ระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

โดย

วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร
ธนิต ธงทอง
วิศณุ ทรัพย์สมพล
วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์

โครงการวิจัยเลขที่ 87G-CE-2549
ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

เมษายน 2550

ระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

โดย

วิสุทธิ์	ช่อวิเชียร	Ph.D. (UI Urbana-Champaign)
ธนิต	ธงทอง	Ph.D. (Maryland)
วิศณุ	ทรัพย์สมพล	Ph.D. (Carnegie Mellon)
วีระศักดิ์	ลิขิตเรืองศิลป์	Ph.D. (Michigan)

โครงการวิจัยเลขที่ 87G-CE-2549

ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

เมษายน 2550

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลสำหรับการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร หากมีการพัฒนาระบบดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นย่อมเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานของภาครัฐที่เกี่ยวข้องในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานบำรุงรักษาอุโมงค์ที่มีอยู่ในปัจจุบันและรองรับอุโมงค์ที่จะก่อสร้างเสร็จในอนาคต เนื้อหาของรายงานฉบับนี้ประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการดำเนินงานวิจัย การศึกษาระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย การพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษา การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษา การทดสอบระบบ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัย

ผลจากงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระบบการจัดการงานบำรุงรักษา รูปแบบและวิธีการจัดเก็บข้อมูลการประเมินสภาพความเสียหาย การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา ผลจากงานวิจัยดังกล่าวนำไปสู่กระบวนการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย ผลจากงานวิจัยนี้เป็นความคิดเห็นของคณะผู้วิจัย โดยไม่เกี่ยวข้องกับผู้สนับสนุนทุนวิจัยแต่อย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการคมนาคมขนส่งในเขตเมืองใหญ่ โครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินต้องอยู่ภายใต้ใช้งานอย่างหนัก ส่งผลให้เกิดความเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างอุโมงค์ซึ่งต้องเผชิญกับสภาพน้ำใต้ดิน จึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น รวมไปถึงมีระบบการจัดการสารสนเทศในงานบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย โดยใช้โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล เป็นกรณีศึกษา จากการสำรวจข้อมูลและสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าของโครงการกรณีศึกษาพบว่าระบบการจัดการงานบำรุงรักษายังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบและวิธีการบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในต่างประเทศจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาของไทยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย เกณฑ์ประเมินสภาพความเสียหาย กระบวนการบำรุงรักษา และระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วย 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาและโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโปรแกรมหลักของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในสำนักงานเพื่อจัดเก็บข้อมูลงานบำรุงรักษา การประเมินสภาพความเสียหาย การแจ้งซ่อม การสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การสั่งงาน การควบคุมและติดตามงาน การจบงาน การตรวจสอบประวัติ และการจัดทำรายงานด้านการบำรุงรักษา สำหรับโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้บนคอมพิวเตอร์มือถือสำหรับจัดเก็บข้อมูลความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในภาคสนาม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกถ่ายโอนเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบด้วยการประยุกต์ใช้งานจริงในโครงการกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้การจัดเก็บ ตรวจสอบ ประมวลผล และรายงานผลข้อมูลเกิดความสะดวก รวดเร็ว และมีระบบมากขึ้น

Abstract

Subway is a vital option of modern transportation systems in major cities around the world. Tunnel structure and track rail are main subway tunnel components that must be under heavy operation and encountered with various severe subsurface conditions, leading to rapid deterioration of its conditions. It is therefore necessary to adopt an appropriate tunnel maintenance strategy to maximize its life span. This includes an efficient system for managing tunnel maintenance information.

The objective of this research is to develop a management information system (MIS) for subway tunnel maintenance in Thailand by using Mass Rapid Transit (M.R.T.) Chaloem Ratchamongkhon Line as the case study. The collected data and interviews with personnel involved in subway tunnel maintenance in the case study show that the current system is inefficient. This research first investigates subway tunnel maintenance practices being used around the world from relevant literature and research in order to use as a guideline for improving Thailand's system.

The developed system encompasses the condition assessment criteria, the maintenance processes, and the management information system for subway tunnel maintenance. This computerized system consists of two main programs: subway tunnel maintenance management and subway tunnel condition data collection. The subway tunnel maintenance management program is the main component of the system implemented in the office. Its function includes maintenance data collection, defect condition assessment, work request, preventive maintenance plan, work order, work control, work completion, maintenance history examination, and maintenance data report. The subway tunnel condition data collection program is developed for a pocket personal computer to facilitate tunnel structure and track rail condition data collection while performing on-site visual inspection. The collected data are then transferred to the main maintenance database in the office. The developed system has been tested and validated by applying to the case study. The results show that the system can enhance the efficiency of subway tunnel maintenance management significantly.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....ง

Abstract.....จ

สารบัญ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 การตรวจสภาพและบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์.....4

2.1.1 การตรวจสภาพอุโมงค์.....4

2.1.2 ความถี่ของการตรวจสภาพอุโมงค์.....6

2.1.3 การเตรียมการสำหรับการตรวจสภาพอุโมงค์.....6

2.1.4 หน้าที่ของผู้ตรวจสภาพอุโมงค์.....6

2.1.5 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสภาพอุโมงค์.....7

2.1.6 กระบวนการจัดการข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพ.....7

2.2 ความเสียหายและการซ่อมแซมโครงสร้างอุโมงค์.....8

2.2.1 ความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์.....8

2.2.2 ความเสียหายของสลักเกลียว.....10

2.2.3 ความเสียหายของแผ่นรอง.....10

2.2.4 การซ่อมแซมคอนกรีตและดาดอุโมงค์.....10

2.3 ปัญหาการรั่วไหลของน้ำและการซ่อมแซม.....11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.3.1 สาเหตุและผลที่ตามมาจากการรั่วไหลของน้ำ.....12
2.3.2 วิธีการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ.....13
2.4 กระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในต่างประเทศ.....17
2.5 การตรวจสภาพและบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า.....24
2.5.1 ความถี่ของการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า.....24
2.5.2 การตรวจสภาพส่วนประกอบของรางรถไฟฟ้า.....25
2.5.3 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบราง.....26
2.6 เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มือถือและการประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูล.....28
2.6.1 ความแตกต่างของคอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm และ Pocket PC.....28
2.6.2 การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มือถือเพื่อเก็บข้อมูลในงานก่อสร้าง.....29
2.7 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ.....32
2.7.1 ข้อมูลและสารสนเทศ.....33
2.7.2 ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ.....34
2.7.3 ประเภทของระบบสารสนเทศ.....35
2.8 บทสรุป.....36

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....38
3.1 การศึกษาระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน.....38
3.2 การศึกษาระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในต่างประเทศ.....39
3.3 การพัฒนาโครงสร้างระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า.....40
3.4 การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า.....40
3.5 การทดลองปฏิบัติและการแก้ไขปรับปรุงระบบ.....41
3.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสารงานวิจัย.....41

หน้า

บทที่ 4 ระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย.....42
4.1 ข้อมูลโครงการกรณีศึกษา..... 42
4.1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล..... 42
4.1.2 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษา..... 45
4.1.3 ลักษณะทั่วไปของรางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษา.....48
4.1.4 กฎความปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 51
4.2 การบริหารงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า.....52
4.2.1 หน่วยงานด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า.....52
4.2.2 การบริหารงานบุคลากรด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์
และรางรถไฟฟ้า.....53
4.3 ระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์.....55
4.3.1 ประเภทของการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์.....55
4.3.2 กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์..... 56
4.3.3 ปัญหาและอุปสรรคของการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์..... 60
4.3.4 การเปรียบเทียบกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์
ของไทยและต่างประเทศ.....61
4.3.5 ความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ในปัจจุบัน.....64
4.3.6 การซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์..... 65
4.4 ระบบการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า.....66
4.4.1 ประเภทของการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า.....67
4.4.2 กระบวนการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า.....69
4.4.3 การปฏิบัติการบำรุงรักษาเพื่อการป้องกัน..... 70
4.4.4 การปฏิบัติการบำรุงรักษาเพื่อการแก้ไข.....81
4.4.5 ความเสียหายของรางรถไฟฟ้าในปัจจุบัน.....82
4.5 ปัญหาและอุปสรรคของระบบการบำรุงรักษาที่ใช้ในปัจจุบัน..... 84
4.6 แนวทางการปรับปรุงแก้ไขระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน.....86
4.7 บทสรุป..... 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 5 การพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษา
อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 89
5.1 กรอบการพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษา..... 89
5.2 การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย..... 91
5.2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย..... 93
5.2.2 เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์..... 96
5.2.3 เกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์..... 99
5.3 การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา..... 100
5.3.1 กระบวนการแจ้งซ่อม..... 102
5.3.2 กระบวนการวางแผนงาน..... 105
5.3.3 กระบวนการปฏิบัติงาน..... 108
5.3.4 กระบวนการจบงาน..... 109
5.3.5 กระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา..... 110
5.4 การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา..... 112
5.4.1 ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 114
5.4.2 ระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 121
5.5 บทสรุป..... 128

บทที่ 6 การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการ
งานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 130
6.1 โครงสร้างของระบบ..... 130
6.1.1 โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 133
6.1.2 โปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 134
6.2 ฐานข้อมูลและแบบจำลอง..... 134
6.3 การทำงานของ โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 135
6.3.1 มอดูลข้อมูลพื้นฐาน..... 136
6.3.2 มอดูลข้อมูลความเสียหาย..... 137

หน้า

6.3.3 มอดูลการจัดการงานบำรุงรักษา.....143
6.3.4 มอดูลรายงานผล.....155
6.4 การทำงานของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....157
6.4.1 มอดูลเก็บข้อมูลความเสียหาย.....158
6.4.2 การถ่ายโอนข้อมูล.....162
6.5 บทสรุป.....163

บทที่ 7 การทดสอบระบบ.....165
7.1 วิธีการทดสอบระบบ.....165
7.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบ.....166
7.3 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น.....167
7.4 ผลการทดสอบระบบ.....168
7.5 บทสรุป.....171

บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....172
8.1 สรุปผลการวิจัย.....172
8.2 ข้อเสนอแนะ.....174

รายการอ้างอิง.....176
ภาคผนวก.....179
ภาคผนวก ก แบบจำลองความสัมพันธ์และฐานข้อมูล.....180
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบระบบ.....187
ภาคผนวก ค ความคิดเห็นที่ได้จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น.....190

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทและลักษณะความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์คอนกรีต.....9
ตารางที่ 2.2 คำอธิบายรหัสสภาพโครงสร้างอุโมงค์.....19
ตารางที่ 2.3 คำอธิบายรหัสลำดับความสำคัญ.....20
ตารางที่ 2.4 คำอธิบายของ CTA Condition Assessment Rating.....22
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล..... 43
ตารางที่ 4.2 ชื่อย่อและชื่อของสถานีในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล.....44
ตารางที่ 4.3 หน้าที่รับผิดชอบของบุคลากรด้านการบำรุงรักษา.....54
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบกระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
ของไทยและของต่างประเทศ.....62
ตารางที่ 5.1 กลุ่มความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์..... 95
ตารางที่ 5.2 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย..... 96
ตารางที่ 5.3 ประเภทความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์.....98
ตารางที่ 5.4 เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ 98
ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์.....100
ตารางที่ 5.6 สถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุง.....103
ตารางที่ 5.7 รายงานส่วนผลลัพธ์ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษา
อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....120
ตารางที่ 5.8 ข้อมูลตำแหน่งความเสียหายที่จำเป็นต้องจัดเก็บ.....123
ตารางที่ 5.9 ข้อมูลสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ที่จำเป็นต้องจัดเก็บ.....124
ตารางที่ 5.10 ข้อมูลสภาพความเสียหายของรางรถไฟฟ้าที่จำเป็นต้องจัดเก็บ..... 125
ตารางที่ 5.11 ประเภทความเสียหายที่ต้องได้รับการประเมินความรุนแรง
ของความเสียหาย..... 126
ตารางที่ 5.12 ความแตกต่างกันของระบบการบำรุงรักษาในปัจจุบันและระบบที่พัฒนาขึ้น.....127
ตารางที่ 6.1 รายงานที่ได้จากโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษา
อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....156
ตารางที่ 7.1 สรุปผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษา
อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....169

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การก่อตัวเป็นน้ำแข็งย้อยเหนือเพดานอุโมงค์..... 13
รูปที่ 2.2 การใช้รางน้ำไหลเพื่อซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ..... 14
รูปที่ 2.3 การใช้โครงข่ายท่อพลาสติกเพื่อซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ..... 14
รูปที่ 2.4 ระบบการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ในประเทศญี่ปุ่น..... 23
รูปที่ 2.5 คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm..... 29
รูปที่ 2.6 คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Pocket PC..... 29
รูปที่ 4.1 แผนที่แนวเส้นทางและสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล..... 45
รูปที่ 4.2 ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์คอนกรีตสำเร็จรูป..... 46
รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของวงแหวนอุโมงค์..... 46
รูปที่ 4.4 แผ่นยางกันซึมและแผ่นยางบีทูมินัสบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน และวงแหวนอุโมงค์..... 47
รูปที่ 4.5 การยึดต่อชิ้นส่วนอุโมงค์ด้วยสลักเกลียวกันสนิมโค้ง..... 47
รูปที่ 4.6 ภาพตัดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในทางตรง..... 48
รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบของเครื่องยึดเหนี่ยวรางวอสโลห์ 336..... 49
รูปที่ 4.8 เครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางตรง..... 50
รูปที่ 4.9 เครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางโค้ง..... 50
รูปที่ 4.10 ผังหน่วยงานด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า..... 53
รูปที่ 4.11 ผังบุคลากรด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า..... 54
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์..... 59
รูปที่ 4.13 กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์..... 60
รูปที่ 4.14 การรั่วไหลของน้ำบริเวณรูฉีดน้ำปูน..... 64
รูปที่ 4.15 การรั่วไหลของน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีต..... 65
รูปที่ 4.16 การไหลของน้ำที่รั่วซึมจากผนังอุโมงค์ด้านข้างลงสู่ทางระบายน้ำ..... 65
รูปที่ 4.17 โครงสร้างระบบการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า..... 67
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้า..... 71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าโดยการเดินเท้า....72
รูปที่ 4.20 กิจกรรมและกำหนดเวลาการบำรุงรักษาเพื่อการป้องกัน....73
รูปที่ 4.21 รอยแตกตัดขวางของหัวราง....74
รูปที่ 4.22 รอยแตกแนวยาวของหัวราง....75
รูปที่ 4.23 การหลุดออกเป็นแผ่นของราง....75
รูปที่ 4.24 การเป็นลอนลูกฟูกของราง....76
รูปที่ 4.25 การสึกที่ด้านข้างของราง....76
รูปที่ 4.26 การสึกในแนวตั้งของราง....76
รูปที่ 4.27 การผุกร่อนของตีนราง....77
รูปที่ 4.28 แผนภูมิแสดงปริมาณสลักเกลียวรูปสมอที่หัก....83
รูปที่ 5.1 โครงสร้างการพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน....90
รูปที่ 5.2 กระบวนการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น....101
รูปที่ 5.3 กระบวนการแจ้งซ่อม....104
รูปที่ 5.4 กระบวนการวางแผนงาน....108
รูปที่ 5.5 กระบวนการปฏิบัติงาน....109
รูปที่ 5.6 กระบวนการจบงาน....110
รูปที่ 5.7 กระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา....111
รูปที่ 5.8 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา....114
รูปที่ 5.9 โครงสร้างของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน....115
รูปที่ 5.10 โครงสร้างของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน....123
รูปที่ 6.1 รูปแบบการทำงานของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น....131
รูปที่ 6.2 โครงสร้างการทำงานโดยรวมทั้งหมดของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น....132
รูปที่ 6.3 ระบบการจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000....134
รูปที่ 6.4 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน....135

หน้า

รูปที่ 6.5 การทำงานของมอดูลข้อมูลพื้นฐาน..... 138
รูปที่ 6.6 หน้าจอมอดูลข้อมูลพื้นฐาน.....139
รูปที่ 6.7 การทำงานของมอดูลข้อมูลความเสียหาย.....140
รูปที่ 6.8 หน้าจอมอดูลข้อมูลความเสียหาย..... 141
รูปที่ 6.9 หน้าจอบันทึกข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์..... 142
รูปที่ 6.10 หน้าจอบันทึกข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า..... 142
รูปที่ 6.11 การทำงานของมอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน..... 144
รูปที่ 6.12 หน้าจอมอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 145
รูปที่ 6.13 การทำงานของมอดูลการแจ้งซ่อม.....146
รูปที่ 6.14 หน้าจอมอดูลการแจ้งซ่อม..... 146
รูปที่ 6.15 หน้าจอมอดูลการเริ่มงาน..... 147
รูปที่ 6.16 การทำงานของมอดูลการเริ่มงาน.....148
รูปที่ 6.17 การทำงานของมอดูลการสั่งงาน..... 149
รูปที่ 6.18 หน้าจอมอดูลการสั่งงาน.....150
รูปที่ 6.19 ตัวอย่างใบสั่งงานบำรุงรักษาที่ได้จากระบบ..... 150
รูปที่ 6.20 การทำงานของมอดูลการควบคุมและติดตามงาน.....152
รูปที่ 6.21 หน้าจอมอดูลการควบคุมและติดตามงาน.....152
รูปที่ 6.22 การทำงานของมอดูลการจบงาน.....153
รูปที่ 6.23 หน้าจอมอดูลการจบงาน.....153
รูปที่ 6.24 การทำงานของมอดูลประวัติการบำรุงรักษา.....154
รูปที่ 6.25 หน้าจอมอดูลการประวัติการบำรุงรักษา.....154
รูปที่ 6.26 การทำงานของมอดูลรายงานผล.....155
รูปที่ 6.27 หน้าจอมอดูลรายงานผล.....156
รูปที่ 6.28 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 158
รูปที่ 6.29 การทำงานของมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหาย..... 159
รูปที่ 6.30 หน้าจอมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์.....160
รูปที่ 6.31 หน้าจอมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า.....161
รูปที่ 7.1 โครงสร้างการทดสอบระบบ..... 168

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลในปัจจุบัน ภาครัฐได้ตระหนักถึงความสำคัญของระบบดังกล่าวจึงได้ริเริ่มโครงการก่อสร้างส่วนต่อขยายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายโครงการ คิดเป็นเงินงบประมาณหลายแสนล้านบาท ทั้งนี้เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตที่ดีให้แก่ประชาชนและเพิ่มศักยภาพด้านการแข่งขันให้แก่ประเทศชาติ

องค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน คือ ตัวอุโมงค์ ซึ่งต้องถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องเกือบตลอดเวลาและยังได้รับผลกระทบจากน้ำใต้ดิน สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อสภาพของโครงสร้าง ถ้าไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสมก็อาจทำให้อายุการใช้งานของอุโมงค์สั้นกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ไม่คุ้มค่ากับเงินลงทุนมหาศาลของรัฐ

นอกจากตัวอุโมงค์แล้ว องค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน คือ รางรถไฟฟ้า การใช้งานอย่างต่อเนื่องของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินอาจส่งผลให้รางรถไฟฟ้าเกิดความชำรุดเสียหายได้ จึงต้องมีการตรวจสภาพและบำรุงรักษาให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้อยู่เสมอ เพื่อความพร้อมในการให้บริการและความปลอดภัยในการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน

จากการศึกษาระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพบว่า ระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้ายังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากขาดระบบการจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การบันทึกสภาพความเสียหายและจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหาย รวมถึงการประมวลผลและรายงานผลเพื่อการบำรุงรักษา ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลสำหรับงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวกับอุโมงค์ที่มีอยู่และรองรับอุโมงค์ที่จะก่อสร้างเสร็จในอนาคตอันใกล้นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย เริ่มตั้งแต่ การวางกรอบของการพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษา การพัฒนารูปแบบและวิธีการจัดเก็บข้อมูล การประเมินสภาพความเสียหาย การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา โดยผลงานหลักที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษางานบำรุงรักษาโครงสร้างหลักของอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า โดยใช้โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคลเป็นกรณีศึกษาเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบดังกล่าว

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป

การพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

(1) การศึกษารายละเอียดของงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ปฏิบัติกันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน เพื่อศึกษาขั้นตอนการทำงาน ข้อจำกัด รวมถึงแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ใช้อยู่ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสังเกตการณ์จากสถานที่จริง การสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง การศึกษาเอกสาร และคู่มือการบำรุงรักษาที่เกี่ยวข้อง

(2) การศึกษาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในประเทศอื่นๆ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบของระบบการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมกับประเทศไทย

(3) การพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนา 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา และการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา

(4) การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าตามโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนก่อน โดยทำการพัฒนาส่วนของข้อมูลเข้า ส่วนการวิเคราะห์ และส่วนของผลลัพธ์

(5) การทดลองปฏิบัติและการแก้ไขปรับปรุง ในขั้นตอนนี้เป็นการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าจริง เพื่อรับทราบความคิดเห็นจากผู้ใช้งานและข้อจำกัดต่างๆ อันนำไปสู่การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้อย่างแท้จริง

(6) สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสารงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ

(1) ระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมของไทย

(2) เป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าประเภทอื่นๆ ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอการศึกษาในอดีตเกี่ยวกับการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยเน้นศึกษาในส่วนของกระบวนการตรวจสภาพ การซ่อมแซม และบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและรางรถไฟฟ้า เพื่อเป็นฐานองค์ความรู้สำหรับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน นอกจากนั้น ยังนำเสนอเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มือถือ การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มือถือเพื่อเก็บข้อมูลงานก่อสร้าง รวมถึงแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลสำหรับงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน

2.1 การตรวจสภาพและบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันได้รับความสนใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำรุงรักษาโครงสร้างของอุโมงค์ อันเนื่องมาจากอุโมงค์ที่มีอยู่เหล่านั้นใกล้หมดอายุการใช้งานลง และการลงทุนเพื่อก่อสร้างอุโมงค์ใหม่ขึ้นมาทดแทนอุโมงค์เก่าจำเป็นต้องใช้งบประมาณลงทุนที่สูงมาก ดังนั้น การบำรุงรักษาและฟื้นฟูจึงได้รับความสนใจในการช่วยให้อุโมงค์ที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้นและเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งพื้นฐานที่สำคัญของการบำรุงรักษาดังกล่าวก็คือ การตรวจสภาพ การซ่อมแซม และการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและเป็นระบบ

2.1.1 การตรวจสภาพอุโมงค์

Asakura และ Kojima (2003) ได้อธิบายเกี่ยวกับการตรวจและวิเคราะห์สภาพโครงสร้างอุโมงค์ไว้ว่า เป็นการกระทำเพื่อให้ทราบถึงความปลอดภัยและความทนทานของโครงสร้างอันเนื่องมาจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้น เพื่อให้อุโมงค์ได้รับการป้องกันและแก้ไขอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมิน การตรวจและวิเคราะห์สภาพอุโมงค์จึงเป็นส่วนพื้นฐานที่สุดของการบำรุงรักษาและบริหารจัดการอุโมงค์ โดยการตรวจสภาพ

อุโมงค์ หมายถึง การตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอุโมงค์โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตการณ์ และการวัดตามมาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณา ส่วนการวิเคราะห์สภาพอุโมงค์นั้น หมายถึง การประเมินค่าของผลลัพธ์จากการสังเกตการณ์ และการวัด โดยพิจารณาจากประสบการณ์และความรู้ที่ผ่านมา รวมถึงการประเมินหน้าที่และการป้องกันแก้ไขทางโครงสร้าง

Hudson, Hass, และ Uddin (1997) ได้กล่าวถึงการตรวจสภาพและประเมินสภาพไว้ว่าเป็นขั้นตอนสำคัญในการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน ข้อมูลการตรวจสภาพและประเมินสภาพที่ดีเป็นสิ่งที่จำเป็นในการกำหนดรูปแบบของการบำรุงรักษาและฟื้นฟู รวมถึงการวัดประสิทธิภาพของวิธีการบำรุงรักษา นอกจากนั้นแล้ว การพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ ก็เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

Richards (1998) ได้เสนอว่าการตรวจสภาพและบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ที่ดีสามารถยืดอายุการใช้งานของอุโมงค์ได้ ส่งผลให้อัตราการตอบแทนทางการเงินมีค่ามากขึ้น อุโมงค์จึงควรได้รับการตรวจสภาพอย่างเป็นประจำจากผู้เชี่ยวชาญโดยความถี่ของการตรวจสภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทของอุโมงค์ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และสภาพการใช้งานของอุโมงค์

Russell (1996) ได้กล่าวถึงการตรวจสภาพอุโมงค์โดยทั่วไปไว้ว่าควรจะกระทำเป็นประจำในระหว่างช่วงที่อุโมงค์หยุดปฏิบัติการ เพื่อสังเกตและจัดทำเอกสารเกี่ยวกับสภาพทางกายภาพของอุโมงค์ในปัจจุบัน และตั้งเกณฑ์พื้นฐานสำหรับกำหนดคุณภาพและความสามารถของอุโมงค์ พร้อมทั้งเป็นการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานเพื่อการตรวจสภาพและป้องกันการพังทลายของอุโมงค์ในระยะยาว

ในปี ค.ศ. 2001 Federal Highway Administration (FHWA) และ Federal Transit Administration (FTA) ได้ร่วมกันพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์ขึ้น เนื่องจากอุโมงค์จำนวนมากในประเทศสหรัฐอเมริกามีอายุมากกว่า 50 ปี และกำลังเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสื่อมสภาพเนื่องจากการรั่วไหลของน้ำ FHWA และ FTA ต้องการให้มีวิธีการดำเนินงานบำรุงรักษาและฟื้นฟูอุโมงค์ที่ดี จึงได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงานและฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ขึ้น ประกอบด้วย คู่มือการตรวจสภาพ คู่มือการบำรุงรักษาและฟื้นฟู และโปรแกรมฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์สำหรับบริหารจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาอุโมงค์ ผลจากการร่วมมือกัน

FHWA และ FTA (2003) ได้เสนอแนวทางการตรวจสภาพอุโมงค์ทั้งอุโมงค์ทางหลวงและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินไว้ดังนี้

2.1.2 ความถี่ของการตรวจสภาพอุโมงค์

โครงสร้างอุโมงค์ควรได้รับการตรวจสภาพโดยทั่วไปอย่างสม่ำเสมอด้วยการเดินเท้า นอกจากนั้นยังควรได้รับการตรวจสภาพโดยละเอียดอีกด้วย โดยความถี่ของการตรวจสภาพโดยละเอียดจะขึ้นอยู่กับอายุและสภาพของอุโมงค์ สำหรับอุโมงค์ใหม่ควรตรวจสภาพโดยละเอียดทุกๆ 5 ปี และสำหรับอุโมงค์เก่าควรตรวจสภาพโดยละเอียดบ่อยครั้งขึ้นตามความจำเป็น หรือหากเป็นไปได้ควรตรวจสภาพโดยละเอียดทุกๆ 2 ปี

2.1.3 การเตรียมการสำหรับการตรวจสภาพอุโมงค์

ก่อนการตรวจสภาพอุโมงค์ ผู้ตรวจสภาพควรวางแผน กำหนดเวลา และจัดแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในการดำเนินงานเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบ โดยผู้ตรวจสภาพต้องติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในการเตรียมการด้านต่างๆ ให้เรียบร้อย เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างราบรื่น สิ่งที่ต้องเตรียมการก่อนการตรวจสภาพ ได้แก่ ขออนุญาตเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์เพื่อเข้าพื้นที่ภายในอุโมงค์ จัดหาพาหนะ ร้องขอให้ตัดกระแสไฟฟ้าในบริเวณที่ตรวจสภาพ ศึกษาแบบแสดงรายละเอียดและรายงานการตรวจสภาพอุโมงค์ที่ผ่านมา พัฒนารูปแบบของแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพ เตรียมสุขภาพให้พร้อม และวางแผนความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

2.1.4 หน้าที่ของผู้ตรวจสภาพอุโมงค์

การตรวจสภาพอุโมงค์ควรดำเนินการกันเป็นกลุ่ม โดยสมาชิกทุกคนในกลุ่มควรมีความรู้เกี่ยวกับหน้าที่และส่วนประกอบต่างๆ ของอุโมงค์เป็นอย่างดี กลุ่มตรวจสภาพควรประกอบด้วยสมาชิกอย่างน้อย 2 คน ได้แก่ หัวหน้ากลุ่มและสมาชิกกลุ่ม หัวหน้ากลุ่มตรวจสภาพมีหน้าที่ในการติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์ในการขออนุญาตเข้าพื้นที่ภายในอุโมงค์ กำหนดระดับของการตรวจสภาพ ประเมินสภาพความเสียหาย ตรวจสอบความสมบูรณ์และชัดเจนของแบบฟอร์มการตรวจสภาพทั้งหมด รวมทั้งแจ้งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องให้ทราบถึงสภาพความ

อันตรายที่เกิดขึ้น ส่วนสมาชิกภายในกลุ่มตรวจสภาพมีหน้าที่ให้ความช่วยเหลือหัวหน้าทีมในการดำเนินงาน เช่น ถือเครื่องมือและแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล ถ่ายภาพ และเขียนภาพร่าง เป็นต้น

2.1.5 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสภาพอุโมงค์

โดยทั่วไปเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสภาพอุโมงค์ประกอบด้วย เครื่องยกขึ้นที่สูง รถราง เครื่องมือเจาะรู คาลิปเปอร์ กล้องถ่ายรูปพร้อมแฟลช ขอล์ค กระดูกงู ปากกาทำเครื่องหมาย ค้อน ที่หนีบกระดาษ เครื่องมือวัดความยาวรอยแตกร้าว เครื่องมือวัดความหนาของเหล็ก สายไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่อกระแสไฟ ไฟฉาย บันไดแบบพับได้ เครื่องวัดแสงสว่าง ไฟส่องสว่าง ดินสอ ลูกดิ่ง มีดพก ขวดใส่ตัวอย่าง เครื่องมือขูดขีด ไขควง แปรงลวดหรือไม้กวาด สายวัด Tablet PC และแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพ โดยรูปแบบของแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลนั้นจำเป็นต้องพัฒนาให้มีรูปแบบที่ชัดเจน เข้าใจง่าย และสะดวกต่อการนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลได้อย่างเหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ นอกจากเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสภาพแล้ว ผู้ตรวจสภาพจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับป้องกันอันตรายเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมการจราจร ชุดปฐมพยาบาล ไฟฉาย หมวกนิรภัย ถุงมือหนัง เสื้อนิรภัย เครื่องป้องกันตา สนับเข่า เข็มขัดนิรภัย รองเท้าหุ้มข้อ เครื่องตรวจสอบคุณภาพอากาศ และหน้ากากป้องกันฝุ่นและสิ่งสกปรก

2.1.6 กระบวนการจัดการข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพ

Russell (1996) เสนอว่ากระบวนการจัดการข้อมูลของการตรวจสภาพจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการไหลของข้อมูลให้มีระบบจากภาคสนามถึงสำนักงาน และจากสำนักงานกลับไปสู่ภาคสนาม เพื่อให้สามารถตรวจสอบข้อเท็จจริงได้ การบันทึกข้อมูลในสนามมี 3 ลักษณะ ได้แก่

(1) การบันทึกข้อมูลทั่วไปในสมุดบันทึก ข้อมูลทั่วไปที่ทำการบันทึกประกอบด้วยลำดับเหตุการณ์ที่กระทำ รายละเอียดเกี่ยวกับความปลอดภัย ผู้รับเหมา ผู้ปฏิบัติการ และฝ่ายอื่นๆ

(2) การบันทึกข้อมูลโดยใช้แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลหรือเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของตารางบันทึกข้อมูลโดยถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับแต่ละโครงการ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงรายละเอียดต่างๆ ที่โครงการนั้นต้องการ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ชนิดมือถือช่วยในการเก็บข้อมูล เนื่องจากสามารถ

ส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่สำนักงานเพื่อสรุปรวบรวมข้อมูลได้โดยผ่านทางโมเด็ม (modem) หรือแผ่นบันทึกข้อมูล

(3) การจัดทำเอกสารรูปถ่ายความเสียหาย การถ่ายภาพความเสียหายเป็นส่วนเสริมที่ดีของการตรวจสภาพ โดยควรถ่ายภาพทั้งสภาพโดยทั่วไปและสภาพที่แตกต่างกันออกไป รูปภาพความเสียหายทั้งหมดที่ถ่ายได้ควรระบุวันที่ เวลา สถานที่ ผู้ถ่าย รายละเอียดของรูปภาพอย่างชัดเจน และจัดทำบัญชีรายการและจัดเก็บอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถเรียกใช้งานในอนาคตได้

2.2 ความเสียหายและการซ่อมแซมโครงสร้างอุโมงค์

2.2.1 ความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์

ความเสียหายทางโครงสร้างของอุโมงค์สามารถตรวจพบได้ทั้งการตรวจสภาพด้วยสายตา (visual inspection) และการใช้เทคนิคแบบไม่ทำลาย (non-destructive techniques) การตรวจสภาพด้วยสายตาหรือตรวจสภาพด้วยตาเปล่าต้องทำการตรวจสอบบนทุกพื้นผิวขององค์ประกอบทางโครงสร้างที่ไม่มีที่กำบังหรือปกปิดไว้ ก่อนการตรวจสภาพผู้ตรวจสภาพควรทำความสะอาดพื้นผิวบริเวณที่จะทำการตรวจสภาพให้สะอาดเสียก่อน เพื่อให้มองเห็นพื้นผิวที่ทำการตรวจสภาพได้อย่างชัดเจน ความเสียหายทั้งหมดที่ตรวจพบ ผู้ตรวจสภาพควรตรวจวัดขนาดและบันทึกข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่งและระดับความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น

FHWA และ FTA (2003) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และได้กำหนดเกณฑ์สำหรับแบ่งความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ น้อย ปานกลาง และมาก จากการศึกษาพบว่าความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์คอนกรีตแบ่งออกได้เป็น 11 ประเภท ดังตารางที่ 2.1 (ดูรูปภาพความเสียหายได้จาก ACI 201.1R-92) การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอุโมงค์มีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การรั่วไหลของน้ำ การกัดกร่อนจากโลหะที่ฝังอยู่ การแยกสลายของวัสดุ ผลกระทบจากความร้อน สภาพการรับน้ำหนัก และการขาดความชำนาญในการก่อสร้าง

ตารางที่ 2.1 ประเภทและลักษณะความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์คอนกรีต

ประเภทความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย
การหลุดลอก (scaling)	เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นทีละเล็กทีละน้อยและต่อเนื่องของปูนและหินทรายบนผิวหน้าของคอนกรีต
การแตกร้าว (cracking)	มีลักษณะเป็นเส้นรอยแตกบนชิ้นคอนกรีตซึ่งสามารถขยายออกไปในบางส่วนหรือทั่วทั้งชิ้นส่วนคอนกรีตได้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นเกินกำลังดึงของคอนกรีต การแตกร้าวสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการบ่มหรือหลังจากที่แบกรับน้ำหนักบรรทุกจากภายนอก
การหลุดร่อน (spalling)	เป็นการกะเทาะของคอนกรีต มีลักษณะคล้ายวงกลมหรือวงรี เกิดขึ้นจากการแยกตัวและการหลุดออกของผิวหน้าคอนกรีตในบางส่วน
การหลุดร่อนที่รอยต่อ (joint spall)	เป็นการหลุดร่อนที่เกิดขึ้นเป็นแนวยาวตามรอยต่อป้องกันการขยายตัว รอยต่อป้องกันการหดตัว หรือรอยต่อก่อสร้าง
การแตกออกจากผิวหน้า (pop-outs)	มีลักษณะเป็นชิ้นคล้ายรูปกรวยแตกออกจากผิวหน้าของคอนกรีตเป็นหลุมขนาดเล็ก
การหลุดออกจากผิวหน้า (mudballs)	มีลักษณะเป็นหลุมขนาดเล็ก เกิดจากการหลุดออกของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจากการละลายของเม็ดโคลน หรือหินชั้นเนื้อละเอียด
การตกตะกอนที่ผิวหน้า (efflorescence)	เป็นการตกตะกอนของปฏิกิริยาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทั่วไปมีสีขาว คล้ายรอยขี้เกลือก่อตัวขึ้นบนผิวหน้าคอนกรีตโดยเกิดขึ้นมาจากด้านล่างของผิวหน้า
การเป็นรอยเปื้อน (staining)	เป็นการเปลี่ยนสีของผิวหน้าคอนกรีตเนื่องจากการไหลผ่านของวัสดุซึ่งละลายได้ทะลุผ่านลงในรอยแตกและเกิดการตกตะกอนขึ้นบนผิวหน้า สีที่เกิดขึ้นสามารถเป็นได้หลายสี โดยสีน้ำตาลอาจจะบ่งชี้ให้เห็นถึงการสึกกร่อนของเหล็กเสริมที่อยู่ใต้ผิวหน้าของคอนกรีต
การกลวง (hollow area)	เป็นการแยกออกเป็นชั้นของคอนกรีต โดยพื้นที่ของผิวหน้าคอนกรีตจะเกิดเสียงกลวงขึ้นเมื่อทุบด้วยค้อน
การเป็นรวงผึ้ง (Honeycomb)	เป็นพื้นที่ของผิวหน้าคอนกรีตซึ่งมีลักษณะความเสียหายคล้ายรวงผึ้งเกิดขึ้นเนื่องจากการเทคอนกรีตที่ไม่สมบูรณ์ในระหว่างการก่อสร้าง
การรั่วไหล (leakage)	เกิดจากน้ำแทรกซึมและทะลุเข้าไปในคอนกรีต ทำให้เกิดการรั่วไหลขึ้นบนพื้นผิวคอนกรีต

นอกจากความเสียหายของคอนกรีตดาดอุโมงค์แล้ว ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุยึดต่อ (connection materials) ก็เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายและส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้างอุโมงค์ เนื่องจากจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตถือเป็นจุดอ่อนของโครงสร้าง วิธีการและวัสดุที่ใช้ยึดต่อชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอุโมงค์เข้าด้วยกัน จึงเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างความมั่นคงแข็งแรงให้กับโครงสร้าง และช่วยป้องกันน้ำซึ่งอยู่รอบตัวอุโมงค์รั่วไหลเข้าสู่ภายใน ความเสียหายของวัสดุยึดต่อที่สำคัญ ได้แก่ ความเสียหายของสลักเกลียว (bolt) และแผ่นรอง (gasket)

2.2.2 ความเสียหายของสลักเกลียว

สลักเกลียวอาจเกิดการเปลี่ยนสีได้ เนื่องจากความเปียกชื้นในอุโมงค์ แต่จะไม่ทำให้ความสามารถทางโครงสร้างของสลักเกลียวลดลง สลักเกลียวที่อยู่ในบริเวณที่มีน้ำรั่วไหลจำเป็นต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับหน้าตัดของสลักเกลียว หากเกิดความเสียหายขึ้น ผู้ตรวจสภาพต้องจดบันทึกความเสียหายไว้ เพื่อเปลี่ยนสลักเกลียวตัวใหม่แทนสลักเกลียวตัวเดิม นอกจากนั้น สลักเกลียวที่หายไปหรือคลายตัวก็ต้องจดบันทึกตำแหน่งไว้เพื่อซ่อมบำรุง

2.2.3 ความเสียหายของแผ่นรอง

โดยปกติแล้วแผ่นรองจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตดาดอุโมงค์ แต่แผ่นรองสามารถเคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งเดิมได้ เนื่องจากการแทรกซึมของน้ำหรือการคลายตัวของสลักเกลียว นอกจากนั้น การเคลื่อนตัวทางโครงสร้างของอุโมงค์ก็สามารถทำให้ดาดอุโมงค์เกิดการแยกออกหรือทำให้แผ่นรองผิดรูปไปส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของน้ำเข้าสู่อุโมงค์ตามมาได้

2.2.4 การซ่อมแซมดาดอุโมงค์คอนกรีต

ในการซ่อมแซมดาดอุโมงค์คอนกรีตควรประเมินถึงสาเหตุและความรุนแรงเสียก่อน เพื่อนำไปสู่การเลือกวิธีการซ่อมแซมที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ดาดอุโมงค์มีความคงทน สามารถซ่อมแซมได้ง่ายรวดเร็ว และมีความคุ้มค่ามากที่สุด ข้อพิจารณาที่มีผลต่อการซ่อมแซมคอนกรีต

คือ ความรุนแรงของความเสียหาย และข้อพิจารณาที่มีผลต่อการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ คือ สาเหตุของการรั่วไหล ตำแหน่งที่รั่วไหล และผลกระทบทางโครงสร้างของจุดที่รั่วไหล

ดาดอุโมงค์คอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กับอุโมงค์ที่เจาะด้วยเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine, TBM) ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะถูกยึดต่อเข้าด้วยกันด้วยสลักเกลียวเพื่อความมั่นคงทางโครงสร้างและบีบอัดแผ่นยางในรอยต่อให้ช่วยป้องกันการรั่วไหลของน้ำ สลักเกลียวยึดและแผ่นยางที่รอยต่อสามารถเสื่อมสภาพและเสียหายได้ โดยสลักเกลียวสามารถถูกกัดกร่อนจนทำให้คอนกรีตเกิดการหลุดร่อนและเห็นถึงเหล็กเสริมได้ การซ่อมแซมรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตดาดอุโมงค์ ได้แก่ การติดตั้งแผ่นยางใหม่ที่รอยต่อ และการเปลี่ยนสลักเกลียวที่เสียหาย สำหรับการรั่วไหลของน้ำบริเวณรอยต่อสามารถซ่อมแซมได้โดยการฉีดน้ำปูนเพื่ออุดรอยรั่วของน้ำ นอกจากนี้แล้ว ความเสียหายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอนกรีต ได้แก่ การแตกร้าว และการหลุดร่อน

Russell (1996) กล่าวว่าวิธีการพื้นฐานในการซ่อมแซมคอนกรีตดาดอุโมงค์ประกอบด้วย การเปลี่ยน (replacement) การใช้คอนกรีตพ่น (shotcrete) และการอุด (grouting) โดยวิธีการซ่อมแซมจะขึ้นอยู่กับลักษณะการก่อสร้าง การใช้งานของอุโมงค์ และความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อการเลือกวิธีการซ่อมแซมคอนกรีตของอุโมงค์ ได้แก่ ความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม ตำแหน่งที่ซ่อมแซม และระยะเวลาการซ่อมแซม นอกจากนั้น การเลือกวิธีการและวัสดุที่เหมาะสมในการซ่อมแซมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การหดตัว สัมประสิทธิ์การขยายตัว ความต้านทานสารเคมี การใช้งาน และต้นทุนของการซ่อมแซม วัสดุที่เหมาะสำหรับการซ่อมแซมคอนกรีตอุโมงค์ ได้แก่ Portland Cement Concrete (PCC), polymer-modified PCC, epoxy-modified PCC, polymer mortar, epoxy mortar และ special cement

2.3 ปัญหาการรั่วไหลของน้ำและการซ่อมแซม

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการสำรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษาพบว่า ปัญหาการรั่วไหลของน้ำเป็นความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ที่สำคัญและมีจำนวนมาก อีกทั้งสามารถเกิดขึ้นได้กับอุโมงค์ทุกประเภท ดังนั้น เพื่อให้เกิด

ความเข้าใจถึงสาเหตุ ผลที่ตามมา และวิธีการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงควรศึกษาในรายละเอียดดังกล่าวเพิ่มเติมให้มากขึ้น

2.3.1 สาเหตุและผลที่ตามมาจากการรั่วไหลของน้ำ

การรั่วไหลของน้ำเป็นสาเหตุสำคัญซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบต่างๆ ของอุโมงค์และสามารถเกิดขึ้นได้กับอุโมงค์ทุกประเภทถึงแม้จะมีระบบป้องกันการรั่วไหลแล้วก็ตาม โดยน้ำจะซึมผ่านเข้าสู่ภายในอุโมงค์ได้ด้วยการไหลผ่านเข้ามาทางรอยแตกและรอยต่อต่างๆ ของอุโมงค์ ซึ่งผลที่ตามมาจากการรั่วไหลของน้ำก็คือ ความเสื่อมสภาพและความเสี่ยงในความปลอดภัยของตัวอุโมงค์นั่นเอง โดยสาเหตุสำคัญซึ่งทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำ ได้แก่ การออกแบบที่ต่ำกว่ามาตรฐาน การก่อสร้างที่ต่ำกว่ามาตรฐาน การเกิดสิ่งที่ไม่ได้คาดหมาย การเปลี่ยนแปลงสภาพทางปฐพีวิทยา และการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้าง ผลที่ตามมาจากการรั่วไหลของน้ำ ได้แก่

- ซีเมนต์และวัสดุมวลรวมของคอนกรีตถูกกัดกร่อน ทำให้โครงสร้างเสื่อมสภาพ
- น้ำสามารถซึมเข้าไปทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม และเกิดการบวมตัวและเกิดการหลุดร่อนของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม
- สลักเกลียวเมื่อถูกน้ำจะเกิดสนิมและเกิดการกัดกร่อนจนขาดได้
- ปูนฉาบเกิดการบวมและเปราะ เนื่องจากสารเคมีในน้ำ
- ชิ้นส่วนเหล็กและแผ่นเหล็กเกิดความเสียหายต่อหน้าตัด
- อนุภาคดินที่ละเอียดสามารถทะลุรอยแตกเข้ามากับน้ำ ทำให้เกิดช่องว่างด้านหลังดาดอุโมงค์ ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของโครงสร้างและการแบกรับน้ำหนักเยื้องศูนย์ของอุโมงค์ อันนำไปสู่การเกิดแรงเค้นที่ไม่คาดคิด อีกทั้งอนุภาคดินยังสามารถอุดตันระบบระบายน้ำได้
- เครื่องยึดเหนี่ยวของอุปกรณ์ต่างๆ ในอุโมงค์สามารถถูกกัดกร่อน ทำให้เกิดอันตรายต่อการเดินรถไฟฟ้าภายในอุโมงค์ได้
- ในอุโมงค์ที่มีอุณหภูมิต่ำ น้ำอาจกลายเป็นน้ำแข็ง หรือก่อตัวเป็นน้ำแข็งย้อยลงมาจากด้านบนอุโมงค์ ทำให้เกิดอันตรายต่อการเดินรถไฟฟ้าและผู้ใช้อุโมงค์ได้ ดังรูปที่ 2.1

- ในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน อัตราการสึกกร่อนของส่วนประกอบต่างๆ สามารถเพิ่มขึ้นได้หากเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (stray current) จากระบบไฟฟ้ากำลัง (traction power)

รูปที่ 2.1 การก่อตัวเป็นน้ำแข็งย้อยเหนือเพดานอุโมงค์ (FHWA และ FTA, 2003)

2.3.2 วิธีการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ

โดยทั่วไปการซ่อมแซมแก้ไขการรั่วไหลของน้ำมี 3 วิธี ได้แก่

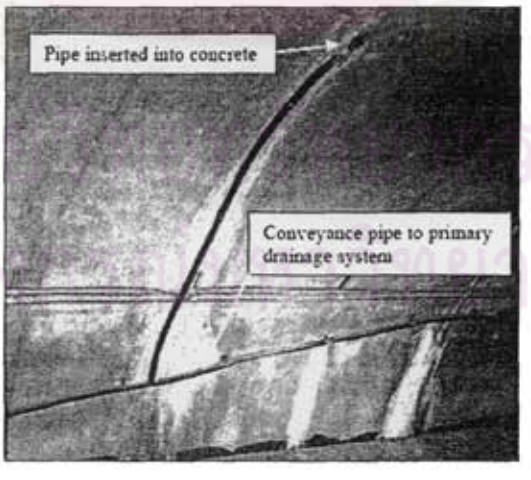
(1) การซ่อมแซมเพื่อแก้ไขในระยะสั้น

การซ่อมแซมเพื่อแก้ไขในระยะสั้นเป็นการแก้ไขโดยการทำให้น้ำที่ไหลผ่านเข้ามาภายในอุโมงค์เปลี่ยนทิศทางการไหลไปสู่ระบบระบายน้ำของอุโมงค์เป็นการชั่วคราว จนกว่าจะตรวจสภาพและทำการแก้ไขในระยะยาวได้ วิธีการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำในระยะสั้น ได้แก่

- การใช้รางน้ำไหล (drainage troughs) เป็นวิธีที่ใช้กับรอยรั่วที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อที่ส่วนบนของอุโมงค์โดยการใช้แผ่นยางโพลีเมอร์สังเคราะห์ (neoprene rubber sheets) ติดเข้าที่ดาดอุโมงค์เพื่อรองรับน้ำที่รั่วไหลออกมาลงสู่รางระบายน้ำด้านข้างอุโมงค์ ดังรูปที่ 2.2

- โครงข่ายท่อพลาสติก (plastic pipe network) วิธีการนี้เป็นการแก้ไขโดยการใช้ปลายท่อพลาสติกข้างหนึ่งสอดเข้าไปในคอนกรีต ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลมากๆ แล้วต่อท่ออีกข้างเข้ากับระบบท่อเพื่อลำเลียงน้ำให้ไหลไปสู่ระบบระบายน้ำหลักอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.2 การใช้รางน้ำไหลเพื่อการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ (FHWA และ FTA, 2003)



รูปที่ 2.3 การใช้โครงข่ายท่อพลาสติกเพื่อซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ (FHWA และ FTA, 2003)

(2) การซ่อมแซมเพื่อแก้ไขในระยะยาว

การซ่อมแซมเพื่อแก้ไขในระยะยาวสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับสภาพลักษณะทั่วไปของอุโมงค์ สภาพความเสียหาย และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยปัจจัยพิจารณาในการเลือกวิธีการและวัสดุที่เหมาะสมในการซ่อมแซม ได้แก่ แหล่งกำเนิดของน้ำที่รั่วไหล ปริมาตรน้ำที่รั่ว สาเหตุของการรั่ว ตำแหน่งที่เกิดการรั่ว วิธีการเตรียมผิวหน้า ขั้นตอนการซ่อมแซมหรือการติดตั้ง ชนิดและสภาพของวัสดุโครงสร้างอุโมงค์

วิธีการซ่อมแซมเพื่อแก้ไขในระยะยาว ได้แก่

- การทำผนังฉนวน (insulated panel) เป็นวิธีการซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในอุโมงค์หิน โดยน้ำที่รั่วไหลออกมาจะไหลลงด้านหลังของผนังอุโมงค์แล้วลงสู่ระบบระบายน้ำ ขณะเดียวกันผนังอุโมงค์ก็ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งย้อยขึ้นในอุโมงค์อีกด้วย
- การใช้แผ่นยางป้องกันน้ำรั่วซึม (waterproof membrane) วิธีการนี้เป็นการติดตั้งแผ่นยางยืดหยุ่นเพื่อเป็นชั้นป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ความสามารถในการป้องกันน้ำรั่วซึมของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับการติดตั้งแผ่นยางที่ต่อเนื่อง มีจุดเชื่อมต่อของแผ่นยางที่เหมาะสม รวมทั้งแผ่นยางที่เลือกใช้ต้องสามารถทนต่อการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในอนาคตและต้านทานการทำลายของสารเคมีหรือสารชีวภาพจากการรั่วซึมของน้ำใต้ดินได้
- การฉีดรอยแตกและรอยต่อ (crack and joint injection) การฉีดรอยแตกและรอยต่อด้วยวัสดุอุดเป็นวิธีการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำที่ใช้กันมากที่สุดในดาดอุโมงค์คอนกรีต วิธีการนี้สามารถทำให้น้ำหยุดไหลได้ แต่ก็อาจทำให้เกิดความเสียหายที่ตำแหน่งอื่นๆ ได้ เนื่องจากแรงดันที่ใช้ฉีดอาจส่งผลให้น้ำไหลไปเส้นทางอื่นที่มีแรงต้านทานต่ำ จึงทำให้เกิดการรั่วไหลในตำแหน่งอื่นๆ ได้ วัสดุที่ใช้อุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุอุดที่มีอนุภาคเล็กๆ และวัสดุอุดที่เป็นสารเคมี วัสดุอุดที่มีอนุภาคเล็กๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง วัสดุอุดชนิดนี้มีคุณสมบัติไม่ยืดหยุ่น จึงไม่ควรนำมาใช้กับพื้นที่ที่อาจจะเกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในอนาคต สำหรับวัสดุอุดที่เป็นสารเคมีจะมีความยืดหยุ่นสูงและความหนืดต่ำ จึงสามารถฉีดเข้าไปในรอยแตกที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ แต่วัสดุอุดชนิดนี้มีราคาแพง บางชนิดเป็นพิษ ติดไฟง่าย และต้องใช้ทักษะในการใช้งานสูง ผู้ใช้งานจึงต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานเป็นอย่างดี โดยทั่วไปวัสดุอุดที่เป็นสารเคมีจะมีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำหยุดไหลได้ดีกว่าวัสดุอุดที่มีอนุภาคขนาดเล็ก จึงถูกนำมาใช้งานมาก แต่การซ่อมแซมด้วยวัสดุอุดชนิดนี้อาจจะไม่มี

ประสิทธิภาพได้ หากไม่มีน้ำ เช่น กรณีที่น้ำที่รั่วไหลออกมาเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิม หรือกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่เกิดการแตกร้าว

วัสดุอุดที่เป็นสารเคมีที่ใช้ดีที่สุดสำหรับงานซ่อมแซมอุโมงค์ คือ polyurethane reaction grout วัสดุอุดชนิดนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วขยายตัวกลายเป็นโฟม (foam) เพื่ออุดทางน้ำที่ไหลเข้ามา หลังจากปิดรอยแตกไม่ให้น้ำไหลออกแล้ว โฟมที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานปานกลางต่อแรงดึงซึ่งสามารถขยายตัวออกได้เมื่อรอยแตกหรือรอยต่อเกิดการแยกออกอย่างเพิ่มมากขึ้น นอกจาก polyurethane reaction grout แล้ว สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ acrylate ester ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่า polyurethane reaction grout คือ จะทำให้เกิดเจล (gel) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ช่วยเป็นอุปสรรคในการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่รอยแตก และ acrylate ester จะไม่มีน้ำเช่นเดียวกับ polyurethane reaction grout ด้วยเหตุนี้ การเลือกชนิดของวัสดุอุดที่เหมาะสมในการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำจึงต้องพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะของสถานที่ซ่อมแซมด้วย เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

- การฉีดวัสดุอุดเข้าไปด้านหลังดาดอุโมงค์ (back wall grouting) วิธีการนี้เป็นการป้องกันการรั่วไหลของน้ำจากภายนอกดาดอุโมงค์ทั้งในตำแหน่งของรอยแตก รอยต่อ หรือชิ้นส่วนทั้งหมดของอุโมงค์ โดยการฉีดวัสดุอุดเข้าไปเพื่อก่อตัวเป็นเครื่องป้องกันหรือทำให้ดินเกิดการยึดเหนี่ยวกัน จึงทำให้น้ำไม่สามารถไหลผ่านเข้าสู่อุโมงค์ได้ วัสดุอุดที่ใช้ในวิธีการนี้ ได้แก่ microfine cement grouts, polyurethane chemical grout, arcylate ester resin chemical grouts และ acrylamide-base chemical grout ซึ่งมีพิษรุนแรง โดยทั่วไปวัสดุอุดจำพวกสารเคมีมีราคาแพงมาก การซ่อมแซมด้วยวิธีการนี้จึงนิยมใช้วัสดุอุดจำพวกซีเมนต์ เนื่องจากพื้นที่ช่องว่างด้านหลังดาดอุโมงค์มีปริมาณมาก

- การซ่อมแซมรอยแตกและรอยต่อ (crack and joint repair) รอยแตกหรือรอยต่อของดาดอุโมงค์ที่เกิดการรั่วไหลและไม่สามารถทำให้หยุดไหลได้ด้วยการฉีดวัสดุอุดเข้าไปอุดในรอยแตกหรือรอยต่อ เนื่องจากมีการเคลื่อนตัวมากเกินกำลังของวัสดุที่ฉีดเข้าไป การรั่วไหลนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการเปลี่ยนรอยแตกให้เป็นรอยต่อซึ่งยอมให้เคลื่อนที่ได้ และเพิ่มแผ่นยางกันน้ำเข้าไปในรอยต่อ วิธีนี้จะยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวได้บ้าง แต่น้ำจะไม่สามารถรั่วไหลเข้ามาสู่ภายในอุโมงค์ได้

- การซ่อมแซมรอยต่อของชิ้นส่วน (segmental joint repair) รอยต่อของชิ้นส่วนดาดอุโมงค์ที่เกิดการรั่วไหลของน้ำสามารถซ่อมแซมได้ด้วยการประกอบรอยต่อใหม่แทนที่ของเดิม การฉีดด้วยวัสดุอุด หรือใช้วิธีการ back-wall grouting ก็ได้

(3) การก่อสร้างใหม่แทนที่ของเดิมและการก่อสร้างใหม่

การซ่อมแซมด้วยวิธีการนี้ควรนำมาใช้เมื่ออุโมงค์เกิดการเสื่อมสภาพอยู่อย่างต่อเนื่อง จนทำให้ต้นทุนการซ่อมแซมสูงมากหรือเป็นอุปสรรคต่อการซ่อมบำรุงรักษา ดังนั้น จึงจำเป็นต้องก่อสร้างใหม่ทั้งหมดหรือในบางส่วนด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การพ่นคอนกรีต การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตหรือคอนกรีตพ่นให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและการแตกร้าวได้ เป็นต้น

2.4 กระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในต่างประเทศ

ส่วนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการปฏิบัติงานและการจัดการข้อมูลในกระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้อยู่ในต่างประเทศซึ่งล้วนแต่มีองค์ความรู้และประสบการณ์ในการบริหารจัดการอุโมงค์มาก่อนประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากการตรวจสภาพเป็นจุดเริ่มต้นของการได้มาซึ่งข้อมูลสภาพความเสียหายก่อนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเพื่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุโมงค์ในขั้นตอนต่อไป

Russell and Gilmore (1997) ได้ทำการสำรวจกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าและโครงสร้างใต้ดินในองค์การขนส่งมวลชนจำนวน 5 แห่ง แบ่งออกเป็นในประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 4 แห่ง และในต่างประเทศ 1 แห่ง สรุปรายละเอียดได้ดังนี้

(1) The Mass Transit Administration of Maryland (MTA); Baltimore

ระบบขนส่งมวลชน MTA เป็นระบบขนส่งมวลชนซึ่งให้บริการครอบคลุมพื้นที่ทั้งสิ้น 1,800 ตารางไมล์ มีผู้ใช้บริการกว่า 87 ล้านคนต่อปี ประกอบด้วยระบบขนส่งมวลชนหลายระบบ ได้แก่ ระบบขนส่งมวลชนแบบเบา (Light Rail Transit, LRT) ระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ (Heavy Rail Transit, HRT) และระบบรถไฟและรถประจำทางขนส่งมวลชน

กระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของระบบขนส่งมวลชนนี้จะกระทำในช่วงเวลา 1.00-4.00 น. โดยโครงสร้างอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะได้รับการตรวจสภาพโดยทั่วไปด้วยตาเปล่าทุกๆ 2 ปีครึ่ง สำหรับรอยรั่วซึมของน้ำที่ได้รับการซ่อมแซมแล้ว จะได้รับการตรวจสภาพซ้ำอีกครั้งภายหลังจากนั้นอีก 1 ปี เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสภาพประกอบด้วย บันไดรถยกขึ้นที่สูง และกล้องส่องทางไกล นอกจากการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าแล้ว โครงสร้างอุโมงค์จะได้รับการตรวจสภาพด้วยการทำให้เกิดเสียงขึ้นโดยการใช้ค้อนเคาะ เพื่อตรวจสภาพความเสียหายของวัสดุที่ลึกจากผิวหน้าซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ โดยเมื่อเคาะแล้วเกิดเสียงสูงหรือกังวานขึ้นแสดงว่าวัสดุที่ลึกจากผิวหน้ายังอยู่ในสภาพที่ดี แต่หากเกิดเป็นเสียงทุ้มแสดงว่าเกิดความเสียหายขึ้นกับวัสดุที่ลึกจากผิวหน้า เช่น อาจจะเกิดการแยกออกเป็นชั้น การบวม หรือการหลุดร่อน เป็นต้น

ในการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าจะต้องทำความสะอาดบริเวณผิวหน้าชิ้นส่วนที่ตรวจสอบก่อน เพื่อขจัดเอาสิ่งสกปรก ฝุ่นผง ผลึก สนิม หรือสิ่งอื่นๆ ที่ปกคลุมออกก่อน เพื่อให้สามารถมองเห็นสภาพความเสียหายได้อย่างชัดเจน ความเสียหายทั้งหมดที่ตรวจพบจะถูกบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและขนาดที่เสียหายเอาไว้ เช่น การหลุดร่อนของคอนกรีตจะวัดและบันทึกขนาดความยาว ความกว้าง และความลึกของการหลุดร่อนเอาไว้ นอกจากนั้นแล้ว ความเสียหายที่ถูกตรวจพบจะถูกจำแนกความเสียหายออกเป็นระดับเล็กน้อย (minor) ปานกลาง (moderate) และรุนแรง (severe) ตามเกณฑ์การแบ่งระดับความเสียหายแต่ละประเภทที่กำหนดเอาไว้ โดยความเสียหายที่รุนแรงทั้งหมดจะถูกถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูปและเขียนภาพร่างไว้

นอกจากการบันทึกข้อมูลและจำแนกระดับความเสียหายแล้ว องค์ประกอบทางโครงสร้างทั้งหมดจะถูกประเมินโดยการให้คะแนนระดับสภาพทางกายภายและทางการใช้งานทุกๆ ระยะ 200 ฟุต ในแต่ละเส้นทางอุโมงค์ ซึ่งระดับสภาพจะถูกกำหนดด้วยระบบตัวเลขตั้งแต่ 0-9 โดยตัวเลข 0 หมายถึง สภาพที่เลวร้ายที่สุด และตัวเลข 9 หมายถึง สภาพที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คำอธิบายรหัสสภาพโครงสร้างอุโมงค์

