รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการออกแบบเบื้องต้นโรงซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า
The Study of Preliminary Design of Depot and Workshop for Electric Rolling Stock

นายคิโยชิ มณีแสง

นางสาวพชรภัทร ทองเล็ก

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการออกแบบเบื้องต้นโรงซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า

The Study of Preliminary Design of Depot and Workshop for Electric Rolling Stock

นายคิโยชิ มณีแสง

นางสาวพชรภัทร ทองเล็ก

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาการออกแบบเบื้องต้นโรงซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายคิโยชิ มณีแสง

นางสาวพชรภัทร ทองเล็ก

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายณฐธน ประวิทย์ตานนท์

สถานประกอบการ บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด

บทคัดย่อ

ศูนย์ซ่อมบำรุงเป็นสถานที่สำหรับซ่อมบำรุงรถไฟให้สามารถเดินรถบริการแก่ผู้โดยสารได้อย่างปลอดภัย เพราะถ้าหากส่วนขับเคลื่อนมีปัญหา รถไฟทั้งขบวนอาจตกรางซึ่งมีความอันตรายถึงชีวิตและยังขัดขวางช่องทางการเดินรถสำหรับขบวนอื่นอีกด้วย หากออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าได้ดี จะช่วยลดเวลาในการบำรุงรักษา ลดค่าใช้จ่ายในการสำรองขบวนรถไฟฟ้า และลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากรถไฟฟ้าบกพร่องได้ ในโครงการนี้ทำการศึกษาโดยรวบรวมกรณีศึกษาของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า และเรียบเรียงองค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละกรณี และเปรียบเทียบกัน รวมถึงสร้างแบบสอบถามสำหรับพนักงานซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า ที่บ่งชี้ได้ถึงปัญหาและความต้องการใช้งานในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญในการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ผลที่ได้ คือ ศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นออกแบบตามความต้องการในการซ่อมบำรุง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญในการบำรุงรักษารถไฟฟ้าโดยตรง ได้แก่ โรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า และโรงจอดรถไฟฟ้า จากการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพของศูนย์ซ่อมบำรุงขึ้นอยู่กับการจัดลำดับการซ่อมบำรุงตามวาระในแต่ละวันที่ไม่ขัดการทำงานของกันและกัน รวมถึงพื้นที่ในการทำงานที่สะดวกเหมาะสม จำนวนทางที่เหมาะสมสอดคล้องกับจำนวนรถไฟฟ้า และแผนการซ่อมบำรุงจะขึ้นอยู่กับประเภทรถไฟฟ้าที่ให้บริการ ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญในนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง ได้แก่ ประเภทรถไฟฟ้า ขนาดและจำนวนขบวนรถไฟฟ้า แผนการซ่อมบำรุง ระยะเผื่อความปลอดภัย และความเร็วที่ใช้ทดสอบ

คำสำคัญ : การออกแบบเบื้องต้น, ศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า, รถไฟฟ้า

Cooperative Title: The Study of Preliminary Design of Depot and Workshop for Electric Rolling Stock

Student intern name: Mr. Kiyoshi Maneesaeng

Miss Pacharapat Thonglek

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Advisor name: Dr. Jittraporn Wongsa-Ngam

Mentor name: Mr. Nathathon Prawittanon

Company: TEAM Consulting Engineering and Management Co., Ltd.

ABSTRACT

The train maintenance depot and workshop is a place for train maintenance to be able to operate passenger services safely. If the rolling stock has problems, the train may be derailed, which is fatal and block the track for other trains as well. If the design of train maintenance depot is suitable it can reduce maintenance time, reduce the cost of the train reservation, and reduce the chance of an accident. In this study, the information and data were collected by studying from documents and research reports of existing depots from many countries. Then the data was analyzed to summarized the component of depot and determine the necessary factors to design each component. In addition the questionnaire was used to assess the utilization of depot from user. The results show the important components that directly related to the maintenance of electrical rolling stock consist of stabling yard, workshop, train washing plant and test track. The effective design of depot and workshop depends on the order of the daily maintenance activity which does not interrupt each other. The necessary factors that should be considered in design are the area, the size and number of train, type of service train, operation plan, maintenance plan and test speed.

Keyword : The preliminary design, Depot and workshop for electric rolling stock, Rolling stock.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์และความกรุณาของบุคคลหลายท่านซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด รวมถึงความกรุณาตรวจทานแก้ไขจนรายงานสหกิจศึกษาเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณณฐธน ประวิทย์ตานนท์ พนักงานที่ปรึกษา ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด และพนักงานที่ให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัย ให้คำแนะนำและประสบการณ์ในการฝึกงาน รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบุคลากรทุกท่านที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ ซึ่งทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องประการใด คณะผู้เขียนขออภัยมา ณ โอกาสนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและสามารถนำข้อมูลต่างๆไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ

คิโยชิ มณีแสง

พชรภัทร ทองเล็ก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 ระยะเวลาการดำเนินโครงการ 4

บทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น 5

2.1.1 รถไฟฟ้า (Electrical Rolling Stock) 5

2.1.2 ส่วนประกอบของรถไฟ (Rolling Stock Components) 5

2.1.3 ระบบขนส่งทางรางสำหรับขนส่งผู้โดยสาร 16

2.1.4 ศูนย์ซ่อมบำรุง 19

2.1.5 ความรู้เบื้องต้นการดำเนินงานซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 20

2.1.6 การบำรุงรักษารถไฟ 25

2.1.7 แผนการใช้ประโยชน์พื้นที่และการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.8 ระดับของงานซ่อมบำรุง 35

2.1.9 การต่อประสานกับศูนย์ซ่อมบำรุง (Interface) 36

2.1.10 Railway RAMS and quality of service 37

2.1.11 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 42

2.1.12 การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น 42

2.1.13 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 43

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 45

2.2.1 ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกฎระเบียบความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม 45

2.2.2 การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขนส่งระบบราง 46

2.2.3 การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขบวนรถไฟฟ้าและล้อเลื่อน 47

2.2.4 การศึกษาและเปรียบเทียบการดำเนินงานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 49

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 50

3.1 การวิจัยเอกสาร 50

3.1.1 การรวบรวมเอกสารกรณีศึกษาของศูนย์ซ่อมบำรุง 50

3.1.2 การศึกษาปัจจัยในการออกแบบ 51

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 51

3.2 กรณีศึกษาจากการสอบถามความคิดเห็น 51

3.2.1 กำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 51

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 52

3.2.3 การตรวจสอบเครื่องมือ 53

3.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 53

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย 55

4.1 ประเภทของการบำรุงรักษา 57

4.2 ประเภทและหน้าที่ของศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟ 59

4.3 องค์ประกอบหลักภายในศูนย์ซ่อมบำรุง 59

4.3.1 โรงจอดรถไฟฟ้า 59

4.3.2 โรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา 60

4.3.3 โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า 64

4.3.4 ทางวิ่งทดสอบ 66

4.3.5 โรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง 68

4.3.6 ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลัก 69

4.4 เครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุงหลัก 70

4.5 กรณีศึกษาโดยใช้แบบสอบถาม 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 79

5.1 สรุปผลการวิจัย 79

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย 81

5.3 ข้อเสนอแนะ 81

ภาคผนวก 82

เอกสารอ้างอิง 85

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 4

2.1 แสดงจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan 44

2.2 แสดงระยะทางและระยะเวลาของกิจกรรมการบำรุงรักษาของชิ้นส่วนรถไฟฟ้าแสดงในโครงการ 48

3.1 แสดงรายละเอียดของศูนย์ซ่อมบำรุงเพื่อเป็นกรณีศึกษา 50

3.2 แสดงจำนวนบุคลากรที่มีหน้าที่บำรุงรักษารถไฟฟ้า 51

3.3 แสดงจำนวนหน่วยตัวอย่างที่ต้องทำแบบสอบถามของแต่ละแผนกย่อย 52

4.1 แสดงการสรุปจำนวนทางสำหรับซ่อมบำรุง 64

4.2 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจาก Depot A 74

4.3 แสดงข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามจาก Depot A 75

5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบองค์ประกอบต่างๆของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 79

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

1.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 3

2.1 แสดงส่วนภายนอกของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ 7

2.2 แสดงส่วนคนขับของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ 7

2.3 แสดงตัวอย่างของแคร่แบบมีระบบขับเคลื่อน ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ 8

2.4 แสดงตัวอย่างของแคร่แบบไม่มีระบบขับเคลื่อน ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ 9

2.5 แสดงตัวอย่างห้ามล้อโดยใช้ระบบทางกล (แรงเสียดทาน) 11

2.6 แสดงระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงก์ 12

2.7 แสดงระบบข้อต่อ (coupler) ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงก์ (SARL) 13

2.8 แผนภาพแสดงระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทต่างๆ 19

2.9 ระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทต่างๆ 19

2.10 โอกาสการเกิดการเสียหายและระยะเวลาเฉลี่ยอายุการใช้งานก่อนการเสียหาย
และระยะเวลาเผื่อที่จะทำการซ่อมบำรุง 22

2.11 ระยะเวลาของเวลาเฉลี่ยในช่วงการเกิดการเสียหาย 22

2.12 แผนภาพแสดงต้นทุนของการบำรุงรักษาแต่ละส่วนตามอายุการใช้งาน 25

2.13 แผนผังของศูนย์ซ่อมบำรุง (ไม่ระบุเจาะจงว่าเป็นที่ใด) 26

2.14 พื้นที่จอดรถไฟ 27

2.15 ตัวอย่างเครื่องกลึงล้อใต้พื้นในพื้นที่ปฏิบัติการที่ Aylesbury, UK. 28

2.16 รถไฟฟ้า Class 700 EMU ในช่องตรวจสอบของซีเมนส์ที่ Three Bridges, UK 29

2.17 รถไฟฟ้าได้รับพลังงานจากสายส่งที่ห้อยลงมาจากด้านบนโดยเสียบ
เข้าไปในช่องรับไฟฟ้าด้านข้างตัวรถ 29

2.18 เครนเหนือศีรษะ 30

2.19 ยกรถไฟโดยเครื่องยกใต้พื้น 31

2.20 โต๊ะเลื่อนแคร่ที่ศูนย์ซ่อมบำรุง Oxley , Wloverhapmton, UK 31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.21 จอแสดงแผนการซ่อมบำรุงแบบติดตามการทำงานตลอด 32

2.22 Quality of service 38

2.23 ความเชื่อมโยงของ Railway RAMS Element 38

2.24 โครงสร้าง RAMS 40

2.25 โครงสร้าง Railway RAMS 41

4.1 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงจอดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีเขียว) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 60

4.2 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (พื้นที่สีแดงและส้มตามลำดับ) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 61

4.3 แสดงทาง (Track) ที่อยู่ภายในโรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 61

4.4 ส่วนประกอบต่างในเครื่องล้างขบวนรถไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 64

4.5 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีเหลือง) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 65

4.6 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีม่วง) ที่อยู่ภายนอกศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า โครงการรถไฟฟ้าสายสีแดงช่วงบางซื่อ-รังสิต 66

4.7 รูปแบบการวางทางทดสอบ (Test Track) จะวางตัวด้านข้างตามยาวของพื้นที่โรงซ่อมบำรุง 67

4.8 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง (พื้นที่สีฟ้า)อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 68

4.9 เครนเหนือศีรษะ 70

4.10 Portable/Mobile Lifting Jacks 70

4.11 Underfloor lifting jack 70

4.12 Wheel lathe 71

4.13 Vertical spring test stand 71

4.14 Dual End Combination Wheel Press 71

4.15 Bogie turntable 71

4.16 ห้องพ่นสี 72

4.17 Bogie Washing Plant 72

4.18 Bogie drop table 73

4.19 Bogie preload stand 73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันรูปแบบการเดินทางในประเทศไทยมีความหลากหลายมากขึ้นทั้งทางบก ทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ เนื่องมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประชาชนมีความต้องการเดินทางเพิ่มขึ้น โดยมีปัจจัยในการเลือกใช้บริการ ได้แก่ ความสะดวกสบาย ระยะเวลาในการเดินทางและความปลอดภัย

การเดินทางทางบกทั้งระบบขนส่งสาธารณะและรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นรูปแบบการเดินทางที่ได้รับความนิยมและการสนับสนุนมาเป็นเวลานาน เนื่องจากสะดวกต่อการเข้าถึงที่พักอาศัยและคล่องตัวในการเดินทาง แต่ในปัจจุบันเมื่อความต้องการเดินทางมากขึ้น การใช้รถใช้ถนนก็เพิ่มขึ้น อีกทั้งข้อจำกัดทางด้านผังเมือง ทำให้เกิดปัญหาการจราจรหนาแน่นและติดขัด โดยเฉพาะในบริเวณเมืองที่เป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจและเมืองหลวงของประเทศไทยอย่างกรุงเทพมหานคร แต่แม้ว่าเส้นทางถนนในกรุงเทพมหานครจะเพิ่มช่องทาง หรือสร้างทางพิเศษ และทางลัด เพื่อความรวดเร็วในการเดินทางแล้ว อย่างไรก็ตามปัญหาปริมาณการจราจรหนาแน่นก็ยังไม่สามารถหาทางออกได้

เนื่องจากระบบขนส่งทางรางเป็นรูปแบบการเดินทางที่สามารถขนส่งมวลชนได้มากและรางสามารถใช้งานได้นานกว่าทางถนน อัตราเร็วในการเดินทางของรถไฟฟ้ามากกว่ารถยนต์ มีการอนุญาตการเดินรถจากที่แห่งเดียวบนเส้นทางนั้นๆโดยวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมและการจัดการ ทำให้มีความปลอดภัยสูงมาก ดังนั้นระบบขนส่งทางรางจึงได้รับการสนับสนุนให้ก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าเพื่อขนส่งมวลชนทั้งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในปัจจุบันเปิดให้บริการได้แล้ว 4 โครงการ ได้แก่

(1) ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร (BTS)
  (1.1) ช่วงหมอชิต-อ่อนนุช
  (1.2) ช่วงสนามกีฬาแห่งชาติ- สะพานตากสิน
  (1.3) ช่วงสะพานตากสิน-วงเวียนใหญ่
  (1.4) ช่วงอ่อนนุช-แบริ่ง
  (1.5) ช่วงวงเวียนใหญ่-บางหว้า
(2) รถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล ช่วงบางซื่อ – หัวลำโพง
(3) รถไฟฟ้ามหานคร สายฉลองรัชธรรม ช่วงบางใหญ่-เตาปูน
(4) ระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (Airport Rail Link)

และอยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างอีก 4 โครงการ ซึ่งหากก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดให้บริการเดินรถไฟฟ้าได้ตามที่กำหนดไว้แล้ว จะเป็นโครงข่ายการขนส่งมวลชนทางรางที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนของกรุงเทพมหานคร [1]

โดยที่รถไฟฟ้านั้นต้องการความเข้มงวดในการซ่อมบำรุงอย่างมากเพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้โดยสารโดยตรง ดังนั้นต้องรักษาสภาพและมาตรฐานความปลอดภัยให้สูงที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดความเสี่ยงและสภาพการณ์ที่อันตรายต่อผู้โดยสาร หากละเลยการซ่อมบำรุงนั่นหมายความว่าทำให้ผู้โดยสารมีความเสี่ยงไปด้วยนั่นเอง อีกหนึ่งเหตุผลคือความตรงต่อเวลาโดยรวมของระบบ คือเมื่อรถไฟฟ้าบกพร่องจะขัดขวางระบบรางและตารางการเดินรถในวันนั้นๆจะไม่สามารถจัดการให้ตรงต่อเวลาได้ ความน่าเชื่อถือจึงเป็นหลักสำคัญในการดำเนินงานที่ประสบความสำเร็จ [2] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องจัดตั้งศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้าขึ้น

ศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้าเป็นสถานที่สำหรับซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าและการควบคุมการเดินรถ (Train Control) ให้สามารถเดินรถบริการแก่ผู้โดยสารอย่างปลอดภัย โดยเฉพาะการซ่อมบำรุงตัวรถไฟฟ้าที่มีระบบกลไกและไฟฟ้าอันซับซ้อนที่ต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมและการจัดการที่ดีในการบริหารจัดการและทำการซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพใช้งานอยู่ตลอดเวลา หากมีการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงอย่างดี จะช่วยลดเวลาในการซ่อมบำรุงได้ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายแต่ละส่วนลื่นไหล ไม่ขัดขวางการทำงานซึ่งกันและกันและไม่มีส่วนใดว่างจากการทำงาน เมื่อเสร็จกิจกรรมที่ขบวนหนึ่งแล้ว สามารถโยกย้ายเพื่อเริ่มงานกับขบวนต่อไปได้เลย ซึ่งจะทำให้สามารถบำรุงรักษารถไฟฟ้าได้มากขึ้น รถไฟฟ้าที่พร้อมนำไปให้บริการก็มากขึ้น ส่งผลทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการสำรองรถไฟฟ้าเพื่อนำมาบริการ เพราะโดยปกติจะต้องสำรองขบวนรถไฟฟ้าเพื่อบริการเผื่อในกรณีรถไฟฟ้าบกพร่องหรือบำรุงรักษาไม่ทันเวลา และเมื่อซ่อมบำรุงได้จำนวนมากขึ้นก็ช่วยลดโอกาสในการนำรถไฟฟ้าที่ถูกละเลยการซ่อมบำรุงไปให้บริการได้ ทำให้โครงการรถไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือในเรื่องความตรงต่อเวลา และความปลอดภัย

ปัจจุบันในกรุงเทพมหานครมีศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 4 โครงการ ซึ่งศูนย์ซ่อมบำรุงแต่ละที่นั้นออกแบบการจัดวางและองค์ประกอบไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการให้บริการ ระบบรถไฟฟ้าและแผนการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าที่ต่างกัน ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงสนใจที่จะศึกษาและทำความเข้าใจถึงลักษณะการออกแบบทางด้านวิศวกรรมและรูปแบบเฉพาะตัวของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าในแต่ละที่ว่ามีความแตกต่างหรือมีข้อดีข้อเสียอย่างไร เพื่อจัดทำเป็นแหล่งข้อมูลที่ให้ความรู้และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจหรือใช้สำหรับอ้างอิงในการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงในโครงการอนาคตต่อไปได้

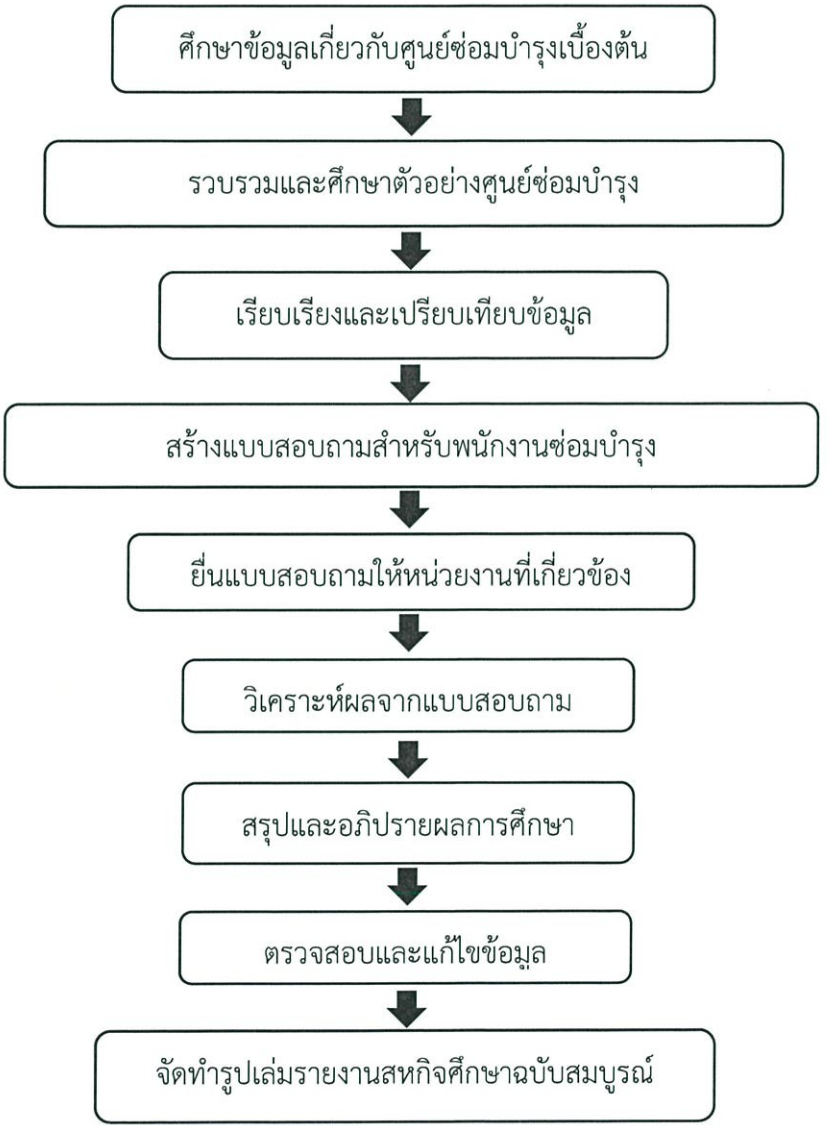
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาองค์ประกอบและความสำคัญของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า
(2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า
(3) เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงทางวิชาการรองรับข้อกำหนดของโครงการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาส่วนสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ได้ทราบถึงองค์ประกอบและความสำคัญของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

