม ซึ่งความยาวของชานชาลา ขึ้นอยู่กับความยาวของขบวนรถซึ่งถูกกำหนดโดยขีดความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารที่ต้องการ ความยาวของชานชาลาประมาณ 150 - 200 เมตร และกว้างประมาณ 5 - 10 เมตร ประชาชนสามารถเดินในชานชาลาระยะไม่เกิน 25 เมตร เพื่อไปถึงบันไดเลื่อนหรือบันได

3.4.2 บันไดเลื่อนและบันได

บันไดเลื่อนจะเป็นทางที่นำผู้โดยสารขึ้น - ลง จากทางเข้าด้านบนลงสู่ชานชาลาระดับล่าง บันไดเลื่อนจะมีความสามารถในการบรรทุกสำหรับการออกแบบปริมาณการใช้สอยและความสะดวกสบาย บันไดเลื่อนบางเครื่องทำงานติดต่อกันวันละ 20 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าบันไดเลื่อนจะมีราคาแพงแต่จะให้การบริการที่ดีกว่าและมีความสะดวกสบายที่มากกว่าบันไดธรรมดา

เมื่อบันไดเลื่อนเกิดเสียหรือกำลังซ่อมแซมรักษาอยู่ หรือในชั่วโมงเร่งด่วนที่มีการใช้งานบันไดเลื่อนมากจนไม่เพียงพอต่อการเคลื่อนย้ายผู้โดยสาร จึงต้องมีบันไดให้ผู้โดยสารเดินขึ้น - ลง สู่ชานชาลาอีกทอดหนึ่ง เพื่อช่วยแบ่งเบาการเคลื่อนย้ายผู้โดยสารในสภาพเหตุการณ์นั้น

สถานีบางแห่งจะมีบันไดฉุกเฉินเพื่อให้ผู้โดยสารหนีออกมาได้หากเกิดไฟไหม้ขวางบันไดเลื่อน นอกจากนี้ยังมีบันไดพิเศษสำหรับเข้าไปบำรุงรักษาส่วนต่าง ๆ ของสถานี ในการออกแบบนี้ ต้องคำนึงถึงความสะดวกสบาย ความปลอดภัยและประสิทธิภาพ

3.4.3 โครงสร้างทางเข้า

โครงสร้างทางเข้าโดยปกติจะเป็นโครงสร้างช่องเดี่ยว ที่จะป้องกันทางเข้าออกจากสภาพแวดล้อมที่ระดับถนนและเป็นทางนำเข้าไปยัง ระบบขนส่งมวลชนใต้ดิน ที่ฐานของทางเข้าจะยกระดับขึ้นเหนือถนนและทางเท้าเพื่อป้องกันน้ำท่วม

โดยปกติสถานีต่าง ๆ จะมีทางเข้า 6 ทาง ตำแหน่งของทางเข้านี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ประโยชน์ใช้สอยอื่น ๆ

การออกแบบสถานีไม่ได้พิจารณาปัจจัยในการขนส่งผู้โดยสารเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องพิจารณาถึงที่ว่างสำหรับการใช้ประโยชน์อื่น ๆ ด้วย ระหว่างระดับชานชาลาและระดับถนนมีพื้นที่ใช้สอยแบ่งเป็นชั้น ๆ หลังจากคัดพื้นที่ในการใช้สอยของผู้โดยสาร และการจำหน่ายตั๋ว พื้นที่ปฏิบัติงานและพื้นที่ใช้สอยจำเป็นอื่น ๆ นอกจากนี้ต้องคำนึงพื้นที่ใช้สอยในการพาณิชย์ด้วย ซึ่งควรมีประมาณ 3,000 ตารางเมตร ในแต่ละสถานีซึ่งเป็นจุดใหญ่ในการหารายได้ของเจ้าของโครงการ

3.4.5 โครงสร้างสถานี

โดยทั่วไปโครงสร้างสถานีประกอบด้วยกำแพงที่ทำโดยเข็มเจาะซึ่งอยู่ด้านนอกเสาและคอม่อ ซึ่งอยู่ที่ส่วนกลางของสถานี และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ค้ำระหว่างกำแพง

โครงสร้างนี้จะเลือกพิจารณาโดย ผลทางด้านราคา เวลาในการก่อสร้างที่น้อยที่สุด และมีการรบกวนพื้นผิวชั้นบนน้อยที่สุด

การวางตำแหน่งของสถานีที่เหมาะสม จะให้บริการใช้สอยทางด้านบริการ สภาพการจราจรในพื้นที่ และเป็นการเชื่อมต่อออสังหาริมทรัพย์ได้ดี การกำหนดรายละเอียดโครงสร้างก็ควรจะปรับให้เข้ากับปัจจัยเหล่านี้ด้วย

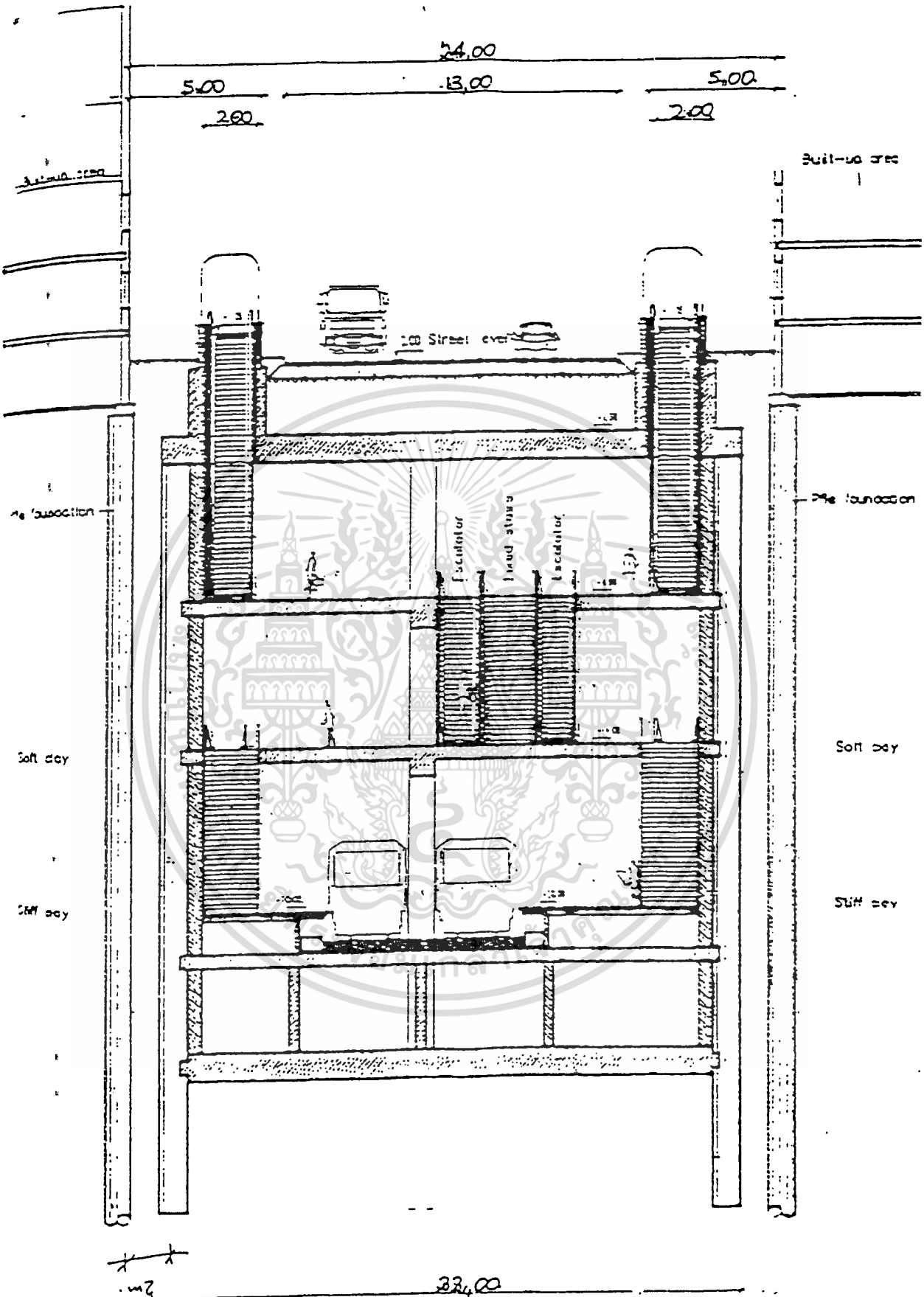
ในระหว่างการก่อสร้าง จะสามารถใช้งานบนท้องถนนได้ตามปกติ ถ้ามีการออกแบบโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างที่มีการค้ำยันและป้องกันการเคลื่อนตัวของดินในแนวดิ่ง ในระหว่างก่อสร้างอย่างดีพอ

ฐานของโครงสร้างสถานีจะมีที่ว่างสำหรับใส่วัสดุหนักเพื่อเพิ่มน้ำหนักของโครงสร้างและเพิ่มความปลอดภัยต่อพื้นผิวชั้นบน

3.4.6 วิธีการก่อสร้าง

วิธีการก่อสร้างที่นำมาใช้ จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดโครงสร้าง โดยจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละสถานี เมื่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่เปลี่ยนไป

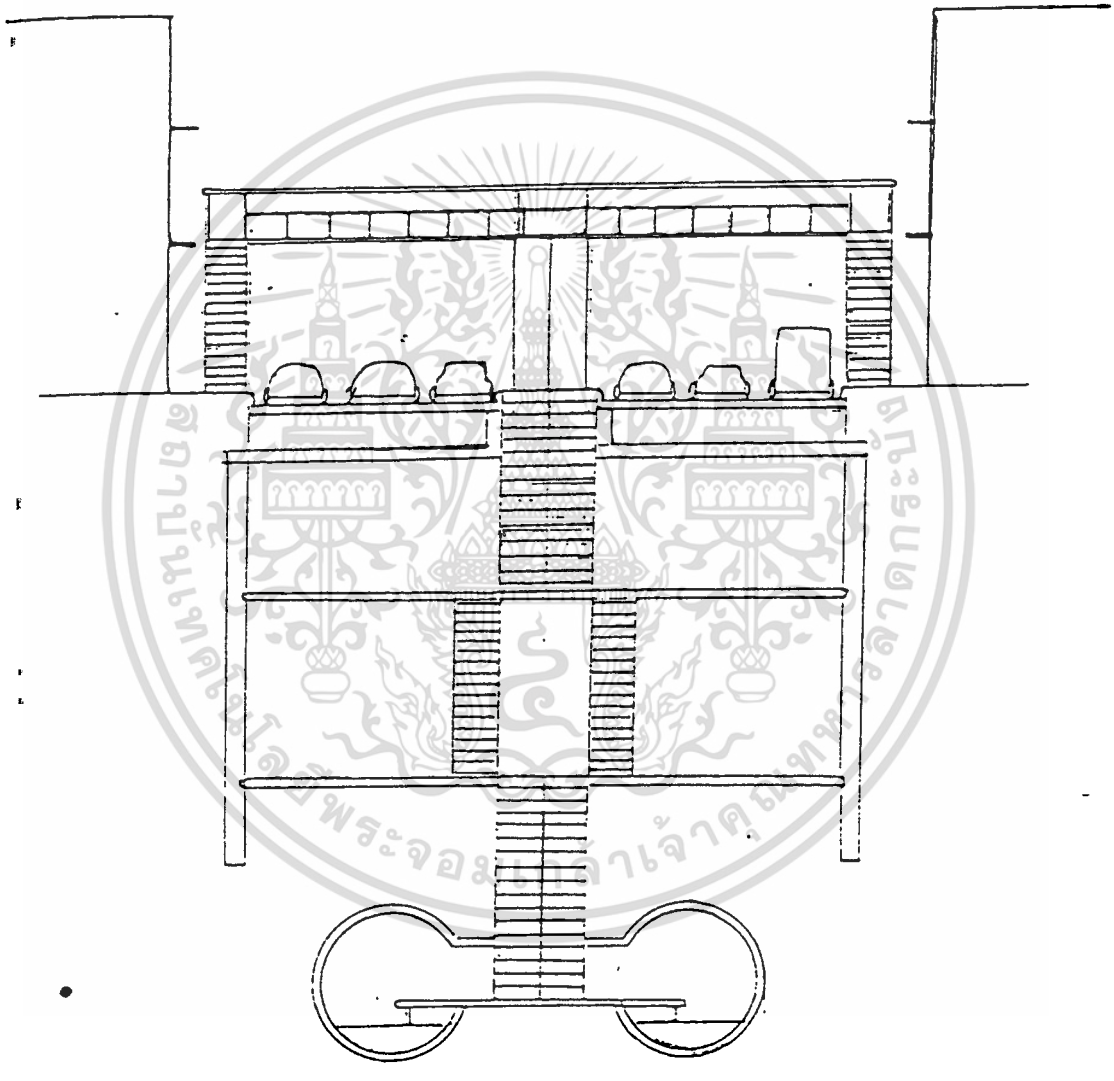
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีทางวิ่งคู่ ชานชาลาขนาบ 2ด้าน

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม METRO 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีทางวิ่งคู่ ชานชาลาอยู่ระหว่างทางวิ่ง
โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินของกลุ่ม METRO 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร

3.5.1 ขนาดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมในกรุงเทพมหานคร

สิ่งสำคัญที่เป็นตัวกำหนดขนาดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินคือ ความยาวของขบวนรถ และสิ่งที่เป็นตัวกำหนดความยาวของขบวนรถคือ ขีดความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารที่ต้องการ สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดตัวเลขขีดความสามารถของการขนส่งผู้โดยสารไว้ไม่ต่ำกว่า 40,000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง จากตัวเลขดังกล่าว หากกำหนดให้ความถี่สูงสุดของขบวนรถเท่ากันทุก ๆ 2 นาที หรือชั่วโมงละ 30 ขบวนรถ 1 ขบวน ประกอบด้วยตู้โดยสารขนาด ความจุ 250 คน จำนวน 6 ตู้ จะสามารถขนคนได้สูงสุด 45,000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง ซึ่งนี่จะเป็นขนาดของขบวนรถที่เหมาะสมสำหรับขีดความ สามารถที่กำหนดไว้ ดังนั้นขบวนรถจะมีความยาวสูงสุด ประมาณ 120 - 132 เมตร ซึ่งต้องการสถานียาวประมาณ 150 เมตร

สำหรับความกว้างของตัวสถานีขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องทางวิ่งและการวางชาน ชาลา ขนาดของชานชาลาจะกว้างประมาณ 5 เมตรต่อการรับรถ 1 ขบวน ดังนั้นความกว้างของสถานีอาจมีขนาดแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการจัดการทางวิ่งและชานชาลา ดังนี้

- ทางวิ่งเดี่ยวชานชาลาด้านเดียว ความกว้างช่องทางวิ่งประมาณ 5.5 เมตร ความกว้าง ชานชาลา 5.0 เมตร รวมความกว้างสถานีประมาณ 10.5 เมตร
- ทางวิ่งคู่ ชานชาลาขนาบ 2 ด้าน ความกว้างช่องทางวิ่งประมาณ 8.5 เมตร ความกว้าง ชานชาลาด้านละ 5.0 เมตร รวมความกว้างสถานีประมาณ 18.5 เมตรดังรูปที่ 3.7
- ทางวิ่งคู่ ชานชาลาวางกลางระหว่างทางวิ่งความกว้างช่องทางวิ่งด้านละประมาณ 5.5 เมตร ความกว้างชานชาลา 10.0 เมตร รวมความกว้างสถานี 21.0 เมตรดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 <u>รายชื่อสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร</u>

กรุงเทพมหานครโดยกองผังเมืองได้มีการศึกษาเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาเมืองความเชื่อมโยงระหว่างแหล่งงานและที่อยู่อาศัย(Job-Housing Balance) ส่งเสริมนโยบายการกระจายความหนาแน่นจากศูนย์กลางเมืองแก้ไขปัญหาการจราจรตลอดจนประสานเชื่อมโยงกับโครงการขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ที่ได้รับสัมปทานแล้ว จากการศึกษาของกรุงเทพมหานคร ได้เส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินใน เบื้องต้น 4 เส้นทางคือ สายบนนทบุรี-บางนา สายเกษตร-วงเวียนใหญ่ สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ และสายขนส่งสายใต้-สาธร

รูปที่ 3.9 เส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินและสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ในกรุงเทพมหานคร

รายชื่อสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร

สายนนทบุรี-บางนา

(1)นนทบุรี(2)วัดทางหลวง(3)วงศ์สว่าง(4)วัดเชิงหวาย(5)เตาปูน(6)บางซื่อ(7)จตุจักร(8)โชคชัยร่วมมิตร(9)สุทธิสาร(10)วิทยุประชาสัมพันธ์(11)กทม.2(12)ดินแดง(13)มักกะสัน(14)เพชรบุรี(15)เพลินจิต(16)สารสิน(17)สวนลุมพินี(18)บ่อนไก่(19)ศูนย์สิริกิติ์(20)เกษมราษฎร์(21)เทพธารินทร์(22)กล้วยน้ำไท(23)พระโขนง(24)อ่อนนุช(25)บางจาก(26)ปุณวิถี(27)อุดมสุข(28)บางนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

(1)แยกเกษตร(2)เสนานิคม(3)รัชโยธิน(4)แคนเนรมิต(5)หอวัง(6)หมอชิต(7)โชคชัยร่วมมิตร(8)สุทธิสาร(9)วิทยุประชาสัมพันธ์(10)กทม.2(11)ดินแดง(12)มักกะสัน(13)เพชรบุรี(14)เพลินจิต(15)สารสิน(16)สวนลุมพินี(17)สวนพลู(18)โรงพยาบาลบางรัก(19)เซ็นหลุยส์(20)บางรัก(21)สาธร(22)กรุงธน(23)ตากสิน(24)บุคคโล(25)บางสะแก(26)ตลาดพลู(27)ท่าพระ(28)วงเวียนใหญ่

สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

(1)ขนส่งสายใต้(2)วัดบางบำหรุ(3)ปิ่นเกล้า(4)อมรินทร์(5)สนามหลวง(6)ผ่านฟ้า(7)หลานหลวง(8)ยมราช(9)รามาธิบดี(10)ราชวิถี(11)อนุสาวรีย์(12)ดินแดง(13)ประชาสงเคราะห์(14)รัชดินแดง(15)อ.ส.ม.ท.(16)คลองชวดใหญ่(17)ศูนย์วิจัย(18)คลองลาดพร้าว(19)นวศรี(20)เสรี(21)รามคำแหง(22)หัวหมาก(23)คลองจิก(24)ลำสาลี

สายขนส่งสายใต้-สาธร

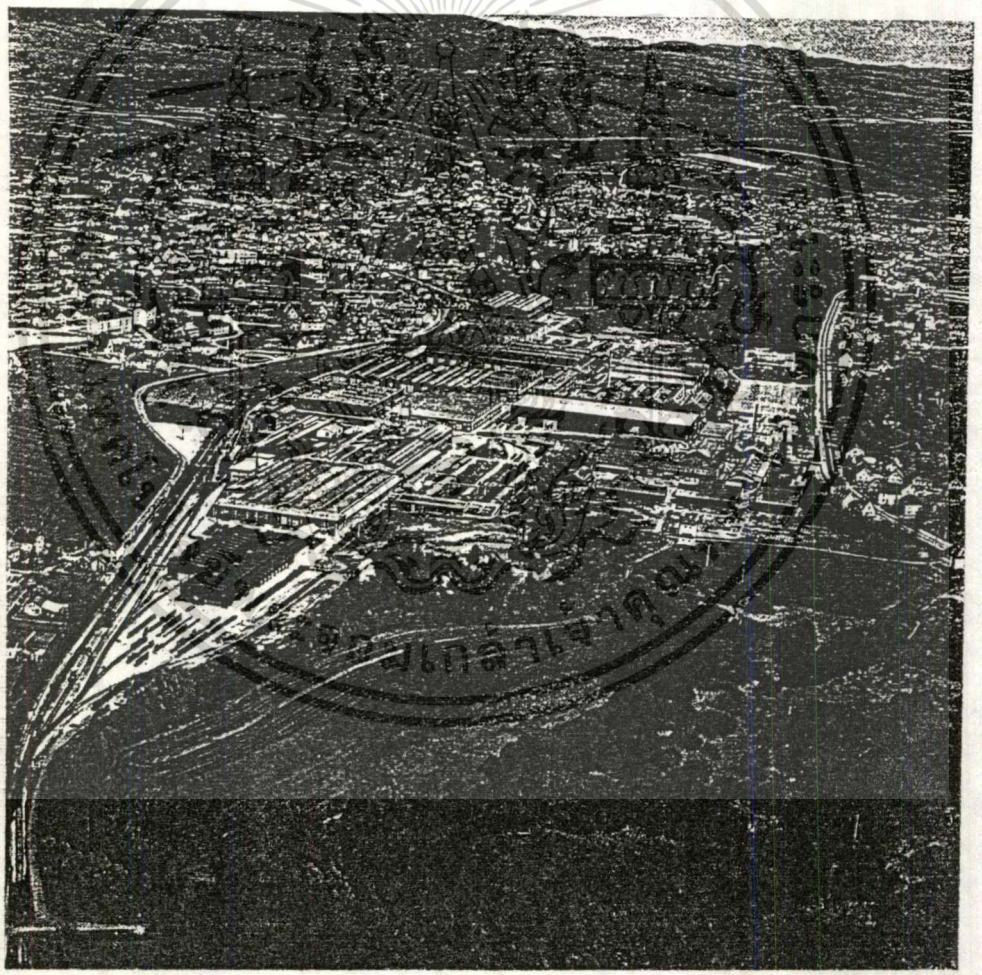
(1)ขนส่งสายใต้(2)วัดบางบำหรุ(3)ปิ่นเกล้า(4)อมรินทร์(5)สนามหลวง(6)สราญรมย์(7)เฉลิมกรุง(8)วัดมังกรกมลาวาส(9)หัวลำโพง(10)สี่พระยา(11)บางรัก

จากที่กล่าวมาข้างต้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดิน หน้าที่หลักของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินก็จะเหมือนกับสถานีของระบบขนส่งมวลชนอื่นๆ เช่น สถานีรถโดยสาร ท่าเรือ คือเป็นจุดบริการผู้โดยสารในการเปลี่ยนเส้นทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ซึ่งรูปแบบและองค์ประกอบต่างๆของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินอาจจะแตกต่างจากสถานีอื่นๆเนื่องจากตัวสถานีจะอยู่ใต้พื้นดินตลอดเส้นทางการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน (Depot)

นอกจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแล้ว รถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละสายควรจะมีสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน (Depot)ในแต่ละเส้นทาง ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน เพราะเป็นที่สำหรับจอดเก็บรถไฟฟ้าที่ไม่ได้ออกใช้งาน และยังเป็นที่สำหรับทำความสะอาดรถไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นอกจากนั้นภายในโรงซ่อม ยังมีบริเวณต่าง ๆ สำหรับบำรุงรักษา บริการรถไฟฟ้าอีกด้วย



รูปที่ 4.1 สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 . 1 <u>ที่ตั้งและหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน</u>

1. ทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม ควรพิจารณาให้ตั้งอยู่ในบริเวณหรือย่านพื้นที่ใกล้หรือปลายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน

2. ควรกระจายให้มีสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินอยู่ทุกเส้นทางการกระจายจะทำให้เกิดประโยชน์ในการนำรถออกไปให้บริการได้พร้อมกันทุกสถานี ทำให้การจัดขบวนรถออกปฏิบัติการได้อย่างต่อเนื่องเกิดความรวดเร็วเป็นไปตามกำหนดตารางเวลาการเดินรถ ซึ่งจะทำให้การบริการเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การจัดหาพื้นที่เพื่อสร้างสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินมีความเป็นไปได้ง่ายขึ้น

3. เป็นพื้นที่ว่างและมีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อความจำเป็นที่จะต้องให้เกิดความสะดวกในการบริหารงานสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน และสามารถรองรับกิจกรรมการใช้สอยเพื่อดำเนินงานครอบคลุมทั้งหมด

4. พื้นที่มีรูปร่างมิติกว้างและยาวเพื่อใช้ในการวางแผนเดินรถเข้า-ออกได้สะดวกและประหยัดพื้นที่