รหัสสภาพ	คำอธิบาย	รายละเอียด
9	สภาพสมบูรณ์	อุโมงค์ถูกก่อสร้างอย่างสมบูรณ์และใหม่
8	สภาพดีมาก	ไม่พบความเสียหายใดๆ เกิดขึ้น
7	สภาพดี	ไม่มีความจำเป็นในการซ่อมแซม
6	สภาพระหว่างระดับ 5 และ 7	อยู่ระหว่างระดับ 5 และ 7
5	สภาพพอใช้	ต้องการการซ่อมแซมเพียงเล็กน้อย
4	สภาพระหว่างระดับ 3 และ 5	อยู่ระหว่างระดับ 3 และ 5
3	สภาพไม่ดี	ต้องการการซ่อมแซมใหญ่
2	สภาพรุนแรง	ต้องการการซ่อมแซมใหญ่ในทันที
1	สภาพวิกฤติ	ต้องการการปิดใช้งานอุโมงค์ในทันที
0	สภาพวิกฤติ	ต้องปิดการใช้งานอุโมงค์เพื่อซ่อมแซม

(2) The Bay Area Mass Transit (BART); San Francisco

ระบบขนส่งมวลชน BART เป็นระบบขนส่งมวลชนแบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-automated) ให้บริการผู้อยู่อาศัยมากกว่า 3 ล้านคน ในพื้นที่บริเวณ BART ซึ่งได้แก่ Alameda, Contra Costa และ San Francisco รวมถึง Northern San Mateo มีความยาวทั้งสิ้น 71.5 ไมล์ มีส่วนที่เป็นอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินยาวทั้งสิ้น 19 ไมล์ โครงสร้างอุโมงค์จะได้รับการตรวจสภาพโดยทั่วไปทุก 2 ปี การตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การตรวจสภาพที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาและเป็นไปตามกำหนดเวลา

การตรวจสภาพที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาประกอบด้วย การตรวจสภาพตามการร้องขอและการตรวจสภาพในกรณีฉุกเฉิน การตรวจสภาพตามการร้องขอจะกระทำเมื่อได้รับการร้องขอจากฝ่ายต่างๆ เช่น ฝ่ายความปลอดภัย ฝ่ายบำรุงรักษา และฝ่ายวิศวกรรม เป็นต้น การตรวจสภาพในกรณีฉุกเฉินจะกระทำในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุขึ้นในอุโมงค์ หรือเกิดภัยพิบัติตามธรรมชาติ โครงสร้างของอุโมงค์ที่เสียหายและต้องการการตรวจสภาพหรือการซ่อมแซมจะถูกกำหนดระดับความต้องการในการซ่อมบำรุงด้วยรหัสแสดงลำดับความสำคัญ (priority code) บนพื้นฐานของความรุนแรงของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คำอธิบายรหัสลำดับความสำคัญ

รหัสลำดับความสำคัญ	คำอธิบาย
1	สภาพที่ควรสังเกตเป็นบางครั้งบางคราว
2	สภาพที่ควรได้รับการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา
3	สภาพที่ต้องการการกระทำโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
4	สภาพที่ต้องการการกระทำในทันทีทันใด

การตรวจสภาพคอนกรีตจะประกอบด้วยการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าและการตรวจสภาพทางกายภาพ ในการตรวจสภาพด้วยตาเปล่า ผู้ตรวจสภาพจะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ เช่น ประเภท ขนาด ความยาว และตำแหน่งที่เสียหาย ส่วนการตรวจสภาพทางกายภาพนั้น ผู้ตรวจสภาพจะกระทำโดยใช้ค้อนเคาะลงบนคอนกรีตให้เกิดเสียงดัง เพื่อตรวจสภาพความสมบูรณ์ของคอนกรีตที่ลึกจากผิวหน้าซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้

แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสภาพจะประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ได้แก่ วันที่ตรวจสภาพ ผู้ปฏิบัติงาน หมายเลขโครงสร้าง ตำแหน่งทางวิศวกรรม รายการความเสียหายที่เกิดขึ้น รายการชิ้นส่วนที่ทำการตรวจสภาพ รหัสแสดงลำดับความสำคัญ และประเภทของโครงสร้าง หลังจากการตรวจสภาพเสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสภาพจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลและนำเข้าสู่ฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ส่วนกลางของ BART เพื่อใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา รวมถึงกำหนดเวลาของการตรวจสภาพและซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) The New York City Transit Authority (NYCT)

ระบบขนส่งมวลชน NYCT เป็นระบบขนส่งมวลชนที่ใหญ่ที่สุดในโลก เปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง มีระยะทางยาวกว่า 240 ไมล์ ประกอบด้วยสถานีทั้งสิ้น 469 สถานี โดยมีส่วนที่เป็นอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินยาวทั้งสิ้น 145 ไมล์ มีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินทั้งสิ้น 227 สถานี โครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินจะได้รับการตรวจสภาพโดยทั่วไปด้วยตาเปล่าทุกๆ ปี ในแต่ละคืนผู้ตรวจสภาพแต่ละคนจะถูกกำหนดพื้นที่และส่วนประกอบของโครงสร้างเพื่อตรวจหาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคอนกรีต เช่น การหลุดร่อน การ

แตกร้าว การบวม การเสื่อมสภาพอื่นๆ รวมถึงการรั่วไหลของน้ำซึ่งจะระบุถึงต้นเหตุและความรุนแรงของการรั่วไหลที่เกิดขึ้น

ความเสียหายทั้งหมดที่ถูกตรวจพบจะถูกประเมินและกำหนดรหัสแสดงความสำคัญของความเสียหายที่เกิดขึ้น (defect priority) เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของความเสียหายนั้นๆ โดยจะระบุเป็นระบบตัวเลข 1 หรือ 2 ซึ่งหมายเลข 1 หมายถึง ความเสียหายที่มีความสำคัญมากที่สุดและจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการบำรุงรักษาก่อน เนื่องจากเป็นความเสียหายซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการหยุดให้บริการ หรืออาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร พนักงาน หรือเกิดความเสียหายต่อระบบรถไฟฟ้าใต้ดินและอื่นๆ ได้ สำหรับหมายเลข 2 หมายถึง ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป ซึ่งไม่มีผลต่อการให้บริการในทันทีทันใด ไม่มีความจำเป็นเร่งด่วนในการบำรุงรักษา หรือมีความสำคัญน้อยกว่าความเสียหายที่มีรหัสความสำคัญของความเสียหายเป็นหมายเลข 1 ซึ่งเกณฑ์พิจารณาและประเมินสภาพลำดับความสำคัญของเสียหายนี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย NYCT โดยพิจารณาจากสภาพและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแต่ละองค์ประกอบทางโครงสร้าง รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเสียหายนั้นๆ หลังจากตรวจสภาพเสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสภาพจะถูกนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลของ NYCT โดยจะเก็บรักษาและทำให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ เพื่อใช้ประโยชน์ในการบริหารงานบำรุงรักษาและวิเคราะห์ข้อมูลในอนาคต

(4) The Chicago Transit Authority (CTA)

กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของระบบขนส่งมวลชน CTA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสภาพโดยทั่วไปด้วยตาเปล่า การตรวจสภาพโดยละเอียดด้วยตาเปล่า การตรวจสภาพโดยละเอียดร่วมกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย และการประเมินค่าโดยละเอียดทางด้านวิศวกรรม

การตรวจสภาพโดยทั่วไปด้วยตาเปล่าจะกระทำในเวลากลางวัน ส่วนการตรวจสภาพโดยละเอียดด้วยตาเปล่าร่วมกับการทดสอบจะทำในเวลากลางคืน ซึ่งไม่มีการรบกวนจากการจราจรของขบวนรถไฟฟ้า ความเสียหายที่ตรวจพบจะถูกประเมินและให้ระดับสภาพโดยใช้ CTA condition assessment rating ดังตารางที่ 2.4 และหลังจากตรวจสภาพเสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสภาพจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลและจัดเก็บเข้าสู่โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล dbase III plus

ตารางที่ 2.4 คำอธิบายของ CTA condition assessment rating

รหัส	ระดับสภาพ	คำอธิบาย
1	สภาพวิกฤต	ความเสียหายรุนแรงและอันตราย ต้องซ่อมแซมในทันที
2	สภาพไม่ดี	ความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็นปัญหาที่รุนแรงและสำคัญ ต้องซ่อมแซมหรือฟื้นฟูภายใน 1 ปี
3	สภาพปานกลาง	องค์ประกอบเกิดความเสียหาย หรือความเสื่อมสภาพปานกลาง ซึ่งจะเกิดขึ้นจนในที่สุดเป็นความเสียหายที่สำคัญ ต้องซ่อมแซมหรือฟื้นฟูภายใน 5 ปี
4	สภาพดีพอใช้	องค์ประกอบเกิดความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพเล็กน้อย ต้องซ่อมแซมหรือเปลี่ยนใหม่ภายใน 10 ปี
5	สภาพดี	ไม่มีความเสียหายที่ชัดเจน ไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมแซม

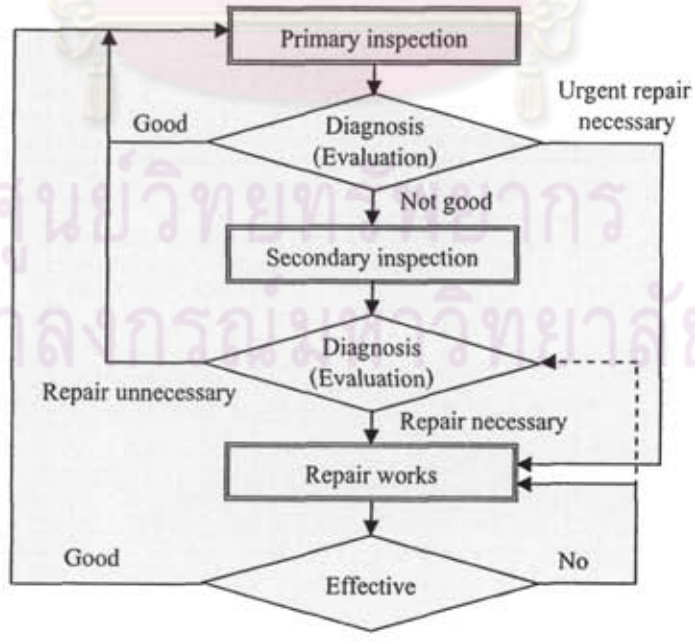
(5) The Mass Transit Railway Corporation (MTRC) in Hong Kong

ระบบขนส่งมวลชนฮ่องกงถูกก่อสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1976 ด้วยต้นทุนการก่อสร้างประมาณ 26 พันล้านเหรียญฮ่องกง และได้เปิดให้บริการเมื่อปี ค.ศ. 1979 มีระยะทางรวมทั้งสิ้น 43.2 กิโลเมตร ประกอบด้วย 3 เส้นทาง ได้แก่ สาย Kwun Tong สาย Tsuen Wan และสาย Island โดยมีส่วนที่เป็นโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทั้งสิ้น 34.4 กิโลเมตร ระบบขนส่งมวลชน MTRC มีผู้โดยสารเฉลี่ยในวันธรรมดา 2.2 ล้านคนต่อวัน นับเป็นระบบขนส่งมวลชนที่ถูกใช้งานหนักมากที่สุดในโลก

โครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของระบบขนส่งมวลชนนี้จะได้รับการตรวจสภาพอย่างละเอียดทุกๆ 3 ปี และได้รับการตรวจสภาพโดยทั่วไปทุกๆ ปี มีจุดประสงค์เพื่อบ่งบอกและแสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นก่อนที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อความปลอดภัยในการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ข้อมูลความเสียหายที่ได้จากการตรวจสภาพจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลตามแต่ละหน้าตัดของอุโมงค์ ส่วนการตรวจสภาพโดยละเอียดจะกระทำกับทุกพื้นที่ในอุโมงค์ โดยการเคาะที่ดาดอุโมงค์และพื้นทางรถไฟฟ้าด้วยค้อนเพื่อตรวจสภาพการกลวงหรือการหลุดร่อน

สำหรับในประเทศญี่ปุ่น Asakura และ Kojima (2003) ได้ศึกษาระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์ในประเทศญี่ปุ่นพบว่า การตรวจสภาพของอุโมงค์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสภาพขั้นแรก (primary inspection) และการตรวจสภาพขั้นที่สอง (secondary inspection) การตรวจสภาพขั้นแรกเป็นการตรวจสภาพเพื่อหาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง เพื่อพิจารณาความจำเป็นของการตรวจสภาพขั้นที่สอง หรือตัดสินใจทำการซ่อมแซมโดยพิจารณาจากระดับความเสียหายที่เกิดขึ้น ความถี่และรายการตรวจสภาพอุโมงค์ขั้นแรกจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของอุโมงค์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะได้รับการตรวจสภาพทั่วๆ ไปทุก 2 ปี และได้รับการตรวจสภาพอย่างละเอียดทุก 10 หรือ 20 ปี ขึ้นอยู่กับความสำคัญของเส้นทาง การตรวจสภาพอุโมงค์เน้นการตรวจสภาพโครงสร้างดาดอุโมงค์ด้วยตาเปล่าและการเคาะด้วยค้อนบริเวณที่มีลักษณะผิดปกติ

การตรวจสภาพขั้นที่สองเป็นการตรวจสอบอย่างละเอียดเกี่ยวกับขนาดและสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นซึ่งตรวจพบจากการตรวจสภาพในขั้นแรก เพื่อนำมาวิเคราะห์และตัดสินใจเกี่ยวกับความจำเป็นและความเร่งด่วนของการซ่อมแซมสภาพความเสียหาย โดยพิจารณาจากข้อมูลสภาพความเสียหาย การประเมินสาเหตุของความเสียหาย การติดตามการเปลี่ยนแปลงความเสียหายและความปลอดภัยทางโครงสร้าง โครงสร้างโดยรวมของระบบดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ในประเทศญี่ปุ่น (Asakura และ Kojima, 2003)

จากการทบทวนกระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้อยู่ในต่างประเทศพบว่า รูปแบบการตรวจสภาพในแต่ละองค์การมีพื้นฐานการดำเนินงานที่คล้ายคลึงกัน คือ มีความถี่ของการตรวจสภาพที่ถูกกำหนดขึ้นอย่างชัดเจนแน่นอน การตรวจสภาพจะใช้การตรวจสภาพด้วยตาเปล่าและการเคาะด้วยค้อนเพื่อทำให้เกิดเสียงเป็นหลัก ส่วนของข้อมูลจากการตรวจสภาพจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลก่อน แล้วจึงป้อนเข้าสู่ฐานข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาอีกครั้งหนึ่งเพื่อจัดเก็บและใช้ในการบริหารจัดการงานด้านต่างๆ และข้อมูลที่จัดเก็บ ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสภาพทั่วไป ข้อมูลตำแหน่ง ขนาดและประเภทความเสียหาย รวมถึงข้อมูลจากการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆ ของอุโมงค์ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินจะมีความแตกต่างกันออกไปตามการพัฒนาขึ้นมาใช้ในแต่ละองค์การดังที่ได้กล่าวในข้างต้น

2.5 การตรวจสภาพและบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า

Federal Railroad Administration (FRA) อ้างถึงใน FHWA และ FTA (2003) ได้เสนอแนวทางการตรวจสภาพและบำรุงรักษาส่วนประกอบต่างๆ ของรางรถไฟฟ้าดังนี้

2.5.1 ความถี่ของการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า

รางรถไฟฟ้าควรได้รับการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้าหรือใช้พาหนะ โดยความถี่ของการตรวจสภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทของรางรถไฟฟ้า รางรถไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วสูงสุด 130-140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ควรได้รับการตรวจสภาพสองครั้งต่อสัปดาห์ รางรถไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วสูงสุดต่ำกว่า 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ควรได้รับการตรวจสภาพทุกๆ สัปดาห์ นอกจากการตรวจสภาพตามปกติแล้ว รางรถไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วสูงสุดตั้งแต่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป ควรได้รับการตรวจสภาพความเสียหายของรางและหัวต่อรางด้วยเครื่องมือค้นหาความเสียหายของรางชนิดพิเศษอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

2.5.2 การตรวจสภาพส่วนประกอบของรางรถไฟฟ้า

ส่วนประกอบของรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย ราง (rail) เครื่องยึดเหนี่ยว สลักเกลียว หมุดยึด (fastener bolts and spike) ไม้หมอน (crossties) หินโรยทาง (ballast) และหัวต่อราง (rail joint) ส่วนประกอบต่างๆ เหล่านี้ควรได้รับการตรวจสภาพ ดังนี้

(1) ราง

รางควรได้รับตรวจสภาพเป็นประจำและสม่ำเสมอโดยควรตรวจสภาพเกี่ยวกับรอยแตกร้าวแนวนอนและแนวดิ่งของเหล็กราง รอยแตกร้าวตามแนวนอนและแนวดิ่งของหัวราง รอยแตกตัดขวางและแบบผสม รอยแตกร้าวของแผ่นโลหะและรูสลักเกลียว การแตกหักของฐาน ความเสียหายจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ รอยเชื่อมแตกหักหรือไม่สมบูรณ์ และความเสียหายของผิวหน้า

(2) เครื่องยึดเหนี่ยว สลักเกลียว และหมุดยึด

ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องยึดเหนี่ยวรางและสลักเกลียวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยในการเดินรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการรักษาขนาดความกว้างของทางให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปเครื่องยึดเหนี่ยวรางจะถูกใช้กับรางทั้งรางที่ต่อแบบปกติและรางเชื่อมยาวต่อเนื่อง โดยเครื่องยึดเหนี่ยวรางจะประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับแนบและยึดติดต่างๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ควรได้รับการตรวจสภาพเกี่ยวกับการหายไป การแตกหัก การคลายตัว พร้อมทั้งควรได้รับการทดสอบพิเศษเพื่อให้แน่ใจว่าแรงยึดของตัวหนีบมีความเหมาะสมสามารถยึดเหนี่ยวรางได้ สำหรับสลักเกลียวเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ที่รอยต่อของรางเพื่อต่อรางเข้าด้วยกัน หรือเพื่อยึดแผ่นรองรางเข้ากับระบบสมอ สลักเกลียวควรได้รับการตรวจสภาพเกี่ยวกับความเสียหายของหน้าตัด การหายไป การคลายตัวและการแตกหัก สำหรับหมุดยึดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดเหนี่ยวด้านข้างของราง โดยหมุดยึดควรได้รับการตรวจสภาพเพื่อให้แน่ใจว่าอยู่ในสภาพที่แน่นและแนบยึดติดกับราง

(3) ไม้หมอน

ไม้หมอนทำหน้าที่เป็นเครื่องรองรับและรักษาความปลอดภัยให้กับรางรถไฟฟ้า โดยทั่วไปจะทำมาจากไม้หรือคอนกรีตสำเร็จรูป ไม้หมอนควรได้รับการตรวจสภาพและประสิทธิภาพในการรองรับ โดยไม้หมอนที่เป็นไม้ควรได้รับการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการหักทะลุ การแยกออก

หรือการถูกทำให้เสียหายอื่นๆ สำหรับไม้หมอนคอนกรีตควรตรวจสภาพเกี่ยวกับการแตกร้าว การหลุดร่อน การเสื่อมสภาพอื่นๆ ของคอนกรีต

(4) หินโรยทาง

สำหรับรางรถไฟฟ้าที่วางอยู่บนพื้นดินมักนิยมใช้หินโรยทางเพื่อส่งถ่ายและกระจายน้ำหนักของทางและขบวนรถไฟฟ้าลงสู่ชั้นดินที่สามารถรองรับน้ำหนักได้ หินโรยทางที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือเสียหายจะก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ได้แก่ ไม่สามารถส่งถ่ายและกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินได้ ไม่สามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้าง ตามยาว และแนวดิ่งภายใต้การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้า ไม่สามารถระบายน้ำออกจากรางรถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่สามารถรักษาระดับของรางและการจัดวางตำแหน่งรางรถไฟฟ้าได้

(5) หัวต่อราง

หัวต่อรางจะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลายทั้งสองด้านของรางโดยถูกต่อประกับเข้าด้วยกันโดยใช้สลักเกลียว เพื่อรักษาสภาพความมั่นคงในแนวดิ่งของราง การตรวจสภาพหัวต่อรางประกอบด้วยการตรวจสภาพการแตกร้าว การแตกหักและการคลายตัวของแผ่นประกบ การหายไป การแตกหักและการเสื่อมสภาพของสลักเกลียว รวมทั้งความเสียหายของไม้หมอนบริเวณข้างเคียงอีกด้วย

2.5.3 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบราง

งานตรวจสภาพและบำรุงรักษาเชิงป้องกันของรางรถไฟฟ้าและโครงสร้างที่รองรับจะมีความคาบเกี่ยวหรือซ้อนทับกันบ่อย เนื่องจากเป็นองค์ประกอบซึ่งควรได้รับการตรวจสภาพถี่บ่อยมากกว่าระบบอื่นๆ ภายในอุโมงค์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสื่อมสภาพต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นก่อนการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาและเพื่อยืดอายุการใช้งาน งานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบราง ได้แก่

(1) การหล่อลื่นราง (rail lubrication)

การหล่อลื่นรางในทางโค้งเป็นช่วงๆ สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของรางได้ จึงควรหล่อลื่นผิวหน้าของรางด้วยการทาจาระบีโดยการใช้มือหรือใช้เครื่องหล่อลื่นที่ติดกับตัวรถไฟฟ้าซึ่งจะทาในระหว่างการเดินรถ ความถี่ของการหล่อลื่นจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของวัสดุที่ใช้หล่อลื่นและปริมาณการจราจรทั้งหมด หรือควรกระทำเมื่อรางเกิดการสึกกร่อนที่มากเกินไปหรือมีเสียงดัง

(2) การเจียราง (rail grinder)

การเจียผิวหน้าและหัวรางตามกำหนดเวลาสามารถช่วยป้องกันความเสียหายบนผิวหน้าจากการสัมผัสกันระหว่างล้อกับรางได้ โดยความถี่ของการเจียรางจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมดในทางเดินทางบนทางรถไฟ ซึ่งอาจเป็นช่วงเวลาตั้งแต่หนึ่งปีสำหรับทางรถไฟที่มีน้ำหนักในการเดินทางมากถึงห้าปีสำหรับทางรถไฟที่มีน้ำหนักในการเดินทางไม่มาก

(3) การทำความสะอาดและเปลี่ยนหินโรยทาง (ballast cleaning/replacement)

การซึมผ่านของน้ำที่รุนแรงสามารถทำให้หินโรยทางได้รับผลกระทบได้ หินโรยทางจึงควรบำรุงรักษาโดยการเอาออกไปและทำความสะอาดโดยใช้เครื่องทำความสะอาดหินโรยทางและทำการเปลี่ยนใหม่ในภายหลัง

(4) การวัดรอยต่อ (joint measurement)

รอยต่อทุกรอยควรมีสลักเกลียวครบและสลักเกลียวควรได้รับการขันให้แน่นใหม่ตามข้อกำหนด คือ ภายในช่วง 9,070 ถึง 13,610 กิโลกรัม (20,000 to 30,000 lb) ต่อสลักเกลียวสำหรับการขันในระยะแรกของสลักเกลียวใหม่ และระหว่าง 6,800 ถึง 11,400 กิโลกรัม (15,000 และ 25,000 lb) ต่อสลักเกลียวสำหรับการขันใหม่ทั้งหมดในภายหลัง

(5) การจัดวางตำแหน่ง (general aligning)

โดยทั่วไปการจัดวางตำแหน่งของรางรถไฟในแนวดิ่งและแนวราบควรได้รับการปรับเป็นระยะๆ เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่ระบุ โดยรางรถไฟฟ้าที่ใช้หินโรยทางสามารถกระทำได้โดยใช้เครื่องจัดวางตำแหน่งทางรถไฟอัตโนมัติ หรือโดยวิธีปกติ คือ การยกขึ้นและจัดเรียงใหม่

(6) การเปลี่ยนหมุดยึดราง (spike replacement)

หมุดยึดรางควรได้รับการเปลี่ยนแทนใหม่เกือบทั้งหมด หากเกิดการกัดกร่อนจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (stray current corrosion) ร่วมกับความชื้นที่มีอยู่ขึ้นในอุโมงค์ เนื่องจากอายุการใช้งานปกติของหมุดยึดจากที่คาดไว้ที่ 25 ปี สามารถลดลงเหลือเพียง 6 เดือนเท่านั้น

2.6 เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มือถือและการประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูล

คอมพิวเตอร์มือถือเป็นอุปกรณ์สมัยใหม่ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการใช้เป็นผู้ช่วยส่วนตัวดิจิตอล (Personal Digital Assistant, PDA) มีขนาดเล็ก กะทัดรัด สะดวกต่อพกพา การทำงานและประสิทธิภาพก็คล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป หลายปีที่ผ่านมา คอมพิวเตอร์มือถือจึงถูกนำมาใช้ในการบริหารงานก่อสร้างมากขึ้น โดยเฉพาะกับงานที่ต้องเก็บข้อมูลในสนาม เช่น การตรวจสภาพความเสียหายของสิ่งก่อสร้าง การบันทึกความก้าวหน้าของงาน การตรวจสอบสถานที่ก่อสร้าง เป็นต้น ตัวอย่างของคอมพิวเตอร์มือถือ ได้แก่ Pocket PC และ Palm

2.6.1 ความแตกต่างของคอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm และ Pocket PC

กิตติ เปรมพินิจ (2547) กล่าวว่าคอมพิวเตอร์มือถือสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามระบบปฏิบัติการที่ใช้คือ Palm OS และ Windows CE โดยคอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Palm OS เรียกว่า Palm ดังรูปที่ 2.5 คอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows CE เรียกว่า Pocket PC ดังรูปที่ 2.6 คอมพิวเตอร์มือถือทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะการทำงานและโปรแกรมพื้นฐานคล้ายกัน เช่น โปรแกรมจดบันทึกข้อความ ปฏิทินตารางนัดหมาย เครื่องคิดเลข เป็นต้น คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานเสริมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการนำข้อมูลไปใช้งานนอกสถานที่ ออกแบบมาให้ใช้งานง่ายจึงเหมาะกับผู้ใช้ที่ไม่มีความชำนาญในการใช้คอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้สามารถเรียนรู้และใช้งานได้ในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนคอมพิวเตอร์มือถือชนิด Pocket PC ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้เป็นมากกว่าการเป็นผู้ช่วยส่วนตัวดิจิตอล โดยจะสนับสนุนเทคโนโลยีสมัยใหม่อย่างเต็มที่ เช่น การใช้งานมัลติมีเดีย หรือการเชื่อมต่อกับเครือข่ายในรูปแบบต่างๆ นอกจากนั้น ระบบปฏิบัติการ Windows CE บน Pocket PC ได้ผ่านการปรับปรุงและพัฒนาความสามารถมาโดยตลอดจึงทำให้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้และเมนูการทำงานต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป ผู้ใช้ที่มีประสบการณ์ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ด้วยระบบปฏิบัติการวินโดวส์จึงสามารถใช้งาน Pocket PC ได้อย่างง่าย

รูปที่ 2.5 คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm

ที่มา : http://www.palmone.com

รูปที่ 2.6 คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Pocket PC

ที่มา : http://www.hp.com

2.6.2 การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มือถือเพื่อเก็บข้อมูลในงานก่อสร้าง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจุบันได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มือถือมาใช้ในงานเก็บข้อมูลในสนามแทนการบันทึกข้อมูลลงกระดาษแล้วนำไปกรอกเข้าสู่ฐานข้อมูลมากขึ้น เนื่องจากระบบการเก็บข้อมูลด้วยกระดาษทำให้เกิดความยุ่งยาก ไม่สะดวก และมีแนวโน้มที่จะเกิดความผิดพลาดจากการคัดลอกข้อมูลในขณะที่ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์มือถือก็ยังไม่ได้เป็นที่แพร่หลายมากนักเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายประการ

Williams (2003) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มือถือในอุตสาหกรรมก่อสร้างพบว่า คอมพิวเตอร์มือถือกำลังเป็นที่นิยมแพร่หลายอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานในโครงการก่อสร้าง เนื่องจากมีประสิทธิภาพและศักยภาพในการใช้งานด้านๆ ซึ่งประกอบด้วย การ

เก็บข้อมูล การทำงานด้านเอกสาร การออกแบบ การประมาณราคา และการกำหนดแผนเวลาการทำงาน การติดต่อแบบไร้สาย (wireless connectivity) ก็เป็นความสามารถหนึ่งซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์มือถือสามารถเข้าถึงระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อเยี่ยมชมเว็บไซต์ต่างๆ ได้ รวมถึงสามารถใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลได้อีกด้วย นอกจากนั้น ยังพบว่าการใช้คอมพิวเตอร์มือถือในการเก็บข้อมูลโดยการใช้โปรแกรมเกี่ยวกับแบบฟอร์มในการเก็บข้อมูลก็เป็นอีกการประยุกต์ใช้งานที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากแบบฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์สามารถติดตั้งลงในคอมพิวเตอร์มือถือเพื่อนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลในสนามเมื่อบันทึกข้อมูลในสนามเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถถ่ายโอนข้อมูลลงสู่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อใช้ในโปรแกรมจัดการระบบฐานข้อมูล หรือทำการดัดแปลงข้อมูลเพื่อประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้ ยิ่งไปกว่านั้นในปัจจุบันการส่งแบบฟอร์มต่างๆ เหล่านี้สามารถส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สายไปถึงคอมพิวเตอร์ที่สำนักงานได้ หรือสามารถจัดเตรียมฟอร์มต่างๆ ในลักษณะของเว็บเพจบนคอมพิวเตอร์มือถือได้ ซึ่งแบบฟอร์มในการเก็บข้อมูลเหล่านี้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมขึ้นมาใช้งานเองได้หรือสามารถหาโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้งานก็ได้

Rischpater (2001) อ้างถึงใน Williams (2003) ได้ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือชนิด Palm ในการเก็บข้อมูลความเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าและแบตเตอรี่ตามสถานีโรงไฟฟ้าย่อย ซึ่งผู้ตรวจสภาพสามารถบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์มือถือแล้วส่งถ่ายข้อมูลไปสู่ฐานข้อมูลของบริษัทหลังจากเสร็จสิ้นการตรวจสภาพได้ในทันที ซึ่งก็พบว่าการใช้งานลักษณะนี้มีความสะดวกรวดเร็วกว่าการใช้แบบฟอร์มกระดาษ และสามารถลดความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลกลับเข้าสู่ฐานข้อมูลได้

AASHTO (2000) อ้างถึงใน Williams (2003) ได้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์อย่างหนึ่งขึ้นเรียกว่า FieldPad เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม FieldManager ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในสำนักงานก่อสร้างภาคสนาม ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เพื่อเสนอแบบฟอร์มต่างๆ ให้แก่ผู้ตรวจสอบได้ทำการกรอกข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์มือถือ อาทิเช่น รายงานการตรวจสอบประจำวัน เป็นต้น นอกจากนี้แล้วหลายหน่วยงานด้านการขนส่งของมลรัฐมิชิแกน (Michigan) และวิสคอลซิน (Wisconsin) ยังได้นำโปรแกรมดังกล่าวมาใช้เพื่อเก็บข้อมูลในสนามซึ่งก็พบว่า สามารถประหยัดต้นทุนจากการใช้ระบบ FieldManager ได้ประมาณปีละ 21.9 ล้านดอลลาร์ และสามารถลดเวลาการทำงานลงได้อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทย จิรพล สังข์โพธิ์ (2545) ได้พัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลผิวทางชนิดพกพา (Mobile Pavement Data Collection System, MPDSC) ขึ้นโดยอาศัยข้อมูลและการศึกษาจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ปฏิบัติงานเก็บข้อมูลผิวทาง โดยได้ใช้คอมพิวเตอร์ชนิดพกพาแบบ Pocket PC และระบบซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นในการจัดเก็บข้อมูลการตรวจสอบผิวทาง ระบบซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่บนคอมพิวเตอร์พกพา และส่วนที่สองทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลหรือแปลงข้อมูลที่ถูกถ่ายโอนมาจากระบบ MPDCS ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ได้ในระบบ PMS (Pavement Management System) ซึ่งเป็นระบบการจัดการผิวทางของกรมทางหลวง ซอฟแวร์ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์พกพาถูกพัฒนามาจาก JIF (Java Inspection Framework) ซึ่งเป็นซอฟแวร์ที่ช่วยในการสร้างระบบตรวจสอบทางวิศวกรรมโดยใช้ภาษาจาวาและ XML (Extensible Markup Language) ในขั้นตอนการทดสอบระบบ ผู้พัฒนาได้ทำการทดสอบระบบการทำงานด้วยอุปกรณ์ Pocket PC HP iPAQ 3850 และ Toshiba E740 โดยให้นักศึกษาวิศวกรรมโยธาจำนวนหนึ่งทำการใช้งานระบบแล้วทำการตอบแบบสอบถาม เพื่อสอบถามความเห็นของผู้ใช้ในด้านต่างๆ ผลการทดสอบพบว่าระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากถึงดีมากที่สุด ยกเว้นในส่วนของระบบรักษาความปลอดภัย

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลผิวทางชนิดพกพาพบว่ายังมีข้อจำกัดในขั้นตอนของการทดสอบระบบ เนื่องจากควรนำระบบที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบร่วมกับผู้ตรวจสภาพซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลสภาพผิวทางโดยตรงในภาคสนาม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคในการใช้งานจริงมากกว่าการทดสอบโดยกลุ่มนักศึกษา เนื่องจากผู้ตรวจสภาพผิวทางเป็นผู้ที่มีประสบการณ์โดยตรงในการจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวมากกว่ากลุ่มนักศึกษา ซึ่งจะทำให้ได้รับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงระบบให้สามารถนำมาใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาวิต เปาระพันธ์ (2543) ได้พัฒนาวิธีการจัดเก็บข้อมูลการก่อสร้างเพื่อการประเมินผลการก่อสร้าง โดยประยุกต์ใช้ระบบฐานข้อมูลจากผลงานวิจัย เรื่อง ระบบสารสนเทศการวัดเนื้องานและควบคุมราคางานโดยหลักการโครงสร้างการจัดแบ่งงานของบัณฑิต เตชะแสนศิริ (2542) และได้พัฒนาโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลการก่อสร้างด้วยคอมพิวเตอร์มือถือ แล้วส่งถ่ายข้อมูลกลับลงคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเพื่อประเมินผลการก่อสร้างโดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic จากการทดสอบการใช้งานในสถานที่ก่อสร้างจริงโดยเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยงานพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้น

สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มีบางส่วนที่ต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะกรณีความซ้ำซ้อนของข้อมูลและปัญหาระดับทักษะของผู้ใช้งาน

จากงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงในการจัดเก็บข้อมูลการก่อสร้างทำการทดสอบโดยใช้งานจริงในภาคสนาม ทำให้ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานจริง ผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นผลดีต่อการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาระบบต่อไปในอนาคตให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วงานวิจัยนี้ก็สามารถนำเอาข้อคิดเห็นและวิธีการในการพัฒนาระบบมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาระบบสำหรับงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งจะช่วยให้ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการใช้งานมากขึ้น

จากการศึกษาในข้างต้นพบว่า การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มือถือในเก็บข้อมูลในงานภาคสนามกำลังได้รับความนิยมและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และสามารถประยุกต์ใช้กับลักษณะงานได้หลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานภาคสนาม งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำระบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับและต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาและการจัดการข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น

2.7 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System, MIS)

ปัจจุบันผู้จัดการตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง ผู้บริหารระดับกลาง และหัวหน้าพนักงานระดับปฏิบัติงานต่างมีความต้องการสารสนเทศทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมในระดับการใช้งานที่แตกต่างกัน ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเป็นระบบหนึ่งซึ่งช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เหล่านี้สามารถเข้าถึงข้อมูล เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจ วางแผนควบคุม และตรวจสอบการดำเนินงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ช่วยให้ผู้ใช้สามารถค้นหาสาเหตุและแก้ปัญหาหรือสิ่งปกติที่เกิดขึ้นในการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีการแข่งขันสูงเช่นในปัจจุบัน ข้อมูลและสารสนเทศจึงเป็นพื้นฐานของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

และเป็นสิ่งจำเป็นที่ทุกองค์กรจะต้องให้ความสำคัญ เพราะสามารถสร้างประโยชน์และช่วยผู้บริหารตัดสินใจบริหารจัดการได้

2.7.1 ข้อมูลและสารสนเทศ (data and information)

จิตติมา เทียบบุญประเสริฐ (2544) ได้ให้ความหมายของข้อมูลไว้ว่า หมายถึง ข้อเท็จจริงที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับบุคคล สิ่งของ หรือเหตุการณ์ต่างๆ ข้อมูลอาจเป็นตัวเลข เช่น จำนวน ปริมาณ ระยะทาง หรืออาจเป็นตัวอักษรหรือข้อความ เช่น ชื่อ สถานที่ ที่อยู่ นอกจากนี้ข้อมูลอาจเป็นภาพและเสียงก็ได้

สารสนเทศ หมายถึง ข้อมูลที่ได้ผ่านการประมวลผล ผ่านการวิเคราะห์หรือสรุปให้อยู่ในรูปแบบที่มีความหมายที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ ส่วนการประมวลผลเป็นการจัดการให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่มีความหมาย สามารถใช้ประโยชน์ได้ตรงตามความต้องการสะดวกต่อการใช้และการค้นหา การประมวลผลของระบบสารสนเทศ ได้แก่ การเรียงลำดับข้อมูล การค้นคืนข้อมูล การปรับปรุงแก้ไขข้อมูล การสรุป การเลือก และการคำนวณ

ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์ (2547) ให้คำจำกัดความของข้อมูลไว้ว่า คือ ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเหตุการณ์ หรือข้อมูลดิบที่ยังไม่ผ่านการประมวลผล ยังไม่มีความหมายในการนำไปใช้งาน ส่วนสารสนเทศ คือ ข้อมูลที่ได้ผ่านการประมวลผลหรือจัดระบบแล้ว เพื่อให้มีความหมายและคุณค่าสำหรับผู้ใช้ โดยลักษณะที่ดีของสารสนเทศควรมี 4 มิติ คือ

(1) มิติด้านเวลา (time) คือ การทันเวลา ความเป็นปัจจุบัน และการมีข้อมูลทั้งในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต

(2) มิติด้านเนื้อหา (content) คือ ความถูกต้องเที่ยงตรง ความสัมพันธ์กับเรื่อง ความสมบูรณ์ครอบคลุม ความน่าเชื่อถือได้ ความยืดหยุ่น และตรวจสอบได้

(3) มิติด้านรูปแบบ (format) คือ ความชัดเจน ระดับการนำเสนอรายละเอียดที่เหมาะสม รูปแบบการนำเสนอ สื่อการนำเสนอ และความประหยัด

(4) มิติด้านกระบวนการ (process) คือ ความสามารถในการเข้าถึง การมีส่วนร่วม และการเชื่อมโยง

2.7.2 ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และไพบูลย์ เกียรติโกมล (2542) ได้ให้ความหมายของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการไว้ว่า เป็นระบบที่รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกองค์การอย่างมีหลักเกณฑ์ เพื่อนำมาประมวลผลให้ได้สารสนเทศที่ช่วยสนับสนุนการทำงาน และการตัดสินใจของผู้บริหารในด้านต่างๆ เพื่อให้การดำเนินงานขององค์การเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

จิตติมา เทียบบุญประเสริฐ (2544) อธิบายว่าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการบางครั้งเรียกว่า ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร โดยเป็นระบบที่เกี่ยวกับการจัดการข้อมูลขององค์กร เพื่อผลิตสารสนเทศตามความต้องการ ใช้สนับสนุนการดำเนินงาน (operation) การจัดการ (management) และการตัดสินใจ (decision making) โดยระบบจะผลิตสารสนเทศเพื่อตอบสนองผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานทุกระดับ การที่ระบบสารสนเทศจะมีความสามารถดังกล่าวได้จะต้องมีองค์ประกอบดังนี้

(1) เครื่องมือในการสร้างระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และฐานข้อมูล

(2) วิธีการหรือขั้นตอนการประมวลผล ได้แก่ ลำดับของการประมวลผลข้อมูลเพื่อสร้างสารสนเทศที่ต้องการ

(3) มีการจัดเก็บข้อมูลและสารสนเทศ โดยสร้างเป็นฐานข้อมูลเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไว้เป็นศูนย์กลางของข้อมูลในการใช้ข้อมูลร่วมกันและช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

(4) สามารถเรียกใช้งานหรือแสดงผลได้รวดเร็วโดยมักอยู่ในรูปแบบของรายงานแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในรูปของตารางหรือการแสดงโดยใช้กราฟ

(5) มีการจัดการเกี่ยวกับทรัพยากรข้อมูลเพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์ (2547) ได้อธิบายไว้ว่าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คือ ระบบที่รวบรวม ประมวล เก็บรักษาและเผยแพร่สารสนเทศ เพื่อใช้ในการวางแผน การตัดสินใจ ประสานงาน และควบคุมการดำเนินการ ประโยชน์ของระบบสารสนเทศ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ ประสิทธิผลในการตัดสินใจ ความได้เปรียบในการแข่งขัน และคุณภาพชีวิตการทำงานที่ดีขึ้น

ประสงค์ ประณีตพลกรัง และคณะ (2541) ได้ให้ความหมายของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการไว้ว่า หมายถึง การเก็บรวบรวมข้อมูล การประมวลผล และการสร้างสารสนเทศขึ้นมาเพื่อช่วยในการตัดสินใจ การประสานงาน และการควบคุม ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการต้องใช้อุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์และโปรแกรมร่วมกับผู้ใช้ เพื่อก่อให้เกิดความสำเร็จในการได้มาซึ่งสารสนเทศที่มีประโยชน์ โครงสร้างของระบบสารสนเทศแบ่งออกตามลำดับการนำไปใช้งานได้ 4 ระดับ ดังนี้

(1) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในการวางแผน นโยบาย กลยุทธ์ และการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง

(2) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในส่วนยุทธวิธีในการวางแผนการปฏิบัติและการตัดสินใจของผู้บริหารระดับกลาง

(3) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในระดับปฏิบัติการและการควบคุมของผู้บริหารระดับล่างเพื่อช่วยในการปฏิบัติงาน

(4) ระบบสารสนเทศที่ได้จากการประมวลผล

2.7.3 ประเภทของระบบสารสนเทศ

ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์ (2547) ได้จำแนกระบบสารสนเทศออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

(1) ระบบสารสนเทศจำแนกตามโครงสร้างขององค์การ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

- ระบบสารสนเทศของหน่วยงานย่อย
- ระบบสารสนเทศของทั้งองค์การ
- ระบบสารสนเทศที่เชื่อมโยงระหว่างองค์การ

(2) ระบบสารสนเทศจำแนกตามหน้าที่หลักขององค์การ เป็นระบบซึ่งทำหน้าที่สนับสนุนการดำเนินงานตามภารกิจขององค์การในแต่ละด้าน เช่น ระบบสารสนเทศด้านบัญชี ด้านการเงิน ด้านการผลิต และด้านการตลาด เป็นต้น

(3) ระบบสารสนเทศจำแนกตามการให้การสนับสนุนของระบบสารสนเทศ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

- ระบบสารสนเทศแบบประมวลผลรายการ (Transaction Processing Systems, TPS) ทำหน้าที่เกี่ยวกับกิจกรรมขั้นพื้นฐานขององค์การ ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากธุรกรรม การตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ การแก้ไขและเปลี่ยนแปลงข้อมูล การประมวลผล การเรียง การสรุป การจัดกลุ่มและการเก็บรักษาข้อมูล ระบบสารสนเทศแบบประมวลผลรายการมี

วิธีการประมวลผลอยู่ 3 แบบ คือ แบบ batch processing แบบ online processing และแบบ hybrid systems การประมวลผลแบบ batch คือ การรวมข้อมูลให้เป็นชุดก่อนที่จะนำไปประมวลผลในภายหลัง การประมวลผลแบบ online จะมีการป้อนข้อมูลและประมวลผลทันทีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ทันที การประมวลผลแบบ hybrid systems เป็นวิธีการผสมผสานแบบที่ 1 และแบบที่ 2

- ระบบสารสนเทศแบบรายงานเพื่อการจัดการ (Management Reporting Systems, MRS) เป็นระบบสารสนเทศที่ช่วยในการจัดทำรายงาน โดยจะนำข้อมูลมาจากฐานข้อมูลและนำมาจัดทำรายงาน ซึ่งอาจเป็นรายงานที่จัดทำเมื่อต้องการ หรือรายงานที่ทำตามระยะเวลาที่กำหนด รายงานสรุปหรือรายงานตามเงื่อนไขเฉพาะ

- ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems, DSS) เป็นระบบสารสนเทศที่ช่วยในการตัดสินใจในลักษณะที่ไม่มีโครงสร้างชัดเจน โดยนำข้อมูลมาจากหลายแหล่งทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งการใช้โมเดลที่ช่วยในการตัดสินใจ ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจมีหลายประเภท เช่น ระบบสารสนเทศสำหรับผู้บริหาร (Executive Information Systems, EIS) ระบบสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารระดับกลุ่ม (Group Decision Support Systems, GDSS) เป็นต้น

(4) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) คือ การพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถเหมือนกับมนุษย์ หรือเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์

2.8 บทสรุป

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาถึงเทคนิค วิธีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุโมงค์ เพื่อนำเสนอวิธีการและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการซ่อมแซมและป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น การศึกษาด้านการบริหารจัดการงานบำรุงรักษายังมีการศึกษาไม่มากนัก เนื่องจากในอดีตความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุโมงค์แต่ละแห่งยังมีไม่มากและไม่รุนแรงมากนัก การศึกษาในส่วนดังกล่าวจึงยังไม่ได้รับความสนใจและตระหนักถึงความสำคัญมากนัก จนกระทั่งเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาและพัฒนางานบริหารจัดการด้านการบำรุงรักษาอุโมงค์ขึ้นอย่างจริงจังจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นหน่วยงานในต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาระบบการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและเป็นระบบมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลสำหรับงาน

บำรุงรักษาซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้การบำรุงรักษาสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิผลในระยะยาว ทั้งนี้ก็เพื่อรองรับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีอยู่ในปัจจุบันและจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการศึกษาวิจัยโดยละเอียด ซึ่งได้กล่าวไปบางส่วนแล้วในบทที่ 1 ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ปฏิบัติกันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันโดยละเอียด ทั้งในส่วนของการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า โดยทำการศึกษารูปแบบและวิธีการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ตั้งแต่การตรวจสภาพ การซ่อมแซม และการบำรุงรักษาส่วนประกอบต่างๆ พร้อมทั้งศึกษาปัญหาอุปสรรค และข้อจำกัดในการดำเนินงาน รวมถึงแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจัดการข้อมูลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากฝ่ายซ่อมบำรุงของบริษัทรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นผู้รับสัมปทานในการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน และมีหน้าที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมดในโครงการกรณีศึกษานี้โดยตรง วิธีการที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

(1) การสอบถาม

ในการสอบถามข้อมูลได้ทำการสอบถามจากพนักงานซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบงานบำรุงรักษาในแต่ละส่วนโดยตรงและเป็นบุคคลที่เป็นที่ยอมรับภายในโครงการกรณีศึกษานี้ ได้แก่

- ผู้จัดการแผนกงานซ่อมบำรุงโครงสร้างพื้นฐานงานโยธา
- ผู้จัดการแผนกงานซ่อมบำรุงทางรถไฟฟ้า
- วิศวกรซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์
- วิศวกรซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้า
- ผู้ตรวจสภาพและควบคุมงานซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์
- ผู้ตรวจสภาพและควบคุมงานซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้า
- หัวหน้าช่างซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์
- หัวหน้าช่างซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลที่ทำการสอบถาม ได้แก่ วิธีการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา วิธีการจัดการข้อมูลในงานบำรุงรักษา ขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงานบำรุงรักษา ประวัติความเสียหายที่เกิดขึ้น ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ความต้องการเกี่ยวกับข้อมูลและรายงานเพื่อใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัดในการดำเนินงาน

(2) การรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสาร

ข้อมูลเชิงเอกสารที่ได้ทำการรวบรวม ได้แก่ คู่มือการปฏิบัติงานบำรุงรักษา แบบแสดงรายละเอียด แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แผนงานบำรุงรักษา และรายงานความเสียหายที่เกิดขึ้น

(3) การสังเกตการณ์จากสถานที่จริง

ในการสังเกตการณ์จากสถานที่จริงเป็นการศึกษาถึงขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการปฏิบัติงานจริงของพนักงานซ่อมบำรุงในช่วงเวลาของการบำรุงรักษา รวมทั้งศึกษาถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริง เพื่อหาแนวทางปรับปรุงและแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2 การศึกษาระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในต่างประเทศ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของต่างประเทศ ซึ่งมีประสบการณ์ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมาก่อนประเทศไทย รวมทั้งศึกษาคู่มือและแนวทางการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาถึงวิธีการปฏิบัติงานบำรุงรักษา และเปรียบเทียบความแตกต่างกันของการบำรุงรักษาในหน่วยงานของต่างประเทศและของประเทศไทยในโครงการกรณีศึกษา เพื่อพัฒนางานบำรุงรักษาของไทยในปัจจุบันในส่วนที่ยังไม่สมบูรณ์และมีความจำเป็นต้องพัฒนาขึ้นมาใช้งาน โดยอาศัยรูปแบบและวิธีการบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในต่างประเทศเป็นแนวทางในการพัฒนาการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยในปัจจุบันให้มีความสมบูรณ์และเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.3 การพัฒนาโครงสร้างระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

จากการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการจัดการงานบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในหน่วยงานต่างๆ ในต่างประเทศ ในขั้นตอนนี้จะนำเอาส่วนของรูปแบบและวิธีการที่เหมาะสมมาปรับปรุงและพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาของไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทำการพัฒนาโครงสร้างของระบบขึ้น เริ่มตั้งแต่ การวางกรอบของการพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษา การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา และการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา โดยโครงสร้างของระบบทั้งหมดที่พัฒนาขึ้นนี้จะถูกนำไปออกแบบและพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไป

3.4 การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละส่วนอย่างเป็นระบบตามโครงสร้างของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาที่ได้พัฒนาขึ้น ตั้งแต่ส่วนของข้อมูลเข้า ส่วนการวิเคราะห์ และส่วนของผลลัพธ์ เพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ และสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

(1) การพัฒนาโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

การพัฒนาในส่วนนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่สำนักงานบำรุงรักษา โดยมีหน้าที่ช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ การบันทึกและจัดเก็บข้อมูล การสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การแจ้งซ่อม การสั่งงาน การควบคุมและติดตามงาน การตรวจสอบประวัติ การประมวลผล และจัดทำรายงานเพื่อการบำรุงรักษา

(2) การพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

การพัฒนาในส่วนนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือชนิด Pocket PC เนื่องจากในการพัฒนานี้ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเป็น

เครื่องมือสำหรับผู้ตรวจสภาพในการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในภาคสนาม โดยตัวโปรแกรมมีหน้าที่หลักในการสร้างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพความเสียหายแต่ละประเภทที่เหมาะสมให้กับผู้ตรวจสภาพ เพื่อทำการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลภายในเครื่อง ก่อนที่จะนำไปถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักในเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่สำนักงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งสองส่วน ได้แก่ ภาษา Visual Basic.Net ในชุดโปรแกรม Visual Studio 2005 โดยใช้สำหรับการพัฒนาหน้าจอส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและกระบวนการทำงานภายในของระบบ สำหรับการพัฒนาฐานข้อมูลของระบบใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000 และสำหรับการสร้างรายงานใช้โปรแกรม Crystal Reports XI

3.5 การทดลองปฏิบัติและการแก้ไขปรับปรุงระบบ

หลังจากที่ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสร็จสิ้น ในเบื้องต้นจะทำการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นโดยการป้อนกลุ่มข้อมูลตัวอย่างเข้าสู่ระบบจำนวนหนึ่ง แล้วทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบว่าสามารถทำงานและประมวลผลตามที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง สามารถทำงานได้ตามขั้นตอนที่สอดคล้องกัน และจัดทำรายงานได้อย่างเป็นระเบียบ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งหากเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในการทดสอบเบื้องต้นนี้จะทำการแก้ไขปรับปรุงให้สามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ในการปฏิบัติงานในสถานที่และผู้ปฏิบัติงานจริง เพื่อรับทราบความคิดเห็นและนำมาปรับปรุงระบบให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสารงานวิจัย

ขั้นตอนนี้จะทำการสรุปผลการวิจัยจากผลการทดสอบและความคิดเห็นของผู้ร่วมทดสอบ รวมทั้งเสนอแนะปัญหาในการใช้งานและแนวทางในการปรับปรุงระบบสำหรับการพัฒนางานวิจัยในครั้งต่อไปให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสุดท้ายจัดทำเอกสารงานวิจัย

บทที่ 4

ระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยในปัจจุบัน

บทนี้นำเสนอระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของไทย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบดังกล่าวของบริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ บีเอ็มซีแอล ซึ่งเป็นบริษัทผู้รับสัมปทานเดินรถไฟฟ้าใต้ดินโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ในความรับผิดชอบของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย และมีหน้าที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมดในโครงการ โดยทำการศึกษาด้วยการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาโดยตรง ได้แก่ ผู้จัดการแผนกงานซ่อมบำรุง วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ และหัวหน้าช่างซ่อมบำรุง นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาโดยการสังเกตการณ์จากสถานที่จริง พร้อมทั้งศึกษาเอกสารและคู่มือการบำรุงรักษาที่เกี่ยวข้องอีกด้วย การศึกษานี้จะมุ่งเน้นในส่วนของการบำรุงรักษาโครงสร้างหลักของอุโมงค์ทางวิ่งซึ่งประกอบด้วย ดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและสลักเกลียวยึดต่อ และในส่วนของการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าภายในอุโมงค์ทางวิ่งซึ่งประกอบด้วย ราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า พื้นทางรถไฟฟ้าและทางระบายน้ำบนพื้นทางรถไฟฟ้า

4.1 ข้อมูลโครงการกรณีศึกษา

4.1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ได้เริ่มก่อสร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2540 และได้เปิดให้บริการอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศให้ดียิ่งขึ้น โครงการดังกล่าวเป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของประเทศไทย มีลักษณะเป็นระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ (Heavy Rail Transit, HRT) และมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นอุโมงค์ใต้ดินตลอดสาย ลักษณะทั่วไปของโครงการสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

คุณลักษณะ	รายละเอียดทั่วไป
แนวเส้นทาง	หัวลำโพง สามย่าน สีลม สวนลุมพินี คลองเตย ศูนย์ประชุมสิริกิติ์ อโศก ห้วยขวาง สุทธิสาร ลาดพร้าว สวนจตุจักร บางซื่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.1
ระยะทาง	20 กิโลเมตร
โครงสร้างทางวิ่ง	อุโมงค์คู่วางตามแนวราบและซ้อนตามแนวดิ่ง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.70 เมตร ผนังอุโมงค์หนา 0.30 เมตร ความลึกของอุโมงค์ประมาณ 15-25 เมตร จากระดับพื้นดิน มีทางเดินภายในอุโมงค์ (tunnel walkway) กว้าง 0.60 เมตร
สถานี	สถานีใต้ดิน 18 สถานี ประกอบด้วยสถานีต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 ลักษณะชานชาลามีทั้งแบบชานชาลากลาง ชานชาลาด้านข้าง และชานชาลาซ้อนกัน มีความยาวประมาณ 200 เมตร กว้าง 23 เมตร (สถานีมาตรฐาน) มีประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door, PSD)
ระบบรางรถไฟฟ้า	รางวิ่งขนาดมาตรฐาน (standard gauge) กว้าง 1.435 เมตร มีรางที่สาม (third rail) วางขนานกันไปกับรางวิ่ง เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวรถ
ระบบรถไฟฟ้า	รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (heavy rail) ใช้ล้อเหล็กวิ่งบนรางเหล็ก ตัวรถมีขนาดกว้าง 3.20 เมตร ยาว 20-24 เมตร ความสูงประมาณ 3.70 เมตร มีความจุ 320 คนต่อคัน วิ่ง 3-6 คันต่อขบวน มีระบบปรับอากาศภายในห้องผู้โดยสาร ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 750 โวลต์ สำหรับป้อนระบบขับเคลื่อนของรถและใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนตัวรถ ควบคุมการเดินรถอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม ความเร็วสูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
ระบบการเก็บค่าโดยสาร	ใช้ระบบเก็บค่าโดยสารและตรวจตั๋วอัตโนมัติ และสามารถใช้ตั๋วร่วมกับระบบรถไฟฟ้าอื่นได้
การให้บริการ	ได้ให้สัมปทานแก่ บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ดำเนินการเป็นระยะเวลา 25 ปี ความถี่การให้บริการในชั่วโมงเร่งด่วน 2-4 นาทีต่อขบวน และในชั่วโมงปกติ 4-6 นาทีต่อขบวน เปิดให้บริการในช่วงเวลา 06.00 - 24.00 น. มีความเร็วในการเดินทางเฉลี่ย 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถให้บริการผู้โดยสารได้มากกว่า 50,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง
สิ่งอำนวยความสะดวก	ลิฟต์ บันไดเลื่อน ห้องน้ำ ร้านค้าปลีกย่อย และสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ

ตารางที่ 4.2 ชื่อย่อและชื่อของสถานีในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

ชื่อย่อสถานี	ชื่อสถานี
HUA	สถานีหัวลำโพง (Hua Lampong Station)
SAM	สถานีสามย่าน (Sam Yan Station)
SIL	สถานีสีลม (Si Lom Station)
LUM	สถานีลุมพินี (Lumphini Station)
KLO	สถานีคลองเตย (Khlong Toei Station)
SIR	สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ (Queen Sirikit National Convention Centre Station, QSNCC)
SUK	สถานีสุขุมวิท (Sukhumvit Station)
PET	สถานีเพชรบุรี (Phetchaburi Station)
RAM	สถานีพระราม 9 (Phra Ram 9 Station)
CUL	สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย (Thailand Cultural Centre Station)
HUI	สถานีห้วยขวาง (Huai Khwang Station)
SUT	สถานีสุทธิสาร (Sutthisan Station)
RAT	สถานีรัชดาภิเษก (Ratchadaphisek Station)
LAT	สถานีลาดพร้าว (Lat Phrao Station)
PHA	สถานีพหลโยธิน (Phahon Yothin Station)
CHA	สถานีจตุจักร (Chatuchuk Park Station)
KAM	สถานีกำแพงเพชร (Kampaeng Phet Station)
BAN	สถานีบางซื่อ (Bang Sue Station)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

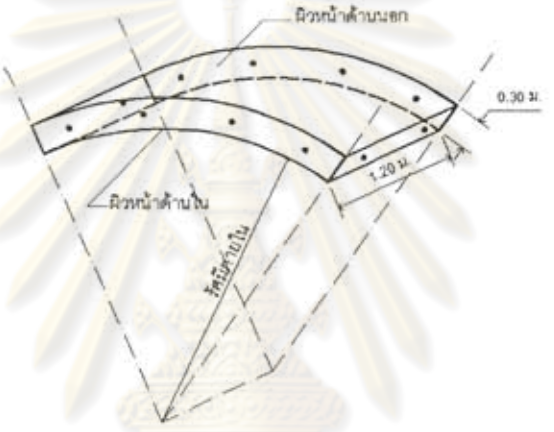
รูปที่ 4.1 แผนที่แนวเส้นทางและสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล
ที่มา: http://www.mrta.co.th

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

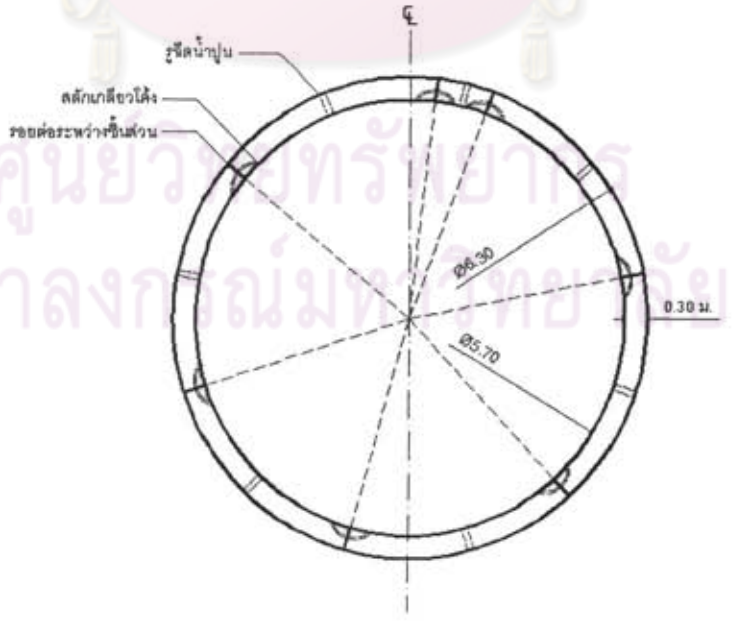
4.1.2 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษา

โครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคล มีลักษณะเป็นอุโมงค์แบบเจาะ (bored tunnel) รางเดี่ยว 2 อุโมงค์ วางตามแนวราบและซ้อนกันตามแนวดิ่ง มีระยะทางรวม 20 กิโลเมตร เชื่อมต่อกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 18 สถานี โครงสร้างอุโมงค์ดังกล่าวได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งาน 120 ปี และถูกก่อสร้างขึ้นโดยวิธีสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance, EPB) หน้าตัดของอุโมงค์เป็นรูปวงกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.70 เมตร ผนังอุโมงค์ถูกติดตั้งด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กกำลังสูง มีความหนา 300 มิลลิเมตร และมีกว้างมาตรฐาน 1200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 โดยถูกเรียงต่อกันเป็นวงกลมเพื่อทำหน้าที่ต้านทาน

แรงกระทำทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากแรงดันดิน แรงดันน้ำใต้ดิน และแรงอื่นๆ ผนังอุโมงค์แต่ละวงประกอบด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 6 ชิ้นส่วนพร้อมด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นสลักรูปลิ่ม (wedge shaped key stone) 1 ชิ้นส่วน ดังรูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปถูกติดตั้งโดยการจัดให้สลับกันแล้วใช้สลักเกลียวกันสนิมโค้งยึดทั้งตามแนวยาวและแนวรัศมีของอุโมงค์ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างผนังอุโมงค์กับดินโดยรอบจะถูกอุดด้วยการฉีดน้ำปูนให้เต็มเพื่อให้อุโมงค์ได้สัมผัสกับดินโดยรอบและป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ส่วนการป้องกันน้ำรั่วซึมที่บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปนั้นจะมีร่องยาวต่อเนื่องไว้สำหรับติดแผ่นยางกันซึม (hydrophilic gaskets) ที่หน้าผิวสัมผัสของรอยต่อทุกๆ รอยต่อ ดังรูปที่ 4.4