(2) ได้ทราบถึงหลักการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

(3) ผลงานวิจัยสามารถเป็นองค์ความรู้หรือรูปแบบวิธีวิจัยได้ในระยะต่อไป

1.6 ระยะเวลาการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนดำเนินการ	ระยะเวลา															
	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับศูนย์ซ่อมบำรุงเบื้องต้น																
2. รวบรวมกรณีตัวอย่างของศูนย์ซ่อมบำรุง																
3. ศึกษากรณีตัวอย่างของศูนย์ซ่อมบำรุง																
4. เรียบเรียงและเปรียบเทียบข้อมูล																
5. ยื่นเอกสารขอความอนุเคราะห์ไปยังหน่วยงาน																
6. สร้างแบบสอบถามสำหรับพนักงานซ่อมบำรุง																
7. ยื่นแบบสอบถามให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง																
8. วิเคราะห์ผลจากแบบสอบถาม																
9. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา																
10. จัดทำรูปเล่มรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์																

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 รถไฟฟ้า (Electrical Rolling Stock)

รถไฟฟ้า หมายถึง รถไฟหรือขบวนรถไฟที่สามารถเคลื่อนที่โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Prime Mover) เหมือนเครื่องจักรไอน้ำหรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งอยู่บนตัวรถเหมือนรถไฟธรรมดา รถไฟฟ้าใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้าซึ่งอาจอยู่ห่างไกลและอาจใช้พลังงานรูปแบบอื่นๆในการผลิตเช่น ใช้พลังงานน้ำ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวล เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สามารถใช้แหล่งพลังงานต้นกำเนิดอย่างอื่นที่ไม่ใช่พลังงานฟอสซิลมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้ามีอยู่สองระบบคือ ระบบกระแสตรง (Direct Current : DC) และระบบกระแสสลับ (Alternating Current : AC) ส่วนระบบการป้อนไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้ามีสองระบบคือ ระบบการใช้รางที่สาม ซึ่งเรียกว่า Third rail system และระบบการใช้สายส่งเหนือรางซึ่งเรียกว่า overhead wire system ระบบรางที่สามมีข้อดีในด้านมลพิษทางสายตา (Visual Impact) เพราะไม่มีโครงสร้างของระบบป้องกันกระแสไฟฟ้ารุงรังอยู่เหนือรางรถไฟ แต่มีข้อจำกัดด้านการใช้งานและด้านความปลอดภัยระบบนี้จึงมักนิยมใช้กับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินหรือระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมืองที่ไม่มีคนหรือสัตว์เดินข้ามผ่านทางรถไฟ สำหรับสายส่งเหนือรางมักใช้กับการเดินรถไฟฟ้าทางไกลขบวนรถไฟวิ่งเร็วซึ่งต้องการติดตั้งระบบเดินรถไฟฟ้าที่ใช้แรงดันสูง ไม่สามารถใช้ระบบรางที่สามได้

2.1.2 ส่วนประกอบของรถไฟ (Rolling Stock Components) [3]

ภายในรถไฟฟ้าประกอบด้วยระบบต่างๆหลายส่วน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของขบวนรถไฟ การบำรุงรักษาจะถูกกระทำเพื่อให้ระบบเหล่านี้สามารถทำงานได้ตามปกติ และหลีกเลี่ยงความผิดพลาดหรือเสียหายขณะกำลังใช้งาน อีกทั้ง หากเกิดเหตุการณ์ความเสียหายจะต้องสามารถซ่อมแซมหรือแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ส่วนประกอบของรถไฟฟ้า มีดังนี้

(1) โครงหลัก (Main Frame) คือโครงสร้างหลักของตู้รถไฟ (car train) เปรียบเทียบได้กับโครงสร้างเฟรม (chassis frame) ของรถบรรทุกแต่ของรถไฟเป็น platform เต็มตามขนาดของตู้รถไฟ (car train) ส่วนโครงสร้างหลัก (main frame) นี้เป็นโครงสร้างหลักที่ใช้ยึดโบกี้ (bogie) และตัวถังตู้โดยสาร (car body) เข้าด้วยกันเป็นขบวนรถไฟ ส่วนใหญ่แล้ว main frame จะสร้างจากเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูง ที่ด้านหน้าของหัวรถไฟจะมีกันชน (front bumper) ขนาดใหญ่เพื่อรองรับแรงกระแทกจากการชน

(2) ตู้รถไฟ (Car Body) คือตัวโครงสร้างหลักของตู้รถไฟ (car train) ซึ่งมักสร้างจากเหล็กกล้าทนแรงดึงสูง (high tensile steel) เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรืออลูมิเนียม โดยอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาที่สุดและไม่เป็นสนิม จึงเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน อย่างเช่นในโครงการรถไฟฟ้าในโครงการแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ (SARL) เป็นต้น ตู้โดยสาร (car body) นี้จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันผู้โดยสารจากอุบัติเหตุจากการชนหรือพลิกตกราง ลักษณะโดยรวมจะเป็นโครงสร้างโลหะทรงกล่องและมีเปลือก (shell) โลหะหรือวัสดุคอมโพสิตปิดอยู่ภายนอก และมีกระจกและประตูประกอบอยู่ด้วย ในการออกแบบตู้โดยสาร (car body) จะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้นและลักษณะการเสียรูปขณะเกิดการชนโดยใช้วิธีทางไฟไนท์อิเลเมนต์ (finite element method) และต้องทำการทดสอบจริงด้วย ส่วนหัวด้านหน้าของรถไฟจะมีการออกแบบให้เหมาะสมกับหลักการอากาศพลศาสตร์ เพื่อลดแรงต้านอากาศและเพิ่มเสถียรภาพในการเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่แล้วบริษัทผู้ผลิตรถไฟฟ้าจะเป็นผู้ผลิตตู้โดยสารด้วย ส่วนประกอบของตู้รถไฟ (car body) มีดังนี้

(2.1) หลังคา (Roof)

(2.2) ผนังด้านข้าง (Sidewall)

(2.3) แผ่นพื้น (Floor panel)

(2.4) แผ่นปิดหัวท้าย (Front and rear end panel)

(3) อุปกรณ์ภายในตู้รถไฟ (car interior) คือส่วนตกแต่งภายในของตู้รถไฟ (car train) ซึ่งมักจะทำจากวัสดุที่เป็นพลาสติก หรือไฟเบอร์ที่ไม่ลามไฟและไม่เกิดควันพิษ มีส่วนประกอบดังนี้ คือ

(3.1) ส่วนหุ้มผนังห้องโดยสาร (interior cladding) และฉนวน (insulator)

(3.2) เพดานห้องโดยสาร (ceiling passenger area)

(3.3) ระบบส่องสว่างภายใน

(3.4) ราวจับและชั้นวางของ ซึ่งมักทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มือจับมักทำจากพลาสติกหรือยาง

(3.5) ที่นั่งผู้โดยสาร อาจทำจากพลาสติกฉีดขึ้นรูปหรือเบาะที่มีผ้าหุ้ม

(3.6) พื้นของตู้โดยสาร มักเป็นพื้นกันการลื่นไถล (nonslip floor)

(3.7) กระจกนิรภัย (sidewall window)

(3.8) ป้ายบอกข้อมูลการเดินทางแก่ผู้โดยสาร เช่น บอกสถานีและเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

(3.9) อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องมือสำหรับทุบกระจกให้แตกเวลาเกิดอุบัติเหตุ อุปกรณ์ดับเพลิง

(3.10) เครื่องหมายและสัญลักษณ์ต่างๆ (labelling)

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนภายนอกของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ [3]

(4) อุปกรณ์ภายนอกตู้รถไฟ (car exterior) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คืออุปกรณ์ภายนอกของรถประกอบด้วย เช่น

(4.1) ระบบส่องสว่าง (lighting)

(4.2) กระจกหน้าและด้านข้างรถ

(4.3) ที่ปัดน้ำฝนและระบบล้างกระจกหน้า

(4.4) ป้ายบอกข้อมูลต่างๆที่ด้านหน้ารถ

(4.5) ส่วนเชื่อมต่อรถไฟแต่ละขบวน (intercar gangway)

(4.6) ขั้นบันได (footsteps)

(4.7) เครื่องหมายและสัญลักษณ์ต่างๆ (labeling and painting)

(4.8) แตรหน้ารถ

(4.9) ชิ้นส่วนสำหรับปรับปรุงและลดแรงต้านอากาศ

(4.10) ระบบท่อ และสายไฟรวมทั้งอุปกรณ์ (accessories) อื่น ๆ

รูปที่ 2.2 แสดงส่วนคนขับของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ [3]

(5) ห้องควบคุมรถ (operator's cab) เป็นส่วนของห้องควบคุมรถ ดังตัวอย่างในรูป 2.2 มีส่วนประกอบ เช่น

(5.1) เก้าอี้พนักงานขับรถ (driver's seat)

(5.2) กระจกหน้าและม่านบังแดด (windshield complete)

(5.3) ฉนวน (insulator)

(5.4) ผนังหุ้มภายใน (cab interior cladding)

(5.5) ผนังกั้นระหว่างห้องควบคุมและห้องโดยสาร (partition wall)

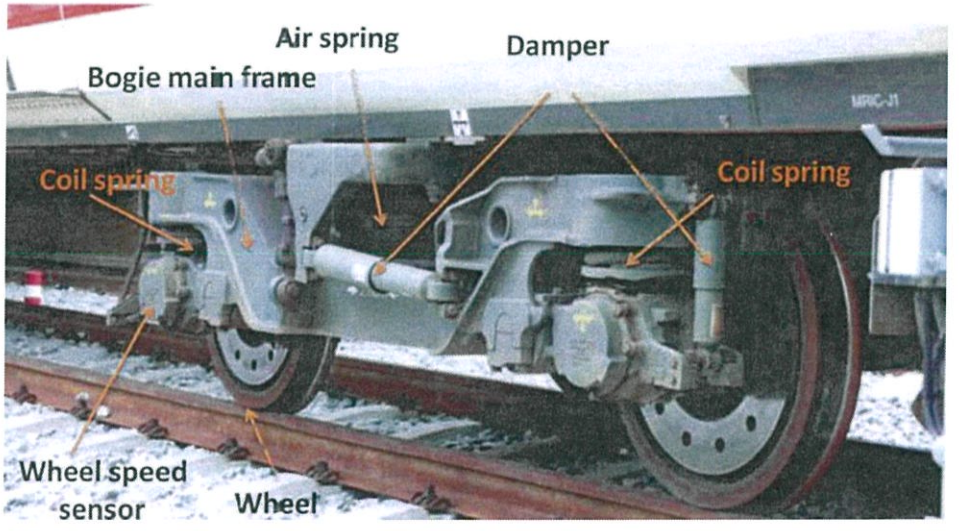
(5.6) ส่วนเพดานของห้องควบคุม (ceiling cab)

(5.7) แผงควบคุมรถ (driver's desk)

(5.8) อุปกรณ์สื่อสาร

(5.9) อุปกรณ์ควบคุม

(6) โบกี้ (bogie) เป็นส่วนสำคัญที่รองรับตู้รถไฟไว้และมีส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนและเบรกและระบบกันสะเทือนอยู่ โดยในหนึ่งตู้ (car train) จะมี 2 แคร่หรือมีการใช้โบกี้ร่วมกันระหว่างตู้โดยสาร ในกรณีตู้แบบใช้โบกี้ร่วมกันระหว่างตู้โดยสาร (articulated car train) ในกรณีของรถไฟแบบรถดีเซลราง (DMU, diesel multiple unit) และรถไฟฟ้าราง (EMU, electric multiple unit) ในหนึ่งโบกี้ประกอบไปด้วย 2 ถึง 4 ล้อ ตู้รถไฟบ้างตู้จะมีระบบขับเคลื่อนติดตั้งอยู่ เรียกว่า มอเตอร์โบกี้ (motor bogie) แต่บ้างตู้ไม่มี เรียกว่า โบกี้แบบไม่มีมอเตอร์ขับเคลื่อน (trailer bogie) ตัวอย่างดังรูป 2.3 และ 2.4 ในชุดของโบกี้นั้นประกอบไปด้วย



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของแคร่แบบมีระบบขับเคลื่อน ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ [3]

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของแคร่แบบไม่มีระบบขับเคลื่อน ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรลล์ ลิงก์ [3]

(6.1) โครงสร้างโบกี้ (bogie frame) วัสดุที่ใช้สร้างโบกี้ (bogie) นี้ทำมาจากเหล็กแผ่นขึ้นรูปนำมาประกอบโดยวิธีเชื่อมและต้องทนทานต่อการกัดกร่อน

(6.2) ระบบขับเคลื่อน (traction system/drive unit) คือระบบที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย

(6.2.1) มอเตอร์ขับเคลื่อนกระแสสลับ หรือ กระแสตรง (traction motor)

(6.2.2) เครื่องแปลงไฟ (convertor, inverter system)

(6.2.3) ระบบหล่อเย็น หรือระบายความร้อน มอเตอร์

(6.2.4) ตัวควบคุมมอเตอร์ (motor controller unit)

(6.2.5) อุปกรณ์อื่นๆ (accessories) ในระบบควบคุมมอเตอร์

(6.2.6) เกียร์ทด (transmission gear box) และข้อต่อส่งกำลัง (transmission coupling)

(6.2.7) ก้านตอบสนอง (reaction rod) มีหน้าที่ถ่ายทอดแรงและความเร่งจากมอเตอร์ขับเคลื่อนและชุดเกียร์ไปยังโครงสร้างของโบกี้ เพื่อรองรับการสั่นสะเทือนและแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

(6.3) ล้อและเพลา (wheels and axles) ประกอบไปด้วย

(6.3.1) ล้อ (wheel) และเพลา (axle) อาจเป็นเหล็กหล่อชิ้นเดียวหรือหลายชิ้นเชื่อมเข้าด้วยกัน เรียกว่า ชุดล้อ (wheelset)

(6.3.2) ลูกปืนเพลาล้อ (axle bearing) และกล่องลูกปืน (bearing box)

(6.4) ส่วนเชื่อมต่อโบกี้ (bogie connection) คือส่วนที่เชื่อมต่อโบกี้เข้ากับโครงสร้างหลักของตู้โดยสาร ประกอบไปด้วย

(6.4.1) แท่งแกนหมุน (pivot pin)

(6.4.2) จุดเชื่อมต่อของโบกี้กับตู้ (bogie connection)

(6.4.3) การเชื่อมต่อแบบกลไก (mechanical connection)

(6.5) ระบบห้ามล้อ (brake system) รายละเอียดแสดงในส่วนที่ (7)

(6.6) ระบบกันสั่นสะเทือน (suspension system)

(6.6.1) ระบบกันสะเทือนปฐมภูมิ (primary suspension) ติดตั้งระหว่างโครงสร้างโบกี้และล้อ เพื่อรับภาระที่เกิดจากล้อและราง มีหลายชนิด เช่น แบบคอยล์สปริง และ สปริงยาง (cone rubber spring)

(6.6.2) ระบบกันสะเทือนทุติยภูมิ (secondary suspension) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ระหว่างตู้ผู้โดยสารและโบกี้ เพื่อใช้ควบคุมความสบายของผู้โดยสาร ปรับระดับความสูงรถไฟ ฯลฯ เป็นต้น ส่วนใหญ่ใช้ชนิดแอร์สปริง (air spring) หรือถุงลมเป็นส่วนรับภาระรองของระบบกันสะเทือน (suspension) โดยประกอบไปด้วย ระบบควบคุมแรงดันลม และอุปกรณ์จ่ายลม ซึ่งใช้ร่วมกับระบบอื่นๆ

(6.6.3) แดมเปอร์ (damper or shock absorber) เป็นส่วนที่ใช้เพื่อหน่วงการสั่นสะเทือนของตัวรถไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความนิ่มนวลมากขึ้น มีทั้งแดมเปอร์ในแนวดิ่งและด้านข้าง (vertivcal and lateral damper)

(6.6.4) วาล์วปรับความสูง (leveling value) เป็นวาล์วที่ใช้ปรับความสูงของรถไฟให้เท่ากับระดับความสูงของชานชาลาโดยการปรับลมใน secondary suspension ให้เหมาะสม เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้โดยสารเปลี่ยนไป ภาระที่ต้องรองรับจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อการยุบตัวและความสูงของรถไฟฟ้า และอีกสาเหตุคือเมื่อมีการใช้งานรถไฟฟ้าไป จะมีการกลึงล้อตามระยะทางการใช้งาน ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อลดลงเรื่อยๆ ส่งผลต่อความสูงของโบกี้ที่รองรับด้วยล้อนั้น

(6.6.5) เหล็กกันโคลง (stabilizer anti-roll bar) เหล็กกันโคลง จะติดตั้งในแต่ละโบกี้ ทำหน้าที่ลดการโอนเอียงของตัวรถไฟฟ้าในขณะเข้าเลี้ยวเข้าโค้ง หรือ ในกรณีที่ปะทะกับแรงลมที่มีความเร็วสูง โดยชุดของเหล็กกันโคลง ประกอบไปด้วย bar arrangement และ two guide bars ติดตั้งภายใต้โคลงรถ

(6.7) อุปกรณ์ (accessories) อื่นๆที่ติดตั้งบริเวณโบกี้ ประกอบไปด้วย

(6.7.1) บังโคลน (mud guard)

(6.7.2) เซ็นเซอร์ของระบบอาณัติสัญญาณ (signaling) เช่น เสาอากาศของระบบป้องกันรถอัตโนมัติ (ATP antenna) และ เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบล้อ เป็นต้น

(6.7.3) ระบบเพิ่มแรงเสียดทานให้กับรางที่ลื่น (sanders)

(6.7.4) ระบบหล่อลื่นบังใบล้อ (flange)

(6.7.5) ระบบท่อและสายไฟต่างๆ

(6.7.6) เครื่องหมายและสัญลักษณ์

(7) ระบบห้ามล้อ (braking system) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ห้ามล้อของขบวนรถไฟ ระบบห้ามล้อจะถูกติดตั้งในโบกี้ (bogie) และบางส่วนอยู่ด้านล่างของตู้โดยสาร (car body) เช่น หม้อลม (air reservoir tank) ที่ใช้ในระบบเบรกแบบกลไก (mechanic brake) ตัวต้านทานที่ใช้รับกระแสที่มากเกินไปที่เกิดขึ้นจากระบบห้ามล้อด้วยมอเตอร์ (resistor) ระบบห้ามล้อมีสองระบบ

(7.1) ห้ามล้อโดยใช้การหน่วงของมอเตอร์ (dynamic brake) เป็นระบบเบรกที่ใช้มอเตอร์เบรก คือใช้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้เกิดโหลด ที่สามารถหน่วงความเร็วของรถไฟได้ และจะจ่ายไฟฟ้าไปที่ตัวต้านทาน (resistor) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและระบายความร้อนออกสู่อากาศภายนอก หากกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ได้มีผลส่งกลับเข้าไปในระบบจะเรียกว่าเป็นเบรกระบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative brake)

(7.2) ห้ามล้อโดยใช้ระบบทางกลและแรงเสียดทาน (mechanical brake/friction brake) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.5 เป็นระบบเบรกที่ใช้กลไกทางกลและแรงเสียดทานกลในการเบรก คือ ใช้เบรกแบบจาน (disc brake) เพื่อช่วยห้ามล้อโดยใช้การหน่วงของมอเตอร์ (dynamic brake) หยุดรถในบางกรณีเช่น เมื่อความหน่วงไม่พอ ต้องการจอด หรือกรณีฉุกเฉิน ระบบเบรกนี้รวมไปถึงระบบเบรกขณะรถหยุดอยู่กับที่ (parking brake) ด้วย ในระบบเบรกนี้มีส่วนประกอบย่อย คือ

(7.2.1) กระบอกสูบเบรก (brake cylinder, brake caliper)

(7.2.2) จานเบรก (brake disc)

(7.2.3) โครงสร้างกลไกการกดเบรก

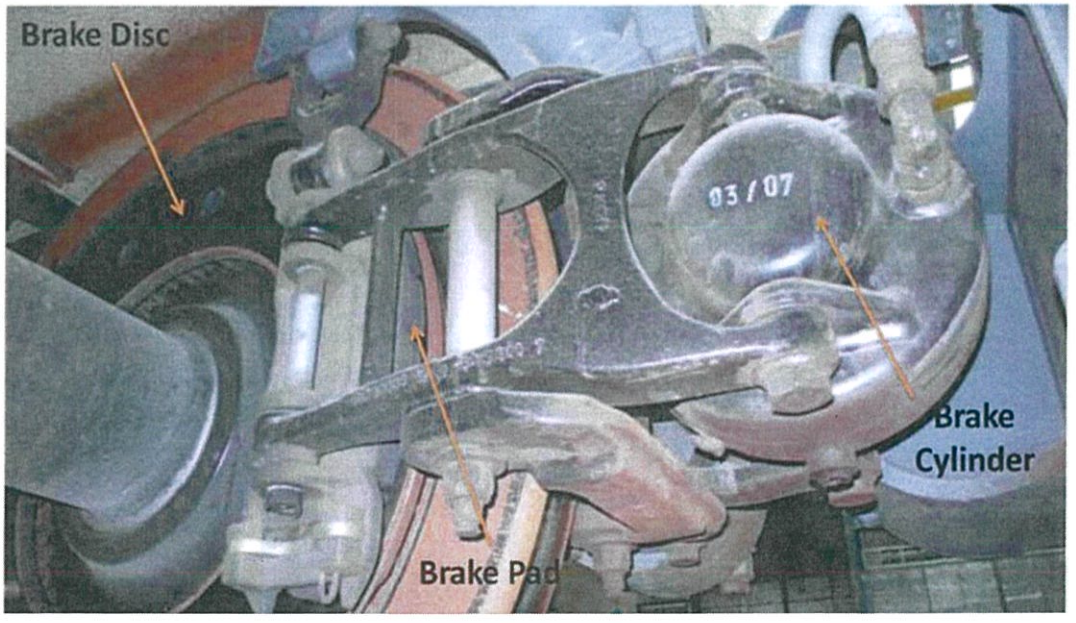
(7.2.4) สาย/ท่อ ของระบบเบรก

(7.2.5) ระบบลมสำหรับเบรก

(7.2.6) ระบบควบคุมการเบรก (brake control unit)