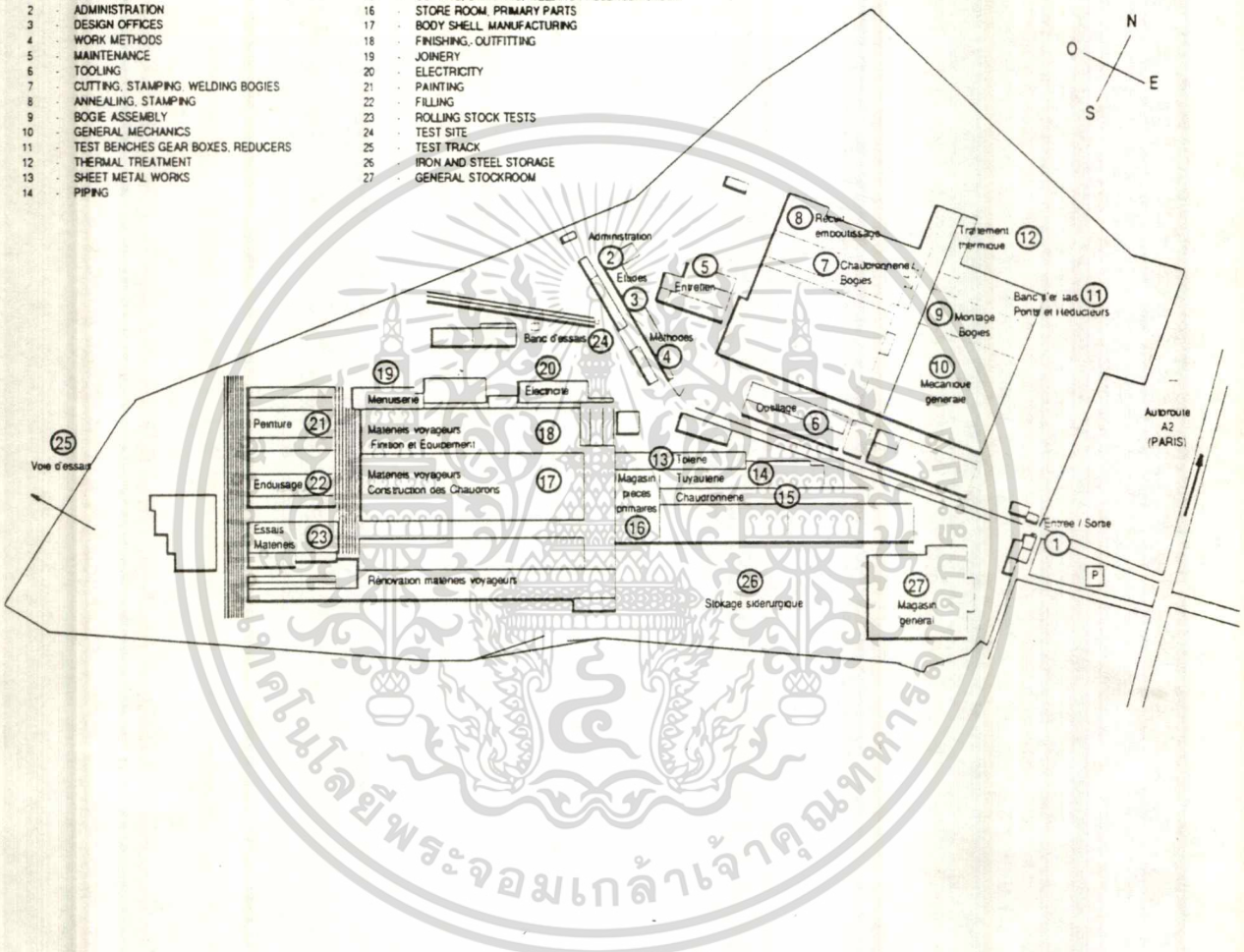
5. การได้มาของที่ดิน จำเป็นต้องมีการดำเนินงานทั้งทางด้านรัฐและเอกชนตามความจำเป็นเพื่อแก้ไขอุปสรรค ปัญหา เนื่องจากอาจเป็นจุดที่ทำให้เกิดการดำเนินงานชะงักงันได้

4.2 <u>รูปแบบโครงสร้างและขนาดพื้นที่สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน</u>

สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นสถานีขนาดใหญ่ตัวอาคารจะต้องมีความมั่นคงและปลอดภัย ลักษณะภายในอาคารจะต้องแบ่งพื้นที่ต่าง ๆ ออกเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้สอยดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมด้านต่าง ๆให้สัมพันธ์กัน นอกจากนี้ต้องเป็นอาคารที่สามารถดัดแปลงเปลี่ยนแปลงการใช้สอยเพื่อใช้งานด้านอื่นได้ง่าย

ขนาดพื้นที่ที่ต้องการใช้สร้างสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน ควรมีขนาดพื้นที่รวมกันระหว่าง 350,000-500,000 ตารางเมตร เพื่อใช้สำหรับรองรับงานด้านการบริหาร ด้านการช่างต่าง ๆ และด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ถ้าหากกระจายให้มีสถานีโรงซ่อมและเก็บอยู่ในพื้นที่ตอนปลายของทุกเส้นทางแล้วควรมีพื้นที่ระหว่าง 150,000-200,000 ตารางเมตร ตามความเหมาะสม ซึ่งจะทำให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆของโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน CRESPIN ในฝรั่งเศส

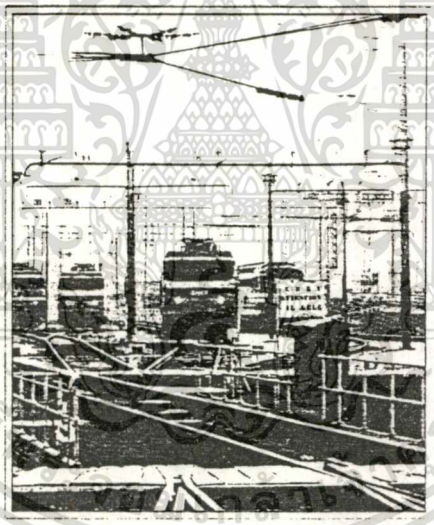
4.3 <u>องค์ประกอบของสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน</u>

องค์ประกอบของสถานีแบ่งพื้นที่การใช้ออกเป็นพื้นที่ร่มส่วนหนึ่ง และพื้นที่กลางแจ้งอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งในแต่ละส่วนต้องมีการจัดวางและแบ่งพื้นที่ให้เป็นสัดส่วนและสามารถใช้สอยได้อย่างต่อเนื่อง และที่สำคัญต้องมีศูนย์กลางระบบการควบคุมดูแลและบริหารงานสถานีโรงซ่อมเก็บรถไฟฟ้าใต้ดินอย่างมีระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

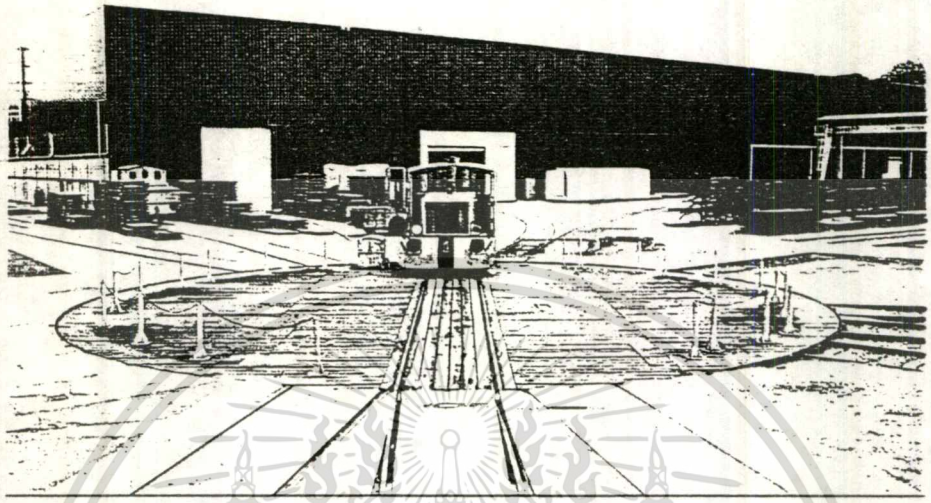
การแบ่งพื้นที่เพื่อใช้สอยในกิจกรรมหน้าที่ด้านต่าง ๆ ที่สำคัญควรมีดังนี้

4.3.1 <u>ส่วนพื้นที่กลางแจ้ง</u> จะเป็นพื้นที่ที่กำหนดให้สำหรับวางรางรถไฟฟ้าใต้ดินเพื่อเป็นที่สำหรับจอดเก็บขบวนรถไฟฟ้าส่วนหนึ่งในเวลากลางคืน และยังใช้เป็นที่จอดรถหลังจากการใช้งานเพื่อทำความสะอาดในส่วนต่าง ๆ ของรถด้วย พื้นที่ในส่วนนี้ควรจัดวางแผนเพื่อให้สามารถจอดรถได้อย่างมีระเบียบจำนวนมากและประหยัดพื้นที่และยังเป็นพื้นที่ที่วางรางเพื่อการทดสอบการวิ่งของรถที่ได้ทำการซ่อมแซมเสร็จ เพื่อตรวจสอบการทำงานก่อนนำออกไปใช้งานต่อไป

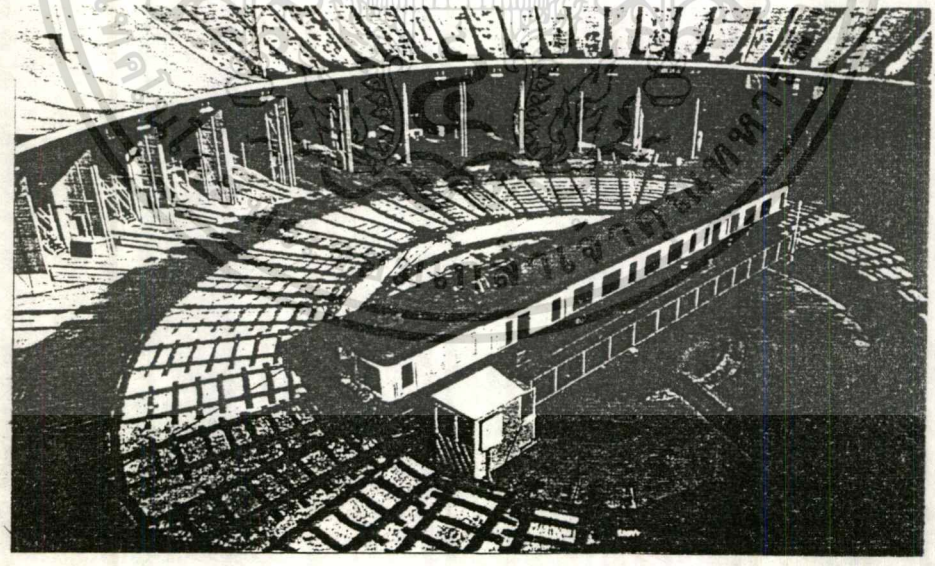


รูปที่ 4.3 บริเวณที่จอดรถไฟฟ้าในโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 บริเวณทดสอบการวิ่งของรถไฟฟ้าใต้ดินหลังจากทำการซ่อมบำรุงแล้ว



รูปที่ 4.5 วงเวียนสำหรับกลับหัวรถจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 <u>พื้นที่ในอาคาร</u> พื้นที่ในส่วนนี้มีความสำคัญมาก และเป็นส่วนที่จะต้องแบ่งสัดส่วนของพื้นที่ให้รองรับการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรม อย่างเป็นระเบียบและต่อเนื่องพื้นที่ที่สำคัญ ได้แก่

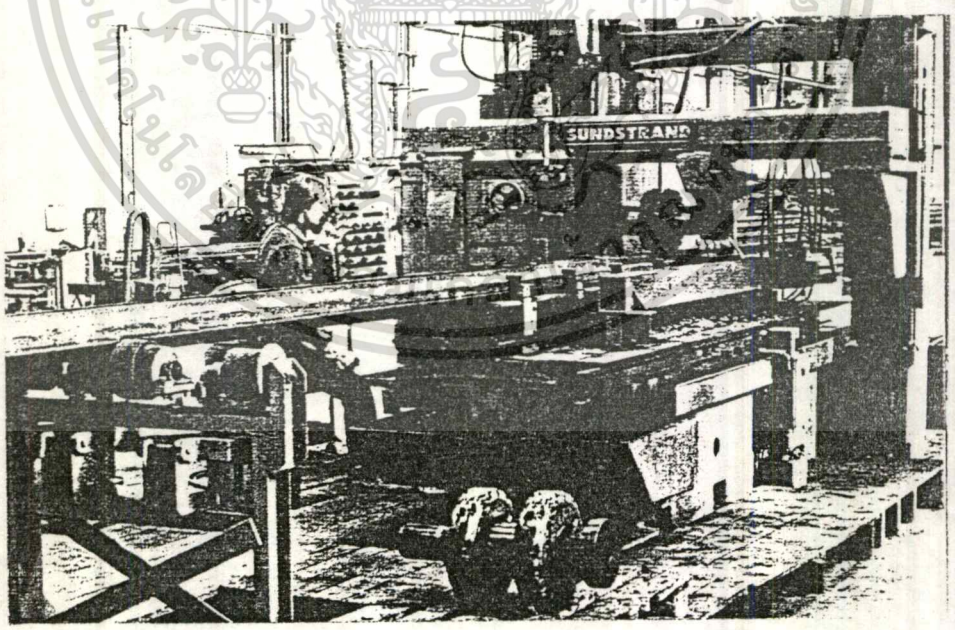
- พื้นที่ที่กำหนดให้เป็นพื้นที่สำหรับการซ่อมบำรุงขนาดเบา (Light maintenance) เป็นลักษณะที่ทำการซ่อมแซมรถที่มีส่วนชำรุดเล็กน้อย การซ่อมไม่ต้องใช้เวลาดำเนินการมาก

- พื้นที่ส่วนที่ใช้เป็นที่สำหรับการซ่อมแซมบำรุงแก้ไขขนาดหนัก (Heavy maintenance) ซึ่งจะเป็นงานที่ต้องใช้เวลาในการซ่อมบำรุงนาน

- พื้นที่ส่วนที่ใช้จัดเก็บรถสำรองเพื่อนำออกใช้ทดแทนรถไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ชำรุดใช้การไม่ได้

- พื้นที่เป็นที่จัดเก็บ-เบิกจ่ายอุปกรณ์อะไหล่รถไฟฟ้าใต้ดินและอื่น ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเบิกใช้งานและเป็นที่จัดเก็บเตรียมพร้อมอะไหล่อุปกรณ์ทุกชิ้นที่ต้องใช้กับงานรถไฟฟ้าใต้ดิน

-พื้นที่ใช้เป็นสำนักงานบริหารงานในพื้นที่ส่วนนี้ประกอบด้วยส่วนที่ใช้ปฏิบัติงานสำนักงานด้านการบริการทั่วไป การติดต่อประสานงานกับหน่วยงานภายนอก การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ ฯลฯ และส่วนที่กำหนดให้เป็นศูนย์กลางการควบคุมการเดินรถ Total Traffic Control Centre (TTCC) ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบ สั่งการ ดูแล การเดินรถให้เป็นไปตามตารางเวลา และติดตามการเดินรถได้ตลอดเวลา

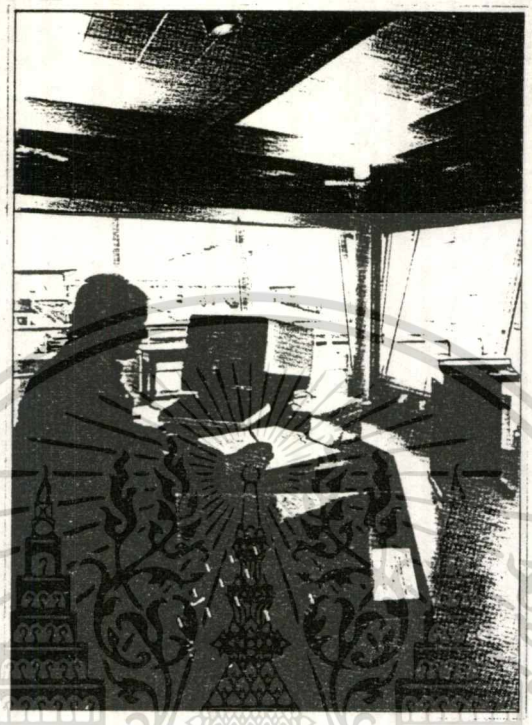


รูปที่ 4.6 บริเวณภายในโรงซ่อมบำรุงที่ใช้ทดสอบเกี่ยวกับราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 บริเวณทดสอบรางภายในโรงซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ห้องควบคุมการทำงานภายในโรงซ่อมบำรุง

4.4 ข้อเสนอแนะพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์เป็นสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน ของกรุงเทพมหานคร

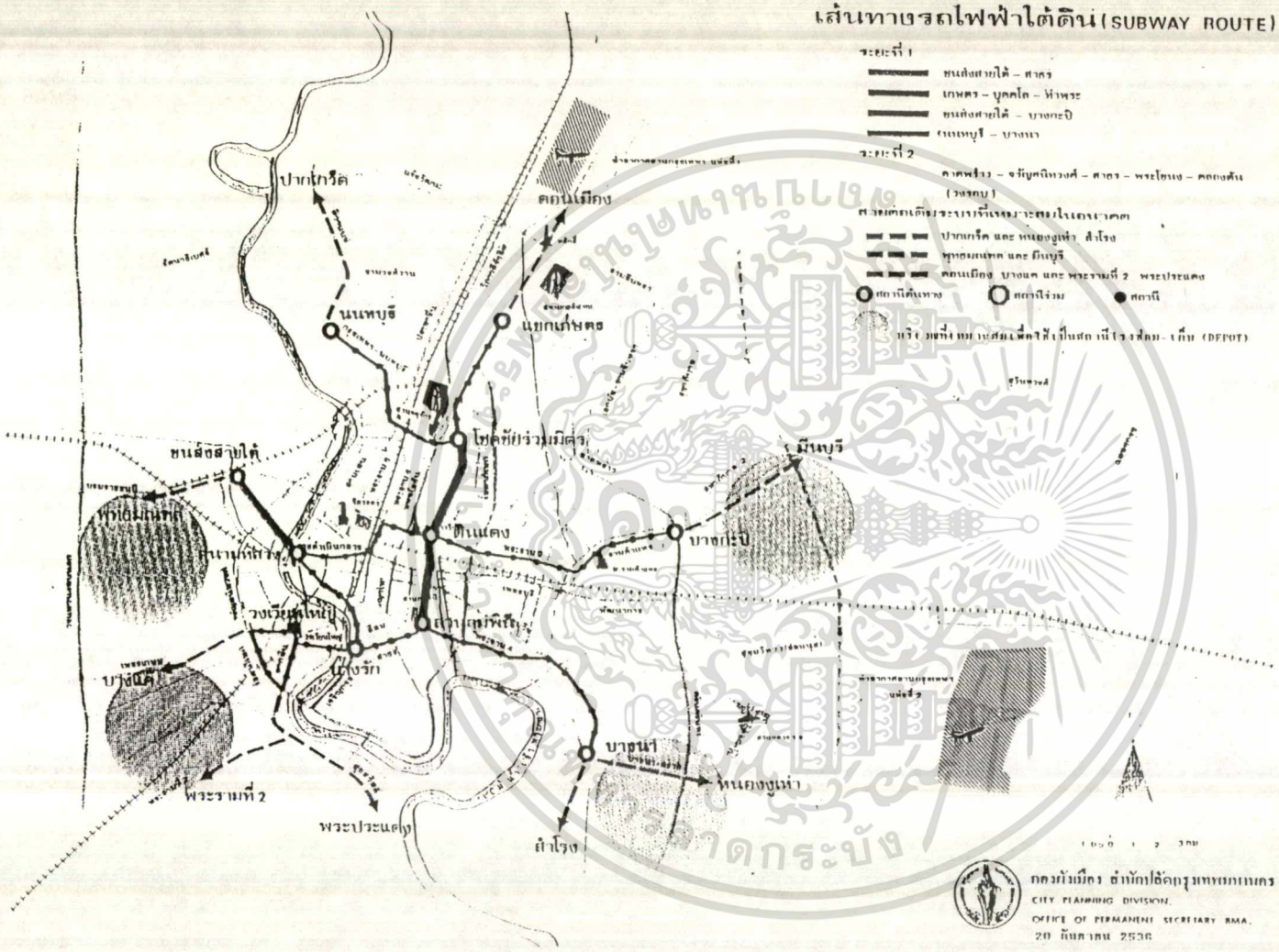
พื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อพิจารณาใช้สร้างสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน และอยู่ในหลักเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1. เส้นทางเกษตร-บุคคโล-ท่าพระ ในตอนปลายของเส้นทางจะมีพื้นที่ที่สามารถดำเนินการได้เพียงบริเวณเดียวได้แก่บริเวณย่านเอกชัยจะมีพื้นที่ว่างในบริเวณด้านเหนือและด้านใต้ของถนนเอกชัย

2. เส้นทางนนทบุรี-บางนา ในเส้นทางสายนี้มีพื้นที่ที่พิจารณาได้เพียงบริเวณเดียวคือบริเวณย่านบางนาจะมีพื้นที่ว่างอยู่โดยรอบปลายเส้นทาง ส่วนในบริเวณย่านนนทบุรี พื้นที่ได้มีการนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่พักอาศัย ไม่มีพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ที่จะนำมาใช้ได้

3. เส้นทางสายขนส่งสายใต้-บางกะปิ เส้นทางสายนี้เป็นเส้นทางที่มีที่ว่างขนาดใหญ่อยู่ทั้งสองด้านของตอนปลายเส้นทางได้แก่ย่านบางระมาดและย่านสะพานสูงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงบริเวณที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน
ในกรุงเทพมหานคร

สถานที่ตั้งของโรงซ่อม-เก็บ รถไฟฟ้าใต้ดิน (Depot) ในช่วงแรก ๆ จะอยู่ที่ ห้วยขวาง โดยบริเวณ โรงซ่อม-เก็บ รถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบด้วย *[ที่มา : บริษัทธนชาติโฮลดิ้ง จำกัด]*

- อาคารบริหารงานและใช้ประโยชน์
- ที่จอดรถไฟฟ้าและโรงซ่อม
- โรงงานสำหรับซ่อมแซมการวิ่ง
- โรงงานซ่อมส่วนกลาง
- โรงงานบริการเกี่ยวกับมอเตอร์การขับ
- โรงงานสำหรับตัวรถไฟฟ้า
- โรงงานสำหรับการทำสีใหม่ของรถไฟ
- วงเวียนสำหรับกลับหัวรถจักร (Turntable)
- ที่เก็บอุปกรณ์การซ่อมแซมฉุกเฉิน
- ส่วนที่ลากรถไฟขึ้น-ลง จากสถานีใต้ดิน
- สถานีการอัดอากาศ (Compressor Station)
- ส่วนที่เป็นศูนย์กลางควบคุมระบบไฟฟ้า
- ส่วนที่ฟอกหรือทำความสะอาดน้ำ
- สถานีเติมน้ำมันสำหรับรถไฟ
- โรงงานเก็บชิ้นส่วนที่ปฏิบัติงานตามเส้นทาง
- ที่เก็บวัสดุเกี่ยวกับตัวราง
- เครนไฟฟ้า (electric crane)
- สถานที่เก็บของเอนกประสงค์ เช่น ชิ้นส่วนของล้อ มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องปั๊มอากาศ ชิ้นส่วนบันไดเลื่อน เป็นต้น
- ที่จอดรถทั่วไป รถส่วนตัว
- สถานที่สำหรับเก็บและทำลายขยะ หรือชิ้นส่วนวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ในช่วงแรก ๆ ของการดำเนินงาน โรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน (Depot) จะสามารถรองรับรถไฟฟ้า 3 ตู้ขบวนได้ 25 คัน และสำรองไว้อีก 14 คัน ในขณะที่อีก 12 คัน จะเก็บอยู่ที่โรงซ่อม-เก็บบริเวณปลายและระหว่างเส้นทาง

อาคารสำหรับจอดรถไฟฟ้าจะยาว 130 เมตร ซึ่งในแต่ละรางจอดจะยอมให้จอดรถไฟฟ้า 3 ตู้ขบวนได้ 2 คัน โดยจำนวนรถที่ต้องการเก็บจะต้องได้รับการซ่อมแซมอย่างเพียงพอ อาคารจะแบ่งพื้นที่เป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนมีความกว้าง 24 เมตร พื้นที่บริเวณโรงซ่อม-เก็บ รถไฟฟ้าทั้งหมดประมาณ 62 ไร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอนาคต โรงซ่อม-เก็บ รถไฟฟ้าจะรองรับรถไฟฟ้า 6 คู้ขบวนได้ 37 คัน และสำรองไว้ 36 คัน ซึ่งจะต้องมีอาคารแบ่งพื้นที่เป็น 10 ส่วนสำหรับการซ่อมแซมรถไฟฟ้าพื้นที่ทั้งหมดของบริเวนโรงซ่อม-เก็บ รถไฟฟ้าประมาณ 138 ไร่

สถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งหน้าที่ของสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินจะแตกต่างจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยทั่วไป คือจะทำหน้าที่คล้ายกับอู่ซ่อมบริการยานพาหนะโดยทั่วไปซึ่งรูปแบบและลักษณะองค์ประกอบของโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆเช่น ส่วนที่ฟอกหรือทำความสะอาดตัวรถ ส่วนที่เก็บวัสดุเกี่ยวกับตัวราง เครนไฟฟ้า ที่จอดรถทั่วไปและรถส่วนตัว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

ระบบขนส่งมวลชน(รถไฟฟ้าใต้ดิน)เริ่มดำเนินการครั้งแรกที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ เมื่อปี คศ. 1863 (พศ. 2406)ประเทศที่มีรถไฟฟ้าใต้ดินใช้ถัดมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศฝรั่งเศส และประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน ตามลำดับ

จากข้อมูลปี คศ. 1863 ถึงปี คศ. 1987 มีประเทศที่ใช้รถไฟฟ้าใต้ดินแล้ว 33 ประเทศ 88 เมือง โดยมหานครนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นประเทศที่มีระบบโครงข่ายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินยาวที่สุดในโลก มีความยาวทั้งสิ้น 416 กิโลเมตร สำหรับมหานครโตเกียวประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินทันสมัยที่สุด