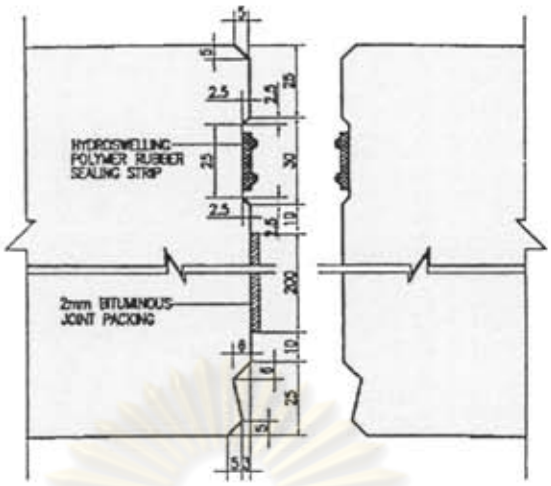


รูปที่ 4.2 ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์คอนกรีตสำเร็จรูป (กิจการร่วมค้า ไอโอเอ็น, 2547)



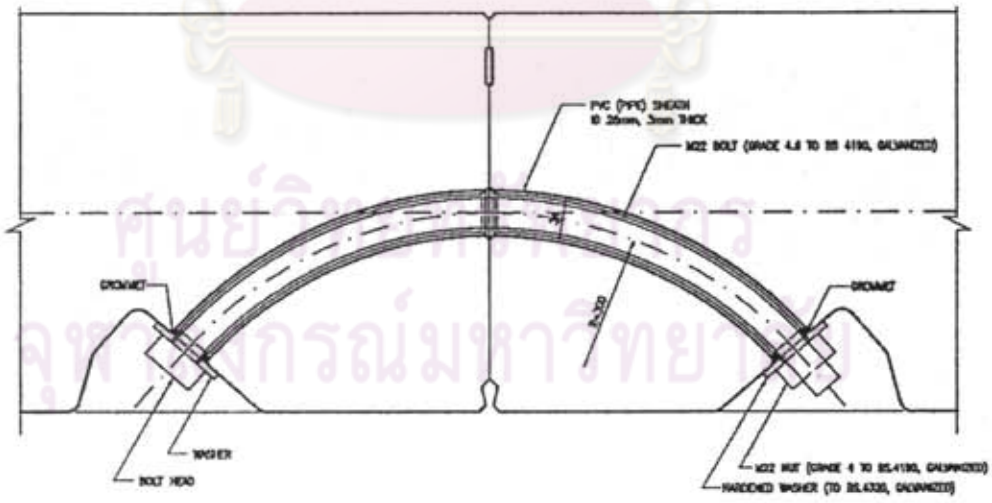
รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของวงแหวนอุโมงค์ (กิจการร่วมค้า ไอโอเอ็น, 2547)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แผ่นยางกันซึมและแผ่นยางบีทูมินัสบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนและวงแหวนอุโมงค์ (กิจการร่วมค้า ไอโอเอ็น, 2547)

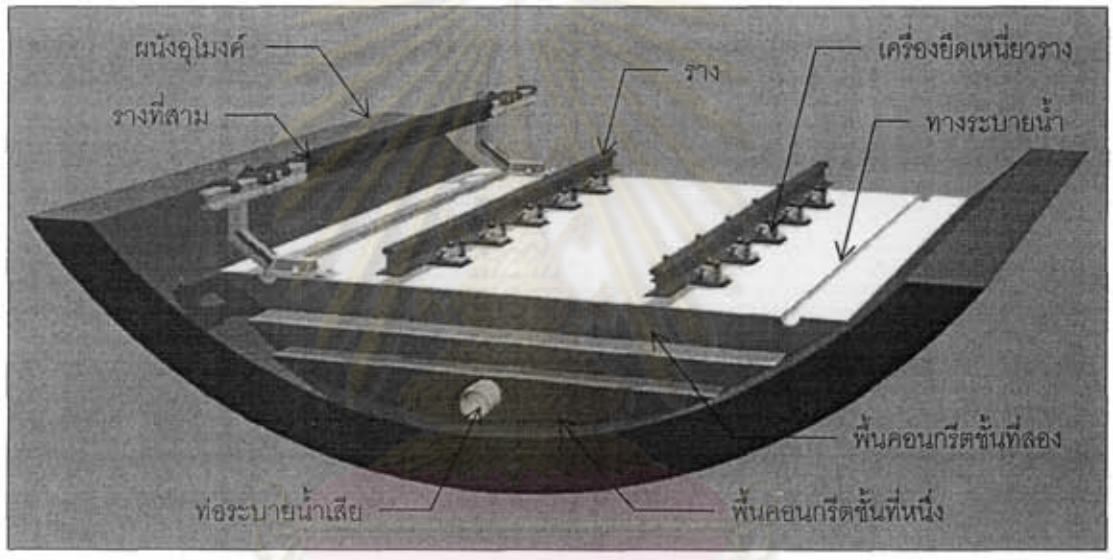
ระหว่างชิ้นส่วนผนังอุโมงค์และระหว่างวงแหวนอุโมงค์ถูกต่อเข้าด้วยกันโดยใช้สลักเกลียวกันสนิมโค้งดังรูปที่ 4.5 สอดเข้าในรูที่แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปและขันให้แน่นในระหว่างการประกอบเป็นวงแหวน นอกจากนั้นแล้ว บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นจะมีแผ่นยางบีทูมินัส (bituminous) สำหรับป้องกันไม่ให้ผิวคอนกรีตสัมผัสกันโดยตรงและต้านทานแรงกดในระหว่างการประกอบ



รูปที่ 4.5 การยึดต่อชิ้นส่วนอุโมงค์ด้วยสลักเกลียวกันสนิมโค้ง (กิจการร่วมค้า ไอโอเอ็น, 2547)

4.1.3 ลักษณะทั่วไปของรางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษา

โดยทั่วไปแล้วรถไฟฟ้าใต้ดินจะวิ่งในทางหลักหรือทางวิ่งภายในอุโมงค์ด้วยความเร็วถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นในพื้นที่บริเวณสถานี ความเร็วของรถไฟฟ้าจะลดลงเป็น 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รางรถไฟฟ้าในทางหลักมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 40 กิโลเมตร โดยมีระยะทาง 16% ในอุโมงค์สายใต้ (South Bound, SB) และ 15% ในอุโมงค์สายเหนือ (North Bound, NB) เป็นทางโค้งที่มีรัศมีเท่ากับหรือน้อยกว่า 500 เมตร ลักษณะทั่วไปของทางรถไฟฟ้าภายในอุโมงค์ทางวิ่งดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพตัดอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในทางตรง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

รางรถไฟฟ้าซึ่งอยู่ในอุโมงค์ทางวิ่งของโครงการกรณีศึกษานี้จะถูกติดตั้งโดยตรงบนพื้นคอนกรีตซึ่งเทเป็นพื้นคอนกรีตชั้นที่สอง มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ดังนี้

(1) ราง (rail)

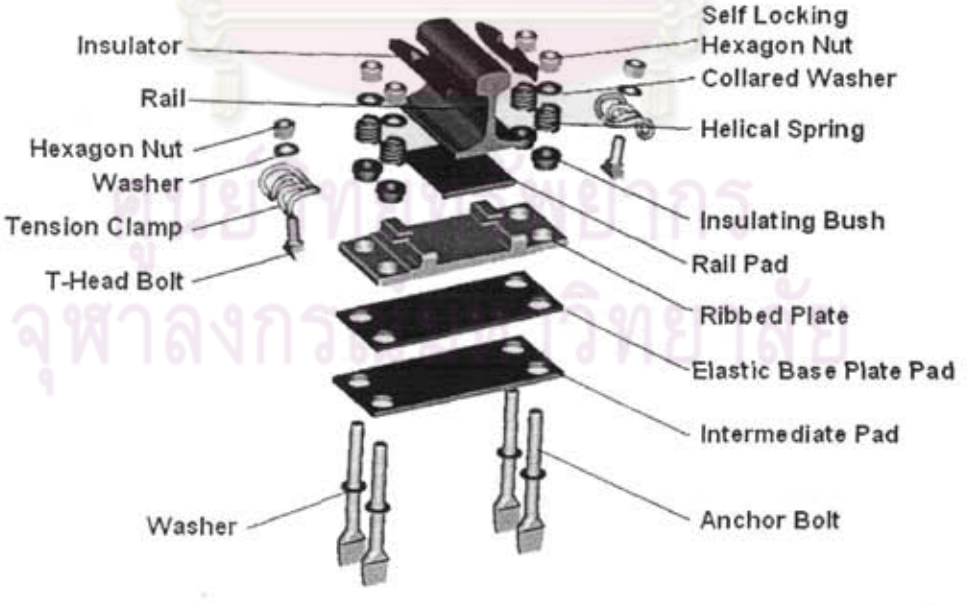
รางของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นราง UIC 54 (รางหนัก 54 กิโลกรัมต่อเมตร) เอียง 1/20 มีความยาวท่อนละ 18 เมตร ถูกเชื่อมต่อกันเป็นรางเชื่อมยาว (Continuous Weld Rail, CWR) มีขนาดความกว้างของรางเท่ากับ 1.435 เมตร สำหรับทางตรงและทางโค้งที่มีรัศมีมากกว่า

400 เมตร ความกว้างเท่ากับ 1.438 เมตร สำหรับทางโค้งที่มีรัศมีระหว่าง 200 เมตร ถึง 400 เมตร และความกว้างเท่ากับ 1.441 เมตร สำหรับทางโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 200 เมตร

(2) เครื่องยึดเหนี่ยวราง (fastener)

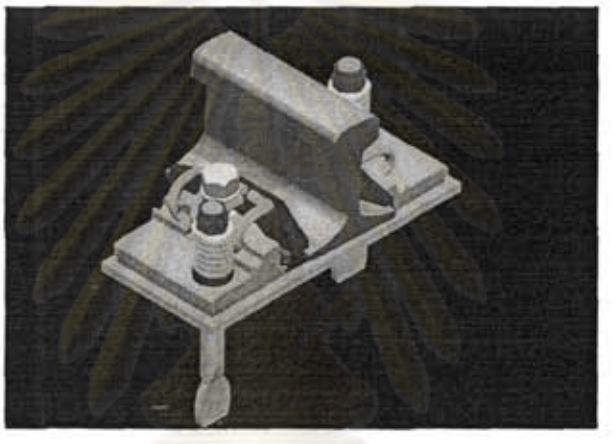
เครื่องยึดเหนี่ยวรางที่ใช้กับรางรถไฟฟ้าในทางวิ่งหลักนี้เป็นระบบเครื่องยึดเหนี่ยวราง วอสโลห์ 336 (Vossloh) ดังรูปที่ 4.7 มีคุณสมบัติยึดหยุ่นและเป็นฉนวนไฟฟ้า มีระยะติดตั้งระหว่างเครื่องยึดเหนี่ยวรางเท่ากับ 70 เซนติเมตร สำหรับทางตรงและทางโค้งที่มีรัศมีมากกว่า 500 เมตร และระยะติดตั้งเท่ากับ 65 เซนติเมตร สำหรับทางโค้งที่มีรัศมีเท่ากับหรือน้อยกว่า 500 เมตร ส่วนประกอบของเครื่องยึดเหนี่ยวรางวอสโลห์ 336 ได้แก่

- แผ่นรองรางแบบยึดหยุ่น หนา 5 มม. ติดตั้งระหว่างใต้รางกับแผ่นรองรางที่เป็นโลหะ
- แผ่นรองรางที่เป็นโลหะ
- แผ่นรองรางแบบยึดหยุ่นซึ่งติดตั้งอยู่ใต้แผ่นรองรางที่เป็นโลหะ
- แผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันแผ่นรองรางแบบยึดหยุ่นจากพื้นคอนกรีต
- อุปกรณ์ยึดติดต่างๆ เช่น สลักเกลียวรูปสมอ น็อต แหวน ตัวหนีบ และสปริงเกลียว

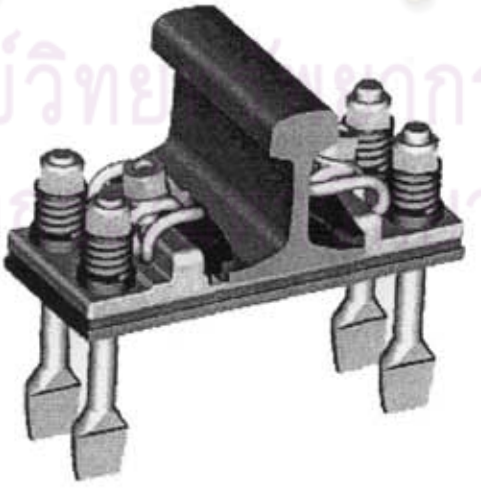


รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบของเครื่องยึดเหนี่ยวรางวอสโลห์ 336 (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

รางจะวางอยู่บนแผ่นรองรางที่เป็นโลหะโดยมีแผ่นรองรางแบบยืดหยุ่นได้อยู่ระหว่างกลาง และจะถูกยึดติดอย่างยืดหยุ่นด้วยแขนสปริงของตัวหนีบรัดซึ่งถูกดึงให้ตึงโดยวิธีการใช้สลักรูปตัวที น็อต และแหวน แผ่นรองรางที่เป็นโลหะจะวางอยู่บนแผ่นรองรางแบบยืดหยุ่นและแผ่นพลาสติกซึ่งวางบนพื้นคอนกรีต โดยจะถูกตรึงด้วยสลักเกลียวรูปสมอและสปริงเกลียว เครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางตรงจะมีสลักเกลียวรูปสมอและสปริงเกลียวสำหรับยึดตรึงแผ่นรองรางที่เป็นโลหะจำนวน 2 ชุด ตรึงอยู่ในแนวทแยงมุมของแผ่นรองรางที่เป็นโลหะ ดังรูปที่ 4.8 สำหรับเครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางโค้งจะมีสลักเกลียวรูปสมอและสปริงเกลียวสำหรับยึดตรึงแผ่นรองรางที่เป็นโลหะจำนวน 4 ชุด ติดตั้งอยู่ที่มุมทั้งสี่ด้านของแผ่นรองรางที่เป็นโลหะดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 เครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางตรง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)



รูปที่ 4.9 เครื่องยึดเหนี่ยวรางในทางโค้ง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า (insulated rail joint)

หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบซึ่งใช้สำหรับแยกวงจรตรวจจับตำแหน่งของขบวนรถไฟฟ้าโดยการทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านระหว่างรางที่ถูกแยกออกจากกันได้ ซึ่งจะทำให้ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้าตรวจสอบตำแหน่งของขบวนรถไฟฟ้าที่กำลังวิ่งอยู่บนทางรถไฟฟ้าได้ หัวต่อรางที่ใช้ในโครงการนี้ ได้แก่ หัวต่อรางแบบ UIC 54 มี 6 รู ซึ่งถูกผลิตขึ้นในโรงงานและติดตั้งในรางรถไฟฟ้าโดยการเชื่อมที่ปลายทั้งสองด้าน

(4) พื้นทางรถไฟฟ้าและทางระบายน้ำ (track slab and drainage gutter)

พื้นทางรถไฟฟ้ามีลักษณะเป็นพื้นอุโมงค์ (invert concrete slab) ประกอบด้วยพื้นคอนกรีตชั้นที่หนึ่งและพื้นคอนกรีตชั้นที่สอง มีหน้าที่เป็นฐานรองรับรางรถไฟฟ้าและรับน้ำหนักบรรทุกของขบวนรถไฟฟ้า ภายในพื้นคอนกรีตชั้นที่หนึ่งจะมีท่อระบายน้ำฝังอยู่ภายในเพื่อใช้สำหรับระบายน้ำเสียออกจากตัวอุโมงค์ ส่วนพื้นคอนกรีตชั้นที่สองถูกเทคอนกรีตหลังจากที่ได้หาค่าระดับของรางรถไฟฟ้าเสร็จสิ้นโดยเทต่อจากพื้นคอนกรีตชั้นที่หนึ่ง และที่ด้านบนของพื้นคอนกรีตชั้นที่สองนี้จะมีรางระบายน้ำอยู่ด้านข้างขนานไปกับรางรถไฟฟ้าทั้งสองด้าน เพื่อทำหน้าที่ระบายน้ำบนพื้นทางรถไฟฟ้าและจากขบวนรถไฟฟ้า อีกทั้งเป็นแนวป้องกันน้ำที่รั่วไหลจากผนังอุโมงค์ด้านข้างไหลเข้าสู่บริเวณรางรถไฟฟ้า

4.1.4 กฎความปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

จากการศึกษาพบว่า ในการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ความปลอดภัยถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากภายในอุโมงค์มีความเสี่ยงสูงทั้งจากสภาพการจราจร และสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งมีทั้งระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบอาณัติสัญญาณและระบบอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งล้วนแต่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ ในการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์ ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด ซึ่งข้อกำหนดว่าด้วยความปลอดภัยขั้นต่ำในการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสรุปได้ดังนี้

- ทุกรอบการเข้าซ่อมบำรุงจะต้องตัดกระแสไฟฟ้าก่อนเริ่มงาน
- ต้องปฏิบัติตามกฎของการทำงานบนทางรถไฟฟ้าอย่างเข้มงวด
- ทุกรอบการเข้าซ่อมบำรุงอุปกรณ์บนทางรถไฟฟ้าจะต้องปฏิบัติตามกฎข้อบังคับการควบคุมจราจร

- อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลต้องพร้อม โดยอุปกรณ์ขั้นต่ำในการปฏิบัติงาน ได้แก่ หมวกนิรภัย รองเท้านิรภัย กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตมีแขน นอกจากนั้นแล้ว ยังต้องมีการป้องกันเพิ่มเติมสำหรับงานและสภาพเฉพาะ เช่น เครื่องป้องกันเสียง อุปกรณ์ป้องกันตา และอุปกรณ์ป้องกันการหายใจ เป็นต้น
- ในกรณีที่ต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ใดๆ ก่อนเริ่มงาน เช่น สายไฟ หรือ สายโทรศัพท์ ให้แจ้งแผนกเทคนิคที่รับผิดชอบอุปกรณ์นั้นๆ ก่อน เพื่อให้สามารถ ดำเนินงานได้ในเวลาที่เหมาะสม และประกันว่าสายดินของอุปกรณ์ต่างๆ สายต่อ ข้าม และสายต่อทางรถไฟฟ้าที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าจะได้รับการติดตั้ง อย่างถูกต้อง
- สภาพแวดล้อมการทำงาน ได้แก่ ไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ สัญญาณ ขอบเขตงานควรจะเพียงพอและเหมาะสม

4.2 การบริหารงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

4.2.1 หน่วยงานด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

จากการศึกษารูปแบบการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาของบริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) พบว่า งานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าเป็นงานซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของฝ่ายซ่อมบำรุงโครงสร้างพื้นฐานด้านโยธาและส่วนสนับสนุน ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวมีหน้าที่หลักในการดูแลและบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานด้านโยธาและส่วนสนับสนุนทั้งหมดในโครงการ โดยแผนกงานที่รับผิดชอบโดยตรงต่อการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ ได้แก่ แผนกงานซ่อมบำรุงโครงสร้างพื้นฐานทางโยธา (civil infrastructure maintenance) และแผนกงานที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า ได้แก่ แผนกงานซ่อมบำรุงรักษาทางรถไฟฟ้า (track work maintenance) โดยแผนกงานทั้งสองมีหน้าที่ในการวางแผน กำหนดเวลางานบำรุงรักษา ตรวจสภาพความเสียหาย ควบคุมและติดตามการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอย่างใกล้ชิด

ในส่วนของการดำเนินการซ่อมแซมและบำรุงรักษาทั้งในส่วนของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าเป็นหน้าที่ของบริษัทรับเหมางานซ่อมบำรุงจากภายนอก ซึ่งฝ่ายซ่อมบำรุงได้จ้างให้เข้ามาดำเนินงานดังกล่าวในรูปแบบของสัญญาเหมารวม ระยะเวลาปีต่อปี ทั้งนี้ก็เพื่อลดภาระหน้าที่

และความเสี่ยงในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงของฝ่ายซ่อมบำรุงให้น้อยลง ซึ่งบริษัทที่รับเหมางานซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษานี้มี 2 บริษัท ได้แก่ บริษัท ไวร์เออ แอนด์ ไวร์เลส จำกัด มีหน้าที่รับผิดชอบงานซ่อมบำรุงอุโมงค์ส่วนใต้ ตั้งแต่สถานีพระราม 9 ถึงสถานีหัวลำโพง และบริษัท เตียวฮงสีลม จำกัด มีหน้าที่รับผิดชอบงานซ่อมบำรุงอุโมงค์ส่วนเหนือ ตั้งแต่สถานีพระราม 9 ถึงสถานีบางซื่อ สำหรับงานซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้าทั้งหมดในโครงการเป็นหน้าที่ของบริษัท ซีเมนต์ ฝ่ายซ่อมบำรุง ผังหน่วยงานในการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษานี้แสดงได้ดังรูปที่ 4.10

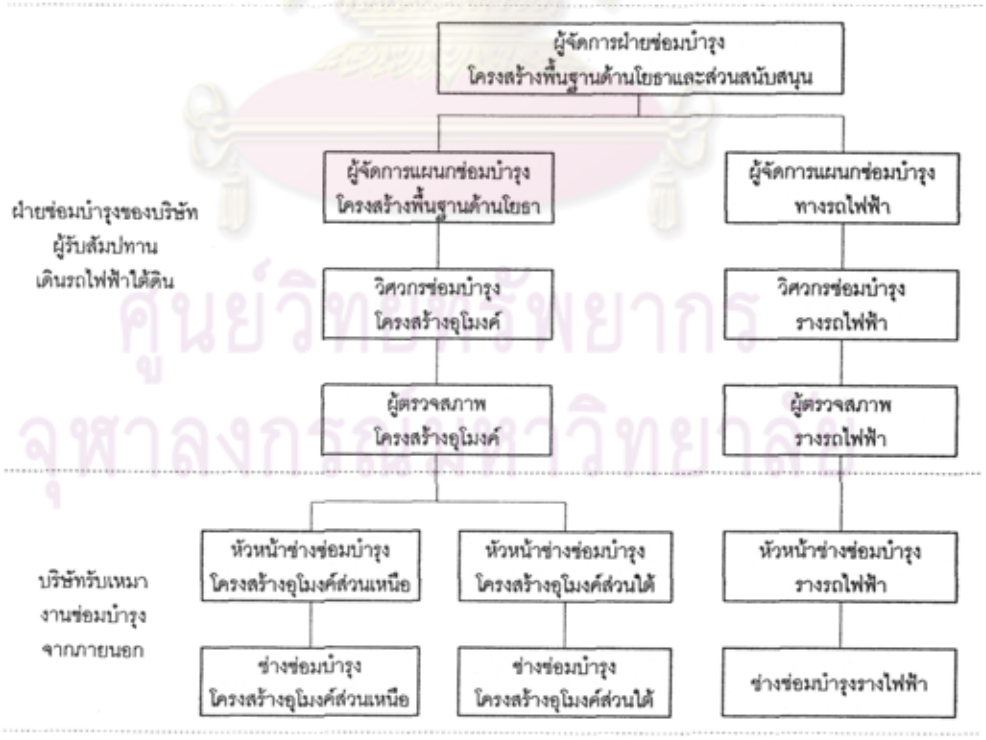
รูปที่ 4.10 ผังหน่วยงานด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

4.2.2 การบริหารงานบุคคลากรด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

การจัดผังองค์กรการบริหารงานบุคคลากรด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง และช่างซ่อมบำรุง โดยในแต่ละตำแหน่งงานมีหน้าที่ดังตารางที่ 4.3 และผังบุคคลากรด้านการบำรุงรักษาแสดงดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.3 หน้าที่รับผิดชอบของบุคคลากรด้านการบำรุงรักษา

ตำแหน่ง	หน้าที่รับผิดชอบ	หน่วยงาน
ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง	กำหนดนโยบายและบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานด้านโยธาและส่วนสนับสนุนอื่นๆ ทั้งหมดในโครงการ	ฝ่ายซ่อมบำรุงของบริษัทผู้รับสัมปทานเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน
ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง	กำหนดนโยบายและบริหารจัดการในส่วนงานบำรุงรักษาที่รับผิดชอบ ซึ่งแบ่งออกเป็นงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานทางโยธาและงานบำรุงรักษาทางรถไฟฟ้า	
วิศวกรซ่อมบำรุง	วางแผน ควบคุม และติดตามการซ่อมบำรุงของผู้รับเหมา รวมถึงรายงานผลการบำรุงรักษาให้กับผู้จัดการแผนก	
ผู้ตรวจสภาพ	ตรวจสภาพความเสียหาย ควบคุมดูแลงานซ่อมบำรุง ติดต่อประสานงานระหว่างผู้รับเหมากับวิศวกรซ่อมบำรุง รายงานผลการซ่อมบำรุงให้กับวิศวกรซ่อมบำรุง	
หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง	รับคำสั่งงานจากวิศวกรซ่อมบำรุงและจ่ายงานให้กับช่างซ่อมบำรุง รวมถึงควบคุมการปฏิบัติงานซ่อมบำรุง	บริษัทรับเหมางานซ่อมบำรุงจากภายนอก
ช่างซ่อมบำรุง	ดำเนินการซ่อมแซมและบำรุงรักษาตามคำสั่งงานที่ได้รับจากหัวหน้าช่างซ่อมบำรุง	



รูปที่ 4.11 ผังบุคคลากรด้านการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ของโครงการกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์หลักเพื่อรักษาสภาพโครงสร้างของอุโมงค์ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยและพร้อมใช้งานอยู่เสมอ รวมไปถึงดูแลสภาพโครงสร้างของอุโมงค์ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบอื่นๆ ในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน

4.3.1 ประเภทของการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ของโครงการกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์เชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์เชิงแก้ไข

(1) การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์เชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ต้น เพื่อตรวจหาความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นและป้องกันไม่ให้ความเสียหายส่งผลกระทบต่อความสามารถของอุโมงค์และระบบอื่นๆ ของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน งานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาประเภทนี้ ได้แก่ งานตรวจสภาพความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีตดาดอุโมงค์และสลักเกลียวยึดต่อด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้า เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นดาดอุโมงค์อยู่ในสภาพที่ดี และสลักเกลียวที่ยึดต่อไม่มีการหลวมหรือการเสื่อมสภาพอื่นๆ เกิดขึ้น

การตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การตรวจสภาพตามกำหนดเวลาและการตรวจสภาพที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา

- การตรวจสภาพตามกำหนดเวลาเป็นการตรวจสภาพที่เป็นไปตามรอบเวลาที่ได้ถูกกำหนดขึ้นไว้ตั้งแต่ต้น ซึ่งโครงสร้างอุโมงค์มีรอบระยะเวลาการตรวจสภาพโดยทั่วไปทุกๆ 1 ปี และมีรอบเวลาการตรวจสภาพการรั่วไหลของน้ำทุกๆ 4 เดือน อันเนื่องมาจากปัจจุบันโครงสร้างอุโมงค์ได้รับความเสียหายจากการรั่วซึมของน้ำเข้ามาสู่ภายในตัวอุโมงค์เป็นจำนวนมาก และเป็นปัญหาหลักที่สำคัญซึ่งต้องให้การดูแลและเอาใจใส่เป็นพิเศษ ฝ่ายซ่อมบำรุงจึงกำหนดรายการและรอบเวลาการตรวจสภาพดังกล่าวเพิ่มเติมขึ้นเป็นกรณีพิเศษ

- การตรวจสภาพที่ไม่เป็นตามกำหนดเวลาหรือไม่มีกำหนดรอบระยะเวลาที่แน่นอน โดยจะกระทำเมื่อมีการร้องขอจากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายวิศวกรรม เป็นต้น หรือหลังจากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของอุโมงค์ เช่น การเกิดแผ่นดินไหว การเกิดอุบัติเหตุหรือเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ เป็นต้น

(2) การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์เชิงแก้ไข

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเป็นการบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ต้น หรือเป็นการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นเพื่อให้โครงสร้างอุโมงค์สามารถใช้งานได้ตามปกติ งานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาประเภทนี้ ได้แก่ การซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ เช่น การซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำ การซ่อมแซมรอยแตกร้าว เป็นต้น

4.3.2 กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์

ส่วนนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยการสัมภาษณ์วิศวกรซ่อมบำรุงและผู้ตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ซึ่งปฏิบัติงานในโครงการกรณีศึกษา รวมถึงได้ศึกษาโดยการสังเกตการณ์ในระหว่างการปฏิบัติงานบำรุงรักษาในสถานที่จริง

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

(1) ขั้นตอนก่อนการตรวจสภาพ

ก่อนการตรวจสภาพ วิศวกรซ่อมบำรุงจะทำการวางแผนและกำหนดเวลาการตรวจสภาพในแต่ละวันในรอบหนึ่งเดือน โดยจะกำหนดวัน เวลา ช่วงสถานี และรายละเอียดของงานที่จะปฏิบัติ จากนั้นจะทำการขออนุญาตเข้าพื้นที่เขตทางรถไฟฟ้า (Track Possession, TP) โดยแจ้งรายละเอียดของงานที่ได้วางแผนไว้ให้เจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์ทราบล่วงหน้าก่อนอย่างน้อย 1 สัปดาห์ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์ในการจัดแผนการทำงานภายในอุโมงค์ของทีมงานซ่อมบำรุงในส่วนต่างๆ ที่ได้ขออนุญาตเข้าพื้นที่เอาไว้ และเพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์ดำเนินการตัดกระแสไฟฟ้าในส่วนที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อการปฏิบัติงานได้ตามวัน เวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และช่วงสถานีที่ขออนุญาตไว้ การขออนุญาตเพื่อเข้าพื้นที่นี้นอกจากจะเป็นขั้นตอนหนึ่งซึ่งช่วยป้องกันอันตรายให้กับผู้ปฏิบัติงานแล้ว ยังเป็นการรักษาความปลอดภัยให้กับพื้นที่ภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินอีกด้วย

หลังจากที่เจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์ได้พิจารณาและอนุญาตให้สามารถเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ที่ได้ขออนุญาตไว้แล้ว จะออกหมายเลขอนุญาตการเข้าพื้นที่ในแต่ละงานให้แก่วิศวกรซ่อมบำรุง เพื่อไว้ใช้อ้างอิงในการเข้าพื้นที่ทำงานจริงต่อไป สำหรับผู้ตรวจสภาพในขั้นตอนก่อนการตรวจสภาพนี้จะทำการศึกษารายละเอียดของการตรวจสภาพครั้งก่อนๆ ที่ผ่านมา รวมถึงจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการตรวจสภาพและป้องกันอันตรายให้พร้อม เช่น แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล แบบแสดงรายละเอียด คู่มือการปฏิบัติงาน ไฟฉาย เสื้อสะท้อนแสง หน้ากากป้องกันการหายใจ อุปกรณ์สัญญาณจราจร เป็นต้น

(2) ขั้นตอนระหว่างการตรวจสภาพ

ในช่วงเวลา 1.00-4.00 น. ของแต่ละวันเป็นช่วงเวลาของการตรวจสภาพและซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์ รางรถไฟฟ้า และระบบอื่นๆ ซึ่งอยู่ภายอุโมงค์ เนื่องจากระบบรถไฟฟ้าใต้ดินปิดบริการเวลา 24.00 น. จึงต้องรอให้รถไฟฟ้าขบวนสุดท้ายวิ่งกลับเข้ามาจอดที่โรงจอดรถไฟฟ้าในบริเวณศูนย์ซ่อมบำรุง และรอให้ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้าตัดกระแสไฟฟ้าในระบบรางเสียก่อน โดยเวลาประมาณ 00.30 น. ผู้ตรวจสภาพและทีมงานซ่อมบำรุงระบบต่างๆ จะเดินทางออกจากศูนย์ซ่อมบำรุงเพื่อลงไปยังพื้นที่ปฏิบัติงานภายในอุโมงค์โดยรถราง หรือโดยเดินทางไปที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ต้องการจะลงไปในอุโมงค์ แล้วเข้าอุโมงค์โดยผ่านทางประตูทางออกของสถานีซึ่งเชื่อมต่อกับตัวอุโมงค์ เมื่อถึงพื้นที่ปฏิบัติงาน ผู้ตรวจสภาพจะใช้วิธีการเดินเท้าบนพื้นทางรถไฟฟ้าไปตามแนวเส้นทางอุโมงค์ในทิศทางที่สวนทางกับทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟฟ้าในช่วงการดำเนินการตามปกติ พร้อมกับทำการตรวจสภาพโดยทั่วไปของโครงสร้างอุโมงค์ด้วยตาเปล่า โดยสิ่งที่ทำการตรวจสภาพ ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์คอนกรีตสำเร็จรูปและสลักเกลียว

ความเสียหายต่างๆ ที่ถูกตรวจพบจะถูกบันทึกข้อมูลสภาพความเสียหายลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล ซึ่งปัจจุบันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์มีเพียงการรั่วไหลของน้ำ แบบฟอร์มที่ใช้จึงมีการใช้เพียงแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสภาพการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์ดังรูปที่ 4.12 เท่านั้น โดยข้อมูลที่จะถูกบันทึกในระหว่างการตรวจสภาพ ได้แก่ ช่วงสถานีที่ตรวจพบ

เส้นทางอุโมงค์ เลขที่วงอุโมงค์ ตำแหน่งของหน้าตัดอุโมงค์ ค่าพิกัดตำแหน่งที่ตรวจพบ บริเวณที่เกิดการรั่วไหล และลักษณะของการรั่วไหล ผู้ตรวจสภาพจะทำการตรวจสภาพตามแนวเส้นทางอุโมงค์ที่ได้วางแผนไว้ซึ่งปกติแล้ววิศวกรซ่อมบำรุงจะกำหนดระยะทางที่จะทำการตรวจสภาพไว้ประมาณ 2-3 ช่วงสถานีต่อคืน จนกระทั่งเวลาประมาณ 3.30 น. ผู้ตรวจสภาพและทีมงานซ่อมบำรุงจะหยุดปฏิบัติงานและเก็บอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้งาน แล้วเดินทางออกจากอุโมงค์กลับไปยังศูนย์ซ่อมบำรุง ซึ่งจะถึงศูนย์ซ่อมบำรุงเวลาประมาณ 4.00-4.30 น. จากนั้นก็ทำการจัดเก็บอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานเสร็จให้เรียบร้อยและจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้งานในวันต่อไปให้พร้อม

(3) ขั้นตอนหลังการตรวจสภาพ

หลังจากตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์เสร็จสิ้น ผู้ตรวจสภาพจะตรวจดูความเรียบร้อยและความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล ก่อนส่งแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพให้แก่วิศวกรซ่อมบำรุง เพื่อป้อนข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นลงในแฟ้มข้อมูลในคอมพิวเตอร์ รวมทั้งจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของเอกสาร จากนั้นข้อมูลความเสียหายเหล่านี้จะถูกวิศวกรซ่อมบำรุงนำมาประมวลและรายงานผลข้อมูลเพื่อใช้ในการบริหารจัดการงานซ่อมแซมและบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาหรือตามการร้องขอจากฝ่ายต่างๆ ซึ่งการประมวลผลข้อมูลประกอบด้วย การจำแนกและสรุปยอดรวมปริมาณและประเภทความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสถานี แต่ละเส้นทางอุโมงค์ หรือในแต่ละช่วงเวลา ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะถูกจัดทำเป็นรายงานเพื่อนำเสนอต่อผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง และใช้ในการวางแผนกำหนดเวลางาน รวมถึงใช้บริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านอื่นๆ ก่อนที่จะร้องขอการซ่อมบำรุงจากผู้รับเหมา

จากการสัมภาษณ์วิศวกรซ่อมบำรุงซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลและรายงานผลข้อมูลพบว่ามีการนำข้อมูลที่จัดเก็บไว้มาประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้อมูลที่จัดเก็บมีจำนวนมาก และใช้ระบบแฟ้มข้อมูลในการจัดเก็บ ทำให้ยากต่อการค้นหา สรุป และรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลและรายงานผลข้อมูล นอกจากนั้นแล้ว ข้อมูลที่จัดเก็บยังขาดรายละเอียดที่สำคัญซึ่งเป็นประโยชน์และต้องการใช้งานอย่างครบถ้วน การประมวลผลและจัดทำรายงานเกี่ยวกับการบำรุงรักษาให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาจึงมีค่อนข้างน้อย กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์แสดงดังรูปที่ 4.13

Inspection for Repairing Water Leak in Tunnel

Tunnel Section..... Station..... to Station.....

Tunnel Bound.....

Ring No.	Water Leak			
	At Grout Hole	At Seg. Joint	Type	Position

Type of Leaking

Position

A = Leaking under track slab

B = Leaking behind bracket of HV Cable

C = Leaking behind bracket of walkway

D = Leaking behind overhead cable tray

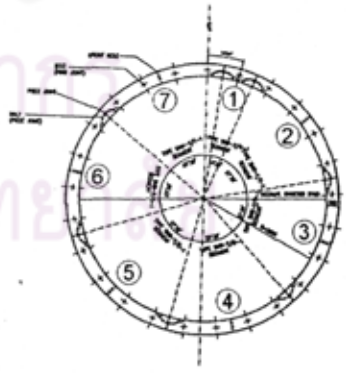
E1 = Leaking and dripping to utility, E2 = Leaking and dripping to rail

F = Leaking but not to any utility

G = Others, such as behind fire hydrant, drainage pipe, etc.

Leakage

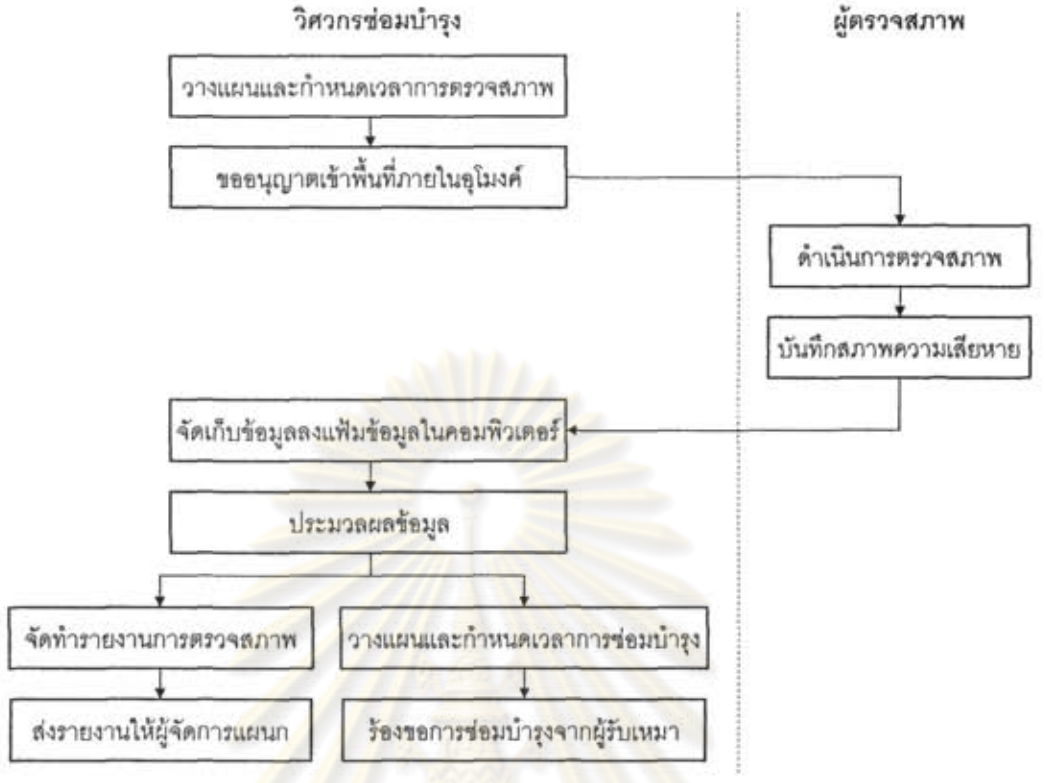
Direction to



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์

(บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2547)



รูปที่ 4.13 กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์

4.3.3 ปัญหาและอุปสรรคของการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์

จากการศึกษากระบวนการตรวจสภาพพบว่า ในกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ยังขาดการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นเพื่อประเมินถึงความต้องการและความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงความเสียหายที่เกิดขึ้น นอกจากนั้น แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพยังขาดรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญซึ่งควรจัดเก็บหลายอย่าง เช่น วันที่ตรวจสภาพ ผู้ตรวจสภาพ เลขที่อนุญาตเข้าพื้นที่ พิกัดตำแหน่งจุดที่เสียหาย ขนาด และปริมาณความเสียหาย เป็นต้น จากการขาดการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นและขาดรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญซึ่งควรจัดเก็บดังกล่าว จึงทำให้วิศวกรซ่อมบำรุงไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น การวิเคราะห์และติดตามสภาพความเสียหาย การพิจารณาความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุง การวางแผนงานซ่อมบำรุง การตรวจสอบผลการปฏิบัติงานของผู้รับเหมา การคาดการณ์การเสื่อมสภาพ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว จากการสัมภาษณ์ผู้ตรวจสภาพและสังเกตการณ์ในระหว่างการตรวจสภาพ

ภายในอุโมงค์พบว่า การใช้แบบฟอร์มกระดาษในการบันทึกข้อมูลก่อให้เกิดความยุ่งยากและไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงาน เนื่องจากภายในอุโมงค์มีแสงส่องสว่างน้อยและผู้ตรวจสภาพจำเป็นต้องเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของกระบวนการตรวจสภาพนี้ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาต่อไป โดยควรทำการออกแบบและพัฒนาแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลให้มีความเหมาะสมกับสิ่งที่ทำการตรวจสภาพ มีรายละเอียดข้อมูลซึ่งควรจัดเก็บครบถ้วนและตรงต่อความต้องการของบุคคลากรในแต่ละระดับในการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ นอกจากนั้นแล้ว ข้อมูลที่จัดเก็บได้ควรอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการประมวลผลและนำเข้าสู่ฐานข้อมูล

4.3.4 การเปรียบเทียบกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ของไทยและต่างประเทศ

จากการศึกษากระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยและต่างประเทศซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 พบว่า โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของทั้งประเทศไทยและต่างประเทศมีพื้นฐานและรูปแบบการปฏิบัติงานที่คล้ายคลึงกัน แต่ในต่างประเทศการตรวจสภาพมีวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นระบบมากกว่าของไทย ทั้งนี้เนื่องมาจากในต่างประเทศมีการใช้งานระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมายาวนานกว่าประเทศไทย จึงมีความเชี่ยวชาญและความพร้อมในการบริหารจัดการมากกว่าของไทยทั้งด้านการให้บริการและการบริหารจัดการอุโมงค์ ซึ่งแตกต่างกับประเทศไทย ซึ่งเพิ่งจะมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินใช้งานเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาจึงยังไม่มีความเชี่ยวชาญและมีความพร้อมเช่นเดียวกับต่างประเทศซึ่งมีประสบการณ์จากการใช้งานและการบริหารจัดการเป็นอย่างดี

จากการศึกษาถึงกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยและในองค์การต่างๆ ของต่างประเทศดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ได้นำข้อมูลจากการศึกษาดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างกันของกระบวนการดังกล่าวระหว่างของไทยและของต่างประเทศ ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยและของต่างประเทศ

รายละเอียด	ต่างประเทศ	ประเทศไทย
อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูลการตรวจสภาพ	แบบฟอร์มกระดาษ	แบบฟอร์มกระดาษ
ข้อมูลที่จัดเก็บ		
• ตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย	จัดเก็บ	จัดเก็บ
• ประเภทความเสียหาย	จัดเก็บ	จัดเก็บ
• ขนาดและปริมาณความเสียหาย	จัดเก็บ	ไม่จัดเก็บ
การประเมินสภาพความเสียหาย		
• ระดับความรุนแรงของความเสียหาย	MTA	ไม่ประเมิน
• ความสำคัญของความเสียหาย	NYCT	ไม่ประเมิน
• สภาพโดยรวมของแต่ละองค์ประกอบ	MTA, CTA, BART	ไม่ประเมิน
ระบบที่ใช้จัดเก็บข้อมูลเพื่อการจัดการ	ระบบฐานข้อมูล	ระบบแฟ้มข้อมูล

หมายเหตุ

MTA หมายถึง The Mass Transit Administration of Maryland (MTA); Baltimore

NYCT หมายถึง The New York City Transit Authority (NYCT)

CTA หมายถึง The Chicago Transit Authority (CTA)

BART หมายถึง The Bay Area Mass Transit (BART); San Francisco

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการปฏิบัติงาน รวมถึงแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสภาพขององค์การในต่างประเทศพบว่า กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในต่างประเทศมีการจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญอย่างครบถ้วนเพื่อใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ทั้งข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการตรวจสภาพและข้อมูลรายละเอียดสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น อีกทั้งมีการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นโดยใช้เกณฑ์ประเมินซึ่งแต่ละระบบขนส่งมวลชนได้พัฒนาขึ้นมาใช้เอง นอกจากนั้น ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาพบว่า ข้อมูลสภาพความเสียหายและข้อมูลจากการประเมินสภาพทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาเพื่อนำมาประมวลผลและรายงานผลข้อมูลสำหรับใช้ใน

การบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอีกด้วย เช่น การกำหนดนโยบายการบำรุงรักษา การจัดลำดับของการซ่อมบำรุง รวมถึงการวางแผน ควบคุม และติดตามงานบำรุงรักษา เป็นต้น

แต่สำหรับกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยยังขาดการจัดเก็บรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญอย่างครบถ้วน และขาดการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้น จึงทำให้วิศวกรซ่อมบำรุงไม่สามารถวิเคราะห์ถึงความต้องการและความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงเพื่อตัดสินใจทำการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา กระบวนการตรวจสภาพของไทยยังขาดการจัดเก็บข้อมูลให้เป็นระบบและสามารถนำข้อมูลมาใช้งานได้ง่ายด้วยการใช้ระบบฐานข้อมูล โดยยังคงใช้ระบบแฟ้มข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลอยู่ ทำให้การสืบค้นและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลและจัดทำรายงานผลข้อมูลต้องใช้เวลานานและไม่สะดวก จึงส่งผลให้การจัดทำรายงานการซ่อมบำรุงให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละระดับยังมีค่อนข้างน้อย

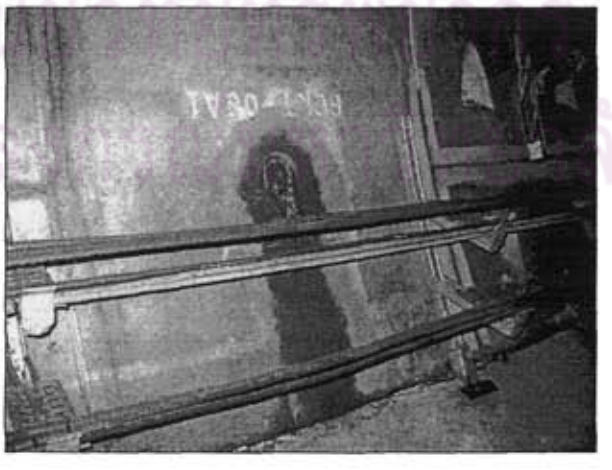
ในส่วนของการจัดการข้อมูลของกระบวนการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ในต่างประเทศได้ให้ความสำคัญกับการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลทั้งข้อมูลสภาพความเสียหายและข้อมูลจากการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นมากกว่ากระบวนการตรวจสภาพของประเทศไทย นอกจากนั้น ในต่างประเทศยังมีระบบการเก็บรักษาข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาได้อย่างเป็นระบบโดยการใช้ระบบฐานข้อมูลเข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูลดังกล่าว ซึ่งช่วยให้การสืบค้น ประมวลผลและรายงานผลข้อมูลต่างๆ มีความถูกต้อง แม่นยำ สะดวก และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น การจัดการข้อมูลในงานบำรุงรักษาจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานบำรุงรักษามีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้น ระบบการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของประเทศไทยจึงควรให้ความสำคัญกับการจัดการข้อมูลและสารสนเทศด้านการบำรุงรักษาให้มากยิ่งขึ้นอย่างทั่วทั้งระบบ และควรริเริ่มพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการบำรุงรักษาที่เหมาะสมอย่างจริงจังเพื่อใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในด้านต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

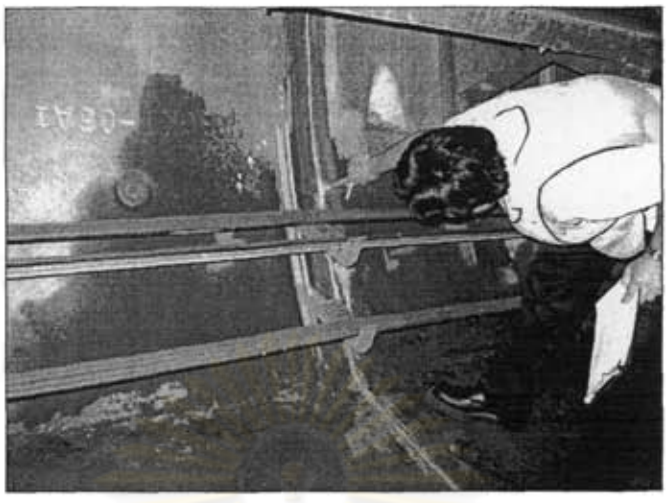
4.3.5 ความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ในปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าโครงสร้างอุโมงค์จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบปิดและมีการฉีดน้ำปูนโดยรอบช่องว่างด้านนอกของอุโมงค์เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำใต้ดินแล้ว แต่จากการสำรวจความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษาพบว่า ความเสียหายที่สำคัญของโครงสร้างอุโมงค์ที่พบมากที่สุด คือ การรั่วไหลของน้ำ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการก่อสร้างที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดช่องว่างรอบๆ ตัวโครงสร้างอุโมงค์ จึงส่งผลให้น้ำใต้ดินแทรกซึมเข้ามาตามช่องว่างและทะลุผ่านจุดเชื่อมต่อและรอยต่อต่างๆ รอบอุโมงค์จนกระทั่งเกิดการรั่วไหลของน้ำขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นที่บริเวณผนังอุโมงค์ด้านข้างบริเวณรูฉีดน้ำปูน (grout hole) และบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ (segment joint) ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

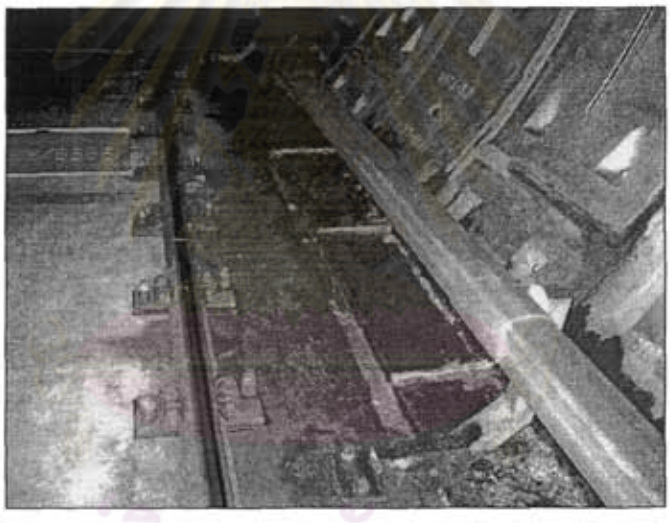
น้ำที่รั่วไหลเข้ามาในอุโมงค์จะถูกระบายออกสู่ภายนอกอุโมงค์ด้วยระบบระบายน้ำซึ่งอยู่ภายในอุโมงค์ โดยน้ำที่รั่วไหลออกมาจากด้านข้างผนังอุโมงค์จะค่อยๆ ไหลลงสู่ทางระบายน้ำบนพื้นทางรถไฟฟ้าดังรูปที่ 4.16 แล้วไหลลงสู่บ่อดัก (catch pits) ที่ฝังอยู่ในคอนกรีตชั้นที่หนึ่งซึ่งห่างกันประมาณ 30 เมตร ตลอดความยาวอุโมงค์ และไหลไปรวมกันยังบ่อระบายน้ำหลักซึ่งอยู่ภายในปล่องระบายอากาศระหว่างสถานี (intervention shafts) ซึ่งเป็นระดับต่ำที่สุดของแนวอุโมงค์ก่อนที่จะถูกสูบออกไปภายนอกอุโมงค์ด้วยเครื่องสูบน้ำ ระบบระบายน้ำจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำที่รั่วซึมเข้ามาและน้ำจากขบวนรถไฟฟ้าไหลเข้าสู่บริเวณรางรถไฟฟ้าซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ อย่างไรก็ตาม การรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์สามารถยอมให้เกิดขึ้นได้ แต่ต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ก่อให้เกิดผลในด้านลบแก่ระบบอื่นๆ ของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 4.14 การรั่วไหลของน้ำบริเวณรูฉีดน้ำปูน



รูปที่ 4.15 การรั่วไหลของน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีต



รูปที่ 4.16 การไหลของน้ำที่รั่วซึมจากผนังอุโมงค์ด้านข้างลงสู่ทางระบายน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.6 การซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์

งานซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์เป็นการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขหรือเป็นการซ่อมแซมหลังจากเกิดความเสียหายขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนและจัดเตรียมวัสดุ เครื่องมือ รวมถึงกำลังคนให้พร้อมก่อนการทำงาน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจทำการซ่อมแซมจุดที่เกิดการรั่วไหลของน้ำ คือ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลและสภาพขององค์ประกอบ

อุโมงค์ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำ เนื่องจากภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วยอุปกรณ์ของระบบอื่นๆ ที่ใช้ในการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่น ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบอาณัติสัญญาณ ระบบราง ระบบรางที่สาม ระบบป้องกันอัคคีภัย ระบบคลื่นวิทยุ เป็นต้น น้ำที่รั่วไหลและหยดลงสู่อุปกรณ์เหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดอันตรายและผลเสียต่อระบบการเดินรถไฟฟ้าใต้ดินได้ การซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำจึงต้องพิจารณาถึงตำแหน่งและลักษณะของการรั่วไหลของน้ำเป็นสำคัญ โดยจุดที่เกิดการรั่วไหลของน้ำแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบอื่นๆ จะยังไม่รับการซ่อมแซมในทันที แต่จุดที่เกิดการรั่วไหลแล้วส่งผลเสียต่อระบบหรืออุปกรณ์อื่นๆ จะได้รับการซ่อมแซมก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นต่อระบบโดยรวม

วิธีการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำที่ใช้กับโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษานี้ ได้แก่ การฉีดรอยแตกและรอยต่อที่เกิดการรั่วไหลด้วยสารเคมีสำหรับอุดรอยรั่วของน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการป้องกันน้ำรั่วซึมในอุโมงค์คอนกรีตที่ใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำหยุดไหลได้ดีกว่าการฉีดด้วยปูนซีเมนต์หรือน้ำปูนซึ่งเป็นวัสดุสำหรับอุดที่ไม่ยืดหยุ่น โดยสารเคมีที่ใช้ในการอุดรอยรั่วของน้ำ ได้แก่ polyurethane foam (PU foam) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ดีที่สุดสำหรับงานซ่อมแซมอุโมงค์ สำหรับการซ่อมแซมการรั่วไหลของน้ำที่บริเวณรูฉีดน้ำปูน หากซ่อมแซมด้วยวิธีการฉีดสารเคมีแล้วไม่ได้ผล จะซ่อมแซมโดยใช้วิธีการเปลี่ยนฝาอุดรูตัวใหม่แทนการซ่อมแซมด้วยวิธีการเดิม

4.4 ระบบการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า

วัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษานี้ คือ เพื่อรักษาสภาพรางรถไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่ดีและพร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา เนื่องจากการเดินรถไฟฟ้าเพื่อให้บริการและผลกระทบจากการจราจรอาจทำให้ส่วนประกอบต่างๆ ของรางรถไฟฟ้าเกิดความเสื่อมสภาพและความเสียหายขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพความชำรุดเสียหายให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545) โดยคำนึงถึงข้อจำกัด ดังนี้

(1) ต้องรักษาสภาพรางรถไฟฟ้าให้พร้อมเสมอสำหรับการเดินรถไฟฟ้า

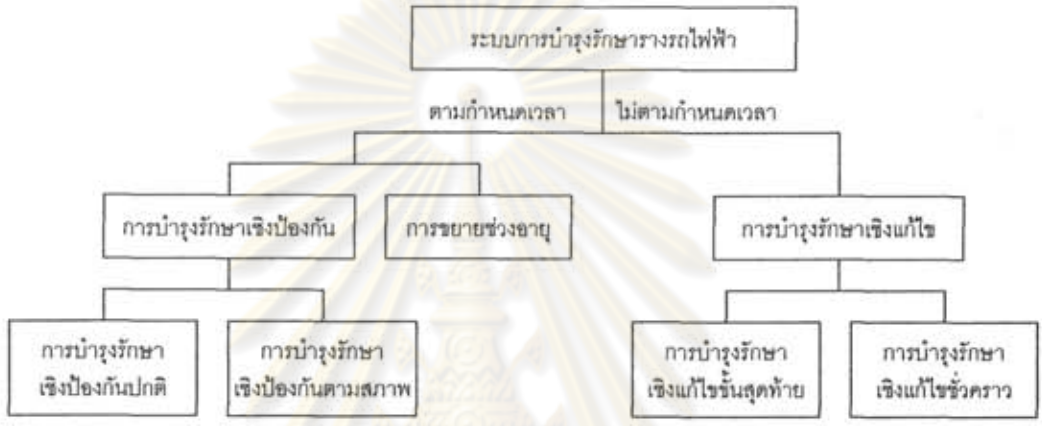
(2) ประกันความปลอดภัยของผู้โดยสารและการเดินรถไฟฟ้า

(3) ประกันความสะดวกสบายของผู้โดยสาร

(4) ลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อฝ่ายการเดินรถไฟฟ้าให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

4.4.1 ประเภทของการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า

การบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าของโครงการกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามกำหนดเวลา ได้แก่ การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาและการบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา โดยการบำรุงรักษาทั้งสองประเภทนี้ประกอบด้วยการบำรุงรักษาย่อยประเภทอื่นๆ ซึ่งประกอบกันเป็นระบบดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 โครงสร้างระบบการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

(1) การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (scheduled maintenance)

การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) หรือเป็นการบำรุงรักษาเชิงวางแผน (planned maintenance) การบำรุงรักษาประเภทนี้มีความสำคัญต่อการรักษาสภาพของรางรถไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลง โดยมุ่งเน้นในการระบุต้นตอของปัญหาและทำการแก้ไขก่อนที่ความเสียหายนั้นจะเกิดขึ้น การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาประกอบด้วย การบำรุงรักษาเชิงป้องกันปกติ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามสภาพ และการขยายช่วงอายุ

- การบำรุงรักษาเชิงป้องกันปกติ (regular preventive maintenance) เป็นการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาของรอบงานที่ได้กำหนดไว้อย่างชัดเจน ประกอบด้วย การตรวจสภาพ การวัดขนาด และการซ่อมบำรุงเล็กๆ น้อยๆ เช่น การขันสลักเกลียวให้แน่น การทำความสะอาด เป็นต้น

- การบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามสภาพ (conditional preventive maintenance) มีกำหนดเวลาการซ่อมบำรุงขึ้นอยู่กับผลของการตรวจสภาพ โดยทั่วไปแล้วลักษณะงานจะเกี่ยวข้องกับการแก้ไขตำแหน่งของอุปกรณ์ การเปลี่ยนใหม่ในบางจุด การขันเครื่องยึดเหนี่ยวรางให้แน่น และงานแก้ไขอื่นๆ

- การขยายช่วงอายุ (renewal) เป็นการเปลี่ยนส่วนประกอบต่างๆ ของรางรถไฟฟ้าใหม่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของส่วนประกอบนั้นๆ การขยายช่วงอายุจะถูกกำหนดเวลาการซ่อมบำรุงไว้ล่วงหน้าก่อนที่ช่วงอายุออกแบบใช้งานของส่วนประกอบนั้นจะหมดลงหรือเมื่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแพงเกินไป นอกจากนั้นยังสามารถดำเนินการได้หลังจากที่เกิดอุบัติเหตุใหญ่ขึ้นในอุโมงค์ เช่น การตกรางหรือการชนกันของรถไฟฟ้า เป็นต้น

(2) การบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา (unscheduled maintenance)

การบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาหรือการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance, CM) เป็นการบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเป็นการแก้ไขดัดแปลงให้ดีขึ้น เพื่อลดเหตุขัดข้อง หรือลดความเสียหายในด้านอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้น การบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาจึงเป็นงานที่ต้องมีการเตรียมตัวล่วงหน้าและต้องมีความพร้อมของกำลังคน วัสดุ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาประเภทนี้ ได้แก่ การซ่อมแซมความเสียหายฉุกเฉินทั้งหมดที่เกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการปฏิบัติการของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่น รางรถไฟฟ้าแตกหัก เครื่องยึดเหนี่ยวรางแตกหักหรือหลวม ระบบระบายน้ำอุดตันหรือมีสิ่งกีดขวาง หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้าบกพร่อง เป็นต้น การบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาประกอบด้วยการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้าย

- การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว (temporary corrective maintenance) เป็นการบำรุงรักษาเพื่อฟื้นฟูสภาพการจราจรในรางรถไฟฟ้าในทันทีที่สามารถทำได้ แม้ว่าอาจจะอยู่ในสภาพที่คุณภาพลดระดับลงก็ตาม เช่น ต้องจำกัดความเร็วในการเดินรถไฟฟ้า เป็นต้น การซ่อมแซมจะกระทำในลักษณะของการแก้ไขหรือดัดแปลงอุปกรณ์ที่ได้รับความชำรุดเสียหายชั่วคราวเพื่อให้ยังสามารถใช้งานได้ ลักษณะงานของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว ได้แก่ การซ่อมแซมฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุการณ์ซึ่งมีผลต่อเส้นทางเดินรถไฟฟ้าเพื่อให้บริการสาธารณะ มีผลต่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร หรือมีความเสี่ยงต่อการเดินรถไฟฟ้า

- การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้าย (final corrective maintenance) เป็นการแก้ไขปัญหาหรือความเสียหายที่สาเหตุจนเสร็จสิ้น เช่น การเข้าซ่อมบำรุงหลังจากเกิดอุบัติเหตุตามลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นต้น

4.4.2 กระบวนการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานซึ่งทำให้รับทราบถึงสภาพความเสียหายและความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรางรถไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจทั้งสภาพทางกายภาพและสภาพการใช้งานของรางรถไฟฟ้า เพื่อดำเนินการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย การตรวจสภาพด้วยตาเปล่าจากห้องคนขับรถไฟฟ้าซึ่งกระทำทุกสัปดาห์ และการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้าซึ่งกระทำทุกครึ่งเดือน

ขั้นตอนและกระบวนการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าด้วยตาเปล่าจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้าและโดยการเดินเท้ามีขั้นตอนโดยรวมคล้ายคลึงกับการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ซึ่งนำเสนอแล้วในหัวข้อ 4.3.2 โดยเริ่มจากวิศวกรซ่อมบำรุงทำการวางแผนและกำหนดเวลางานตรวจสภาพ จากนั้นส่งรายละเอียดงานที่ได้วางแผนไว้ให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์เพื่อขออนุญาตเข้าพื้นที่ในอุโมงค์ หลังจากได้รับอนุญาตผู้ตรวจสภาพจึงดำเนินการตรวจสภาพ จัดเก็บและบันทึกข้อมูลสภาพความเสียหายลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล การตรวจสภาพด้วยตาเปล่าจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้าจะกระทำในระหว่างการเดินรถไฟฟ้าด้วยความเร็วปกติ ส่วนการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้าจะกระทำในช่วงเวลา 1.00-4.00 น. ในทุกๆ คืน ซึ่งเป็นช่วงเวลาซ่อมบำรุงตามปกติ หลังจากตรวจสภาพเสร็จสิ้น ผู้ตรวจสภาพก็จะส่งแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลความเสียหายให้กับวิศวกรซ่อมบำรุงเพื่อป้อนข้อมูลจัดเก็บลงในแฟ้มข้อมูลในคอมพิวเตอร์ จากนั้นวิศวกรซ่อมบำรุงจะประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อส่งให้กับผู้จัดการแผนกและร้องขอการซ่อมแซมจากผู้รับเหมา

ความแตกต่างกันระหว่างกระบวนการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ได้แก่ สิ่งที่ทำการตรวจสภาพ ความถี่ของการตรวจสภาพ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และข้อมูลที่บันทึก จากการศึกษาแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าพบว่า แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลดังกล่าวไม่ได้เป็นแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลความเสียหายประเภทใดประเภทหนึ่งโดยเฉพาะเช่นเดียวกับการตรวจสภาพการรั่วไหลของน้ำในการตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ แต่เป็นแบบฟอร์มซึ่งสามารถกรอกข้อมูลประเภทความเสียหายได้หลากหลายตามลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องจากรางรถไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลายส่วนและแต่ละส่วน ประกอบด้วยประเภทความเสียหายหลายประเภท จึงควรออกแบบแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลให้สามารถบันทึกข้อมูลความเสียหายได้หลายประเภทในแบบฟอร์มเดียวดังตัวอย่างแบบฟอร์มในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ซึ่งส่งผลให้ในการประมวลผลข้อมูลต้องทำการคัดแยกข้อมูลส่วนประกอบของรางรถไฟฟ้าที่เสียหาย ประเภทความเสียหาย และรายละเอียดอื่นๆ ที่ได้จัดเก็บมาอีกครั้งหนึ่ง ก่อนนำมาสรุปและจัดทำเป็นรายงานให้แก่ผู้จัดการแผนก

4.4.3 การปฏิบัติงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าเพื่อการป้องกัน

การปฏิบัติงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าเพื่อการป้องกันในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษาประกอบด้วย การตรวจสภาพรายสัปดาห์ การตรวจสภาพทุกครึ่งเดือน การซ่อมบำรุงทุก 6 เดือน และการซ่อมบำรุงประจำปี ในช่วงแรกของการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน การบำรุงรักษาเพื่อการป้องกันจะใช้รอบการดำเนินงานดังกล่าวเหล่านี้ แต่หลังจากได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของวัสดุและวิวัฒนาการการสึกหรอของส่วนประกอบรางรถไฟฟ้า รอบการดำเนินงานเหล่านี้สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของวัสดุได้ กิจกรรมและกำหนดเวลาทั้งหมดในการบำรุงรักษาเพื่อการป้องกันแสดงดังรูปที่ 4.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Checked by:	WO No.: .....
Date:	PM.: .....
Access Track Time:	Work Permit No.: .....
Return Track Time:	Start: .....
Task Group:	End: .....