(7.2.7) ระบบเพิ่มแรงเสียดทานให้กับรางที่ลื่น (sanders) โดยการฉีดทรายลงไปบนพื้นผิวของราง

(7.2.8) ถังเก็บลมสำหรับระบบห้ามล้อ (BSR, brake supply reservoir)



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างห้ามล้อโดยใช้ระบบทางกล (แรงเสียดทาน) [3]

(8) ระบบขับเคลื่อน (traction system) ในรถไฟจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (induction motor) ในแต่ละมอเตอร์ที่ติดตั้งที่เพลาของแคร่จะเรียกชุดนี้ว่าชุดขับเคลื่อน (drive unit) จะประกอบไปด้วย

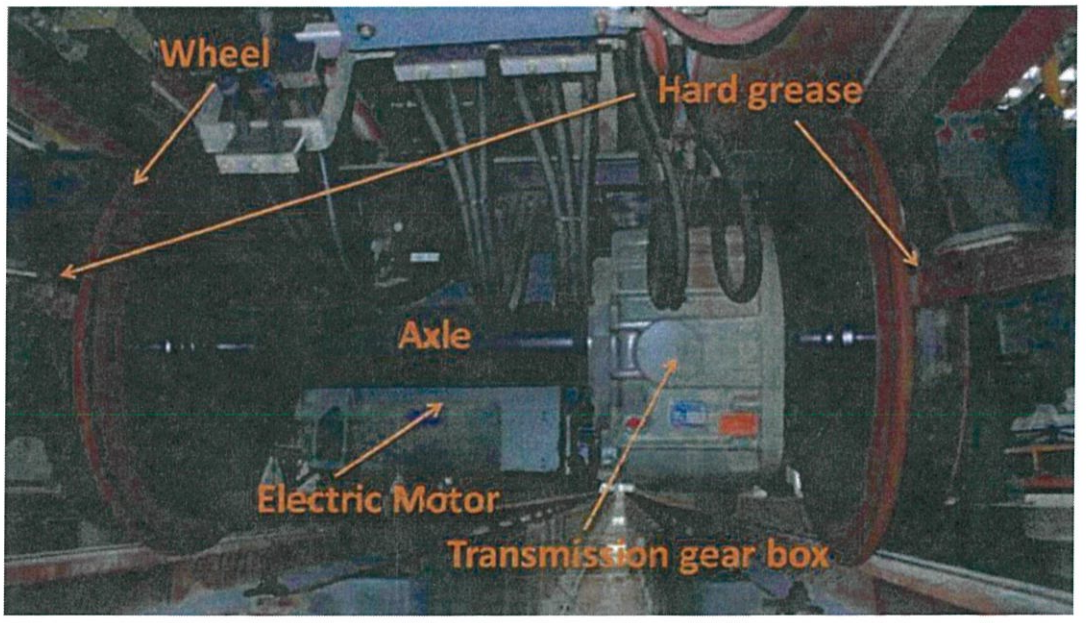
(8.1) มอเตอร์ขับเคลื่อน (traction motor) จะติดตั้งอยู่ที่โครงแคร่ (bogie)

(8.2) ข้อต่อแบบยืดหยุ่นได้ (flexible coupling) จะส่งทอดแรงบิด (traction torque) จากมอเตอร์ขับเคลื่อน (traction motor) ไปยังชุดเกียร์ทดที่เพลาขับ (axle gear unit)

(8.3) เกียร์ทด (gear unit/transmission)

(8.4) เซ็นเซอร์วัดความเร็ว (speed sensor/tachometer)

หน้าที่ของระบบขับเคลื่อน จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยที่ปลายเพลาจะติดตั้งเฟืองขับส่งกำลังผ่านเกียร์ที่ติดตั้งอยู่บนเพลาล้อ ทำให้ล้อหมุนเคลื่อนที่ไปได้ โดยการทำงานของมอเตอร์นั้นจะรับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสมาใช้การ ในช่วงของการเบรก มอเตอร์จะเปลี่ยนหน้าที่เปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (generator) แทน โดยการหมุนขับของล้อ (พลังงานจลน์) รถไฟฟ้า จะเป็นการหมุนปั่นให้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเหล่านี้ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา และส่งไปผ่านตัวต้านทานในวงจรเบรกชอปเปอร์ (brake chopper) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วระบายทิ้งออกไปโดยใช้พัดลมเป็นตัวช่วย ตัวอย่างระบบขับเคลื่อนแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงก์ [3]

(9) เครื่องพ่วง (coupler) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเชื่อมตู้ (car train) แต่ละคันเข้าด้วยกันเป็นขบวนรถไฟ มีทั้งแบบอัตโนมัติ (automatic) และแบบกึ่งถาวร (semi-permanent/manual) รูปตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.7

(9.1) เครื่องพ่วงอัตโนมัติ (automatic coupler) ตัวรถไฟฟ้าชนิดมีมอเตอร์ขับเคลื่อนติดตั้งอยู่ (A-car) จะติดตั้งเครื่องพ่วงอัตโนมัติ โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ เครื่องพ่วงอัตโนมัติทางกลและ

ทางไฟฟ้า ท่อลม และระบบเกียร์ล็อค (draw gear system) การปลดขอพ่วงนั้น สามารถควบคุมได้จากโต๊ะของพนักงานขับรถ หรือ ลงมาปลดขอพ่วงด้วยพนักงานเองก็ได้

(9.2) เครื่องพ่วงแบบกึ่งถาวร (semi-permanent (manual) coupler) การออกแบบก้านพ่วง (drawbar) นั้นจะต้องคำนึงถึง ความปลอดภัยและการเชื่อมต่ออย่างอิสระของเครื่องพ่วงต้องทำให้ง่ายต่อการปลดเครื่องพ่วงออกจากกัน ลักษณะการติดตั้ง ก้านพ่วง (drawbar) จะติดตั้งบริเวณขอพ่วงเพื่อป้องกันไม่ให้ขอพ่วงเกิดการผิดรูปร่างไป

(9.2.1) เครื่องพ่วงแบบกึ่งถาวร (semi-permanent coupler) ในการทำงานจะใช้หลักการดูดซับพลังงานจากแรงกระแทก แรงดึงและดันของขอพ่วง

(9.2.2) อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อไฟฟ้าระหว่างตู้แต่ละตู้ (jumper cables)

(9.2.3) การต่อขอพ่วงและการปลดขอพ่วงจะใช้รูปแบบ manual

(10) ระบบประตู (door system) คือระบบประตูสำหรับผู้โดยสาร ประตูสำหรับคนขับ ประตูระหว่างตู้ (car train) และประตูฉุกเฉินในรถไฟฟ้า อาจเป็นชนิดกักอากาศ (air-tight) หรือแบบธรรมดา โดยทั่วไประบบประตูมีส่วนประกอบดังนี้

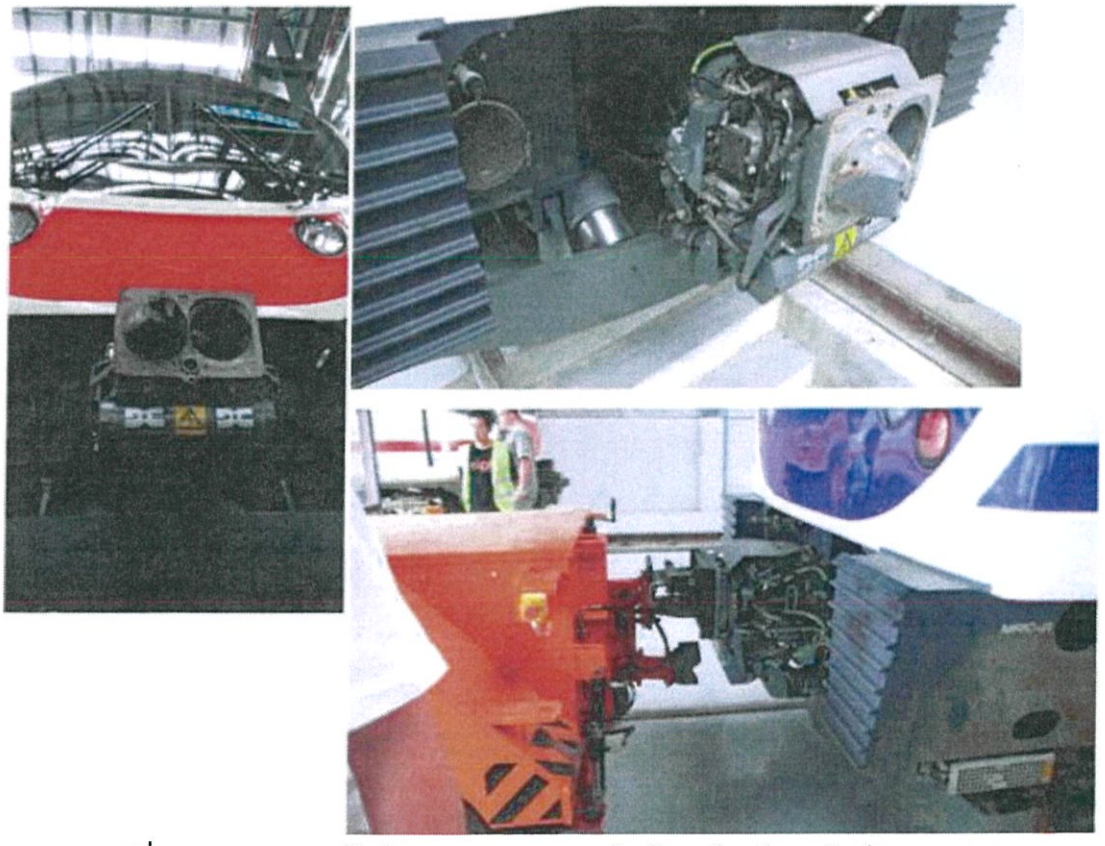
(10.1) โครงสร้างประตู

(10.2) ระบบขับเคลื่อนประตู (door drive)

(10.3) ระบบล็อคประตู (lock mechanism)

(10.4) ระบบควบคุมการเปิดปิด (open/close control)

(10.5) ปุ่มเปิดปิดประตู (push button)



รูปที่ 2.7 แสดงระบบข้อต่อ (coupler) ของรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงก์ (SARL) [3]

(11) ระบบส่องสว่าง (lighting) คือระบบส่องสว่างของรถ ได้แก่

(11.1) ระบบส่องสว่างภายนอก (exterior lighting)

(11.2) ระบบส่องสว่างภายในห้องโดยสาร (interior lighting)

(11.3) ระบบส่องสว่างภายในห้องคนขับ (operator's cab lighting)

(11.4) ระบบไฟสัญญาณและไฟบอกสถานการทำงานบกพร่อง (failure indication light)

(11.5) วงจรและระบบสายไฟ (electric circuit and wiring)

(11.6) ไฟฉุกเฉิน (emergency lighting)

(12) ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (air condition and ventilation system) ระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศติดตั้งบนตัวรถแต่ละคันโดยกำหนดให้ทำงานอัตโนมัติทั้งในห้องพนักงานขับรถและห้องผู้โดยสาร โดยในรถไฟฟ้าแต่ละคันจะติดตั้งระบบปรับอากาศไว้บนหลังคาจำนวน 2 เครื่องที่เหมือนกัน ในชุดของระบบปรับอากาศ จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ (temperature sensor) ในการควบคุมอุณหภูมิ ระบบปรับอากาศภายในห้องโดยสาร ประกอบด้วยส่วนประกอบเช่น

(12.1) เครื่องอัดอากาศ (compressor)

(12.2) เครื่องควบแน่นและเครื่องทำระเหย (condenser and evaporator)

(12.3) พัดลมระบายอากาศ (ventilation fan)

(12.4) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (air condition inverter)

(12.5) ระบบควบคุม (air condition controller)

(12.6) เครื่องฟอกอากาศ (air purifier)

(13) ระบบผลิตและจ่ายลม (pneumatic system or air supply system) เครื่องอัดอากาศ (compressor) จะติดตั้งอยู่ที่รถคันที่ไม่มีมอเตอร์ขับเคลื่อน (C-car) โดยการทำงานของเครื่องอัดอากาศสามารถอัดอากาศได้มากที่สุด 10 bar นอกจากนั้นที่ตัวของเครื่องอัดอากาศยังมีการป้องกันการอัดอากาศมากเกินด้วยการติดตั้ง เซฟตี้วาล์ว (safety valve) มอเตอร์ที่ขับเครื่องอัดอากาศนั้นจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 400v จากระบบแปลงกระแสไฟฟ้าสนับสนุน (auxiliary inverter) มาเป็นไฟเลี้ยงให้ทำงาน การควบคุมมอเตอร์ที่ขับเครื่องอัดอากาศนั้นจะควบคุมจาก เซ็นเซอร์สวิทช์ความดัน (pressure switch sensing) ที่ติดตั้งอยู่ที่ท่อลมหลัก การทำงานของเครื่องอัดอากาศจะตัดการทำงานเมื่อลมเข้าถังจนถึง 8.5 bar ภายในท่อลมจะตัด (switch off) เมื่อความดันภายในท่อลมประธานมีความดันถึง 10 bar

เมื่ออากาศซึ่งถูกอัดออกมาจากเครื่องอัดอากาศ (compressor) ผ่านระบบทำให้อากาศแห้ง (twin tower air dryer unit) ทำให้อากาศถูกดักจับความชื้นเอาไว้ทำให้ได้อากาศแห้งออกมา อากาศที่แห้งนี้จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 35% จึงทำให้ไม่เกิดการกัดกร่อนภายในระบบลม (ในกรณีที่ใช้ท่อโลหะแต่ปัจจุบัน นิยมใช้ท่อที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรือโลหะผสม ทำให้ลดปัญหาเรื่องการกีดกร่อนลงได้มาก) และป้องกันการปนเปื้อนของน้ำเข้าไปรบกวนระบบวาล์วต่างๆ ซึ่งอาจทำให้ระบบห้ามล้อทำงานผิดพลาดได้ ส่วนประกอบของระบบนี้ เช่น

(13.1) เครื่องอัดอากาศ (air compressor)

(13.2) ถังเก็บลม (air reservoir)

(13.3) ระบบทำให้อากาศแห้ง (air dryer unit)

(13.4) เซฟตี้วาล์ว (check valve and safety valve)

(13.5) ระบบท่อและสายไฟ

(14) ระบบไฟฟ้า (electrification and power supply system) ส่วนนี้ใช้ในการรับไฟฟ้าจากภายนอกแล้วแปลงความต่างศักย์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนและในบางกรณีแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสตรงโดยใช้ตัวเรียงกระแส (rectifier) (ในกรณีใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง–dc motor) แล้วจึงจ่ายให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนซึ่งติดตั้งอยู่ในแคร่(bogie) ระบบไฟฟ้า(electrification and power supply) มีส่วนประกอบดังนี้

(14.1) สาลี่ (Pantograph) (OCS, overhead contact system) หรือระบบรางที่สาม (third rail system) เป็นระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับรถไฟโดยรับกระแสไฟฟ้าจากสายหรือรางส่ง โดยสาลี่ (pantograph) จะรับจากสายส่งด้านบน (OCS) เหมาะกับรถไฟที่วิ่งในระยะทางยาวๆ และออกนอกเมือง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบเปิด ซึ่งจะไม่ปลอดภัยหากใช้ระบบรางที่สาม ส่วนระบบรางที่สามนั้นจะรับไฟฟ้าจากรางจ่ายไฟฟ้าด้านข้างของรถไฟ เหมาะกับวิ่งในเมือง เช่น รถไฟใต้ดินที่เป็นระบบปิด

(14.2) ระบบลมสำหรับสาลี่ (Pantograph pneumatic system) เป็นระบบที่ใช้ลมดันสาลี่ (Pantograph) ให้สัมผัสกับสายส่งไฟฟ้าอยู่เสมอ ในระบบนี้จะประกอบด้วย

(14.2.1) ถังลม (pneumatic tank)

(14.2.2) ท่อจ่ายลม (pneumatic piping)

(14.2.3) คอมเพรสเซอร์ (compressor)

(14.2.4) เซฟตี้วาล์ว (check valve, safety valve)

(15) ระบบสื่อสารและติดตาม (communication and monitoring system) คือส่วนที่ใช้สื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมกับพนักงานขับและตรวจสอบการทำงานของรถไฟฟ้าและพนักงานขับรถไฟ ส่วนประกอบของระบบนี้ เช่น

(15.1) ระบบวิทยุสื่อสาร (train radio)

(15.2) ระบบกระจายเสียง (public address)

(15.3) ระบบส่งข้อมูล (data transmission system)

(16) ระบบควบคุมและอาณัติสัญญาณ (train control and signaling system) คือระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้ควบคุมการเดินรถ รวมทั้งระบบที่ควบคุมการเดินรถแบบอัตโนมัติด้วย มีส่วนประกอบของระบบนี้ติดตั้งอยู่ทั้งในและนอกรถไฟ เช่น บนราง หรือด้านข้างราง รวมทั้งที่ศูนย์ควบคุมกลางและสถานีรถไฟด้วย เช่น

(16.1) ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ (ATC, automatic train control)

(16.2) ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ (ATO, automatic train operation)

(16.3) ระบบป้องกันรถอัตโนมัติ (ATP, automatic train protection)

(16.4) ระบบสกาดา (SCADA, supervisory control and data acquisition)

2.1.3 ระบบขนส่งทางรางสำหรับขนส่งผู้โดยสาร [4]

ระบบขนส่งทางรางสำหรับขนส่งผู้โดยสารนั้นมีอยู่หลายประเภท แต่ละประเภทออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับการให้บริการแก่กลุ่มผู้โดยสารที่มีลักษณะและวัตถุประสงค์ในการเดินทางที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความหนาแน่นของจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการ จุดหมายปลายทางและระยะทาง ช่วงเวลาในการเดินทาง และความเร่งรีบในการเดินทาง เป็นต้น ประเด็นต่างๆเหล่านี้สะท้อนถึงข้อกำหนดคุณลักษณะของระบบขนส่งผู้โดยสารทางราง เช่น ความจุผู้โดยสารในขบวนรถขบวนหนึ่ง ความเร็วสูงสุดและความเร็วเฉลี่ยของขบวนรถ ระยะห่างระหว่างขบวนรถหรือความถี่ของขบวนรถ จำนวนสถานีที่ให้บริการ ระยะห่างระหว่างสถานี ลักษณะของทาง ผังของโครงข่ายเส้นทาง รวมถึงแผนการเดินรถ เป็นต้น หากจะจำแนกประเภทของระบบขนส่งทางรางตามลักษณะการให้บริการแก่ผู้โดยสาร อาจจำแนกได้ดังนี้

(1) ระบบขนส่งทางรางประเภทขนส่งมวลชนในเมือง (Urban Rail) เป็นระบบขนส่งทางรางที่ออกแบบมาเพื่อให้บริการขนส่งผู้โดยสารในพื้นที่เมืองและอาณาบริเวณโดยรอบเมืองหรือชานเมือง เมืองที่มีขนาดใหญ่และเป็นศูนย์กลางของธุรกิจการค้า จะมีจำนวนผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางอย่างหนาแน่น ทั้งที่เดินทางอยู่ภายในตัวเมือง และเดินทางเข้าและออกระหว่างตัวเมืองและชานเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงชั่วโมงเร่งรีบ (Rush hours) ในตอนเช้าที่ประชาชนต่างเร่งรีบเดิน ทางเข้าเมืองเพื่อเข้าทำงานในสถานที่ต่างๆในเมือง และในตอนเลิกงานที่ประชาชนต่างมีความต้องการในการเดินทางกลับที่พักอาศัย เพื่อให้การให้บริการขนส่งมวลชนในเมืองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในเมืองหนึ่งๆจะมีระบบขนส่งมวลชนที่ประกอบด้วยระบบขนส่งมวลชนหลัก และระบบขนส่งมวลชนย่อยเพื่อให้บริการเสริมกับระบบหลัก ดังจะอธิบายต่อไปนี้