รถไฟฟ้าใต้ดินจะเป็นรถที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จุผู้โดยสารได้ประมาณตู้ละ 250-320 คน ความเร็วเฉลี่ยในการทำงานขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสถานี และประสิทธิภาพการวิ่งของรถไฟฟ้านั้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าที่ใช้ โดยมาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าในแต่ละแห่งอาจจะไม่เหมือนกันซึ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของราง รัศมีความโค้ง ความลาด และข้อกำหนดอื่นๆ ดังนั้นลักษณะและระบบของรถไฟฟ้าใต้ดินที่ออกแบบโดยบริษัทผู้ผลิตแต่ละแห่งอาจจะไม่เหมือนกันเพื่อที่จะได้ลักษณะของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมที่สุดกับโครงการนั้นๆ รถไฟฟ้าใต้ดินแต่ละสายควรจะมีโรงเก็บและซ่อมบำรุง(Depot) ที่ปลายทางด้านใดด้านหนึ่ง และจะต้องมีศูนย์ควบคุมการเดินรถ ซึ่งจะมีระบบคอมพิวเตอร์และโทรทัศน์วงจรปิด ตรวจสอบและควบคุมการเดินรถได้ทุกขบวนและทุกเส้นทาง

5.1 รูปแบบของตัวรถไฟฟ้าโดยทั่วไป

รถไฟฟ้านับได้ว่าเป็นพาหนะขนส่งผู้คนจำนวนมากที่ได้รับการยอมรับในหลาย ๆ ประเทศ เช่น ญี่ปุ่น อเมริกา ฝรั่งเศส ฯลฯ มีทั้งรถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟลอยฟ้า และรถไฟความเร็วสูงวิ่งระหว่างเมืองต่าง ๆ นอกจากจะช่วยขนส่งคนจำนวนมากแล้วยังช่วยแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดในเขตผู้คนหนาแน่นและยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันและก๊าซเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ รถไฟฟ้าโดยทั่วไปอาจจะแยกไว้ 2 ประเภท ตามระบบการขับเครื่องยนต์

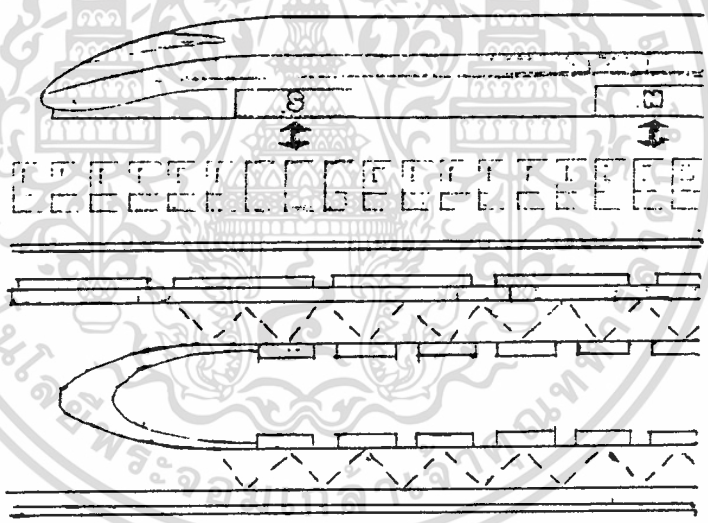
5.1.1 รถไฟที่ขับเคลื่อนด้วยแรงผลักดันแม่เหล็ก(Maglev)

รถไฟ Maglev ไม่มีเครื่องยนต์ โดยรถไฟจะลอยตัวอยู่ในอากาศเหนือพื้นผิวราง โดยใช้เทคนิคที่รู้จักกันว่า การลอยตัวด้วยพลังแม่เหล็ก (Magnetic Leviation) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Maglev

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันจะถูกยกและขับเคลื่อนโดยพลังแม่เหล็กอิเลคตรอน ตามหลักการซึ่งสองขั้วแม่เหล็ก "ใต้" หรือสองขั้ว "เหนือ" จะผลักกันและกัน แต่ขั้วใต้และขั้วเหนือจะดูดเข้าหากัน

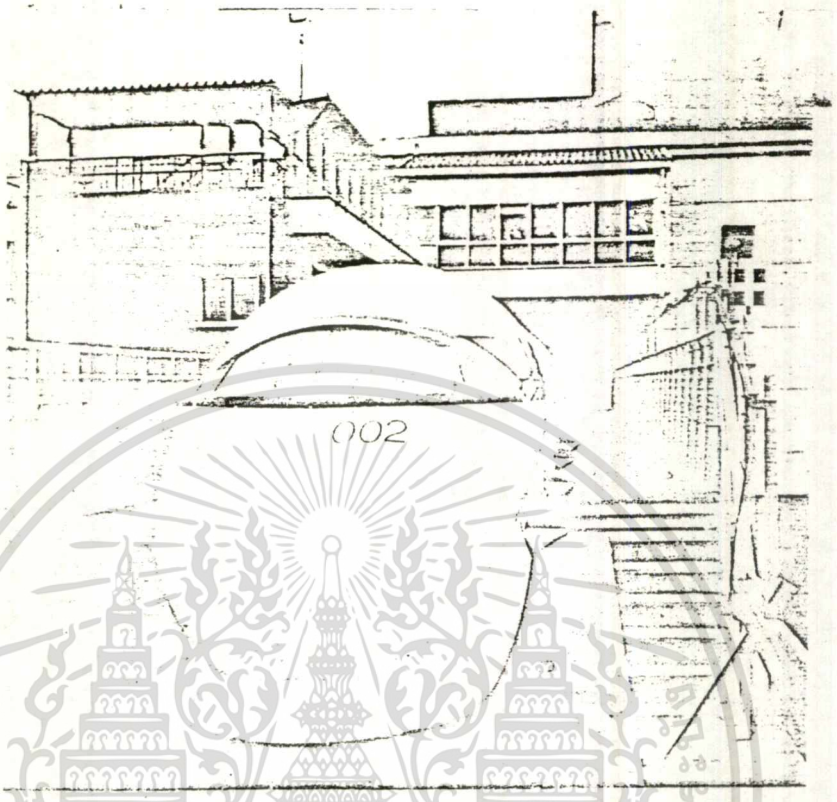
ในอันดับแรกรถไฟจะถูก"ยก"ขึ้นจากราง โดยแม่เหล็กที่อยู่ตามห้องข้างใต้ของรถไฟ และที่ฐานของราง การขับเคลื่อนไปข้างหน้า จะถูกจัดการโดยพลังแม่เหล็กที่อยู่ด้านข้างของรถไฟ และกำแพงของทางวิ่ง "ขั้วใต้" จะถูกดูดเข้าหาโดย "ขั้วเหนือ" ซึ่งจะผลักไปในทางตรงเดียวกัน ผลกระทบอย่างนี้เป็นสิ่งที่รู้จักกันว่า "linear motor" หรือ "เครื่องยนต์ตามขวาง" ในแต่ละครั้งที่รถไฟขับเคลื่อนข้างหน้า โดยหนึ่งชุดของแม่เหล็กบนทางวิ่ง ขั้วของพลังแม่เหล็กอิเลคตรอนบนรถไฟจะถูกกลับ(ขั้วใต้ไปสู่ขั้วเหนือ และขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้) เป็นการช่วยให้เคลื่อนไหวไปข้างหน้าได้ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงการดึงดูดของรถ Maglev

เนื่องจากไม่ได้ใช้ล้อแล่นไปบนราง เสียงที่เกิดขึ้นก็จะเป็นเพียงเสียงของอากาศที่เสียดสีในขณะที่รถไฟเร่งความเร็ว แต่ปัญหาทางเทคนิคที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวิ่งของ Maglev คือ จะหาการส่ายพลังด้านทานกระแสไฟฟ้าให้กับโลหะพิเศษที่ใช้เป็นสื่อนำแม่เหล็ก ที่จะทำให้รถไฟลอยตัวได้อย่างไร และผลกระทบจากพลังแม่เหล็กอันรุนแรงแบบไหนที่จะมีต่อผู้โดยสารรวมทั้งมีค่าก่อสร้างสูงมาก (ในประเทศญี่ปุ่น รถ Maglev ได้รับรองจากการออกวิ่งบนเส้นทางทดลองความยาว 43 กิโลเมตร ในพื้นที่ยามานาชิ)

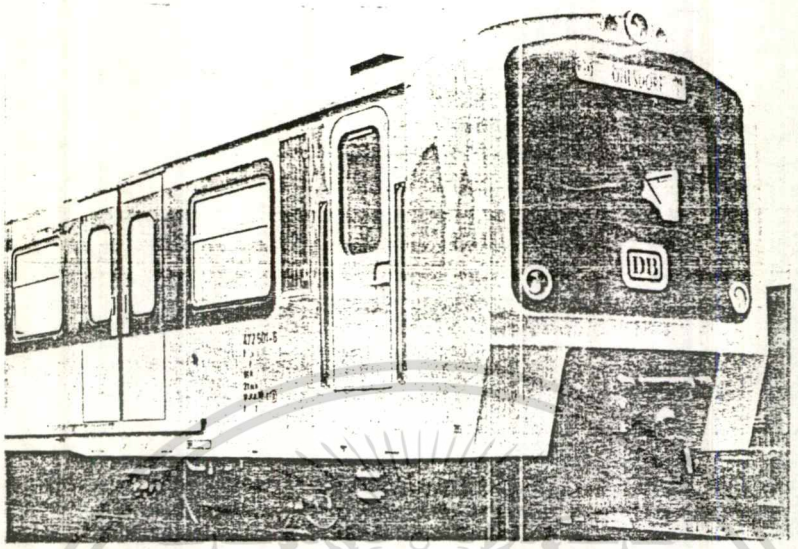
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 รถไฟ JR Maglev ที่ใช้ทดสอบวิ่งในประเทศญี่ปุ่น

5.1.2 รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนรถไฟ โดยมีสายไฟฟ้าขึงพาดอยู่เหนือขบวนรถไฟ(Overhead electric line)หรือใช้ Contrack rail โดยแขวนลอยอยู่ด้านซ้ายมือ ในทิศทางที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ การขับเคลื่อนจะใช้ล้อวิ่งบนราง ซึ่งล้ออาจจะเป็นล้อเหล็กหรือใช้ล้อยางเพื่อลดมลภาวะทางเสียง รถไฟฟ้าใต้ดินจะเป็นรถไฟระบบนี้ โดยความเร็วเฉลี่ยในการทำงานจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสถานีที่ตั้ง ระบบต่าง ๆของรถไฟฟ้าชนิดนี้จะกล่าวในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

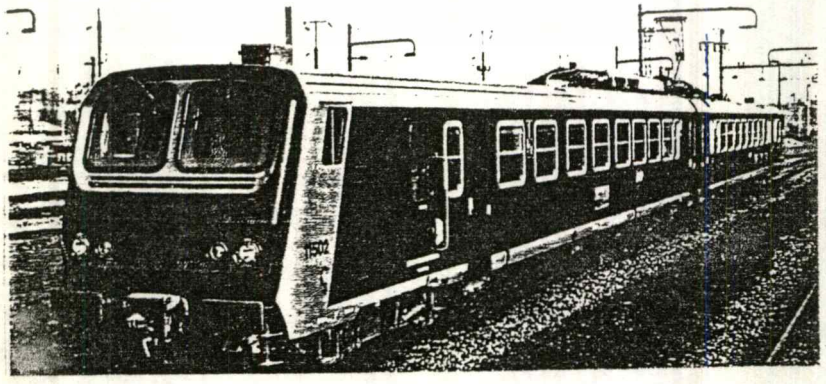


รูปที่ 5.3 รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าในเมืองฮัมบูร์ก (New S-Bahn Type 472)

5.2 ลักษณะล้อที่ใช้กับรถไฟฟ้าใต้ดิน

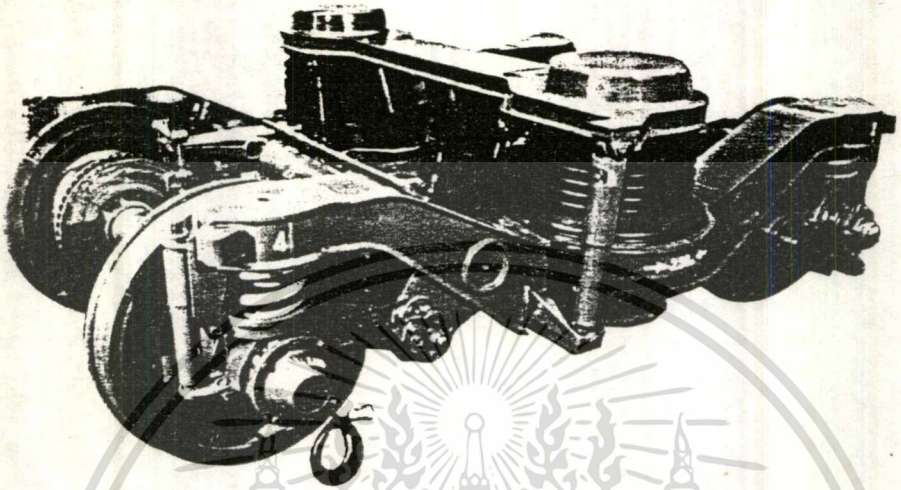
รถไฟฟ้าใต้ดินจะมีทั้งแบบที่ใช้ล้อเหล็กและล้อยาง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดระบบขนส่งมวลชนและความเหมาะสมในการใช้

สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินระบบ HEAVY RAIL ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นระบบขนส่งในระยะทางไกล และการขนส่งระหว่างเมืองซึ่งจะมีอัตราความเร็วรถสูง และมีอัตราการขนส่งผู้โดยสารต่อชั่วโมงต่อทิศทางมาก ส่วนใหญ่จะใช้ล้อเหล็กเพราะถ้าใช้ล้อยาง การเสียดสีระหว่างล้อกับรางเมื่อรถวิ่งด้วยความเร็วสูงจะทำให้ล้อชำรุดได้ และมีการดูแลรักษาน้อยกว่า

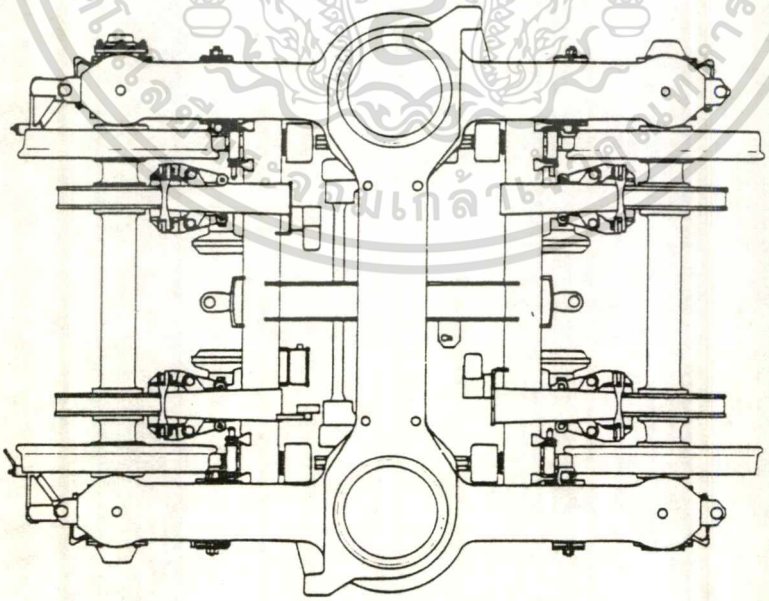


รูปที่5.4 ตัวรถไฟฟ้า Y 32 G ซึ่งใช้ล้อเหล็กในการขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



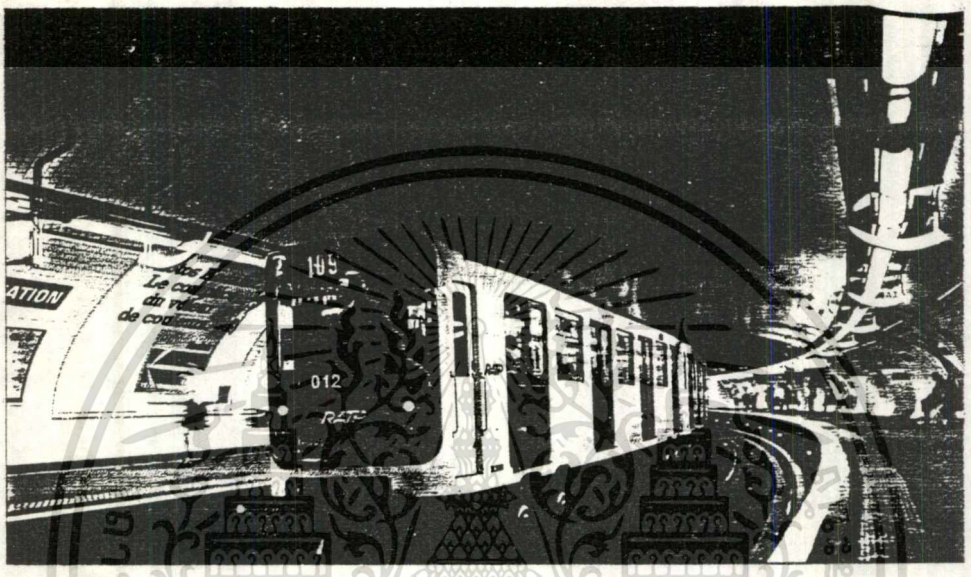
รูปที่5.5 ลักษณะล้อเหล็กที่ใช้กับตัวรถไฟฟ้า Y 32 G



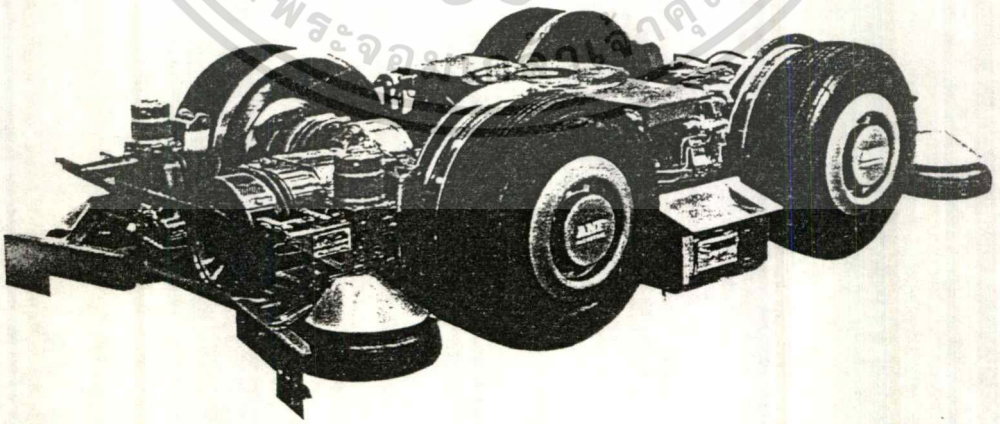
รูปที่ 5.6 แสดงภาพ Top View ของล้อเหล็กที่ใช้กับตัวรถไฟฟ้า Y 32 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินระบบ LIGHT RAIL ซึ่งรถจะวิ่งด้วยความเร็วต่ำ มีอัตราการขนส่งผู้โดยสารต่อชั่วโมงต่อทิศทางน้อยกว่า ซึ่งจะเป็นระบบขนส่งในระยะทางสั้นๆ หรือภายในเมือง ส่วนใหญ่จะใช้ล้อยางแทนล้อเหล็ก เมื่อคำนึงถึงมลภาวะทางเสียง เป็นต้น

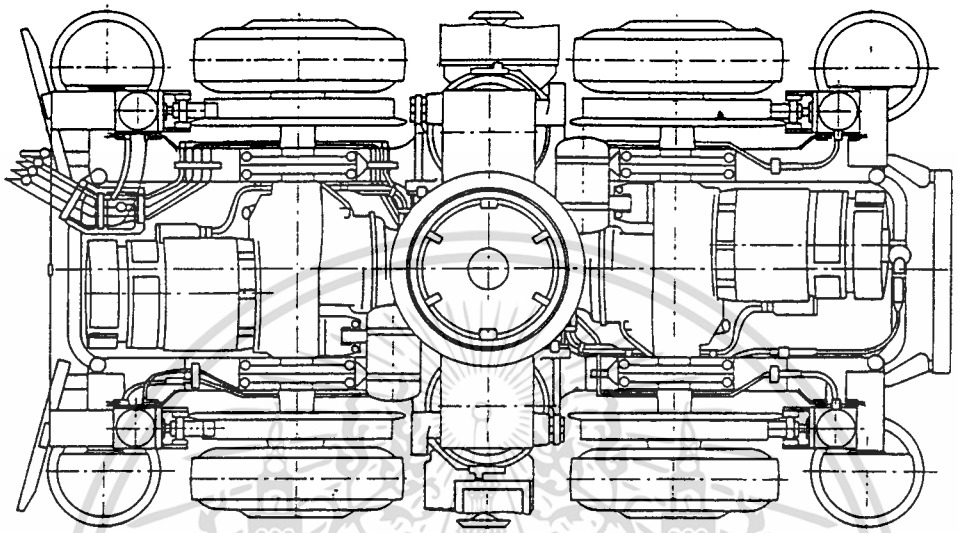


รูปที่ 5.7 ลักษณะตัวรถไฟฟ้า MP 86 ในฝรั่งเศส ที่ใช้ล้อยางในการขับเคลื่อน



รูปที่ 5.8 ลักษณะล้อยางที่ใช้กับตัวรถไฟฟ้า MP 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงภาพ Top View ของล้อยางที่ใช้กับตัวรถไฟฟ้า MP 86

ทางวิ่งสำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้ล้อยาง จะใช้รางโลหะ และจะมี Guiding Rails ติดตั้งบริเวณด้านนอกโดยจะมีการส่งกระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อน สำหรับตัวรถไฟฟ้าตัวหนึ่งจะประกอบด้วยล้อรองรับ(carrying wheels) จำนวน 4 ล้อ ซึ่งจะต่อกับล้อเหล็กจะวิ่งอยู่ด้านนอกของรางโลหะและจะมี guiding wheels ในแนวนอนจำนวน 4 ล้อ ซึ่งจะเป็นล้อยางทั้งหมด ในการทำงานตามปกติล้อเหล็กจะถูกติดตั้งลอยอยู่เหนือรางเพียงไม่กี่เซนติเมตร และจะใช้ประโยชน์ในกรณีสับเปลี่ยนเส้นทาง และเป็นอุปกรณ์ปลอดภัย(safety device) ในกรณีที่ล้อยางเกิดการชำรุดหรือแตก รถไฟฟ้าก็ยังสามารถวิ่งต่อไปได้ โดยจะใช้ล้อเหล็กวิ่งบนรางแทน

ข้อดีของล้อยางเมื่อเปรียบเทียบกับล้อเหล็ก

1. มีการยึดเกาะได้ดีกว่า ทำให้มีผลทางด้านความเร็วและการเบรคได้ดีกว่า สามารถวิ่งในที่ลาดเอียงได้ดีกว่า และมีความเป็นไปได้ในการจำกัดจำนวนของเพลาขับเคลื่อนของตัวรถไฟฟ้าได้

2. ลดเสียงดังที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างล้อและราง มีการสั่นสะเทือนน้อยโดยจะส่งผ่านความสั่นสะเทือนกระจายไปยังพื้นที่ใกล้เคียง

นอกจากนี้ ระบบขนส่งที่ใช้ล้อยางยังได้รับการยอมรับว่ามีน้ำหนักเพลา(axle load) น้อยกว่าแบบล้อเหล็ก และอาจแสดงให้เห็นว่าจะมีราคาการลงทุนพิเศษเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕.๘ <u>ทางวิ่งและรางรถไฟ</u> (Track and Rail)

โครงสร้างของทางรถไฟนั้นจะต้องมีความประหยัดทั้งในขณะก่อสร้างและขณะที่ใช้งาน ข้อเสนอแนะสำหรับระบบเริ่มต้นของงานได้ดิน ซึ่งนำเสนอโดย บริษัท ธนชาติโฮลดิ้ง จำกัด ชนิดของทางรถไฟได้ดินอาจจะแบ่งได้ดังนี้

1.แบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่

- ทางรถไฟฟ้าสายหลัก (main tracks)
- ทางรถไฟฟ้าที่สถานี (station tracks)
- ทางเชื่อม (connecting tracks)
- ทางรถไฟฟ้าไปยังโรงซ่อมบำรุง (tracks to depot)

2.แบ่งตามตำแหน่งที่ตั้งได้แก่

- ทางรถไฟฟ้าในอุโมงค์
- ทางรถไฟฟ้าบนผิวดิน
- ทางรถไฟฟ้าในอาคารซ่อมแซมและที่จอดในโรงซ่อมบำรุง

<u>โครงสร้างใต้ทางรถไฟ</u> (track substructure) จะใช้วัสดุดังต่อไปนี้

- ในอุโมงค์ ใช้ฐานรองคอนกรีตหนา
- บริเวณผิวดินและที่โรงซ่อมบำรุง ใช้ผิวดิน(grond bed)

<u>โครงสร้างใต้รางรถไฟ</u> (rail substructure)