Track Patrol in driver's cabin

Item	Description	left	Right	Chainage	Remark
	North Bound Track				
	HUA-SAM			CH. 10+219.543 – 11+715.596	
	SAM-SIL			CH. 11+715.596 – 12+536.967	
	SIL-LUM			CH. 12+536.967 - 13+520.410	
	LUM-KLO			CH. 13+520.410 – 14+505.141	
	KLO-SIR			CH. 14+505.141 - 15+313.590	
	SIR-SUK			CH. 15+313.599 - 17+014.802	
	SUK-PET			CH. 17+014.802 - 18+320.440	
	PET-RAM			CH. 18+320.440 - 19+246.236	
	RAM-CUL			CH. 19+246.236 - 20+417.230	
	CUL-HUI			CH. 20+417.236 - 21+832.134	
	HUI-SUT			CH. 21+832.134 - 23+086.382	
	SUT-RAT			CH. 23+086.382 - 24+099.524	
	RAT-LAT			CH. 24+099.524 - 25+044.074	
	LAT-PHA			CH. 25+044.074 - 26+468.288	
	PHA-CHA			CH. 26+468.288 - 28+122.373	
	CHA-KAM			CH. 28+122.373 - 28+934.692	
	KAM-BAN			CH. 28+934.692 - 29+905.462	
	South Bound Track				
	BAN-KAM			CH. 29+017.316 - 29+978.209	
	KAM-CHA			CH. 28+218.650 - 29+017.316	
	CHA-PHA			CH. 26+520.033 - 28+218.650	
	PHA-LAT			CH. 25+520.033 - 26+520.033	
	LAT-RAT			CH. 24+137.803 - 25+520.033	
	RAT-SUT			CH. 23+124.689 - 24+137.803	
	SUT-HUI			CH. 21+870.412 - 23+124.689	
	HUI-CUL			CH. 20+443.151 - 21+870.412	
	CUL-RAM			CH. 19+278.266 - 20+443.151	
	RAM-PET			CH. 18+352.449 - 19+278.266	
	PET-SUK			CH. 17+046.969 - 18+352.449	
	SUK-SIR			CH. 15+343.251 - 17+046.969	
	SIR-KLO			CH. 14+505.685 - 15+343.251	
	KLO-LUM			CH. 13+520.947 - 14+505.685	
	LUM-SIL			CH. 12+537.549 - 13+520.947	
	SIL-SAM			CH. 11+716.178 - 12+537.549	
	SAM-HUA			CH. 10+220.983 - 11+716.176	

Remarks :

W/R = friction between wheel & rail	N = noise	Q = vertical difference
W/G = friction between wheel & guard rail	X = corrugation	S = sag
W/G = friction between wheel & check rail	W = wriggle	T = tear and wear

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้า (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2547)

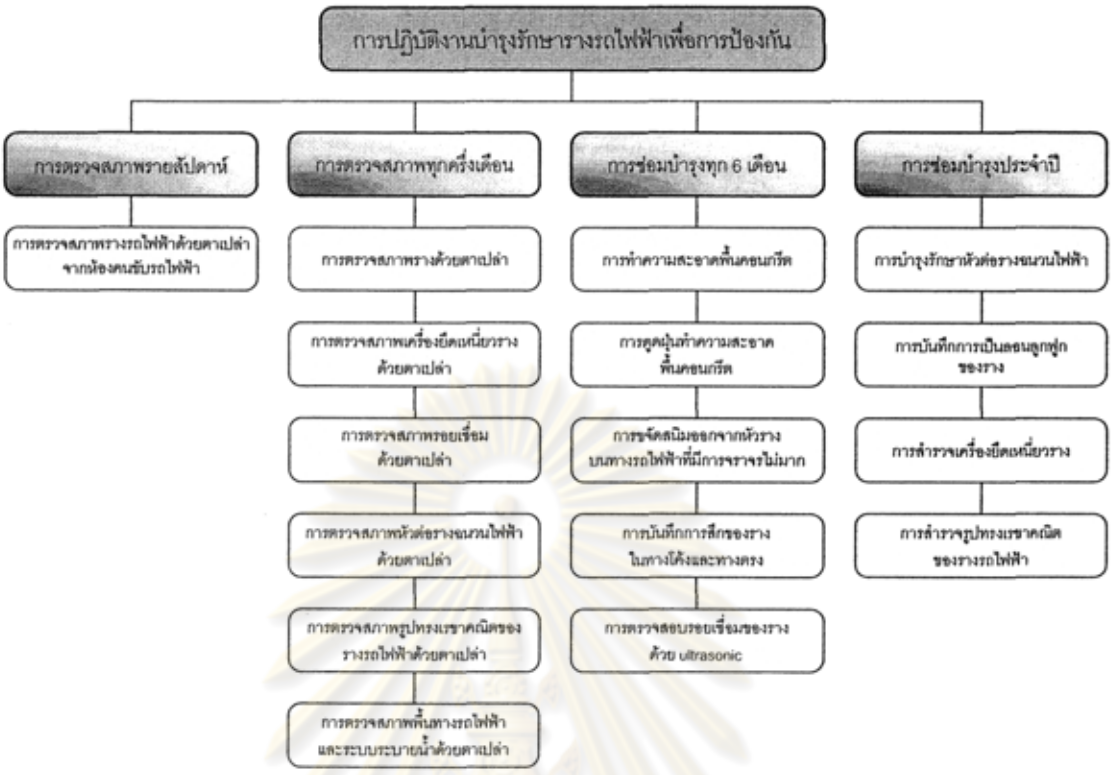
Date:		WO No.: .....
Access Track Time:	☐ Mainline	TP No.: .....
Move Out Track Time:		Start: .....
Checked by:	☐ Depot	End: .....
Task Group:		Reported by: .....

Track Patrol on Foot

Item	Description	Left	Right	Chainage/Bound	Remark

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าโดยการเดินเท้า (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2547)



รูปที่ 4.20 กิจกรรมและกำหนดเวลาการบำรุงรักษาเพื่อการป้องกัน

(1) การตรวจสภาพรายสัปดาห์ (weekly inspection)

การตรวจสภาพรายสัปดาห์เป็นการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้า (track patrol in driver's cabin) ในระหว่างการเดินรถไฟฟ้าด้วยความเร็วปกติ ความเสียหายและความผิดปกติที่ถูกตรวจพบจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.18 เพื่อทำการตรวจสภาพซ้ำอีกครั้งในระหว่างการตรวจสภาพด้วยการเดินเท้า ความเสียหายและความผิดปกติที่จะถูกบันทึกในระหว่างการตรวจสภาพจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้า ได้แก่

- ความบกพร่องทางรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้าโดยเฉพาะการทรุดตัวภายใต้การรับน้ำหนักของขบวนรถไฟฟ้า
- การเป็นลอนลูกฟูกของราง ณ ที่ผิวสัมผัสของล้อกับราง
- เสียงที่ดังผิดปกติ
- การเกิดประกายไฟ
- ความเสี่ยงในการจัดเก็บวัสดุล่วงล้ำเข้าไปในเขตทางเดินรถไฟฟ้า
- การเสียดสีระหว่างล้อกับรางกันตก (guard rail)

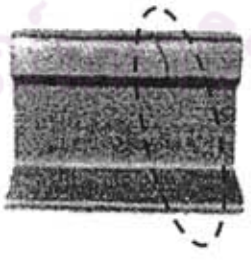
- การเสียดสีระหว่างล้อกับราง
- การบิดเบี้ยว
- การสึกหรอ เป็นต้น

(2) การตรวจสภาพทุกครึ่งเดือน (fortnight inspection)

การตรวจสภาพทุกครึ่งเดือนเป็นการตรวจสภาพด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้า (track patrol on foot) จะกระทำในช่วงเวลา 1.00–4.00 น. ของทุกๆ คืน ซึ่งเป็นช่วงนอกเวลาการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน การตรวจสภาพทุกครึ่งเดือนมุ่งเน้นในการตรวจสภาพส่วนประกอบหลักและชิ้นส่วนประกอบย่อยของรางรถไฟฟ้า รวมถึงตรวจสภาพการรั่วไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในอุโมงค์ เนื่องจากน้ำที่รั่วไหลเข้ามาภายในอุโมงค์อาจทำให้รางและเครื่องยึดเหนี่ยวรางได้รับความเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสภาพการรั่วไหลของน้ำร่วมด้วย รายละเอียดความเสียหายต่างๆ ที่ถูกตรวจพบจะถูกบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 4.19 เพื่อแจ้งให้แผนกงานซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้องดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมความเสียหายต่อไป และนำข้อมูลมาประมวลผลและจัดทำเป็นรายงานสำหรับติดตามสภาพการเกิดและการเปลี่ยนแปลงความเสียหายที่เกิดขึ้น การตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าโดยการเดินเท้าประกอบด้วยกิจกรรมการตรวจสภาพ ดังนี้

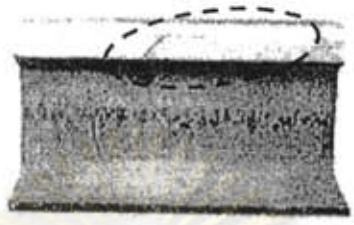
- การตรวจสภาพรางด้วยตาเปล่า รางเป็นส่วนประกอบของรางรถไฟฟ้าซึ่งต้องสัมผัสกับล้อรถไฟฟ้าโดยตรงจึงมักเกิดความเสียหายจากการใช้งานของขบวนรถไฟฟ้าอยู่เสมอ ความเสียหายของรางที่สำคัญและสามารถตรวจพบได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่

- รอยแตกตัดขวางของหัวราง (transverse crack of the rail head) เมื่อตรวจพบรอยแตกตัดขวางของหัวรางดังรูปที่ 4.21 รางที่เสียหายจะได้รับการติดตั้งตัวเสริมความแข็งแกร่งของรางเป็นการชั่วคราวในทันทีและจะได้รับการเปลี่ยนรางใหม่โดยเร็วที่สุด



รูปที่ 4.21 รอยแตกตัดขวางของหัวราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- รอยแตกแนวยาวของหัวราง (horizontal crack of the rail head) เมื่อตรวจพบรอยแตกแนวยาวของหัวรางดังรูปที่ 4.22 รางที่เสียหายจะได้รับการติดตั้งตัวเสริมความแข็งแกร่งของรางเป็นการชั่วคราวในทันทีและจะได้รับการเปลี่ยนรางใหม่โดยเร็วที่สุด



รูปที่ 4.22 รอยแตกแนวยาวของหัวราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- การหลุดออกเป็นแผ่น (shelling) ดังรูปที่ 4.23 โดยทั่วไปมักเกิดขึ้นกับรางนอกในทางโค้งและสามารถทำให้เกิดรอยแตกตัดขวางของหัวรางได้ ในการเดินตรวจสภาพแต่ละครั้ง หากขนาดของการหลุดออกเป็นแผ่นมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเกิดความเสียหายอื่นๆ ขึ้นบนราง รางที่เสียหายจะได้รับการเปลี่ยนรางใหม่ภายในหนึ่งสัปดาห์

รูปที่ 4.23 การหลุดออกเป็นแผ่นของราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- การเป็นลอนลูกฟูก (corrugation) ดังรูปที่ 4.24 โดยทั่วไปการเกิดเป็นลอนลูกฟูกมักเกิดขึ้นในบริเวณทางโค้งที่มีรัศมีสั้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มแรงสั่นสะเทือนจากการวิ่งของขบวนรถไฟฟ้าได้ สำหรับในพื้นที่ที่มีความแข็งแรงน้อย การเป็นลอนลูกฟูกอาจทำให้เกิดมลภาวะทางเสียงได้ เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจะส่งผ่านจากชั้นดินเข้าสู่อาคารโดยรอบ และเมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง แรงสั่นสะเทือนนี้สามารถเพิ่มแรงเค้นบนส่วนประกอบต่างๆ ของขบวนรถไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม การเกิดเป็นลอนลูกฟูกนี้จะไม่มีผลต่อความปลอดภัยของการเดินรถไฟฟ้าในทันที การแก้ไขการเป็นลอนลูกฟูกทำได้โดยการเจียหัวรางให้เรียบ

รูปที่ 4.24 การเป็นลอนลูกฟูกของราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- การสึกของราง (wear of rail) การสึกของรางมีทั้งการสึกที่ด้านข้างและการสึกในแนวตั้งดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ รางที่สึกจะได้รับการตรวจวัดขนาดของการสึกในระหว่างการเดินตรวจสภาพโดยใช้คาลิปเปอร์ สำหรับรางในทางตรงจะได้รับการตรวจวัดค่าการสึกของรางทุกระยะ 100 เมตร ทุกรอบ 6 เดือน รางในทางโค้งจะได้รับการตรวจวัดค่าการสึกของรางทุกระยะ 20 เมตร ทุกรอบ 6 เดือน และสำหรับรางในบริเวณที่มีความชื้นสูง ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการสึกกร่อน ความถี่ของการตรวจวัดจะถูกกำหนดขึ้นจากอัตราการสึกกร่อน

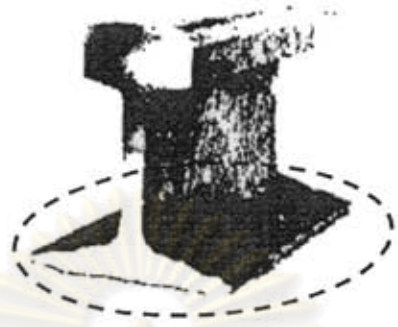
ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 4.25 การสึกที่ด้านข้างของราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.26 การสึกในแนวตั้งของราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- การผุกร่อนของตีนราง (corrosion of the rail foot) ตีนรางมีโอกาสที่จะเกิดการผุกร่อนขึ้นได้ โดยจะมีผลทำให้ขนาดของตีนรางลดลงอย่างผิดปกติดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การผุกร่อนของตีนราง (กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล, 2545)

- การตรวจสภาพเครื่องยึดเหนี่ยวรางด้วยตาเปล่า ความเสียหายของเครื่องยึดเหนี่ยวรางที่สำคัญและสามารถตรวจพบได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่

- การแตกร้าวบนพื้นคอนกรีตใต้เครื่องยึดเหนี่ยวราง

- การสึก การแตก และการคลายตัวของ bush สปริงเกลียว น็อต แหวน แผ่นรองราง และสลักเกลียวรูปสมอ

- การคลายตัวและการแตกของตัวหนีบรับแรงดึงและสลักรูปตัวที

- การแตกและการหักของสลักเกลียวรูปสมอ

โดยปกติแล้วระบบเครื่องยึดเหนี่ยวรางต้องการการบำรุงรักษาต่ำมาก ส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้รับความเสียหายจะได้รับการเปลี่ยนใหม่หรือขันให้แน่นภายในหนึ่งสัปดาห์ ในกรณีที่พบเครื่องยึดเหนี่ยวรางสามตัวติดต่อกันมีส่วนประกอบที่ชำรุดเสียหายจะดำเนินการแก้ไขภายในคืนเดียวกัน และในกรณีที่ตรวจพบการแตกร้าวบนพื้นคอนกรีตใต้เครื่องยึดเหนี่ยวรางมากกว่าสามตัวติดต่อกันจะต้องซ่อมแซมรอยแตกร้าวนั้นโดยการฉีดวัสดุผสานรอยแตกและตรวจสอบความแข็งแรงของเครื่องยึดเหนี่ยวรางภายในหนึ่งสัปดาห์

- การตรวจสภาพรอยเชื่อมด้วยตาเปล่า รอยเชื่อมโดยเฉพาะรอยเชื่อม alumino-thermic เป็นจุดอ่อนของรางจึงต้องใช้ความระมัดระวังในการเชื่อมเป็นอย่างยิ่ง ความเสียหายของรอยเชื่อมที่สามารถตรวจพบได้ด้วยตาเปล่า มีดังนี้

- ความเสียหายทางรูปทรงเรขาคณิตของรอยเชื่อม สามารถตรวจพบได้ในระหว่างการตรวจสภาพโดยการเดินเท้าและยังสามารถตรวจพบได้ในระหว่างการตรวจสภาพ

ภายในห้องคนขับรถไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนที่มีเสียงดังอึกทึกในระหว่างที่รถไฟฟ้าวิ่งผ่าน รอยเชื่อมที่มีความเสียหายทางรูปทรงเรขาคณิตในแนวตั้งซึ่งมีขนาดน้อยกว่า 5 ม.ม. สามารถแก้ไขได้โดยการเจียหัวรางบริเวณรอยเชื่อมด้วยเครื่องเจียรางชนิดพกพา แต่หากความเสียหายนั้นมีขนาดมากกว่า 5 ม.ม. จะต้องเปลี่ยนรางใหม่ภายในหนึ่งสัปดาห์

- รอยแตกตัดขวางของรางในรอยเชื่อม เมื่อตรวจพบรอยแตกตัดขวางของรางในรอยเชื่อม รางที่เสียหายจะได้รับการติดตั้งตัวเสริมความแข็งแกร่งของรางเป็นการชั่วคราวในทันทีและจะได้รับการเปลี่ยนรางใหม่โดยเร็วที่สุด

- การตรวจสภาพหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้าด้วยตาเปล่า ประกอบด้วย การตรวจสภาพรูปลักษณ์ของส่วนประกอบของหัวต่อสลักของแผ่นประกับราง แผ่นลิ่มแบบฉนวน และแผ่นประกับราง เมื่อตรวจพบชิ้นส่วนที่แตก ชิ้นส่วนดังกล่าวจะได้รับการเปลี่ยนใหม่ภายในหนึ่งเดือน

- การตรวจสภาพรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้าด้วยตาเปล่า โดยปกติแล้วรางรถไฟฟ้าชนิดยึดติดโดยตรงกับพื้นคอนกรีตถูกก่อสร้างขึ้นในลักษณะที่ก่อให้เกิดความทนทานสูงสุด ความเสียหายทางรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้าจึงเป็นผลมาจากความเสียหายประเภทอื่นๆ ที่เกิดขึ้น เช่น การแตกร้าวบนพื้นคอนกรีต ความเสียหายของเครื่องยึดเหนี่ยวราง เป็นต้น ซึ่งเมื่อตรวจพบความเสียหายเหล่านี้จะถูกนำมาวินิจฉัยเพื่อหาสาเหตุของความเสียหายนั้นอยู่เสมอ

- การตรวจสภาพพื้นทางรถไฟฟ้าและระบบระบายน้ำด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปแล้วการแตกร้าวบนพื้นคอนกรีตจะไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของการเดินรถไฟฟ้า แต่หากรอยแตกร้าวนั้นเกิดขึ้นข้างใต้และทำลายความมั่นคงของเครื่องยึดเหนี่ยวรางต้องซ่อมแซมรอยแตกร้าวโดยการฉีดวัสดุผสานรอยแตกและตรวจสอบความแข็งแรงของเครื่องยึดเหนี่ยวรางภายในหนึ่งเดือน สำหรับระบบระบายน้ำและบ่อรวมน้ำซึ่งมีเศษวัสดุที่อาจอุดตันระบบการระบายน้ำจะต้องได้รับการทำความสะอาดภายในหนึ่งสัปดาห์

(3) การซ่อมบำรุงรอบหกเดือน

การซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในอุโมงค์ทางวิ่งจะดำเนินการในช่วงเวลากลางคืนนอกชั่วโมงเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน ก่อนการเข้าซ่อมบำรุง วิศวกรซ่อมบำรุงต้องวางแผนและกำหนดเวลางานซ่อมบำรุงไว้ล่วงหน้า และขออนุญาตเข้าพื้นที่อุโมงค์เช่นเดียวกับในกระบวนการตรวจสภาพ การซ่อมบำรุงรอบหกเดือนประกอบด้วยงานซ่อมบำรุง ดังนี้

- การทำความสะอาดพื้นคอนกรีต เป็นกิจกรรมที่ต้องทำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาคุณสมบัติความเป็นฉนวนของรางรถไฟฟ้า และควรปฏิบัติทันทีที่สังเกตพบในระหว่างการตรวจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาพโดยการเดินเท้า การทำความสะอาดพื้นคอนกรีตประกอบด้วย การขจัดเศษหิน โคลน หรืออุปกรณ์เหลือทิ้งที่มีอยู่บนพื้นทางรถไฟฟ้าและรางระบายน้ำ ซึ่งวัสดุทั้งหมดที่ถูกขจัดทิ้งจะถูกเก็บใส่ในถุงพลาสติกและนำไปทิ้งที่สถานีที่อยู่ใกล้ที่สุด

- การดูดฝุ่นทำความสะอาดพื้นคอนกรีต จุดประสงค์ของการดูดฝุ่นทำความสะอาดพื้นคอนกรีต คือ เพื่อขจัดฝุ่น เศษหิน และเศษวัสดุชิ้นเล็กๆ เช่น กระดาษ บุหรี่ ฯลฯ ออกจากพื้นทางรถไฟฟ้า โดยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

  - การใช้รถซ่อมบำรุงที่ติดตั้งเครื่องเป่าและเครื่องดูดฝุ่น
  - การใช้เครื่องดูดฝุ่น

สำหรับรถซ่อมบำรุงที่ติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดจะใช้ในการดูดฝุ่นทำความสะอาดตลอดแนวเส้นทางอุโมงค์ โดยในบริเวณสถานีจะใช้ความเร็วที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง และในบริเวณเส้นทางระหว่างสถานีจะใช้ความเร็วที่ 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ส่วนการทำความสะอาดโดยใช้เครื่องดูดฝุ่นจะทำเฉพาะในบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเท่านั้น

- การขจัดสนิมออกจากหัวรางบนทางรถไฟฟ้าที่มีการจราจรไม่มาก ในทางรถไฟฟ้าที่มีการใช้งานไม่มาก เช่น ทางแยกจะมีโอกาสเกิดสนิมขึ้นบนส่วนหัวของรางได้ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการดักจับสัญญาณของรางเมื่อล้อรถไฟฟ้าวิ่งผ่านและก่อให้เกิดการก่อกวนในระบบอาณัติสัญญาณของการเดินรถไฟฟ้า ดังนั้น พื้นผิวของรางที่ขึ้นสนิมจึงต้องได้รับการขจัดสนิมออกด้วยเครื่องเจียรางชนิดพกพาที่ติดตั้งแปรงเหล็ก

- การบันทึกการสึกหรอของรางในทางโค้งและทางตรง รางเมื่อถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสึกหรอขึ้น เนื่องจากการเสียดสีของล้อรถไฟฟ้ากับราง โดยรางในทางโค้งจะมีการสึกมากกว่ารางในทางตรง จึงต้องมีการตรวจและวัดสภาพการสึกของรางทั้งในทางโค้งและทางตรงโดยใช้เครื่องบันทึกการสึกของรางเพื่อติดตามพฤติกรรมและวิวัฒนาการการสึกของราง ซึ่งจะต้องกระทำทุกๆ ระยะ 100 เมตร สำหรับรางในทางตรง และทุกๆ ระยะ 20 เมตร สำหรับรางในทางโค้ง นอกจากการตรวจวัดและบันทึกค่าการสึกตามกำหนดเวลาของการซ่อมบำรุงแล้ว การปฏิบัติงานดังกล่าวต้องกระทำเมื่อได้รับรายงานความผิดปกติของรางและต้องกระทำในบริเวณที่มีความชื้นสูงอีกด้วย โดยปกติแล้ว ค่าการสึกด้านข้างของหัวรางสูงสุดจะต้องไม่เกิน 10 มิลลิเมตร และค่าการสึกทั้งหมดของรางซึ่งมีค่าเท่ากับค่าการสึกในแนวตั้งของรางบวกกับครึ่งหนึ่งของค่าการสึกด้านข้างของหัวราง ต้องมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดซึ่งเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังนั้น หากรางที่มีค่าการสึกทั้งหมดเกินค่าที่กำหนดไว้ รางจะได้รับการเปลี่ยนรางใหม่ภายในหนึ่งสัปดาห์

- การตรวจสอบรอยเชื่อมของรางด้วย ultrasonic จุดมุ่งหมายของการตรวจสอบรอยเชื่อมของรางด้วย ultrasonic คือ เพื่อตรวจหาความเสียหายที่อาจปรากฏขึ้นในรอยเชื่อมของราง ซึ่งรางที่เสียหายนั้นจะได้รับการแก้ไขภายในหนึ่งสัปดาห์

(4) การซ่อมบำรุงประจำปี

การซ่อมบำรุงประจำปีเป็นการดำเนินการในช่วงเวลากลางคืน นอกชั่วโมงเดินรถไฟฟ้า เช่นเดียวกับการซ่อมบำรุงรอบหกเดือน ประกอบด้วยการซ่อมบำรุง ดังนี้

- การบำรุงรักษาหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า ประกอบด้วย การตรวจสอบรูปลักษณ์ของส่วนประกอบของหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า ได้แก่ หัวต่อ สลักของแผ่นประกับราง แผ่นลิ่มแบบฉนวน และแผ่นเหล็กประกับรางด้วยตาเปล่า ชิ้นส่วนหัวต่อรางที่มีการแตกเกิดขึ้นจะได้รับการเปลี่ยนใหม่ภายในหนึ่งเดือน นอกจากนั้น ในการบำรุงรักษาหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้านี้จะทำการตรวจสอบความเป็นฉนวนของหัวต่อรางโดยใช้โอห์มมิเตอร์เพื่อวัดค่าความต้านทาน โดยความต้านทานของหัวต่อรางจะต้องมีค่ามากกว่า 1,000 โอห์ม ซึ่งถ้าหากค่าความต้านทานของหัวต่อรางที่วัดได้ต่ำกว่า 1,000 โอห์ม หัวต่อรางจะได้รับการเปลี่ยนแทนใหม่ภายในหนึ่งสัปดาห์

- การบันทึกการเป็นลอนลูกฟูกของราง การเป็นลอนลูกฟูกของรางสามารถตรวจพบได้ในระหว่างการตรวจสภาพรางรถไฟฟ้าจากภายในห้องคนขับรถไฟฟ้าและในระหว่างการเดินตรวจ รางที่มีโอกาสเกิดเป็นลอนลูกฟูก ได้แก่ รางบริเวณทางโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 400 เมตร รางที่เป็นลอนลูกฟูกจะถูกบันทึกขนาดของลอนด้วยเครื่องบันทึกการเป็นลอนลูกฟูกของรางแบบพกพา ซึ่งหากขนาดความสูงของลอนลูกฟูกมีค่ามากกว่า 0.3 มิลลิเมตร รางในส่วนนั้นจะได้รับการแก้ไขโดยการเจียหัวรางให้เรียบ

- การสำรวจเครื่องยึดเหนี่ยวราง นอกจากการตรวจสภาพเครื่องยึดเหนี่ยวรางด้วยตาเปล่าทุกๆ ครึ่งเดือนในระหว่างปี ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักในการบำรุงรักษาเครื่องยึดเหนี่ยวรางแล้ว ในการซ่อมบำรุงประจำปี เครื่องยึดเหนี่ยวรางจะได้รับการตรวจสภาพเพิ่มเติม ดังนี้

  - การตรวจสอบซ้ำในพื้นที่ที่ตรวจพบความเสียหายด้านรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้า
  - การตรวจสอบพื้นที่ที่มีการรายงานว่าได้รับผลกระทบจากปัญหาการระบายน้ำและรางรถไฟฟ้าถูกกัดกร่อน
  - การตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่างของเครื่องยึดเหนี่ยวรางเพื่อตรวจสอบแรงขันของสลักเกลียวรูปสมอ และตัวหนีบยึด

- การสำรวจรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้า โดยปกติแล้ว รางรถไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตในอุโมงค์จะมีความทนทานสูงมาก การตรวจสอบขนาดราง มุมเอียงของราง ค่ายกระดับ แนวเส้นทาง และระดับแนวเส้น เป็นสิ่งที่ไม่ได้บังคับให้ต้องทำการตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม รางรถไฟฟ้าจะได้รับการตรวจวัดขนาดของรางบนเครื่องยึดเหนี่ยวรางที่ติดตั้งบนแนวเส้นทางต่อเนื่องกันสามตัวทุกๆ 10 เมตร ซึ่งหากตรวจพบความผิดปกติ รางรถไฟฟ้าจะได้รับการตรวจสอบในพื้นที่นั้นทั้งหมดและหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกตินั้นขึ้น

4.4.4 การปฏิบัติงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าเพื่อการแก้ไข

งานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าเพื่อการแก้ไขเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนส่วนประกอบต่างๆ ตามผลที่ได้จากการตรวจสภาพหรือในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุขึ้น เช่น รถไฟฟ้าตกราง เป็นต้น การปฏิบัติงานบำรุงรักษาเพื่อการแก้ไขแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้าย

(1) การปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราวเป็นการแก้ไขปัญหาหรือความเสียหายเพื่อเป็นการบรรเทาหรือเป็นการฟื้นฟูสภาพการจราจรของทางรถไฟฟ้าในทันทีที่สามารถทำได้ แม้ว่าจะอยู่ในสภาพที่คุณภาพลดระดับลงก็ตาม เช่น การซ่อมแซมฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุการณ์ซึ่งมีผลต่อเส้นทางเดินรถไฟฟ้าเพื่อบริการสาธารณะ มีผลต่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร หรือมีความเสี่ยงในการเดินรถไฟฟ้า ลักษณะความเสียหายที่ควรได้รับการบำรุงรักษาเพื่อเป็นการบรรเทา ได้แก่ การแตกหักของราง และการขาดหรือมีมากเกินไปของจาระบีบนราง ซึ่งการแก้ไขความเสียหายดังกล่าว ได้แก่ การเสริมความแข็งแกร่งของรางที่แตกหักและการใส่จาระบีที่ราง เป็นต้น

(2) การปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้าย

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้ายเป็นการแก้ไขปัญหาหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นตั้งแต่สาเหตุจนเสร็จสิ้น เช่น การเข้าซ่อมบำรุงหลังจากเกิดอุบัติเหตุตามลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นต้น ลักษณะงานของการบำรุงรักษาประเภทนี้ ได้แก่

- การเปลี่ยนราง
- การเปลี่ยนหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า

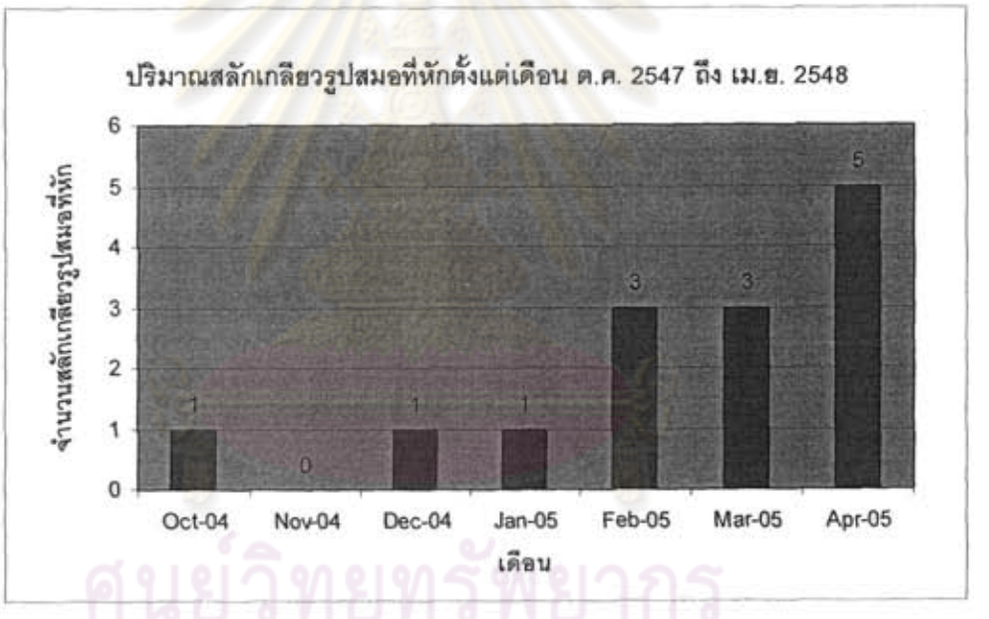
- การซ่อมแซมหัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า
- การทำความสะอาดรางรถไฟฟ้า
- การใส่จาระบีที่ราง
- การเปลี่ยนเครื่องยึดเหนี่ยวราง
- การซ่อมแซมรอยแตกร้าวบนพื้นทางรถไฟฟ้า
- การแก้ไขด้านรูปทรงเรขาคณิตของรางรถไฟฟ้า
- การเปลี่ยนสลักเกลียวรูปสมอ เป็นต้น

4.4.5 ความเสียหายของรางรถไฟฟ้าในปัจจุบัน

จากการสำรวจสภาพความเสียหายของรางรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษาในเบื้องต้นพบว่า รางรถไฟฟ้ายังอยู่ในสภาพที่ค่อนข้างสมบูรณ์และยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยความเสียหายที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในปัจจุบันมีดังนี้

- การขาดของสปริงเกลียว มีสาเหตุมาจากการถูกกัดกร่อนจากน้ำ เนื่องจากในขั้นตอนระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ ระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ยังไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำเข้ามาภายในอุโมงค์ จึงทำให้เกิดน้ำท่วมขังในบริเวณรางรถไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ส่วนประกอบต่างๆ ของรางรถไฟฟ้าจึงเกิดการกัดกร่อนจากน้ำขึ้น ส่งผลให้สปริงเกลียวเกิดสนิมและถูกกัดกร่อนจนขาดในที่สุด ในปัจจุบันพบว่า มีการขาดของสปริงเกลียวเกิดขึ้นประมาณ 240 ตัว และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต การซ่อมแซมการขาดของสปริงเกลียวทำได้โดยการเปลี่ยนสปริงเกลียวตัวใหม่
- การแตกร้าวของคอนกรีตบนพื้นทางรถไฟฟ้า เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต การซ่อมแซมทำได้โดยการฉีดอีพอกซีเพื่อประสานรอยแตก
- การแตกร้าวของพื้นคอนกรีตใต้เครื่องยึดเหนี่ยวราง มีสาเหตุมาจากการหดตัวของคอนกรีตและแรงสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากการวิ่งของขบวนรถไฟฟ้า ทำการซ่อมแซมได้ด้วยการฉีดอีพอกซีเพื่อประสานรอยแตก โดยส่วนมากแล้วการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นกับเครื่องยึดเหนี่ยวรางหลายๆ ตัวติดต่อกัน จึงไม่ส่งผลให้คุณภาพของเครื่องยึดเหนี่ยวรางลดต่ำลง อย่างไรก็ตาม หากเกิดการแตกร้าวแล้วทำลายความมั่นคงของเครื่องยึดเหนี่ยวรางสามตัวติดต่อกันจะต้องทำการซ่อมแซมการแตกร้าวนั้นภายในหนึ่งสัปดาห์

- การหักของสลักเกลียวรูปสมอ เกิดขึ้นจากคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่สามารถทนต่อแรงกระทำด้านข้างที่เกิดขึ้นจากการวิ่งของขบวนรถไฟฟ้าได้ โดยส่วนมากแล้วสลักเกลียวรูปสมอที่หักจะเกิดขึ้นในบริเวณรางนอกในทางโค้ง จากข้อมูลปริมาณสลักเกลียวรูปสมอที่หักตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 พบว่า มีการหักของสลักเกลียวรูปสมอเกิดขึ้นถึง 14 ตัว และมีแนวโน้มว่าจะเกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ พิจารณาได้จากแผนภูมิดังรูปที่ 4.28 นอกจากการหักของสลักเกลียวรูปสมอแล้ว ยังตรวจพบการงอของสลักเกลียวรูปสมอและสลักเกลียวรูปสมอที่สั้นเกินไปในบริเวณทางตรงอีกด้วย สลักเกลียวรูปสมอที่เสียหายเหล่านี้จะได้รับการซ่อมแซมด้วยการเปลี่ยนสลักเกลียวตัวใหม่ โดยการเจาะเอาสลักเกลียวรูปสมอที่เสียหายซึ่งฝังอยู่ในพื้นคอนกรีตออกแล้วเปลี่ยนใหม่โดยการกรอกอีพอกซีเพื่อยึดสลักเกลียวรูปสมอตัวใหม่ให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง



รูปที่ 4.28 แผนภูมิแสดงปริมาณสลักเกลียวรูปสมอที่หัก

- การผุกร่อนของราง มีสาเหตุจากการถูกน้ำที่รั่วไหลหยดลงสู่รางโดยตรงและจากความชื้นภายในอุโมงค์โดยเฉพาะในบริเวณซึ่งมีน้ำขังเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีการผุกร่อนของรางเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในบางจุดซึ่งไม่มีผลต่อสภาพโดยรวมของรางและต่อสภาพการเดินรถไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเป็นลอนลูกฟูกของราง เกิดขึ้นบริเวณรางนอกในทางโค้ง โดยมีการตรวจสอบเป็นระยะๆ หากตรวจพบว่าขนาดของลอนลูกฟูกมีขนาดตั้งแต่ 0.3 มิลลิเมตร จะทำการแก้ไขโดยการเจียรางให้เรียบ
- การหายไปของแหวนรองในเครื่องยึดเหนี่ยวราง จากการศึกษาพบว่า ได้เกิดการหายไปของแหวนรองในเครื่องยึดเหนี่ยวรางขึ้นมากกว่า 1,000 ชิ้น มีสาเหตุจากการตรวจรับงานที่บกพร่องของผู้ตรวจรับงาน และการลืมติดตั้งกลับคืนหลังการซ่อมแซม การแก้ไขทำได้โดยทดแทนด้วยแหวนรองตัวใหม่
- การเป็นสนิมของหัวราง สนิมที่เกิดขึ้นบนหัวรางจะได้รับการเจียออกโดยใช้เครื่องเจียรางชนิดอัตโนมัติ

4.5 ปัญหาและอุปสรรคของระบบการบำรุงรักษาที่ใช้ในปัจจุบัน

จากการศึกษาในโครงการกรณีศึกษาพบว่า การดำเนินงานบำรุงรักษาของฝ่ายซ่อมบำรุงมีข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาการซ่อมบำรุง ซึ่งมีเพียง 3 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น การเตรียมการและวางแผนการปฏิบัติงานก่อนการเข้าซ่อมบำรุงจึงเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยความรอบคอบและข้อมูลที่เพียงพอ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ตรงตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ นอกจากนั้น จากการศึกษาพบว่า บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษายังมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริหารจัดการในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลด้านการบำรุงรักษาให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องยังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากกระบวนการจัดการข้อมูลในปัจจุบันยังขาดประสิทธิภาพในการจัดเก็บ ประมวลผล และรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา ส่งผลให้บุคลากรไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

จากการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ผ่านมาพบว่าองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวได้เริ่มเกิดความเสื่อมสภาพและเสียหายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงส่งผลให้การดำเนินงานบำรุงรักษาในปัจจุบันเกิดปัญหาในการบริหารจัดการ และมีงานที่ต้องดำเนินการบำรุงรักษามากขึ้นทั้งในเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข กระบวนการจัดการข้อมูลที่ไม่มีประสิทธิภาพในปัจจุบันจึงเริ่มส่งผลต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาชัดเจนมากขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อการบำรุงรักษาในระยะยาวได้ โดยปัญหาและอุปสรรคของการจัดการข้อมูลในขั้นตอนต่างๆ มีดังนี้

(1) ขั้นตอนการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายในสนาม

- ขาดการบันทึกข้อมูลขนาดของความเสียหายที่สำคัญซึ่งควรจัดเก็บ จึงส่งผลให้ไม่สามารถประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นและกำหนดความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งทำให้ขาดข้อมูลรายละเอียดความเสียหายที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบและติดตามประวัติความเสียหาย
- ขาดการออกแบบและพัฒนาแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพที่เหมาะสมและง่ายต่อการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลหรือระบบแฟ้มข้อมูล จึงส่งผลให้ต้องใช้เวลานานในการป้อนข้อมูลเข้าจัดเก็บ
- ขาดการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้น ทำให้วิศวกรซ่อมบำรุงขาดข้อมูลประกอบการพิจารณาและตัดสินใจ จึงไม่สามารถกำหนดความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสมตรงกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง
- ขาดการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้ยากต่อการตรวจสอบประวัติความเสียหายและการบำรุงรักษา

(2) ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลในแฟ้มข้อมูลการบำรุงรักษา

- การป้อนข้อมูลเข้าจัดเก็บในระบบแฟ้มข้อมูลต้องใช้เวลานาน เนื่องจากเป็นการทำงานกับเอกสารและข้อมูลจำนวนมาก
- เกิดความซ้ำซ้อนในขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลในสนาม
- ขาดการจัดจำแนกข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้ยากต่อการสืบค้นและประมวลผลข้อมูล

(3) ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

- การใช้ระบบแฟ้มข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลซึ่งมีจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้เวลานานและยากต่อการสืบค้น ประมวลผล และการรายงานผลข้อมูลตามที่ต้องการ
- มีการประมวลผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย ทำให้บุคลากรด้านการบำรุงรักษามีข้อมูลไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์เพื่อการบริหารจัดการ
- ขาดการปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัยหรือทันต่อเหตุการณ์สภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน ทำให้การประมวลผลข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน ไม่สะท้อนกับความเป็นจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ขาดการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจทำการบำรุงรักษา เช่น ระดับความเสียหาย ความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงความเสียหายที่เกิดขึ้น สภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ ปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นต้น

(4) ขั้นตอนการรายงานผลข้อมูล

- ไม่สามารถนำเสนอข้อมูลที่เป็นประโยชน์และทันสมัยต่อการพิจารณาได้อย่างทันท่วงที
- ขาดการจัดทำรายงานเพื่อใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา

กล่าวโดยสรุป ปัญหาและอุปสรรคของระบบการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในปัจจุบัน คือ การขาดระบบการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพในการรองรับกระบวนการทำงานและการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ตั้งแต่การจัดเก็บและบันทึกข้อมูลในภาคสนาม การวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหาย การประมวลผลและรายงานผลข้อมูล ส่งผลให้บุคลากรด้านการบำรุงรักษาที่เกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านการวางแผน ควบคุม ตรวจสอบ และติดตามงานบำรุงรักษา

ปัญหาจากการจัดการด้านข้อมูลและสารสนเทศที่เกิดขึ้นยังส่งผลให้ฝ่ายซ่อมบำรุงไม่สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมาจากภายนอกหรือผู้ที่รับผิดชอบงานได้อย่างทั่วถึง นอกจากนั้น ในการบำรุงรักษาในระยะยาว เนื่องจากขาดการจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง อาจส่งผลให้ฝ่ายซ่อมบำรุงไม่สามารถสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์รูปแบบปริมาณการเสื่อมสภาพและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแต่ละองค์ประกอบในช่วงเวลาต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งจะส่งผลทำให้ฝ่ายซ่อมบำรุงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับเหมาที่สูงเกินกว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง

4.6 แนวทางการปรับปรุงแก้ไขระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ปัญหาและอุปสรรคของการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่พบจากการศึกษาเกิดขึ้นจากการขาดระบบการจัดการข้อมูลและสารสนเทศงานบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาดังกล่าวทั้งระบบ ทั้งการ

ประเมินสภาพความเสียหาย กระบวนการบำรุงรักษา และระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา ตั้งแต่การบันทึกและจัดเก็บข้อมูล การเก็บรักษาข้อมูล การประมวลผลและรายงานผลข้อมูล ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาให้มีความสมบูรณ์และเหมาะสมมากขึ้น โดยนำวิธีการดำเนินงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมจากการศึกษากระบวนการและวิธีการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของหน่วยงานต่างๆ ในต่างประเทศ มาประยุกต์ใช้กับรูปแบบการดำเนินงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทย พร้อมทั้งพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขึ้นมาใช้ในงานบำรุงรักษา

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศดังกล่าวจำเป็นต้องศึกษาถึงรายละเอียดข้อมูลด้านการบำรุงรักษาที่ควรจัดเก็บ ทั้งจากการตรวจสภาพความเสียหายในภาคสนามและจากความต้องการในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาในแต่ละระดับ เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาระบบ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานของฝ่ายซ่อมบำรุงและผู้รับเหมางานซ่อมบำรุง โดยจะช่วยให้การจัดการสารสนเทศในงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีระบบ สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ ได้มากขึ้นทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยในส่วนของฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถใช้ข้อมูลและสารสนเทศต่างๆ ที่จัดเก็บไว้ในระบบไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การเสื่อมสภาพและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งจะช่วยให้ฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถกำหนดค่าจ้างผู้รับเหมาจากภายนอกให้ดำเนินการบำรุงรักษาในครั้งต่อๆ ไปได้ใกล้เคียงกับสภาพความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจริงได้มากขึ้น รวมถึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมาและผู้ที่รับผิดชอบงานได้ สำหรับในส่วนของผู้รับเหมา ระบบดังกล่าวจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการปฏิบัติงาน เช่น การวางแผนและควบคุมงานในระยะเวลาการซ่อมบำรุงซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด และการบริหารจัดการวัสดุที่ต้องใช้งานให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นต้น

4.7 บทสรุป

การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าเป็นหน้าที่รับผิดชอบของบริษัทผู้รับสัมปทานในการเดินรถไฟฟ้าใต้ดิน ในการดำเนินงานบำรุงรักษา บริษัทผู้รับสัมปทานได้จ้างผู้รับเหมางานซ่อมบำรุงจากภายนอกให้เข้ามาดำเนินงานซ่อมแซมและบำรุงรักษาองค์ประกอบดังกล่าวในรูปแบบของการเหมารวมปีต่อปี บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงประกอบด้วย

ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง และช่างซ่อมบำรุง

การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ของโครงการกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสภาพโครงสร้างของอุโมงค์ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยและพร้อมใช้งานอยู่เสมอ และเพื่อดูแลสภาพโครงสร้างของอุโมงค์ไม่ให้ความเสียหายเกิดผลกระทบต่อระบบอื่นๆ ในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข งานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ที่สำคัญ ได้แก่ การตรวจสภาพด้วยตาเปล่าโดยการเดินเท้าและการซ่อมแซมความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์

วัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษานี้ คือ เพื่อรักษาสภาพทางรถไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา การบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าแบ่งออกตามกำหนดเวลาเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาและการบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาจะเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกันซึ่งประกอบด้วย การบำรุงรักษาเชิงป้องกันปกติ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามสภาพ และการขยายช่วงอายุ งานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ได้แก่ การตรวจสภาพรายสัปดาห์ การตรวจสภาพทุกครึ่งเดือน การซ่อมบำรุงทุก 6 เดือน และการซ่อมบำรุงประจำปี สำหรับการบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาเป็นการบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเป็นการแก้ไขดัดแปลงให้ดีขึ้น เพื่อลดเหตุขัดข้อง หรือลดความเสียหายในด้านอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้น ประกอบด้วย การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขชั่วคราว และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขขั้นสุดท้าย

การบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในปัจจุบันยังขาดระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การจัดเก็บและบันทึกข้อมูลในภาคสนาม การวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหาย การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา จึงส่งผลให้การดำเนินงานบำรุงรักษาในขั้นตอนต่างๆ ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

บทที่ 5

การพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

บทนี้จะนำเสนอการพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อยต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นและนำมาใช้งานร่วมกันเพื่อช่วยในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ซึ่งโครงสร้างของระบบดังกล่าวจะถูกนำไปออกแบบและพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศเพื่อช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินต่อไป

5.1 กรอบการพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษา

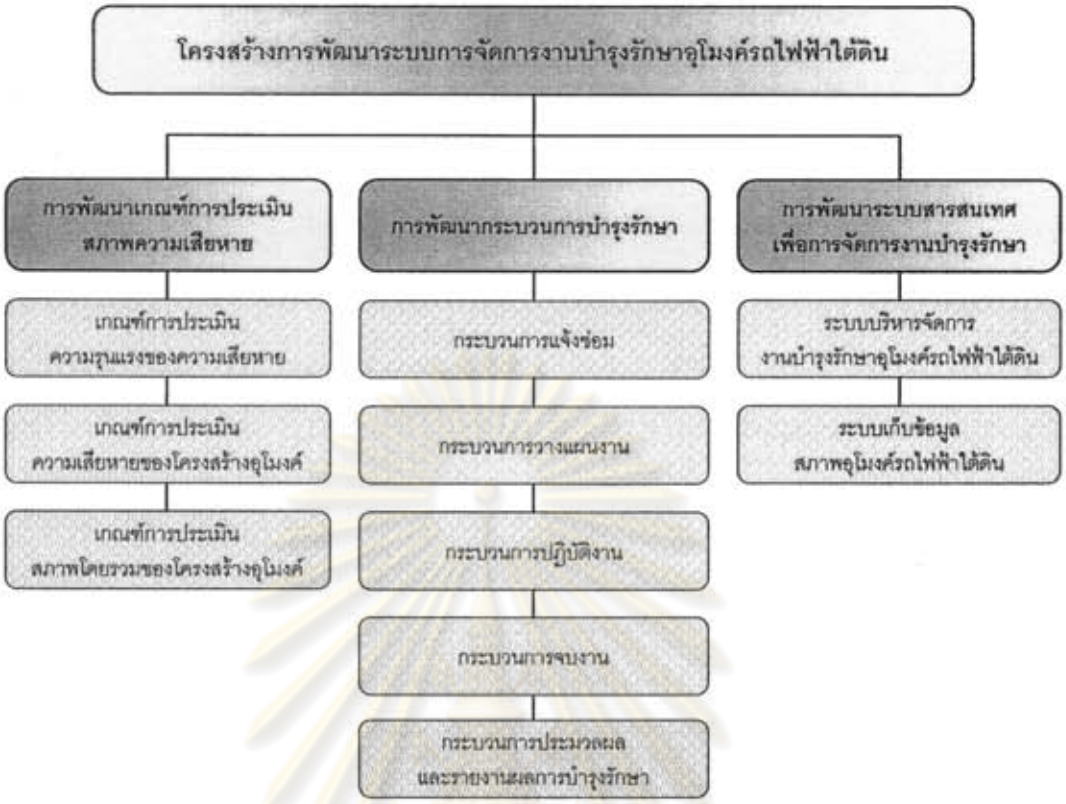
จากปัญหาและอุปสรรคด้านการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นดังผลการศึกษาที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.5 งานวิจัยนี้จึงได้วางกรอบการพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าขึ้น กรอบการพัฒนาโครงสร้างของระบบดังกล่าวประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 5.1

(1) กรอบการพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย

ส่วนนี้เป็นการพัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุโมงค์ เนื่องจากการบำรุงรักษาในปัจจุบันหน่วยงานบำรุงรักษายังขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ขาดข้อมูลที่เพียงพอต่อการพิจารณากำหนดความจำเป็นเร่งด่วนและความต้องการในการซ่อมบำรุงให้เป็นไปอย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินสภาพความเสียหายขึ้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์สภาพความเสียหายและนำไปสู่การจัดการงานซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำวิธีการและเกณฑ์ประเมินที่ใช้อยู่ในระบบขนส่งมวลชนในต่างประเทศ ซึ่งมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมาก่อนประเทศไทย มาใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเกณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย

- การพัฒนาเกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย
- การพัฒนาเกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์
- การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดของการพัฒนาในหัวข้อที่ 5.2



รูปที่ 5.1 โครงสร้างการพัฒนาระบบการจัดการงานการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

(2) กรอบการพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา

กระบวนการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างราบรื่น ต่อเนื่อง และเกิดประโยชน์สูงสุด แต่จากการศึกษาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษาพบว่า การดำเนินงานบำรุงรักษาในปัจจุบันยังขาดกระบวนการบำรุงรักษาที่เป็นระบบตั้งแต่การแจ้งซ่อม การวางแผนและควบคุมติดตามงาน การปฏิบัติงาน การจัดเก็บ ประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา จึงส่งผลให้การดำเนินงานบำรุงรักษาไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนากระบวนการบำรุงรักษาขึ้นประกอบด้วย

- การพัฒนากระบวนการแจ้งซ่อม
- การพัฒนากระบวนการวางแผนงาน
- การพัฒนากระบวนการปฏิบัติงาน
- การพัฒนากระบวนการจบงาน

- การพัฒนากระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา

ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดของการพัฒนาในหัวข้อที่ 5.3

(3) กรอบการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในงานบำรุงรักษาเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่วยรองรับกระบวนการบำรุงรักษา การตัดสินใจ และขจัดปัญหาต่างๆ ในการดำเนินงาน แต่จากการศึกษาระบบการจัดการข้อมูลและสารสนเทศในการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าของไทยในปัจจุบันจากโครงการกรณีศึกษาพบว่า ระบบดังกล่าวยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบฐานข้อมูลเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูลและงานบำรุงรักษาในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในภาคสนาม การเก็บรักษาข้อมูล การสร้างแผนงาน การสั่งงาน การควบคุมติดตามงาน การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงงาน โดยแบ่งส่วนการพัฒนาระบบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- การพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดของการพัฒนาในหัวข้อที่ 5.4

5.2 การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย

การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การระบุสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์และชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การดูแลและบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถตรวจสอบและติดตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง

การพัฒนานี้มีพื้นฐานและแนวคิดในการพัฒนามาจากการศึกษากระบวนการตรวจสภาพและประเมินสภาพความเสียหายของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้อยู่ในระบบขนส่งมวลชนใน

ต่างประเทศ ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบเหล่านั้นมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมาก่อนประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงวิธีการและเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพความเสียหาย แล้วนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหายที่เหมาะสมสำหรับโครงการกรณีศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละโครงการมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน ระบบการเดินรถไฟฟ้า มาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องพัฒนารายละเอียดสำหรับการประเมินสภาพให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับรูปแบบการบำรุงรักษา รวมถึงลักษณะพื้นฐานของแต่ละโครงการ

เนื่องจากการประเมินสภาพความเสียหายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับงานบำรุงรักษา งานวิจัยนี้ได้ทำการสอบถามวิศวกรซ่อมบำรุงโครงสร้างอุโมงค์และวิศวกรซ่อมบำรุงรางรถไฟฟ้าของโครงการกรณีศึกษาถึงความจำเป็นในการพัฒนาเกณฑ์ประเมินสภาพความเสียหายขึ้นมาใช้งานและคัดเลือกเกณฑ์ที่จำเป็นต้องพัฒนาขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสภาพความเสียหายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ทำการดูแลและบำรุงรักษาในโครงการกรณีศึกษานี้ซึ่งพบว่า ในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์มีความจำเป็นต้องพัฒนาเกณฑ์ประเมินสภาพความเสียหายขึ้นมาใช้งาน เนื่องจากยังขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการประเมิน โดยเกณฑ์ที่จำเป็นต้องพัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ ได้แก่ เกณฑ์สำหรับประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สลักเกลียวโค้ง และจากการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์ เกณฑ์สำหรับประเมินระดับความความเสียหายที่เกิดขึ้นกับดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และเกณฑ์สำหรับประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

สำหรับงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้ามีความจำเป็นในการพัฒนาเกณฑ์สำหรับประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นเฉพาะที่เกิดขึ้นกับพื้นทางรถไฟฟ้าซึ่งเป็นพื้นคอนกรีต และความเสียหายที่เกิดขึ้นกับทางระบายน้ำบนพื้นทางรถไฟฟ้า เนื่องจากยังขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการประเมินสำหรับความเสียหายขององค์ประกอบดังกล่าว สำหรับการประเมินระดับความเสียหายและประเมินสภาพโดยรวมของรางรถไฟฟ้าไม่มีความจำเป็นต้องพัฒนาเกณฑ์ขึ้นมาใช้งาน เนื่องจากมีหลักเกณฑ์และข้อกำหนด รวมถึงแนวทางในการประเมินสภาพความเสียหายสำหรับการบำรุงรักษาที่ชัดเจนอยู่แล้ว ทั้งนี้เพื่อให้รางรถไฟฟ้าได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานและยอมรับได้อยู่เสมอ

จากการคัดเลือกเกณฑ์ที่จำเป็นต้องพัฒนาขึ้นสำหรับการประเมินสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า มีความจำเป็นต้องพัฒนาเกณฑ์สำหรับประเมินสภาพความเสียหายในส่วนที่ยังขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการพิจารณา งานวิจัยนี้จึงพัฒนาเกณฑ์ประเมินสภาพความเสียหายขึ้นมาใช้สำหรับโครงการกรณีศึกษานี้ ได้แก่

- เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย
- เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์
- เกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

5.2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย

การพัฒนาเกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การอธิบายถึงสภาพความรุนแรงหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเสียหายต่อสภาพโดยรวมของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นไปอย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้การกำหนดความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงและการตัดสินใจทำการซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากขึ้น เกณฑ์ดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับอุโมงค์ในแต่ละจุด โดยให้ผู้ตรวจสภาพเป็นผู้ประเมินในระหว่างการตรวจสภาพและเก็บข้อมูลความเสียหายในภาคสนาม เกณฑ์ประเมินความรุนแรงของความเสียหายที่พัฒนาขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินสภาพความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำภายในอุโมงค์ และความเสียหายที่เกิดขึ้นกับดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สลักเกลียวโค้ง พื้นทางรถไฟฟ้า และทางระบายน้ำ

แนวคิดในการพัฒนาเกณฑ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นมาจากการศึกษากระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของระบบขนส่งมวลชน NYCT (The New York City Transit Authority) ซึ่งมีการประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นโดยระบุเป็นระบบตัวเลข 1 หรือ 2 เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของความเสียหายนั้นๆ ต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสภาพโดยรวมของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินและสิ่งอื่นๆ ที่อาจเกิดอันตรายได้ จากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการตรวจสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของไทยในโครงการกรณีศึกษาจึงเสนอแนะให้พัฒนาเกณฑ์สำหรับประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นที่ผู้ตรวจสภาพสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน มีรายละเอียดในการประเมินไม่มากจนเกินไป และสามารถเข้าใจได้ง่าย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ตรวจสภาพซึ่งไม่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสภาพหรือมีความรู้เฉพาะทางไม่มากนักสามารถใช้งานได้

จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้น จึงนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเกณฑ์สำหรับประเมินความรุนแรงของความเสียหายซึ่งเป็นการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้น จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการสำรวจสภาพความเสียหายในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษา จึงแบ่งกลุ่มประเภทความเสียหายที่จำเป็นจะต้องได้รับการประเมินสภาพในเบื้องต้นออกเป็น 4 กลุ่มตามลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วย (1) กลุ่มความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำ (2) กลุ่มความเสียหายของดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (3) กลุ่มความเสียหายของพื้นทางรถไฟฟ้า และ (4) กลุ่มความเสียหายของทางระบายน้ำ ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนรายการและรายละเอียดของเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงของผู้ตรวจสภาพ เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆ ของอุโมงค์มีหลายประเภทและหลายลักษณะ โดยในแต่ละกลุ่มความเสียหายดังกล่าวนี้ได้แบ่งความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นออกเป็น 2 ระดับโดยใช้ระบบตัวเลขเป็นตัวบ่งชี้ ได้แก่

- ความเสียหายระดับที่ 1 หมายถึง สภาพความเสียหายซึ่งไม่ส่งผลกระทบหรือไม่ก่อให้เกิดผลเสียหรืออันตรายต่อการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินในระยะเวลาอันใกล้ แต่ควรได้รับการพิจารณาซ่อมแซมแก้ไขตามปกติ
- ความเสียหายระดับที่ 2 หมายถึง สภาพความเสียหายซึ่งควรได้รับการพิจารณาซ่อมแซมแก้ไขโดยเร่งด่วน หรือควรให้ความสำคัญอย่างมากในการติดตามสภาพความเสียหายและผลกระทบต่อเนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องจากอาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน หรือก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร พนักงาน ขบวนรถไฟฟ้าใต้ดิน หรือสิ่งอื่นๆ ได้

จากนั้นกำหนดรายละเอียดของเกณฑ์ที่ใช้ประเมินความรุนแรงของความเสียหายในแต่ละระดับความเสียหายตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ในข้างต้น โดยพิจารณาจากสภาพลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแต่ละองค์ประกอบทางโครงสร้างและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน แล้วให้วิศวกรซ่อมบำรุงและผู้ตรวจสภาพซึ่งปฏิบัติงานในโครงการกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ที่มีความเข้าใจในระบบการให้บริการรถไฟฟ้าและการบำรุงรักษาเป็นอย่างดีร่วมกันพิจารณารายละเอียดของเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขรายละเอียดในส่วนที่ยังไม่เหมาะสมและไม่สอดคล้องกับมาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษาองค์ประกอบต่างๆของโครงการกรณีศึกษา เพื่อให้มีเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 กลุ่มความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์

กลุ่มความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย
ความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำ	ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในอุโมงค์ ได้แก่ การรั่วไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ
ความเสียหายของดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	ความเสียหายที่เกิดขึ้นดาดอุโมงค์ในลักษณะต่างๆ ทั้งที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและสลักเกลียวโค้ง เช่น การแตกร้าวของคอนกรีต การหลุดร่อนของคอนกรีต ความเสียหายของหน้าตัดสลักเกลียว การหลวมของสลักเกลียว และการสูญหายของสลักเกลียว เป็นต้น
ความเสียหายของพื้นทางรถไฟฟ้า	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้นคอนกรีตทางรถไฟฟ้า ได้แก่ การแตกร้าวและการหลุดร่อนของคอนกรีตพื้นทางรถไฟฟ้า
ความเสียหายของทางระบายน้ำ	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับทางระบายน้ำบนพื้นทางรถไฟฟ้า ได้แก่ การมีเศษวัสดุอุดตันทางระบายน้ำ และการท่วมขังของน้ำ

ผลจากการพัฒนาตามกระบวนการดังกล่าวทำให้ได้รายละเอียดของเกณฑ์สำหรับประเมินความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยเกณฑ์สำหรับประเมินความรุนแรงของความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำและความเสียหายของดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะถูกนำมาใช้ในงานตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ สำหรับเกณฑ์ประเมินความรุนแรงของความเสียหายของพื้นทางรถไฟฟ้าและทางระบายน้ำจะใช้ในงานตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า เนื่องจากความเสียหายดังกล่าวอยู่ในความรับผิดชอบของส่วนงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษา

เนื่องจากความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบและติดตามสภาพความเสียหายอย่างใกล้ชิด รวมทั้งจำเป็นต้องได้รับการซ่อมบำรุงอย่างเหมาะสมตามความจำเป็นและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น หลังจากที่ได้ประเมินถึงสภาพความรุนแรงของความเสียหายแล้ว จึงจำเป็นต้องประเมินถึงระดับของความเสียหายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไป เพื่อให้การจัดลำดับการซ่อมบำรุงและติดตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ขึ้น ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 5.2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย

ความเสียหาย	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ความเสียหายจากการรั่วไหลของน้ำ	มีการรั่วไหลหรือการหยดของน้ำเกิดขึ้นด้านข้างของดาดอุโมงค์ หรือมีการรั่วไหลลักษณะอื่นๆ	มีการรั่วไหลหรือการหยดของน้ำที่รุนแรงเกิดขึ้นเหนือรางที่สาม กล่องอาณัติสัญญาณ สายเคเบิล อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบราง
ความเสียหายของดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	ชิ้นส่วนคอนกรีตเกิดการแตกร้าว การหลุดร่อน หรือเสื่อมสภาพอื่นๆ ในตำแหน่งต่างๆ ของดาดอุโมงค์ หรือความเสียหายอื่นๆ	ชิ้นส่วนคอนกรีตด้านบนหรือด้านข้างของดาดอุโมงค์มีการหลวม ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร พนักงาน หรือเกิดความเสียหายต่อขบวนรถไฟฟ้าและสิ่งอื่นๆ ได้
ความเสียหายของพื้นทางรถไฟฟ้า	พื้นคอนกรีตเกิดการแตกร้าว การหลุดร่อน หรือความเสียหายอื่นๆ	พื้นคอนกรีตเกิดการแตกร้าวร่วมกับการรั่วไหลของน้ำ หรือการแตกร้าวที่ทำลายความมั่นคงของฐานรางรถไฟฟ้า
ความเสียหายของทางระบายน้ำ	ทางระบายน้ำเกิดการอุดตันหรือมีน้ำอยู่เพียงบางส่วน	ทางระบายน้ำเกิดการอุดตัน หรือเต็มไปด้วยน้ำจำนวนมาก

5.2.2 เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์

การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์เพื่อระบุระดับของสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ แต่จากการศึกษาวิธีการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ของโครงการกรณีศึกษาในปัจจุบันพบว่า ไม่มีการวิเคราะห์ระดับของความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องจากขาดการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายอย่างเป็นระบบ และขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการแบ่งระดับของความเสียหายที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ขึ้น

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 เกี่ยวกับความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์สามารถแบ่งกลุ่มประเภทความเสียหายออกได้เป็น 3 กลุ่มตามองค์ประกอบที่เสียหาย ได้แก่ ความเสียหายของชิ้นส่วนคอนกรีต ความเสียหายของสลักเกลียว และความเสียหายของแผ่นรอง ประกอบด้วยประเภทความเสียหายทั้งสิ้น 15 ประเภท ดังตารางที่ 5.3 โดยพบว่า ประเภทความเสียหายที่สำคัญและมักเกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์โดยทั่วไป ได้แก่ การรั่วไหลของน้ำ การแตกร้าวของคอนกรีต และการหลุดร่อนของคอนกรีต โดยการรั่วไหลของน้ำเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นมากที่สุดกับอุโมงค์ทุกประเภท ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษาซึ่งพบว่า มีเพียงการรั่วไหลของน้ำที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ งานวิจัยนี้จึงคัดเลือกประเภทความเสียหายที่สำคัญและมักเกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ดังกล่าวมาพัฒนาเกณฑ์สำหรับประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ซึ่งประกอบด้วย การรั่วไหลของน้ำ การแตกร้าวของคอนกรีต และการหลุดร่อนของคอนกรีต

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเกณฑ์ประเมินความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์ขึ้นโดยใช้แนวทางการแบ่งระดับความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่ง FHWA และ FTA ได้เสนอแนวทางไว้มาเป็นต้นแบบในการปรับปรุงและพัฒนาเกณฑ์ดังกล่าวขึ้น เพื่อนำมาใช้งานสำหรับโครงการกรณีศึกษานี้ เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้แบ่งระดับความเสียหายออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับน้อย ระดับปานกลาง และระดับมาก ตามขนาดของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งดัดแปลงมาจากค่าขนาดความเสียหายที่ยอมรับได้ในงานบำรุงรักษาตามมาตรฐานการบำรุงรักษาของโครงการกรณีศึกษา และได้ตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของเกณฑ์ดังกล่าวโดยวิศวกรซ่อมบำรุงและผู้ตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ในโครงการกรณีศึกษา เพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานการบำรุงรักษาและสามารถนำไปใช้งานได้จริง จากการพัฒนาดังกล่าวทำให้ได้เกณฑ์สำหรับใช้ประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ประเภทความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์

กลุ่มความเสียหาย	ประเภทความเสียหาย
ความเสียหายของคอนกรีตดาดอุโมงค์	1. การหลุดลอก (scaling) 2. การแตกร้าว (cracking) 3. การหลุดร่อน (spalling) 4. การหลุดร่อนที่รอยต่อ (joint spall) 5. การแตกออกจากผิวหน้า (pop-outs) 6. การหลุดออกจากผิวหน้า (mudballs) 7. การตกตะกอนที่ผิวหน้า (efflorescence) 8. การเกิดเป็นรอยเปื้อน (staining) 9. การกลวง (hollow area) 10. การเกิดเป็นรวงผึ้ง (honey comb) 11. การรั่วไหลของน้ำ (water leakage)
ความเสียหายของสลักเกลียว	12. การเสียหายของหน้าตัด (section loss) 13. การสูญหาย (missing) 14. การคลายตัว (loose)
ความเสียหายของแผ่นรอง	15. การบิดเบี้ยว (distortion)

ตารางที่ 5.4 เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์

ความเสียหาย	ระดับความเสียหาย		
	น้อย	ปานกลาง	มาก
การรั่วไหลของน้ำ	อัตราการไหลไม่เกิน 1 หยดต่อนาที	อัตราการไหลตั้งแต่ 1 ถึง 30 หยดต่อนาที	อัตราการไหลมากกว่า 30 หยดต่อนาที
การแตกร้าว	ความกว้างรอยแตกไม่เกิน 1 ม.ม.	ความกว้างรอยแตกตั้งแต่ 1 ม.ม. ถึง 3 ม.ม.	ความกว้างรอยแตกมากกว่า 3 ม.ม.
การหลุดร่อน	ความลึกไม่เกิน 12 ม.ม. หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 100 ม.ม.	ความลึกตั้งแต่ 12 ม.ม. ถึง 25 ม.ม. หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ม.ม. ถึง 150 ม.ม.	ความลึกมากกว่า 25 ม.ม. หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 150 ม.ม.

การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ตามเกณฑ์การประเมินความเสียหายที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด ซึ่งช่วยให้การติดตามสภาพความเสียหายและตัดสินใจทำการซ่อมบำรุงในแต่ละจุดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขั้นตอนต่อไปหลังจากที่ได้ประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดแล้ว จำเป็นต้องมีการประเมินสภาพความเสียหายโดยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ในแต่ละช่วงของอุโมงค์ เพื่อช่วยในการติดตามและควบคุมปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ รวมทั้งเพื่อให้การดำเนินงานซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างเหมาะสมตามความจำเป็นเร่งด่วน จึงได้พัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ขึ้น

5.2.3 เกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการตรวจสอบ ควบคุม และติดตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอุโมงค์ ทำให้การดูแลและบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเกณฑ์ประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ขึ้นโดยใช้แนวทางการประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่ง FHWA และ FTA ได้นำเสนอแนวทางไว้มาเป็นต้นแบบในการปรับปรุงและพัฒนาเกณฑ์ดังกล่าว เพื่อนำมาใช้งานสำหรับโครงการกรณีศึกษานี้ โดยได้แบ่งสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ดีมาก ดี พอใช้ ไม่ดี และวิกฤต การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์จะพิจารณาจากประเภทความเสียหาย ค่าระดับความเสียหายที่ได้จากการประเมินสภาพความเสียหายจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้น และจำนวนความเสียหายที่เกิดขึ้นในช่วงระยะทาง 100 เมตร ตลอดความยาวอุโมงค์ เนื่องจากได้แบ่งระยะทางในการประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ออกเป็นทุกๆ ช่วงระยะทาง 100 เมตร หลังจากกำหนดรายละเอียดของเกณฑ์ในเบื้องต้นแล้ว ได้ให้วิศวกรซ่อมบำรุงและผู้ตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ของโครงการกรณีศึกษาร่วมกันพิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไขรายละเอียดของเกณฑ์ รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของเกณฑ์ดังกล่าวให้สอดคล้องกับมาตรฐานในการบำรุงรักษาและสามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งผลจากการพัฒนาทำให้ได้เกณฑ์สำหรับใช้ประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ ดังแสดงในตารางที่ 5.5

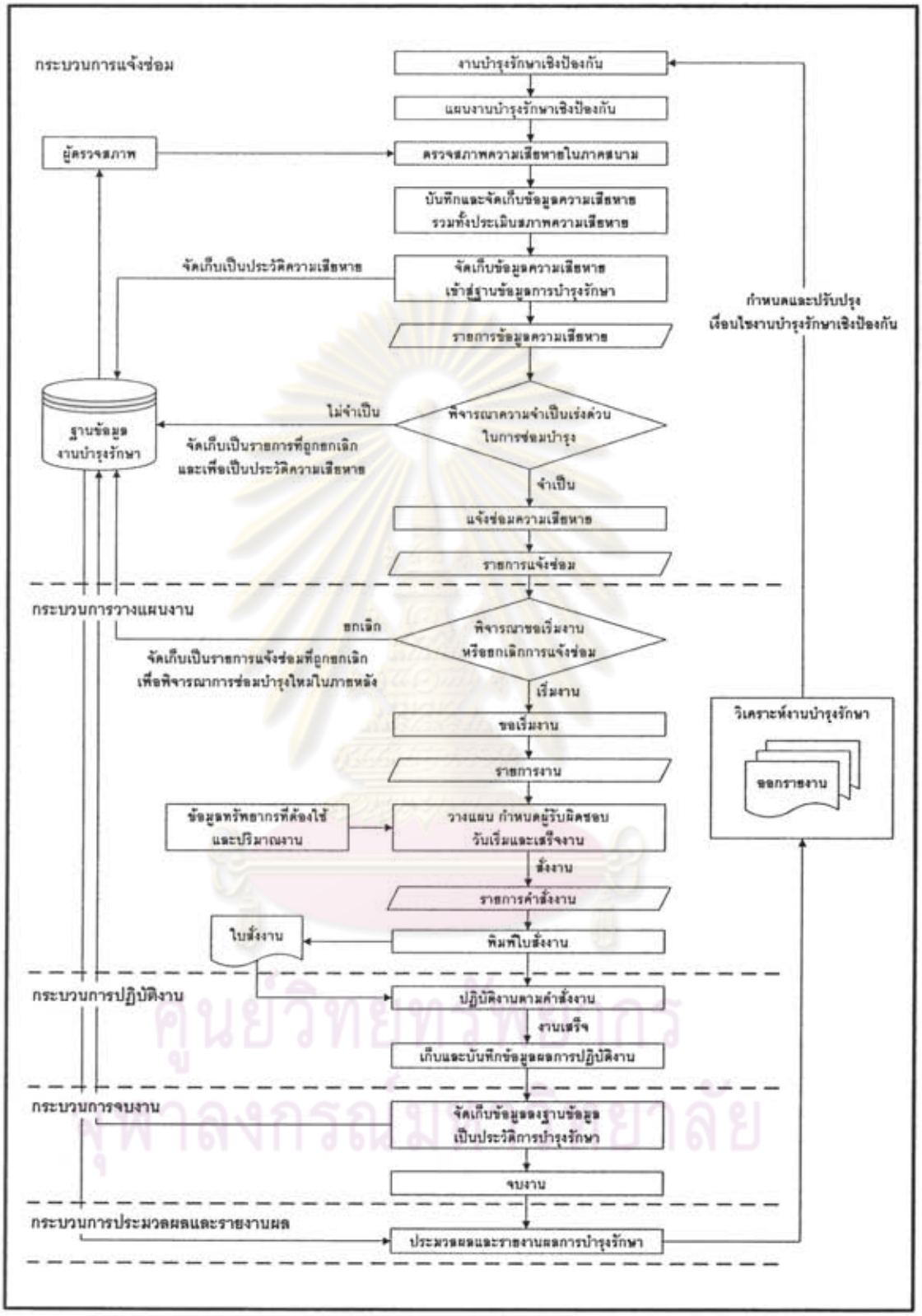
ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

สภาพ	การซ่อมแซม	รายละเอียด
ดีมาก	ไม่ต้องซ่อมแซม	ไม่มีความเสียหายใดๆ เกิดขึ้นกับอุโมงค์
ดี	ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซม	มีจำนวนการแตกร้าวระดับน้อยไม่เกิน 3 จุด หรือ มีจำนวนการรั่วไหลของน้ำระดับน้อยไม่เกิน 2 จุด
พอใช้	ต้องการการซ่อมแซมเพียงเล็กน้อย	มีจำนวนการแตกร้าวระดับปานกลางไม่เกิน 3 จุด หรือ มีจำนวนการรั่วไหลของน้ำระดับปานกลางไม่เกิน 2 จุด
ไม่ดี	ต้องการการซ่อมแซมเร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้	มีจำนวนการแตกร้าวระดับมากไม่เกิน 5 จุด หรือ มีจำนวนการรั่วไหลของน้ำระดับมากไม่เกิน 3 จุด
วิกฤติ	ต้องการการซ่อมแซมในทันที	มีจำนวนการแตกร้าวระดับมากเกิน 5 จุด หรือ มีจำนวนการรั่วไหลของน้ำระดับมากเกิน 3 จุด

จากรายละเอียดของเกณฑ์ประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ประเภทความเสียหายที่ถูกกำหนดในรายละเอียดของเกณฑ์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วย การรั่วไหลของน้ำและการแตกร้าว แต่สำหรับการหลุดร่อนไม่ได้ถูกนำมากำหนดลงในรายละเอียดของเกณฑ์ เนื่องจากไม่ได้เป็นความเสียหายหลักที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในโครงการกรณีศึกษานี้

5.3 การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา

งานบำรุงรักษาเป็นงานซึ่งต้องการความเป็นระบบและความต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีระบบการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยควบคุมและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ราบรื่น และเกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนั้นแล้ว งานดังกล่าวจำเป็นต้องมีระบบสารสนเทศที่ดีเพื่อช่วยในการวางแผน ควบคุม และติดตามงานบำรุงรักษาในทุกขั้นตอน แต่เนื่องจากการดำเนินงานบำรุงรักษาในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษานี้ยังขาดกระบวนการบำรุงรักษาที่เป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนากระบวนการบำรุงรักษาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.2 ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงกระบวนการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพและเป็นระบบมากยิ่งขึ้น มีแนวคิดในการพัฒนาดังนี้



รูปที่ 5.2 กระบวนการบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

- ออกแบบและพัฒนาให้มีความสอดคล้องกับรูปแบบการบำรุงรักษาในปัจจุบัน
- มีกระบวนการจัดการที่เป็นระบบและรองรับกับกระบวนการจัดการข้อมูลและสารสนเทศเพื่อการบำรุงรักษามากขึ้น เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการปฏิบัติงานตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การตรวจสภาพและเก็บข้อมูลความเสียหาย การแจ้งซ่อมความเสียหาย การวางแผนและสั่งงานบำรุงรักษา การปฏิบัติงานในภาคสนาม การจัดเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานเพื่อเป็นประวัติการบำรุงรักษา การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการดำเนินงานบำรุงรักษา
- ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเป็นเครื่องมือช่วยในการดำเนินงานบำรุงรักษา เพื่อจัดเก็บสารสนเทศที่สำคัญ ดูแลการไหลของสารสนเทศ จัดทำรายงาน และกระจายสารสนเทศให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับทราบสถานะของงานบำรุงรักษา
- ใช้ระบบฐานข้อมูลช่วยในการบริหารจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูลที่มีปริมาณมากในการจัดเก็บ วิเคราะห์ ประมวลผล และรายงานผลข้อมูล ซึ่งได้แนวคิดมาจากวิธีการเก็บรักษาและจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาของระบบขนส่งมวลชนในต่างประเทศ

การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษามีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 กระบวนการแจ้งซ่อม

เนื่องจากกระบวนการบำรุงรักษาในปัจจุบันมีการนำข้อมูลความเสียหายที่จัดเก็บได้มาวิเคราะห์สภาพความเสียหาย รวมถึงพิจารณาความต้องการและความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงค่อนข้างน้อย อีกทั้งยังไม่มีการกำหนดสถานะของความจำเป็นในการซ่อมบำรุงให้แก่ความเสียหายแต่ละรายการ จึงส่งผลให้การดำเนินงานบำรุงรักษาไม่เป็นไปอย่างเหมาะสม ดังนั้นเพื่อให้ทุกรายการข้อมูลความเสียหายได้ผ่านการวิเคราะห์สภาพความเสียหายและกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุง งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบกระบวนการบำรุงรักษาให้มีการแจ้งซ่อมขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้หน่วยงานซ่อมบำรุงรับทราบถึงสภาพความเสียหาย ความต้องการและความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละรายการ ซึ่งจะช่วยให้สามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น

กระบวนการแจ้งซ่อมถือเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการซ่อมบำรุงทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นตามมาในขั้นตอนต่อๆ ไป ฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถรับทราบถึงความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าได้จากการตรวจสภาพภายในอุโมงค์ตามกำหนดเวลางานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยรายการข้อมูลความเสียหายทั้งหมดที่บันทึกได้จะถูกจัดเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่สำนักงาน แล้วถูกนำมาพิจารณาและตรวจสอบข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงก่อนที่จะทำการแจ้งซ่อมบำรุงรายการความเสียหายดังกล่าวให้เข้าสู่กระบวนการบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปริมาณงานซ่อมบำรุงที่ยังไม่มีความจำเป็นลง จึงได้ออกแบบให้มีขั้นตอนการกลั่นกรองรายการข้อมูลความเสียหายโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือช่วยในการพิจารณาและวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายตามหลักเกณฑ์และมาตรฐานในการบำรุงรักษาความเสียหายแต่ละประเภทของโครงการกรณีศึกษา เพื่อประเมินและกำหนดสถานะความจำเป็นเร่งด่วนของการซ่อมบำรุงให้กับความเสียหายแต่ละรายการ แบ่งออกเป็น 4 สถานะ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

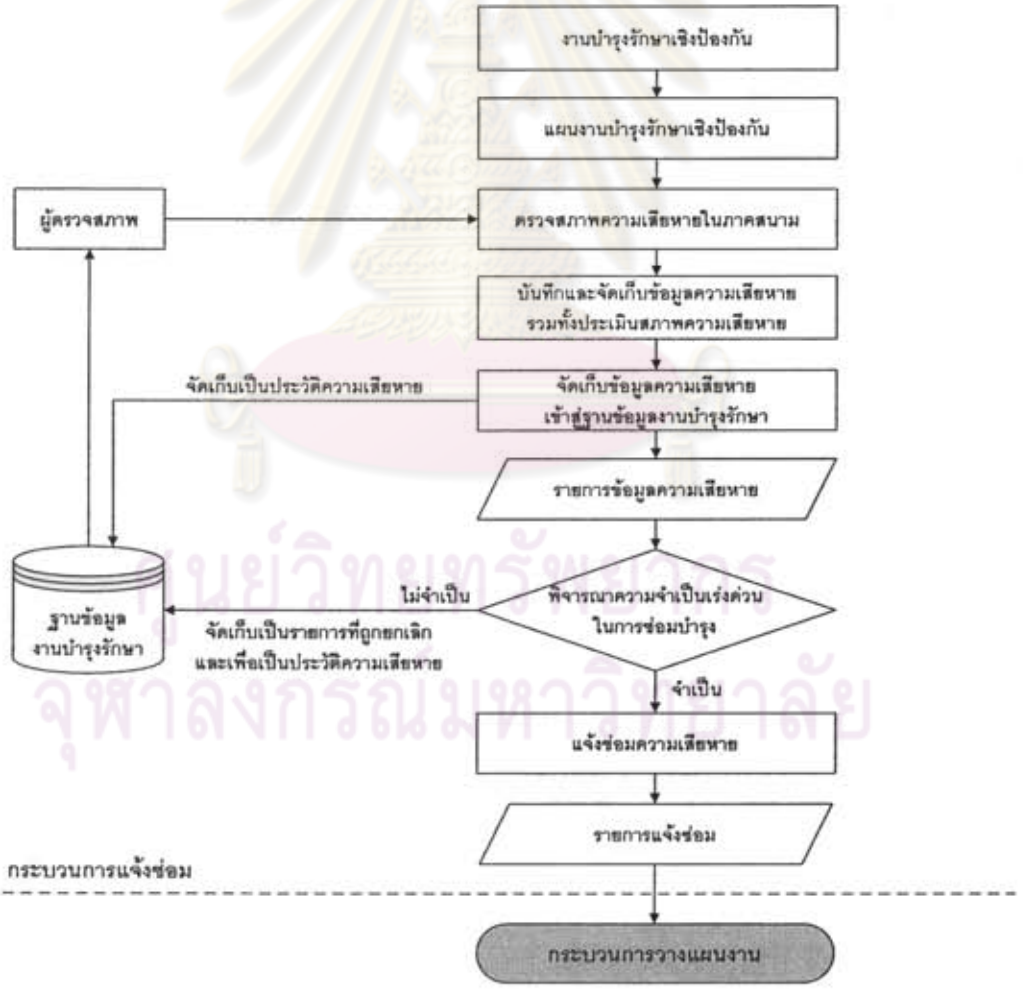
ตารางที่ 5.6 สถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุง

สถานะที่	ความจำเป็นในการซ่อมบำรุง
1	ไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุง (no repair necessary)
2	ต้องการการซ่อมบำรุงโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ (repair as soon as possible)
3	ต้องการการซ่อมบำรุงโดยเร่งด่วน (urgent repair)
4	ต้องการการซ่อมบำรุงฉุกเฉิน (emergency repair)

รายการข้อมูลความเสียหายที่ถูกกำหนดสถานะความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงเป็นสถานะที่ 2 สถานะที่ 3 หรือ สถานะที่ 4 ซึ่งเป็นสถานะที่ต้องการการซ่อมบำรุง รายการความเสียหายนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นรายการแจ้งซ่อมและจัดอยู่ในกลุ่มของงานค้าง (backlogs) ในทันทีเพื่อรอการขอเริ่มงานและออกคำสั่งงานในขั้นตอนต่อไป โดยรายการแจ้งซ่อมที่ถูกขอเริ่มงานจะเปลี่ยนเป็นรายการงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและจัดอยู่ในกลุ่มของงานที่อยู่ระหว่างการดำเนินงาน (in-process) เพื่อรอออกคำสั่งงานและใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขสำหรับใช้ในหน้างานอีกครั้ง

สำหรับรายการข้อมูลความเสียหายที่ถูกกำหนดสถานะความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงเป็นสถานะที่ 1 หรือไม่มีความจำเป็นต้องบำรุงรักษาจะถูกยกเลิกการแจ้งซ่อมไป แต่ยังคงถูกเก็บไว้เป็นรายการข้อมูลความเสียหายที่ถูกยกเลิก เพื่อใช้ประโยชน์ในการบำรุงรักษาด้านอื่นๆ ต่อไป เช่น การตรวจสอบติดตามสภาพความเสียหายและความเสื่อมสภาพในอนาคต เป็นต้น

สำหรับรายการแจ้งซ่อมที่พิจารณาแล้วเห็นว่ายังไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุงสามารถยกเลิกรายการแจ้งซ่อมดังกล่าวได้ในขั้นตอนของการขอเริ่มงาน ซึ่งรายการแจ้งซ่อมที่ถูกยกเลิกไปดังกล่าวจะยังคงเก็บไว้เป็นรายการแจ้งซ่อมที่ถูกยกเลิก และไม่ถูกนำเข้าสู่กลุ่มของงานค้างเช่นเดียวกับรายการข้อมูลความเสียหายที่ไม่มีความจำเป็นต้องบำรุงรักษา กระบวนการแจ้งซ่อมที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กระบวนการแจ้งซ่อม

นอกจากรายการแจ้งซ่อมซึ่งเกิดจากการพิจารณาความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุง โดยผ่านกระบวนการแจ้งซ่อม ความต้องการในการบำรุงรักษายังเกิดขึ้นได้จากแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำปี ซึ่งเป็นงานที่ได้ถูกวางแผนและกำหนดเวลาไว้ล่วงหน้าตามรอบความถี่ของการดูแลและบำรุงรักษาที่กำหนด รายการแผนงานดังกล่าวจะถูกจัดเข้าอยู่ในกลุ่มของงานค้างในทันทีหลังจากที่ได้กำหนดแผนงานไว้ ถือเป็นงานที่ต้องดำเนินการเมื่อถึงกำหนดเวลา โดยต้องมีการขอเริ่มงานและออกคำสั่งงานเช่นเดียวกับรายการแจ้งซ่อมซึ่งเป็นงานในส่วนของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

สำหรับงานซ่อมใหญ่และงานปรับปรุงต่างๆ งานกลุ่มนี้จะไม่เกิดขึ้นผ่านกระบวนการแจ้งซ่อม เนื่องจากงานเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นจากการเข้าไปดูแลและบำรุงรักษาตามปกติ แต่เกิดจากความต้องการในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เพื่อเพิ่มสมรรถนะหรือแก้ไขปัญหาที่สะสมซึ่งไม่สามารถควบคุมหรือตอบสนองต่อความต้องการทางเศรษฐศาสตร์ได้อีกต่อไป

การจัดทำรายงานหลักที่จำเป็นสำหรับกระบวนการแจ้งซ่อมนี้ ได้แก่ รายงานสรุปยอดงานแจ้งซ่อม ซึ่งเป็นรายงานที่แสดงถึงปริมาณของรายการแจ้งซ่อม ซึ่งได้แก่ รายการแจ้งซ่อมที่ได้รับแจ้ง รายการแจ้งซ่อมที่ถูกออกคำสั่งงาน รายการแจ้งซ่อมที่ถูกยกเลิกไป และรายการแจ้งซ่อมที่ได้ดำเนินการบำรุงรักษาแล้วเสร็จ โดยจำแนกออกตามแต่ละช่วงสถานี ทั้งนี้เพื่อใช้ในการวางแผน ควบคุม ติดตาม และเร่งรัดงาน

5.3.2 กระบวนการวางแผนงาน

เนื่องจากในการวางแผนงานบำรุงรักษา ผู้วางแผนงานจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน มีการจัดเก็บที่เป็นระบบ และสามารถเข้าถึงได้ง่ายในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงลักษณะและปริมาณของงาน ระยะเวลา และทรัพยากรที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงาน รวมทั้งหาวิธีการรองรับและแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการดำเนินงานได้อย่างเหมาะสม ในการดำเนินงานบำรุงรักษาจึงจำเป็นต้องมีการติดต่อประสานงานและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่จำเป็นร่วมกันอย่างใกล้ชิดจากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งจำเป็นต้องจัดทำรายงานผลการบำรุงรักษาที่สำคัญให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละระดับได้รับทราบข้อมูลอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ในการ

วางแผนและบริหารจัดการงานบำรุงรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดสรรและเตรียมความพร้อมของทรัพยากรต่างๆ ในงานบำรุงรักษา เช่น วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และแรงงาน

จากการศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวางแผนงานบำรุงรักษาในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษาพบว่า หน่วยงานบำรุงรักษามีความต้องการข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนงานหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณและสถานะของงาน รวมถึงรายละเอียดข้อมูลความเสียหายที่ครบถ้วน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการวางแผนงาน โดยใช้ระบบสารสนเทศช่วยในการตรวจสอบติดตามสถานะและปริมาณของงาน รวมถึงค้นหาและประมวลผลข้อมูลต่างๆ เพื่อช่วยให้สามารถวางแผนงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในการวางแผนงานบำรุงรักษาสามารถจำแนกประเภทออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

(1) การวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นการกำหนดแผนการปฏิบัติงานบำรุงรักษาในเชิงป้องกันล่วงหน้าเป็นรายปี เพื่อกำหนดรายการงานที่ต้องดำเนินงานเมื่อถึงกำหนดเวลาที่ต้องปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามมาตรการในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

(2) การวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

การวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเป็นการกำหนดแผนงานเพื่อดำเนินการซ่อมบำรุงความเสียหายที่เกิดขึ้นหลังจากที่มีการแจ้งซ่อม ซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการสั่งงานและออกใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข โดยเป็นการกำหนดวันที่เริ่มงาน วันที่เสร็จงาน ผู้รับผิดชอบงาน และรายการแจ้งซ่อมความเสียหายที่ต้องการให้ดำเนินการซ่อมบำรุง

เนื่องจากในขั้นตอนการวางแผนงานบำรุงรักษาดังกล่าวข้างต้น ผู้วางแผนจำเป็นต้องทราบถึงภาระงานทั้งหมดที่มีอยู่ นอกจากนั้น แต่ละงานที่ได้ออกคำสั่งงานหรือเริ่มงานไปแล้วต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ไปจนเสร็จสิ้น ระบบที่ดีจึงต้องสามารถแยกงานตามสถานะของงานได้ เพื่อให้ทราบว่างานแต่ละงานอยู่ในขั้นตอนไหน และมีปริมาณงานในแต่ละขั้นตอนเพียงใด

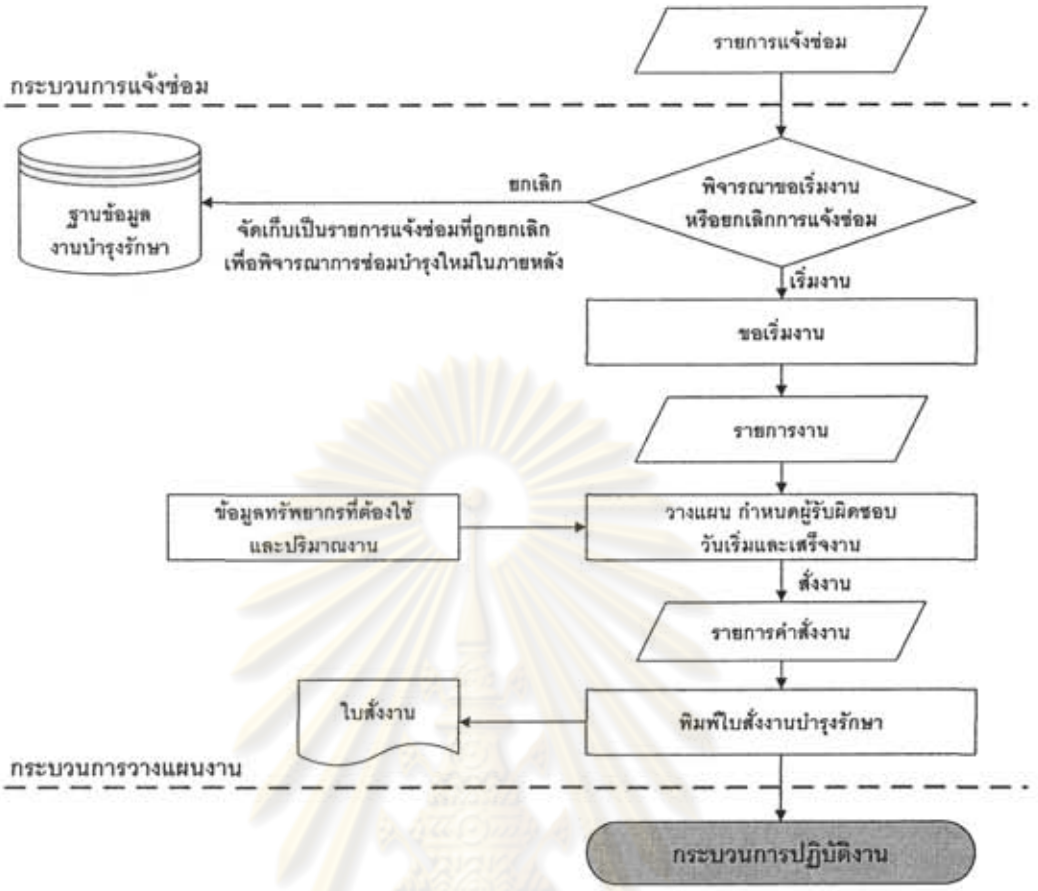
กลุ่มงานบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 งานค้าง (backlogs) หมายถึง งานที่ต้องดำเนินการและงานที่ถึงกำหนดเวลาที่ต้องดำเนินการซึ่งได้แก่ รายการแจ้งซ่อมและรายการแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
- กลุ่มที่ 2 งานที่อยู่ระหว่างการดำเนินการ (in-process) หมายถึง งานที่ได้มีการขอเริ่มงานแล้ว และอยู่ในระหว่างการดำเนินงานตามคำสั่งงาน
- กลุ่มที่ 3 งานเสร็จสมบูรณ์ (completed) หมายถึง งานที่ได้ดำเนินการบำรุงรักษาเสร็จสิ้น และมีการจัดเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อเป็นประวัติการบำรุงรักษาแล้ว

หลังจากที่ได้วางแผนและกำหนดรายละเอียดของงานเสร็จสิ้น ในกระบวนการนี้ได้พัฒนาให้มีการจัดทำใบสั่งงานบำรุงรักษาขึ้นสำหรับมอบหมายงานให้แก่พนักงานช่อมบำรุงและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานในภาคสนาม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม ติดตาม และเร่งรัดงานจากผู้ที่รับผิดชอบงานได้ในขั้นตอนของการปฏิบัติงานในภาคสนาม เนื่องจากกระบวนการบำรุงรักษาในปัจจุบันยังขาดความชัดเจนในการสั่งงาน ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบผลการปฏิบัติงานของผู้รับผิดชอบและตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษาในแต่ละงานได้อย่างทั่วถึง

เนื่องจากการวางแผนงานจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลและสารสนเทศที่เพียงพอ รายงานหลักที่จำเป็นต้องจัดทำขึ้นเพื่อช่วยในการวางแผนงาน ได้แก่ รายงานแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันรายเดือนและรายปี ซึ่งเป็นรายงานแสดงแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องดำเนินการ เพื่อเตรียมความพร้อมของทรัพยากรที่ต้องใช้งานล่วงหน้า อีกทั้งใช้ควบคุมและติดตามการดำเนินงาน นอกจากนั้นแล้วยังได้แก่ รายงานคำสั่งงาน รายงานข้อมูลพื้นฐาน รายงานสรุปยอดรวมต่างๆ เป็นต้น กระบวนการวางแผนงานที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



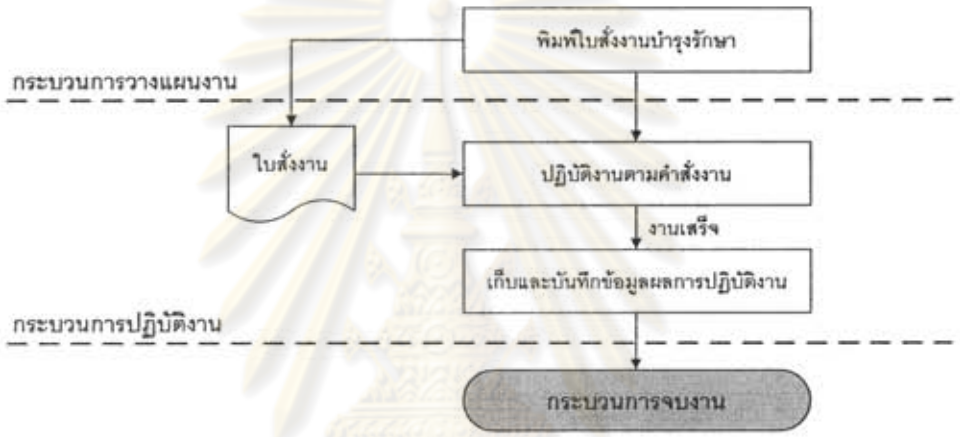
รูปที่ 5.4 กระบวนการวางแผนงาน

5.3.3 กระบวนการปฏิบัติงาน

หลังจากงานได้ถูกวางแผน กำหนดเวลา และออกคำสั่งให้ซ่อมบำรุงแล้ว พนักงานซ่อมบำรุงที่รับผิดชอบในแต่ละงานมีหน้าที่ต้องดำเนินงานตามคำสั่งงานและเวลาที่กำหนด โดยก่อนการเข้าซ่อมบำรุงภายในอุโมงค์ทุกครั้ง ต้องขออนุญาตเจ้าหน้าที่ควบคุมอุโมงค์เพื่อเข้าทำงานในพื้นที่เขตทางรถไฟฟ้า และต้องจัดเตรียมทรัพยากรทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้งานให้พร้อม เพื่อให้ดำเนินงานได้อย่างราบรื่น ตรงตามเป้าหมายที่กำหนด เมื่อปฏิบัติงานจนเสร็จสิ้นแล้ว พนักงานซ่อมบำรุงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่สำคัญให้ครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลทางด้านเทคนิค เพื่อนำมาจัดเก็บลงฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาเป็นประวัติการบำรุงรักษาและใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป ซึ่งจะช่วยให้สามารถดำเนินงานบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิผลในระยะยาว กระบวนการปฏิบัติงานที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.5

รายงานหลักที่จำเป็นต้องจัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุม ตรวจสอบ ติดตาม และเร่งรัดงานจากผู้ที่รับผิดชอบ ได้แก่

- รายงานข้อมูลงานที่อยู่ระหว่างการดำเนินงาน
- รายงานข้อมูลงานที่ล่าช้า เป็นรายงานแสดงรายการงานที่อยู่ในระหว่างการดำเนินงานและยังไม่แล้วเสร็จตามเวลาที่กำหนด
- รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษา เป็นรายงานแสดงรายการงานบำรุงรักษาตามสถานะงาน พนักงาน และหน่วยงานซ่อมบำรุงที่รับผิดชอบ

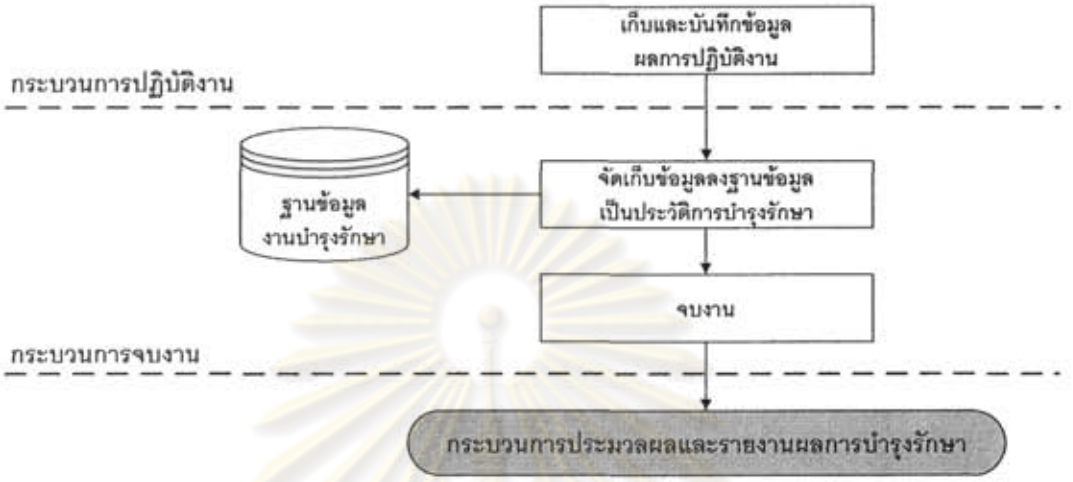


รูปที่ 5.5 กระบวนการปฏิบัติงาน

5.3.4 กระบวนการจบงาน

เนื่องจากการตรวจสอบและติดตามประวัติการบำรุงรักษาเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการบำรุงรักษาทั้งในเชิงเทคนิคและบริหารจัดการ จึงควรมีการจัดเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลของการปฏิบัติงานบำรุงรักษา ดังนั้น จึงออกแบบให้หลังจากปฏิบัติงานบำรุงรักษาในภาคสนามเสร็จสิ้น กระบวนการบำรุงรักษาจะยังไม่จบลงจนกว่าข้อมูลผลการปฏิบัติงานที่เก็บรวบรวมมาได้จะถูกป้อนกลับเข้าไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเป็นประวัติการบำรุงรักษา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการบำรุงรักษาต่อไป งานนั้นจึงจะถือว่าได้เสร็จหรือจบลงดังแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งข้อมูลและการสรุปในการจบงานที่สำคัญ ได้แก่ การสรุปสาเหตุของความเสียหายซึ่งเป็นไปตามหลักวิศวกรรม ข้อมูลเกี่ยวกับเวลา และข้อมูลการใช้ปัจจัยต่างๆ โดยข้อมูลเหล่านี้จะยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาตไม่ได้ เนื่องจากมีผลทำให้การ

วิเคราะห์ผลการบำรุงรักษาออกมาไม่ถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้การปรับปรุงวิธีการและนโยบายการบำรุงรักษาไม่ถูกต้องตามไปด้วย



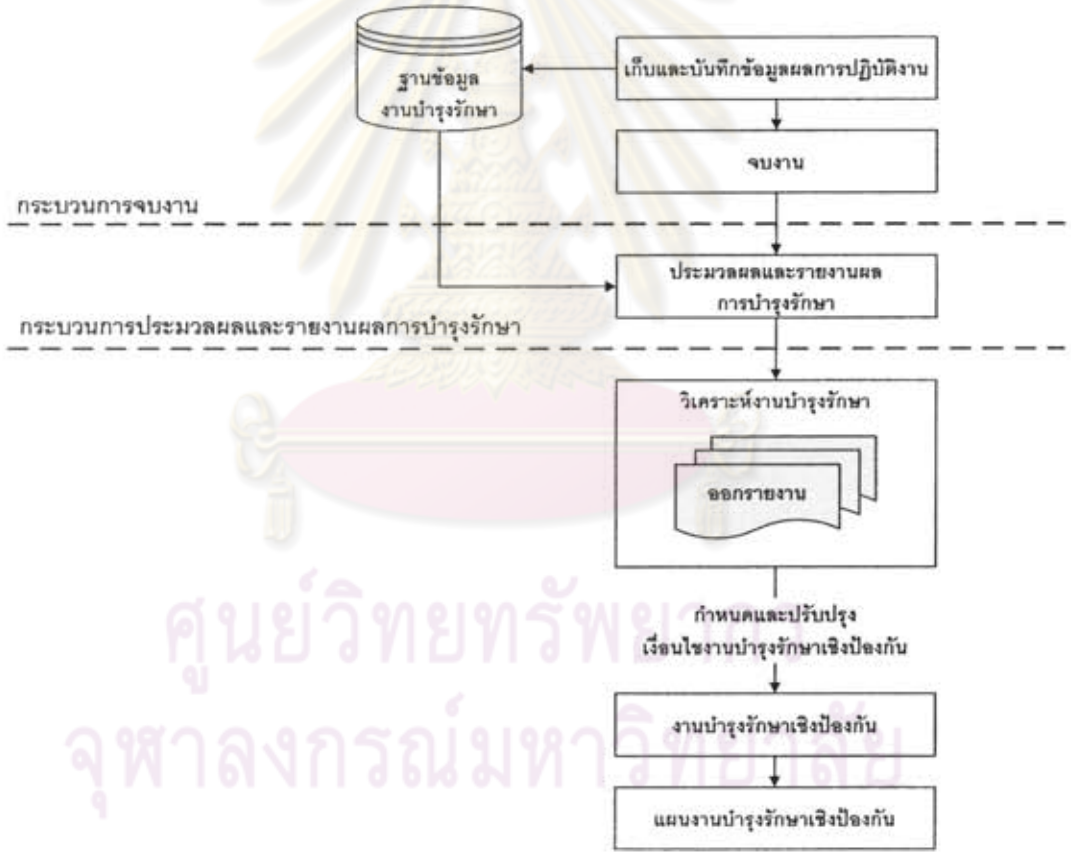
รูปที่ 5.6 กระบวนการจบงาน

5.3.5 กระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา

การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลงานบำรุงรักษาเป็นกระบวนการที่สำคัญซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์งานบำรุงรักษาทั้งในด้านเทคนิคและด้านการบริหารจัดการ เพื่อนำไปกำหนดและปรับปรุงเงื่อนไขของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน รวมทั้งบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในด้านอื่นๆ การพัฒนานี้จึงออกแบบให้มีขั้นตอนการประมวลผลและจัดทำรายงานผลเพื่อการบำรุงรักษาขึ้นดังรูปที่ 5.7 เนื่องจากการบำรุงรักษาในปัจจุบันมีการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย ทำให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องขาดข้อมูลที่เพียงพอต่อการบริหารจัดการ การพัฒนากระบวนการดังกล่าวได้ใช้ระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือช่วยในการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น โดยรายงานหลักที่สำคัญซึ่งควรจัดทำขึ้น ได้แก่

- รายงานสรุปยอดความเสียหาย เป็นรายงานที่แสดงถึงประเภทและปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสถานี ณ ช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อใช้วิเคราะห์หาสาเหตุ แนวทางและวิธีการป้องกันและแก้ไขที่เหมาะสม

- รายงานสรุปยอดงานบำรุงรักษา เป็นรายงานที่แสดงถึงสถานะและปริมาณของงานบำรุงรักษาที่อยู่ในระบบทั้งหมด เพื่อให้ทราบถึงสถานะโดยรวมของการดำเนินงานบำรุงรักษา และใช้ในการวางแผน ควบคุม และติดตามเร่งรัดงาน
- รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข เป็นรายงานแสดงผลของการปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามคำสั่งงาน เพื่อใช้ตรวจสอบและประเมินผลการปฏิบัติงานของพนักงานช่อมบำรุง ผู้รับเหมางานซ่อมบำรุง รวมทั้งใช้วิเคราะห์เพื่อปรับปรุงงาน
- รายงานประวัติการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข เพื่อใช้ตรวจสอบ ติดตาม รวมถึงวิเคราะห์ประวัติการบำรุงรักษาที่ผ่านมาในอดีต



รูปที่ 5.7 กระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการงานบำรุงรักษา

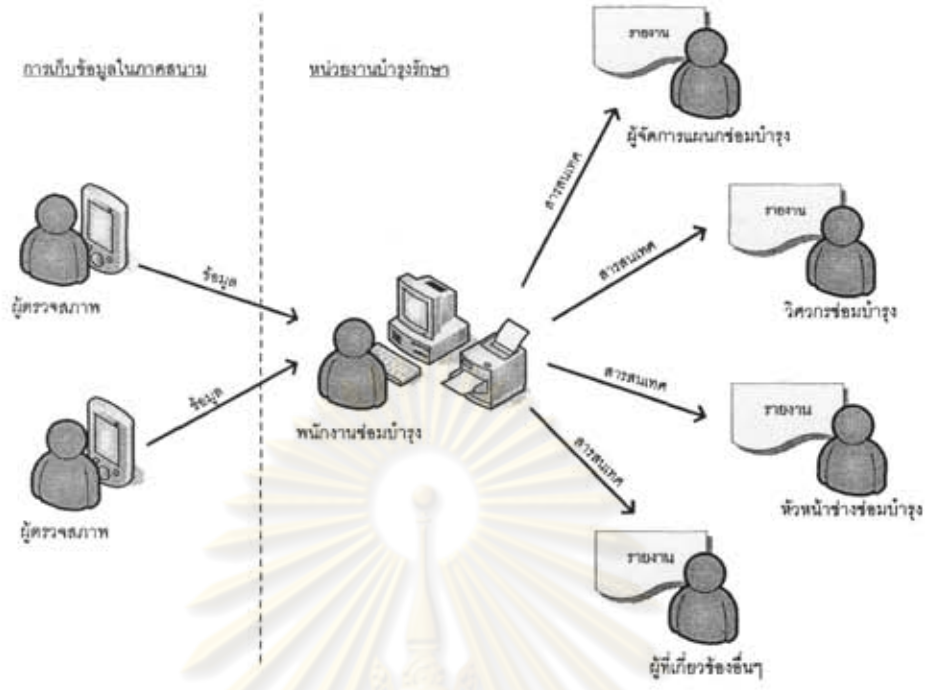
การดำเนินงานบำรุงรักษาเป็นงานที่มีความเกี่ยวข้องกับบุคลากรหลายระดับและต้องการข้อมูลเพื่อใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานที่แตกต่างกัน จากการศึกษาถึงระบบการจัดการข้อมูลและสารสนเทศในงานบำรุงรักษาของโครงการกรณีศึกษาพบว่า รูปแบบและวิธีการจัดการข้อมูลในปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของบุคลากรในแต่ละระดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่มีการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษามาจัดทำเป็นระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการบริหารจัดการ หรือใช้ประโยชน์ร่วมกันอย่างเป็นระบบ ทำให้บุคลากรเข้าถึงข้อมูลได้ยาก ใช้เวลานาน และมักเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่เสมอ การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจึงมีไม่มากนัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาขึ้น เพื่อรองรับกระบวนการดำเนินงานบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูล

โดยทั่วไปแล้ว การจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการจัดการด้วยมือและด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการทั้งสองวิธีนี้ล้วนให้คุณค่าต่อผู้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลเช่นเดียวกัน แต่วิธีการจัดการข้อมูลด้วยมือต้องใช้ระยะเวลานานและกำลังมากในการรวบรวม ค้นหา ประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลและสารสนเทศตามที่ต้องการ ซึ่งไม่เหมาะอย่างยิ่งกับระบบซึ่งมีข้อมูลจำนวนมากๆ ส่วนวิธีการจัดการด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีความถูกต้องแม่นยำ เชื่อถือได้ สามารถค้นหาเพื่อตรวจสอบข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และเหมาะกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมากๆ จึงเป็นวิธีการซึ่งควรนำมาประยุกต์ใช้กับงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในการเก็บรวบรวม จัดโครงสร้าง ประมวลผล และจัดทำรายงานผลข้อมูลที่ต้องการ เพื่อให้ได้สารสนเทศงานบำรุงรักษาที่มีคุณภาพและเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา

การออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการนี้ได้ศึกษาถึงความต้องการเกี่ยวกับวิธีการจัดการข้อมูล ประเภทของข้อมูล และรายงานผลข้อมูลที่บุคลากรในแต่ละระดับต้องการ เพื่อให้การออกแบบและพัฒนาระบบมีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้งานมากที่สุด โดยได้ทำการสอบถามจากผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ และหัวหน้าช่างซ่อมบำรุง จากการศึกษาทำให้ได้ข้อกำหนดในการออกแบบและพัฒนาระบบ ดังนี้

- หน้าที่และการทำงานหลักของระบบ ได้แก่
  - จัดเก็บข้อมูลงานบำรุงรักษาและนำเสนอสารสนเทศที่เหมาะสมให้แก่ผู้ใช้งาน
  - ประมวลผลและจัดทำรายงานให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ในการจัดการงานบำรุงรักษา
  - ช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเก็บข้อมูลในภาคสนาม การแจ้งซ่อม การสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การสั่งงาน การควบคุมติดตามงาน การจบงาน การประมวลผลและรายงานผลข้อมูล
- ความรวดเร็วและถูกต้องของรายงานที่ได้รับจากระบบสูงกว่าระบบเดิม
- ความสะดวกและรวดเร็วของกระบวนการจัดการข้อมูลสูงกว่าระบบเดิม
- ผู้ใช้งานระบบ ได้แก่ วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ และหัวหน้าช่างซ่อมบำรุง
- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบควรมีน้อยที่สุด
- ควรสามารถปรับปรุงระบบได้อย่างต่อเนื่อง

จากข้อกำหนดในการออกแบบและพัฒนาระบบได้แบ่งการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยประยุกต์ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และระบบฐานข้อมูลเข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูลและงานบำรุงรักษา โดยในงานเก็บข้อมูลในภาคสนามได้ออกแบบให้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือเป็นเครื่องมือในการจัดเก็บข้อมูลของผู้ตรวจสภาพ เมื่อผู้ตรวจสภาพปฏิบัติงานในภาคสนามเสร็จสิ้นแล้ว จึงนำข้อมูลที่จัดเก็บได้มาถ่ายโอนเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักซึ่งติดตั้งอยู่ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่สำนักงาน เพื่อประมวลผลและนำเสนอสารสนเทศงานบำรุงรักษาให้แก่ผู้ใช้งานตามความต้องการในรูปแบบของการรายงานผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์และการจัดทำรายงานต่างๆ ให้แก่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินงาน นอกจากนั้นแล้วระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษายังใช้ช่วยในการบริหารจัดการและดำเนินงานต่างๆ ตามกระบวนการบำรุงรักษาอีกด้วย โดยมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานของระบบดังรูปที่ 5.8

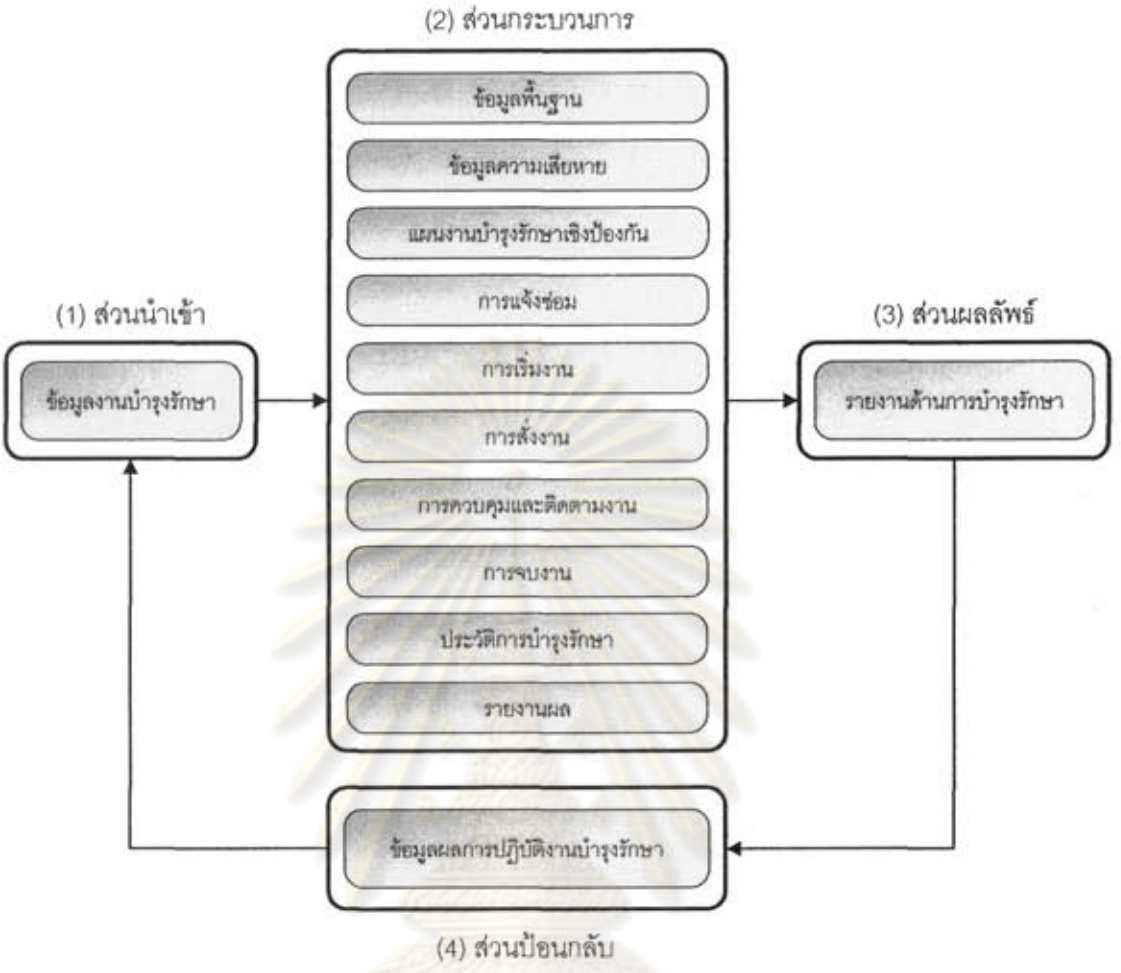


รูปที่ 5.8 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของระบบสารสนเทศเพื่อจัดการงานบำรุงรักษา

5.4.1 ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมีจุดประสงค์เพื่อช่วยในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลงานบำรุงรักษา การแจ้งซ่อม การวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหาย การวางแผนงาน การสั่งงาน การควบคุมและติดตามการปฏิบัติงานของพนักงานซ่อมบำรุง การจบงาน การตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษา และการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา ซึ่งจะช่วยให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล สารสนเทศที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษามากขึ้น

โครงสร้างของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนนำเข้า (input) ส่วนกระบวนการ (process) ส่วนผลลัพธ์ (output) และส่วนป้อนกลับ (feed-back) ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 โครงสร้างของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

(1) ส่วนนำเข้า (input) ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนนำเข้าของระบบ ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับงานบำรุงรักษาที่ถูกนำเข้าสู่ระบบเพื่อก่อให้เกิดกระบวนการขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาของข้อมูลพบว่า ข้อมูลเหล่านี้ได้รับมาจากสองแหล่งใหญ่ ได้แก่ แหล่งข้อมูลภายในและแหล่งข้อมูลภายนอก ดังนี้

1) แหล่งข้อมูลภายใน หมายถึง ข้อมูลที่อยู่ภายในตัวระบบซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ดังนี้

- ข้อมูลมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หมายถึง ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนดและมาตรการที่ใช้ในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงสถานีและเส้นทางที่บำรุงรักษา วิธีที่ใช้ในการบำรุงรักษา และรอบความถี่ของการบำรุงรักษา เป็นต้น