(1.1) ระบบขนส่งมวลชนทางรางหลัก (Mass Rapid Transit) หรือที่มักเรียกกันว่า เมโทร (Metro) เป็นระบบขนส่งผู้โดยสารทางรางหลักของเมือง ที่สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ในจำนวนมาก (Heavy rail) มีเส้นทางเชื่อมโยงย่านสำคัญๆ เช่น ศูนย์กลางธุรกิจการค้า และศูนย์ราชการต่างๆที่มีประชาชนเดินทางไปมาติดต่อเนืองแน่น โดยมากทางจะสร้างในลักษณะยกระดับ หรือเป็นทางใต้ดิน ระยะทางระหว่างสถานีไม่เกิน 1,000 เมตร (อยู่ภายในระยะทางที่ผู้โดยสารสามารถเดินเท้าไปยังสถานี ได้กล่าวคือราว 400 – 500 เมตร) รัศมีการให้บริการของระบบนี้มักจะห่างจากใจกลางเมืองออกไปไม่ เกิน 20 สถานี หรือเป็นระยะทางไม่เกิน 30 กิโลเมตร หรือใช้ระยะเวลาเดินทางไม่เกิน 30 – 40 นาที ความเร็วสูงสุดของขบวนรถราว 80 – 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 30 – 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาระหว่างขบวนรถ (Headway) ราว 1 ½ นาที - 5 นาที ซึ่งสามารถขนส่ง ผู้โดยสารได้มากกว่า 50,000 – 60,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง (Passenger per hour per direction; pphpd)

(1.2) ระบบขนส่งมวลชนย่อยเสริมกับระบบหลัก ออกแบบเพื่อให้บริการผู้โดยสารที่อยู่ห่างจากสถานีของระบบหลักเกินกว่าระยะทางที่สามารถเดินเท้าได้ ผู้โดยสารต้องอาศัยระบบขนส่งเสริมเพื่อเดินทางไปยังสถานีของระบบหลักที่ใกล้ที่สุด ระบบขนส่งเสริมนี้หรือที่มักเรียกกันว่า ฟีดเดอร์(Feeders) อาจเป็นรถเมล์ หรือรถแท็กซี่ หรือใช้ระบบขนส่งทางราง เช่น รถรางที่วิ่งบนผิว การจราจรร่วมกับรถยนต์ (Tramways หรือ Streetcars หรือ trolleys) เป็นระบบขนส่งทางรางขนาดเบา (Light rail) ขนส่งผู้โดยสารจากจุดต่างๆที่อยู่นอกเส้นทางของระบบหลักเพื่อนำผู้โดยสาร มาสู่ระบบหลักหรือในทางกลับกัน

คือกระจายผู้โดยสารจากระบบหลักสู่จุดหมายที่อยู่นอกเส้นทางหลัก ระบบเสริมนี้สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ราว 6,000 – 12,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ความเร็วเฉลี่ยขบวนรถ (หรืออาจเป็นรถคันเดียว) ราว 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือหากวิ่งบนทางเฉพาะ (Separated track) ไม่ปะปนกับการจราจรบนผิวถนน (มักเรียกว่า Light rail transit หรือ LRT) จะสามารถทำความเร็วได้ดีและสามารถขนส่งผู้โดยสารได้ราว 15,000 – 30,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ด้วยความเร็วเฉลี่ยขบวนรถ กว่า 25 - 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะห่างระหว่างขบวนรถราว 5 – 10 นาที และระยะทางระหว่างสถานีประมาณ 400 – 600 เมตร โดยมากใช้ระบบไฟฟ้าและมอร์เตอร์ ไฟฟ้าเป็นกำลังขับเคลื่อนขบวนรถ รถไฟรางเดี่ยวหรือที่เรียกว่า โมโนเรล (Monorail) ก็จัดอยู่ในระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทนี้เช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีระบบขนส่งมวลชนทางรางที่ให้บริการเสริมกับระบบหลักอีกลักษณะหนึ่ง กล่าวคือ ระบบ ขนส่งทางรางที่ขนส่งผู้โดยสารจากชานเมืองเข้าสู่เขตเมือง (Sub-urban rail) หรือที่มักเรียกว่า คอม มิวเตอร์ (Commuter) เพื่อป้อนผู้โดยสารให้กับระบบหลัก โดยเฉพาะในช่วงชั่วโมงเร่งรีบทั้งในตอน เช้าและตอนเย็น ประชาชนจำนวนมากที่อาศัยอยู่ในชุมชนแถบชานเมืองโดยรอบตัวเมืองในรัศมีราว 30 – 60 กิโลเมตร ต้องการเดินทางเข้า/ออกตัวเมือง หากใช้รถยนต์ส่วนตัว หรือรถยนต์สาธารณะที่ใช้ผิวการจราจรบนถนนร่วมกันก็จะทำให้เกิดการจราจรติดขัดหนาแน่นมาก ระบบขนส่งทางรางที่เป็นทางเฉพาะสามารถให้บริการขนส่งผู้โดยสารจากชานเมืองเข้า/ออกตัวเมืองได้โดยสะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ Sub-urban rail อาจสร้างให้เป็นทางที่เชื่อมจากชานเมืองฝากหนึ่งผ่านตัวเมืองข้ามไปยังชานเมืองอีกฝากหนึ่งได้ ซึ่งจะเอื้อประโยชน์และความสะดวกสบายในการเดินทางแก่ผู้โดยสารที่มีความประสงค์ในการเดินทางผ่านเมืองได้อีกด้วย ในเขตนอกเมืองระบบเสริมนี้จะมีสถานีที่ตั้งห่างกันราว 3 – 5 กิโลเมตร และระยะห่างระหว่างขบวนรถราว 10 – 20 นาที แต่เมื่ออยู่ในเขตเมือง ระยะห่างระหว่างสถานีจะสั้นลงเป็นราว 1 กิโลเมตร และระยะห่างระหว่างรถจะถี่ขึ้นเป็นราว 3 – 5 นาที ความเร็วเฉลี่ยของขบวนรถราว 40 – 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถขนส่งผู้โดยสารได้ราว 10,000 – 40,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง

เมื่อตัวเมืองมีการขยายตัวมากขึ้น ชุมชนชานเมืองก็เติบโตขึ้น เป็นชุมชนต่างๆอยู่ชานเมืองรอบๆตัวเมือง ซึ่งต่อมาเกิดความต้องการของประชาชนในชุมชนที่จะเดินทางจากชุมชนชานเมืองหนึ่ง ไปอีกชุมชนหนึ่งโดยไม่ต้องการเดินทางผ่านเข้าตัวเมือง จึงเกิดการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางที่เชื่อมต่อชุมชนต่างๆรอบตัวเมือง ซึ่งเป็นทางเฉพาะ เรียกกันว่า รถไฟภูมิภาค หรือ Regional rail ระบบขนส่งทางรางประเภทนี้จะพบได้ในเมืองที่ใหญ่มาก (Mega cities) เช่น โตเกียว บอมเบย์ ปารีส นิวยอร์ค เป็นต้น ขบวนรถประกอบด้วยรถพ่วงโดยสารที่มีที่นั่ง (ไม่ยืนโดยสาร) ขบวนหนึ่งอาจ ประกอบด้วยรถพ่วงโดยสาร 8 – 10 คัน ความเร็วขบวนรถราว 50 – 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะ ระหว่างขบวนขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อความต้องการของผู้โดยสาร ความสามารถในการขนส่ง ผู้โดยสารจะน้อยกว่าเมโทร แต่อาจสูงถึง 40,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทางสำหรับเมืองใหญ่ การออกแบบพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางในเมืองที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทำไป พร้อมกับการออกแบบผังเมืองเพื่อพัฒนาให้สอดคล้องกัน จึงจะก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากที่ดินใน เมืองอย่างค่าสูงสุด ในขณะเดียวกันก็เอื้อให้กับประชาชนที่ใช้บริการระบบขนส่งมวลชนทางรางรวมถึง การเชื่อมต่อกับบริการขนส่งมวลชนอื่นๆได้โดยสะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาเมืองโดย ผนวกแนวคิดการใช้ระบบขนส่งมวลชนเป็นแกนหลักนี้ เรียกว่า

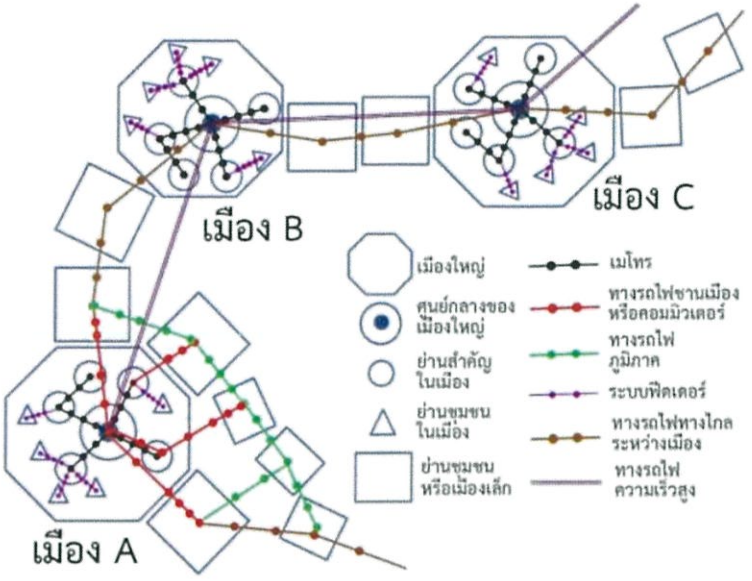
Transit-oriented development (TOD) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในการขนส่งและประหยัดการใช้ทรัพยากรที่ดินของ เมืองในขณะที่เมืองเติบโตขึ้นเป็นอย่างดี

(2) ระบบขนส่งทางรางประเภทขนส่งทางไกลระหว่างเมือง (Inter-city Rail) เป็นระบบขนส่งทางรางระยะไกลที่เชื่อมระหว่างเมือง โดยมากมักต่อเชื่อมเป็นทางเดียวกับ Sub-urban rail การเดินทางระหว่างเมืองที่มีระยะทางไกลนี้ขบวนรถสามารถใช้ความเร็วได้ โดยมากขบวนรถมีความเร็วถึง 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้บริการจอดรับส่งผู้โดยสารตามสถานีที่เป็นแหล่งชุมชนต่างๆ บนเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทาง ขบวนรถไฟธรรมดาจะจอดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานีซึ่งจะใช้เวลา ในการเดินทางตลอดเส้นทางนาน ขบวนรถเร็ว (Rapid train) จะจอดรับส่งผู้โดยสารเฉพาะสถานีที่เป็นชุมชนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ส่วนขบวนรถด่วน (Express train) นั้นจะจอดรับส่งผู้โดยสาร เฉพาะสถานีที่เป็นชุมชนขนาดใหญ่ ทางสำหรับการขนส่งทางไกลระหว่างเมืองประเภทต่างๆดังกล่าว มานี้ รวมถึงขบวนรถสินค้าจะวิ่งด้วยความเร็วเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และใช้ทางร่วมกัน (Shared track) ทั้งหมด โดยต้องมีการจัดหลีกขบวนรถ ณ สถานีรายทางที่กำหนดไว้เพื่อให้ขบวนรถสามารถวิ่ง สวนทางกัน หรือวิ่งขึ้นหน้ากันได้อย่างปลอดภัย และให้การเดินรถเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(3) ระบบขนส่งทางรางความเร็วสูง (High-speed Rail) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า รถไฟความเร็วสูงเป็นระบบขนส่งทางรางระหว่างเมืองใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีระยะทางห่างไกลกัน และมีความต้องการในการเดินทางระหว่างเมืองของผู้โดยสารจำนวนมาก รถไฟความเร็วสูงจะวิ่งด้วยความเร็วสูงกว่า 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนทางเฉพาะที่มีระบบอาณัติสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงออกแบบเป็นพิเศษ มีทั้งขับเคลื่อนโดยใช้กำลังไฟฟ้าแรงสูงและจากเครื่องยนต์ดีเซล ระบบรถไฟความเร็วสูงต้องใช้งบประมาณในการลงทุนก่อสร้างทาง ติดตั้งระบบอาณัติสัญญาณ และจัดซื้อขบวนรถสูงมาก รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเดินรถและซ่อมบำรุงที่สูงเช่นกัน การพัฒนาสร้างระบบ รถไฟความเร็วสูงจึงต้องได้รับการวางแผนที่ดีเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถให้บริการแก่ผู้โดยสารจำนวนมาก พอเพื่อความคุ้มค่ากับการลงทุน

รถไฟความเร็วสูงจะเป็นทางเลือกในการเดินทางที่เติมเต็มระหว่างการเดินทางโดยสาร เครื่องบินที่ใช้เวลาในการเดินทางสั้นแต่มีค่าใช้จ่ายสูง กับการเดินทางโดยรถไฟทางไกลระหว่างเมือง ธรรมดาที่ค่าใช้จ่ายถูกแต่ใช้เวลาในการเดินทางยาวนาน รถไฟความเร็วสูงจะเหมาะสำหรับการ เดินทางในระยะทางระหว่างราว 200 - 800 กิโลเมตร ถ้าเดินทางในระยะทางสั้นกว่า 200 กิโลเมตร การใช้รถไฟธรรมดาจะเหมาะสมกว่า หากเดินทางไกลกว่า 800 กิโลเมตรก็ควรเลือกเดินทางโดยเครื่องบิน ข้อได้เปรียบของการโดยสารทางรถไฟความเร็วสูงอีกประการหนึ่งคือสถานีจะอยู่ใจกลางเมือง ในขณะที่สนามบินมักตั้งอยู่ชานเมืองซึ่งต้องอาศัยบริการขนส่งสาธารณะอื่นอีกทอดหนึ่งเพื่อเดิน ทางเข้าสู่ใจกลางเมือง

เพื่อให้เข้าใจการจำแนกประเภทของระบบขนส่งมวลชนทางรางได้ชัดเจนขึ้น แผนภาพในรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะและขอบเขตการให้บริการระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทต่างๆตามที่ได้ อธิบายไว้ข้างต้น และในรูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของตัวรถหรือขบวนรถโดยสารของแต่ละประเภทที่มี ให้บริการอยู่ในประเทศต่างๆ



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทต่างๆ [4]

รูปที่ 2.9 ระบบขนส่งมวลชนทางรางประเภทต่างๆ [4]

2.1.4 ศูนย์ซ่อมบำรุง

ศูนย์ซ่อมบำรุง คือ สถานที่ที่มีไว้สำหรับทำกิจกรรมบางอย่างต่อพาหนะบนราง ซึ่งกิจกรรมนั้นได้แก่ การทดสอบ, เติมน้ำมัน, เก็บสำรองอะไหล่, ซ่อมแซม, ซ่อมยกเครื่อง, เก็บวัสดุหรือนำวัสดุออกไป กำจัด, จอดพักรถไฟฟ้าและล้อเลื่อน, เป็นทางเชื่อมต่อกับถนน, ซ่อมบำรุงเป็นกิจวัตร และบริการ เช่น ทำความสะอาด, เติมของใช้ในห้องน้ำ และเติมน้ำ เป็นต้น เพื่อทำให้รถไฟฟ้ามีความสะดวกสบาย พร้อมใช้งาน และปลอดภัย ตอบสนองตามความต้องการของผู้โดยสารได้

2.1.5 ความรู้เบื้องต้นการดำเนินงานซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า [5]

(1) การบำรุงรักษา (maintenance) งานซ่อมบำรุงหรือการบำรุงรักษาคือกิจกรรมทุกอย่างที่ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่อการใช้งาน งานซ่อมบำรุงมีความสำคัญและขาดไม่ได้ในทุกองค์กรถึงแม้จะไม่ได้ส่งผลต่อรายได้หรือการสร้างกำไรของบริษัทโดยตรง อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงก็ตาม แต่การซ่อมบำรุงนั้นส่งผลโดยตรงต่อความพร้อมใช้งานและความปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยเฉพาะธุรกิจขนส่ง เช่นการให้บริการเดินรถไฟฟ้าที่จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารจำนวนมากหรือแม้แต่ของบริษัทผู้เดินรถเอง เพราะฉะนั้นการซ่อมบำรุงจึงมีบทบาทหน้าที่สำคัญที่ช่วยให้การให้บริการเดินรถเป็นไปอย่างราบรื่นและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [6]

การบำรุงรักษาหรือซ่อมบำรุงเป็นการซ่อมแซมหรือการบำรุงรักษาชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ชำรุดเสียหายที่ทำให้รถไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานได้ไม่ปลอดภัยในการใช้งานประสิทธิภาพในการใช้งานของรถไฟฟ้าลดลงมีความเสี่ยงที่จะทำให้ไม้สามารถให้บริการรถไฟฟ้าได้หรือเกิดอันตรายใดๆ ขึ้นก็ตาม การซ่อมบำรุงเป็นการทำงานด้านเทคนิคที่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในวิธีการบำรุงรักษาและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเพื่อให้รถไฟฟ้าพร้อมใช้งานตลอดเวลาและมีความปลอดภัยในการให้บริการ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ประหยัด และปลอดภัย การบำรุงรักษามีจุดประสงค์ดังนี้

- เพื่อให้ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้งานได้อย่างเต็มความสามารถ
- เพื่อให้ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์มีสมรรถนะในการทำงานสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน

(1.1) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข เป็นการซ่อมบำรุงที่ไม่สามารถวางแผนหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าได้เนื่องจากไม่สามารถรู้ได้ว่าเมื่อใดจะมีระบบรถไฟฟ้าส่วนใดจะเกิดการเสียหายเกิดขึ้น มักจะเป็นเหตุฉุกเฉิน เป็นการซ่อมบำรุงเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบทันทีที่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น และจะต้องทำให้ระบบรถไฟฟ้าสามรถดำเนินการอย่างเป็นปกติได้อีกครั้งนั่นเอง เนื่องจากเป็นการแก้ไขซ่อมแซมเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นทันทีจากการทำงานของระบบต่างๆ จึงอาจทำให้เกิดความไม่คล่องตัวในการทำงานและทำให้การดำเนินงานหยุดชะงักซึ่งเป็นข้อเสียของการซ่อมบำรุงประเภทนี้ แต่ก็ไม่อาจเลี่ยงได้

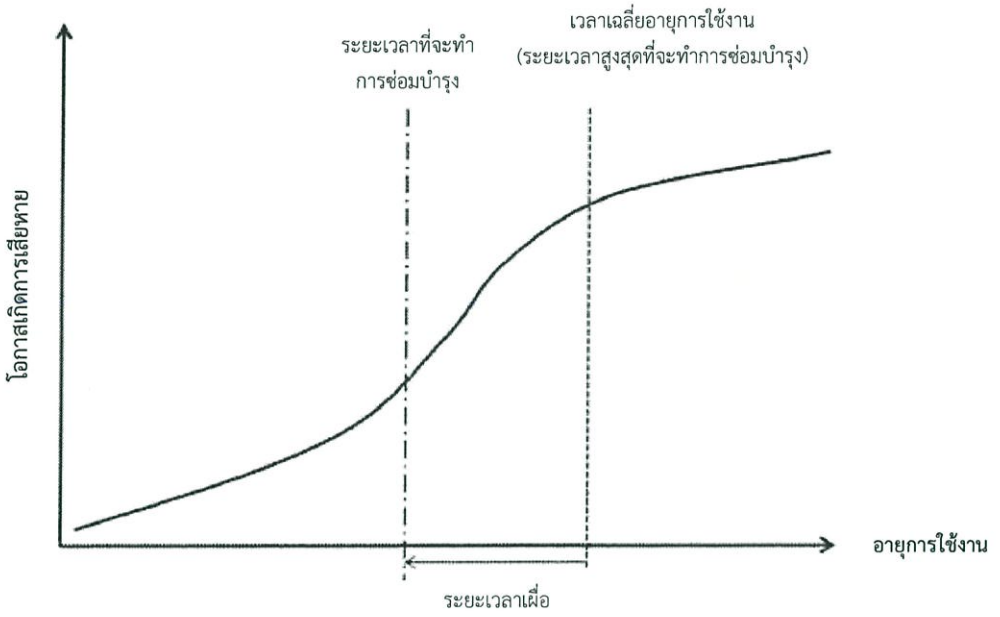
การหยุดชะงักของรถไฟฟ้าแต่ละครั้งส่งผลต่อความสูญเสียอย่างมหาศาลแก่บริษัทเดินรถไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นความพึงพอใจของลูกค้า ค่าเสียหาย ชื่อเสียง ถ้ารุนแรงอาจเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ จึงเกิดการบำรุงรักษาอีกประเภทหนึ่งขึ้นมาเพื่อลดการเกิดการหยุดชะงักการให้บริการคือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

(1.2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือการบำรุงรักษาเพื่อให้รถไฟฟ้าและชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆที่สามารถใช้งานได้อยู่แล้วคงสภาพการใช้งานต่อไป โดยจะทำการตรวจสอบสภาพรถไฟฟ้า ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ทำความสะอาด เติมน้ำมันหล่อลื่นอย่างถูกวิธี การปรับแต่งและ

เปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆตามกำหนดเวลา [7] การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะมีกำหนดการณ์หรือแผนงานที่แน่นอน จะมีการกำหนดระยะวันเวลา สถานที่ และผู้ปฏิบัติงานในการดำเนินงาน การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีจุดประสงค์เพื่อลดการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขหรือซ่อมแซมเมื่อชำรุดเสียหายซึ่งจะใช้ต้นทุนและเวลาในการแก้ไขที่มากกว่า การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