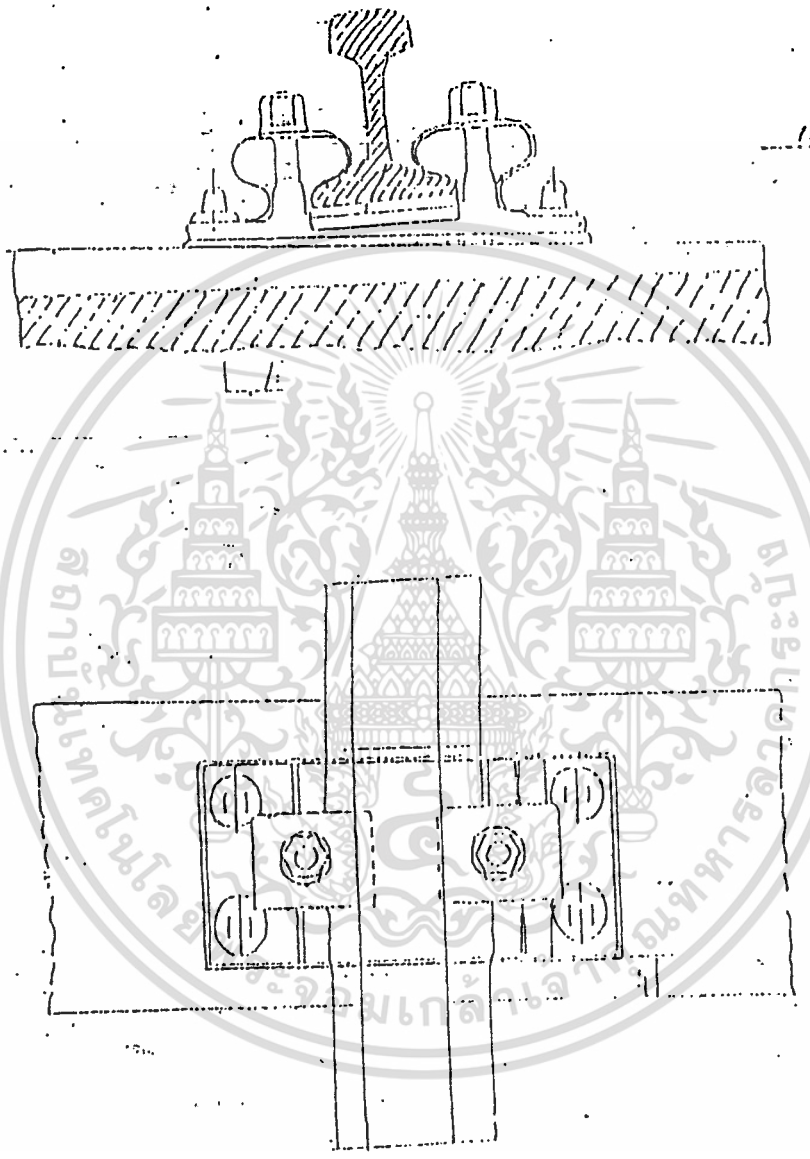
- บนทางรถไฟฟ้าสายหลัก ใช้ไม้หมอนทำด้วยไม้ (wooden sleepers)
- บนทางรถไฟฟ้าบริเวณชานชาลาสถานี ใช้ไม้หมอนทำด้วยไม้สั้น (short wooden sleeper)
- บนทางแยกและทางข้าม ใช้ wooden switch bars

โดยที่ไม้หมอนและท่อนไม้ (Sleepers and bars) จะต้องเต็มไปด้วยน้ำมันซึ่งทำให้ไม่นำไฟฟ้า

ไม้หมอนของทางรถไฟฟ้าในอุโมงค์จะวางบนชั้นทางคอนกรีต(concrete track layer) ส่วนบริเวณในอุโมงค์ที่เป็นทางแยกและบนผิวดินในโรงซ่อมบำรุง(depot)ไม้หมอนของทางรถไฟฟ้าจะวางบน crushed-spore ballast layer

เมื่อวางไม้หมอนไว้บนชั้นทางคอนกรีต จะเชื่อมระหว่างรางด้วยแผ่นประกบ spring gaskets ดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงการยึดไม้หมอนกับรางด้วยแผ่นเหล็กประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอนาคต อาจจะพิจารณาเลือกใช้ไม้หมอนคอนกรีต (concrete sleepers) วางบนเส้นทาง ดังนั้นจะเป็นผลดีด้วยถ้าออกแบบทางรถไฟใหม่ อาจจะเสนอแนะให้ใช้ที่รองรับรางทำด้วยวัสดุประกอบ(composite materials)ดังรูปที่ 5.11

รางวิ่งบนทางรถไฟซึ่งมีประจุไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องแยกจากกันและกัน เช่นเดียวกับวางแยกจากชั้นทางคอนกรีต (concrete layer) , Crushed-stone ballast และท่อทำด้วยโลหะ (metalic piping) ที่วางบนทางรถไฟ , ฯลฯ

Contact rail

Contact rail ทำด้วยเหล็กอ่อน (mild steel) ซึ่งมีความนำไฟฟ้าสูง โดยแขวนลอยอยู่ด้านซ้ายมือ ในทิศทางที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ และจะหุ้มด้วยกรอบป้องกันไฟซึ่งไม่นำไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจากด้างล่างของ Contact rail จะถูกเก็บสะสมไว้โดย train current conductors

5.3.1 มาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟ

ในแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าอาจจะแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดที่ยอมให้ได้ในแต่ละประเทศ ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างมาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งข้อมูลได้จากการรวบรวมตามมาตรฐานของหน่วยงานรถไฟต่างๆในประเทศญี่ปุ่น(ที่มา : "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิศวกรรมรถไฟไฟฟ้า" วารสารช่างฉบับเดือนกันยายน 2533)

5.3.1.1 ความยาวของทาง ราง และระยะทางบริการ

ความยาวของทางรถไฟที่ใช้ในการวางแผนต่าง ๆ จะมีดังนี้

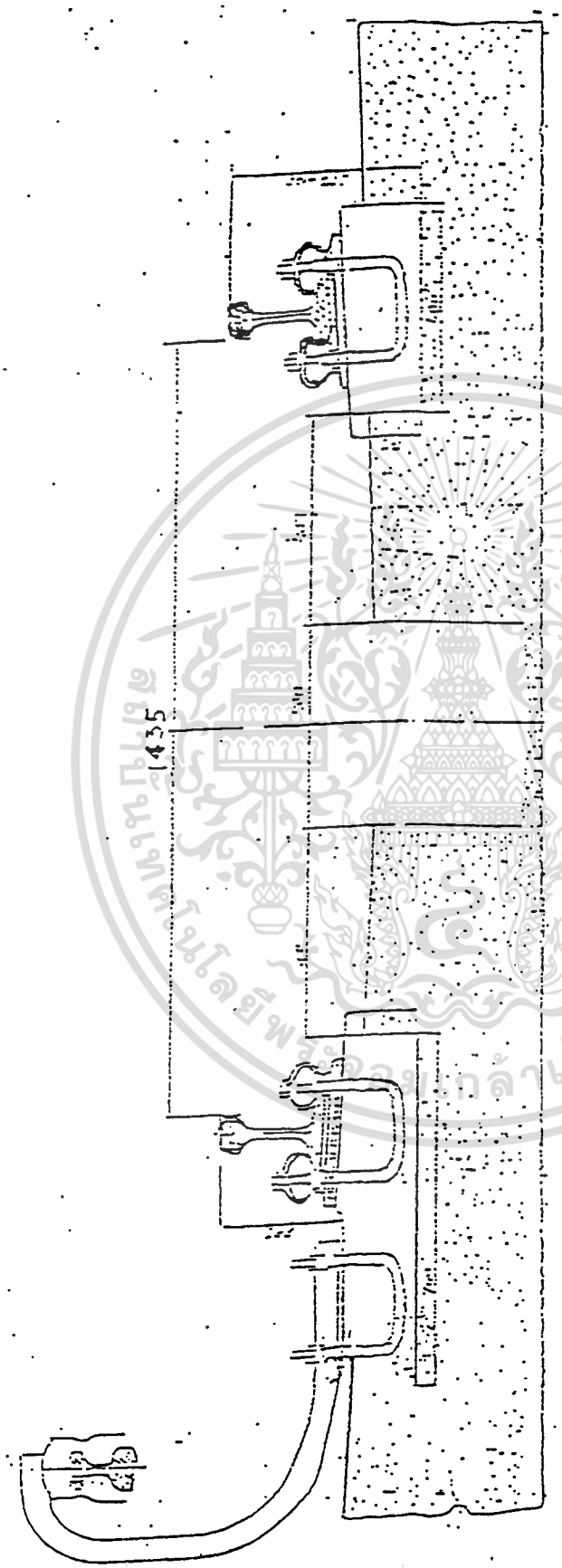
1.ความตรงของทางรถไฟ ซึ่งแม้ว่า จะมีรางวางขนานกันหลายรางก็ตาม ตัวเลขนี้จะแสดงความยาวของรางเดียว คือระยะทางในช่วงนั้น ซึ่งจะใช้เพื่อคะเนระยะทางบริการ เป็นต้น

2.ความยาวของรางรถไฟ คือ ความยาวทั้งหมดของราง เช่น ในเส้นทางคู่นั้นความยาวของรางจะเป็น 2 เท่า ของความยาวของทางรถไฟ และถ้าแต่ละรางยาวไม่เท่ากันแล้ว ก็เอาความยาวมารวมกัน มักใช้เป็นเอกสารเบื้องต้นเพื่อการบำรุงรักษาเส้นทาง

3.ระยะทางบริการ มักใช้เพื่อคำนวณค่าโดยสาร ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสถานี ซึ่งเอาผลบวกของระยะทางเข้ามาแสดง ถ้าระยะทางบริการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงเส้นทางแล้วก็จะต้องแก้ไขที่เรียกว่า double chain หรือ brake chain(การเพิ่มหรือลดเส้นทางตามลำดับ)

5.3.1.2 ฐานและระดับก่อสร้าง ฐานที่ค้ำยันโครงสร้างส่วนบนของรางโดยตรงมักเป็นเนินดินที่ถมจากผิวดินเดิมความลาดของเนินดินเช่นนี้จะต้องตรงกับลักษณะภูมิประเทศและคุณภาพของ

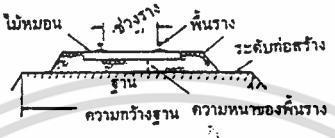
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ทางวิ่ง รางรถไฟฟ้า และ Contact Rail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินและต้องยึดให้แน่นเพื่อป้องกันการทรุดตัวหรือความสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงเมื่อรถแล่น ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 หน้าตัดทางรถไฟ

ผิวของฐานเราเรียกว่า ผิวระดับก่อสร้างซึ่งกำหนดความกว้างจากปริมาณการขนส่ง ความเร็ว,ความหนาของพื้น,การใช้เครื่องจักรและการหยุดรอของรถไฟเป็นต้น (ตารางที่ 5.1)

5.3.1.3 <u>ระยะศูนย์กลางราง</u> คือระยะของกึ่งกลางของรางที่อยู่ติดกัน ซึ่งสำรองไว้สำหรับความกว้างของขบวนรถ ความปลอดภัยต่อผู้โดยสาร พนักงาน การหยุดรอของขบวนรถ ความเร็วและลักษณะภูมิประเทศเป็นต้น ส่วนที่เป็นทางโค้งและจุดแบ่งรางจะพิจารณาความเอียงของขบวนรถโดยขยายขนาด นอกจากนั้นถ้ามีเสาไฟฟ้าหรือเสาค้ำยันอยู่กลางแล้วก็ต้องสำรองไว้มากขึ้น(ตารางที่ 5.1)

ตารางที่5.1 ความกว้างของผิวระดับก่อสร้างและระยะระหว่างรางของรถไฟภูมิภาคประเทศญี่ปุ่น

ขนาดราง	ความกว้างผิวระดับ (เมตร)	ระยะระหว่างราง (เมตร)	หมายเหตุ
1.435	1.83 ขึ้นไป	3.35	ตามมาตรฐานของหน่วยงานรถไฟต่างๆ
1.067	1.83	3.35 ขึ้นไป	
0.762	1.52	2.74	

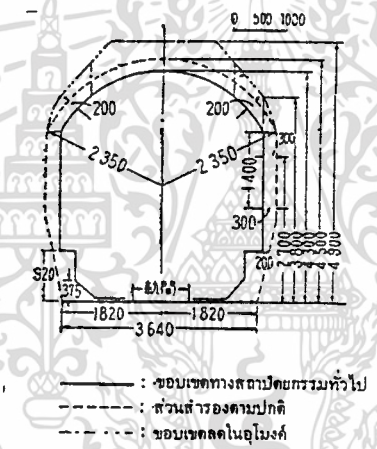
(ที่มา: วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนกันยายน 2533 "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิศวกรรมรถไฟฟ้า")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.4 <u>ขอบเขตทางสถาปัตยกรรม</u>

ถ้าวางอาคารให้ชิดกับขอบเขตของตัวรถแล้วเมื่อรถแล่นและเกิดการโคลงจะทำให้เบียดกับอาคารได้ จึงต้องสร้างอาคารให้ห่างจากตัวรถไว้บ้าง กล่าวคือ การสร้างอาคารนั้นต้องรักษาความปลอดภัยของตัวรถโดยมีช่องว่างระยะต่ำสุดที่เรียกว่า "ขอบเขตทางสถาปัตยกรรม" ไว้ อาคารและสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ นั้นจะต้องไม่สัมผัสกับขอบเขตทางสถาปัตยกรรม ดังนั้นหากอาคารหรือรางเปลี่ยนรูปหรือทรุดตัวได้ง่าย หรือเมื่อรถอาจโคลงตัวได้ง่ายแล้วก็ควรสำรองระยะนี้เพิ่มไว้บ้าง

รถในส่วนเส้นโค้งจะมีปลายหน้าหลังเบ้ออกนอกความโค้งและส่วนกลางจะเบ้เข้าหาความโค้ง ดังนั้นจึงต้องให้ระยะห่างของตัวรถกับอาคารเหมือนกับเขตเส้นตรงโดยเพิ่มความกว้างของขอบเขตทางสถาปัตยกรรมและขอบเขตในส่วนโค้งต้องมีความเอียงตามระดับของรางด้วย (ดูรูปที่ 5.13)



รูปที่5.13 ขอบเขตทางสถาปัตยกรรมในอุโมงค์

5.3.1.5 <u>ส่วนโค้ง</u>

รัศมีความโค้งของรางจะต้องกำหนดจากความเร็ว ความปลอดภัยและความประหยัด โดยทั่วไปแล้วต้องพยายามให้รัศมีความโค้งโตเพื่อลดการจำกัดความเร็วและลดค่าบำรุงรักษาราง แต่ถ้ามีข้อจำกัดทางที่ดินหรือไม่ต้องใช้ความเร็วมากแล้ว ก็จะลดค่าก่อสร้างโดยใช้รัศมีความโค้งต่ำสุด

ตารางที่ 5.2 รัศมีความโค้งต่ำสุดของรถไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น

ขนาดราง (เมตร)	รัศมีความโค้งต่ำสุด (เมตร)	
	ทั่วไป	จุดแยก
1.435	160	100
1.067	160	100
0.762	100	40

(ที่มา : "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิศวกรรมรถไฟไฟฟ้า" วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนกันยายน 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่อของความโค้งกับเส้นตรงนั้นจะลดการสั่นของตัวรถ โดยมีเส้นโค้งชดเชย และส่วนโค้งในทิศทางตรงกันข้ามที่มีเส้นโค้งชดเชยจะต้องมีส่วนตรงอยู่บ้าง

5.3.1.6 ความลาด

ความลาดของรางจะมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการขนส่ง จึงควรมีความลาดน้อยแต่ความประหยัด เทคนิคและลักษณะของรางทำให้กำหนดกันได้ ในประเทศญี่ปุ่นกำหนดความลาดสูงสุดของรางรถไฟไว้ 35 % ต้องชดเชยความลาดต่อความต้านทานของส่วนโค้งด้วยและถ้าเปลี่ยนความลาดแล้วก็ต้องพิจารณาความปลอดภัยของการลอยตัวของตัวรถด้วย

5.3.1.7 สแลก (Slack)

เนื่องจากเพลาของตู้โดยสารจะต่อขนานกันไว้อย่างแข็งแกร่ง ดังนั้นเมื่อแล่นผ่านเส้นโค้งแล้วเพลาทั้งหมดอาจไม่อยู่ที่กึ่งกลางของส่วนโค้งและรางกับขอบล้อจะเกิดและเสียดทางจนผ่านได้อย่างไม่คล่องตัว ดังนั้นที่ส่วนโค้งจึงขยายระยะห่างของรางให้มากขึ้น เรียกว่า "สแลค(slack)" ซึ่งบริเวณสแลคจะมีผลกระทบจากลักษณะของขอบล้อและตำแหน่งเพลารถที่ผ่านเส้นโค้ง แต่โดยทั่วไปจะกำหนดมาจากรัศมีความโค้งและระยะเพลา ถ้าสแลคโตเกินไปแล้วล้ออาจตกจากรางได้ ในสแลคนั้นจะให้รางด้านในเพิ่มขึ้นตามด้านโค้งตลอดส่วนโค้ง และลดลงที่ส่วนเส้นตรงก่อนหลัง ถ้าใช้เส้นโค้งชดเชยแล้วก็ค่อย ๆ ลดลงจนเป็นศูนย์ที่เส้นตรง ขนาดสูงสุดของสแลคถูกจำกัดตามตารางที่ 5.3

ตารางที่5.3 ขอบเขตของสแลคของรถไฟรัฐบาลในประเทศญี่ปุ่น

รัศมีความโค้ง (เมตร)	สแลค (มิลลิเมตร)
น้อยกว่า 170	30
170-200	25
200-240	20
240-320	15
320-440	10
440-600	5

(ที่มา : "ความรู้เบื้องต้น เกี่ยวกับวิศวกรรมรถไฟไฟฟ้า" วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนกันยายน 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.8 <u>คันท์</u> (Cant)

เมื่อรถไฟแล่นผ่านเส้นโค้งแล้วจะเกิดแรงหนีศูนย์กลางและเกิดแรงกระทำมากต่อรางด้านนอกจนล้อด้านในเบาจนอาจตกรางได้ และถ้าความเร็วสูงขึ้นแล้วรถอาจล้มไปทางด้านนอกได้

การป้องกันเรื่องนี้คือ ให้รางด้านนอกสูงกว่ารางด้านในบ้างเพื่อให้คุณย์ของแรงหนีศูนย์กลางและน้ำหนักอยู่ที่กึ่งกลางรางพอดีเมื่อให้ตัวรถปลอดภัย ซึ่งเรียกว่าคันท์(cant) คันท์จะหาได้จากสมการดังนี้

$$C = \frac{GV^2}{0.27R}$$

เมื่อ C = คันท์ (มม.)

G = ระยะห่างของราง (ม.)

V = ความเร็ว (กก./ชม.)

R = รัศมีความโค้ง (ม.)

จะเห็นได้จากสมการนี้ว่าเมื่อความเร็วสูงขึ้นหรือรัศมีความโค้งลดลงแล้วคันท์จะมากขึ้น

ตารางที่ 5.4 ตารางคันท์ (Cant)

(หน่วย = มม.)

รัศมีความโค้ง / ความเร็ว	200	300	400	500	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	2 000	3 000
30	38 51	25 34	19 25	15 20	13 17	9 13	8 10	6 8	5 7	5 6	4 5	3 3
40	67 90	45 60	34 45	27 36	22 30	17 23	13 18	11 15	10 13	8 11	7 9	4 6
50	105 141	70 94	53 71	42 57	35 47	26 35	21 28	18 24	15 20	13 18	11 14	7 9
60		101 136	76 102	60 81	50 68	38 51	30 41	25 34	22 29	19 25	15 20	10 14
70			103 138	82 111	69 92	51 69	41 55	34 46	29 40	26 35	21 28	14 18
80				108 145	90 120	67 90	54 72	45 60	38 52	34 45	27 36	18 24
90					152	85 114	68 91	57 76	49 65	43 57	34 46	23 30
95						95 127	76 102	63 85	54 73	47 64	38 51	25 34

(ที่มา : "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิศวกรรมรไฟไฟฟ้า" วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนกันยายน 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรางที่แท้จริงนั้นความเร็วของขบวนรถที่ผ่านจะไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนตามประเภทของขบวนรถ การเลือกความเร็วจึงอาจใช้ความเร็วเฉลี่ย ความเร็วสูงสุดหรือความเร็วช่วงกลาง ฯลฯ แต่ในปัจจุบันมักใช้ความเร็วสูงสุดกันมากขึ้นเพราะขบวนรถมีความเร็วสูงขึ้น

ในรถไฟนั้นจะจำกัดคันท์ไม่ให้เกิน 115 มม. เพราะเมื่อรถหยุดแล้วจะป้องกันไม่ให้รถล้มเข้าด้านใน

5.3.1.9 เส้นโค้งชดเชย

เมื่อขบวนรถแล่นจากแนวเส้นตรงสู่เส้นโค้งโดยทันทีนั้นรัศมีความโค้งจะลดจากค่าอนันต์(เส้นตรง)จนเป็นส่วนโค้งทันทีจึงไม่เหมาะสม และไม่อาจใส่คันท์หรือสแลคที่ส่วนเส้นตรงต่อกับส่วนโค้งโดยทันที จึงต้องมีส่วนโค้งเพื่อเชื่อมต่อ

ส่วนโค้งจะมีรัศมีลดจากค่าอนันต์(infinity)ลงอย่างช้า ๆ จากจุดเริ่มและที่จุดสุดท้ายจะเป็นความโค้งที่ต้องการและรัศมีความโค้งและคันท์ที่แต่ละจุดจะสอดคล้องกัน เรียกเส้นโค้งนี้ว่าเส้นโค้งชดเชย (relaxation curve) ในส่วนของเส้นโค้งชดเชยนั้นคันท์กับรัศมีความโค้งจะสัมพันธ์กันแต่ค่าของคันท์ที่เส้นโค้งชดเชยจะเปลี่ยนไปตามวิธีลด

5.4 ลักษณะและระบบของตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน

เพื่อให้เห็นภาพรวมโดยเบื้องต้นของลักษณะและระบบต่าง ๆ ของรถไฟฟ้า เพราะรถไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละแห่งก็จะมีลักษณะและระบบที่แตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ในที่นี้ จะขอยกตัวอย่าง ลักษณะและระบบตัวรถของ

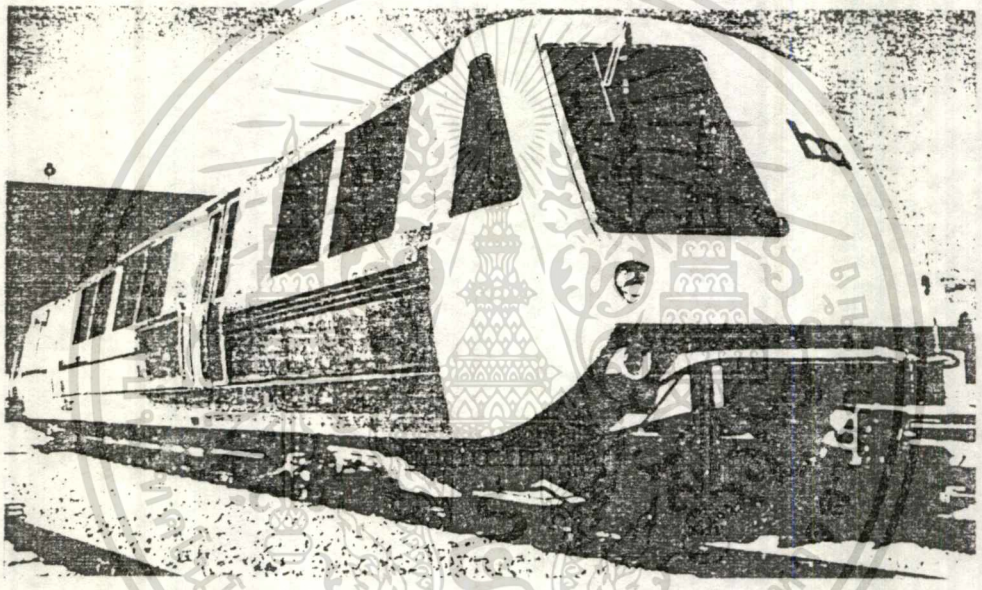
- The Bay Area Rapid Transit (BART) System ซึ่งรายงานโดย National Technical Information Service (ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- MF 88 ซึ่งผลิตโดย ANF - INDUSTRIE ET GEC - ALSTHOM ประเทศฝรั่งเศส
- VAL ซึ่งเป็นระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้วิ่งในเมือง LILLE ในประเทศฝรั่งเศส

5.4.1 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้าใต้ดินแบบ BART

รถไฟฟ้า BART จะมีลักษณะตัวรถ 2 แบบ คือ แบบตัวรถ "A" และรถ "B" โดยความยาวของตัวรถ "A" และรถ "B" มีความยาวจากหัวถึงท้ายเป็น 75 ฟุต และ 70 ฟุต ตามลำดับ ภายในตัวรถทั้งสองจัดให้มีที่นั่งสำหรับผู้โดยสารจำนวน 72 คน ในส่วนของห้องควบคุม (Attendant's Cap) จะรวมเอาระบบควบคุมรถไฟทุกระบบพร้อมกับระบบสื่อสาร (Telephone attennas) ซึ่งความแตกต่างของรถ "A" และ "B" จะแสดงให้เห็นตามรูป 5.14 5.15และ 5.16ตาม