- ข้อมูลพนักงานซ่อมบำรุง หมายถึง ข้อมูลเกี่ยวกับบุคลากรด้านงานบำรุงรักษาในทุกระดับและทุกหน่วยงาน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อสกุลของพนักงาน หน่วยงานที่สังกัด แผนกที่สังกัด ตำแหน่งงาน เบอร์โทร และอีเมล์ติดต่อ เป็นต้น

- ข้อมูลโครงสร้างอุโมงค์ หมายถึง ข้อมูลลักษณะและคุณสมบัติของแต่ละองค์ประกอบหลักของโครงสร้างอุโมงค์ที่บำรุงรักษา ได้แก่ ชื่อองค์ประกอบและรายละเอียดที่สำคัญขององค์ประกอบ เป็นต้น

- ข้อมูลรางรถไฟฟ้า หมายถึง ข้อมูลลักษณะและคุณสมบัติของแต่ละองค์ประกอบหลักของรางรถไฟฟ้าที่บำรุงรักษา ได้แก่ ชื่อองค์ประกอบและรายละเอียดที่สำคัญขององค์ประกอบ เป็นต้น

- ข้อมูลระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน หมายถึง ข้อมูลลักษณะทั่วไปของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อโครงการ หน่วยงานที่รับผิดชอบ ปีที่เริ่มก่อสร้าง ปีที่ก่อสร้างเสร็จ ปีที่เปิดให้บริการ ความเร็วเฉลี่ยของการเดินรถ ช่วงเวลาที่ระบบให้บริการ ช่วงเวลาซ่อมบำรุง ระยะทางที่ให้บริการ แนวเส้นทางที่ให้บริการ ความสามารถในการให้บริการ เป็นต้น

- ข้อมูลเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน หมายถึง ข้อมูลลักษณะทั่วไปของเส้นทางและองค์ประกอบที่สำคัญซึ่งอยู่ในแนวเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อและชื่อย่อเส้นทาง รายละเอียดโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในแนวเส้นทาง ความยาวของเส้นทาง เป็นต้น

- ข้อมูลสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน หมายถึง ข้อมูลลักษณะทั่วไปทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อและชื่อย่อสถานี ตำแหน่งพิกัดของสถานี รายละเอียดที่สำคัญเกี่ยวกับสถานี เป็นต้น

- ข้อมูลช่วงสถานี หมายถึง ข้อมูลเกี่ยวกับแต่ละช่วงสถานีที่อยู่ในแต่ละเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อและชื่อย่อช่วงสถานี ระยะห่างระหว่างสถานี เส้นทาง ตำแหน่งพิกัดเริ่มต้นและสิ้นสุดช่วงสถานี เป็นต้น

- ข้อมูลหน่วยงานบำรุงรักษา หมายถึง ข้อมูลหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาภายในระบบรถไฟฟ้าใต้ดินทั้งในส่วนของผู้ให้บริการและผู้รับเหมางานซ่อมบำรุง ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อหน่วยงาน ฐานะของหน่วยงาน ผู้ติดต่อประสานงาน เบอร์โทรติดต่อ ความเชี่ยวชาญในงานบำรุงรักษา เป็นต้น

- ข้อมูลวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข หมายถึง ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อวิธีการและรายละเอียดวิธีการบำรุงรักษา เป็นต้น

2) แหล่งข้อมูลภายนอก

ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกระบบ หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานของบุคลากรด้านการบำรุงรักษา ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสภาพความเสียหายในภาคสนาม และข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานบำรุงรักษาต่างๆ ของพนักงานซ่อมบำรุง ประกอบด้วย

- ข้อมูลความเสียหาย หมายถึง ข้อมูลลักษณะและสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ซึ่งได้จากการตรวจสภาพในภาคสนาม แล้วถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่สำนักงาน หรือด้วยวิธีการป้อนข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลโดยตรงผ่านทางหน้าจอโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษา

- ข้อมูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงสถานีและเส้นทางที่บำรุงรักษา วิธีการบำรุงรักษา วันที่เริ่มและเสร็จงานตามแผน เป็นต้น

- ข้อมูลการแจ้งซ่อม หมายถึง ข้อมูลจากการแจ้งซ่อมความเสียหายเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไป ได้แก่ ผู้ตรวจสภาพ วันที่แจ้งซ่อม และสถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุง เป็นต้น

- ข้อมูลการสั่งงาน หมายถึง ข้อมูลจากการสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข ได้แก่ ผู้สั่งงาน ผู้รับผิดชอบงาน วันและเวลาที่สั่งงาน วันที่เริ่มและเสร็จงานตามแผน เป็นต้น

- ข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา หมายถึง ข้อมูลผลจากการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขตามคำสั่งงานที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อจบงานและจัดเก็บเป็นประวัติการบำรุงรักษา ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่

  - ผู้ปฏิบัติงาน
  - วันที่เริ่มงานและเสร็จงานจริง
  - เลขที่อนุมัติให้เข้าพื้นที่เขตทางรถไฟฟ้า
  - เวลาในการทำงานทั้งหมดที่ใช้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- จำนวนพนักงานซ่อมบำรุงที่ใช้
- วิธีการซ่อมบำรุงที่ใช้จริง
- สาเหตุของความเสียหาย
- ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน
- สรุปผลการปฏิบัติงาน
- ข้อเสนอแนะในการซ่อมบำรุงครั้งต่อไป เป็นต้น

(2) ส่วนกระบวนการ (process) ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนกระบวนการของระบบ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากส่วนนำเข้าเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ประกอบด้วยส่วนการทำงาน ดังนี้

- ข้อมูลพื้นฐาน มีหน้าที่หลักในการจัดการข้อมูลพื้นฐานทั้งหมด ได้แก่ การบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานผลข้อมูล
- ข้อมูลความเสียหาย มีหน้าที่หลักในการจัดการข้อมูลความเสียหาย ได้แก่
  - การบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลความเสียหาย
  - ประมวลผลข้อมูลเพื่อประเมินสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์
  - ประมวลผลข้อมูลเพื่อประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์
- แผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน มีหน้าที่ช่วยสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน รวมทั้งมีหน้าที่ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
- การแจ้งซ่อม เป็นระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายเพื่อกำหนดสถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุง แจ้งซ่อมความเสียหายที่ต้องการการซ่อมบำรุง และยกเลิกการแจ้งซ่อมความเสียหายที่ไม่จำเป็นต้องซ่อมบำรุง
- การเริ่มงาน เป็นระบบที่ใช้สำหรับการขอเริ่มและยกเลิกการปฏิบัติงานบำรุงรักษา ซึ่งประกอบด้วย งานที่ต้องดำเนินการหรือรายการแจ้งซ่อม และงานที่ถึงกำหนดเวลาหรือรายการแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน อีกทั้งมีหน้าที่ในการค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลเกี่ยวกับรายการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข
- การสั่งงาน มีหน้าที่หลักเกี่ยวกับการออกคำสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สร้างคำสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข
- ออกใบสั่งงานเพื่อนำไปใช้ที่หน้างาน
- ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลเกี่ยวกับการสั่งงาน

• การควบคุมและติดตามงาน เป็นส่วนที่ใช้สำหรับควบคุมและติดตามงานบำรุงรักษา เพื่อเร่งรัดงานจากผู้ที่รับผิดชอบ มีหน้าที่หลัก ดังนี้

- ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานผลข้อมูลเกี่ยวกับรายการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข
- สรุปยอดรวมปริมาณงานตามสถานะของงาน
- แสดงรายการงานที่ล่าช้ากว่ากำหนดและงานที่อยู่ระหว่างการดำเนินงาน

• การจบงาน เป็นระบบที่ใช้สำหรับป้อนข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเพื่อจบงานและจัดเก็บเป็นประวัติการบำรุงรักษา หน้าที่หลักของระบบ ได้แก่ การบันทึก แก้ไข ค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงานเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข

• ประวัติการบำรุงรักษา มีหน้าที่ในการค้นหา แสดงผล และจัดทำรายงานข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข

• รายงานผลข้อมูล มีหน้าที่จัดทำรายงานผลข้อมูลเพื่อการดำเนินงานบำรุงรักษาทั้งในเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข ดังนี้

- จัดทำรายงานข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลความเสียหาย ข้อมูลแผนงานบำรุงรักษา ข้อมูลการแจ้งซ่อม ข้อมูลการสั่งงาน ข้อมูลงานบำรุงรักษา ข้อมูลงานที่อยู่ระหว่างการดำเนินงาน ข้อมูลงานที่ล่าช้า ข้อมูลผลการปฏิบัติงาน และข้อมูลประวัติการบำรุงรักษา
- จัดทำรายงานเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ รายงานสรุปยอดรวมต่างๆ เช่น ยอดรวมความเสียหาย ยอดรวมการแจ้งซ่อม ยอดรวมงานบำรุงรักษา เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) ส่วนผลลัพธ์ (output) ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนผลลัพธ์ของระบบเป็นส่วนที่ต้องการได้จากระบบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากระบบนี้ ได้แก่ รายงานผลข้อมูลในงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้งานในการปฏิบัติงานและดำเนินงานบำรุงรักษาตั้งแต่การวางแผน ควบคุม ตรวจสอบ และติดตามเร่งรัดงาน รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินผลการบำรุงรักษา รายงานส่วนผลลัพธ์ของระบบสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5.7

(4) ส่วนป้อนกลับ (feedback) ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนป้อนกลับของระบบเป็นส่วนที่ใช้ปรับปรุงและควบคุมการทำงานของส่วนกระบวนการ เพื่อให้การทำงานของระบบให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ รวมทั้งช่วยลดความคลาดเคลื่อนและปัญหาที่เกิดขึ้นกับส่วนนำเข้าและส่วนกระบวนการของระบบ ส่วนป้อนกลับของระบบนี้ ได้แก่

- การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาหลังจากดำเนินงานแล้วเสร็จ เพื่อจบงานและจัดเก็บเป็นประวัติการบำรุงรักษา
- การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายหลังจากตรวจสภาพความเสียหายแล้วเสร็จ เพื่อนำเข้าสู่ระบบข้อมูลความเสียหายและดำเนินการบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไป
- การแก้ไขและปรับปรุงข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ในระบบ หลังจากที่มีการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานบำรุงรักษา เพื่อกำหนดและปรับปรุงเงื่อนไขการบำรุงรักษาใหม่

ตารางที่ 5.7 รายงานส่วนผลลัพธ์ของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

รายงาน	วัตถุประสงค์
1. รายงานข้อมูลพื้นฐาน	รองรับการดำเนินงานบำรุงรักษาในด้านต่างๆ
2. รายงานข้อมูลความเสียหาย	หาแนวทางและวิธีการป้องกันและแก้ไขที่เหมาะสม รวมทั้งใช้วางแผนและเตรียมการซ่อมบำรุง
3. รายงานข้อมูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	เตรียมความพร้อมในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาล่วงหน้า
4. รายงานข้อมูลการแจ้งซ่อม	วางแผน ควบคุม และติดตามเร่งรัดงาน
5. รายงานข้อมูลคำสั่งงานและใบสั่งงาน	มอบหมายงานให้แก่พนักงานซ่อมบำรุง รวมทั้งตรวจสอบและติดตามการปฏิบัติงานของผู้รับผิดชอบ
6. รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษา	วางแผน ควบคุม และติดตามเร่งรัดงาน รวมทั้งประเมินผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา
7. รายงานข้อมูลงานที่อยู่ระหว่างการดำเนินงาน	ควบคุม ติดตาม เร่งรัดงาน และตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้ที่รับผิดชอบ
8. รายงานข้อมูลงานที่ล่าช้า	ติดตามและเร่งรัดงานที่ล่าช้า
9. รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	วิเคราะห์ปรับปรุงเงื่อนไขการบำรุงรักษา รวมทั้งตรวจสอบและประเมินผลการปฏิบัติงานของพนักงาน
10. รายงานประวัติการบำรุงรักษา	ตรวจสอบ วิเคราะห์ และประเมินผลการบำรุงรักษา
11. รายงานเชิงวิเคราะห์	วิเคราะห์และประเมินผลการบำรุงรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 ระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นการพัฒนารูปแบบของการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในการตรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เนื่องจากงานตรวจสภาพภายในอุโมงค์เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการบำรุงรักษา เป็นงานที่มีระยะเวลาที่จำกัด และมีสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการปฏิบัติงาน การพัฒนานี้จึงได้ออกแบบให้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่เหมาะสมกับการตรวจสภาพความเสียหายแต่ละประเภท เป็นอุปกรณ์ช่วยบันทึกและจัดเก็บข้อมูลแทนการใช้แบบฟอร์มกระดาษที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งยังขาดรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญซึ่งควรจัดเก็บและตรงต่อความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์ อีกทั้งข้อมูลที่จัดเก็บได้ยังอยู่ในรูปแบบที่ยากต่อการนำไปประมวลผลและจัดเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูล นอกจากนั้นแล้ว การใช้แบบฟอร์มกระดาษยังก่อให้เกิดความยุ่งยากและไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์อีกด้วย เนื่องจากในงานตรวจสภาพภายในอุโมงค์ ผู้ตรวจสภาพจำเป็นต้องเดินและปีนไต่เพื่อตรวจสภาพความเสียหายในจุดที่อยู่สูงอยู่เสมอ อีกทั้งมีแสงสว่างไม่มากนัก

จากการพิจารณาถึงคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือพบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะต่อการใช้เก็บข้อมูลในภาคสนามแทนการใช้แบบฟอร์มกระดาษ เนื่องจากมีขนาดเล็ก สะดวกต่อการพกพา ใช้งานได้ง่าย และหน้าจอมีแสงสว่าง นอกจากนั้น ในด้านการจัดการข้อมูลยังสามารถเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อใช้งานบนคอมพิวเตอร์มือถือ และส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักบนคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการป้อนข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาการทำงานลง การใช้อุปกรณ์ดังกล่าวจึงน่าจะช่วยให้การปฏิบัติงานของผู้ตรวจสภาพภายในอุโมงค์เกิดความสะดวกและคล่องตัว รวมทั้งช่วยให้การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลในขั้นตอนต่อไปเกิดความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลที่จำเป็นต้องจัดเก็บสำหรับการตรวจสภาพ และการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลที่จำเป็นต้องจัดเก็บสำหรับการตรวจสภาพ

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและพัฒนาแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลจากการศึกษาระบบงานและวิธีการปฏิบัติงานจริง พร้อมรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบงานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับประเภทความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เพื่อรวบรวมประเภทของความเสียหายและข้อมูลสภาพความเสียหายที่จำเป็นต้องจัดเก็บ โดยศึกษาจากคู่มือการตรวจสภาพและบำรุงรักษา แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบันและที่ใช้ในหน่วยงานด้านระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของต่างประเทศ รายงานความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นรวบรวมข้อมูลที่ต้องการใช้ในการจัดการงานบำรุงรักษาเพิ่มเติม และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รวบรวมได้โดยสอบถามจากวิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ และหัวหน้าช่างซ่อมบำรุงในโครงการกรณีศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลอย่างแท้จริง จากการรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลสามารถแบ่งประเภทของข้อมูลออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) ข้อมูลทั่วไปของการตรวจสภาพ หมายถึง ข้อมูลซึ่งบอกให้ทราบถึงรายละเอียดโดยทั่วไปของการตรวจสภาพ ได้แก่ วันและเวลาที่เข้าและออกจากอุโมงค์ ช่วงสถานีและเส้นทางที่ตรวจสภาพ ผู้ตรวจสภาพ เลขที่ใบสั่งงาน เลขที่งาน และเลขที่เข้าพื้นที่ เป็นต้น

2) ข้อมูลตำแหน่งความเสียหาย หมายถึง ข้อมูลซึ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดความเสียหายขึ้น เช่น ค่าพิกัดตำแหน่งของเส้นทาง ช่วงสถานี ตำแหน่งตามหน้าตัดของอุโมงค์ ด้านของอุโมงค์ เป็นต้น รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.8

3) ข้อมูลสภาพความเสียหาย หมายถึง ข้อมูลซึ่งบอกให้ทราบถึงลักษณะสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น เช่น องค์ประกอบที่เสียหาย ประเภทความเสียหาย ขนาดของความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทความเสียหายและองค์ประกอบที่ความเสียหาย ตารางที่ 5.9 แสดงความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ และตารางที่ 5.10 แสดงความเสียหายของรางรถไฟฟ้า

4) ข้อมูลจากการประเมินสภาพความเสียหาย หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการประเมินสภาพความเสียหายโดยผู้ตรวจสภาพ ซึ่งในการพัฒนาระบบนี้ ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นโดยใช้เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหายประกอบด้วยประเภทความเสียหายที่ต้องได้รับการประเมินสภาพ ดังแสดงในตารางที่ 5.11

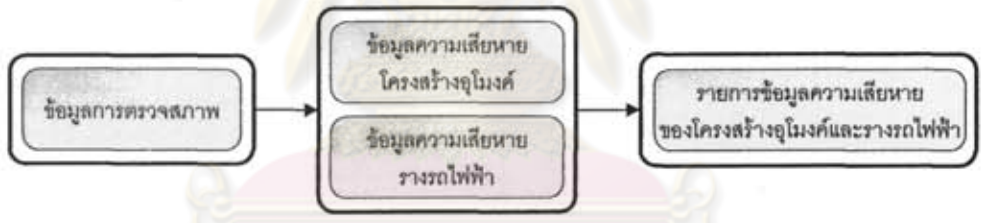
ตารางที่ 5.8 ข้อมูลตำแหน่งความเสียหายที่จำเป็นต้องจัดเก็บ

ประเภท / ข้อมูล	การตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์	การตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า
ช่วงสถานี	•	•
เลขที่วงอุโมงค์	•	
ตำแหน่งที่เสียหายตามค่าพิกัด (chainage)	•	•
ตำแหน่งที่เสียหายตามหน้าตัดของอุโมงค์	•	
ด้านของอุโมงค์ (ด้านซ้ายและด้านขวา)		•
ลักษณะทาง (ทางตรงและทางโค้ง)		•

- หมายถึง ข้อมูลที่จัดเก็บ

(2) การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

โครงสร้างของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่สำคัญและมีความสัมพันธ์กัน ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนนำเข้า ส่วนกระบวนการ และส่วนผลลัพธ์ ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 โครงสร้างของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

1) ส่วนนำเข้าของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนนำเข้าของระบบ คือ ข้อมูลที่จำเป็นต้องนำเข้าสู่ระบบเพื่อก่อให้เกิดกระบวนการขึ้น ประกอบด้วย ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายในระบบและข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกระบบ ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายในระบบ หมายถึง ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตรวจสภาพความเสียหายทั้งหมด ข้อมูลภายในระบบที่สำคัญ ได้แก่ รายการข้อมูลประเภทความเสียหาย รายการข้อมูลองค์ประกอบที่เสียหาย และรายการข้อมูลลักษณะสภาพความเสียหาย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลที่จำเป็นต้องจัดเก็บในการตรวจสภาพ สำหรับข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกระบบ หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกข้อมูลของผู้ตรวจสภาพ

ในระหว่างการปฏิบัติงาน รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคำสั่งงาน ข้อมูลจากภายนอกระบบที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของการตรวจสภาพ ตำแหน่งความเสียหาย ขนาดของความเสียหาย ระดับความรุนแรงจากการประเมินสภาพความเสียหาย ข้อมูลงาน และใบสั่งงาน

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ที่จำเป็นต้องจัดเก็บ

องค์ประกอบที่เสียหาย	ข้อมูลประเภทความเสียหาย	ข้อมูลลักษณะสภาพความเสียหาย
ดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	การรั่วไหลของน้ำ	ตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลของน้ำ ซึ่งประกอบด้วย • รูฉีดน้ำปูน • รอยต่อระหว่างชิ้นส่วน อัตราการรั่วไหลของน้ำ (หยด/นาที) ลักษณะของการรั่วไหลของน้ำ ได้แก่ • รั่วและหยดลงสู่กล่องอาณัติสัญญาณ • รั่วและหยดลงสู่อุปกรณ์ไฟฟ้า • รั่วและหยดลงสู่รางที่สาม • รั่วด้านล่างพื้นทางรถไฟฟ้า • รั่วและหยดลงสู่รางวิ่ง • รั่วด้านหลังที่แขวนสายไฟฟ้าแรงสูง • รั่วด้านหลังถาดสายเคเบิลที่อยู่ด้านบน • รั่วด้านหลังหัวฉีดน้ำดับเพลิง • รั่วด้านหลังที่แขวนพื้นทางเดิน • รั่วด้านหลังท่อระบายน้ำ • รั่วและหยดลงสู่พื้นทางเดิน • รั่วแต่ไม่หยดลงสู่อุปกรณ์ใช้ประโยชน์อื่นๆ
	การแตกร้าวของคอนกรีต	ความกว้าง (ม.ม.) และความยาว (ม.)
	การหลุดร่อนของคอนกรีต	ความลึก ความกว้าง และความยาว (ม.)
สลักเกลียวโค้ง	การเสียหายของหน้าตัด	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของหน้าตัด (%)
	การหลวมของสลักเกลียว	จำนวน (ตัว)
	การสูญหายของสลักเกลียว	จำนวน (ตัว)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลสภาพความเสียหายของรางรถไฟฟ้าที่จำเป็นต้องจัดเก็บ

องค์ประกอบที่เสียหาย	ข้อมูลประเภทความเสียหาย	ข้อมูลลักษณะสภาพความเสียหาย
ราง	รอยแตกตัดขวางของหัวราง	ความกว้าง (มม.) และความยาว (ซม.)
	รอยแตกแนวยาวของหัวราง	ความกว้าง (มม.) และความยาว (ซม.)
	การหลุดออกเป็นแผ่น	ความกว้างและความยาว (ซม.)
	การเป็นลอนลูกฟูก	ความสูง (มม.) และความยาว (ม.)
	การสึกที่ด้านข้างของราง	ความกว้าง (ซม.) และความยาว (ม.)
	การสึกในแนวตั้งของราง	ความสูง (ซม.) และความยาว (ม.)
	การผุกร่อนของตีนราง	ความลึก (มม.) และความยาว (ม.)
เครื่องยึดเหนี่ยวราง	การแตกร้าวของคอนกรีตใต้เครื่องยึดเหนี่ยวราง	ความกว้าง (มม.) และความยาว (ม.)
	การแตกหักของสลักรูปสมอ	จำนวน (ชิ้น)
	การงอของสลักรูปสมอ	
	การขาดของสปริงเกลียว	
	การงอของสปริงเกลียว	
	การคลายตัวของน็อต (Nut)	
	การสูญหายของน็อต	
	การหลวมของตัวหนีบรับแรงดึง	
	การหักของตัวหนีบรับแรงดึง	
	การแตกหักของ Bush	
	การสึกแผ่นรองรางชนิดโลหะ	
รอยเชื่อม	การเสียหายทางรูปทรงเรขาคณิต	ความลึก (มม.)
	การแตกตัดขวางของหัวราง	ความกว้าง (มม.) และความยาว (ซม.)
หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า	Fish-Bolt แตกหัก	จำนวน (ชิ้น)
	Insulated Shim แตกหัก	
	Fishplate แตกหัก	
	น็อตหลวม	
พื้นทางรถไฟฟ้าและระบบระบายน้ำ	การแตกร้าวของคอนกรีตพื้นทางรถไฟฟ้า	ความกว้าง (มม.) และความยาว (ม.)
	การมีเศษวัสดุซึ่งอาจอุดตันทางระบายน้ำ	-
	การมีน้ำท่วมขังในทางระบายน้ำ	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ประเภทความเสียหายที่ต้องได้รับการประเมินความรุนแรงของความเสียหาย

การตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์	การตรวจสภาพรางรถไฟฟ้า
1. การรั่วไหลของน้ำ	1. การแตกร้าวของคอนกรีตพื้นทางรถไฟฟ้า
2. การแตกร้าวของคอนกรีต	2. การมีเศษวัสดุซึ่งอาจอุดตันทางระบายน้ำ
3. การหลุดร่อนของคอนกรีต	3. การมีน้ำท่วมขังในทางระบายน้ำ
4. การเสียหายของหน้าตัดสลักเกลียว	
5. การหลวมของสลักเกลียว	
6. การสูญหายของสลักเกลียว	

2) ส่วนกระบวนการของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนกระบวนการของระบบมีหน้าที่หลักในการจัดเก็บข้อมูลที่ผู้ตรวจสภาพบันทึกในระหว่างการตรวจสภาพลงสู่ฐานข้อมูลภายในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ และถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงาน นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการปรับปรุงข้อมูลภายในระบบให้เป็นปัจจุบันและรับข้อมูลคำสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดงานที่ต้องดำเนินการและนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพความเสียหาย

ส่วนกระบวนการของระบบประกอบด้วย 2 ส่วนการทำงานหลัก ได้แก่ ส่วนการจัดการข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์และส่วนการจัดการข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า โดยทั้งสองส่วนดังกล่าวทำหน้าที่และการทำงานเหมือนกัน คือ นำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลความเสียหายที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสภาพความเสียหายแต่ละประเภทให้แก่ผู้ตรวจสภาพเพื่อบันทึกข้อมูลในระหว่างการตรวจสภาพ แล้วจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวลงสู่ฐานข้อมูลภายในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือก่อน เมื่อเสร็จสิ้นการปฏิบัติงานแล้ว จึงทำการถ่ายโอนข้อมูลที่จัดเก็บได้กลับเข้าไปบันทึกลงสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงานอีกครั้งหนึ่งโดยผู้ใช้งาน

3) ส่วนผลลัพธ์ของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ผลลัพธ์หลักที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน คือ รายการข้อมูลความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ซึ่งถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงาน เพื่อเริ่มต้นเข้าสู่กระบวนการซ่อมบำรุงความเสียหายในขั้นตอนต่อไป รวมทั้งนำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบการบำรุงรักษาในปัจจุบันและระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถสรุปถึงความแตกต่างกันของระบบดังกล่าวได้ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ความแตกต่างกันของระบบการบำรุงรักษาในปัจจุบันและระบบที่พัฒนาขึ้น

รายละเอียด	ระบบปัจจุบัน	ระบบที่พัฒนาขึ้น
การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในภาคสนาม	- ใช้แบบฟอร์มกระดาษ - แบบฟอร์มขาดรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญซึ่งควรจัดเก็บ	- ปรับปรุงข้อมูลที่ควรจัดเก็บเพิ่มเติม - พัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์ - ใช้คอมพิวเตอร์มือถือและฐานข้อมูลในเก็บข้อมูลแทนการใช้แบบฟอร์มกระดาษ
การประเมินสภาพความเสียหาย	- ขาดหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนในการประเมินสภาพความเสียหาย	- พัฒนาหลักเกณฑ์ประเมินสภาพความเสียหายขึ้น ได้แก่ เกณฑ์ประเมินสภาพความรุนแรง ประเมินความเสียหาย และประเมินสภาพโดยรวม
การแจ้งซ่อม	- มีการวิเคราะห์สภาพความเสียหายค่อนข้างน้อย และไม่มีการกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุงให้แก่รายการข้อมูลความเสียหาย	- พัฒนากระบวนการแจ้งซ่อมขึ้น โดยข้อมูลความเสียหายทุกรายการที่บันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูลต้องผ่านการวิเคราะห์สภาพความเสียหายเพื่อการซ่อมบำรุง - ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์และกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุง
การวางแผนงาน	- ขาดข้อมูลที่เพียงพอและเข้าถึงข้อมูลเพื่อการวางแผนได้ยาก - คำสั่งงานไม่มีความชัดเจน ทำให้ยากต่อการตรวจสอบ	- พัฒนาระบบสารสนเทศขึ้นเพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลและสารสนเทศต่างๆ ที่ต้องการได้สะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากขึ้น - ออกคำสั่งงานโดยใช้ใบสั่งงาน เพื่อนำไปใช้หน้างานและสามารถตรวจสอบติดตามได้อย่างทั่วถึง
การปฏิบัติงาน	- การเก็บบันทึกข้อมูลรายละเอียดผลการปฏิบัติงานมีน้อยและไม่ครบถ้วน - ไม่สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานได้อย่างทั่วถึง	- ต้องเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเพื่อนำไปบันทึกลงฐานข้อมูล จึงจะถือว่างานเสร็จสิ้น - ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการที่พัฒนาขึ้นช่วยในการควบคุมและติดตามงาน
การจบงาน	- การบันทึกผลการปฏิบัติงานมีน้อย ไม่เป็นระบบ และยากต่อการตรวจสอบ	- พัฒนากระบวนการจบงานขึ้น เพื่อจัดเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานเข้าสู่ฐานข้อมูลเป็นประวัติ
การประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา	- มีการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลค่อนข้างน้อย ใช้เวลานาน และไม่สะดวก	- ใช้ระบบสารสนเทศและฐานข้อมูลช่วยในการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลประเภทต่างๆ ที่ต้องการ รวมถึงใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในขั้นตอนต่างๆ ด้วย
การบริหารจัดการข้อมูลและสารสนเทศงานบำรุงรักษา	- ขาดการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลเพื่อการใช้ประโยชน์ในการจัดการงานบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ - ใช้ระบบแฟ้มข้อมูล	- พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาขึ้นเพื่อใช้งานทั้งในภาคสนามและที่สำนักงาน - ใช้ระบบฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้น - ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลและรายงานผล
วิธีการซ่อมแซมและบำรุงรักษา	- เป็นไปตามข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	- ไม่ได้พัฒนาขึ้น ยังคงใช้วิธีการเดิมตามข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากที่กล่าวมาในข้างต้น โครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนการพัฒนาย่อยต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกันและทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เกิดเป็นระบบการจัดการงานบำรุงรักษาขึ้น โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การสื่อสารข้อมูล กระบวนการ และบุคลากร ซึ่งจากโครงสร้างของระบบทั้งหมดนี้จะถูกนำไปออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินขึ้นโดยจะกล่าวถึงในบทต่อไป

5.5 บทสรุป

การพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา และการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา ซึ่งโครงสร้างของระบบดังกล่าวนี้จะถูกนำไปออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในบทต่อไป

การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหายเป็นการพัฒนาเกณฑ์สำหรับใช้ประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น เพื่อให้การบ่งชี้ถึงสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์มากขึ้น รวมทั้งเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาและตัดสินใจของวิศวกรซ่อมบำรุงในการจัดการงานซ่อมแซมและบำรุงรักษาความเสียหายที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาเกณฑ์การประเมินความรุนแรงของความเสียหาย การพัฒนาเกณฑ์การประเมินความเสียหาย และการพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์

การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษาเป็นการพัฒนาระบบการดำเนินงานเพื่อช่วยวางแผน ควบคุม ติดตาม และตรวจสอบการดำเนินงานบำรุงรักษาในทุกขั้นตอนให้เป็นไปอย่างมีระบบและต่อเนื่อง ทำให้การบำรุงรักษาเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย การพัฒนากระบวนการแจ้งซ่อม การพัฒนากระบวนการวางแผนงาน การพัฒนากระบวนการปฏิบัติงาน การพัฒนาระบบจบงาน และการพัฒนากระบวนการประมวลผลและรายงานผลการบำรุงรักษา

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาเป็นการพัฒนากระบวนการจัดการข้อมูลและสารสนเทศในการดำเนินงานบำรุงรักษาให้เป็นประโยชน์ต่อการจัดการงานบำรุงรักษาและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาในแต่ละระดับ แบ่งออกเป็นการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกันเพื่อช่วยในการดำเนินงานบำรุงรักษาให้เป็นไปอย่างมีระบบและเกิดประสิทธิภาพมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

บทนี้จะนำเสนอรายละเอียดของการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ตามโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่ได้นำเสนอในบทที่ 5 ทั้งในส่วนของกระบวนการทำงานภายในระบบ หน้าจอสำหรับใช้งาน และฐานข้อมูลของระบบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาหน้าจอส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและกระบวนการทำงานภายในของระบบ ได้แก่ ภาษา Visual Basic.Net ในชุดโปรแกรม Visual Studio 2005 การพัฒนาฐานข้อมูลของระบบใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000 และสำหรับการสร้างรายงานใช้โปรแกรม Crystal Reports XI

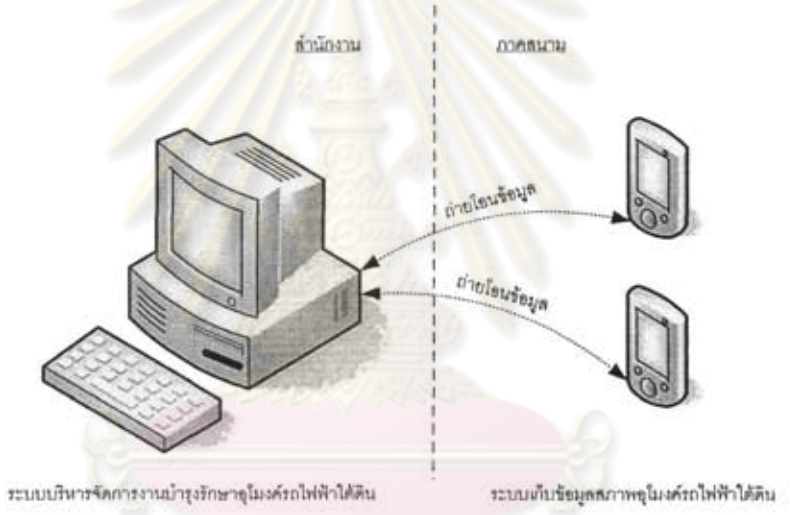
6.1 โครงสร้างของระบบ

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ช่วยในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในส่วนของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน จัดเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกลุ่ม Computerized Maintenance Management System (CMMS) ซึ่งใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมสำหรับการใช้งานอยู่เสมอ โดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการ เพื่อให้ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในขั้นตอนของการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายในภาคสนาม การแจ้งซ่อมความเสียหาย การสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การสั่งงาน การควบคุมและติดตามงานบำรุงรักษา การบันทึกผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการจัดทำรายงานเพื่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา

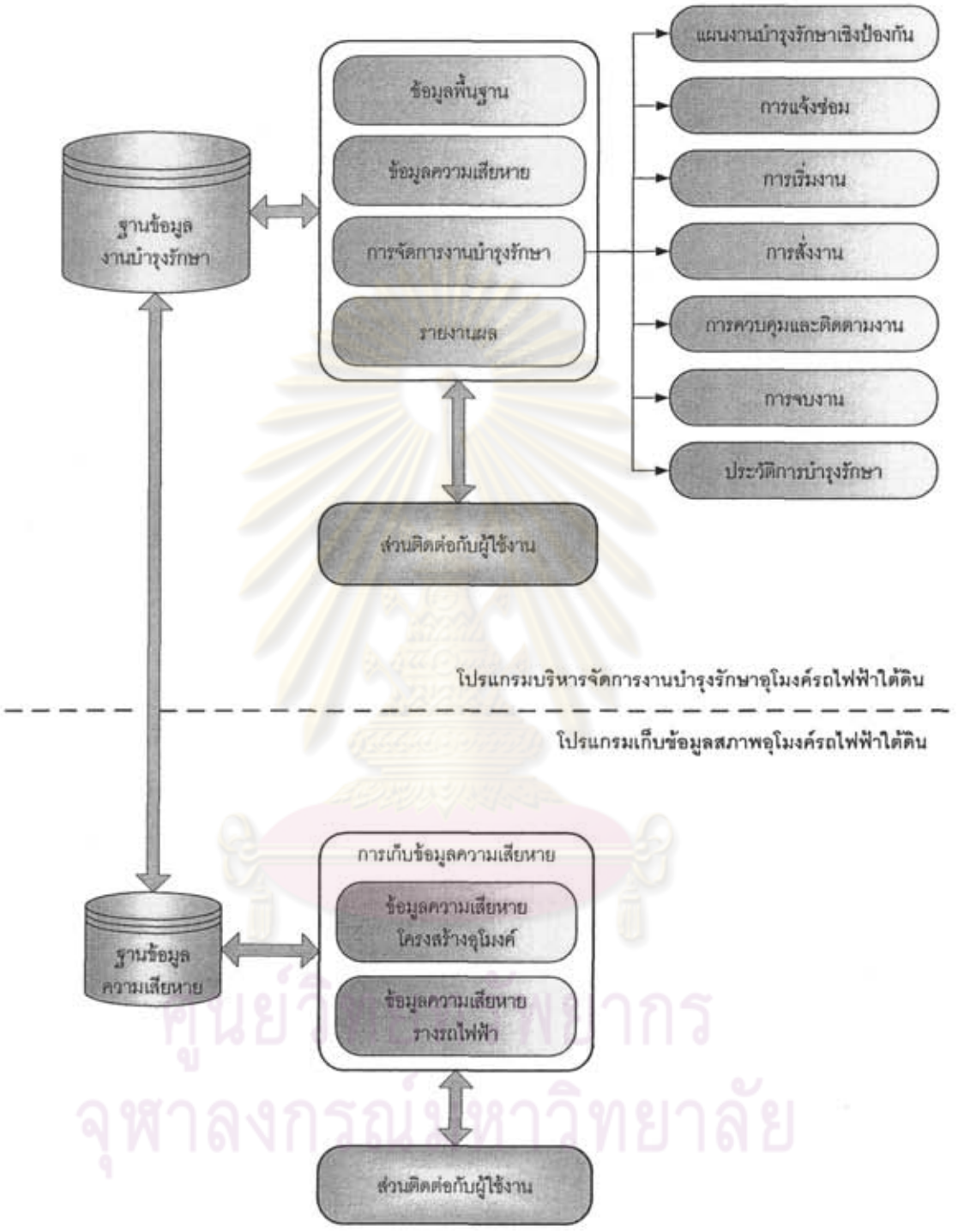
ในการพัฒนาระบบได้คำนึงถึงการคงไว้ซึ่งสภาพการทำงานในลักษณะเดิมเท่าที่จำเป็นให้มากที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจและใช้งานระบบได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบจะช่วยให้กระบวนการทำงาน มีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ช่วยลดข้อผิดพลาดในการทำงานต่างๆ ลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานบำรุงรักษาให้มากขึ้น เนื่องจากได้ปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานหลักจากการทำงานด้วยมือไปเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั่นเอง

การพัฒนาระบบสารสนเทศแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักตามการใช้งาน ได้แก่ การพัฒนาโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินและการพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งโปรแกรมทั้งสองจะทำงานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 รูปแบบการทำงานของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทำหน้าที่หลักในการช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาทั้งหมดตามกระบวนการบำรุงรักษา ส่วนโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลความเสียหายในภาคสนามเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงาน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไป โครงสร้างการทำงานโดยรวมทั้งหมดของระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 6.2 สำหรับมอดูล (module) ภายในของแต่ละโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 6.2 โครงสร้างการทำงานโดยรวมทั้งหมดของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.1.1 โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบ่งออกเป็น 4 มอดูลหลัก ได้แก่

(1) มอดูลข้อมูลพื้นฐาน เป็นมอดูลที่ใช้สำหรับจัดการข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต้องมีอยู่ในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยการบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา และแสดงผลข้อมูล ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้ต้องถูกจัดเตรียมไว้ล่วงหน้า ซึ่งในแต่ละระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะมีข้อมูลเหล่านี้แตกต่างกันออกไป และจะมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลยหลังจากที่ถูกจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐาน การปฏิบัติงานบำรุงรักษา หน่วยงาน และบุคลากร เป็นต้น

(2) มอดูลข้อมูลความเสียหาย เป็นมอดูลที่ใช้สำหรับจัดการเกี่ยวกับข้อมูลความเสียหายทั้งหมดที่อยู่ในระบบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากกระบวนการตรวจสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในภาคสนาม ประกอบด้วย การบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา และแสดงผลข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น สำหรับในกรณีที่โปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินซึ่งใช้สำหรับการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหายโดยตรงจากในภาคสนาม เกิดมีปัญหาไม่สามารถใช้งานได้ หรือไม่ถูกนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน มอดูลข้อมูลความเสียหายจะเป็นส่วนที่ช่วยรองรับการใช้งานดังกล่าวแทนเมื่อเกิดปัญหาขึ้นกับระบบ

(3) มอดูลการจัดการงานบำรุงรักษา เป็นมอดูลหลักที่ใช้ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาของพนักงานซ่อมบำรุง จึงเป็นมอดูลที่ถูกใช้งานบ่อยที่สุด ประกอบด้วย มอดูลของการสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance plan) การแจ้งซ่อม (work request) การเริ่มงาน (work start) การสั่งงาน (work order) การควบคุมและติดตามงาน (work control) การจบงาน (work completion) และการตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษา (maintenance history)

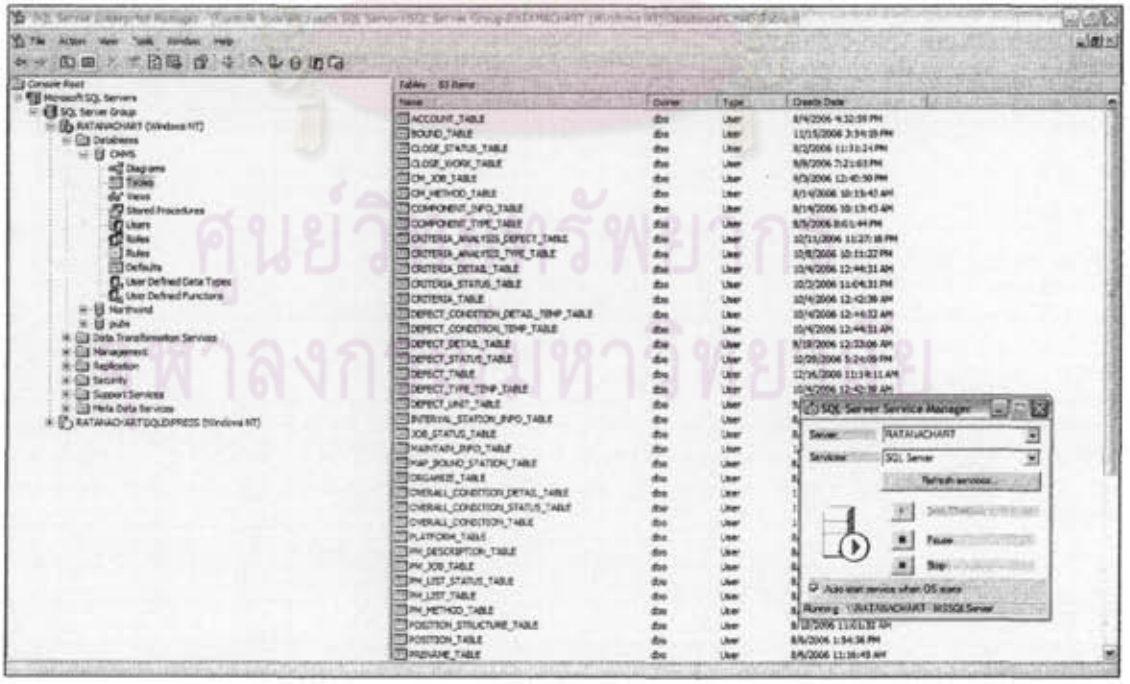
(4) มอดูลรายงานผล เป็นมอดูลที่ใช้สำหรับจัดทำรายงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานและดำเนินงานต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์และปรับปรุงงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.1.2 โปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

มอดูลหลักของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน คือ มอดูลเก็บข้อมูลความเสียหาย ซึ่งช่วยในการปฏิบัติงานตรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าภายในอุโมงค์ มีหน้าที่ช่วยในการบันทึก แก้ไข ลบ และแสดงผลข้อมูลความเสียหาย รวมทั้งสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสภาพความเสียหายแต่ละประเภทให้แก่ผู้ตรวจสภาพในระหว่างการปฏิบัติงาน เพื่อช่วยให้ผู้ตรวจสภาพสามารถจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงานบำรุงรักษาได้อย่างครบถ้วน

6.2 ฐานข้อมูลและแบบจำลอง

ฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดการข้อมูลของระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้เลือกใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (relational database system) โดยใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000 ดังแสดงในรูปที่ 6.3 สำหรับจัดการข้อมูลของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2005 Mobile สำหรับจัดการข้อมูลของระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

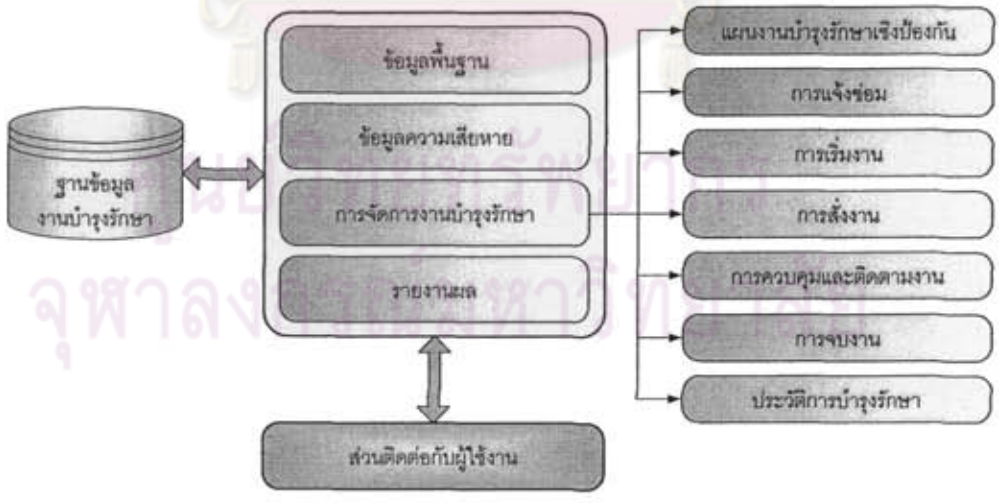


รูปที่ 6.3 ระบบการจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000

ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นได้ออกแบบโครงสร้างของฐานข้อมูลให้สามารถเก็บข้อมูลงานบำรุงรักษาที่สำคัญได้อย่างครบถ้วน สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการแก้ไขปรับปรุงข้อมูล โดยพิจารณาออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลตามความต้องการในการใช้งานและการรายงานผลข้อมูลดังที่ได้ออกแบบไว้ โดยในการจำลองโครงร่างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภายในระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์นี้ได้เลือกใช้แบบจำลองอีอาร์ (Entity - Relationship, ER) มาใช้ในการจำลองโครงร่างความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับการพัฒนาระบบสารสนเทศที่ใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ สำหรับรายละเอียดของแบบจำลองความสัมพันธ์และฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

6.3 การทำงานของโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows มีรูปแบบการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphical User Interface, GUI) มีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างการทำงานของระบบดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 6.4 และมีรายละเอียดการทำงานในแต่ละมอดูล ดังนี้



รูปที่ 6.4 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

6.3.1 มอดูลข้อมูลพื้นฐาน

ข้อมูลพื้นฐานของระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย

(1) ข้อมูลระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยเป็นข้อมูลเกี่ยวกับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่ทำการบำรุงรักษา ซึ่งจะมีเพียงหนึ่งรายการข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินหนึ่งสาย แต่ในสายทางนั้นสามารถมีเส้นทางวิ่งของขบวนรถไฟฟ้าได้หลายเส้นทาง ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อระบบ ชื่อสาย ปีที่เริ่มก่อสร้าง ปีที่ก่อสร้างเสร็จ และปีที่ให้บริการ เป็นต้น

(2) ข้อมูลเส้นทาง เป็นข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับเส้นทางวิ่งของรถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละเส้นทาง ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อเส้นทาง ชื่อย่อเส้นทาง ลักษณะของโครงสร้างอุโมงค์ และรางรถไฟฟ้าที่ใช้ในเส้นทาง เป็นต้น

(3) ข้อมูลสถานี เป็นข้อมูลรายละเอียดของแต่ละสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีอยู่ในแนวสายทางทั้งหมด ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อสถานีและคุณลักษณะของสถานี เช่น ลักษณะชานชาลา ตำแหน่งจุดลงสถานี เป็นต้น

(4) ข้อมูลช่วงสถานี เป็นข้อมูลรายละเอียดของแต่ละช่วงสถานีที่อยู่ในเส้นทางต่างๆ โดยเป็นข้อมูลซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการอ้างอิงพื้นที่หรือบริเวณของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ควบคู่ไปกับการอ้างอิงถึงเส้นทาง ข้อมูลช่วงสถานีที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อช่วงสถานี ระยะห่างระหว่างสถานี ตำแหน่งพิกัดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดช่วงสถานี หรือตำแหน่งพิกัดของสถานีที่เป็นสถานีต้นทางและสถานีปลายทางของช่วงสถานีดังกล่าว เป็นต้น

(5) ข้อมูลองค์ประกอบโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เป็นข้อมูลคุณสมบัติและลักษณะในแต่ละองค์ประกอบของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่ทำการบำรุงรักษา สำหรับระบบที่พัฒนานี้ องค์ประกอบของโครงสร้างอุโมงค์ประกอบด้วย ดาดอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และสลักเกลียว สำหรับองค์ประกอบของรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย ราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง รอยเชื่อม หัวต่อรางฉนวนไฟฟ้า พื้นทางรถไฟฟ้า และระบบระบายน้ำ

(6) ข้อมูลหน่วยงานซ่อมบำรุง เป็นข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานบำรุงรักษา ใช้สำหรับการอ้างอิงถึงหน่วยงานซ่อมบำรุงที่รับผิดชอบในการปฏิบัติงานต่างๆ ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อหน่วยงาน ฐานะของหน่วยงาน ผู้ติดต่อประสานงาน เบอร์โทรติดต่อ ความเชี่ยวชาญในงานบำรุงรักษา เป็นต้น

(7) ข้อมูลพนักงานซ่อมบำรุง เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพนักงานแต่ละคนในทุกระดับและทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษา ใช้สำหรับการอ้างอิงและกำหนดพนักงานซ่อมบำรุงที่รับผิดชอบในการปฏิบัติงานต่างๆ ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อสกุลของพนักงาน หน่วยงานที่สังกัด แผนกที่สังกัด ตำแหน่งงาน เบอร์โทรติดต่อ อีเมล์ติดต่อ เป็นต้น

(8) ข้อมูลมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เป็นข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนดสำหรับการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าตามมาตรการในการบำรุงรักษาของโครงการ เป็นข้อมูลซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการงานบำรุงรักษาที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงสถานี เส้นทาง และวิธีการที่บำรุงรักษา รวมถึงความถี่และระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

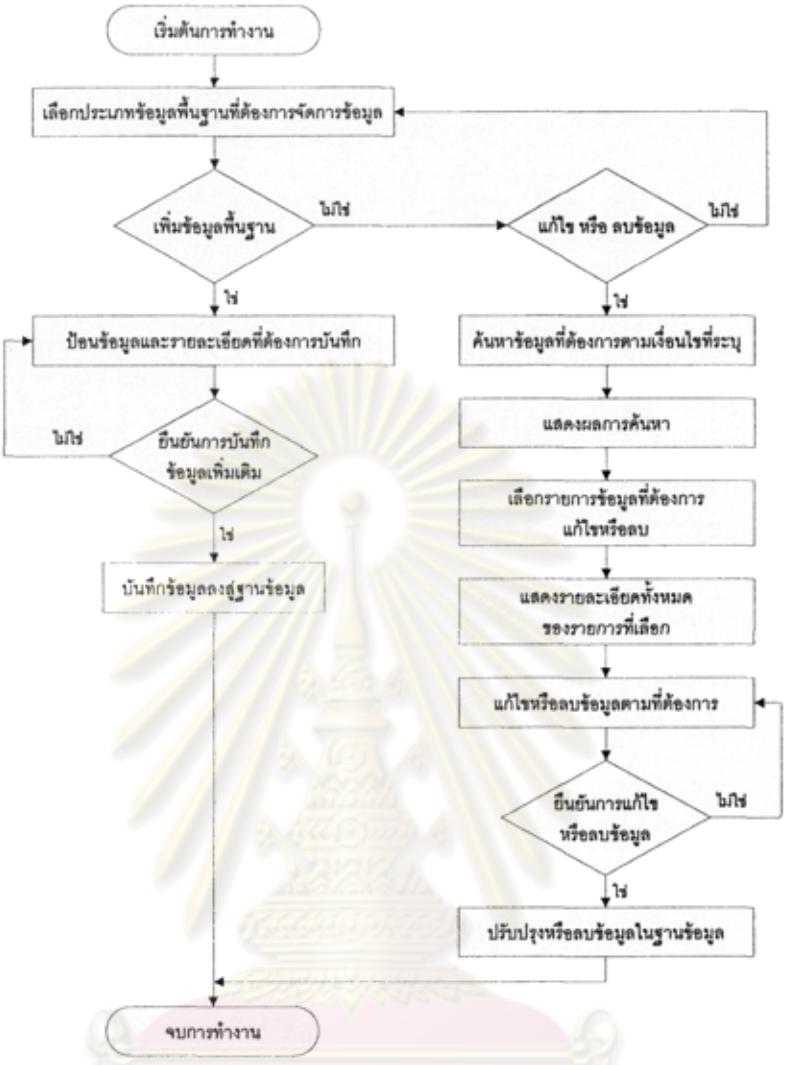
(9) ข้อมูลวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข เป็นข้อมูลเกี่ยวกับแต่ละวิธีการที่ใช้ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข เพื่อใช้สำหรับการกำหนดวิธีการในการบำรุงรักษาทั้งในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและงานซ่อมบำรุงความเสียหายแต่ละประเภท ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อวิธีการ และรายละเอียดวิธีการบำรุงรักษา เป็นต้น

การทำงานของมอดูลข้อมูลพื้นฐานประกอบด้วย การบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา และแสดงผลข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย โดยมุ่งเน้นในการจัดการข้อมูลพื้นฐานของระบบงานในเบื้องต้น มีขั้นตอนการทำงานและตัวอย่างหน้าจอของมอดูลข้อมูลพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6

6.3.2 มอดูลข้อมูลความเสียหาย

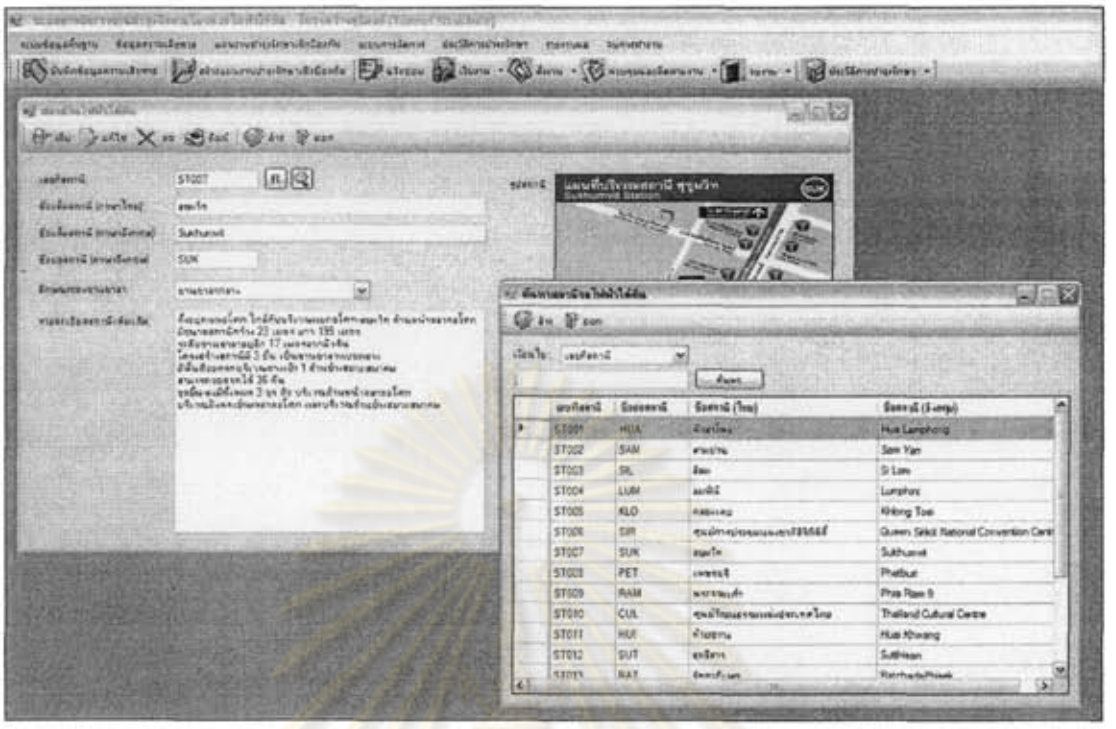
การทำงานพื้นฐานของมอดูลข้อมูลความเสียหายในส่วนของงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย การบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหา และแสดงผลข้อมูลความเสียหาย โดยในการบันทึกข้อมูลความเสียหาย ระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลองค์ประกอบและประเภทความเสียหายที่ผู้ใช้ได้ป้อนเข้ามาในหน้าจอบันทึกข้อมูล เพื่อสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกรายละเอียดข้อมูลที่ควรจัดเก็บเพิ่มเติมให้แก่ผู้ใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบและความเสียหายแต่ละประเภทมีข้อมูลที่ควรจัดเก็บแตกต่างกัน จึงต้องนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลที่เหมาะสมตามแต่ละองค์ประกอบและประเภทความเสียหายให้แก่ผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานบำรุงรักษาครบถ้วนมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.5 การทำงานของมอดูลข้อมูลพื้นฐาน

รายการข้อมูลความเสียหายที่ถูกจัดเก็บลงสู่ฐานข้อมูลจะได้รับการวิเคราะห์สภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยใช้ข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากการบันทึกข้อมูล เพื่อกำหนดระดับความจำเป็นในการซ่อมบำรุงให้ในทันทีโดยพิจารณาจากมาตรฐานและข้อปฏิบัติสำหรับการซ่อมบำรุงความเสียหายแต่ละประเภท ซึ่งหากรายการข้อมูลความเสียหายใดมีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุง ระบบจะทำการสร้างรายการแจ้งซ่อมหรืองานที่ต้องดำเนินการให้โดยอัตโนมัติ สำหรับรายการข้อมูลความเสียหายที่ไม่จำเป็นต้องซ่อมบำรุงก็จะถูกจัดเก็บไว้เพื่อใช้เป็นประวัติความเสียหาย



รูปที่ 6.6 หน้าจอมอดูลข้อมูลพื้นฐาน

สำหรับในมอดูลข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์จะมีการประเมินสภาพความเสียหายเพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการทำงานพื้นฐานดังกล่าว โดยระบบจะประมวลผลตามเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหายและสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ที่พัฒนาขึ้นดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 5 สำหรับขั้นตอนการทำงานและตัวอย่างหน้าจอของมอดูลข้อมูลความเสียหายแสดงดังรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8

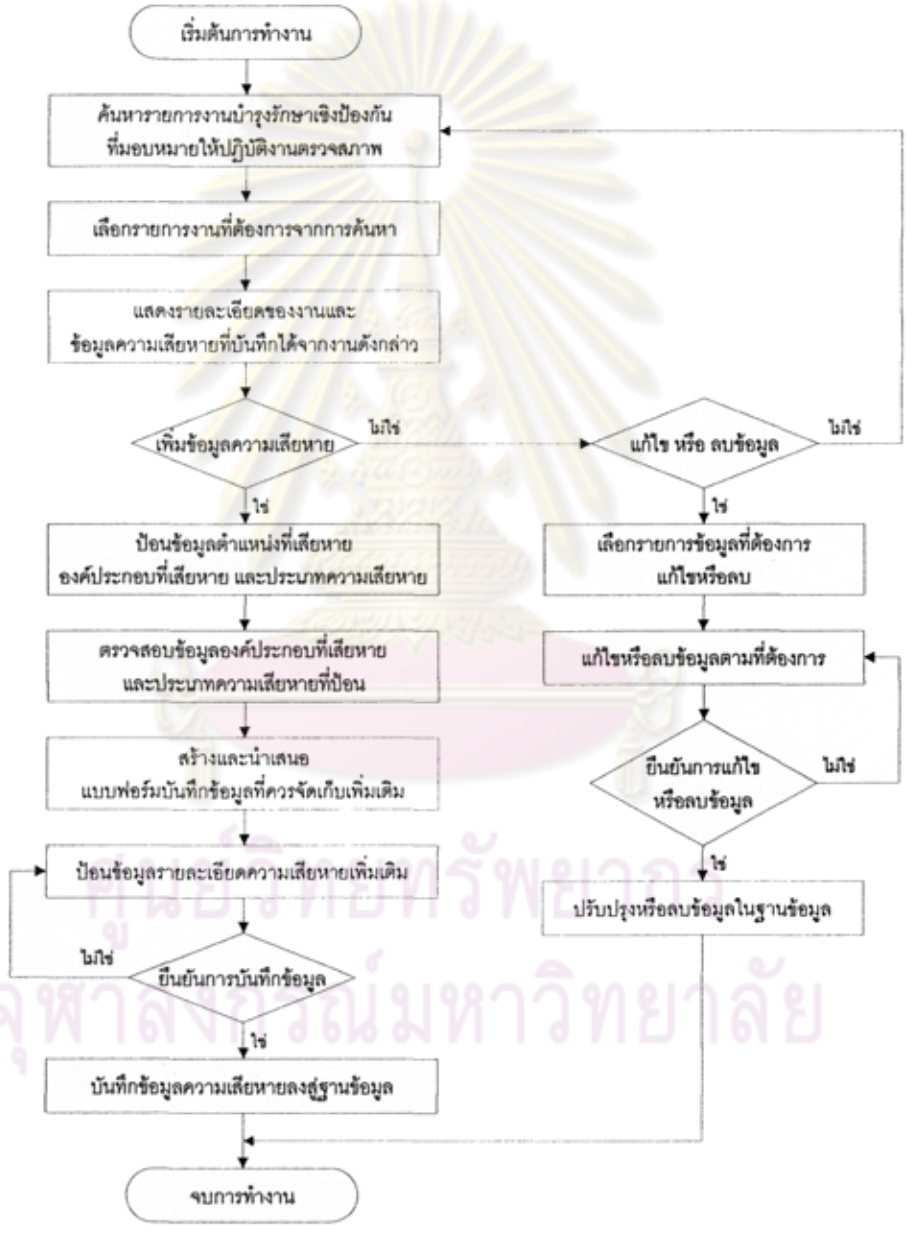
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลความเสียหายมีรายละเอียด ดังนี้