(1.2.1) การซ่อมบำรุงโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด (time based or fixed time maintenance) การซ่อมบำรุงโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด จะดำเนินการซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอเป็นวัฏจักร โดยการตรวจสอบและเปลี่ยนชิ้นส่วน ตามระยะเวลาที่กำหนดในแผนการบำรุงรักษา การบำรุงรักษารายวันเช่น ทำความสะอาด การหล่อลื่น การบำรุงรักษาและการเปลี่ยนชิ้นส่วนตามระยะเวลา เช่น การเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นของชุดเกียร์ ทุกๆ 1 ปี การบำรุงรักษาวิธีนี้ ผู้วางแผนต้องรู้ข้อมูลจำเพาะของชิ้นส่วนต่างๆ อย่าแน่นอน ข้อมูลที่สำคัญคืออายุการทำงานเพราะช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้ดำเนินการซ่อมบำรุงจะเป็นช่วงเวลาที่คาดว่าจะต้องดำเนินการเพื่อป้องกันไม่ใช้ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ชำรุดเสียหายหรือเพื่อเปลี่ยนก่อนที่ชิ้นส่วนหรือสารหล่อลื่นจะชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพ การซ่อมบำรุงลักษณะนี้ใช้ระยะเวลาในการลดความเสี่ยงในการสร้างความเสียหายขณะดำเนินการ การชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนต่างๆขึ้นอยู่กับเวลาหรือที่เรียกว่า ความล้า เช่นการสึกหรอทั้งจากการเสียดสีและกัดกร่อน การบำรุงรักษาแบบนี้จะเหมาสมกับชิ้นส่วน อุปกรณ์ รวมถึงสารหล่อลื่นที่มีลักษณะของการชำรุดเสียหายที่เกิดค่อนข้างแน่นอนหรือพอคอดการณ์ได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใด และไม่มีการเตือนหรืออาการบ่งบอกร่วงหน้าถึงการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้น

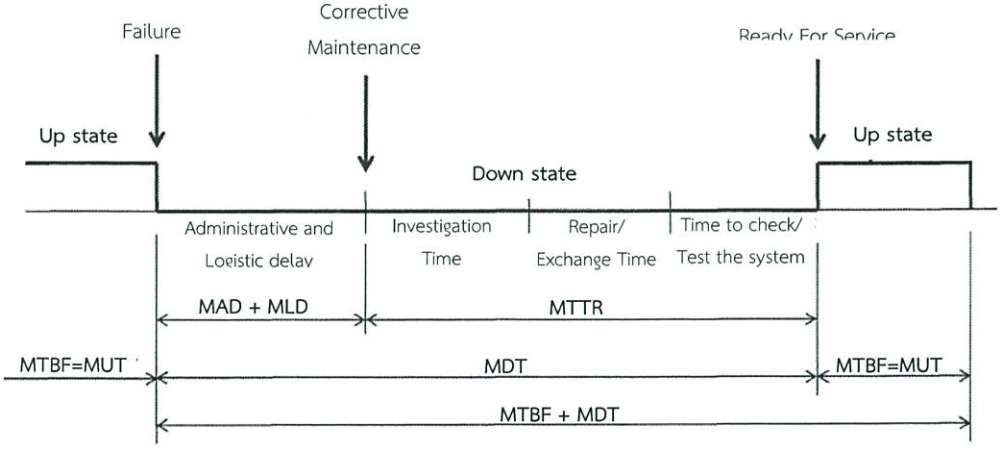
การบำรุงรักษาโดยการใช้เวลาเป็นตัวกำหนดนี้ ต้องใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่เพียงพอในการหาอายุการใช้งานจนเสียหายเฉลี่ยของของชิ้นส่วนต่างๆโดยค่าเฉลี่ยการใช้งานจะเป็นค่าระยะเวลาสูงสุดที่ชิ้นส่วนจะมีโอกาสชำรุด แต่ชิ้นส่วนอาจจะเกิดการชำรุดก่อนหรือหลังเวลานี้ก็ได้ ดั้งนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องเผื่อระยะเวลา (safety period) ในการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้นๆก่อนที่จะชำรุด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ถ้ากำหนดระยะเวลาเผื่อมากเกินไปคือ รอบการซ่อมบำรุงสั้น มีความเสี่ยงสูงโอกาสที่ชิ้นส่วนจะเสียหายมีน้อยและจะสิ้นเปลืองมาก แต่ถ้ากำหนดระยะเวลาเผื่อน้อยเกินไป ถึงแม้จะประหยัดแต่โอกาสที่ชิ้นส่วนจะเกิดการเสียหายก็จะมีมาก ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาเผื่อจะต้องกำหนดอย่างเหมาะสมเพื่อโอกาสในการเสียหายมีน้อยพอรับได้ แต่ค่าใช้จ่ายไม่สูงมากเกินไป



รูปที่ 2.10 โอกาสการเกิดการเสียหายและระยะเวลาเฉลี่ยอายุการใช้งานก่อนการเสียหาย และระยะเวลาเผื่อที่จะทำการซ่อมบำรุง [5]

นอกจากค่าเวลาเฉลี่ยก่อนเกิดการเสียหายแล้ว ค่าที่มีความสำคัญอีกค่าหนึ่งคือ เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสีย (Mean time between failures : MTBF) คือระยะเวลาที่ชิ้นส่วนหรือระบบสามารถใช้งานได้ หรือระยะเวลาระหว่างการเสียที่ชิ้นส่วนหรือระบบไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งการหาค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียของชิ้นส่วนต่างๆจะเป็นการเพิ่มความมั่นใจในชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสัมพันธ์ระหว่าง MTBF และเวลาเฉลี่ยอื่นๆเป็นดังรูปที่ 2.11 โดย

- MTBF (mean time between failures) : เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย
- MUT (mean up time) : เวลาเฉลี่ยที่ระบบสามารถดำเนินงาน
- MDT (mean down time) : เวลาเฉลี่ยที่ระบบไม่สามารถดำเนินงาน
- MAD (mean administrative delay) : เวลาเฉลี่ยที่ระบบบริหารล่าช้า
- MLD (mean logistics delay) : เวลาเฉลี่ยที่ระบบขนส่งล่าช้า
- MTTR (mean time to repair) : เวลาเฉลี่ยในการบำรุงรักษา



รูปที่ 2.11 ระยะเวลาของเวลาเฉลี่ยในช่วงการเกิดการเสียหาย [8]

ในการกำหนดระยะเวลาการเผื่อ ต้องพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่นงานที่มีความสำคัญหรืออันตรายหรือจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนอื่นๆ หรือทำให้ระบบขับเคลื่อนหยุดชะงัก จำเป็นต้องมีระยะเผื่อที่สูง และในทางตรงกันข้าง ถ้าหากเกิดการชำรุดของชิ้นส่วนนั้นๆ มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆน้อย ก็สามารถลดค่าระยะเวลาเผื่อให้สั้นลงได้เช่นกัน

(1.2.2) การซ่อมบำรุงโดยตรวจสอบสภาพ (condition based maintenance) การซ่อมบำรุงโดยตรวจสภาพเป็นวิธีบำรุงรักษาชิ้นส่วนและอุปกรณ์อย่างเหมาะสมตามสภาพ กลยุทธ์การบำรุงรักษาตามสภาพจะใช้พื้นฐานข้อมูลปัจจุบัน และอดีตย้อนหลังเพื่อที่จะกำหนดความสำคัญของการบำรุงรักษาให้ดีที่สุด โดยอาศัยสัญญาณเตือนว่าจะเกิดความเสียหาย เช่น ความร้อน เสียง การสั่นสะเทือน เศษผลโลหะต่างๆ หรือกล่าวได้ว่าเป็นการซ่อมบำรุงที่อาศัยแนวคิดการซ่อมบำรุงเชิงคาดการณ์ โดยคาดคะเนอัตราการเสื่อมสภาพของชิ้นงานและอุปกรณ์ โดยนำข้อมูลที่มีอยู่ มาใช้ในการวิเคราะห์และคาดการณ์ สภาพที่แท้จริง ถ้าหารสามารถตรวจสอบสัญญาณเตือนจากชิ้นส่วนและอุปกรณ์ก็สมารถที่จะกำหนดการบำรุงรักษาที่จะเป็นก่อนที่จะเกิดความเสียหาย ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้

(2) ดัชนีชี้วัด (KPI, key performance index) คือ เครื่องมือที่ใช้วัด ประเมิน และพัฒนากระบวนการและผลลัพธ์ของการดำเนินงานในด้านต่างๆขององค์กร เพื่อสะท้องประสิทธิภาพ ประสิทธิผลในการปฏิบัติงานขององค์กรหรือหน่วยงานภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำเนินงานอันเกี่ยวเนื่องและส่งผลต่อกลยุทธ์ และนโยบายวิสัยทัศน์องค์กร อีกทั้งยังนำไปสู่การคำนวณค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย [9] ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อกระตุ้นให้มีการปฏิบัติงานให้ได้ตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย มักจะเป็นการวัดผลที่เป็นผลมาจากการดำเนินงานเพื่อการสนองต่อกลยุทธ์มากกว่าเพื่อสอนองต่อกิจกรรมงานประจำ โดยมีขั้นตอนในการสร้างดัชนีชี้วัดดังนี้

- กำหนดวัตถุประสงค์ หรือผลลัพธ์ที่องค์การต้องการ
- กำหนดปัจจัยสู่ความสำเร็จเพื่อให้ได้วัตถุประสงค์หรือผลลัพธ์ที่องค์กรต้องการ
- กำหนดตัวดัชนีชี้วัดที่สามารถบ่งชี้ความสำเร็จ ประสิทธิภาพและประสิทธิผลจากการดำเนินงาน
- ตามวัตถุประสงค์หรือผลลัพธ์ที่องค์กรต้องการ
- จัดลำดับและกำหนดความสำคัญของดัชนีชี้วัดแต่ละตัว
- กระจายดัชนีชี้วัดสู่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

การบำรุงรักษาจะเลือกใช้ดัชนีตัวชี้วัดที่ช่วยให้เห็นภาพรวมของสถานการณ์ที่ผ่านมา ตัวชี้วัดจะใช้ในการตรวจสอบการบำรุงรักษา จะมุ่งเน้นไปที่สิ่งสำคัญที่จะทำ รวมถึงการตรวจสอบตัวอย่างดัชนีชี้วัดของงานซ่อมบำรุงมีดังนี้

(2.1) การส่งมอบงานบำรุงรักษา (maintenance delivery)

- สัดส่วนของการสั่งงานที่ทำในครั้งแรกที่กำหนดเวลาไว้
- สัดส่วนของใบสั่งงานที่เป็นไปตามแผนการ
- จำนวนงานที่ค้างส่งตามลำดับความสำคัญในการทำงาน

- จำนวนงานที่ค้างส่งตามคำสั่งการทำงานประเภทต่างๆ เช่น งานซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

(2.2) การดูแลรักษาคุณภาพการทำงาน (maintenance work quality)

- จำนวนงานที่นำกลับมาทำใหม่
- หลักสูตรการฝึกอบรมและคู่มือพนักงาน

(2.3) ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ (equipment reliability) ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยการเสียของอุปกรณ์ในครั้งถัดไป (mean time between failure : MTBF

(2.4) การลดความเสี่ยงในการดำเนินงาน (operation risk reduction)

- เปอร์เซ็นต์การสั่งงานฉุกเฉิน
- จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุงหลังจากทำงานเสร็จ

(2.5) การบำรุงรักษาการใช้อุปกรณ์ (maintenance resource usage)

- การเริ่มต้นของการซ่อมบำรุงตรงตามตารางเวลา
- การซ่อมบำรุงเสร็จภายใน 10% ของระยะเวลาการทำงานตามแผน

(2.6) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (maintenance cost)

- สัดส่วนต้นทุนการบำรุงรักษาต่อต้นทุนทั้งหมด
- อัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษางบประมาณ

(3) ดัชนีชี้วัดการซ่อมบำรุง

(3.1) ความพร้อมใช้งานของรถไฟฟ้า (Train availability) ตัวชี้วัดจะบ่งบอกถึงสมรรถภาพการทำงานซ่อมบำรุง กล่าวคือศูนย์ซ่อมบำรุงจะต้องสามารถส่งรถไฟฟ้าที่มีสภาพพร้อมใช้งานให้แก่ฝ่ายการเดินรถได้ตามจำนวนที่กำหนดไว้ตามกำหนดเวลาที่วางแผนไว้

$$\text{Train Availability} = \frac{\text{จำนวนรถไฟฟ้าที่มีสภาพพร้อมใช้งานตามเวลาที่กำหนด}}{\text{จำนวนรถไฟฟ้าที่วางแผนซ่อมบำรุง}}$$

(3.2) ผลกระทบต่อการให้บริการ (service reliability) ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเกิดเหตุขัดข้องหยุดชะงัก ไม่สามารถให้บริการได้ หน่วยซ่อมบำรุงฯจะต้องรีบลงพื้นที่เพื่อตรวจสอบสาเหตุของความเสียหาย และดำเนินการซ่อมแซมให้ระบบรถไฟฟ้ากลับมาให้บริการได้ตามปกติอย่างรวดเร็วที่สุด บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการใช้งานรถไฟฟ้า โดยตัวชี้วัดนี้จะประเมินตามระยะเวลาที่ระบบรถไฟฟ้าไม่สามารถให้บริการได้

$$\text{Servive Reliabillity} = \frac{\text{เวลาที่รถไฟฟ้าสามารถให้บริการเดินรถได้}}{\text{เวลาให้บริการเดินรถที่วางแผนเอาไว้}}$$

(3.3) การประมาณการณ์จำนวนรถไฟฟ้า เป็นการคำนวณจำนวนรถไฟฟ้าจากความถี่ในการเดินรถสูงสุดซึ่งอยู่ในชั่วโมงเร่งด่วน ระยะทาง และความเร็วรถไฟฟ้าดังสมการ

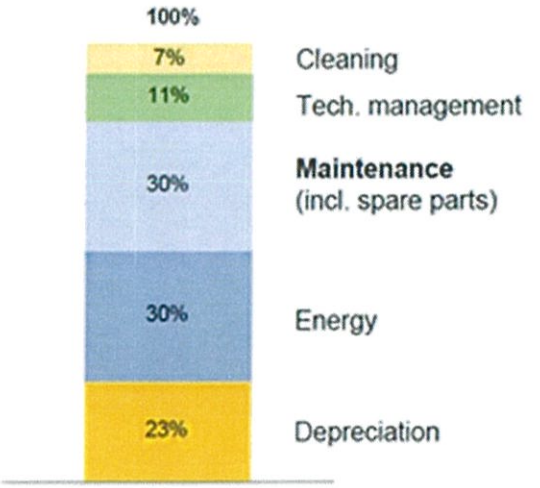
$$\text{จำนวนขบวนรถไฟฟ้า} = \frac{\text{ระยะทาง(กิโลเมตร)} \times \text{จำนวนทิศทางของรถไฟ}}{\text{ความเร็ว(กิโลเมตร/ชั่วโมง)} \times \frac{\text{Headway(นาที)}}{60}}$$

2.1.6 การบำรุงรักษารถไฟ [2]

การขนส่งทางรางประกอบด้วยระบบเครื่องกลและไฟฟ้าที่ซับซ้อน และส่วนที่มีการเคลื่อนที่นับแสนชิ้นส่วน เพื่อให้การบริการทางรางมีความน่าเชื่อถือและปลอดภัย อุปกรณ์จะต้องอยู่ในสภาพการทำงานที่ดี และได้รับการซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ ระบบรางจะดำเนินงานไม่ได้เป็นเวลานานหากละเลยการซ่อมบำรุงจนเสื่อมสภาพ แม้ว่าการซ่อมบำรุงจะแพงมาก แต่จะแพงกว่าหากเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งชุด

ตัวรถไฟฟ้าจะต้องเข้มงวดในการซ่อมบำรุงมากที่สุดในระบบรางและสามารถเสียหายมากที่สุดหากละเลยการซ่อมบำรุง หากรถไฟขัดข้องจะกีดกันการทำงานในระบบรางทันทีและตารางการเดินรถที่เหลือของวันจะไม่สามารถจัดการได้ ความน่าเชื่อถือจึงเป็นหลักสำคัญในการดำเนินงานให้ประสบความสำเร็จ และควรจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงเพื่อให้มั่นใจว่าปลอดภัยและน่าเชื่อถือเมื่อดำเนินการ

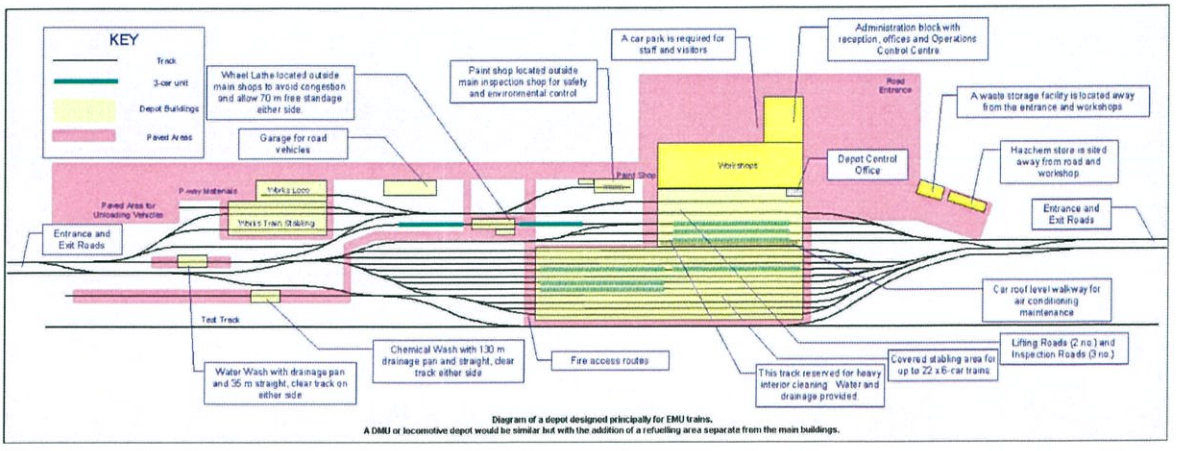
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงมีดังรูป 2.12 แสดงให้เห็นถึงอายุการซ่อมบำรุง 30% ของค่าใช้จ่ายของรถไฟฟ้าความเร็วสูง ซึ่งใกล้เคียงกับรถไฟประเภทอื่น



รูปที่ 2.12 แผนภาพแสดงต้นทุนของการบำรุงรักษาแต่ละส่วนตามอายุการใช้งาน [2]

(1) สถานที่บำรุงรักษา รถไฟต้องการสถานที่เฉพาะสำหรับเก็บและซ่อมบำรุง พื้นฐานในการออกแบบโรงซ่อมเปลี่ยนแปลงไปทีละเล็กน้อยตั้งแต่ประมาณ 100 ปีที่ผ่านมา ในหลายๆที่โรงซ่อมดั้งเดิมยังคงใช้งานอยู่ บางครั้งแผนผังแบบเก่าก็ประยุกต์ให้ใช้กับระบบซ่อมบำรุงสมัยใหม่ได้ยาก

แผนผังของศูนย์ซ่อมบำรุงจะประกอบไปด้วย ลานเก็บรถไฟ โรงทำความสะอาด โรงตรวจสอบและซ่อมบำรุงเบา และโรงซ่อมบำรุงหนัก หากเป็นไปได้ควรจะมีพื้นที่สำหรับหัวรถจักร โดยจะมีการจัดพื้นที่ตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนผังของศูนย์ซ่อมบำรุง(ไม่ระบุเจาะจงว่าเป็นที่ใด) [2]

(2) การเข้าถึงศูนย์ซ่อมบำรุง สิ่งที่จำเป็นของศูนย์ซ่อมบำรุงคือการเข้าถึงที่ดี ทั้งทางถนนและทางราง การเข้าถึงทางรางที่ดีหมายถึงรถไฟสามารถเข้าและออกจากศูนย์ซ่อมบำรุงได้ทันทีเมื่อต้องให้บริการในทางหลัก และไม่ยุ่งเกี่ยวกับภายในศูนย์ซ่อมบำรุง เพราะเป็นการไม่ดีแน่หากผู้ขับรถไฟได้รับคำแนะนำจากศูนย์สั่งการ ให้เคลื่อนรถไฟเข้ามาหยุดขวางทางเข้าศูนย์ซ่อมบำรุง โดยที่ด้านท้ายของรถไฟยังคงคร่อมอยู่ในเส้นทางหลัก ซึ่งอาจทำให้ต้องยกเลิกเส้นทางถึง 2-3 เส้นทางจากตารางได้ ทางเข้าและออกของศูนย์ซ่อมบำรุงเป็นพื้นที่ที่ต้องพร้อมใช้งานตลอดเวลา ต้องออกแบบอย่างรอบคอบหากต้องเปลี่ยนระบบไปมาระหว่างระบบ ATP กับ Manual

การเข้าถึงทางถนนก็สำคัญพอๆกัน สำหรับบางกรณีที่ต้องขนส่งทางถนน เช่น การขนส่งอุปกรณ์ขนาดใหญ่ไปที่ศูนย์ซ่อมบำรุง ซึ่งต้องมีพื้นที่รองรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ทั้งเข้ามาและกลับออกไป รวมถึงการออกแบบโครงสร้างหนักและโรงขนถ่ายสินค้า เช่น เครนหรือรอก ซึ่งจำเป็นอย่างมากในการขนถ่ายสิ่งของจากรถบรรทุกลงบนแคร่เพื่อจัดส่งตามความพร้อมใช้งานของทาง