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ในส่วนห้องผู้โดยสารจะแสดงให้เห็นทั้งในส่วนของรถ "A" และรถ "B" ตามรูป 5.17ซึ่งจะมีที่นั่งตามแนวขวาง (Transvers Seat) ทั้งหมด 28 ที่นั่ง และมีที่นั่งตามยาว(Longitual Seat) อีก 8 ที่นั่ง ซึ่งจะมีลักษณะหันหน้าเข้าหากันโดยที่นั่งตามยาวจะถูกติดตั้งถัดจากประตูทั้ง 2 ด้าน เบาะที่นั่งมีความกว้าง 22 นิ้ว โดยจะติดสปริงไว้ได้เบาะเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นเวลานั่งและบุด้วยโฟมอีกชั้นเพื่อเพิ่มความนุ่ม สำหรับเบาะที่นั่งตามขวางมีระยะปรับเอนได้ 34 นิ้ว

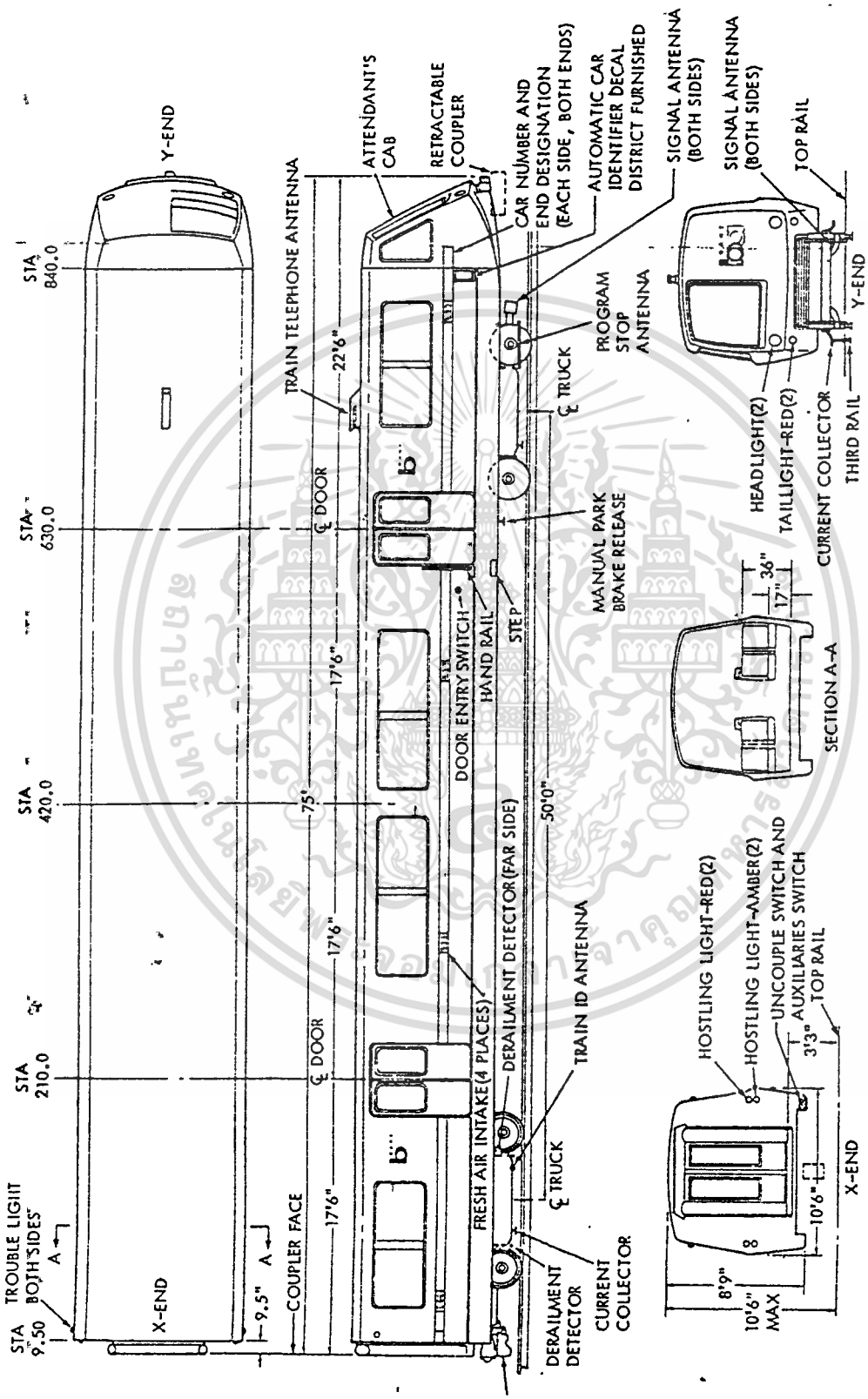


รูปที่ 5.14 ตัวรถไฟฟ้าของ BART RAPID TRANSIT

โครงสร้างของตัวรถจะเป็น อลูมิเนียม อัลลอยด์ (Aluminium alloy) โดยการใช้สลักหรือหมุดย้ำ เป็นตัวยึดโครงสร้างให้แน่น และส่วนของด้านข้างของตัวรถจะถูกทำให้แข็งและไม่สามารถแยกออกจากกันได้ โดยจะมีโครงสร้างเหล็กที่ถูกเชื่อม และเหล็ก shear panel ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของประตูที่ถูกลดพื้นที่ลง ดังแสดงในรูปที่ 5.18 โดยจะถูกต่อเข้าด้วยกันกับเหล็ก panel ด้านข้างของตัวรถด้วยวิธีการเชื่อมและใช้สลักยึด

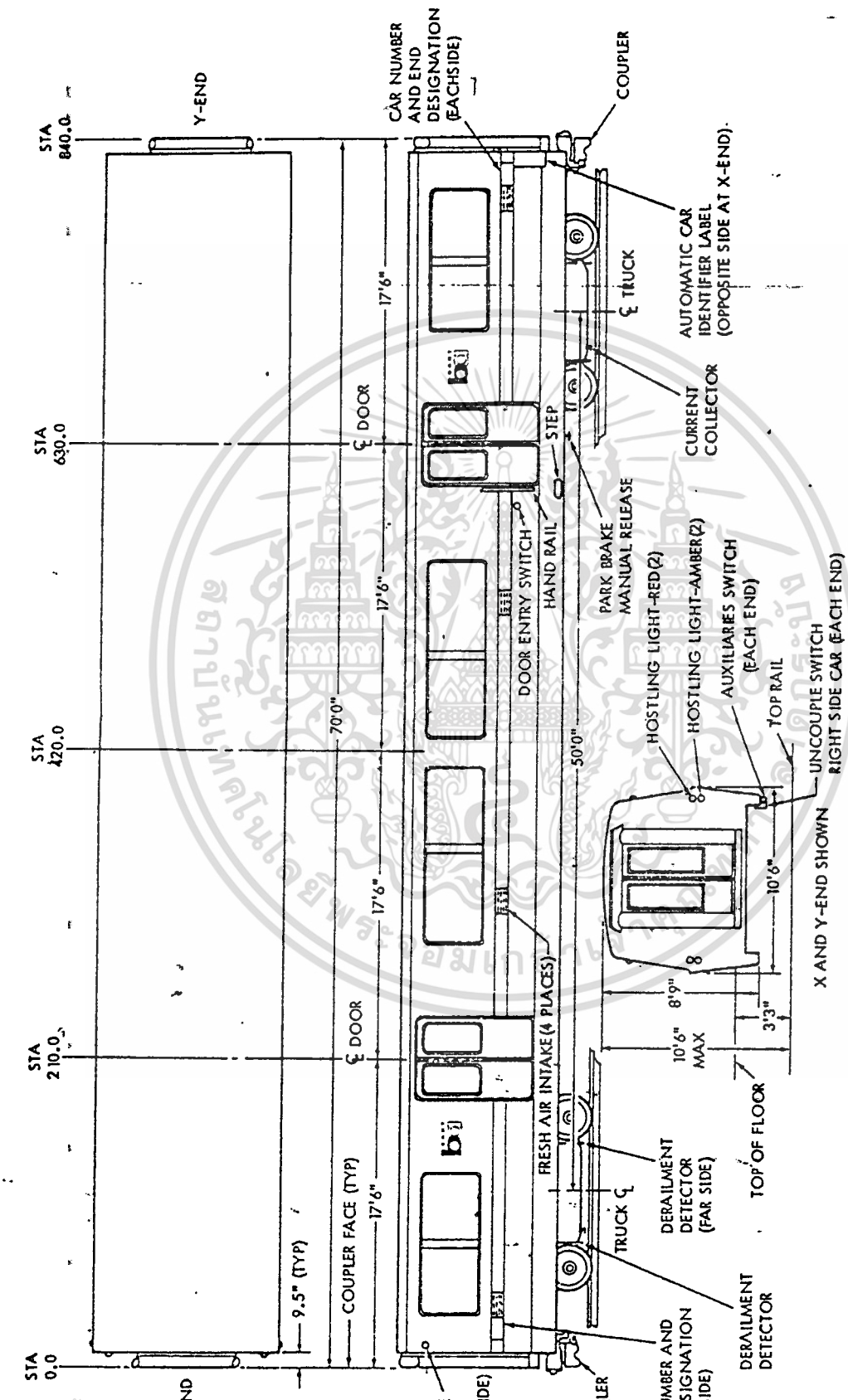
หลังคาจะมีลักษณะโครงสร้างคล้าย แซนวิส (Sandwich) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.19ด้วยวิธีการใช้สลักเป็นตัวยึด ยกเว้นชิ้นส่วนหนึ่งที่อยู่ด้านนอกของหลังคา และช่องว่างระหว่างผิวหลังคาชั้นนอกกับชั้นข้างในจะถูกอุดด้วย ยูรีเทนที่อยู่ในรูปของโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



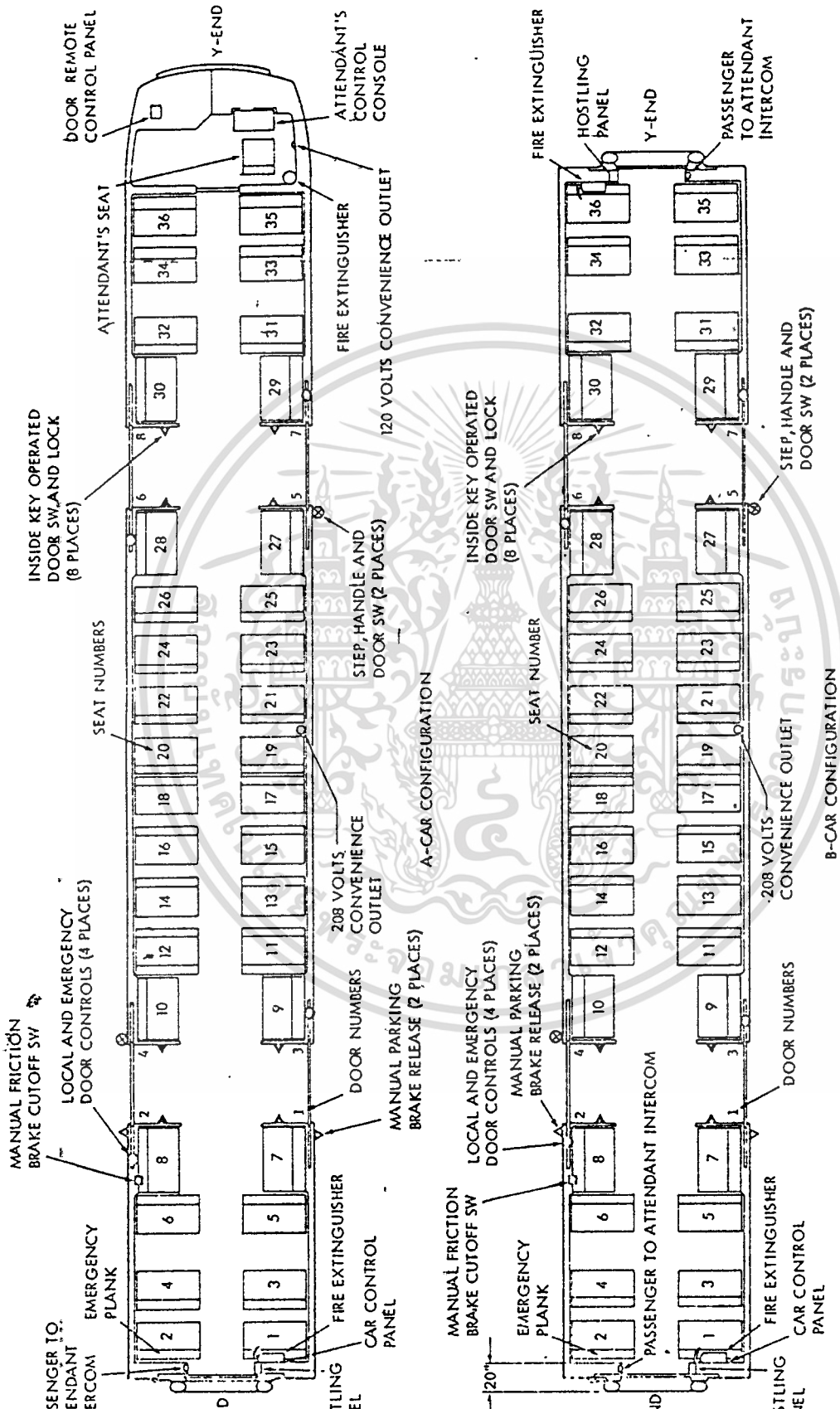
รูปที่ 5.15 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้า "BART" แบบ "A"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



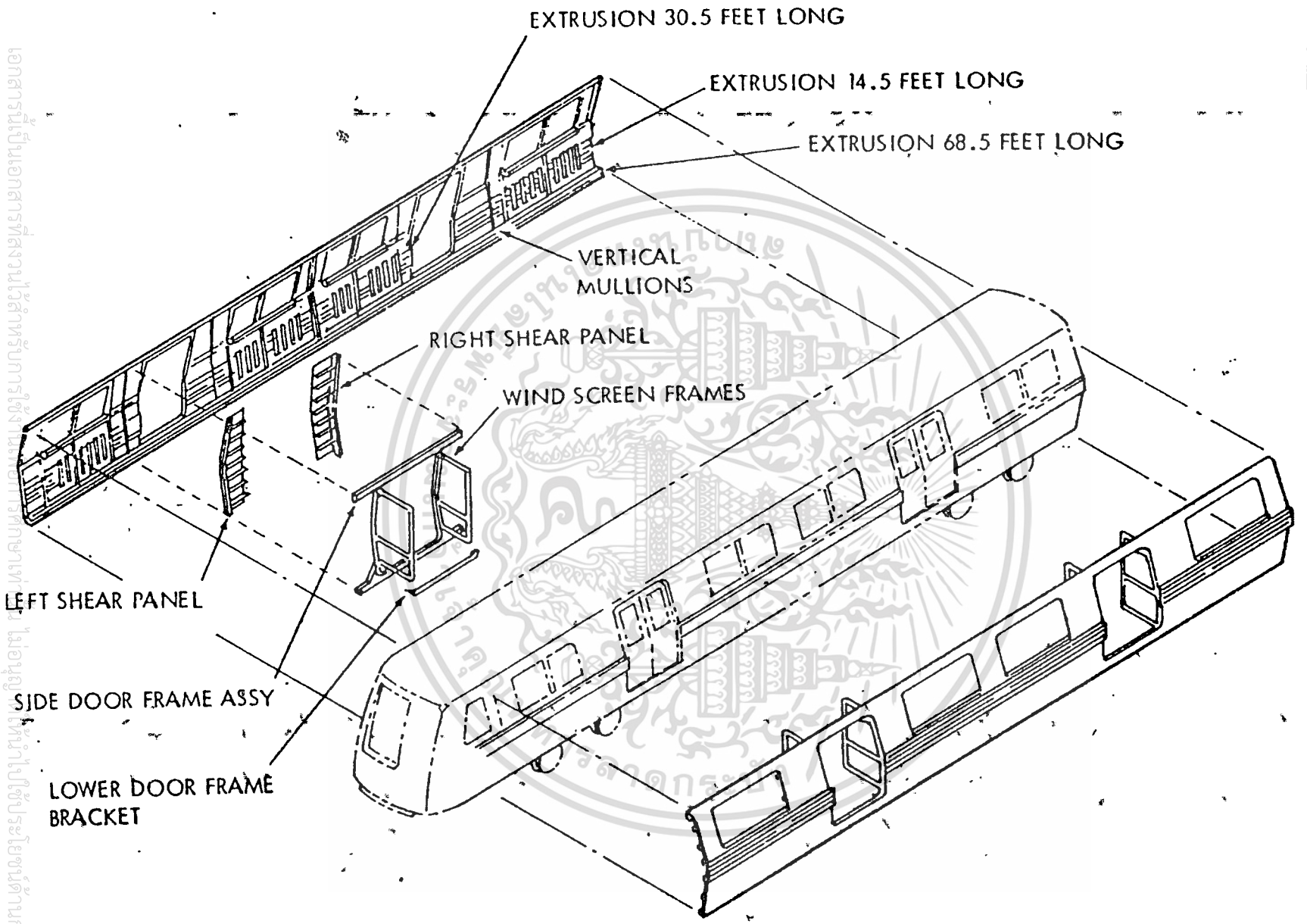
รูปที่ 5.16 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้า "BART" แบบ "B"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

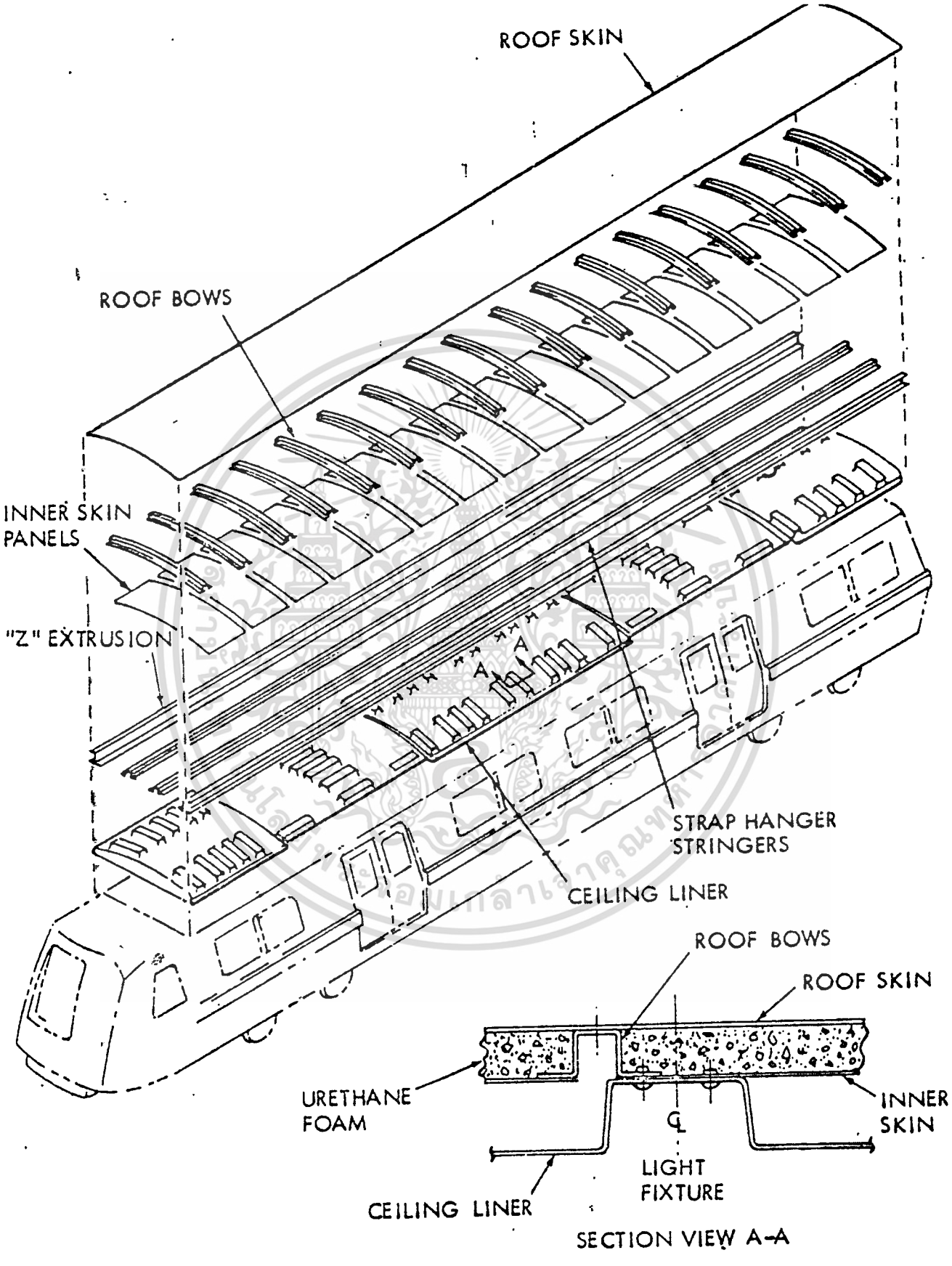


รูปที่ 5.17 แสดงที่นั่งภายในรถไฟฟ้า "BART" แบบ "A" และแบบ "B"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของตัวรถไฟฟ้า "BART"



รูปที่ 5.19 แสดงโครงสร้างหลังคาของตัวรถไฟฟ้า "BART"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเหล็กที่ประกอบกันเป็นคานรูปร่างคล้ายเครื่องหมายบวกที่อยู่บริเวณใต้ห้องควบคุม (Attendant's cap) ของรถ "A" โดยจะมีโครงสร้างส่วนที่เป็นกันชน (Bumper) ซึ่งจะถูกเชื่อมติดกับฐานด้านล่าง(draf sill) ของส่วนที่เป็นคานดังแสดงในรูป 5.20 โดยเหล็กคานนี้จะถูกติดไว้ที่เหล็กแกน Panel ด้วยวิธีการใช้หมุดย้ำ ที่ฐานด้านล่าง (draf sill) จะถูกยึดไว้ด้วยสลักเพื่อให้รับแรงเฉือน จำนวน 12 ตัว โดยจะออกแบบให้รับแรงเฉือนได้ 180,000 ปอนด์

เหล็กคานรถ (Bolster) จะถูกเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กโดยแผ่นเหล็กจะถูกยึดด้วยสลักติดไว้ใต้รถ ในช่วงระหว่างเหล็กคานรถ (Bolster) จะมีท่อนอลูมิเนียมวางขวางอยู่จำนวน 17 ท่อน ซึ่งจะถูกยึดติดกับตัวรถด้วยสลักในช่วงระยะห่างระหว่างชิ้นส่วนที่ถูกยึดติดกับคานเหล็กแกนหลัก เว้นไว้เพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยในการทำงานของรถ

หน้าต่างของรถจะเป็นแบบกระจกแผ่นเดียวมีลักษณะใส และเป็นกระจกที่มีความปลอดภัยสูง โดยกระจกด้านหน้าของรถจะเป็นแบบแผ่นเดียวยึดยางต่อกันอาจจะเป็นกระจกแบบแก้วหรือ acrylic ซึ่งจะถูกออกแบบเพื่อป้องกันอัตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการกระทบของก้อนหินและช่วยลดแสงจากดวงอาทิตย์

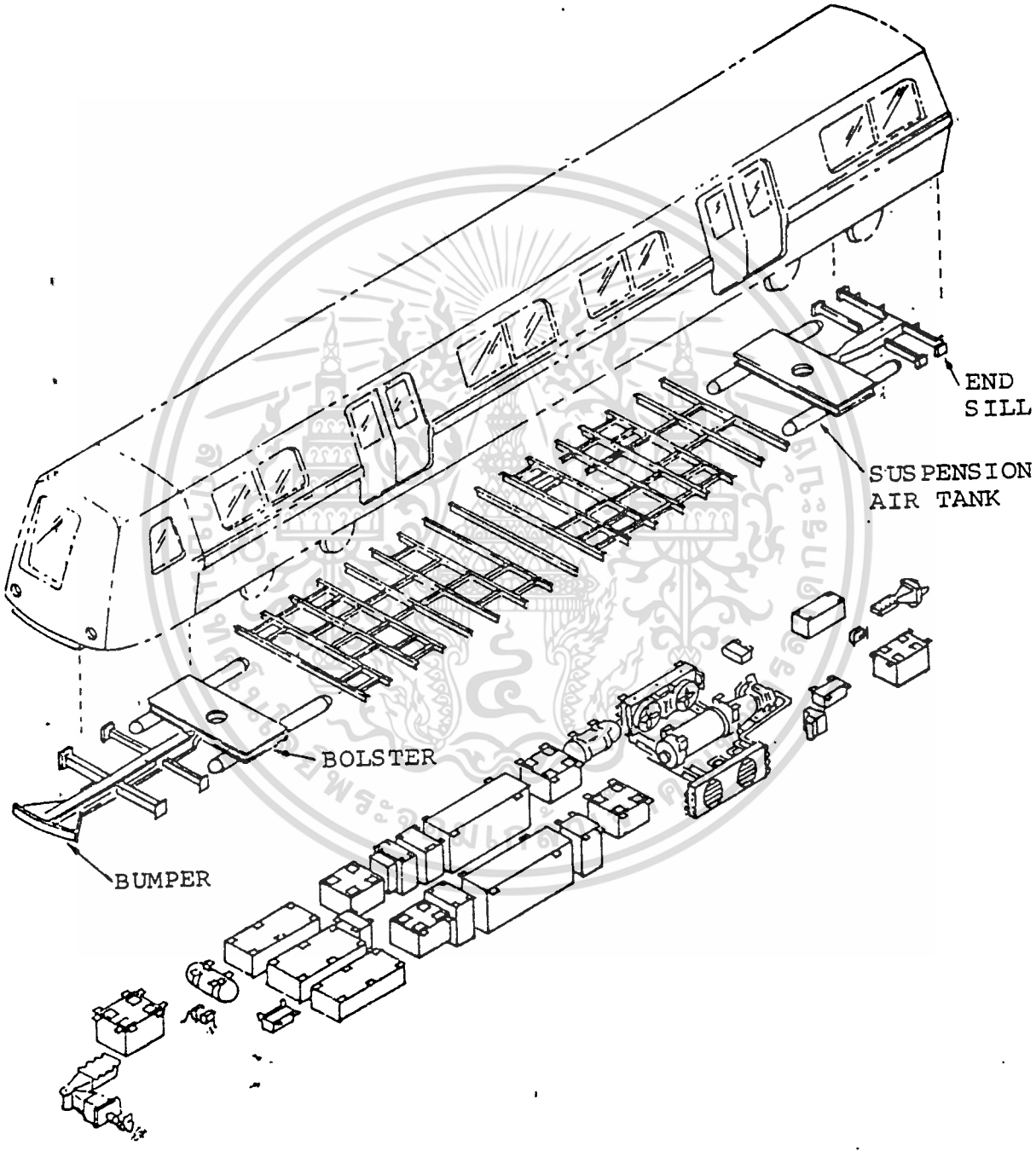
ประตูของรถจะเป็นแบบประตูบานคู่ โดยจะติดตั้งไว้ด้านข้างรถทั้งสองด้านโดยจะมีความกว้าง 54 นิ้ว ซึ่งผู้โดยสารสามารถที่จะเปลี่ยนรถจากคันหนึ่งไปสู่อีกคันหนึ่ง โดยประตูเลื่อนจะเปิดออกเมื่อรถมาถึงสถานี และรถไฟจะเคลื่อนขบวนไปไม่ได้จนกว่าประตูทุกบานจะปิดสนิทเสียก่อนเพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร

พื้นของรถจะปกคลุมด้วยพรมขนแกะโดยมีโฟมรองอยู่ด้านใต้สำหรับอุปกรณ์ที่ผู้โดยสารใช้เพื่อพยุงตัวเองเวลายืนหรือเดินอยู่บนรถไฟ จะเป็นลักษณะคล้ายห่วงที่ใช้เกาะโดยติดอยู่ด้านหลังของที่นั่งแนวขวาง (transvers seat) และช่องว่างภายใน ที่อยู่ด้านบนของตัวหลังคาที่มีไว้สำหรับติดตั้งโคมไฟ (Fixture Light) ซึ่งจะใช้โคมไฟที่ให้ความส่องสว่าง 30 ลูเมน / ตารางฟุต นอกจากนี้ภายในรถไฟยังจะต้องมีการจัดหาระบบ สาธารณะต่าง ๆ และระบบการติดต่อสื่อสารอัตโนมัติไว้เพื่อบริการแก่ผู้โดยสารที่มาใช้บริการ

ระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า BART

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply) กำลังไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในรถไฟจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(D.C) ชนิด 3 เฟส ปริมาณ 1,000 โวลต์ โดยจะเชื่อมต่อกับมอเตอร์กระแสสลับกับระบบเคลื่อนที่ โดยกำลังขับเคลื่อน (proplusion power) จะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมการตัดไฟกระแสตรง(D.C Chopper control System) ซึ่งพื้นฐานจะอยู่ที่การควบคุมการไหลกลับของซิลิกอน (Siligon) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าจะใช้จังหวะเปิด-ปิด ของตัวตัดไฟ (Chopper) ซึ่งแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 แสดงโครงสร้างช่วงล่างของตัวรถไฟฟ้า "BART"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกระแสไฟฟ้าจะถูกนำมาด้วยแรงเคลื่อนตัวจากมอเตอร์ ตัวอย่าง กระแสไฟฟ้าแบบ อะนาลอก (analog) ชนิด "P - signal" ซึ่งจะใช้ภายในมอเตอร์ที่อยู่ในระบบ air-cooled โดยจะให้แรงดันไฟฟ้า 310 volt D.C และกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ต่อ 1 ชม. โดยจะทำให้เกิดแรงฉุดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์

ระบบเบรค (Brake System) สำหรับ BART จะใช้ระบบเบรคแบบไฮดรอลิก ตามรูปที่ 5.21 ประกอบด้วย หน่วยพลังงาน (power unit) สำหรับรถแต่ละคัน หน่วยควบคุม (control unit) สำหรับแต่ละตัวรถ และหน่วยการจับแกนเพลาล้อ (disc-caliper unit) สำหรับแต่ละเพลา

การควบคุมระบบเบรคหลัก จะประกอบด้วยปั๊มขับเคลื่อนไฟฟ้า(electric driven pump) และการควบคุม , ถังน้ำมันและหม้อแบตเตอรี่ รวมทั้งหน่วยพลังงาน(Power Unit) ความดันในแต่ละท่อจะแยกไปยังส่วนควบคุมตัวรถเพื่อพยายามบังคับการหยุดรถโดยการควบคุมการขับเคลื่อนวาล์วเบรคของตัวรถจะทำงานร่วมกับขดลวด solenids 2 ชุด ซึ่งจะทำให้มีการลดความดันในกระบอกสูบ 3 จังหวะ ในการตอบรับสัญญาณจากระบบควบคุมการลื่นไถลและการหมุน (Slip-spin control system)

นอกจากระบบเบรคแบบไฮดรอลิกที่กล่าวมาข้างต้นนี้ รถไฟฟ้าแบบอื่นอาจจะมีระบบเบรกที่ต่างไปจากนี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิตว่าจะเลือกใช้แบบไหน เช่น ระบบเบรคลม (air brake system) ซึ่งการลดลงของความเร็วจะเป็นไปตามขีดจำกัดของอุปกรณ์โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับรางจะอยู่ประมาณ 0.15 ในการป้องกันการลื่นไถลของล้อ โดยล้อจะถูกทำให้ยึดติดกับราง เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับล้อ เช่น ล้อเกิดการสึกกร่อน เป็นต้น

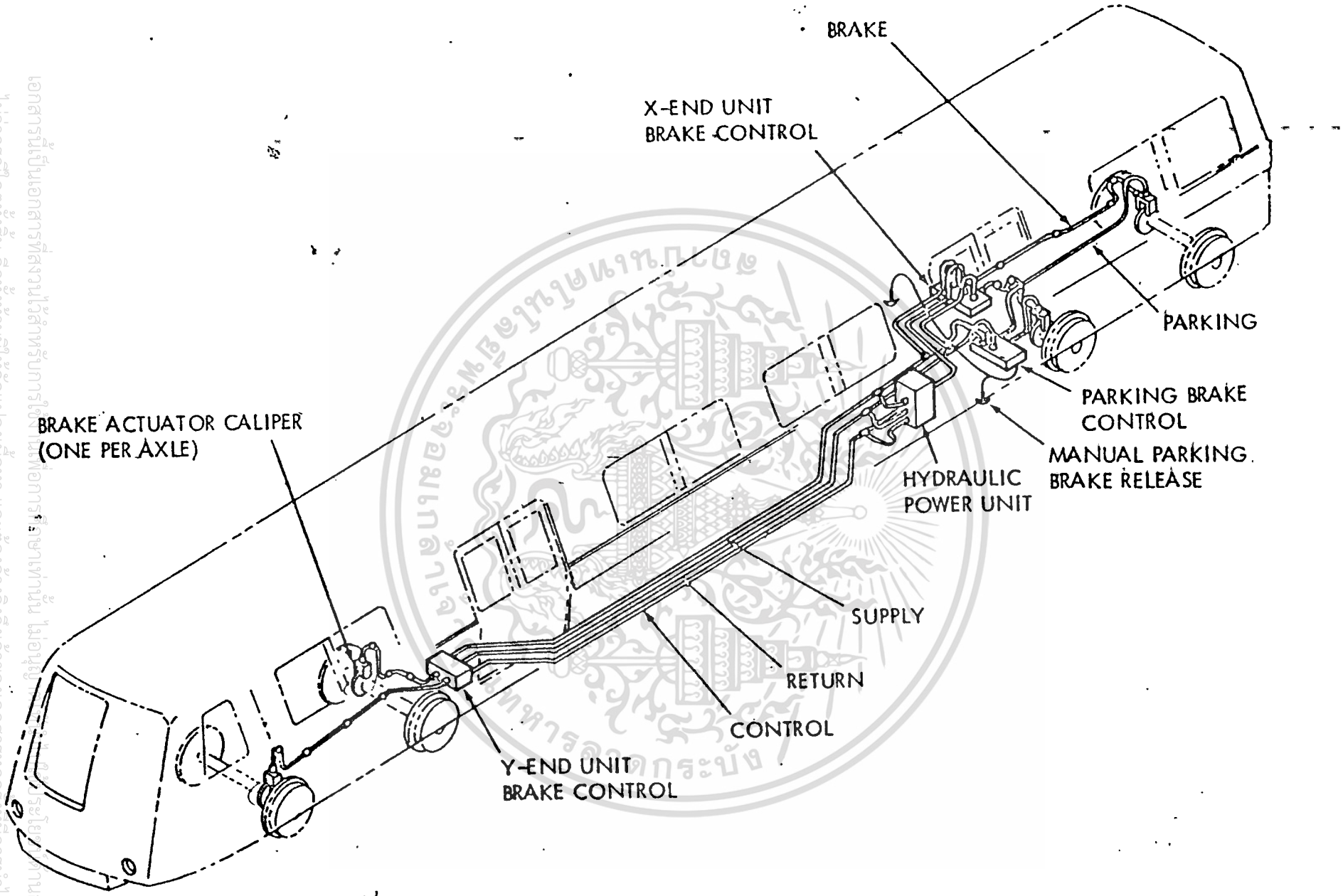
ระบบอำนวยความสะดวกของรถไฟฟ้า BART

ระบบทำความเย็น (air conditioning system) ระบบทำความเย็นสามารถสร้างความเย็นได้ 12 ตัน โดยในระบบทำความเย็นจะประกอบไปด้วย เครื่องอัดอากาศ (compressor) 1 เครื่อง เครื่องควบแน่น (condensor) 2 เครื่อง และเครื่องระเหยไอน้ำ (evaporate) อีก 6 เครื่อง โดยเครื่องทำความเย็นจะมีต้นกำเนิดการขับเคลื่อนพลังงานจาก มอเตอร์กระแสสลับ(Motor-attervates) ตัวหนึ่งดังรูป 5.22 ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟได้ 120-208 โวลต์ และมีความถี่ 60 Hz โดยจะใช้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส

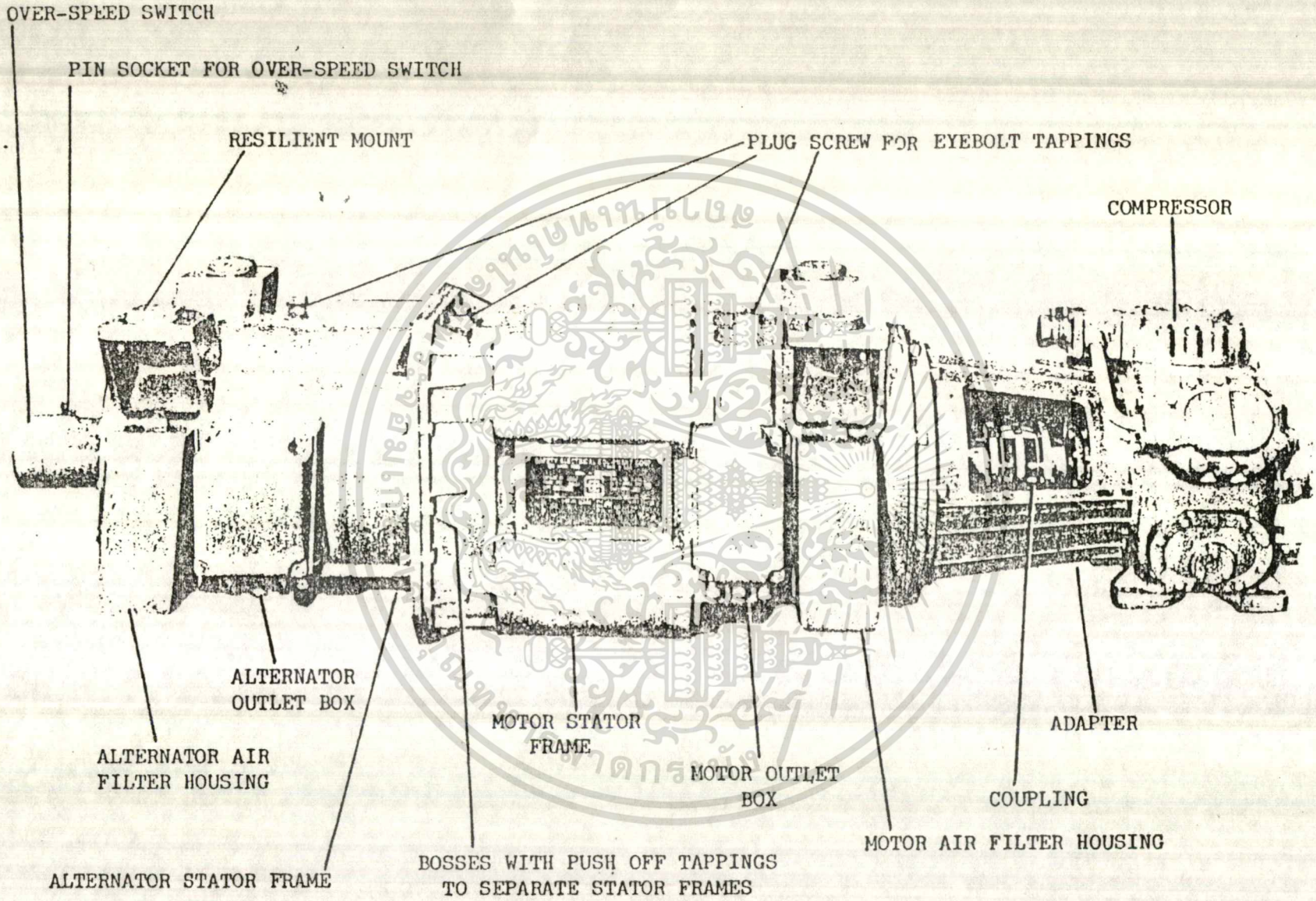
ระบบความปลอดภัยของรถไฟฟ้า BART

ระบบตรวจจับไฟ (Fire Detection System) สำหรับระบบตรวจจับไฟเฉพาะที่ (Local fire election System) เช่น ในส่วนของห้องผู้โดยสาร ที่มีการติดตั้งท่ออุปกรณ์ทำความเย็นพร้อมกับเครื่องป้องกันควัน โดยจะมีเครื่องส่งสัญญานเตือนภัยทำงานอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเสียงสัญญานเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดงระบบเบรคแบบไฮดรอลิกของตัวรถไฟฟ้า "BART"



รูปที่ 5.22 มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้ในระบบทำความเย็นของตัวรถไฟฟ้า "BART"

ภัยดังพอที่จะได้ยินทั่วทั้งคัน และจะมีคำแนะนำถึงแหล่งของสัญญาณซึ่งจะแสดงไว้บริเวณด้านข้างของตัวรถ สำหรับเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นรุนแรงโดยที่ผู้โดยสารไม่สามารถจะใช้เครื่องมือดับเพลิงที่ตั้งอยู่บนรถได้ ก็สามารถที่จะเรียกพนักงานประจำรถไฟมาช่วยเหลือได้

เมื่อมีเหตุการณ์ไฟไหม้เกิดขึ้นอุปกรณ์ป้องกันไฟจะทำการตัดสวิทซ์เครื่องทำความเย็นและจะให้พัดลมระบายอากาศทำงานแทน เพื่อทำการกำจัดควันที่เกิดขึ้นไม่ให้หมุนเวียนอยู่ภายในรถเพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสารไม่ให้สำลักควัน

การออกแบบความปลอดภัย (Safety Design)

ในการ Design จะต้องให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้โดยสารโดยโครงสร้างส่วนต่าง ๆ จะถูกออกแบบให้เกิดการเสียรูป (Deform) น้อยที่สุดเมื่อเกิดการชนขึ้น

กระจกของห้องควบคุม (Cap Windshield) จะถูกออกแบบให้มีคุณภาพที่เหมาะสมโดยจะมีลักษณะโค้งแบบ projectiles โดยจะทดสอบด้วยการให้ก้อนหินที่มีน้ำหนัก 5 ปอนด์ ความเร็ว 50 ไมล์/ชั่วโมง กระทบกระจก เพื่อทดสอบความแข็งแรงก่อนนำมาใช้จริง และกระจกมีสีไม่เข้ม

หน้าต่างด้านข้างของรถไฟ ซึ่งจะเป็นกระจกที่มีความปลอดภัยสูงและมีสีไม่เข้ม สำหรับความสามารถเฉพาะของกระจกที่ไม่อ่อนตัวจะสามารถต้านทานการเจาะทะลวงของวัสดุต่าง ๆ ได้รวมทั้งหิน ซึ่งจะกระเด็นผ่านมาฝังตัวกระจกถึงอย่างไรก็ตาม อันตรายที่ผู้โดยสารอาจจะได้รับซึ่งเป็นผลมาจากชิ้นส่วนที่แตกของเศษกระจกที่ติดอยู่ที่ขอบของกรอบกระจกซึ่งสามารถหลุดลอยเข้ามาด้านในของรถไฟได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการถูกก้อนหินกระทบอย่างแรงเกินกำลังต้านทานของกระจก เพราะฉะนั้นตัวหน้าต่างด้านข้างของรถไฟ จะต้องทำให้แน่นหนาขึ้นเพื่อลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้น

ในส่วนปริมาณที่นั่งที่มีการเพิ่มปริมาณผู้โดยสารเกินอัตราเมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นเปอร์เซนต์ของผู้รอดชีวิตสำหรับผู้ที่นั่งจะมีมากกว่าผู้ที่ยืน และห่วงจับที่อยู่ด้านหลังเบาะนั่งเหมาะสำหรับเอาไว้ให้ผู้โดยสารจับเมื่อเกิดการหยุดรถแบบกระทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

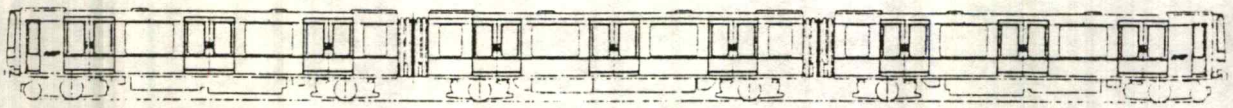
5.4.2 ลักษณะของตัวรถไฟฟ้าแบบ MF 88

รถไฟฟ้าใต้ดิน MF 88 ผลิตโดยบริษัท ANF-Industric et GEC-Alsthom ถูกจัดโดย R.A.T.P(องค์กรรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงปารีส)

รูปที่ 5.23 รถไฟฟ้าใต้ดินแบบ MF 88

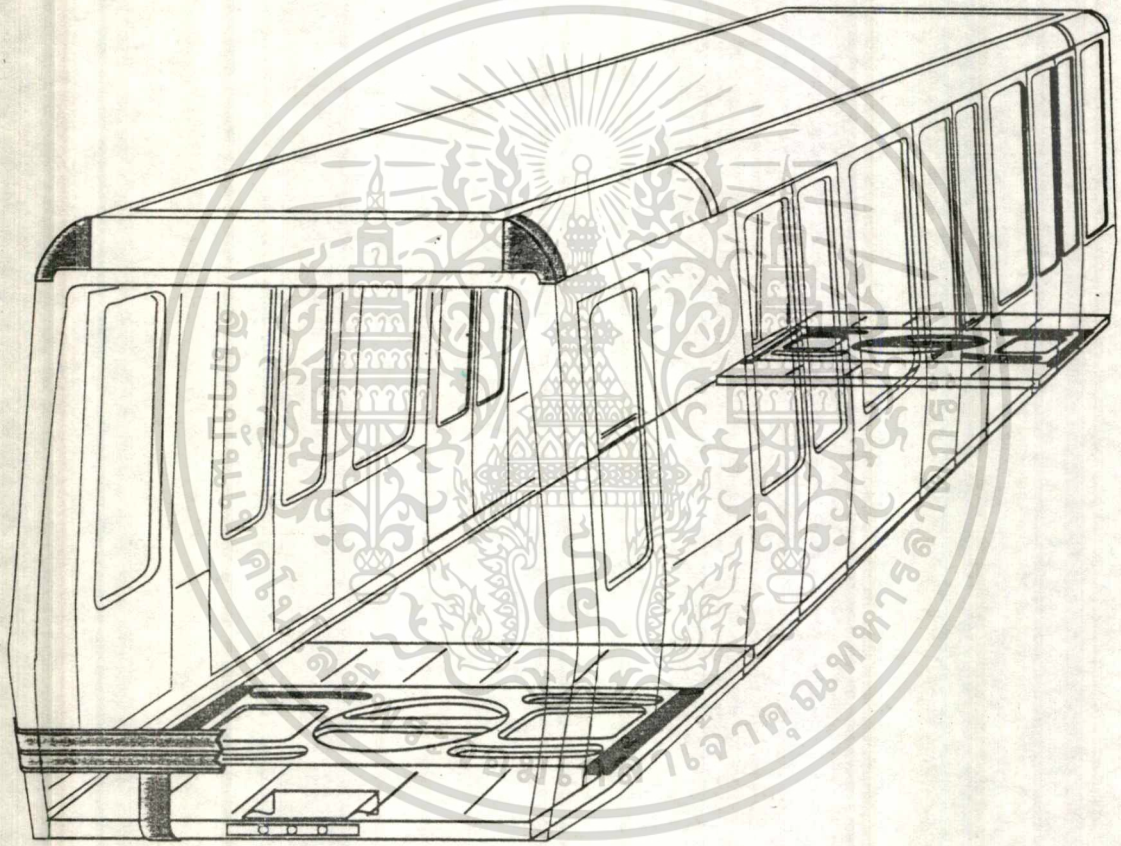
ลักษณะตัวรถไฟฟ้าแบบ MF 88

ความยาวของขบวนรถ 46.44 เมตร ซึ่งประกอบด้วยตู้ขบวนทั้งหมด 3 ตู้ ซึ่งเป็นตู้รถขับเคลื่อนหัว-ท้าย 2 ตู้ และเป็นตู้พ่วงอยู่ตรงกลาง 1 ตู้ ดังรูป 5.24 ความกว้างของตัวรถจากขอบประตูแต่ละข้างเท่ากับ 2.44 เมตร ความสูงของตัวรถจากผิวบนสุดของรางถึงผิวบนสุดของขอบหลังคารถเท่ากับ 3.48 เมตร ความสูงของพื้นที่ผู้โดยสารจากพื้นของตัวรถถึงเพดานเท่ากับ 2.14 เมตร มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางแต่ละตู้ขบวนเท่ากับ 10.30 เมตร รถไฟฟ้าขบวนหนึ่งจะมีประตูสำหรับผู้โดยสารเข้า-ออกด้านละ 9 บาน(ตู้ละ 3 บาน)



รูปที่ 5.24 แสดงจำนวนตู้ของรถไฟฟ้าแบบ MF 88 ในหนึ่งขบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 แสดงโครงสร้างของตัวรถแบบ MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.26 แสดงพื้นที่ภายในรถไฟฟ้า MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.27 ภายในห้องควบคุมของรถไฟฟ้า MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

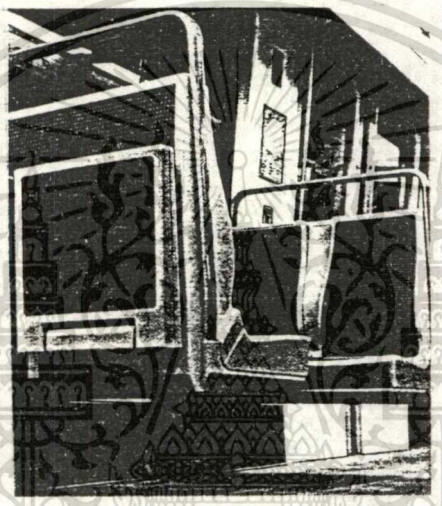
ภายในรถจะมีพื้นที่สำหรับผู้โดยสารเดินและยืนไว้มาก เพื่อให้