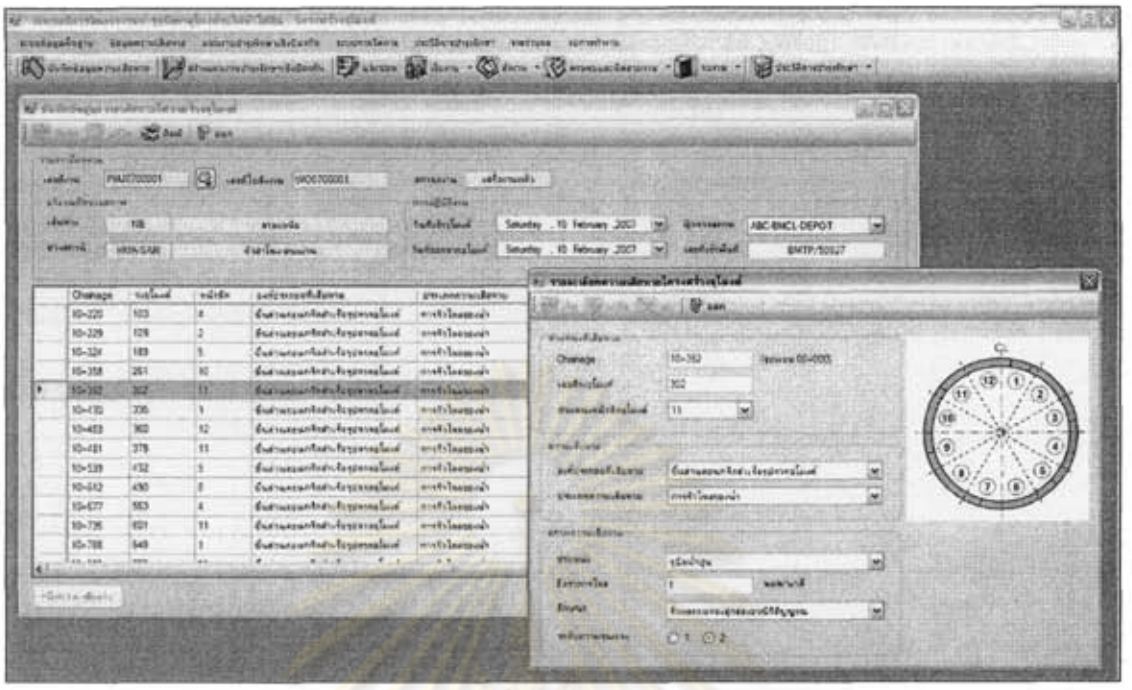
(1) เลือกใบสั่งงานและรายการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานตรวจสภาพความเสียหาย เพื่อแสดงรายละเอียดของงานว่าให้ตรวจสภาพในช่วงสถานีใดและเพื่อบันทึกข้อมูลความเสียหายเข้าสู่รายการงานนั้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่าความเสียหายที่ถูกบันทึกนั้นได้มาจากการปฏิบัติงานบำรุงรักษารายการใด

(2) บันทึกข้อมูลทั่วไปของการตรวจสภาพให้ครบถ้วน ซึ่งประกอบด้วย วันที่เข้าและออกจากอุโมงค์ ผู้ตรวจสภาพ และเลขที่เข้าพื้นที่

(3) เพิ่มข้อมูลความเสียหายลงในรายการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ได้เลือกไว้ในขั้นตอนแรก ซึ่งประกอบด้วย การบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหาย และการบันทึกข้อมูลสภาพความเสียหายและข้อมูลการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นดังตัวอย่างหน้าจอการบันทึกข้อมูลรายละเอียดความเสียหายในรูปที่ 6.9 สำหรับความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์ และรูปที่ 6.10 สำหรับความเสียหายรางรถไฟฟ้า มีรายละเอียดขั้นตอนการบันทึกดังนี้



รูปที่ 6.7 การทำงานของมอดูลข้อมูลความเสียหาย



รูปที่ 6.8 หน้าจอมอดูลข้อมูลความเสียหาย

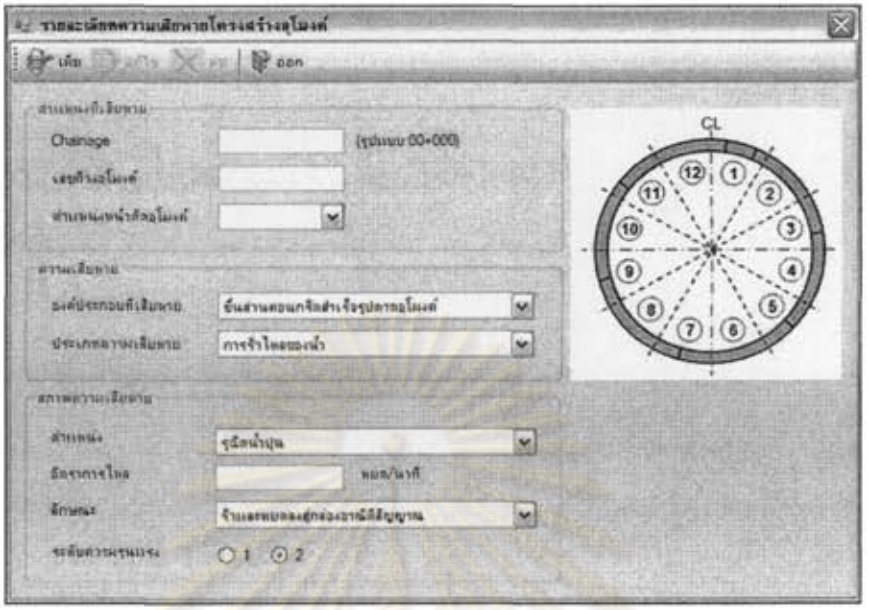
(3.1) การบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหาย

ข้อมูลตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ประกอบด้วย

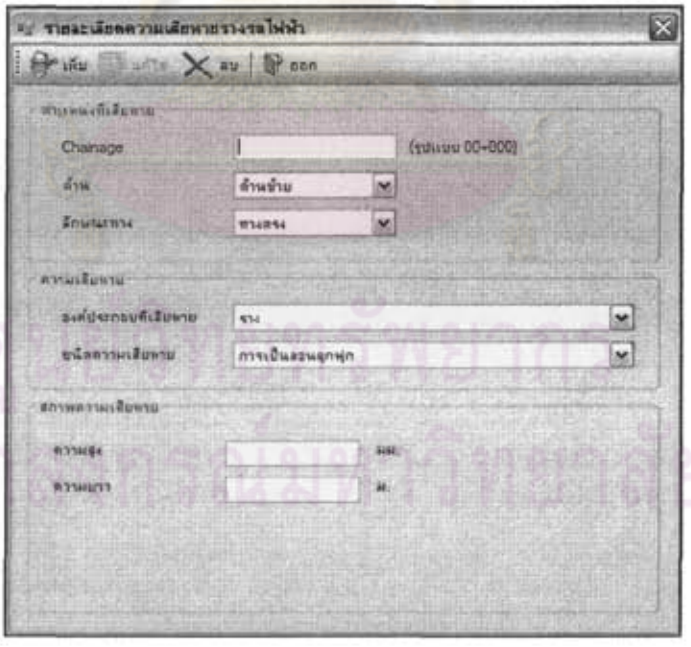
- เลขที่วงอุโมงค์ ซึ่งในแต่ละวงอุโมงค์ (ring) จะมีเลขที่วงอุโมงค์กำกับไว้
- ค่าตำแหน่งพิกัดของเส้นทางอุโมงค์ (chainage) ซึ่งที่ด้านข้างของอุโมงค์มีป้ายแสดงตำแหน่งพิกัดดังกล่าวติดตั้งไว้อยู่ทุกๆ 10 เมตร
- ค่าตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหายตามหน้าตัดของอุโมงค์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 12 ส่วนตามเข็มนาฬิกา และใช้ระบบตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 12 ในการแสดงตำแหน่ง ทั้งนี้เพื่อให้ระบุตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหายตามหน้าตัดของอุโมงค์ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ได้กับอุโมงค์โดยทั่วไป

ข้อมูลตำแหน่งจุดที่เกิดความเสียหายของรางรถไฟฟ้าประกอบด้วย

- ค่าตำแหน่งพิกัดของเส้นทางอุโมงค์
- ด้านของอุโมงค์ ซึ่งได้แก่ ด้านซ้ายและด้านขวา
- ลักษณะเส้นทางรถไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกได้เป็นทางตรงและทางโค้ง



รูปที่ 6.9 หน้าจอบันทึกข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์



รูปที่ 6.10 หน้าจอบันทึกข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า

(3.2) การบันทึกข้อมูลสภาพความเสียหายและข้อมูลการประเมินสภาพความเสียหาย เริ่มต้นจากเลือกประเภทขององค์ประกอบที่เสียหาย เมื่อเลือกประเภทองค์ประกอบที่เสียหายแล้ว ระบบจะแสดงรายการประเภทความเสียหายขององค์ประกอบนั้นเพื่อให้เลือกบันทึกประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้น จากนั้นเมื่อเลือกประเภทความเสียหายแล้ว ระบบจะแสดงข้อมูลลักษณะสภาพความเสียหายที่ควรจัดเก็บเพิ่มเติมสำหรับประเภทความเสียหายนั้นเพื่อให้ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวเพิ่มเติม และสำหรับบางประเภทความเสียหายที่จำเป็นต้องได้รับการประเมินความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นการประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้น ระบบจะแสดงรายละเอียดให้บันทึกผลการประเมินสภาพ หลังจากที่บันทึกข้อมูลและประเมินสภาพความเสียหายในแต่ละรายการเสร็จสิ้น ข้อมูลจะถูกจัดเก็บลงสู่ฐานข้อมูลเป็นการสิ้นสุดกระบวนการบันทึกข้อมูลรายการนั้น ระบบจะแสดงรายการที่ได้บันทึกเข้าไปในรายการงานดังกล่าว เพื่อแจ้งให้ทราบว่ามีการบันทึกข้อมูลความเสียหายใดบ้าง และให้สามารถแก้ไขรายละเอียดหรือลบรายการดังกล่าวได้ ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลความเสียหายดังกล่าวนี้มีรูปแบบการบันทึกเช่นเดียวกับการทำงานของมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินดังจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 6.4.1

6.3.3 มอดูลการจัดการงานบำรุงรักษา

มอดูลการจัดการงานบำรุงรักษาเป็นหัวใจหลักของระบบการจัดการงานบำรุงรักษา เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการปฏิบัติงานบำรุงรักษา อีกทั้งเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับช่วยบริหารจัดการและควบคุมการดำเนินงานบำรุงรักษาต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีระบบ มอดูลนี้ประกอบด้วยมอดูลย่อยภายในระบบ 7 มอดูล โดยในแต่ละมอดูลจะทำหน้าที่แตกต่างกันไปตามระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่ได้พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดการทำงานในแต่ละมอดูล ดังนี้

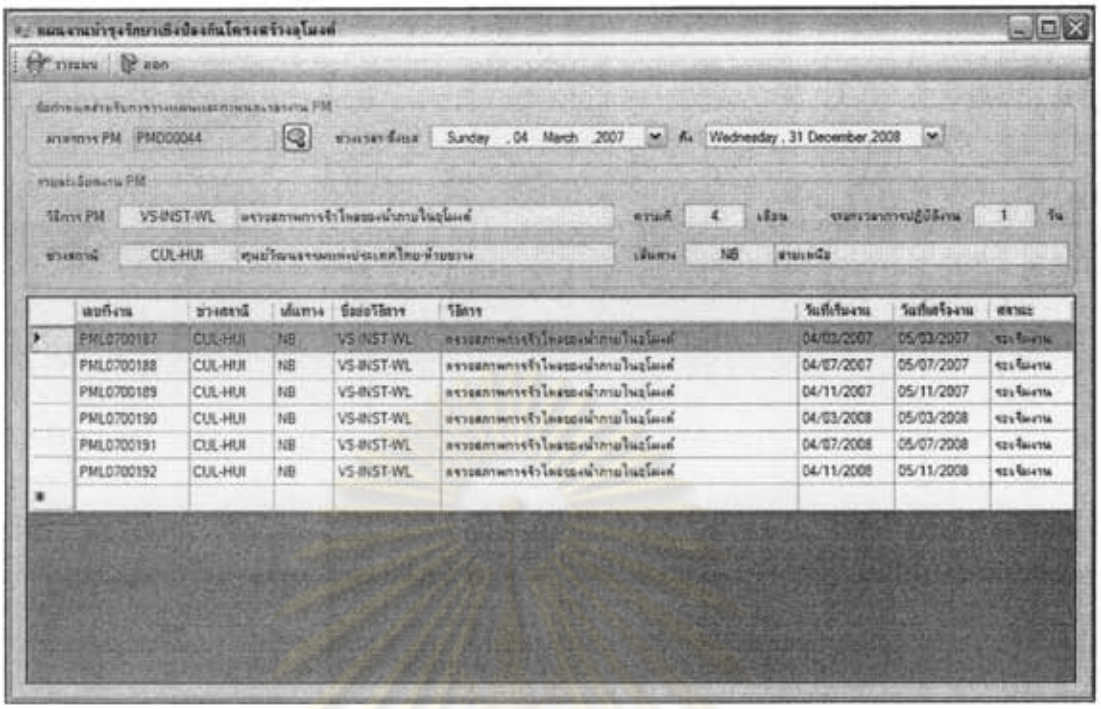
(1) มอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

มอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อใช้เป็นแผนการปฏิบัติงานบำรุงรักษาหลักในแต่ละปี โดยระบบจะช่วยกำหนดเวลางานบำรุงรักษาและสร้างแผนงานขึ้น ตามมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและช่วงระยะเวลาที่หน่วยงานบำรุงรักษาต้องการนำไปใช้ในการบำรุงรักษา โดยใช้ข้อมูลรอบความถี่ของการบำรุงรักษา และระยะเวลาการปฏิบัติงานของมาตรการงานบำรุงรักษาในการคำนวณ เพื่อกำหนด

วันที่เริ่มต้นและเสร็จงานในแต่ละรอบการบำรุงรักษา ขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันแสดงดังรูปที่ 6.11 และ 6.12

รูปที่ 6.11 การทำงานของมอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



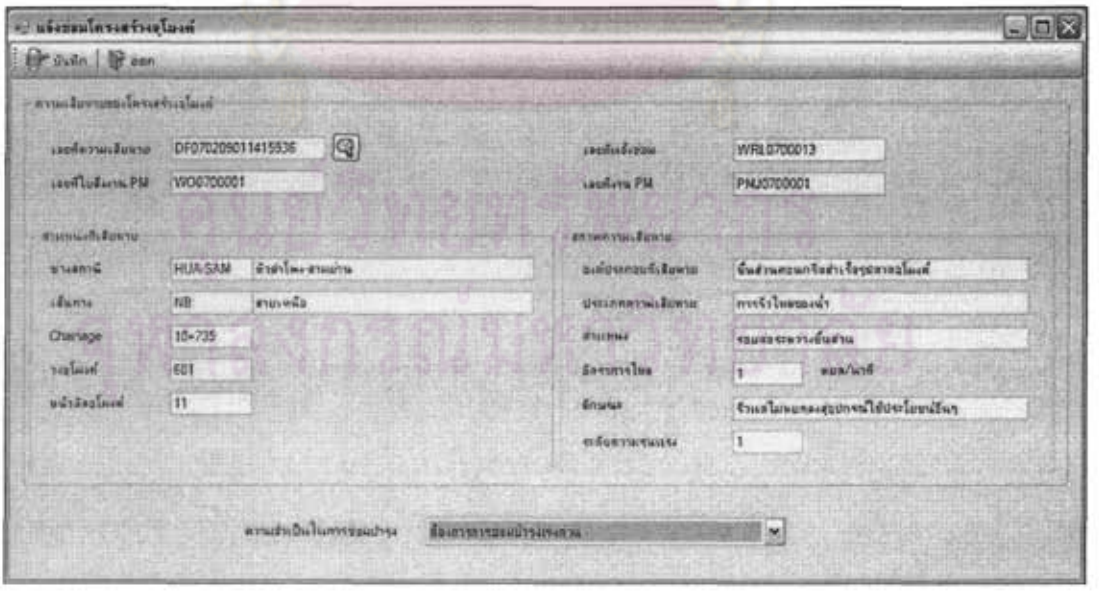
รูปที่ 6.12 หน้าจอมอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

(2) มอดูลการแจ้งซ่อม

มอดูลการแจ้งซ่อมเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับร้องขอการบำรุงรักษาเพิ่มเติมนอกเหนือจากการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามปกติ โดยระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลความเสียหายที่ถูกบันทึกเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลงานบำรุงรักษา แล้วกำหนดสถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุงให้ในทันทีโดยอัตโนมัติตามการพิจารณาจากมาตรฐานและข้อปฏิบัติสำหรับการซ่อมบำรุงความเสียหายแต่ละประเภท โดยหากผู้ใช้ต้องการแก้ไขสถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุงที่ระบบกำหนดให้ ผู้ใช้สามารถกำหนดใหม่ได้ตามความต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน

รายการข้อมูลความเสียหายที่ถูกแจ้งให้ทำการซ่อมแซมความเสียหายนั้นจะถูกสร้างเป็นรายการแจ้งซ่อมหรือรายการงานที่ต้องดำเนินการ สำหรับรายการข้อมูลความเสียหายที่ไม่ถูกแจ้งซ่อม หรือไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุงจะถูกเก็บเอาไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ผลเกี่ยวกับความเสียหายและการบำรุงรักษาต่างๆ ขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลการแจ้งซ่อมแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และรูปที่ 6.14

รูปที่ 6.13 การทำงานของมอดูลการแจ้งซ่อม

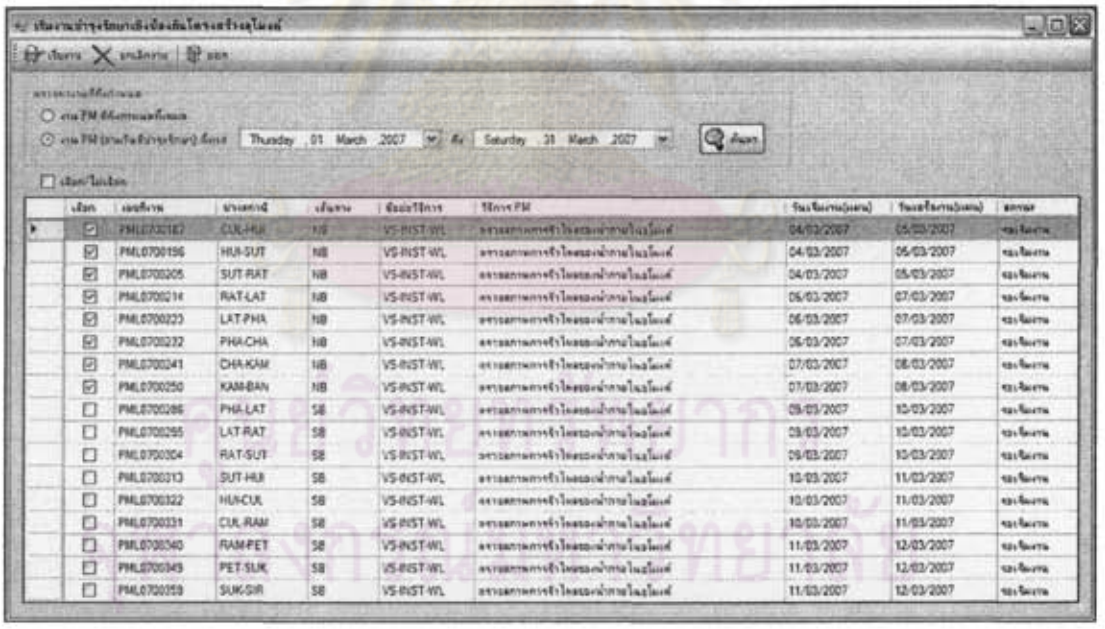


รูปที่ 6.14 หน้าจอมอดูลการแจ้งซ่อม

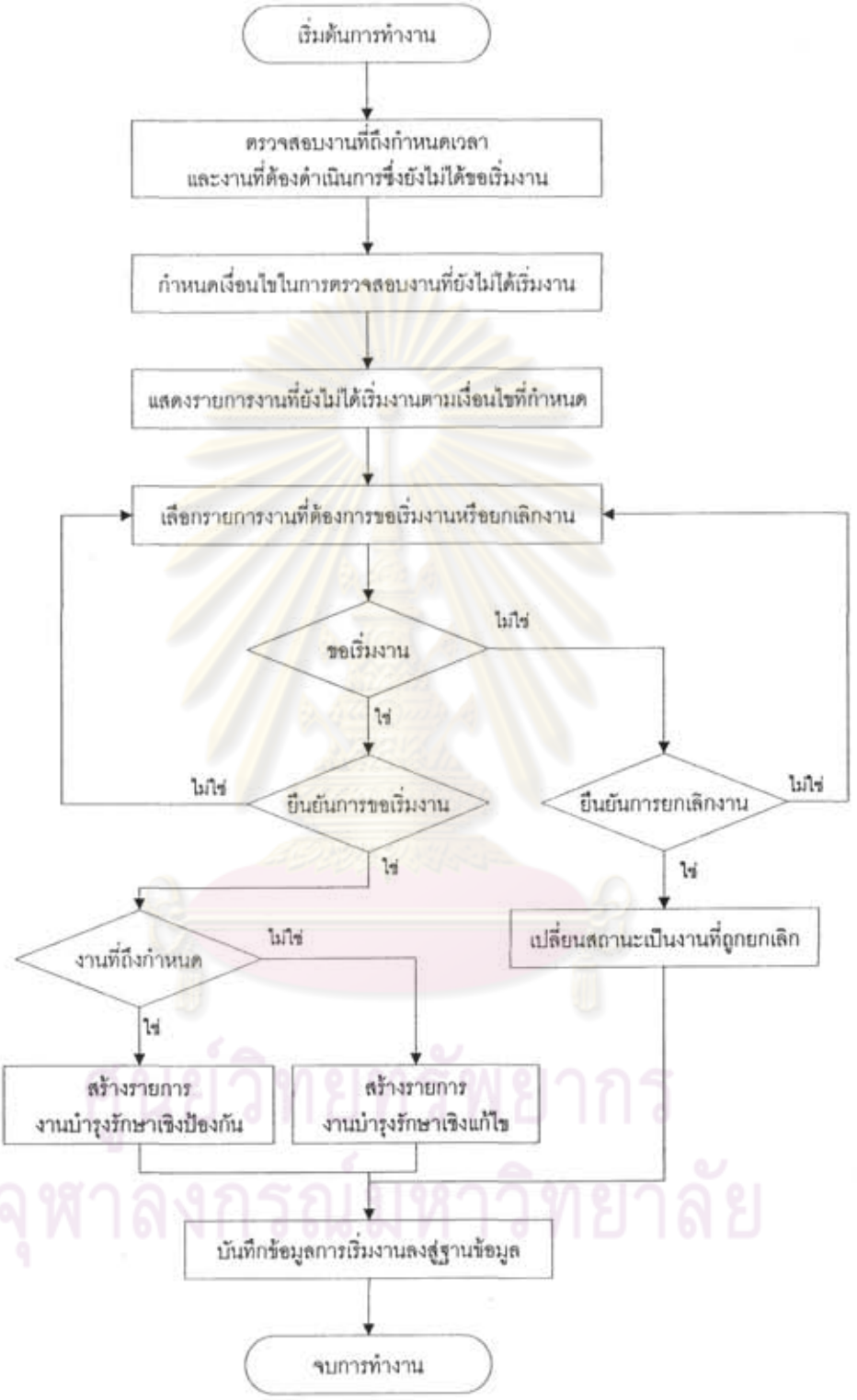
(3) มอดูลการเริ่มงาน

มอดูลการเริ่มงานเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับขอเริ่มต้นการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่ต้องการ เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการสั่งงานและออกใบสั่งงานต่อไป การเริ่มงานบำรุงรักษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเริ่มงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันหรืองานที่ถึงกำหนดเวลาต้องดำเนินการตามแผนงานบำรุงรักษาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และการเริ่มงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข หรืองานที่ต้องดำเนินการตามการแจ้งซ่อม

การทำงานหลักของมอดูลการเริ่มงานประกอบด้วย การตรวจสอบรายการงานที่ถึงกำหนดเวลาและงานที่ต้องดำเนินการ ตามกรอบเวลาที่ต้องการค้นหา การขอเริ่มงานที่ต้องการเพื่อให้เข้าสู่ขั้นตอนของการสั่งงานต่อไป และการยกเลิกงานออกจากรายการงานที่ถึงกำหนดและงานที่ต้องดำเนินการในกรณีที่เห็นว่าไม่จำเป็นต้องดำเนินงานดังกล่าว ตัวอย่างหน้าจอและขั้นตอนการทำงานของมอดูลการเริ่มงานแสดงได้ดังรูปที่ 6.15 และรูปที่ 6.16



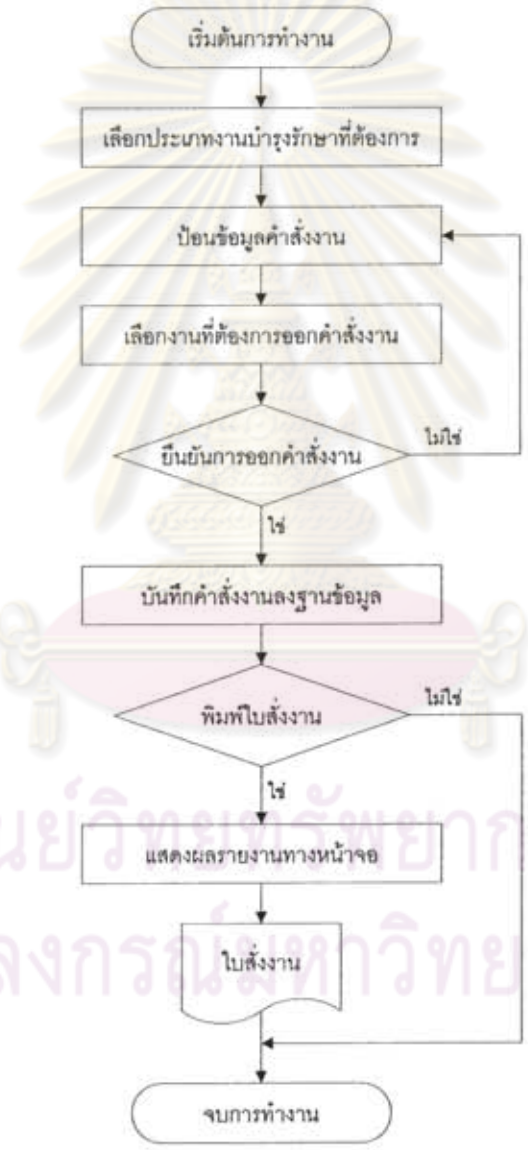
รูปที่ 6.15 หน้าจอมอดูลการเริ่มงาน



รูปที่ 6.16 การทำงานของมอดูลการเริ่มงาน

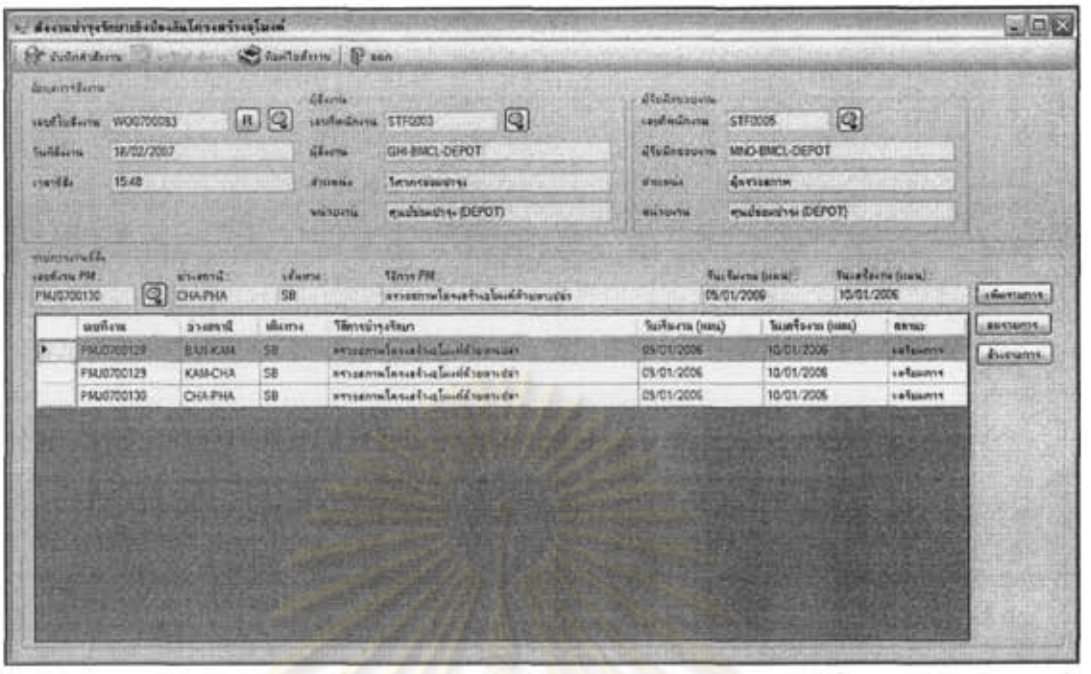
(4) มอดูลการสั่งงาน

มอดูลการสั่งงานเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับสร้างคำสั่งงานเพื่อมอบหมายงานให้แก่พนักงานซ่อมบำรุง และออกใบสั่งงานสำหรับนำไปใช้หน้างาน การทำงานหลักของมอดูลนี้ประกอบด้วย การตรวจสอบรายการงานที่ยังไม่ได้สั่งงาน การสร้างคำสั่งงาน และการพิมพ์ใบสั่งงาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลการสั่งงานแสดงได้ดังรูปที่ 6.17 และรูปที่ 6.18 สำหรับตัวอย่างใบสั่งงานบำรุงรักษาที่ได้จากระบบแสดงดังรูปที่ 6.19

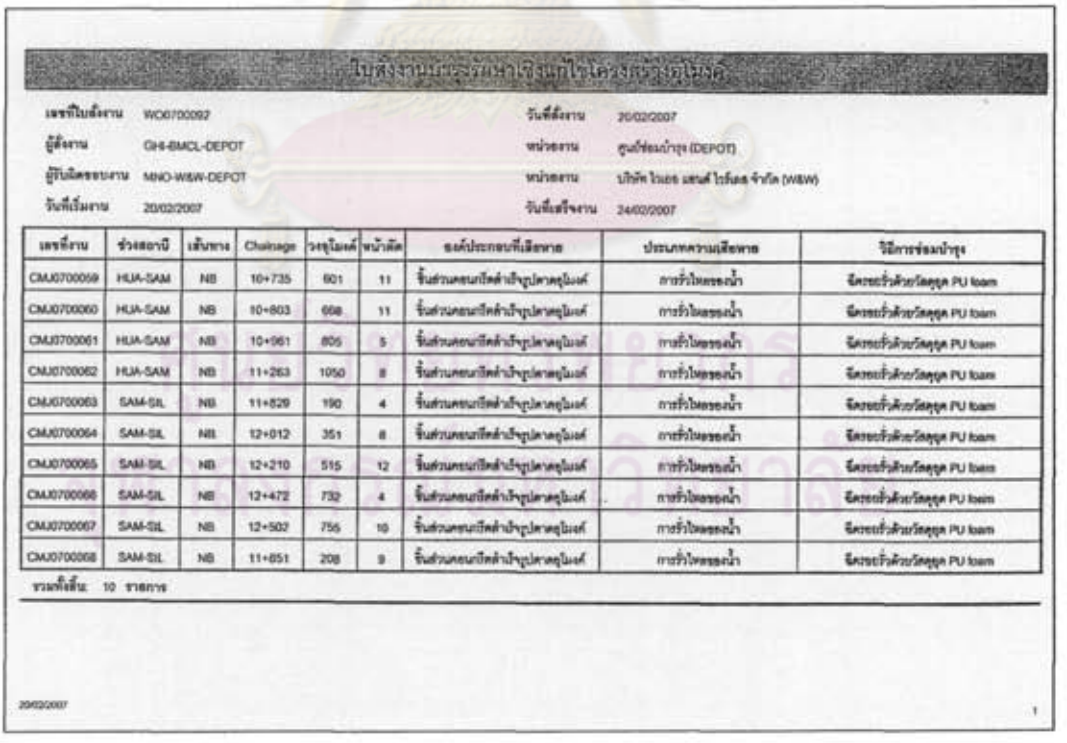


รูปที่ 6.17 การทำงานของมอดูลการสั่งงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.18 หน้าจอมอดูลการสั่งงาน



ใบสั่งงานและพนักงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

เลขที่ใบสั่งงาน	WO0700092	วันที่สั่งงาน	20/02/2007
ผู้สั่งงาน	GHI-BMCL-DEPOT	หน่วยงาน	ศูนย์ซ่อมบำรุง (DEPOT)
ผู้รับผิดชอบงาน	MNO-W&W-DEPOT	หน่วยงาน	บริษัท วินเอ แสนด์ วอร์เตอ จำกัด (W&W)
วันที่เริ่มงาน	20/02/2007	วันที่แล้วเสร็จงาน	24/02/2007

เลขที่งาน	ช่วงสถานี	เส้นทาง	Chainage	วงอุโมงค์	หน้าตัด	องค์ประกอบที่เสียหาย	ประเภทความเสียหาย	วิธีการซ่อมบำรุง
CMJ0700059	HUA-SAM	NB	10+735	601	11	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700060	HUA-SAM	NB	10+803	668	11	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700061	HUA-SAM	NB	10+961	805	5	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700062	HUA-SAM	NB	11+263	1050	8	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700063	SAM-SIL	NB	11+829	190	4	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700064	SAM-SIL	NB	12+012	351	8	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700065	SAM-SIL	NB	12+210	515	12	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700066	SAM-SIL	NB	12+472	732	4	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700067	SAM-SIL	NB	12+503	756	10	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam
CMJ0700068	SAM-SIL	NB	11+651	208	9	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดรงอุโมงค์	การรั่วไหลของน้ำ	อัดฉีดรั่วด้วยวัสดุอุด PU foam

รวมทั้งสิ้น: 10 รายการ

20/02/2007 1

รูปที่ 6.19 ตัวอย่างใบสั่งงานบำรุงรักษาที่ได้จากระบบ

(5) มอดูลการควบคุมและติดตามงาน

มอดูลการควบคุมและติดตามงานเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับช่วยตรวจสอบและติดตามงานบำรุงรักษาที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด เพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และติดตามเร่งรัดงานในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงานจากผู้ที่รับผิดชอบงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำงานหลักของมอดูลนี้ ได้แก่ การค้นหาและแสดงรายละเอียดของงานที่อยู่ในระบบตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด ซึ่งได้แก่ ช่วงสถานี เส้นทาง สถานะงาน กลุ่มงาน ผู้รับผิดชอบงาน ช่วงเวลา รวมถึงรายละเอียดอื่นๆ ขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลการควบคุมและติดตามงานแสดงดังรูปที่ 6.20 และรูปที่ 6.21

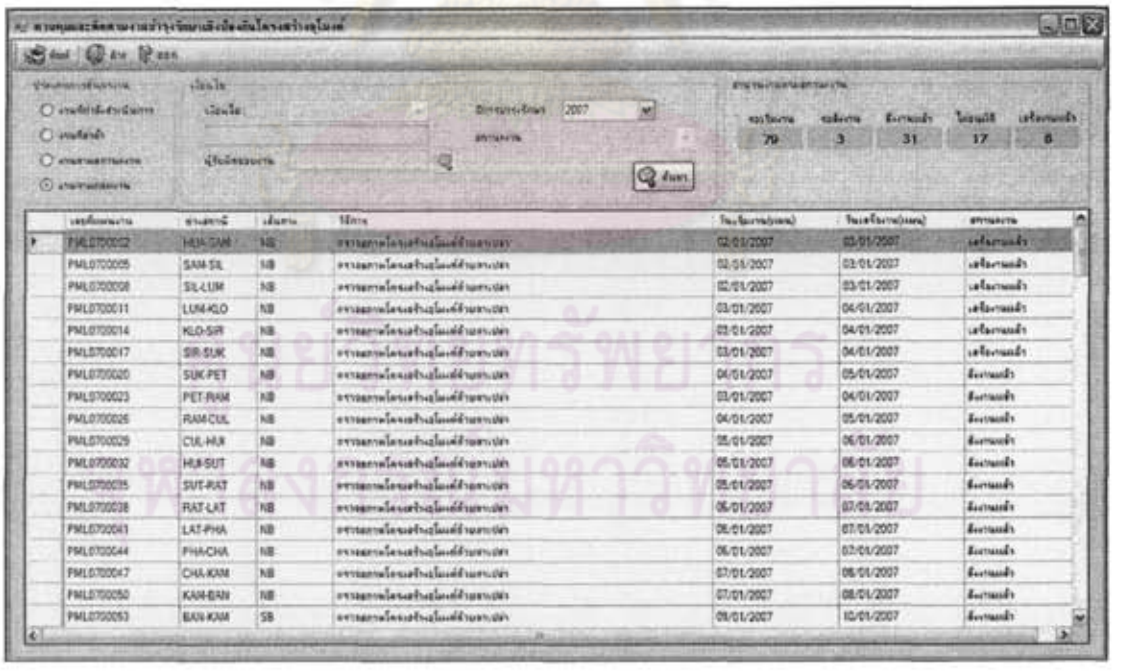
(6) มอดูลการจบงาน

มอดูลการจบงานเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาหลังจากที่ปฏิบัติงานเสร็จตามคำสั่งงานที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดเก็บลงสู่ฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นประวัติการบำรุงรักษา งานที่ได้รับมอบหมายนั้นจึงจะเสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ตามกระบวนการบำรุงรักษา การทำงานหลักของมอดูลการจบงานประกอบด้วย การตรวจสอบค้นหางานที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์หรืองานที่ยังไม่ถูกบันทึกข้อมูลผลการปฏิบัติงาน และการบันทึกเพื่อจัดเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงานลงสู่ฐานข้อมูลเป็นประวัติการบำรุงรักษา ซึ่งขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลการจบงานแสดงได้ดังรูปที่ 6.22 และรูปที่ 6.23

(7) มอดูลประวัติการบำรุงรักษา

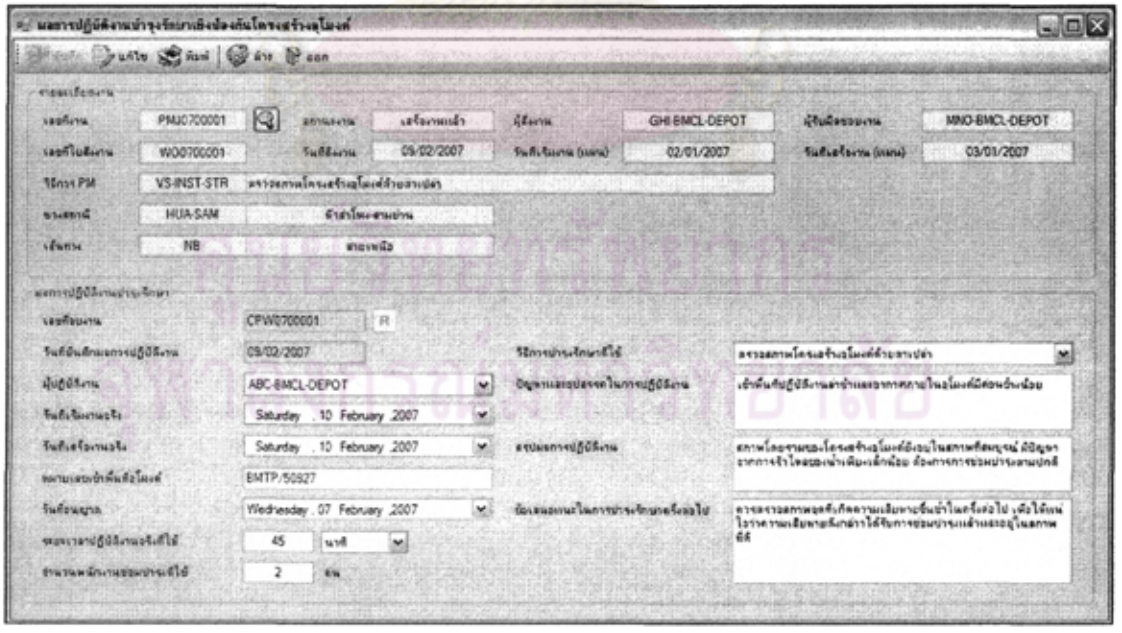
มอดูลประวัติการบำรุงรักษาเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับตรวจสอบ ติดตาม ค้นหา และแสดงผลประวัติการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขที่กำหนดต่างๆ เพื่อใช้ตรวจสอบการปฏิบัติงานและประวัติการบำรุงรักษาต่างๆ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงงานบำรุงรักษาทั้งในปัจจุบันและในอนาคต ขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลประวัติการบำรุงรักษาแสดงได้ดังรูปที่ 6.24 และรูปที่ 6.25

รูปที่ 6.20 การทำงานของมอดูลการควบคุมและติดตามงาน



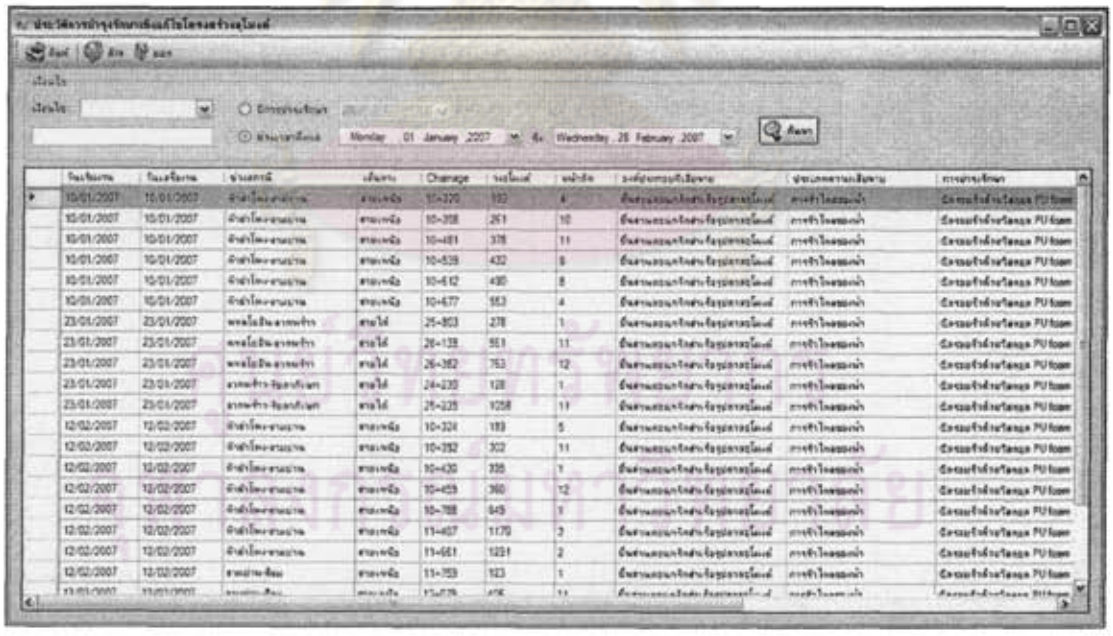
รูปที่ 6.21 หน้าจอมอดูลการควบคุมและติดตามงาน

รูปที่ 6.22 การทำงานของมอดูลการจบงาน



รูปที่ 6.23 หน้าจอมอดูลการจบงาน

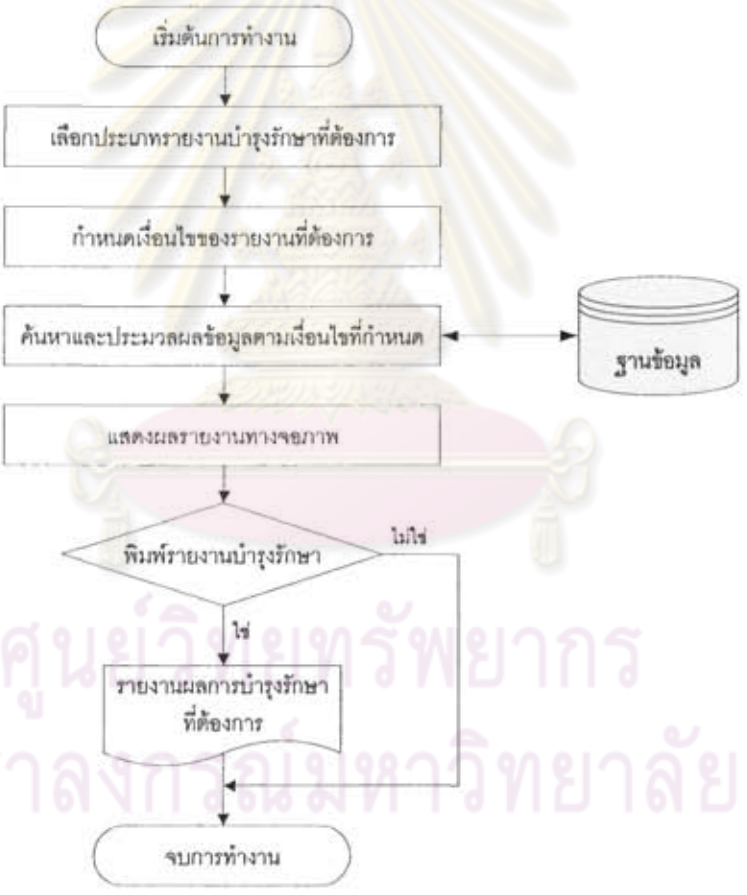
รูปที่ 6.24 การทำงานของมอดูลประวัติการบำรุงรักษา



รูปที่ 6.25 หน้าจอมอดูลการประวัติการบำรุงรักษา

6.3.4 มอดูลรายงานผล

มอดูลรายงานผลเป็นมอดูลที่ใช้สำหรับประมวลผลและจัดทำรายงานผลการดำเนินงานบำรุงรักษาตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนด เพื่อใช้สำหรับการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ ทั้งการวางแผน ควบคุม ติดตามงาน รวมถึงวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงงาน รายงานที่ได้จากระบบแบ่งออกได้เป็น 9 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 6.1 ขั้นตอนการทำงานและหน้าจอของมอดูลรายงานผลแสดงได้ดังรูปที่ 6.26 และรูปที่ 6.27



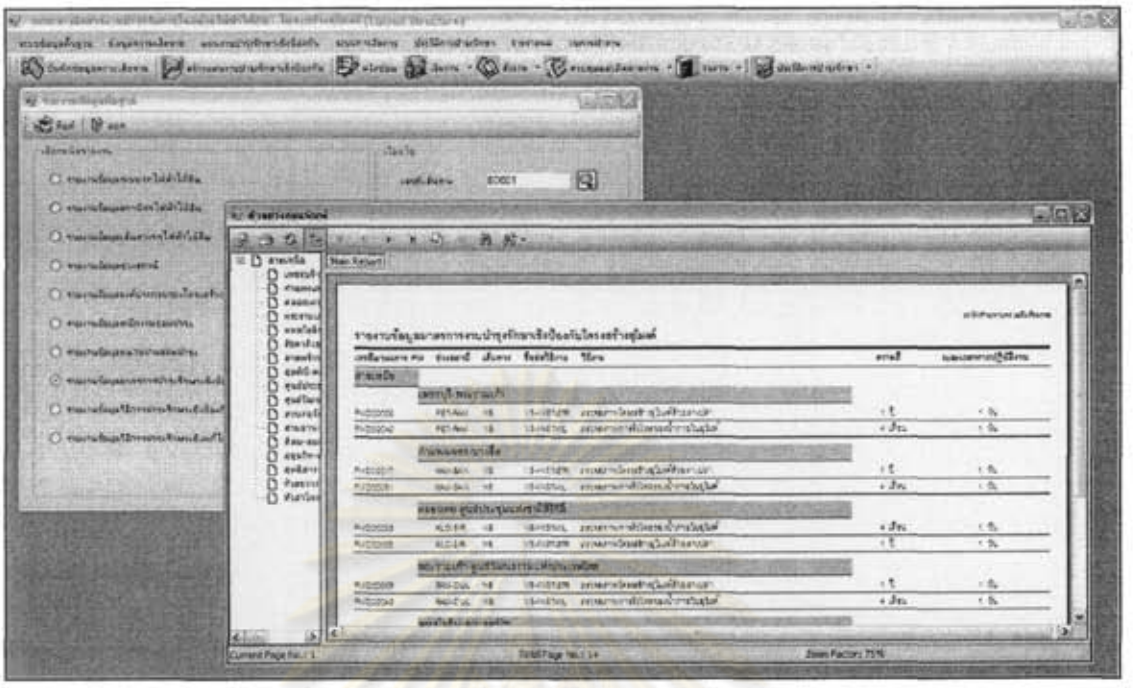
รูปที่ 6.26 การทำงานของมอดูลรายงานผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 รายงานที่ได้จากโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

กลุ่มรายงาน	รายงาน
รายงานข้อมูลพื้นฐาน	- รายงานข้อมูลระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน - รายงานข้อมูลสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน - รายงานข้อมูลเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน - รายงานข้อมูลช่วงสถานี - รายงานข้อมูลองค์ประกอบ - รายงานข้อมูลพนักงานซ่อมบำรุง - รายงานข้อมูลหน่วยงานซ่อมบำรุง - รายงานข้อมูลมาตรการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานข้อมูลวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานข้อมูลวิธีการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
รายงานข้อมูลความเสียหาย	- รายงานข้อมูลความเสียหายตามช่วงสถานี - รายงานข้อมูลความเสียหายตามประเภทความเสียหาย
รายงานข้อมูลการแจ้งซ่อม	- รายงานข้อมูลการแจ้งซ่อมตามช่วงสถานี - รายงานข้อมูลการแจ้งซ่อมตามสถานะความจำเป็นในการซ่อมบำรุง
รายงานข้อมูลแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	- รายงานข้อมูลแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำเดือน - รายงานข้อมูลแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำปี
รายงานข้อมูลใบสั่งงาน	- ใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - ใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข - รายงานข้อมูลใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานข้อมูลใบสั่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษา	- รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษาตามสถานะงาน - รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษาตามผู้รับผิดชอบงาน - รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษาตามหน่วยงานที่รับผิดชอบ - รายงานข้อมูลเปรียบเทียบแผนงานและงานที่ปฏิบัติจริง - รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่ล่าช้า - รายงานข้อมูลงานบำรุงรักษาที่กำลังดำเนินงาน
รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงาน	- รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
รายงานข้อมูลประวัติการบำรุงรักษา	- รายงานข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
รายงานเชิงวิเคราะห์	- รายงานสรุปยอดรวมความเสียหาย - รายงานสรุปยอดรวมการแจ้งซ่อม - รายงานสรุปยอดรวมแผนงานบำรุงรักษา - รายงานสรุปยอดรวมงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - รายงานสรุปยอดรวมงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

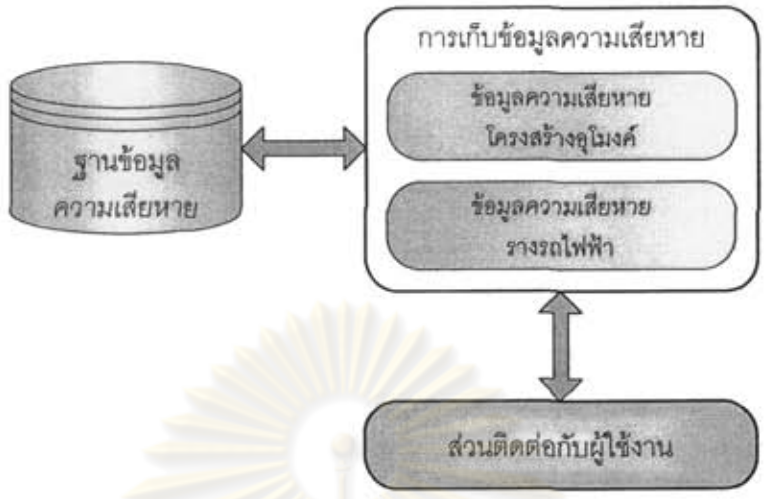
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.27 หน้าจอมอดูลรายงานผล

6.4 การทำงานของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

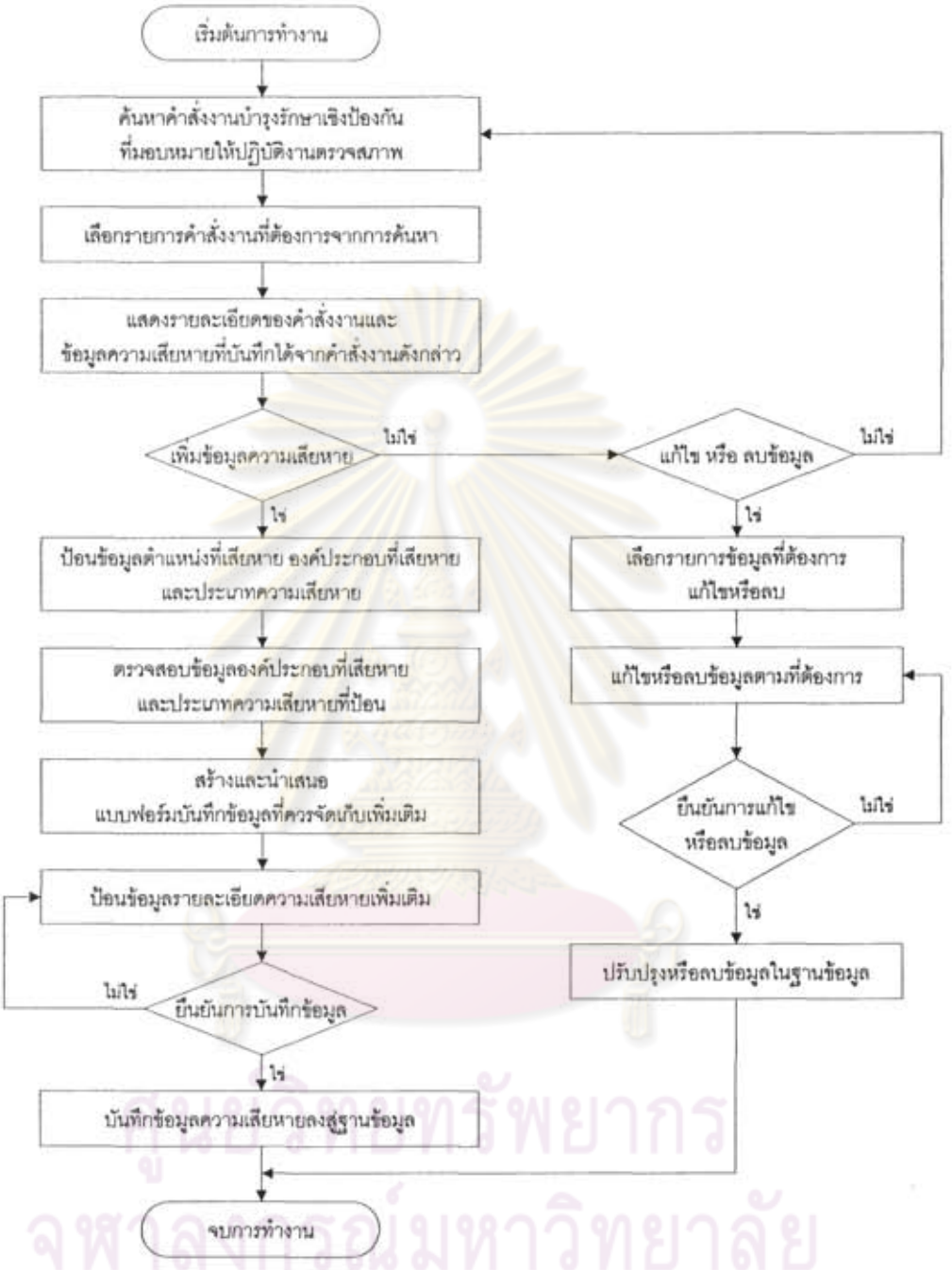
โปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินถูกออกแบบและพัฒนาให้ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows Mobile มีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้ออกแบบให้แบบฟอร์มสำหรับใช้บันทึกข้อมูลมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายคลึงกับการใช้งานด้วยแบบฟอร์มกระดาษที่เป็นตารางบันทึกข้อมูลโดยทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย ส่วนหัวกระดาษและส่วนตารางบันทึกข้อมูล นอกจากนั้นยังได้ออกแบบให้โปรแกรมมีขั้นตอนการทำงานที่เป็นไปตามลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงานจริงในการตรวจสภาพ ซึ่งจะช่วยให้การบันทึกข้อมูลเป็นไปอย่างมีระบบ โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 6.28



รูปที่ 6.28 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

6.4.1 มอดูลเก็บข้อมูลความเสียหาย

มอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายแบ่งออกได้เป็น 2 มอดูลย่อยตามการบันทึกข้อมูล ได้แก่ มอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์และมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า มอดูลย่อยทั้งสองมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน โดยทำหน้าที่หลักในการบันทึก แก้ไข ลบข้อมูล รวมทั้งสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสภาพที่เหมาะสมให้แก่ผู้ตรวจสภาพ ซึ่งประกอบด้วย แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลทั่วไปของการตรวจสภาพ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลความเสียหาย แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย และแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลรายละเอียดสภาพความเสียหาย โปรแกรมจะนำเสนอให้ตามลำดับขั้นตอนของการบันทึกโดยทั่วไปเช่นเดียวกับการบันทึกลงในแบบฟอร์มกระดาษที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลความเสียหายมีรายละเอียดเช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.3.2 ขั้นตอนการทำงานของมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายแสดงดังรูปที่ 6.29 สำหรับหน้าจอมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 6.30 และรูปที่ 6.31 ตามลำดับ



รูปที่ 6.29 การทำงานของมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.30 หน้าจอมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์

รูปที่ 6.31 หน้าจอมอดูลเก็บข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า

6.4.2 การถ่ายโอนข้อมูล

การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างฐานข้อมูลความเสียหายและฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักจะใช้การเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือและคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่สำนักงานโดยผ่านทางระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN, WLAN) การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างฐานข้อมูลจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้งาน ดังนี้

(1) การรับคำสั่งงาน

การนำโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินไปใช้ในการเก็บข้อมูลความเสียหายในระหว่างการตรวจสภาพในภาคสนามนั้น ผู้ใช้งานต้องทำการรับข้อมูลรายละเอียดคำสั่งงานที่ได้รับมอบหมายจากฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงานก่อน เพื่อนำข้อมูลรายละเอียดของคำสั่งงานที่ได้รับมอบหมายลงมาจัดเก็บลงสู่ฐานข้อมูลความเสียหายภายในคอมพิวเตอร์มือถือก่อน เพื่อใช้สำหรับอ้างอิงในการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลความเสียหาย ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบผลการปฏิบัติงานและประวัติข้อมูลความเสียหายได้

(2) การส่งคำสั่งงาน

การส่งคำสั่งงานเป็นขั้นตอนการส่งข้อมูลรายละเอียดคำสั่งงานและข้อมูลความเสียหายที่จัดเก็บได้กลับเข้าสู่ฐานข้อมูลหลักที่สำนักงาน หลังจากที่ได้จัดเก็บข้อมูลความเสียหายในงานตรวจสภาพตามที่ได้รับมอบหมายเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งนอกจากข้อมูลดังกล่าวแล้ว ระบบจะทำการบันทึกวันและเวลาที่ส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลอีกด้วย เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้ที่รับผิดชอบ สำหรับข้อมูลความเสียหายทั้งหมดที่ส่งเข้าสู่ฐานข้อมูลหลักจะถูกจัดเก็บและวิเคราะห์สภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจากข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากการบันทึกข้อมูล เพื่อกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุงให้ในทันทีเช่นเดียวกับการบันทึกข้อมูลความเสียหายผ่านทางหน้าจอมอดูลความเสียหายในโปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ซึ่งหากรายการข้อมูลความเสียหายใดมีความจำเป็นต้องซ่อมบำรุง ระบบจะทำการสร้างรายการแจ้งซ่อมให้โดยอัตโนมัติ สำหรับรายการข้อมูลความเสียหายที่ไม่จำเป็นต้องซ่อมบำรุงก็จะถูกจัดเก็บไว้เป็นข้อมูลประวัติความเสียหาย

(3) *การปรับปรุงข้อมูลประกอบ*

การปรับปรุงข้อมูลประกอบเป็นการปรับปรุงข้อมูลประกอบการใช้งานซึ่งอยู่ภายในฐานข้อมูลความเสียหายให้เป็นปัจจุบันมากที่สุด ผู้ใช้งานจึงควรปรับปรุงข้อมูลประกอบอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลพื้นฐานบนฐานข้อมูลงานบำรุงรักษางานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงาน เช่น ข้อมูลชื่อย่อสถานี ชื่อย่อช่วงสถานี ชื่อย่อเส้นทาง ชื่อพนักงานซ่อมบำรุง ชื่อองค์ประกอบที่บำรุงรักษา เป็นต้น

การนำระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเข้าใจถึงวัตถุประสงค์และกระบวนการทำงานของระบบในแต่ละมอดูล นอกจากนั้นแล้วจำเป็นต้องศึกษาถึงวิธีการติดตั้งและใช้งานระบบอีกด้วย เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยและความชำนาญในการใช้งานระบบมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

6.5 บทสรุป

ระบบสารสนเทศเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ตั้งแต่ขั้นตอนของการจัดเก็บข้อมูล การวางแผนงานบำรุงเชิงป้องกัน การแจ้งซ่อม การสั่งงาน การควบคุมและติดตามงาน การบันทึกผลการบำรุงรักษา การประมวลผลและการจัดทำรายงานผลข้อมูล ระบบสารสนเทศนี้แบ่งตามการใช้งานออกเป็น 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสำหรับใช้งานที่สำนักงาน และโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสำหรับใช้งานในภาคสนาม

โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาทั้งในส่วนของโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า ประกอบด้วย 4 มอดูลหลัก ได้แก่ (1) มอดูลข้อมูลพื้นฐาน (2) มอดูลข้อมูลความเสียหาย (3) มอดูลการจัดการงานบำรุงรักษา และ (4) มอดูลรายงานผล โดยมอดูลการจัดการงานบำรุงรักษาเป็นหัวใจของระบบเนื่องจากเป็นมอดูลที่ถูกใช้งานเป็นประจำในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาประกอบด้วย มอดูลแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน มอดูลการแจ้งซ่อม มอดูลการเริ่มงาน มอดูลการสั่งงาน มอดูลการควบคุมและติดตามงาน มอดูลการจบงาน และมอดูลประวัติการบำรุงรักษา โดยแต่ละมอดูลทำหน้าที่แตกต่างกันไปตามกระบวนการจัดการงานบำรุงรักษา

โปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโปรแกรมซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการข้อมูลและการปฏิบัติงานของผู้ตรวจสภาพในภาคสนามให้มีมากขึ้น โปรแกรมดังกล่าวมีมอดูลเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายเป็นมอดูลหลักของโปรแกรม ข้อมูลความเสียหายที่จัดเก็บได้จะถูกส่งเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงานโดยการถ่ายโอนเพื่อเข้าสู่กระบวนการจัดการงานบำรุงรักษาต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การทดสอบระบบ

บทนี้กล่าวถึงการทดสอบระบบสารสนเทศสำหรับช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น ทั้งในส่วนของระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาและระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบหน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆ ภายในระบบ และแก้ไขปรับปรุงระบบให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด จึงจัดให้มีการทดสอบขึ้น โดยใช้ข้อมูลการบำรุงรักษาของโครงการกรณีศึกษาเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบการทำงานของโปรแกรม และนำไปทดสอบใช้งานจริงในภาคสนามด้วยผู้ปฏิบัติงานจริงในโครงการกรณีศึกษา

7.1 วิธีการทดสอบระบบ

การทดสอบระบบสารสนเทศหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระดับใดๆ สามารถแบ่งวิธีการทดสอบได้เป็น 2 ประเภท (Pressman, 1997) ได้แก่

(1) การทดสอบไว้ท์บ็อกซ์ (white-box testing)

การทดสอบไว้ท์บ็อกซ์ หมายถึง การทดสอบที่คำนึงถึงลักษณะที่อยู่ภายในของสิ่งที่กำลังทดสอบ ซึ่งได้แก่ โมดูลที่กำลังพิจารณา กลุ่มของโมดูลที่กำลังพิจารณา และระบบสารสนเทศโดยรวม กล่าวคือคำนึงถึงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมนั่นเอง

(2) การทดสอบแบล็คบ็อกซ์ (black-box testing)

การทดสอบแบล็คบ็อกซ์ หมายถึง การทดสอบสิ่งที่กำลังทดสอบโดยไม่คำนึงถึงลักษณะที่อยู่ภายใน กล่าวคือต้องการพิจารณาเพียงแค่ให้ข้อมูลเข้าและออกสิ่งที่กำลังทดสอบถูกต้องเท่านั้น มิได้คำนึงถึงโครงสร้างการเขียนโปรแกรมที่แฝงอยู่ภายในนั่นเอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการทดสอบระบบดังกล่าวข้างต้นทั้งสองประเภทและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในทันทีระหว่างการพัฒนาโปรแกรม

7.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบ

การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วยการทดสอบ 4 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การทดสอบระดับหน่วย (unit testing) เป็นการทดสอบส่วนการทำงานในแต่ละส่วน เพื่อทดสอบหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน โดยทำการทดสอบทันทีที่เขียนโปรแกรมของส่วนการทำงานนั้นๆ เสร็จสิ้น ณ สถานที่พัฒนาระบบ

(2) การทดสอบการรวม (integration testing) หลังจากที่แต่ละส่วนการทำงานถูกทดสอบจนแน่ใจว่าไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือมีน้อยที่สุดแล้ว จากนั้นทำการทดสอบการรวมกันของส่วนการทำงานที่มีความสัมพันธ์กัน โดยการนำส่วนการทำงานในแต่ละส่วนที่มีความสัมพันธ์กันมารวมกันและทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของส่วนการทำงานดังกล่าว ซึ่งขั้นตอนนี้ทำการทดสอบ ณ สถานที่พัฒนาระบบ

(3) การทดสอบการใช้ได้ (validation testing) หรือ การทดสอบความยอมรับ (acceptance testing) เป็นการทดสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานตรงตามความต้องการ (requirement) ที่ได้ออกแบบไว้ในช่วงแรกของการพัฒนาระบบหรือไม่ โดยทำการทดสอบเมื่อทุกส่วนการทำงานถูกนำมารวมกันเป็นระบบที่สมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบโดยผู้ใช้งานจริง ณ สถานที่ใช้งานจริง โดยให้ผู้ใช้งานตรวจสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมความต้องการทั้งหมดหรือไม่ ถ้าการทดสอบผ่านก็หมายถึงว่าผู้ใช้งานยอมรับระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งในบทนี้เน้นนำเสนอการทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นหลัก

(4) การทดสอบระบบรวม (system testing) เป็นการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นกับสิ่งแวดล้อมหลายๆ ชนิด การทดสอบประเภทนี้ ได้แก่ การทดสอบการฟื้นตัวของระบบเมื่อระบบล่ม (recovery testing) การทดสอบความปลอดภัยของระบบโดยการพยายามเจาะระบบที่พัฒนาขึ้น (security testing) การทดสอบระบบโดยใช้ทรัพยากรของระบบและเครื่องคอมพิวเตอร์ให้มากที่สุด (stress testing) และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance testing) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ไม่ได้รวมการทดสอบลักษณะนี้ไว้ด้วย เนื่องจากเกินขอบเขตการศึกษา

7.3 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นได้ใช้การทดสอบระบบในเบื้องต้นโดยอาศัยการสุ่มข้อมูลตัวอย่าง แล้วนำไปใช้กับระบบที่พัฒนาขึ้นในแต่ละส่วนการทำงาน กระบวนการในการทดสอบระบบระดับหน่วยนั้นจะถูกกระทำหลายๆ ครั้งก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละส่วนสามารถทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ จากนั้นจึงทำการทดสอบการรวมกันของส่วนการทำงานที่มีความสัมพันธ์กันโดยต้องตรวจสอบดูว่าผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจากการทำงานของแต่ละส่วนนั้นถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้องก็จะทำการปรับปรุงแก้ไขให้เกิดความถูกต้องก่อนที่จะนำไปทดสอบการใช้ได้ในขั้นตอนต่อไป

สำหรับการทดสอบการใช้ได้ของระบบได้ทำการทดสอบ โดยการนำระบบที่ผ่านการทดสอบในระดับเบื้องต้นแล้ว ไปให้ผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษาจริงในโครงการกรณีศึกษานี้ซึ่งได้แก่ วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ตรวจสภาพ และหัวหน้าช่างซ่อมบำรุง เป็นผู้ทดสอบใช้งานในแต่ละส่วนการทำงานที่เกี่ยวข้องในสถานที่จริงที่ปฏิบัติงาน ซึ่งได้แก่ ศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษา และภายในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสำหรับการทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยให้ทดสอบใช้งานเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และใช้ข้อมูลจริงที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานบำรุงรักษา หลังจากนั้นทำการประเมินผลระบบ ทั้งด้านประโยชน์ที่ได้รับ ปัญหา และอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการนำไปใช้งานจริง โดยการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้ทดสอบใช้งานจริง

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบระบบประกอบด้วย อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (notebook) สำหรับใช้ทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือสำหรับใช้ทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยก่อนเริ่มการทดสอบระบบ ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมและระบบฐานข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบภายในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งสองไว้สำหรับใช้ในการฝึกฝนทักษะการใช้งานอุปกรณ์ให้กับผู้ทดสอบระบบ เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับการใช้งานอุปกรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานในภาคสนาม และผู้ทดสอบยังไม่เคยมีทักษะความชำนาญในการใช้งานมาก่อน คุณสมบัติของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

การทดสอบการใช้งานได้แบ่งออกตามส่วนงานบำรุงรักษาเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การทดสอบระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และการทดสอบระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า โดยในแต่ละส่วนงานได้แบ่งการทดสอบระบบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และการทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 7.1 ทั้งนี้เพื่อให้การทดสอบสอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงและส่วนงานที่รับผิดชอบของผู้ทดสอบระบบ

รูปที่ 7.1 โครงสร้างการทดสอบระบบ

7.4 ผลการทดสอบระบบ

หลังจากที่ได้ทดสอบระบบโดยการใช้งานในแต่ละส่วนการทำงานตามโครงสร้างของการทดสอบระบบที่ได้วางไว้ จึงได้สอบถามผลของการทดสอบระบบจากผู้ทดสอบระบบถึงความสามารถในการทำงานของระบบ ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานในด้านการจัดการข้อมูลและการจัดการงานบำรุงรักษา ปัญหาและอุปสรรคของการใช้งาน รวมถึงความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผลจากการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าสามารถสรุปความคิดเห็นจากการใช้งานระบบในส่วนต่างๆ ได้ตารางที่ 7.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.1 สรุปผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนการทำงาน	สรุปผลการทดสอบ
ข้อมูลพื้นฐาน	สามารถจัดการข้อมูลพื้นฐานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งเป็นแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการดำเนินงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนการปฏิบัติงานในการเข้าซ่อมบำรุงให้เป็นไปอย่างราบรื่นและตรงตามเป้าหมายที่กำหนด
ข้อมูลความเสียหาย	ช่วยให้จัดเก็บข้อมูลความเสียหายได้อย่างเป็นระบบ มีความครบถ้วนสมบูรณ์ ตรงต่อความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบำรุงรักษา อีกทั้งช่วยให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการค้นหา ตรวจสอบ วิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลความเสียหายมากขึ้นกว่าระบบเดิมในปัจจุบัน
การแจ้งซ่อม	ช่วยให้การพิจารณาความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้สามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบมากขึ้น
แผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	ช่วยให้กำหนดแผนงานบำรุงรักษาได้สะดวกและรวดเร็วมากกว่าการกำหนดด้วยมือตามปกติ ทำให้ลดเวลาในการสร้างแผนงานลง อีกทั้งได้แผนงานที่สอดคล้องและเป็นไปตามมาตรการในการบำรุงรักษาอีกด้วย
การเริ่มงาน	ช่วยให้ทราบว่ามีงานใดบ้างที่ต้องดำเนินการและงานใดบ้างที่ถึงกำหนดเวลาต้องดำเนินการเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของงานบำรุงรักษา
การสั่งงาน	ช่วยให้สามารถออกใบสั่งงานได้อย่างรวดเร็ว คำสั่งงานมีความชัดเจนมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน นอกจากนั้น ใบสั่งงานที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง
การควบคุมและติดตามงาน	ช่วยให้การตรวจสอบ ควบคุม และติดตามการดำเนินงานบำรุงรักษาทำได้อย่างทั่วถึงทั้งระบบ มีประสิทธิภาพและง่ายกว่าการจัดการด้วยระบบเดิม ซึ่งต้องใช้เวลานาน อีกทั้งยากต่อการตรวจสอบและติดตามงาน
การจบงาน	ข้อมูลผลการปฏิบัติงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำเนินงานบำรุงรักษาได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบผลการปฏิบัติงานของผู้รับเหมา การวิเคราะห์และตรวจสอบติดตามประวัติการบำรุงรักษาเพื่อการตัดสินใจในด้านต่างๆ ทั้งในปัจจุบันและอนาคต
ประวัติการบำรุงรักษา	ช่วยให้ตรวจสอบ ติดตาม และค้นหาประวัติการบำรุงรักษาต่างๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ตรงตามความต้องการ อีกทั้งมีประโยชน์อย่างมากต่อการบำรุงรักษาในปัจจุบันและในอนาคต
รายงานผล	สามารถลดเวลาในการประมวลและจัดทำรายงานลงมากกว่าการทำงานงานแบบเดิมมาก รายงานผลข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง เป็นปัจจุบัน เหมาะแก่การใช้งาน และตรงตามความต้องการ ส่งผลให้เกิดการจัดทำรายงานเพื่อการบำรุงรักษามากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการจัดการงานบำรุงรักษาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากการทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าพบว่า ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ช่วยให้การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในภาคสนามเป็นไปอย่างมีระบบและครบถ้วนสมบูรณ์มากกว่าการใช้แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน โดยข้อมูลที่จัดเก็บได้สามารถถ่ายโอนเข้าสู่ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาหลักที่สำนักงานได้โดยตรง ช่วยให้ลดเวลาและขั้นตอนการทำงานลง อีกทั้งยังช่วยให้สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้ที่รับผิดชอบได้ นอกจากนั้น จากการทดสอบระบบยังพบว่า การใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือแทนการใช้แบบฟอร์มกระดาษในการบันทึกข้อมูลช่วยให้ผู้ตรวจสภาพได้รับความสะดวกในการปฏิบัติงานภายในอุโมงค์มากขึ้น สำหรับปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญของการประยุกต์ใช้งานระบบนี้ คือ จำเป็นต้องมีการฝึกอบรมแก่บุคลากรให้มีความเข้าใจในวิธีการใช้งาน การดูแลรักษาอุปกรณ์ รวมถึงข้อจำกัดในการใช้งาน จึงจะสามารถใช้ในการปฏิบัติงานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และไม่เกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการนำไปใช้งาน รายละเอียดความคิดเห็นทั้งหมดที่ได้รับจากการทดสอบระบบในแต่ละส่วนตามโครงสร้างของการทดสอบระบบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

นอกจากความคิดเห็นที่ได้จากการทดสอบในแต่ละส่วนแล้ว จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นทั้งหมดพบว่า ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจในระบบสารสนเทศที่ได้พัฒนาขึ้น เนื่องจากระบบสามารถใช้งานได้ง่าย มีการจัดแบ่งส่วนการทำงานอย่างชัดเจน ทำให้สามารถเข้าใจระบบและใช้งานได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการ ถึงแม้ในระยะแรกผู้ใช้อาจจะไม่คุ้นเคยกับหน้าจอและวิธีการใช้งานในส่วนต่างๆ แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการฝึกใช้งานเพื่อสร้างความคุ้นเคยและความชำนาญในการใช้งาน ซึ่งก็ใช้ระยะเวลาไม่นาน สำหรับระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตรงตามความต้องการ ช่วยให้กระบวนการจัดการข้อมูลและการจัดการงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดการด้วยระบบเดิมในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของหน่วยงานบำรุงรักษาได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำระบบไปใช้ในการปฏิบัติงานและใช้ประโยชน์ในการทำงานได้จริง ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้

7.5 บทสรุป

จากการทดสอบระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นในภาคสนาม โดยนำมาใช้ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา พบว่าระบบสามารถช่วยให้การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลงานบำรุงรักษาแต่ละขั้นตอนเป็นไปอย่างมีระบบ ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในระยะสั้นและระยะยาวมากขึ้น ในการประมวลผลและจัดทำรายงานผลข้อมูล ระบบสามารถช่วยให้การประมวลผลและจัดทำรายงานผลข้อมูลเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และตรงต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์เพื่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ในด้านการจัดการงานบำรุงรักษา ระบบสามารถช่วยให้ดำเนินกิจกรรมงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีระบบและประสิทธิภาพมากขึ้น ตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บข้อมูลความเสียหาย การแจ้งซ่อม การสร้างแผนงาน การเริ่มงาน การสั่งงาน การควบคุมและติดตามงาน การจบงาน การตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษา และการจัดทำรายงานเพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงงาน นอกจากนั้นแล้ว จากการทดสอบพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระบบที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากสามารถนำระบบไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง และช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานบำรุงรักษาของหน่วยงานซ่อมบำรุงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการคมนาคมขนส่งในเขตเมืองใหญ่ที่มีสภาพการจราจรที่หนาแน่น การบำรุงรักษาองค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินอย่างสม่ำเสมอและด้วยวิธีการที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการดูแลรักษาสภาพขององค์ประกอบเหล่านั้นให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานและช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานมากขึ้น จากการศึกษาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าในโครงการกรณีศึกษาพบว่า กระบวนการจัดการข้อมูลในปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากขาดการบริหารจัดการข้อมูลที่เป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการจัดการข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินขึ้น ตั้งแต่การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในสนาม การประเมินสภาพความเสียหาย การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลเพื่อการบำรุงรักษา โดยมุ่งเน้นพัฒนาในส่วนของงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา วิธีการจัดการข้อมูล ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานในปัจจุบันของโครงการกรณีศึกษา เพื่อนำเสนอและกำหนดแนวทางปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แล้ววางกรอบและพัฒนาโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วน ซึ่งได้แก่ การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษา และการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา หลังจากนั้นได้นำโครงสร้างของระบบการจัดการงานบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นไปพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับช่วยบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักซึ่งทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ได้แก่ โปรแกรมบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินและโปรแกรมเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน จากนั้นจึงได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบใช้งานจริงในสถานที่และผู้ปฏิบัติงานจริงในโครงการกรณีศึกษาเพื่อศึกษาประโยชน์ที่ได้จากระบบ รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการใช้งานระบบ

ในการพัฒนาเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหาย งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกณฑ์การประเมินสภาพความเสียหายในเบื้องต้นและสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์สำหรับใช้กับโครงการกรณีศึกษาประกอบด้วย เกณฑ์การประเมินสภาพความรุนแรงของความเสียหาย เกณฑ์การประเมินความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ และเกณฑ์การประเมินสภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ ซึ่งเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้หน่วยงานบำรุงรักษาได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการซ่อมบำรุง และช่วยให้การตรวจสอบติดตามความเสียหายที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การพัฒนากระบวนการบำรุงรักษาได้นำเสนอกระบวนการจัดการงานบำรุงรักษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการในปัจจุบันและรองรับระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย การพัฒนากระบวนการแจ้งซ่อม การพัฒนากระบวนการวางแผนงาน การพัฒนากระบวนการปฏิบัติงาน การพัฒนากระบวนการจบงาน และการพัฒนากระบวนการประมวลผลและรายงานผลเพื่อการบำรุงรักษา กระบวนการบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การจัดการงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีระบบ ตั้งแต่การแจ้งซ่อม การวางแผนงาน การควบคุมติดตามงาน การจัดเก็บข้อมูลประวัติการบำรุงรักษา และการรายงานผลข้อมูลงานบำรุงรักษา

ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่พัฒนาขึ้นได้เน้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานบำรุงรักษาในส่วนของการจัดการสารสนเทศและการจัดการงานบำรุงรักษา ในส่วนของการจัดการข้อมูลและสารสนเทศ ระบบสามารถช่วยให้การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างครบถ้วนและเป็นระบบ การประมวลผลและจัดทำรายงานเพื่อใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการสามารถทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และตรงตามความต้องการ ทำให้ช่วยลดเวลาการทำงานลง ลดจำนวนเอกสารที่ต้องจัดเก็บ และได้รับรายงานที่เป็นประโยชน์ต่อการบำรุงรักษามากขึ้น ในส่วนของการจัดการงานบำรุงรักษา ระบบสามารถช่วยให้การบริหารจัดการงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีระบบมากขึ้น โดยช่วยให้การสร้างแผนงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างรวดเร็ว การสั่งงานบำรุงรักษามีความชัดเจน ทำให้การควบคุมและติดตามงานสามารถทำได้อย่างทั่วถึง นอกจากนั้น การตรวจสอบและติดตามผลการปฏิบัติงาน รวมถึงประวัติการบำรุงรักษาทำได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น สำหรับระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ผู้ตรวจสภาพเก็บข้อมูลที่สำคัญได้อย่างครบถ้วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลความเสียหาย เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษามากขึ้น นอกจากนั้น ยังช่วยให้ผู้ตรวจสภาพสามารถปฏิบัติงานภายในอุโมงค์ได้ด้วยความสะดวกมากขึ้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ระบบการจัดการข้อมูลที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้ และสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันและที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้า เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์และรางรถไฟฟ้าประเภทอื่นๆ ได้

8.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงได้อีกในหลายด้าน ดังนี้

(1) พัฒนาการกำหนดสิทธิและความสามารถในการใช้งานโปรแกรมตามหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้ใช้งาน เพื่อให้สามารถเข้าถึงได้เฉพาะส่วนงานที่เกี่ยวข้องและป้องกันการแก้ไขข้อมูลของระบบงาน ซึ่งจะส่งผลให้การประมวลผลและรายงานผลข้อมูลไม่ถูกต้อง นอกจากนั้นควรมีการเชื่อมโยงระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบงานอื่นๆ ภายในหน่วยงานซ่อมบำรุงเข้าด้วยกัน เช่น ระบบงานคลังวัสดุและอุปกรณ์ซ่อมบำรุง ระบบบัญชี ระบบงานบุคคล เป็นต้น เพื่อให้สามารถบริหารจัดการงานบำรุงรักษาและทรัพยากรด้านต่างๆ ภายในหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั่วทั้งระบบมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนและกำหนดเวลาในการบำรุงรักษาทั้งในเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขให้สอดคล้องกับทรัพยากร ระยะเวลา ปริมาณงาน และความจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุง

(2) ในการพัฒนาการประเมินสภาพความเสียหายควรพัฒนาให้เป็นดัชนีชี้วัดที่มีความชัดเจนมากขึ้น เพื่อให้การกำหนดความจำเป็นเร่งด่วนและเลือกวิธีการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากขึ้น นอกจากนั้นแล้ว ควรมีการพัฒนาแบบจำลองความเสื่อมสภาพสำหรับใช้พยากรณ์ความเสื่อมสภาพและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยสามารถอาศัยข้อมูลจากระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาดังกล่าวต่อไปในอนาคตได้ ซึ่งจะช่วยให้การกำหนดค่าจ้างผู้รับเหมางานซ่อมบำรุงจากภายนอกมีความใกล้เคียงและเหมาะสมกับปริมาณงานบำรุงรักษามากขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันไม่สามารถทำนายปริมาณงานบำรุงรักษาที่จะเกิดขึ้นได้ ผู้รับเหมาจึงรวมค่าความเสี่ยงต่างๆ ลงไปในราคาค่าจ้างเรียบร้อยแล้ว ทำให้ค่าจ้างในการซ่อมบำรุงมีมูลค่าที่อาจจะสูงกว่าสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น

(3) สำหรับในอนาคต เมื่อมีโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเกิดขึ้นเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ควรมีการจัดทำระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในงานบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานของระบบรถไฟฟ้าทั้งหมดให้สามารถเชื่อมโยงเข้าถึงกันได้อย่างเป็นสะดวก รวดเร็ว เป็นระบบและมีความสมบูรณ์มากขึ้น โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศด้านระบบเครือข่ายเข้ามาช่วยในการพัฒนาระบบ ซึ่งระบบเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยให้หน่วยงานบำรุงรักษาสามารถเข้าถึงและนำข้อมูลงานบำรุงรักษามาวิเคราะห์เพื่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม นอกจากการมีระบบการจัดการข้อมูลและการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพแล้ว สิ่งสำคัญที่จะทำให้การบำรุงรักษาประสบความสำเร็จได้ คือ การมีส่วนร่วมกันในงานบำรุงรักษาทั้งฝ่ายซ่อมบำรุง ผู้รับเหมา และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยควรตระหนักและคำนึงถึงคุณค่าของงานเป็นสำคัญ จึงควรส่งเสริมให้ทุกฝ่ายเกิดความเอาใจใส่ในการดูแลและบำรุงรักษาร่วมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิจการร่วมค้า ซีเคเอสแอล. 2545. คู่มือการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาทางรถไฟ.

กิจการร่วมค้า ไอโอเอ็น. 2547. คู่มือการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงงานโครงสร้าง.

กิตติ เปรมพินิจ. 2547. การพัฒนาโปรแกรมด้วย eMbedded Visual C++ ตอนที่ 1. Pocket PC แมกกาซีน. 1 : 62-71.

จิตติมา เทียบบุญประเสริฐ. 2544. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ. กรุงเทพมหานคร : โปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.

จิรพล สังข์โพธิ์. 2545. การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาในการจัดเก็บข้อมูลการตรวจสอบผิวทาง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 : TRP 176 – TRP 181.

ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์. 2547. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ. กรุงเทพมหานคร : แซทโฟร์พริ้นติ้ง.

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และไพบูลย์ เกียรติโกมล. 2542. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บัณฑิต เตชะแสนศิริ. 2542. ระบบสารสนเทศการวัดเนื้องานและควบคุมราคางานโดยหลักการโครงสร้างการจัดแบ่งงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. อ้างถึงใน ภาวิต เปาระพันธุ์. 2543. การใช้คอมพิวเตอร์มือถือเพื่อเก็บข้อมูลการก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประสงค์ ประณีตพลกรัง และคณะ. 2541. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : Diamond in Business World.

ภาวิต เปาระพันธุ์. 2543. การใช้คอมพิวเตอร์มือถือเพื่อเก็บข้อมูลการก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาษาอังกฤษ

AASHTO. 2000. AASHTOWARE catalog. July 1. 2000-June 30. 2001. Washington D.C. Cited in Williams, T. P. 2003. Applying Handheld Computer in the Computer Industry. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 8 : 226-231.

American Concrete Institute. 1994. ACI 201.19-92: Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service. ACI Manual of Concrete Practice Part 1. Materials and General Properties of Concrete. 201.1R-1 – 201.1R-16.

Asakura, T., and Kojima, Y. 2003. Tunnel maintenance in Japan. Tunnelling and Underground Space Technology. 18 : 161-169.

Federal Highway Administration and Federal Transit Administration, 2003. Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual. (n.p.).

Federal Highway Administration and Federal Transit Administration, 2003. Highway and Rail Transit Tunnel Maintenance and Rehabilitation Manual. (n.p.).

Hudson, W. R., Hass, R. C., and Uddin, W. 1997. Infrastructure management. New York: McGraw-Hill.

Pressman, R. S. 1997. Software Engineering : A Practioner's Approach. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill.

Richards, J. A. 1998. Inspection Maintenance and Repair of Tunnels: International Lessons and Practice. Tunnelling and Underground Space Technology. 13(4) : 369-375.

Rischpater, R. 2001. Palm enterprise applications. New York: Wiley. Cited in Williams, T. P. 2003. Applying Handheld Computer in the Computer Industry. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 8 : 226-231.

Russell, H. A. 1996. Tunnel Rehabilitation. In Bickel, J. O., Kuesel, T. R., and King, E. H. Tunnel engineering handbook. New York: Chapman & Hall.

Russell, H. A., and Gilmore, J. 1997. Synthesis of Transit Practice 23: Inspection Policy and Procedures for Rail Transit Tunnels and Underground Structures. Washington, D.C. : National Academy Press.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Williams, T. P. 2003. Applying Handheld Computer in the Computer Industry. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 8 : 226-231.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
แบบจำลองความสัมพันธ์และฐานข้อมูล

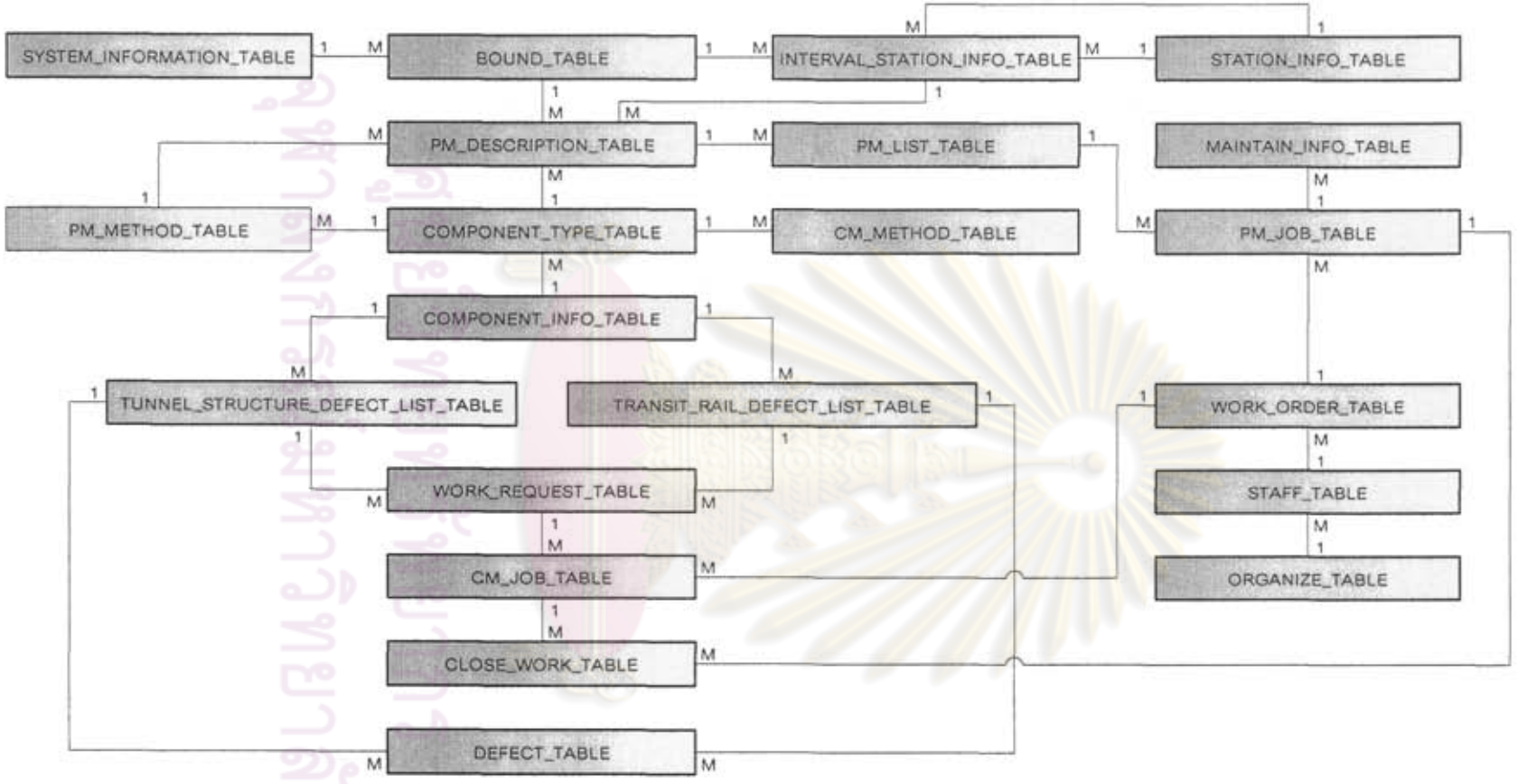
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ฐานข้อมูล ได้แก่

(1) ฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (ฐานข้อมูลหลัก) มีโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ก.1 ประกอบด้วยตารางข้อมูลหลักและตารางข้อมูลประกอบดังตารางที่ ก.1 และตารางที่ ก.2 ตามลำดับ

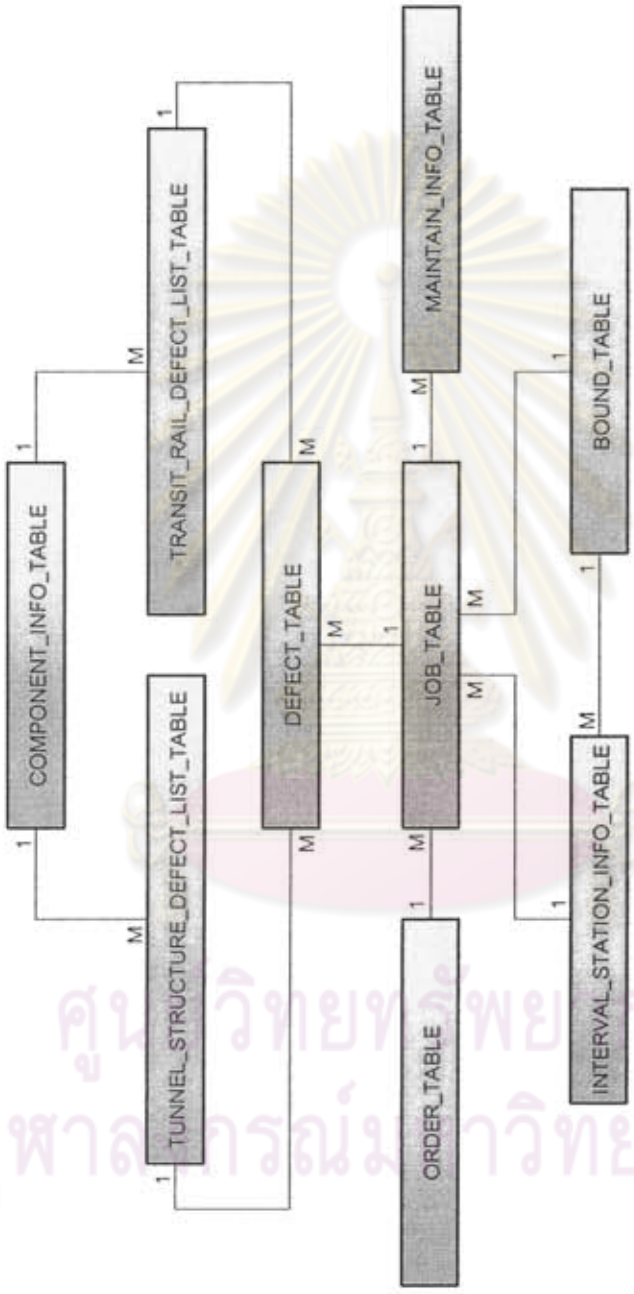
(2) ฐานข้อมูลระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน มีโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ก.2 ประกอบด้วยตารางข้อมูลหลักและตารางข้อมูลประกอบดังตารางที่ ก.3 และตารางที่ ก.4 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 แบบจำลองความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

หมายเหตุ: แสดงเฉพาะตารางข้อมูลหลักเท่านั้น



รูปที่ ก.2 แบบจำลองความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

หมายเหตุ: แสดงเฉพาะตารางข้อมูลหลักเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ตารางข้อมูลหลักภายในฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ชื่อตาราง (ภาษาอังกฤษ)	ชื่อตาราง (ภาษาไทย)
BOUND_TABLE	เส้นทาง
CLOSE_WORK_TABLE	จบงาน
CM_JOB_TABLE	งานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
CM_METHOD_TABLE	วิธีการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
COMPONENT_INFO_TABLE	องค์ประกอบที่บำรุงรักษา
COMPONENT_TYPE_TABLE	ประเภทองค์ประกอบหลักที่บำรุงรักษา
DEFECT_TABLE	ความเสียหาย
INTERVAL_STATION_INFO_TABLE	ช่วงสถานี
MAINTAIN_INFO_TABLE	งานบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการตรวจสภาพ
ORGANIZE_TABLE	หน่วยงานบำรุงรักษา
PM_DESCRIPTION_TABLE	มาตรการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
PM_JOB_TABLE	งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
PM_LIST_TABLE	แผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
PM_METHOD_TABLE	วิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
STAFF_TABLE	พนักงานซ่อมบำรุง
STATION_INFO_TABLE	สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
SYSTEM_INFORMATION_TABLE	ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน
TRANSIT_RAIL_DEFECT_LIST_TABLE	ความเสียหายรางรถไฟฟ้า
TUNNEL_STRUCTURE_DEFECT_LIST_TABLE	ความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์
WORK_ORDER_TABLE	ใบสั่งงาน
WORK_REQUEST_TABLE	แจ้งซ่อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ตารางข้อมูลประกอบภายในฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ชื่อตาราง (ภาษาอังกฤษ)	ชื่อตาราง (ภาษาไทย)
ACCOUNT_TABLE	การเข้าใช้งาน
CLOSE_STATUS_TABLE	สถานะจบงาน
CRITERIA_ANALYSIS_TABLE	ค่าตั้งต้นสำหรับการวิเคราะห์
CRITERIA_ANALYSIS_TYPE_TABLE	ประเภทการวิเคราะห์
CRITERIA_DETAIL_TABLE	รายละเอียดเกณฑ์การวิเคราะห์
CRITERIA_STATUS_TABLE	สถานะผลการวิเคราะห์ความเสียหาย
DEFECT_CONDITION_DETAIL_TEMP_TABLE	ลักษณะสภาพความเสียหายซึ่งเกิดจากการั่วไหลของน้ำที่ต้องจัดเก็บ
DEFECT_CONDITION_TEMP_TABLE	รายละเอียดลักษณะความเสียหายที่จำเป็นต้องจัดเก็บ
DEFECT_STATUS_TABLE	สถานะความเสียหาย
DEFECT_TYPE_TEMP_TABLE	ประเภทความเสียหาย
DEFECT_UNIT_TABLE	หน่วยของสภาพความเสียหาย
JOB_STATUS_TABLE	สถานะงาน
OVERALL_CONDITION_DETAIL_TABLE	รายละเอียดเกณฑ์การวิเคราะห์สภาพโดยรวม
OVERALL_CONDITION_STATUS_TABLE	สถานะสภาพโดยรวม
OVERALL_CONDITION_ TABLE	สภาพโดยรวม
PLATFORM_TABLE	ลักษณะชานชาลา
PM_LIST_STATUS_TABLE	สถานะแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
POSITION_STRUCTURE_TABLE	ตำแหน่งของโครงสร้างอุโมงค์ที่เสียหาย
POSITION_TABLE	ตำแหน่งงาน
PRENAME_TABLE	คำนำหน้าชื่อ
RAIL_TYPE_TABLE	ลักษณะเส้นทางรถไฟฟ้า
SECTION_TABLE	แผนกงานบำรุงรักษา
SIDE_TABLE	ด้านของรางรถไฟฟ้า
UNIT_DURATION_CLOSE_TABLE	หน่วยระยะเวลาสำหรับจบงาน
UNIT_DURATION_TIME_TABLE	หน่วยระยะเวลาสำหรับมาตรการบำรุงรักษา
UNIT_TIME_TABLE	หน่วยระยะเวลาทั่วไป
WORK_ORDER_STATUS_TABLE	สถานะใบสั่งงาน
WORK_REQUEST_STATUS_TABLE	สถานะการแจ้งซ่อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ตารางข้อมูลหลักภายในฐานข้อมูลระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ชื่อตาราง (ภาษาอังกฤษ)	ชื่อตาราง (ภาษาไทย)
BOUND_TABLE	เส้นทาง
COMPONENT_INFO_TABLE	องค์ประกอบที่บำรุงรักษา
DEFECT_TABLE	ความเสียหาย
INTERVAL_STATION_INFO_TABLE	ช่วงสถานี
MAINTAIN_INFO_TABLE	งานบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยการตรวจสภาพ
JOB_TABLE	งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
ORDER_TABLE	ใบสั่งงาน
TRANSIT_RAIL_DEFECT_LIST_TABLE	ความเสียหายรางรถไฟฟ้า
TUNNEL_STRUCTURE_DEFECT_LIST_TABLE	ความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลประกอบภายในฐานข้อมูลระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ชื่อตาราง (ภาษาอังกฤษ)	ชื่อตาราง (ภาษาไทย)
DEFECT_CONDITION_DETAIL_TEMP_TABLE	ลักษณะสภาพความเสียหายซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของน้ำที่ต้องจัดเก็บ
DEFECT_CONDITION_TEMP_TABLE	รายละเอียดลักษณะความเสียหายที่จำเป็นต้องจัดเก็บ
DEFECT_TYPE_TEMP_TABLE	ประเภทความเสียหาย
DEFECT_UNIT_TABLE	หน่วยความเสียหาย
RAIL_TYPE_TABLE	ลักษณะเส้นทางรถไฟฟ้า
SIDE_TABLE	ด้านของรางรถไฟฟ้า
STAFF_TABLE	พนักงานซ่อมบำรุง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
คุณสมบัติของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบระบบประกอบด้วย อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลชนิดพกพา (Notebook) และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือสำหรับใช้ทดสอบระบบในภาคสนาม อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบระบบมีคุณสมบัติดังนี้

(1) คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลชนิดพกพาที่ใช้ทดสอบระบบ

- Intel Pentium M Processor 740 (1.73 GHz, 533 MHz FSB, 2 MB L2 cache)
- Windows XP Service Pack 2 Operating System
- 14.1" WXGA CrystalBrite TFT LCD
- ATI MOBILITY RADEON X700 PCI Express/64 MB VRAM
- 80 GB HDD
- Slot-loading DVD-Dual (Support DVD+R Double Layer/DVD+-RW)
- *1.5 GB DDR2*
- 802.11 b/g wireless LAN, Bluetooth, Infrared port, IEEE 1394 port
- 10/100/1000 Mbps LAN

(2) คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ทดสอบระบบ

คอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ทดสอบระบบเป็นคอมพิวเตอร์มือถือชนิด Pocket PC รุ่น HP *iPAQ rx3715* และ *HP iPAQ h6365* ดังรูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2 มีคุณสมบัติดังตารางที่ ข.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ทดสอบระบบ

Specification	HP iPAQ rx3715	HP iPAQ h6365
Processor	Samsung S3C2440 400 MHz	TI OMAP 1510 200MHz
Operating system	Windows Mobile 2003 Second Edition	Windows Mobile 2003 Phone Edition
System ROM	64 MB	64 MB
System RAM	128 MB	64 MB
Card slot	SD/MMC	SD/MMC
Display	3.5" TFT 65,536 Color 240x320 Pixels	3.5" TFT 65,536 Color 240x320 Pixels
Camera	1.2 MP Built-in	0.3 MP Built-in
Connection	Integrated Wireless LAN 802.11b, Bluetooth, IrDA	Integrated Wireless LAN 802.11b, Bluetooth, IrDA
Battery	Lithium-Ion Rechargeable/Removable battery	Lithium-Ion Rechargeable/Removable battery
Weight	158.1 grams.	190 grams.
Model		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ความคิดเห็นที่ได้จากการทดสอบระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดของผู้เข้าร่วมในการทดสอบระบบประกอบด้วยบุคลากรที่เกี่ยวข้องดังแสดงดังตารางที่ ค.1 และสำหรับความคิดเห็นที่ได้รับจากการทดสอบระบบแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนตามโครงสร้างของการทดสอบระบบ ดังแสดงในตารางที่ ค.1 ถึงตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.1 รายละเอียดผู้เข้าร่วมในการทดสอบระบบ

ลำดับที่	ตำแหน่งงาน	จำนวน (คน)
1	วิศวกรซ่อมบำรุงอาวุโส	2
2	ผู้ตรวจสภาพและช่างเทคนิค	1
3	หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
ข้อมูลพื้นฐาน	• ระบบข้อมูลพื้นฐานใช้งานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ทั้งการบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหาและแสดงผลข้อมูล • ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของระบบ โดยเฉพาะข้อมูลสถานี เส้นทางและช่วงสถานี เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนการปฏิบัติงานในการเข้าซ่อมบำรุงในแต่ละครั้งให้เป็นไปอย่างราบรื่นและตรงตามเป้าหมายที่กำหนด เนื่องจากเวลาการซ่อมบำรุงมีจำกัดเพียง 3 ชั่วโมงต่อวัน อีกทั้งพื้นที่ในการเข้าซ่อมบำรุงในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน หากผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มักส่งผลให้เกิดการประสานงานที่ผิดพลาดและเกิดความล่าช้าของงานได้ • สามารถเข้าถึงข้อมูลและนำไปใช้ประโยชน์ในงานบำรุงรักษาได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น
ข้อมูลความเสียหาย	• ในการบันทึกข้อมูลความเสียหาย ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย ช่วยให้การบันทึกข้อมูลมีความเป็นระบบมากกว่าการใช้แบบฟอร์มกระดาษในปัจจุบัน เนื่องจากระบบช่วยสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลได้อย่างเหมาะสมกับองค์ประกอบที่เสียหายและประเภทความเสียหายที่ต้องการบันทึก จึงช่วยให้บันทึกข้อมูลความเสียหายได้อย่างครบถ้วน ตรงตามความต้องการในการใช้ประโยชน์เพื่อการบำรุงรักษา อีกทั้งช่วยลดจำนวนเอกสารและความยุ่งยากจากงานเอกสารลงได้ • ในการวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายของโครงสร้างอุโมงค์ ระบบช่วยให้การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลความเสียหายเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว ทำให้ได้สารสนเทศที่มีประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการซ่อมบำรุง การติดตามสภาพความเสียหาย และการควบคุมปริมาณความเสียหายให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์สภาพโดยรวมของโครงสร้างอุโมงค์ช่วยให้การติดตามเฝ้าระวังพื้นที่ที่มีความเสียหายเกิดขึ้นมากหรือน่าเป็นห่วงสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากระบบช่วยวิเคราะห์และประเมินภาพรวมความเสียหายที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้ • ระบบสามารถตรวจสอบรายการความเสียหายแต่ละรายการได้ว่ารับทราบและถูกจัดเก็บมาจากการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันงานใด ซึ่งเป็นผลดีต่อการตรวจสอบการปฏิบัติงานของพนักงานซ่อมบำรุง และการติดตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ (ต่อ)

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
ข้อมูลความเสียหาย (ต่อ)	• ในการค้นหาและแสดงผลข้อมูลความเสียหายทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ถูกต้องและตรงตามเงื่อนไขที่ต้องการมากกว่าการจัดการข้อมูลด้วยระบบเดิม ซึ่งต้องใช้เวลานานในการสรุปและรวบรวมข้อมูลจากทั้งเอกสารและแฟ้มข้อมูลในคอมพิวเตอร์ • การค้นหาข้อมูลความเสียหายตามเงื่อนไขต่างๆ สามารถใช้งานได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการค้นหาตามช่วงสถานี วงอุโมงค์ ประเภทความเสียหายและสถานะงานบำรุงรักษา ช่วยให้สามารถติดตามความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างใกล้ชิดและรวดเร็วมากขึ้น รวมทั้งช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและหาแนวทางแก้ไขได้อย่างเหมาะสม
การแจ้งซ่อม	• การแจ้งซ่อมสามารถทำได้ง่ายและมีความเหมาะสมกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องจากระบบทำการกำหนดระดับความจำเป็นในการซ่อมบำรุงและแจ้งซ่อมให้โดยอัตโนมัติตามมาตรฐานการซ่อมบำรุงเมื่อมีการแจ้งความเสียหายเข้ามาสู่ระบบ ช่วยให้จัดการกับความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีระบบมากขึ้นกว่าการจัดการในปัจจุบัน ซึ่งไม่มีการกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุงความเสียหายที่ชัดเจน ส่งผลให้การซ่อมบำรุงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร • ในการค้นหาและแสดงผลรายการแจ้งซ่อม ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ตรงตามเงื่อนไขที่ต้องการ ช่วยให้ทราบถึงลำดับความจำเป็นเร่งด่วนของงานและปริมาณงานที่ต้องดำเนินการ ทำให้สามารถเตรียมความพร้อมและจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็น รวมถึงวางแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสม
แผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	• ระบบแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีความยืดหยุ่น ช่วยให้สร้างแผนงานบำรุงรักษาที่ต้องการได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดแผนงานบำรุงรักษาในระยะยาวเพื่อนำมาใช้เป็นแผนงานหลักในแต่ละปี สามารถทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ลดเวลาในการสร้างแผนงานได้มากกว่าการกำหนดแผนงานด้วยมือตามปกติ อีกทั้งยังได้แผนงานที่สอดคล้องและเป็นไปตามมาตรการในการบำรุงรักษาอีกด้วย

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ (ต่อ)

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การเริ่มงาน	• การขอเริ่มงานและยกเลิกงานสามารถใช้งานได้ง่าย ช่วยให้สามารถตรวจสอบงานในแต่ละประเภทได้อย่างรวดเร็ว ทั้งงานที่ต้องดำเนินการ (งานแจ้งซ่อม) และงานที่ถึงกำหนดเวลา (งานตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน) ทำให้ทราบว่ามีงานอะไรบ้างที่ต้องดำเนินการ และงานอะไรบ้างที่ยังค้างอยู่หรือยังไม่ได้ดำเนินการให้แล้วเสร็จ ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานเป็นระบบและดีกว่าการจัดการในปัจจุบัน ซึ่งต้องใช้เวลานานในการตรวจสอบและติดตามสถานะของงานแต่ละรายการ
การสั่งงาน	• ในการออกคำสั่งงานและใบสั่งงาน ระบบสามารถช่วยสร้างคำสั่งงานและออกใบสั่งงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งใบสั่งงานที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง • ในการสั่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ผู้สั่งงานสามารถออกคำสั่งงานให้ดำเนินการซ่อมบำรุงในรายการแจ้งซ่อมที่มีความจำเป็นในการซ่อมบำรุงมากกว่าได้ ซึ่งช่วยให้การซ่อมบำรุงเป็นไปตามลำดับความสำคัญของงาน อีกทั้งมีความชัดเจนของคำสั่งงานมากขึ้นกว่าการสั่งงานในปัจจุบัน ซึ่งไม่มีการสั่งงานที่ชัดเจนว่าให้ช่างซ่อมบำรุงดำเนินการซ่อมบำรุงในจุดใดบ้าง ทำให้ยากต่อการตรวจสอบงานและไม่สามารถตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษาได้
การควบคุมและติดตามงาน	• ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ตรงตามความต้องการในการค้นหา • ช่วยให้การตรวจสอบ ควบคุมและติดตามการดำเนินงานบำรุงรักษาทำได้อย่างทั่วถึงทั้งระบบ มีประสิทธิภาพและง่ายกว่าการทำงานด้วยระบบเดิม ซึ่งต้องใช้เวลานานและยากต่อการตรวจสอบและติดตามงาน

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์ (ต่อ)

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การจบงาน	• ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย คล้ายกับการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มทั่วไป แต่ผู้บันทึกข้อมูลควรบันทึกข้อมูลให้ครบถ้วนสมบูรณ์และสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของข้อมูล จึงจะเกิดประโยชน์ต่อการบำรุงรักษาอย่างแท้จริง และควรมีการป้องกันการแก้ไขข้อมูลที่ได้จบงานแล้วด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลและรายงานผลข้อมูล • ข้อมูลที่ได้จากการจบงานมีประโยชน์มากต่อทั้งการตรวจสอบติดตามผลการปฏิบัติงานของผู้รับเหมาและพนักงานซ่อมบำรุง รวมถึงการบริหารจัดการในอนาคต เนื่องจากจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเหล่านี้ประกอบการตัดสินใจในด้านต่างๆ ให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการดำเนินงานดังกล่าวไว้อย่างเป็นระบบ
ประวัติการบำรุงรักษา	• ระบบสามารถช่วยตรวจสอบ ค้นหาและแสดงประวัติการบำรุงรักษาต่างๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็วและตรงตามเงื่อนไขที่ต้องการ มีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในปัจจุบันและในอนาคต โดยสามารถใช้ข้อมูลในการตรวจสอบติดตามประวัติการบำรุงรักษาที่ผ่านมาในอดีต ตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมา วิเคราะห์เพื่อปรับปรุงงานบำรุงรักษาทั้งในเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งใช้ประกอบการตัดสินใจในอนาคตได้ เช่น การซ่อมใหญ่ การบูรณะปรับปรุง การสร้างใหม่อีกรอบ เป็นต้น เป็นผลดีต่อการบำรุงรักษามากกว่าการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งยังขาดการจัดเก็บข้อมูลประวัติการบำรุงรักษาที่เป็นระบบ จึงอาจส่งผลเสียต่อการบำรุงรักษาในอนาคตได้
การรายงานผล	• ระบบสามารถช่วยจัดทำรายงานผลข้อมูลงานบำรุงรักษาด้านต่างๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และตรงตามความต้องการ รายงานที่ได้มีความถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ เหมาะแก่การใช้งาน และสามารถนำไปใช้ในการดำเนินงานบำรุงรักษาได้ แต่ยังขาดการนำเสนอรายงานผลข้อมูลด้วยแผนภูมิ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงภาพรวมได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามยังสามารถใช้ข้อมูลที่ได้ไปเขียนแผนภูมิได้ • ช่วยลดเวลาในการประมวลผลและจัดทำรายงานลงได้มากกว่าการทำงานในแบบเดิมมาก จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดทำรายงานได้ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการจัดทำรายงานเพื่อการบำรุงรักษามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลช่วยให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพตามไปด้วย

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
ข้อมูลพื้นฐาน	• ระบบช่วยบันทึก แก้ไข ลบ ค้นหาและแสดงผลข้อมูลได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว • ข้อมูลพื้นฐานภายในระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ ทำให้สามารถนำมาใช้งานได้ในทันที • การจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ในงานบำรุงรักษาไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบช่วยให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก รวดเร็วมากยิ่งขึ้น • เป็นแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการดำเนินงานในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลเกี่ยวกับสถานี เส้นทางและช่วงสถานีมีประโยชน์มากต่อการวางแผนการเข้าซ่อมบำรุงในแต่ละครั้ง เนื่องจากระยะทางช่วงอุโมงค์ที่ต้องเข้าซ่อมบำรุงมีความแตกต่างกัน หากผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้ประกอบในการวางแผนงาน จะช่วยให้ดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
ข้อมูลความเสียหาย	• ระบบสามารถช่วยนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลความเสียหายได้อย่างเหมาะสมกับการบันทึกข้อมูลความเสียหายแต่ละประเภท ตอบสนองต่อรายละเอียดข้อมูลที่ต้องการได้ดีกว่าการใช้แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน ทำให้จัดเก็บข้อมูลความเสียหายได้อย่างเป็นระบบ ครบถ้วนสมบูรณ์และตรงต่อความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบำรุงรักษามากขึ้น • ข้อมูลความเสียหายที่จัดเก็บได้ช่วยให้สามารถนำไปใช้ในการจัดการงานด้านต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น การจัดเตรียมวัสดุสำรอง การติดตามความเสื่อมสภาพและความเสียหายขององค์ประกอบต่างๆ การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของความเสียหาย ตลอดจนการหาแนวทางป้องกันและแก้ไขที่เหมาะสม เป็นต้น • ระบบช่วยค้นหาข้อมูลตามเงื่อนไขที่ต้องการได้สะดวก รวดเร็วมากกว่าการทำงานด้วยระบบเดิม ซึ่งต้องใช้เวลานานในการรวบรวมและสรุปข้อมูลตามที่ต้องการ อีกทั้งยังอาจได้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องและสมบูรณ์อีกด้วย สำหรับการค้นหาตามช่วงสถานี ช่วงเวลาและประเภทความเสียหายสามารถช่วยให้วิเคราะห์และติดตามความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างใกล้ชิดมากขึ้น

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า (ต่อ)

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การแจ้งซ่อม	• ระบบช่วยกำหนดระดับความจำเป็นในการซ่อมบำรุงและแจ้งซ่อมความเสียหายให้โดยอัตโนมัติตามมาตรฐานการบำรุงรักษาความเสียหายแต่ละประเภท ทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการพิจารณาความเสียหายเพื่อตัดสินใจทำการซ่อมบำรุง นอกจากนั้น ยังทำให้ทราบว่ามีงานซ่อมบำรุงอะไรบ้างที่ต้องดำเนินการและงานใดบ้างที่ควรเร่งดำเนินการก่อน ช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุงมากกว่าการจัดการด้วยระบบเดิมซึ่งไม่มีส่วนสำหรับกลั่นกรองความต้องการและจำเป็นเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงที่ชัดเจน
แผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	• ระบบช่วยสร้างแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับใช้งานในแต่ละปีได้อย่างสะดวกและรวดเร็วกว่าการสร้างแผนงานด้วยมือตามปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนและกำหนดเวลางานบำรุงรักษาในระยะยาวเพื่อนำมาใช้เป็นแผนงานหลักในแต่ละปี ซึ่งช่วยให้ลดเวลาในการสร้างแผนงานลง และแผนงานที่ได้เป็นไปตามมาตรการงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันอีกด้วย
การเริ่มงาน	• ระบบช่วยเตือนให้ทราบว่ามีงานใดบ้างที่ต้องดำเนินการและงานใดบ้างที่ถึงกำหนดเวลาต้องดำเนินการเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปตามมาตรฐานงานบำรุงรักษาที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้ามีปริมาณงานซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่มาก อีกทั้งมีความคาบเกี่ยวกันมากกว่างานบำรุงรักษาองค์ประกอบในส่วนอื่นๆ ระบบนี้จึงมีส่วนสำคัญมากต่อการควบคุมและดำเนินงานให้เป็นไปตามมาตรฐานของการดูแลและบำรุงรักษา
การสั่งงาน	• ระบบช่วยสร้างคำสั่งงานและออกใบสั่งงานได้อย่างรวดเร็ว ใบสั่งงานที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง ทำให้การดำเนินงานบำรุงรักษามีความเป็นระบบและเกิดความชัดเจนในการสั่งงานมากขึ้น ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบและติดตามการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข นอกจากจะสามารถออกคำสั่งงานตามความจำเป็นในการซ่อมบำรุงได้แล้ว ยังสามารถตรวจสอบได้ว่าความเสียหายใดบ้างที่ยังไม่ได้รับการซ่อมบำรุงหรือจุดใดบ้างที่ได้สั่งงานให้ซ่อมบำรุงแล้ว ซึ่งช่วยให้การสั่งงานและตรวจสอบติดตามเป็นระบบมากขึ้น

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า (ต่อ)

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การควบคุมและติดตามงาน	• ระบบช่วยค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็วและตรงตามความต้องการ ช่วยให้ตรวจสอบ ควบคุมและติดตามการดำเนินงานบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายกว่าการจัดการในปัจจุบัน ซึ่งทำได้ยาก เนื่องจากต้องใช้เวลานานในการตรวจสอบและติดตามจากผู้ที่เกี่ยวข้อง
การจบงาน	• ระบบสามารถใช้งานได้ง่ายเช่นเดียวกับการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มทั่วไป มีรายละเอียดการปฏิบัติงานที่สำคัญอย่างครบถ้วน ซึ่งจะส่งผลดีต่อการบำรุงรักษามากกว่าการทำงานในปัจจุบันที่ไม่มีการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลเป็นประวัติการบำรุงรักษาไว้อย่างเป็นระบบ • ข้อมูลผลการปฏิบัติงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมา และการตรวจสอบติดตามประวัติการบำรุงรักษาเพื่อประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการบำรุงรักษาทั้งในเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข
ประวัติการบำรุงรักษา	• ระบบช่วยตรวจสอบ ค้นหาและแสดงประวัติการบำรุงรักษาได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ตรงตามเงื่อนไขที่ต้องการ และใช้งานง่าย • ข้อมูลและรายละเอียดที่ได้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบำรุงรักษาทั้งในปัจจุบันและในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบติดตามประวัติการบำรุงรักษาที่ผ่านมาในอดีต การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงงานบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงใช้ประกอบการตัดสินใจสำหรับการบำรุงรักษาในอนาคตได้ เช่น การซ่อมใหญ่ การบูรณะปรับปรุง การสร้างใหม่อีกรอบ เป็นต้น
การรายงานผล	• ระบบช่วยประมวลผลและจัดทำรายงานด้านการบำรุงรักษาได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ตรงตามความต้องการรายงานผลข้อมูลเพื่อการจัดการงานบำรุงรักษา รายงานที่ได้มีรายละเอียดครบถ้วน มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน • ระบบสามารถช่วยลดเวลาในการจัดทำรายงานลง ส่งผลให้เกิดการจัดทำรายงานเพื่อการบำรุงรักษามากขึ้น • ข้อมูลที่ได้จากรายงานนำไปใช้ในการดำเนินงานบำรุงรักษาได้จริง

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษาโครงสร้างอุโมงค์

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การเก็บข้อมูลความเสียหายโครงสร้างอุโมงค์	• ระบบช่วยสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลความเสียหายที่เหมาะสมกับความเสียหายที่ทำการตรวจสภาพได้ ทำให้ผู้ตรวจสภาพทราบว่าควรบันทึกและเก็บข้อมูลอะไรบ้าง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลจึงเป็นไปอย่างมีระบบและครบถ้วนสมบูรณ์ • ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ผู้ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว แต่จำเป็นต้องฝึกหัดใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นและนำไปใช้งานได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น • การใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือเป็นเครื่องมือในการบันทึกข้อมูล ช่วยให้ผู้ตรวจสภาพโครงสร้างอุโมงค์ซึ่งปฏิบัติงานภายในอุโมงค์ที่มีแสงสว่างน้อยและต้องเคลื่อนที่ทั้งการเดินและการปีนไต่อยู่เป็นประจำเกิดความสะดวกในการทำงานมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีไฟที่หน้าจอ (back light) ทำให้สามารถมองเห็นแบบแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลได้อย่างชัดเจน สะดวกกว่าการใช้แบบฟอร์มกระดาษ อีกทั้งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเก็บไว้ในกระเป๋าเสื้อหรือกางเกงในขณะปฏิบัติงานได้ • สามารถจัดเก็บข้อมูลความเสียหายเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลได้ในทันที ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วน ช่วยลดเวลาและขั้นตอนการทำงานลงได้ เนื่องจากไม่ต้องป้อนข้อมูลเพื่อจัดเก็บซ้ำอีกครั้ง ซึ่งต้องใช้เวลานานและอาจเกิดความผิดพลาดได้ • ช่วยให้สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมาและตรวจสอบที่มาของข้อมูลได้ว่าจากการปฏิบัติงานบำรุงรักษาใด

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบระบบเก็บข้อมูลสภาพอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในงานบำรุงรักษารางรถไฟฟ้า

ส่วนการทำงาน	ผลการทดสอบ
การเก็บข้อมูลความเสียหายรางรถไฟฟ้า	• ระบบสามารถสร้างและนำเสนอแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลได้อย่างเหมาะสมกับความเสียหายที่ทำการตรวจสภาพ ช่วยให้ผู้ตรวจสภาพบันทึกและจัดเก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและเป็นระบบมากกว่าการใช้แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน • การบันทึก แก้ไข และลบข้อมูลความเสียหายสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ผู้ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว • การใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือสำหรับเก็บข้อมูลในภาคสนาม ช่วยให้ผู้ตรวจสภาพมองเห็นและบันทึกข้อมูลภายในอุโมงค์ได้อย่างสะดวกมากกว่าการใช้แบบฟอร์มกระดาษ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีไฟหน้าจอสำหรับใช้งานในที่มีแสงสว่างน้อย • ระบบสามารถรับและส่งคำสั่งงานระหว่างฐานข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว • การวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายเพื่อกำหนดความจำเป็นในการซ่อมบำรุงทำได้อย่างถูกต้องตามข้อกำหนดและเป็นประโยชน์ต่อการจัดลำดับการซ่อมบำรุง • ช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลความเสียหายในภาคสนามเป็นไปอย่างมีระบบ และจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ไม่ต้องป้อนข้อมูลซ้ำอีกครั้ง ทำให้ลดเวลาและขั้นตอนในการทำงานลง • สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานของผู้รับเหมาหรือผู้ที่รับผิดชอบงาน ตรวจสอบที่มาของข้อมูล ประวัติความเสียหาย และการซ่อมบำรุงได้