(3) การทำความสะอาดและจอดพักรถไฟ รถไฟจะถูกนำมาจอดภายในศูนย์ซ่อมบำรุงหากไม่มีความจำเป็นในการใช้งาน โดยการทำความสะอาดจะประกอบไปด้วยการล้างภายนอกของรถไฟด้วยน้ำ การเก็บกวาดภายในตลอดทั้งความยาวรวมทั้งซักเบาะนั่งและพรม ซึ่งการทำความสะอาดภายนอกมักจะทำโดยขับรถไฟเข้าไปในเครื่องล้างอัตโนมัติ ที่จะทำความสะอาดด้านข้างและหลังคา พื้นที่ทำความสะอาดเหมาะที่จะอยู่ในพื้นที่ที่มีการจัดเก็บรถไฟ เนื่องจากต้องเตรียมระบบน้ำ พลังงาน และทำความสะอาดห้องน้ำ และต้องปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานโดยมีทางเดินสูงขนานไปตลอดความยาวรถไฟ หรืออย่างน้อยก็ที่คันแรกของขบวน

รูปที่ 2.14 พื้นที่จอดรถไฟ [2]

พื้นที่จอดรถนั้นจะเป็นการดีหากวางแผนผังให้มีทางออกทั้งต้นทางและปลายทาง เมื่อทางด้านหนึ่งถูกกีดขวางไม่ว่าเหตุผลใดก็ตาม รถไฟยังสามารถออกจากทางด้านอื่นได้ โดยพื้นที่จอดรถมักจะเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่อยู่นอกตัวอาคาร เพราะว่ามีค่าใช้จ่ายในการทำเพิง แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่จอดรถก็สามารถป้องกันสภาพอากาศที่เลวร้ายได้อย่างดี ซึ่งป้องกันทั้งรถไฟและผู้ปฏิบัติงาน และยังลดผลกระทบจากมลพิษ น้ำค้าง หิมะและลม ทั้งยังช่วยในส่วนของการระบายอากาศ

(4) ห้องน้ำ รถไฟสมัยใหม่จะมีห้องน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการเบื้องต้น แม้ว่าโรงระบายของเสียจะไม่ปรากฏอยู่บนแผนผังแต่ก็ต้องมีในทุกๆศูนย์ ซึ่งจะตั้งอยู่ห่างจากอาคารหลัก และเป็นที่ถนนเข้าถึงได้เพื่อกำจัดของเสียออกจากพื้นที่

(5) เครื่องทำความสะอาดรถไฟ โรงทำความสะอาดรถไฟมีหน้าที่การทำงานคล้ายกับการทำความสะอาดรถยนต์ เว้นแต่ว่ารถไฟจะต้องค่อยๆเคลื่อนผ่านจุดที่ล้าง และอุปกรณ์ล้างนั้นตั้งอยู่กับที่ แต่ยังมีเครื่องล้างบางชนิดที่ออกแบบมาโดยให้รถไฟหยุดนิ่งอยู่กับที่แล้วอุปกรณ์ล้างเคลื่อนที่ไปรอบๆรถไฟ โดยปกติจะใช้น้ำในการทำความสะอาด ถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งจึงใช้สารเคมี รถแต่ละขบวนมักมีระยะห่างในการล้างรถประมาณ 3 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณความสกปรก

โดยโรงทำความสะอาดจำเป็นต้องมีหลังคาเพื่อป้องกันสภาพอากาศและทางตรงระยะทางประมาณ 1 ขบวนรถไฟ และจะไม่ล้างรถขณะที่อากาศหนาวจัดเพื่อป้องกันเกล็ดน้ำแข็งเกาะบริเวณประตูและชิ้นส่วนอื่นๆ จะใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเชิงลึกเพื่อช่วยจัดการคราบสกปรกและป้องกันผิวรถจากสภาพอากาศต่างๆ

เครื่องกลึงล้อ โรงซ่อมบำรุงสมัยใหม่หลายที่จะมีเครื่องกลึงล้อ เนื่องจากการถอดล้อแบบยกรถไฟขึ้นนั้นมีราคาแพงและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงใช้เป็นเครื่องกลึงล้อใต้พื้นดังรูปที่ 2.4 โดยที่ล้อก็สามารถถอดออกจากตัวรถได้โดยใช้ “wheel drop” ซึ่งเป็นเครื่องสำหรับเคลื่อนที่ชุดล้อลงไปด้านล่างของพื้น บางครั้งห้องเครื่องมือก็อยู่บริเวณพื้นที่ด้านล่าง แต่ก็ยากที่จะทำให้สภาพอากาศแห้งและยากต่อการเคลื่อนย้าย

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างเครื่องกลึงล้อใต้พื้นในพื้นที่ปฏิบัติการที่ Aylesbury, UK. [2]

เครื่องกลึงล้อสมัยใหม่สามารถกลึงล้อได้เลยโดยไม่ต้องแยกล้อออกจากรถก่อน ซึ่งการกลึงเป็นการคืนรูปล้อที่นิยมมากที่สุด แต่เครื่องเมื่อเร็วๆนี้ เครื่องกัดกลับได้รับความนิยมเนื่องจากเครื่องมือมีอายุการใช้งานและแม่นยำมากกว่า

ล้อรถไฟมีการสึกหรอเช่นเดียวกับยางรถยนต์ และต้องการการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เมื่อการสึกหรอถึงขีดจำกัด ดอกยางก็ควรได้รับการคืนรูปให้มีรูปร่างที่ถูกต้องหรือเปลี่ยนเป็นชิ้นใหม่เลย ซึ่งการคืนรูปล้อใช้เวลานานและราคาแพง แต่การออกแบบและซ่อมบำรุงรถไฟถูกปรับปรุงดีขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา สามารถช่วยให้เวลาในการคืนรูปล้อลดลง แต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องหมั่นตรวจสภาพล้ออยู่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังต้องศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการสัมผัสกันระหว่างล้อและรางเพิ่มมากขึ้น

การปรับแต่งล้อจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขบางประการ เช่น มาตรฐานของชุดล้อประเภทหนึ่งระบุว่าล้อที่อยู่บนแคร่เหมือนกันจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามมาตรฐานหรือผิดพลาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และล้อที่อยู่บนแคร่ต่างกันต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามมาตรฐานหรือผิดพลาดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ขบวนรถสมัยใหม่ส่วนใหญ่ต้องการค่าแตกต่างไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เมื่อล้อที่ใช้วัดความเร็วถูกปรับแต่ง ก็จะต้องปรับแต่งเครื่องวัดความเร็วด้วยเพื่อชดเชยความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เครื่องกลึงล้อบางเครื่องในสมัยใหม่ถูกออกแบบมาให้สามารถส่งกลับชุดล้อได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าเครื่องกลึงแบบ “double-headed” ที่พัฒนาจากการควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ โดยต้องการมอเตอร์ที่มีวงจรส่งกลับในความเร็วเดียวกัน ซึ่งจำเป็นต้องให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อกับกำลังไฟฟ้าในวงจรของมอเตอร์สัมพันธ์กัน

ความกลมของล้อนั้นสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูงมาก ล้อสามารถผิดรูปได้หากรับน้ำหนักมากเกินไป แต่แม้ว่าล้อจะไม่เสียหายก็จะปรับรูปล้อเพื่อกำจัดโลหะที่ใช้งานมาโดยประมาณ 1 ล้านกิโลเมตร มิเช่นนั้นชั้นโลหะมาเทนไซต์จะหลุดออกมานอกดอกยาง ซึ่งเกิดได้จากความร้อนสูงจากการไถลหรือการเบรก

(6) โรงตรวจสภาพรถไฟ (รูปที่ 2.16) เป็นโครงสร้างที่สามารถบรรจุรถไฟเพื่อให้เข้าถึงข้างใต้ของรถไฟได้ ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทำงานและความปลอดภัย ส่วนใหญ่จะใช้หลุม (Pit) จัดให้เป็นช่องระหว่างราง อยู่ในพื้นที่ของการซ่อมบำรุง และหลุมควรจะอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของพื้นที่เพื่อให้เข้าถึงด้านข้างของอุปกรณ์ใต้ท้องรถได้ โดยทั่วไปออกแบบให้เหมือนสระว่ายน้ำ พื้นมีลักษณะจมลงและวางรางบนเสา และเพิ่มระดับความสว่างภายใต้ท้องรถ

รูปที่ 2.16 รถไฟฟ้า Class 700 EMU ในช่องตรวจสอบของซีเมนส์ที่ Three Bridges, UK [2]

(7) แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ภายในโรงตรวจสภาพและโรงปฏิบัติการจำเป็นต้องมีจุดจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟและอุปกรณ์ต่างๆในการซ่อมบำรุง ซึ่งสายส่งพลังงานไฟฟ้านั้นมีแค่บริเวณโรงตรวจสภาพ แต่ไม่มีที่โรงปฏิบัติการ หากจำเป็นต้องตรวจสอบหลังคารถไฟจะต้องตัดกระแสไฟฟ้าและล็อคไว้เพื่อความปลอดภัย ทุกคนที่จะทำงานบนหลังคารถจะต้องมีกุญแจสำหรับล็อคจนกว่าจะทำงานสำเร็จ ซึ่งบันไดที่เชื่อมต่อกับหลังคาจะสามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกตัดแล้วเท่านั้น

รูปที่ 2.17 รถไฟฟ้าได้รับพลังงานจากสายส่งที่ห้อยลงมาจากด้านบน
โดยเสียบเข้าไปในช่องรับไฟฟ้าด้านข้างตัวรถ [2]

เพื่อความปลอดภัยภายในโรงรถจะไม่มีรางที่สาม ดังนั้นจะจ่ายไฟฟ้าผ่านลวดตะกั่ว (รูปที่ 2.17) สำหรับรถไฟที่ใช้ระบบรางที่สาม แหล่งจ่ายจะป้อนไฟฟ้าจากหลังคาโรงรถ ซึ่งสายไฟจะห้อยลงมาตลอดแนวของราง โดยสายไฟตะกั่วจะเสียบไปที่ช่องบริเวณด้านข้างของตัวรถไฟ โดยปกติช่องด้านข้างรถไฟจะมีสวิทช์ไว้กันกระแสจากแหล่งจ่าย เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงานบริเวณใกล้เคียง

โดยจะใช้สายส่งเหนือศีรษะส่งผ่านไฟฟ้าให้รถไฟฟ้าจนกว่าเต้าเสียบจะสัมผัสกับรางไฟฟ้าด้านนอกที่เรียกว่า “railing” จากนั้นรถไฟจะหยุดและพนักงานนำสายส่งเหนือศีรษะออก จากนั้นจะนำรถไปเก็บหรือนำไปบริการ

(8) เครื่องยก สำหรับเข้าถึงแคร่ทำโดยใช้เครนเหนือศีรษะยกตัวรถขึ้นออกจากแคร่ดังรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 เครนเหนือศีรษะ [2]

รถแต่ละขบวนรถที่จะถูกยกขึ้นนั้นก็ต้องไม่มีผู้โดยสารอยู่ก่อน เมื่อมีรถ 1 คันในขบวนบกพร่องจะต้องแยกออกและนำเข้าสู่โรงปฏิบัติการเพื่อยกขึ้น โดยเครนเหนือศีรษะจะใช้ยกด้านหนึ่งของแคร่ขณะที่ล้อหยุดนิ่ง โดยตัวรถอยู่ต่ำกว่าขาตั้ง และด้านอื่นจะถูกยกขึ้นเมื่อล้อหยุดนิ่งและตัวรถอยู่ต่ำกว่าขาตั้ง 2 อัน ซึ่งวิธีที่เร็วที่สุดคือการใช้เครน 2 ตัวเพื่อยกทั้งสองด้านของตัวรถพร้อมกัน ซึ่งตัวรถสามารถเคลื่อนย้ายไปยังทิศทางอื่นๆได้ภายในโรงปฏิบัติการเพื่อซ่อมบำรุง และยังสามารถถอดอุปกรณ์ เช่น มอเตอร์ ล้อ หรืออุปกรณ์อื่นออกจากแคร่ได้ โดยปกติจะใช้เพื่อซ่อมใหญ่ตามวาระ (Overhaul) แคร่จะต้องถอดออกไปไว้ที่พื้นที่เฉพาะสำหรับบำรุงรักษาแคร่

ปัจจุบันใช้แม่แรงในการยก (รูปที่ 2.19) ซึ่งจะยกตัวรถเป็นรายคัน ถ้าเป็นแบบทั้งขบวนติดกันจะใช้กระบวนการยกแบบปกติ เป็นการยกทั้งขบวนโดยเชื่อมโยงแม่แรงเข้าด้วยกันโดยการควบคุมผ่านสายเคเบิ้ล ซึ่งควบคุมโดยคนคนเดียว ข้อดีของระบบนี้คือไม่ต้องแยกขบวนรถ ซึ่งลดเวลาในการซ่อม และช่วงการเดินรถของรถไฟที่ให้บริการ แม่แรงนั้นอาจจะเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ การเชื่อมต่อด้วยเคเบิ้ลเพื่อควบคุมพื้นที่ทั้งหมดในโรงซ่อมควรจะเป็นระบบเดียวกันเพื่อรองรับการยกรถได้พร้อมๆกันหากจำเป็น

รูปที่ 2.19 ยกรถไฟโดยเครื่องยกใต้พื้น [2]

ทำให้สามารถยกรถไฟฟ้าออกจากทางได้แม้ว่าจะไม่มีหลุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการเปลี่ยนอุปกรณ์ใต้ตัวรถ จะสามารถใช้งานได้หากมีพื้นที่ข้างรถมากพอ หรือจะใช้ scissors lift ตัวเล็กๆก็ได้ สิ่งที่จำเป็นคือต้องมั่นใจว่าพื้นจะรับน้ำหนักของรถไฟได้ รถไฟฟ้าสมัยใหม่ถูกออกแบบมาให้ยกออกทั้งแคร่เมื่อต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใต้ท้องรถ โดยไม่รบกวนรถคันอื่นๆ

รูปที่ 2.20 โต๊ะเลื่อนแคร่ที่ศูนย์ซ่อมบำรุง Oxley , Wloverhapmton, UK. [2]

ระบบอื่นๆที่ใช้คือ Bogie Drop (รูปที่ 2.20) โดยรถไฟจะเคลื่อนที่มาอยู่บนทางของโต๊ะยก ซึ่งมีหลุม และตำแหน่งสำหรับถอดแคร่ รถไฟจะเคลื่อนตัวให้แคร่ที่ต้องการถอดออกนั้นหยุดอยู่ตรงหลุมพอดี จากนั้นโต๊ะจะพาแคร่เคลื่อนลงไปด้านล่าง และแคร่ชิ้นใหม่จะถูกสวมกลับเข้าไปแทน

ความหลากหลายของระบบนี้ คือมีทั้งยกขบวนรถขึ้นโดยเครื่องยกใต้พื้น ทั้งตั้งตัวรถไว้บนขาตั้งที่อยู่ด้านล่างแล้วถอดแคร่ออก และอีกหนึ่งวิธีคือเปลี่ยนแคร่ใหม่ด้วยเครื่องเคลื่อนลงใต้พื้น อุปกรณ์เปลี่ยนทางสามารถติดตั้งได้เพื่อเข้าถึงการถอดแคร่ในพื้นที่อื่นๆ

(9) โรงซ่อมบำรุง พบโดยทั่วไปนั้นประกอบไปด้วย เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ครอบคลุมการวางแผน รวมถึงเครื่องกัด เครื่องเจาะ เครื่องกลึง และเครื่องตัด รวมถึงส่วนการทำความสะอาด (ทำความสะอาดทั้งแคร่และโครงสร้างใต้รถที่เรียกว่า “Blow-out”) เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และเครื่องตรวจวัดลมอัด ทั้งยังต้องเป็นสถานที่เก็บที่ดีและมีการจัดการวัสดุ รวมไปถึงการจัดการทั่วไป

ไม่ใช่แค่บำรุงรักษาเฉพาะตัวรถไฟฟ้า แต่รวมไปถึงงานทาง อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า อาณัติสัญญาณ อุปกรณ์ติดต่อสื่อสาร ระบบเก็บค่าโดยสาร การบำรุงรักษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอาคาร ซึ่งศูนย์ซ่อมบำรุงหลักจะต้องมีอุปกรณ์รองรับการทำงานทั้งหมด ต้องมีโครงสร้างเพื่อเทียบท่ารถไฟและพื้นที่ด้านข้างสำหรับผู้ปฏิบัติงาน หากมีหัวจักรดีเซลหรือขบวนรถดีเซลจำเป็นต้องมีจุดเติมเชื้อเพลิง มีความปลอดภัยและระบบป้องกันไฟสำหรับห้องเก็บวัสดุอันตราย มีการจัดการขยะอันตรายที่ดีและขยะบางชนิดควรนำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อหากเป็นไปได้

(10) แผนงานซ่อมบำรุง การซ่อมบำรุงรถไฟสามารถวางแผนงานได้ 3 แบบได้แก่ ระยะทาง ระยะเวลาหรือตามเงื่อนไข โดยการซ่อมบำรุงแบบเงื่อนไขนั้นเพิ่งเริ่มใช้ได้ไม่นาน ปกติการซ่อมบำรุงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการใช้งาน เช่น ระบบเบรกและล้อ เป็นต้น หลังจากนั้นก็ปรับเปลี่ยนไปเป็นขึ้นกับระยะทาง แม้ว่าการจัดเก็บสถิติระยะทางจะยาก แต่รถไฟสมัยใหม่ก็มีระบบเก็บข้อมูลบนตัวรถ ซึ่งพบว่ารถไฟที่ไม่ได้เดินทางไปไหนเลยจะเสื่อมสภาพลงมากกว่ารถไฟที่ได้ใช้งานบ่อยๆ

รูปที่ 2.21 จอแสดงแผนการซ่อมบำรุงแบบติดตามการทำงานตลอด [2]

รถไฟสมัยใหม่ควรจะใช้งานได้เป็นสัปดาห์โดยไม่ต้องเข้ารับการตรวจสภาพ บริษัทจัดการรถไฟแห่งหนึ่งในสหราชอาณาจักรต้องการให้ตรวจสภาพทุก 90 วันสำหรับรถขบวนใหม่ๆ เทียบกับการตรวจสภาพทุก 3 วันสำหรับรถไฟฟ้าที่เริ่มใช้งานเมื่อศตวรรษที่ 20 และตรวจสภาพทุก 7 วันสำหรับรถไฟยุค 1980 แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว นี่คือสิ่งสำคัญที่ใช้กำหนดเวลาหรือระยะทางในการบำรุงรักษารถไฟแต่ละประเภท ส่วนรถไฟความเร็วสูงและรถสินค้าจะเป็นกรณีพิเศษ ระบบรางนั้นปรับเปลี่ยนการซ่อมบำรุงให้เหมาะกับเงื่อนไข สถานที่ และประเภท เพื่อความปลอดภัยตามที่กฎหมายกำหนด เช่น กำหนดให้ Channel Tunnel Shuttle Trains ต้องตรวจสภาพทุกระยะทาง 5000 กิโลเมตร หรือทุกๆ 7 วัน หรือรถ TGV ต้องตรวจสภาพด้วยสายตาทุกวันทั้งใต้ท้องรถและสาลี่ มีการทำความสะอาดห้องน้ำทุก 3 วัน

กำหนดให้รถไฟกลับมาที่ศูนย์ซ่อมบำรุงทุกๆ 5-6 วันหรือระยะทาง 4500 กิโลเมตร มีการทดสอบอุปกรณ์ เช่น มอเตอร์ขับเคลื่อนและแคร่ทุก 18 วัน

การตรวจสอบตามเงื่อนไขทำโดยติดตามการใช้งานของอุปกรณ์ เมื่อปรากฏสัญญาณของความบกพร่อง สามารถดาวน์โหลดข้อมูลจากบนตัวรถมาจัดเก็บไว้ที่โรงซ่อมบำรุงได้ แล้วยังแนะนำข้อมูลเทคโนโลยีบนรถไฟด้วย เช่น สามารถทำนายความเสียหายของอุปกรณ์บางอย่างได้ก่อนเกิดขึ้นจริง

(11) ความบกพร่อง ความน่าเชื่อถือคือกุญแจสำคัญในการเดินรถทางรางให้ประสบความสำเร็จ ถ้าอุปกรณ์บนรถไฟไม่น่าเชื่อถือ ระบบรางก็ไม่สามารถทำงานได้ การจัดการที่ดีจะต้องมั่นใจถึงประสิทธิภาพและความบกพร่องเพื่อรับมือกับปัญหา

แต่เดิมตามรายทางจะมีอุปกรณ์สำหรับวัดความตรงเวลา จำนวนนาทีที่ช้าของแต่ละขบวนจะถูกบันทึกและเก็บไว้เป็นรายวัน สัปดาห์ เดือน และปี โดยปกติจะวัดเวลาล่าช้าเมื่อรถเดินทางถึงสถานีปลายทาง และหาสาเหตุที่ทำให้ล่าช้า ซึ่งรถไฟส่วนมากจะล่าช้าเนื่องมาจากเหตุผลทางเทคนิค อาจเป็นข้อผิดพลาดในการออกแบบที่ต้องมีการดัดแปลงแก้ไขให้เหมาะสม และต้องรู้สาเหตุของการล่าช้านั้น ต้องตรวจสอบหาว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร

(12) การคาดการณ์ล่วงหน้า การซ่อมบำรุงสมัยใหม่ควรทดสอบแนวโน้มความเสี่ยงของความเสียหายของรถไฟได้ โดยใช้การวิเคราะห์ FMECA (Failure mode, effects and criticality analysis) ความบกพร่องส่งผลเสียอย่างมากต่อระบบทั้งความน่าเชื่อถือและทางเศรษฐกิจ ซึ่งต้องวางแผนให้ระดับความเสียหายนั้นลดลงมาเท่าที่จะเป็นไปได้

(13) การวัดประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของความบกพร่องของรถไฟนั้นสามารถวัดได้จาก MTBF (Mean Time Between Failure) หรือ MDBF (Mean Distance Between Failure) ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้วัดจำนวนความบกพร่องต่อปี เดือน หรือสัปดาห์ แต่จะไม่แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของระยะทาง อย่างไรก็ตามรถไฟเสื่อมสภาพได้แม้ว่าจะเก็บไว้โดยไม่ได้ใช้ ซึ่งอัตราการบกพร่องใช้วัดความพร้อมในการบริการได้

อีกหนึ่งประเด็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพคือเวลาที่ไม่ได้ทำการ สำคัญพอๆกับความถี่หรือเวลาบกพร่อง อีกหนึ่งปัจจัยหลักคือ MTTR (Mean Time To Repair) เวลาที่ล่าช้าไปเมื่อซ่อมบำรุง หากเวลา MTTR สั้นจะถือว่าประสิทธิภาพดี

2.1.7 แผนการใช้ประโยชน์พื้นที่และการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง [10]

ความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบและการใช้พื้นที่ หรือความพร้อมใช้ควรจะวางแผนไว้เป็นอันดับต้นๆเพื่อพัฒนาศูนย์ซ่อมบำรุงหรือสร้างขึ้นมาใหม่ ในระยะเริ่มแรก สิ่งที่สำคัญคือความสะดวกในการทำงานตามความต้องการของศูนย์ซ่อมบำรุง ตามมาด้วยการระบุเกณฑ์สำคัญที่มีอิทธิพลในการออกแบบและการเชื่อมต่อกับโครงข่ายราง

(1) การใช้พื้นที่/ยุทธศาสตร์เชิงพื้นที่และการตัดสินใจ (L1) เมื่อจะวางแผนหรือขยายศูนย์ซ่อมบำรุงต้องเข้าใจส่วนต่างๆดังนี้

- สิทธิในการออกแบบสถานที่ ควรจะได้รับการวางแผนขั้นพื้นฐานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า
- แรงกดดันโดยรอบพื้นที่ที่ออกแบบหรือบริเวณใกล้ๆ
- เกณฑ์ที่ใช่หรือไม่ใช่โครงการที่ตั้งใจไว้ก็ตามจะต้องได้รับอนุญาต แม้ว่างานจะไม่ต้องการเนื่องจากได้รับสิทธิในการพัฒนาแล้ว ผู้มีอำนาจท้องถิ่นมองว่าเป็นสิ่งที่ดีหากส่งแผนงานไปให้ผู้วางแผนในท้องถิ่นเพื่อปฏิบัติตามกฎการใช้งานพื้นที่

(2) พิจารณาตำแหน่งศูนย์ซ่อมบำรุงที่มีอยู่ (L2) เมื่อประเมินผลความต้องการเพื่อยกระดับศูนย์ซ่อมบำรุง แล้วต้องเปลี่ยนแปลงเป็นบางกรณี เช่น ต้องการเพิ่มความสบายของพาหนะหรือเพิ่มการซ่อมบำรุงและบริการ

ในอนาคตอาจต้องเปลี่ยนแปลงศูนย์ซ่อมบำรุงที่มีอยู่แล้วซึ่งอาจต้องการขยายออก ควรพิจารณาให้มีการคุ้มกันที่เหมาะสม ทั้งในอุตสาหกรรมระบบรางและจากมุมมองนโยบายการวางแผนแห่งชาติและท้องถิ่น เช่น การกำหนดความต้องการที่มีเหตุผล ซึ่งถ้าต้องการการเคลื่อนย้ายของรถไฟให้สะดวกต่อโครงข่ายรางก็จำเป็นจะต้องสร้างเพิ่ม ต้องระบุขีดความสามารถหากมีการแทรกแซงที่อาจส่งผลต่อเครือข่ายทางรถไฟสายหลัก

(3) พิจารณาตำแหน่งศูนย์ซ่อมบำรุงแห่งใหม่ (L3) ปัจจัยสำคัญคือการขนส่งเชิงพาณิชย์ จะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงกลยุทธ์ของเครือข่าย ซึ่งพิจารณาด้านปฏิบัติการและด้านเทคนิค และเพื่อให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อของโครงข่ายรางพื้นที่นั้นควรอยู่ใกล้กับโครงข่ายรางมากเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านระยะทางและการควบคุมน้อย ขณะเดียวกันก็ใช้เวลาน้อยเมื่อต้องการนำไปใช้ โดยต้องมีขนาดและองค์ประกอบเพียงพอสำหรับทุกความต้องการ

เมื่อกำหนดตำแหน่งของศูนย์ซ่อมบำรุงแห่งใหม่ได้แล้ว อีกหนึ่งสิ่งที่ไม่ควรลืมคือการเข้าถึงเพื่อเชื่อมโยงการขนส่งอย่างกว้างขวาง ทั้งมีพื้นที่จอดรถสำหรับพนักงาน ทั้งมีทางและโครงสร้างสำหรับขนส่งและไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจรท้องถิ่น

(4) ความพร้อมความสามารถของแรงงาน (L4) เมื่อต้องการสร้างหรือพัฒนาศูนย์ซ่อมบำรุง ควรจะพิจารณาถึงตลาดแรงงาน ว่ามีความพร้อม ความรู้ความสามารถเหมาะสมหรือไม่ หากยังก็ควรจะมีการอบรมและฝึกฝนจนชำนาญ

(5) การพัฒนาจากความต้องการของลูกค้า (L5) เพื่อให้เหมาะสมควรพิจารณาทั้งด้านธุรกิจและด้านความต้องการใช้งาน ซึ่งสุดท้ายแล้วผลประโยชน์จะได้แก่ผู้ใช้งาน (ผู้ที่ทำการซ่อมบำรุงและให้บริการภายในศูนย์ซ่อมบำรุง) สิ่งที่ควรพิจารณามีดังต่อไปนี้

- ออกแบบการเชื่อมโยงกับโครงข่ายราง
- ออกแบบแผนผังเพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุง การบริการ การสับเปลี่ยนและการจอดรถตามต้องการ

- ตำแหน่งของสถานที่และเครื่องจักร
- มาตรฐานการออกแบบเชิงเทคนิคสำหรับสถานที่และเครื่องจักร
- ความสะดวกสบายของลูกเรือ
- ความปลอดภัย
- การจัดการของเสียเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดี
- การจัดเก็บต่างๆ
- สถานที่สำหรับพนักงาน

(6) พัฒนาเพื่อผลการฝึกฝนที่ดี (L6) เนื่องจากระบบรางมีมานานกว่า 100 ปี ซึ่งได้รับการพัฒนามาตลอดเวลาทั้งการจัดการควบคุมและการซ่อมบำรุง เพื่อให้มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพง ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2.1.8 ระดับของงานซ่อมบำรุง [11]

(1) งานซ่อมบำรุงระดับศูนย์ (Zero Level) เป็นกิจกรรมซ่อมบำรุงเบื้องต้น เช่น

- การเก็บกวาดขยะหรือทำความสะอาดภายในตัวรถโดยสารขณะจอดพัก การเติมน้ำและถ่ายของเสียจากห้องน้ำ
- การล้างรถด้วยเครื่องล้างรถไฟแบบอัตโนมัติ
- การตรวจบำรุงรักษาในแบบ Pre-Departure Inspection เป็นการตรวจสอบระบบทั่วไปด้วยสายตา ไม่มีการถอดประกอบชิ้นส่วนเพื่อตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบสาลี่, Bogie On-board Electrical Devices, Door Engine และ Electrical Components ต่างๆ

(2) งานซ่อมบำรุงระดับที่หนึ่ง (First Level) เป็นกิจกรรมซ่อมบำรุงอุปกรณ์และระบบโดยตรงในแบบ Fundamental Inspection ครอบคลุมกิจกรรมทดสอบการใช้งาน การปรับแต่ง การหล่อลื่น การตรวจสอบระบบไฟฟ้าแรงสูง ระบบควบคุม ระบบเบรกและรวมถึงการทำ Wheel Lathe และ Reprofile ด้วย โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับจำนวนตู้หรือความยาวของรถ

(3) งานซ่อมบำรุงระดับที่สอง (Second Level) เป็นกิจกรรมซ่อมบำรุงในแบบ Bogie Inspection ที่มีการถอดชิ้นส่วนออกแล้วปรับเปลี่ยนและประกอบกลับ ตั้งแต่ชิ้นส่วนเล็กๆ จนถึงการถอดเปลี่ยน Bogies

(4) งานซ่อมบำรุงระดับที่สาม (Third Level) เป็นกิจกรรมซ่อมบำรุงแบบ Full Inspection, Overhaul และ Accident Repair ที่มีการรื้อถอด แยกชิ้นส่วน เพื่อทำการตรวจสอบ ทดสอบ ปรับแต่งแล้วประกอบกลับหรือเปลี่ยนใหม่เป็นกิจกรรมซ่อมบำรุง ที่มีการถอดชิ้นส่วนออกแล้วปรับเปลี่ยนประกอบกลับ เช่น การถอดเปลี่ยน Bogies การตรวจสอบชิ้นส่วนทุกชิ้นของรถไฟ ดังนั้นจึงต้องมีโรงซ่อมขนาดใหญ่ที่สามารถเอื้อต่อการซ่อมบำรุงในระดับเหล่านี้ได้ เช่น Bogie Shop, Assembly Shop และ Body Shop เป็นต้น

2.1.9 การต่อประสานกับศูนย์ซ่อมบำรุง (Interface) [12]

(1) การต่อประสานกับศูนย์ซ่อมบำรุง (Operation) ตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมต่อกันระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงและโครงข่ายการขนส่งคือ ความจุ, ขีดความสามารถและสมรรถภาพของทั้งสองส่วน ซึ่งในการออกแบบต้องให้สอดคล้องกับแผนการซ่อมบำรุง ในอดีตสิ่งเหล่านี้ไม่ค่อยได้นำมาพิจารณามากนัก แต่ในปัจจุบันต้องคิดเรื่องนี้ก่อนที่จะวางแผนออกแบบ

การต่อประสานนั้นอยู่บนเงื่อนไขว่าต้องส่งรถขึ้นวิ่งบริการได้ตามกำหนดวันต่อวัน ดังนั้นการพร้อมใช้ของตัวรถจะมีผลต่อการเดินรถโดยตรง ทั้งความจุ, ขีดความสามารถและสมรรถภาพ อีกตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพคือ รูปแบบภายในของศูนย์ซ่อมบำรุงเอง ต้องมีการออกแบบแผนการซ่อมบำรุงให้มีความเสี่ยงเกี่ยวกับอุปสรรคน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อการส่งรถขึ้นไปยังเครือข่ายการขนส่งนั่นเอง

รูปแบบของการต่อประสานในสมัยก่อนจะกำหนดเมื่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงเสร็จแล้วปรับปรุงเพิ่มเติมในภายหลัง ซึ่งอาจจะเป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะสมในสภาพความต้องการปัจจุบัน เพราะ

- มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเอกลักษณ์เฉพาะตัวของล้อเลื่อนที่ใช้ในศูนย์ซ่อมบำรุง
- มีการเปลี่ยนแปลงของแผนการเดินรถตลอดเวลา
- มีการเปลี่ยนแปลงระบอบการซ่อมบำรุง
- ความจุและขีดจำกัดที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งที่มีผลต่อโครงข่ายการเดินรถและศูนย์ซ่อมบำรุง

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบนั้นจะอยู่บนเงื่อนไขของความเหมาะสมในการเชื่อมต่อนั่นเอง ตัวอย่างเช่น ปรับเปลี่ยนรูปแบบเดินรถโดยการเพิ่มจำนวนตู้ต่อขบวนให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความยาวขบวนรถเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ต้องปรับปรุงโครงสร้างให้รองรับกับการเข้าออกของขบวนที่ยาวขึ้น ซึ่งแน่นอนว่าไม่เป็นผลดีต่อระบบ

(2) การต่อประสานเชิงเทคนิค (Technical Interfaces) การเชื่อมต่อกันระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงและโครงข่ายเดินรถในทางกายภาพจะกำหนดปริมาณการเคลื่อนที่ของรถเพื่อให้ได้รับความสะดวก ความน่าเชื่อถือและความพร้อมใช้ของการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถแบ่งสถานการณ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ศูนย์ซ่อมบำรุงที่มีอยู่แล้วและต้องการอัพเดตตัวรถใหม่ เช่นเพิ่มรถ หรือรองรับรถแบบอื่นๆ กับศูนย์ซ่อมบำรุงใหม่เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อกับ โครงข่าย

(2.1) การถ่ายโอนข้อมูลล้อเลื่อนที่ศูนย์ซ่อมบำรุง (Rolling stock data transfer at the depot) ในรถสมัยใหม่จะมีระบบบันทึกและวินิจฉัยสถานการณ์เส้นทางและอุปกรณ์ต่างๆของตัวรถไฟฟ้าได้ รวมถึงวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเดินรถต่างๆ ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มหรืออัพเกรดตัวรถใหม่ ควรจะมีระบบที่รองรับการดึงข้อมูลเหล่านี้จากตัวรถด้วย ทั้งศูนย์ซ่อมบำรุงเก่าและใหม่

(2.2) การควบคุมการทำงาน (Operation control) ระบบอาณัติสัญญาณ (signalling) มีความสำคัญมากในการเชื่อมต่อกันระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงกับโครงข่ายราง การจัดการควบคุมอาณัติสัญญาณสำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงกับโครงข่ายรางจะถูกควบคุมโดยระดับและปริมาณของการเคลื่อนที่ และเมื่อมีแผนที่จะสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงใหม่ ดังนั้นการ เชื่อมต่อกันจึงต้องอยู่บนพื้นฐานของ

ความจุและความเข้ากันได้ รวมถึงระบบไฟฟ้าสำหรับตัวรถก็ต้องเชื่อมโยงเช่นกัน เพื่อให้ส่งรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2.3) กระบวนการจัดการห่วงโซ่อุปทานของศูนย์ซ่อมบำรุง (Supply chain management of passenger rolling stock depot process) ในรูปแบบรถสมัยใหม่จะมีเทคโนโลยีที่สามารถสื่อสารระยะไกลก่อนที่จะเข้าศูนย์ซ่อมบำรุงได้ ซึ่งมีประโยชน์มาก เช่น ในกรณีที่รถเสีย เจ้าหน้าที่ที่ศูนย์ซ่อมบำรุงจะสามารถรับรู้ได้ก่อน ทำให้การซ่อมบำรุงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ห่วงโซ่อุปทานการซ่อมบำรุงจะเกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงได้อย่างทันเวลา มีแผนการจัดซื้อวัสดุที่เหมาะสมและพร้อมเบิกใช้ในการซ่อมบำรุงเสมอ เหมาะสมตามข้อกำหนดขององค์ประกอบหลักต่างๆ ดังนั้นการหยุดชะงักของงานต้องเกิดน้อยที่สุด ความพร้อมใช้งานต้องสูงและความเสี่ยงของความผิดพลาดในอุปกรณ์ต้องน้อยที่สุด

(2.4) การประยุกต์ใช้มาตรฐานทางเทคนิค (Application of technical standard)

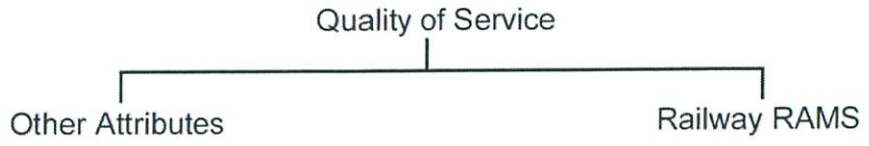
(2.5) ความเข้ากันได้ของพาหนะในอนาคต (Rolling stock technical compatibility of future fleets of vehicles) ในกรณีที่ออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงใหม่ควรคำนึงถึงกรณีที่มีการซื้อรถเพิ่มในอนาคต ดังนั้นต้องคำนึงและออกแบบอาคารโครงสร้างให้รองรับกับการซื้อรถเข้ามาใหม่ด้วย

2.1.10 Railway RAMS and quality of service

Railway RAMS คือ ผู้สนับสนุนหลักในการกำหนดคุณภาพของ service ซึ่งกำหนดโดยผู้บริการการรถไฟฯ

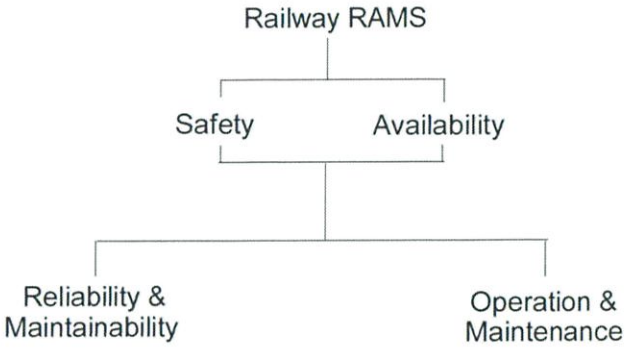
RAMS คือ คุณลักษณะพิเศษของการ Operation ในระยะยาวของระบบ และมีผลจากการประยุกต์คอนเซปต์ วิธีการ อุปกรณ์ เทคนิค ตลอดจนอายุการใช้งานของระบบที่มีการกำหนดมาก่อนแล้ว RAMS ของระบบสามารถที่จะอธิบายลักษณะของตัวบ่งชี้ข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของระบบนั้นๆ หรือระบบย่อยต่างๆได้ และยังสามารถพึ่งพาการทำงานของระบบตามที่มีการระบุได้ รวมถึงต้องมีความน่าเชื่อถือ (Availability) และความปลอดภัย (safety) ด้วย ระบบ RAMS ในบริบทที่เกี่ยวกับ Railway จะประกอบด้วยทั้ง 4 องค์ประกอบคือ R, A, M, S

เป้าหมายของระบบ Railway คือ การบรรลุเป้าหมายในการควบคุมการจราจรทางรางให้ได้ตามเวลาที่กำหนดและปลอดภัย Railway RAMS ได้อธิบายเกี่ยวกับความมั่นใจว่าระบบสามารถการันตีการบรรลุเป้าหมายได้ และ Railway RAMS มีอิทธิพลต่อคุณภาพของการให้บริการเดินรถแด่ผู้บริโภคด้วย คุณภาพของการบริการเดินรถถูกกำหนดโดยคุณลักษณะอื่นๆที่เกี่ยวกับฟังก์ชัน และ ประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น ความถี่บ่อยของการให้บริการ, ความสม่ำเสมอของการให้บริการ, โครงสร้างราคา (Fare) เป็นต้น



รูปที่ 2.22 Quality of service

(1) Element of Railway RAMS ความปลอดภัย (Safety) และ ความพร้อมใช้งาน (Availability) จะมีความเชื่อมโยงเกี่ยวเนื่องกัน ซึ่งจุดอ่อนหรือข้อบกพร่องของทั้งคู่ จะถูกป้องกันและบรรลุเป้าหมายในระบบความน่าเชื่อถือ ความเชื่อมโยงของ Railway RAMS Element จะแสดงตามรูป 2.23



รูปที่ 2.23 ความเชื่อมโยงของ Railway RAMS Element

ความสำเร็จในเป้าหมายการบริการ, ความปลอดภัยและความพร้อมใช้งานสามารถทำโดยรวบรวมความต้องการทั้งหมดของความน่าเชื่อถือและความสามารถในการซ่อมบำรุง และการควบคุมความต่อเนื่อง, ความยาว, ระยะยาว, กิจกรรมทางการซ่อมบำรุง, operation และสภาพแวดล้อม

คอนเซ็ปต์ทางด้านเทคนิค ของความพร้อมใช้งานจะขึ้นอยู่กับความรู้ความเข้าใจต่อไปนี้

(1.1) Reliability ในเทอมของ

- ความผิดพลาดทุกกรณีที่เป็นไปได้ของระบบ ที่เกี่ยวข้องกับ Application เฉพาะ และสภาพแวดล้อมของระบบ
  - ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ของความผิดพลาด, อัตราการเกิดความผิดพลาด
  - ผลกระทบจากความผิดพลาดที่ส่งผลต่อ application ของระบบ

(1.2) Maintainability ในเทอมของ

- ระยะเวลาสำหรับการดำเนินการด้านการวางแผนซ่อมบำรุง
- ระยะเวลาสำหรับตรวจจับ, แยกแยะ, และระบุจุดที่เกิดความเสียหาย
- ระยะเวลาสำหรับซ่อมแบบแก้ไข (Collective Maintenance)

(1.3) Operation and Maintenance ในเทอมของ

- Operation mode ที่เป็นไปได้ทั้งหมดและความต้องการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน

- ปัจจัยเนื่องจากมนุษย์

คอนเซปต์ทางด้าน Technical ของ safety จะขึ้นอยู่กับ

(1.4) อันตรายทั้งหมดที่มีโอกาสที่จะเกิดในระบบ, ภายใต้การ Operation ทั้งหมด, mode ของการซ่อมบำรุง และสภาพแวดล้อม