-เกิดการหมุนเวียนผู้โดยสารระหว่างรถได้สูงสุด

-จัดเตรียมระบบน้ำและฉนวนกันเสียงได้อย่างสมบูรณ์

-ทำให้ผู้โดยสารยืนได้อย่างมั่นคง

-ช่วยป้องกันในการพังเสียหายของสิ่งของภายในรถไฟ



รูปที่ 5.28 แสดงเบาะนั่งภายในรถไฟฟ้า MF 88

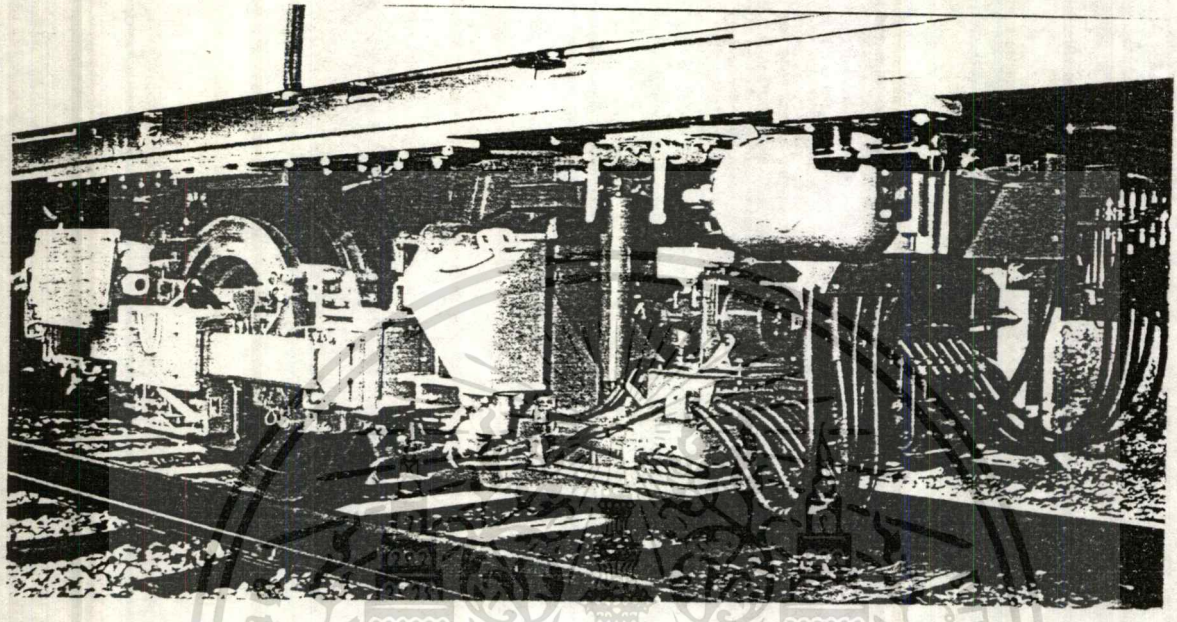
น้ำหนักของตัวรถไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ

น้ำหนักตัวรถเปล่า	74.2 ตัน
น้ำหนักตัวรถขับเคลื่อนเปล่า	26.5 ตัน
น้ำหนักตัวรถขับเคลื่อนเมื่อบรรทุกสูงสุด	40.7 ตัน
น้ำหนักตัวรถพ่วงเปล่า (trailer car)	19.8 ตัน
น้ำหนักตัวรถพ่วงเมื่อบรรทุกสูงสุด	35.4 ตัน

ระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า MF 88

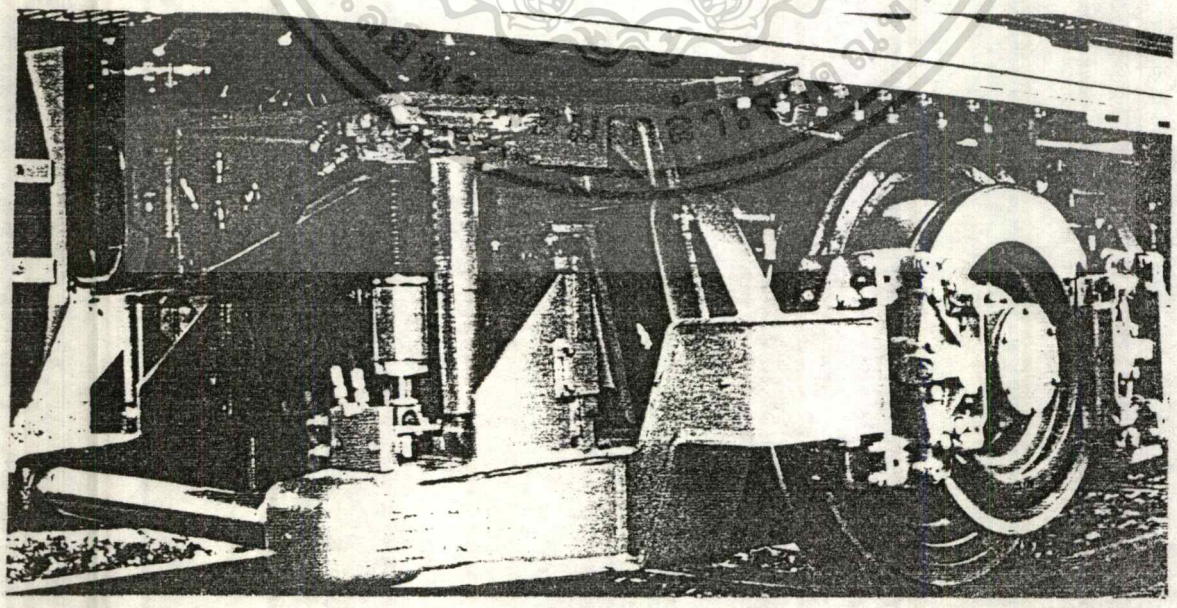
ตู้รถขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า MF 88 จะมีเพลาเดี่ยวตู้ละ 2 เพลา โดยแต่ละเพลาจะติดตั้งมอเตอร์สำหรับใช้ส่งกำลังในการขับเคลื่อนของตัวรถ MF 88 ด้วยน้ำหนักปกติ (normal load) ซึ่งใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 750 โวลท์ โดยมีความเร็วรถสูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีอัตราความเร่งเฉลี่ย 1 m/s^2 ดังรูป 5.29

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 แสดงมอเตอร์ขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า MF 88

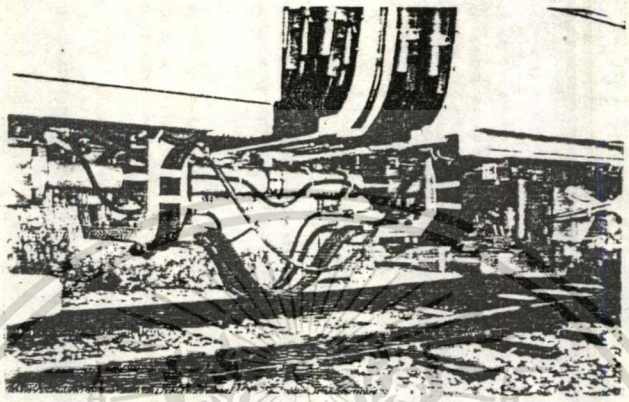
ส่วนตัวรถพ่วง (trailer car) จะมีเพลาเดี่ยว 2 เพลาเช่นกัน ซึ่งลักษณะช่วงล่างของตัวรถแสดงดังรูป 5.30



รูป 5.30 แสดงช่วงล่างตัวรถพ่วงของรถไฟฟ้า MF 88

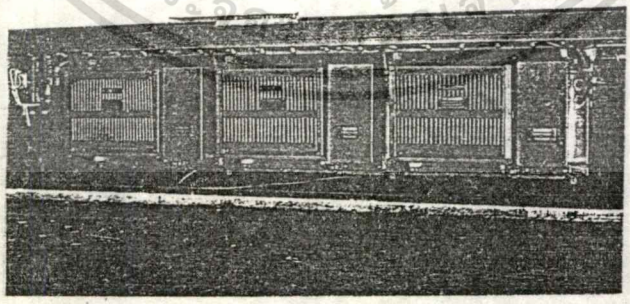
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเบรค จะหยุดรถด้วยน้ำหนักปกติ (normal load) ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด 900 โวลท์ โดยมีอัตราการลดความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 1.1 m/s^2



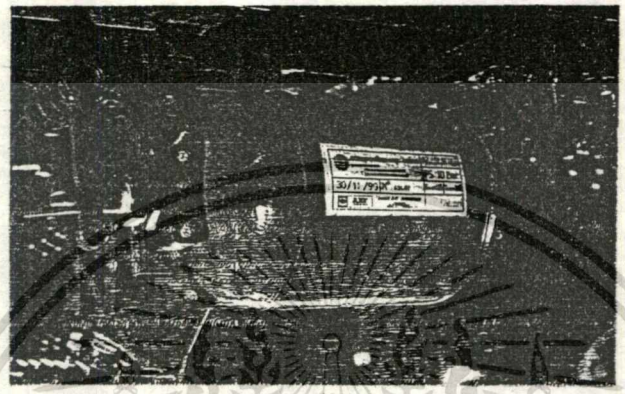
รูป 5.31 แสดงระบบเบรคของตัวรถไฟฟ้า MF 88

ระบบอำนวยความสะดวก จะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 500 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถระบายความร้อนในตัวเอง ดังรูป 5.32 และมีเครื่องช่วยอัดอากาศภายในรถขนาดความดัน 10 bar ดังรูป 5.33



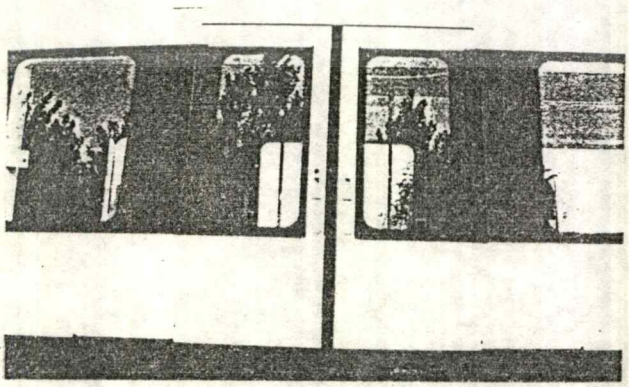
รูปที่ 5.32 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับของตัวรถไฟฟ้า MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



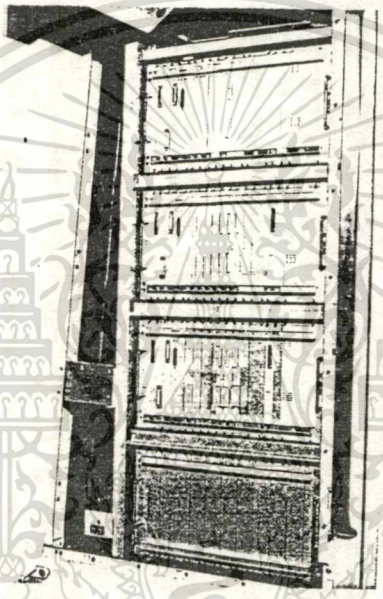
รูปที่ 5.33 เครื่องช่วยอัดอากาศของตัวรถไฟฟ้า MF 88

ระบบความปลอดภัย จะติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์คูแลและควบคุมการทำงานของตัวรถจำนวน 2 เครื่อง (ในแต่ละตัวรถขับเคลื่อน จะต้องจัดเตรียมคอมพิวเตอร์อีกเครื่องไว้สำหรับการขับเคลื่อนและบำรุงรักษา) นอกจากนี้ในส่วนของประตูรถก็จะมีวงจรควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งประตูจะเลื่อนเปิดออกเมื่อรถมาถึงสถานี และรถไฟจะเคลื่อนขบวนไปไม่ได้จนกว่าประตูทุกบานจะปิดสนิทเสียก่อนเพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร ดังรูปที่ 5.34 และ 5.35



รูปที่ 5.34 ลักษณะบานประตูของตัวรถ MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

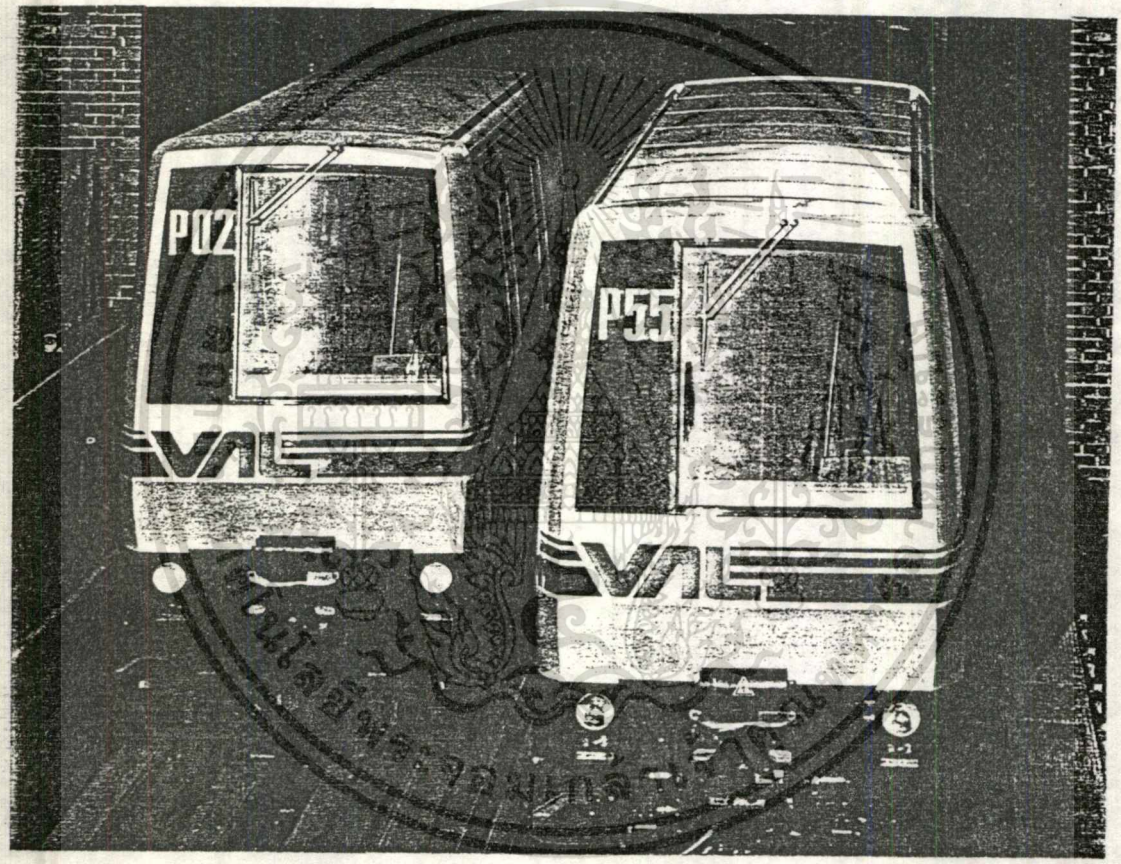


รูปที่ 5.35 ชุดวงจรควบคุมการปิด-เปิดประตูของรถไฟฟ้า MF 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.8 ลักษณะของรถไฟฟ้าแบบ VAL

รถไฟฟ้าแบบ VAL เป็นรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้วิ่งในเมือง Lille ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการให้บริการ ซึ่งในสายตาประชาชนในประเทศฝรั่งเศสจะมองรถไฟฟ้าใต้ดิน VAL ในภาพลักษณ์ที่ดีเพราะมีความมั่นใจในระบบควบคุมต่างๆในตัวรถ ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่เคยเกิดอุบัติเหตุเลย



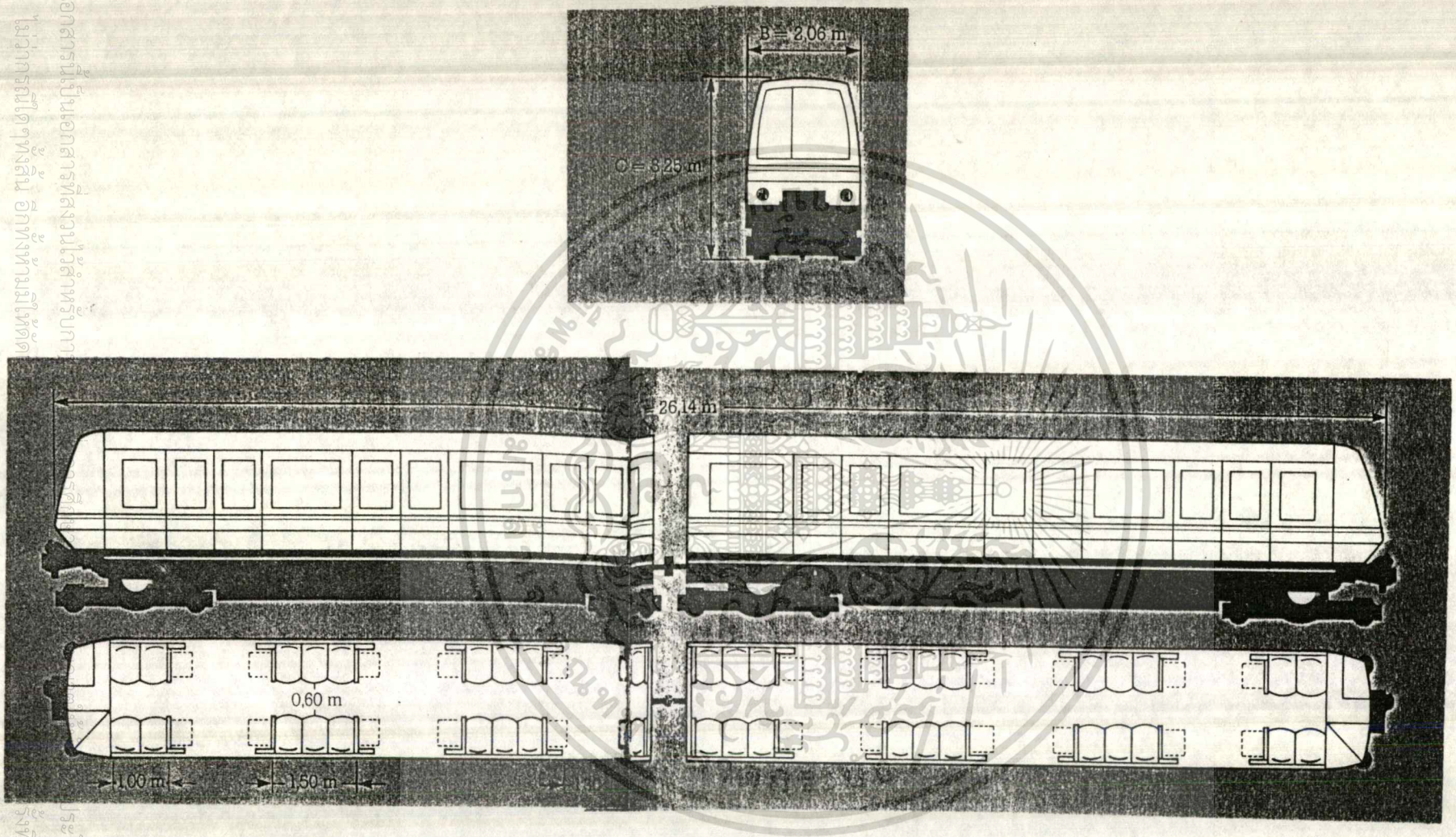
รูปที่ 5.36 รถไฟฟ้าแบบ VAL

ลักษณะของตัวรถไฟฟ้า VAL

ตัวรถไฟฟ้า VAL ทำจากอัลลอยด์เบาซึ่งจะเป็นตัวรถ 2 ตู้ขบวนแยกจากกันไม่ได้ โดยมีกลไกในการเชื่อมต่อระหว่างตู้ขบวนทั้งสอง

ความยาวของตัวรถเท่ากับ 26.14 เมตร มีความกว้าง 2.060 เมตร และมีความสูงของตัวรถ 3.250 เมตร ซึ่งลักษณะของตัวรถจะแคบเพื่อความจำเป็นในการจราจรซึ่งรถไฟฟ้าแบบ VAL จะมีน้ำหนักตัวรถเปล่า 27.8 ตัน น้ำหนักตัวรถเมื่อบรรทุกสูงสุดที่ยอมให้ 46.1 ตัน ดังรูป 5.37

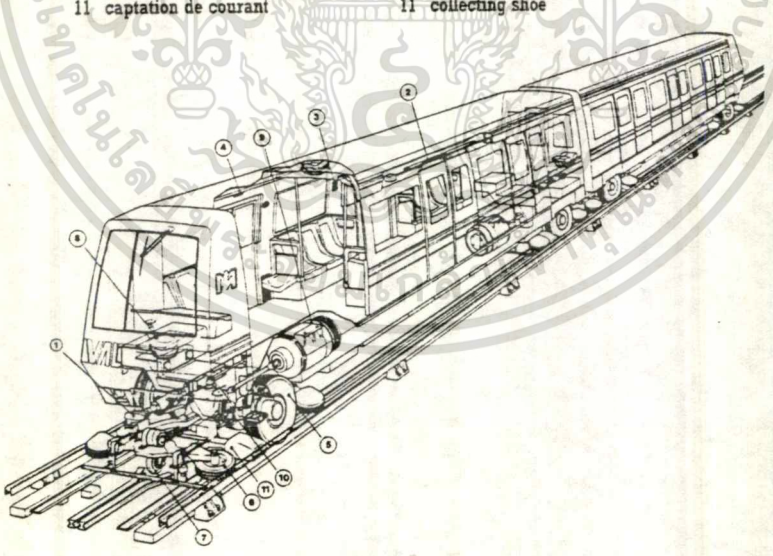
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 ขนาดของตัวรถไฟฟ้า VAL

(ที่มา : ฝ่ายการพาณิชย์ สถานเอกอัครราชฑูตฝรั่งเศส)

ลักษณะทางวิ่งของรถไฟฟ้าแบบ VAL ทางวิ่งของรถไฟฟ้า VAL จะแตกต่างจากทางวิ่งที่รองรับล้อยางโดยทั่วไป คือจะไม่มีรางวิ่งสำหรับล้อเหล็ก (traditional rails) จะประกอบไปด้วย running tracks 2 ทาง และมีรางนำซึ่งอยู่ด้านข้าง 2 ราง (lateral guide rails) ซึ่งจะใช้ประโยชน์ในการให้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ในการสับเปลี่ยนเส้นทาง จะมีร่องตรงกลาง (central groove) ซึ่งจะมี switching rollers ทำหน้าที่ในการสับเปลี่ยนเส้นทาง

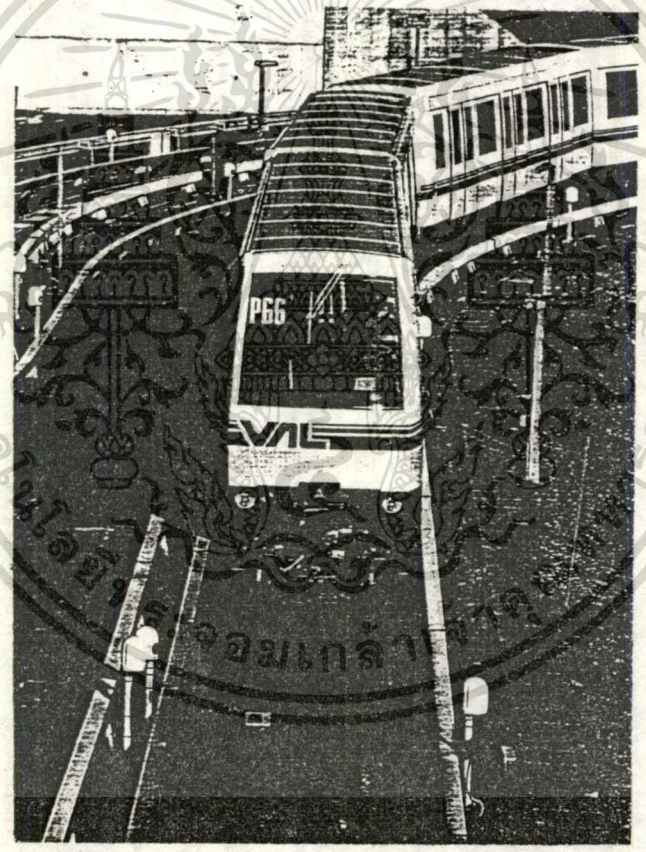


รูปที่ 5.38 แสดงส่วนประกอบต่างๆของตัวรถไฟฟ้า VAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าแบบ VAL

รถไฟฟ้า VAL สามารถขับเคลื่อนได้ทั้งไปและกลับโดยอัตโนมัติ จะใช้วิ่งในเส้นทางที่มีระยะทางสั้นๆ โดยใช้ความเร็ว 34 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยมีรัศมีความโค้งน้อยสุด 40 เมตร ตัวรถในแต่ละคันจะมีเพลา 2 อัน ซึ่งแต่ละอันจะติดตั้งล้อยางซึ่งหมุนฟรี (free rubber-tyred wheels) เพื่อความปลอดภัยในกรณีล้อยาง(tyres) เกิดแตก ซึ่งรถจะได้สามารถวิ่งต่อไปได้ และในการวิ่งไปตามเส้นทางจะมีล้อนำ (guide wheels) ซึ่งอยู่ในแนวนอน ซึ่งจะหมุนไปตามรางด้านข้างที่ติดตั้งไว้ ตัวรถหนึ่งจะมีguide wheels ด้านละ 4 ล้อ และเมื่อถึงบริเวณสับเปลี่ยนเส้นทาง swithcing rollers จะทำหน้าที่ในการสับเปลี่ยนเส้นทางโดยจะถูกเลื่อนลงมาในร่อง(groove) ซึ่งติดตั้งตรงกลางทางวิ่ง



รูปที่ 5.39 รถไฟฟ้า VAL ในขณะสับเปลี่ยนเส้นทาง

กำลังลากของรถไฟฟ้า VAL ในแต่ละเพลาจะติดตั้งมอเตอร์กระแสตรง(D.C. motor) ขนาด 750 โวลท์ ซึ่งจะแขวนอยู่ด้านล่างของตัวรถ มอเตอร์แต่ละตัวจะมีกำลัง 120 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนโดยจะถูกควบคุมโดยตัวตัดไฟ (choppers)

ระบบเบรคของรถไฟฟ้า VAL รถไฟฟ้าแบบ VAL จะใช้ระบบเบรคไฟฟ้าแบบใหม่ซึ่งสามารถลดความเร็วลงได้จาก 80 ถึง 10กิโลเมตรต่อชั่วโมงและตัว mechanical brakes หรือ disc brakes จะลดความเร็วจาก 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจนกระทั่งรถจอดสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ระบบถ่ายเทอากาศของรถไฟฟ้าใต้ดิน

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงของระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินก็คือการถ่ายเทอากาศของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน

ระบบถ่ายเทอากาศของรถไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วย

1 การระบายอากาศตามธรรมชาติ

2 เครื่องระบายอากาศแบบอัตโนมัติ

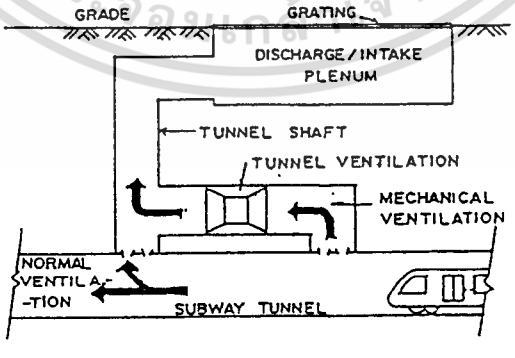
3 การระบายอากาศแบบฉุกเฉิน

4 สถานีปรับอากาศ

5.5.1 การระบายอากาศตามธรรมชาติ

หลักการคือ เมื่อขบวนรถไฟฟ้าใต้ดินเคลื่อนที่ จะผลักอากาศร้อนด้านหน้าของขบวนรถลอยขึ้นสูงออกไปทางช่องระบายอากาศผิวดิน และท้ายขบวนจะดึงดูดอากาศเย็น จากช่องระบายอากาศผิวดิน เข้ามาในอุโมงค์ จึงเกิดการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติขึ้น

ในกรณีที่อุโมงค์แบบมีทางวิ่ง 2 ทิศทาง เมื่อขบวนรถไฟวิ่งสวนกันในช่วงเวลาสั้นๆ นี้ จะก่อให้เกิดปัญหาอัตราการหมุนเวียนกันของอากาศลดลงและอุณหภูมิสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องแก้ปัญหาโดยใช้ปล่องระบายอากาศและเครื่องจักรกลเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.40



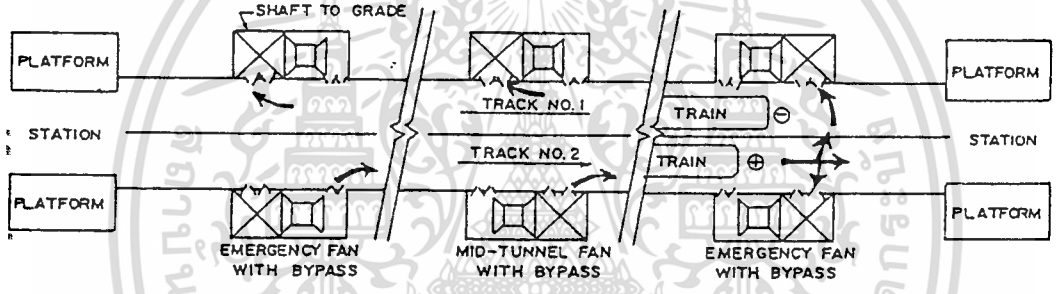
รูปที่ 5.40 แสดงการระบายอากาศตามธรรมชาติของรถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 <u>เครื่องระบายอากาศแบบอัตโนมัติ</u>

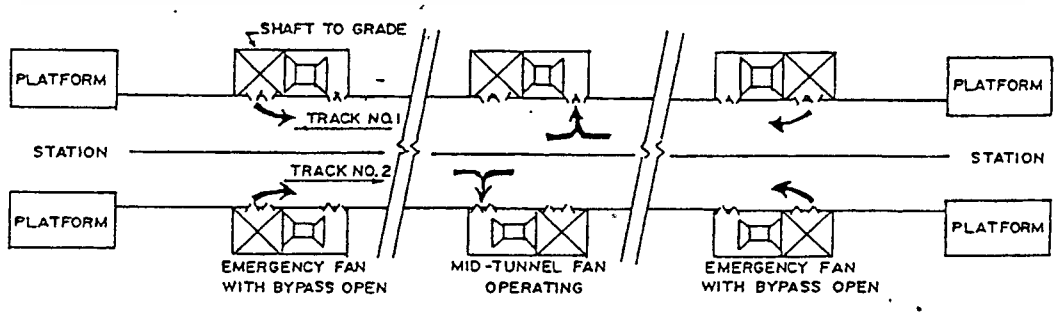
หลักการคือ ในระยะทางระหว่าง 2 สถานี จะติดตั้งปล่องระบายอากาศตรงกึ่งกลาง 1 แห่ง ในปล่องระบายอากาศจะประกอบด้วยเครื่องกลสำหรับเปิดปิดทางระบายอากาศ และพัดลมแบบอัตโนมัติ

การถ่ายเทอากาศแบบนี้ มีวิธีการเช่นเดียวกับการระบายอากาศตามธรรมชาติ คือ เมื่อมีการวิ่งสวนทางของรถไฟ 2 ขบวน อากาศด้านหน้าของขบวนรถไฟ จะผลักดันอากาศร้อนเข้าไปในปล่องระบายอากาศด้านหนึ่ง ในขณะที่อีกด้านหนึ่งปล่องระบายอากาศจะผลักดันอากาศเย็นตอนท้ายขบวน จึงทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 การระบายอากาศตามธรรมชาติระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การถ่ายเทอากาศ เมื่อใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ เมื่อไม่มีการวิ่งของขบวนรถไฟ เครื่องจักรกลอัตโนมัติในปล่องระบายอากาศกึ่งกลาง จะทำหน้าที่ควบคุมพัดลม และประตูกล เพื่อดึงอากาศร้อนให้ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ในขณะที่ปล่องระบายอากาศแบบฉุกเฉิน 2 แห่ง เครื่องจักรกลอัตโนมัติจะทำหน้าที่ดูดอากาศเย็นเข้ามาทดแทน จึงเกิดการถ่ายเทของอากาศขึ้นได้ ดังรูปที่ 5.42



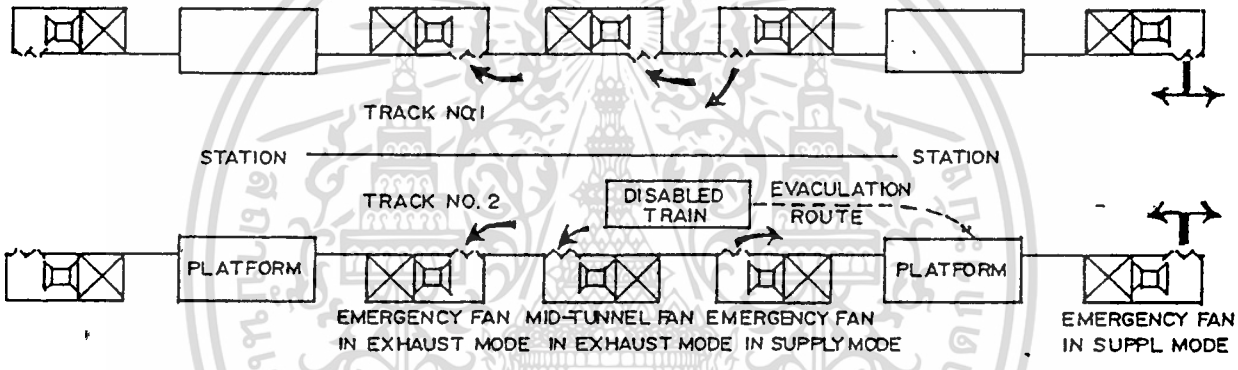
รูปที่ 5.42 เครื่องระบายอากาศแบบอัตโนมัติติดตั้งระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 การระบายอากาศแบบฉุกเฉิน

หลักการคือ เมื่อเกิดเหตุรถไฟเสียหรือเกิดเหตุเพลิงไหม้ และมีควันไฟ การระบายอากาศแบบฉุกเฉินจะเริ่มทำงาน โดยอากาศภายนอกจะถูกดูดเข้ามาทางปล่องระบายอากาศฉุกเฉินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงที่สุด

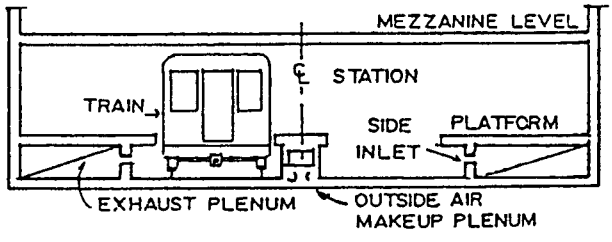
อากาศที่มีควันไฟจะถูกดูดเข้าไปในปล่องระบายอากาศ และถ่ายเทระบายออกสู่ภายนอก ดังรูปที่ 5.43



รูปที่ 5.43 การระบายอากาศแบบฉุกเฉินของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน

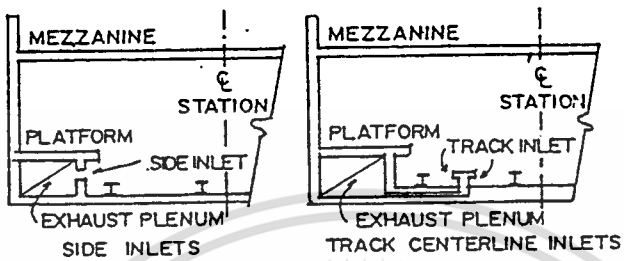
5.5.4 สถานีปรับอากาศ

การถ่ายเทอากาศบริเวณสถานีปรับอากาศ จะเป็นการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การบังคับให้รถไฟหยุดจอด และการเร่งเครื่องให้รถไฟออกจากสถานี โดยมีวิธีการระบายอากาศร้อนออกทางใต้พื้นชานชาลา ดังรูปที่ 5.44 และสูบอากาศภายนอกถ่ายเทเข้ามาในบริเวณแนวรางรถไฟ ดังรูปที่ 5.45 ส่วนรูปที่ 5.46 จะเป็นการถ่ายเทอากาศระดับฝ้าเพดาน

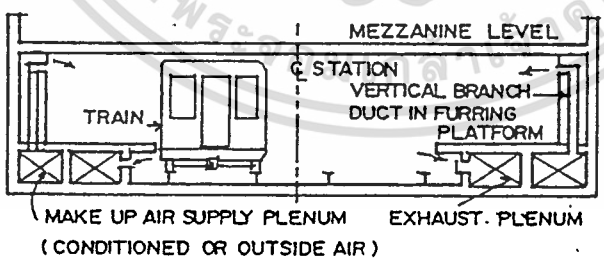


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.44 การระบายอากาศร้อนออกทางใต้พื้นชานชาลา



รูปที่ 5.45 การสูบอากาศภายนอกถ่ายเทเข้ามาในบริเวณแนวรางรถไฟ



รูปที่ 5.46 การถ่ายเทอากาศระดับฝ้าเพดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 <u>การควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟใต้ดิน</u>

(Train traffic and line facilities control)

การควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟใต้ดินนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะทำให้เกิดความปลอดภัยในการเดินรถ อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งต่อไปนี้จะกล่าวถึงการควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟใต้ดิน รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งนำเสนอโดย บริษัท ธนชาติโฮลดิ้ง จำกัด สำหรับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร

อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล(remote-control facilities)จะแบ่งได้ 2 แบบคือ

1.จากศูนย์กลางการส่งที่สถานี

2.จากศูนย์กลางการส่งตามเส้นทาง

การควบคุม การติดต่อและการจัดการในด้านการขนย้ายผู้โดยสาร จะจัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

-ระบบการควบคุมความก้าวหน้าและความปลอดภัยของการจราจรซึ่งใช้ระบบรางร่วมกัน (jrs:jointless rail section)

- ศูนย์กลางระบบไฟฟ้าของสวิทซ์และสัญญาน

- การควบคุมการจราจรส่วนกลาง

- ระบบหยุดรถอัตโนมัติ ซึ่งเตรียมไว้ที่ไฟทางออกของสถานีเท่านั้น

- ชนิดต่าง ๆ ของสายการสื่อสาร , ข้อมูลจากการประกาศ,วิทยุสื่อสารบนรถไฟ,การควบคุมระยะไกล และอุปกรณ์สัญญานต่าง ๆ

ระบบควบคุมความปลอดภัยการเดินรถ จะมีทั้งแบบอยู่กับที่ และเป็นอุปกรณ์ติดไปกับตัวรถโดยต้องแน่นอนในเรื่องต่อไปนี้

- รูปแบบและการส่งตรงจากรางไปยังอุปกรณ์บนรถไฟ โดยมีป้ายสัญญานต่าง ๆ เกี่ยวกับความเร็วที่ยอมให้ของรถไฟที่บริเวณต่างๆ ของเส้นทาง และสัญญานเตือนเกี่ยวกับความเร็วที่ยอมให้ ที่ส่วนหน้าของรถไฟ

- อุปกรณ์สำรองบนรถไฟ ควรมีให้พร้อมในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

- การใช้งานของวงจรราง(rail circuit) ชนิดต่างๆ

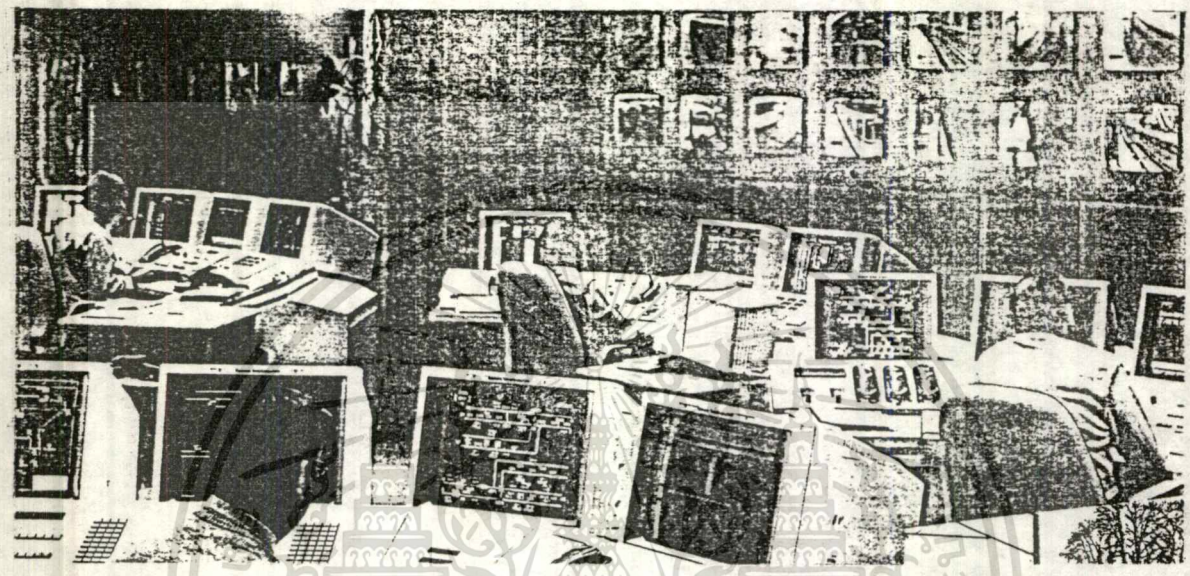
- การควบคุมการเดินรถตามเส้นทางที่กำหนดโดยอุปกรณ์ที่สถานี

- การเก็บจำนวนงานที่บกพร่องที่ได้รับ

- ข้อบกพร่องของการทำงานของรถไฟที่ไม่ติดต่อกับอุปกรณ์รถไฟ

เอกสารนี้เป็นการที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีที่มีการพัฒนาระบบทางรถไฟจะมีการควบคุมไฟฟ้าส่วนกลางเพื่อการควบคุมอัตโนมัติของสวิทช์ (Switches) และสัญญาน(Signals) ต่าง ๆ



รูปที่ 5.47 ห้องควบคุมการจราจรและเส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดิน

อุปกรณ์ควบคุมการจราจรส่วนกลาง(Centralized traffic control devices) ศูนย์กลางผู้ส่งในเส้นทาง เพื่อจะบอกข้อมูลโดยอัตโนมัติของหมายเลขรถไฟและบันทึกแผนภาพของรถไฟ , ควบคุมความเข้าใจของเงื่อนไขทางเทคนิคของตัวรถไฟในขณะที่รถไฟวิ่ง เป้าหมายของการควบคุมการจราจรส่วนกลาง จะต้องคำนึงถึงการใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน เพื่อควบคุมสิ่งอำนวยความสะดวกในการขนส่งโดยอัตโนมัติ

<u>สิ่งอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร</u>(Communication facilities)

การจราจรทางรถไฟฟ้าใต้ดินจะเป็นผลดี ถ้ามีการร่วมมือกันในการทำงานของทีมงาน(staff)ระดับต่าง ๆ ในสายงาน โดยการใช้ระบบการติดต่อสื่อสาร การส่งข้อมูลและการสังเกต ดังนี้

- การติดต่อสื่อสารของผู้ส่งกับผู้รับ ด้วยการบันทึกแบบแม่เหล็ก(magnetic recording)
- วิทยุสื่อสารบนรถไฟ(Train radio communication)
- การติดต่อของผู้ส่งจากจุดโทรศัพท์ในอุโมงค์
- การบริการการติดต่อสื่อสารเฉพาะที่(Local service communication)
- การติดต่อสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ประจำรถไฟใต้ดิน(subway guard)
- การติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์อัตโนมัติ(Automatic telephone communication)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องสังเกตการณ์(Telcobservation)

- นาฬิกาไฟฟ้า(Electric clocks)

พื้นฐานของระบบการติดต่อทั้งภายในสถานีและส่วนต่างๆ ของอุโมงค์จะใช้อุปกรณ์ระบบดิจิตอล

รูปแบบของตัวรถไฟฟ้าสำหรับระบบขนส่งมวลชนใต้ดิน จะใช้รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งลักษณะและระบบของตัวรถไฟฟ้าในแต่ละบริษัทอาจจะไม่เหมือนกัน เพราะจะต้องออกแบบสำหรับการใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับโครงการระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศนั้นๆ ซึ่งในไม่ช้านี้ประเทศไทยก็จะเป็นประเทศหนึ่งที่มีระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งลักษณะและระบบของตัวรถไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้นก็คงจะช่วยให้เห็นภาพรวมและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับตัวรถไฟฟ้าได้พอสมควร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

ระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดิน จัดได้ว่าเป็นระบบขนส่งที่ช่วยลดปัญหาจราจรในเมืองใหญ่ๆ ซึ่งได้รับการยอมรับในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เป็นต้น ว่าเป็นระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินคือ อุโมงค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้า จะมีลักษณะและรูปแบบในแต่ละแห่งแตกต่างกันไป โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยประกอบหลายๆ อย่างในการพิจารณา เลือกลักษณะและรูปแบบ ให้เหมาะสมกับโครงการนั้นๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ความหนาแน่นของจราจร คุณสมบัติของดิน การเวนคืนที่ดิน เป็นต้น เพื่อที่จะได้ระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับโครงการนั้นๆ

อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆประกอบเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ ความปลอดภัย การระบายอากาศ การป้องกันน้ำซึม เป็นต้น เพราะในระบบขนส่งจะมีผู้ใช้บริการมาก จึงจำเป็นต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้บริการ โดยแนวเส้นทางของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินต้องคำนึงถึงการจราจรและการวางแผนผังของเมือง โดยทำเลที่ตั้งสามารถรองรับผู้โดยสารได้อย่างเพียงพอ ลักษณะรูปร่างหน้าตัดของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินส่วนมากจะใช้หน้าตัดแบบวงกลม โดยเฉพาะในลักษณะดินอ่อนเพราะโครงสร้างรูปวงกลมสามารถแผ่กระจายแรงไปยังส่วนต่างๆ ของโครงสร้างได้ดี และเมื่อคำนึงถึงการติดตั้งผนังอุโมงค์ก็จะสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากรูปร่างของผนังอุโมงค์ส่วนมากจะใช้ผนังสำเร็จรูปแบบชิ้นส่วนประกอบ ซึ่งมีทั้งแบบคอนกรีต เหล็กกล้า และเหล็กหล่อ เพราะสามารถรับแรงกระทำต่างๆได้ดีและประหยัดในการก่อสร้างและบำรุงรักษา และเพื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้งานของอุโมงค์ จึงควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อป้องกันความวิบัติที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

สำหรับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งเป็นจุดบริการผู้โดยสารในการเปลี่ยนเส้นทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยที่ตั้งของสถานีจะกระจายไปตามเส้นทาง และจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆเข้ามาพิจารณาเพื่อความเหมาะสม เช่น ความสามารถในการรองรับผู้คน ปัญหาการเวนคืนที่ดิน เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละแห่งอาจจะแตกต่างกันไป โดยจุดที่มีเส้นทางอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินตัดผ่านหลายสายก็จะเป็นสถานีขนาดใหญ่หรือสถานีร่วม ส่วนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยทั่วไปจะเป็นสถานีย่อยตามรายทาง ซึ่งมีรถไฟฟ้าใต้ดินผ่านเข้ามา 1 สาย 2 ทิศทาง นอกจากนี้บริเวณห้องใต้ดินของอาคารขนาดใหญ่ที่อยู่ติดเส้นทาง อาจจะวางแผนดัดแปลงบริเวณพื้นที่ห้องใต้ดินให้เป็นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินได้อีกด้วย ในส่วนของตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายอย่างซึ่งมีไว้บริการและอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่มาใช้บริการ เช่น เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติ บันไดเลื่อน เป็นต้น

นอกจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแล้ว รถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละสายควรจะมีสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน(depot)ซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เพราะจะเป็นที่สำหรับจอดเก็บรถไฟฟ้าที่ไม่ได้ออกใช้งาน และภายในบริเวณโรงซ่อมยังมีบริเวณต่างๆสำหรับบำรุงรักษาและบริการรถไฟฟ้าอีกด้วย โดยที่ตั้งที่เหมาะสมของสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินควรพิจารณาให้ตั้งอยู่ในบริเวณหรือย่านพื้นที่ใกล้หรือปลายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งสถานีโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้สอย 2 ส่วน คือส่วนพื้นที่กลางแจ้ง และพื้นที่ในอาคาร สำหรับรองรับการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมอย่างเป็นระเบียบและต่อเนื่อง

รถไฟฟ้าใต้ดินจะเป็นรถที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จุผู้โดยสารได้ประมาณตู้ละ 250-320 คน ความเร็วเฉลี่ยในการทำงานขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสถานี และประสิทธิภาพการวิ่งของรถไฟฟ้านั้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าที่ใช้ โดยมาตรฐานของทางวิ่งและรางรถไฟฟ้าในแต่ละแห่งอาจจะไม่เหมือนกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของราง รัศมีความโค้ง ความลาด และข้อกำหนดอื่นๆ ดังนั้นลักษณะและระบบของรถไฟฟ้าใต้ดินที่ออกแบบโดยบริษัทผู้ผลิตในแต่ละแห่งอาจจะไม่เหมือนกันเพื่อที่จะได้ลักษณะและระบบของรถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการนั้นๆ รถไฟฟ้าแต่ละสายควรจะมีโรงเก็บและซ่อมบำรุงที่ปลายทางด้านใดด้านหนึ่ง และจะต้องมีศูนย์ควบคุมการเดินรถ ซึ่งจะมีระบบคอมพิวเตอร์และโทรทัศน์วงจรปิด ตรวจสอบและควบคุมการเดินรถได้ทุกขบวนและทุกเส้นทาง

ถึงปัจจุบันนี้มีอีกหลายประเทศ ที่เปิดให้บริการระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินเพิ่มขึ้น เช่น ไต้หวัน ฮ่องกง สิงคโปร์ เป็นต้น ตลอดจนหลายประเทศได้ขยายหรือเพิ่มเส้นทางใหม่ๆ ซึ่งในไม่ช้าประเทศไทยก็จะเป็นประเทศต่อไปที่จะมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมาใช้เป็นระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและรูปแบบขององค์ สถานี และตัวรถไฟฟ้าใต้ดิน ในส่วนนี้จะช่วยให้เห็นภาพรวมของระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าใต้ดินได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1994

บรรณานุกรม

1. John A. Franklin, Maurice B. Dusseault, ROCK ENGINEERING, pp. 161-200
2. Lionel Bender, CHANNEL TUNNEL
3. Narayanan Ramasamy (1992) , GROUND TUNNELING IN BANGKOK SUBSOIL , ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY , BANGKOK THAELAND
4. Szechy & Karol,THE ART OF TUNNELING , AKADEMIAIKIADO,BUDAPEST,1943,pp. 334-341
5. บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ จำกัด, "ระบบรถไฟฟ้า บีทีเอส ทางเลือกใหม่ของคนกรุงเทพฯ", กันยายน, พ.ศ. 2537
6. สำนักงานผู้ช่วยอธิบดีกรมตำรวจ(ฝ่ายจราจร), "ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินหรือยกระดับในมุมมองของตำรวจ", พ.ศ. 2537
7. รศ.ดร. นพดล เพียรเวช, การก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพฯ, AIT
8. นายธีรเดช ศรีทิพยบุตร, การศึกษาด้านเทคนิคเบื้องต้นของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใต้ดินสำหรับกรุงเทพมหานคร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2535
9. นายวสันต์ชัย ชวศิริกุลชล, นายสุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์, นายแหลมทอง เหล่าคงถาวร, การออกแบบผนังอุโมงค์ใต้ดินสำหรับดินกรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้