(1.5) Characteristic ของอันตรายแต่ละแบบ ในเทอมของความรุนแรงของผลที่ตามมา

(1.6) Safety/safety ที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในเทอมของ

- โหมดความล้มเหลวของระบบทั้งหมด ควรจะนำไปสู่ Hazard (safety จะเกี่ยวข้องกับโหมดความล้มเหลว) ซึ่งเป็นสับเซตของโหมดความล้มเหลวใน reliability ทั้งหมด

- ความน่าจะเป็นของการเกิดความปลอดภัย (safety) จะเกี่ยวข้องกับโหมดความล้มเหลวของระบบแต่ละโหมด

- ลำดับหรือความซ้ำซ้อนของเหตุการณ์, ความล้มเหลวต่างๆ, สถานะ operation, สภาพแวดล้อม ซึ่งใน application จะให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของอุบัติเหตุ (นั่นคือ Hazard จะนำไปสู่อุบัติเหตุ)

- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ล้มเหลว, สถานการณ์ operation และสภาพแวดล้อมในรูปของ application

(1.7) Maintainability ของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับ safety ของระบบในเทอมของ

- ความสะดวกในการ maintenance ชิ้นส่วนของระบบหรือ ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับ hazard หรือที่เกี่ยวข้องกับ safety ที่เกี่ยวข้องกับความล้มเหลว

- ความน่าจะเป็นของการเกิด Error ระหว่างการซ่อมบำรุงในชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับ safety ของระบบ

- ระยะเวลาในการดำเนินการซ่อมแซมระบบให้อยู่ในสถานะปลอดภัย

(1.8) การ Operate ระบบ และการ maintenance ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับ safety ของระบบในเทอมของ

- ปัจจัยจากมนุษย์ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับ safety ในระบบและ operation ของระบบที่เกี่ยวข้องกับ safety

- เครื่องมือ, สิ่งอำนวยความสะดวกและ Procedures สำหรับการซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพของชิ้นส่วนและ operation ของระบบที่เกี่ยวข้องกับ safety

- การควบคุมและตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพสำหรับจัดการกับ hazard และบรรเทาผลกระทบ

(2) Factor ที่ส่งผลต่อ Railway RAMS; Railway RAMS จะมีอิทธิพลจาก 3 ส่วนได้แก่ แหล่งที่มาของความล้มเหลวที่มาจากระบบภายในแต่ละ phase ของ life cycle ของระบบ (system condition), แหล่งที่มาของความล้มเหลวที่กำหนดบนระบบระหว่าง operation (operating condition) และ

แหล่งที่มาของความล้มเหลวที่ถูกกำหนดบนระบบระหว่างที่มีกิจกรรม maintenance (maintenance condition) แหล่งที่มาเหล่านี้ล้วนมีความสัมพันธ์กัน ดังจะแสดงในรูป 2.24

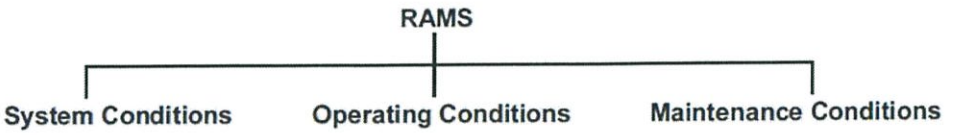


Figure 4 — Influences on RAMS

รูปที่ 2.24 โครงสร้าง RAMS

เพื่อตระหนักถึงความน่าเชื่อถือของระบบ factor ที่มีผลต่อ RAMS เหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาแยกออกจากกัน แต่ละส่วนจะถูกประเมินผลกระทบและสาเหตุของผลกระทบจะถูกจัดการตลอดอายุการใช้งาน (life cycle) ของระบบ โดย application ของระบบที่เหมาะสมเพื่อหาสมรรถนะที่เหมาสมที่สุด

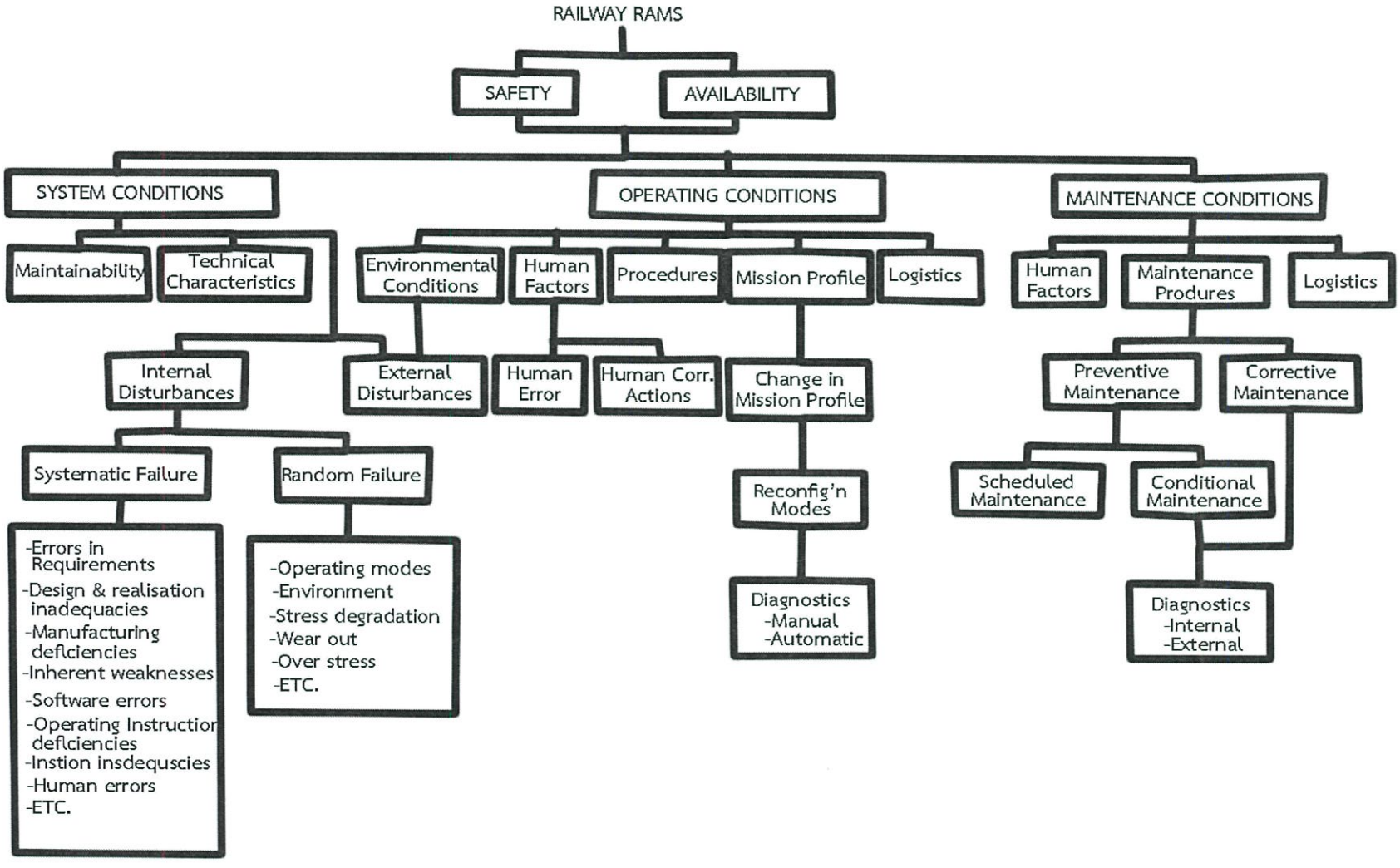
(2.1) ประเภทของปัจจัย (Factor) ในระดับที่สูง โดยทั่วไปแล้ว factor ต่างๆจะมีอิทธิพลต่อระบบ RAMS ดังแสดงในแผนภูมิ ที่แสดงให้เห็นถึง factor ต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อ RAMS ของระบบขนส่ง และยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง factor เพื่อที่จะจำแนกรายละเอียดของ factor ที่เกี่ยวข้องกับ Railway RAMS ซึ่ง factor เหล่านี้จะถูกพิจารณาในเทอมของระบบย่อยๆ

ในส่วนของการวิเคราะห์ human factor จะพูดถึงผลกระทบที่มีต่อระบบ RAMS ซึ่งโดยปกติจะอยู่ภายใต้ "System Approach" ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยSystem Approach คือ ภาพส่วนรวมของโครงสร้างหรือของขบวนการอย่างหนึ่งที่มีการจัดการระเบียบความสัมพันธ์ ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ที่รวมกันอยู่ในโครงการหรือขบวนการนั้นๆ

Human ถูกกำหนดได้โดยจากผลกระทบของลักษณะเฉพาะของมนุษย์, ความคาดหวังและพฤติกรรม factor เหล่านี้ประกอบด้วยลักษณะทางกายวิภาค, สรีระวิทยา, และจิตวิทยาของแต่ละคน คอนเซปต์ที่อยู่ใน human factor นี้จะถูกใช้สำหรับให้คนดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงความต้องการของมนุษย์ ในประเด็นเกี่ยวกับสุขภาพ, ความปลอดภัยและความพึงพอใจในการทำงาน

ในขณะที่ความต้องการในการบรรจุ human factor ไปใน lifecycle เป็นเรื่องปกติ อิทธิพลที่มีความแน่นยำของ human factor บน RAMS จะถูกเจาะจงลงไปใน application ภายใต้การพิจารณา

Factor พื้นฐานอื่นๆ จะแสดงในรูปที่ 2.25 ซึ่งกล่าวในบริบทของระบบ Railway ที่อยู่ภายใต้การพิจารณา การรถไฟฯ จะต้องระบุ factor ที่ใช้งานไม่ได้ทั้งหมดลงในข้อเรียกร้องตั้งแต่การประกวดราคา และ factor พื้นฐานอื่นๆจะต้องประเมินและให้รายละเอียดด้วย



รูปที่ 2.25 โครงสร้าง Railway RAMS

(3) วิธีบรรลุเป้าหมายในข้อกำหนดของ Railway RAMS; วิธีบรรลุเป้าหมายในข้อกำหนดของ Railway RAMS จะเกี่ยวข้องกับการควบคุม factor ที่มีอิทธิพลต่อ RAMS ตลอดจนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของระบบ การควบคุมที่มีประสิทธิภาพจะกำหนดกลไกและ Procedure เพื่อกำหนดและป้องกันความเป็นไปได้ที่จะเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการทำงานของระบบ เช่นการป้องกันที่สามรถป้องกันความผิดพลาดแบบสุ่มและเป็นระบบ

วิธีบรรลุเป้าหมายในข้อกำหนดของ Railway RAMS นี้จะอยู่บนพื้นฐานของการเฝ้าระวังโอกาสที่จะเกิดสภาวะที่นำไปสู่ความผิดพลาดของระบบให้น้อยที่สุด ซึ่งการเฝ้าระวังนี้จะเกี่ยวข้องกับ

- การทำให้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ความผิดพลาดให้น้อยลง
- การทำให้ความรุนแรงของผลที่เกิดจากความผิดพลาดให้น้อยลง

กลยุทธ์ในการบรรลุเป้าหมายในข้อกำหนดของ Railway RAMS คือการใช้วิธีเชิงป้องกันหรือเชิงปกป้องแก่ระบบ

2.1.11 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง [13]

(1) ประชากร (Population) ประกอบด้วยสมาชิกทั้งหมดที่จะนำมาเพื่อศึกษาอาจเป็นวัตถุ สิ่งของหรือบุคคล ประชากรมี 2 ชนิดคือ

- ประชากรที่นับได้ (Finite Population) เช่น คนในจังหวัดอุดรธานี

- ประชากรที่นับไม่ได้ (Infinite Population) เช่น จำนวนเส้นผมบนศีรษะ จำนวนเม็ดน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม

(2) การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าทุกหน่วยประชากรได้มีโอกาสรับเลือกเป็นตัวแทนของประชากร งานวิจัยนิยมกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) หรือเฮอร์เบร์ทและเรย์มอนด์ (Herbert Asin and Raymond R.) หรือของโรสคอว์ (Roscoe : 1975)

(3) กลุ่มตัวอย่าง(Sample Groups) หมายถึงบางส่วนของประชากรที่ถูกเลือกมาเป็นตัวแทน ของประชากรในการศึกษา

2.1.12 การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non-probability sampling) [14]

สำหรับการสำรวจด้วยตัวอย่างในบางครั้งอาจไม่ทราบจำนวนประชากรที่แท้จริง หรือไม่มีกรอบตัวอย่างที่สมบูรณ์ ทำให้ไม่สามารถใช้การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็นได้ จึงต้องใช้วิธีการเลือกตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น ซึ่งการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบนี้หน่วยตัวอย่างมีโอกาสถูกเลือกไม่เท่ากัน บางหน่วยตัวอย่างมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าหนึ่งครั้งหรือบางหน่วยตัวอย่างไม่มีโอกาสที่จะถูกเลือก โดยในการเลือกจะคำนึงถึงความสะดวกทั้งทางด้านเวลา กำลังคน และงบประมาณ รวมทั้งวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของนักสถิติเป็นหลัก จึงทำให้ไม่ทราบความน่าจะเป็นที่หน่วยแต่ละหน่วยในประชากรจะถูก

เลือกเป็นตัวอย่าง ดังนั้นการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบนี้ไม่สามารถอ้างอิงหรืออนุมานไปยังประชากรที่ต้องการศึกษาได้

การเลือกหน่วยตัวอย่างแบบนี้มักจะทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ขาดความแม่นยำ ดังนั้นการที่นักสถิติใช้วิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบนี้เมื่อไม่ต้องการอ้างอิงหรืออนุมานไปยังประชากร ส่วนมากใช้กับงานวิจัยหรือการศึกษาเกี่ยวกับข้อเท็จจริง (exploration research) กับตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะและไม่ต้องการเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดเรื่องของเวลา ค่าใช้จ่าย หรือเหตุผลอื่น ๆ อาศัยการตัดสินใจตามความสะดวกของนักสถิติเป็นหลัก การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็นนี้มีหลายแบบ เช่น

(1) การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยบังเอิญ (accidental sampling) หรือการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบตามสะดวก (convenience sampling) เป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างที่ไม่มีหลักเกณฑ์ นั่นคือเลือกใครก็ได้ที่สามารถให้ข้อมูลได้แต่ต้องอยู่ในคุ้มรวมของประชากรที่สนใจศึกษา เช่น พนักงานเก็บรวบรวมข้อมูลยืนอยู่ประตูหน้าห้างสรรพสินค้าเพื่อสัมภาษณ์ผู้คนที่ผ่านไปมาบริเวณนั้น

(2) การเลือกหน่วยตัวอย่างแบบโควตา (quota sampling) เป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างที่พบบ่อยที่สุดในการเลือกตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น ซึ่งการเลือกตัวอย่างแบบนี้ นักสถิติได้ทำการจำแนกประชากรออกเป็นส่วนย่อย ๆ ก่อน (strata) โดยตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกควรจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา เช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา หรือรายได้ จากนั้นพิจารณาขนาดตัวอย่างของแต่ละส่วนย่อย เพื่อกำหนดเป็นโควตา หรือจะเรียกได้ว่าเป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างโดยคำนึงถึงสัดส่วนองค์ประกอบของประชากร เช่น เมื่อต้องการขนาดตัวอย่างจำนวน 100 คน ก็แบ่งเป็นเพศชาย 50 คน และเป็นเพศหญิงอีก 50 คน แล้วในแต่ละกลุ่มใช้วิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบบังเอิญ นั่นคือเจอใครก็เลือกจนครบตามจำนวนที่ต้องการ

2.1.13 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

(1) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้เกณฑ์ เป็นวิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่ง โดยที่ผู้วิจัยจะต้องทราบจำนวนประชากรที่ค่อนข้างแน่นอนก่อน แล้วคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1.1) ประชากรมีจำนวนเป็นหลักร้อย ใช้กลุ่มตัวอย่าง 15-30 %
(1.2) ประชากรมีจำนวนเป็นหลักพัน ใช้กลุ่มตัวอย่าง 10-15 %
(1.3) ประชากรมีจำนวนเป็นหลักหมื่น ใช้กลุ่มตัวอย่าง 5-10 %

(2) สูตรคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ตาราง Krejcie & Morgan การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ Robert V. Krejcie แห่งมหาวิทยาลัย Minisota และ Earyle W. Morgan แห่งมหาวิทยาลัย Texas ได้สร้างตารางขนาดประชากร และขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมา เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถเลือกขนาดของกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยไปใช้ได้ โดยดูจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan [15]

จำนวน ประชากร	จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง	จำนวน ประชากร	จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง	จำนวน ประชากร	จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง	จำนวน ประชากร	จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง
10	10	150	108	460	210	2,200	327
15	14	160	113	480	214	2,400	331
20	19	170	118	500	217	2,600	335
25	24	180	123	550	226	2,800	338
30	28	190	127	600	234	3,000	341
35	32	200	132	650	242	3,500	346
40	36	210	136	700	248	4,000	351
45	40	220	140	650	254	4,500	354
50	44	230	144	800	260	5,000	357
55	48	240	148	850	265	6,000	361
60	52	250	152	900	269	7,000	364
65	56	260	155	950	274	8,000	367
70	59	270	159	1,000	278	9,000	368
75	63	280	162	1,100	285	10,000	370
80	66	290	165	1,200	291	15,000	375
85	70	300	169	1,300	297	20,000	377
90	73	320	175	1,400	302	30,000	379
95	76	340	181	1,500	306	40,000	380
100	80	360	186	1,600	310	50,000	381
110	86	380	191	1,700	313	75,000	382
120	92	400	196	1,800	317	100,000	384
130	97	420	201	1,900	320		
140	103	440	205	2,000	322		

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัย ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกฎระเบียบความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม ศึกษาเฉพาะกรณี : พนักงานซ่อมบำรุงรักษา บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ในโครงการรถไฟฟ้า บีทีเอส [16]

เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาระดับความรู้และเจตคติของพนักงานซ่อมบำรุงที่มีต่อการซ่อมบำรุงรักษาอย่างมีคุณภาพ ในกลุ่มระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จำนวน 2 แห่ง โดยจำแนกตามอายุ ระดับการศึกษาสูงสุด ประสบการณ์ทำงาน ตำแหน่งงาน รายได้ต่อเดือน และการได้รับการฝึกอบรม ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ ดำเนินการโดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจากสูตรของ Taro Yamane และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายในการรวบรวมข้อมูล โดยใช้เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถาม ที่มีเนื้อหาแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นชนิดเลือกรายการ จำนวน 6 ข้อ นำมาวิเคราะห์ปัจจัยส่วนบุคคล

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับการซ่อมบำรุงอย่างมีคุณภาพ จำนวน 20 ข้อ นำมาตรวจให้คะแนน ตอบถูกได้ 1 คะแนน ตอบผิดได้ 0 คะแนน ประเมินผลแบบอิงเกณฑ์

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับเจตคติที่มีต่อการซ่อมบำรุงรักษาอย่างมีคุณภาพโดยเป็นแบบสอบถามแบบมาตรวัด Likert Scale จำนวนทั้งหมด 25 ข้อ ซึ่งมีคำตอบให้เลือก 5 ระดับ คะแนนเฉลี่ยแปลความหมายตามแนวคิดของ Best และแปลความหมายส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบ Likert scale

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามปลายเปิดเกี่ยวกับปัจจัยสำคัญด้านอื่นๆ จำนวน 2 ข้อ นำข้อมูลความรู้และเจตคติมาประมวลหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0 แสดงว่าตัวแปรอาจไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยทิศทางของความหมายจะขึ้นอยู่กับค่าที่คำนวณ คือหากไปในทิศทางบวกแสดงว่าตัวแปรมีลักษณะคล้ายตามกัน แต่ถ้าไปทิศทางลบแสดงว่าตัวแปรมีลักษณะผกผันกัน

และเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับปานกลางถึงดี เนื่องมาจากบริษัทมีการจัดฝึกอบรมทางทฤษฎีและทางปฏิบัติแก่พนักงาน และพนักงานมีเจตคติโดยรวมค่อนข้างดีเป็นเพราะพนักงานได้รับการฝึกอบรมสม่ำเสมอ ซึ่งเจตคติที่ดีจะช่วยให้งานไม่เป็นที่น่าเบื่อแก่คนทำงาน และงานนั้นออกมาดี

2.2.2 งานวิจัย การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขนส่งระบบราง [17]

เป็นโครงการที่ทำหน้าที่บูรณาการองค์ความรู้ด้านระบบซ่อมบำรุง จากการดำเนินการศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบซ่อมบำรุง เนื่องจากเป็นส่วนงานที่สัมพันธ์โดยตรงกับตัวรถไฟฟ้า ได้แก่ (1) งานบำรุงทางรถไฟและงานโยธา (2) งานซ่อมบำรุงขบวนรถไฟฟ้าและล้อเลื่อน (3) งานซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้ากำลัง (4) งานอาณัติสัญญาณ และ (5) การดำเนินงานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า แล้วนำผลการศึกษาทั้ง 5 ส่วนมาประมวลผลรวมกันเพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวมให้สอดคล้องกัน และผลการศึกษาพบว่าส่วนที่มีความซับซ้อนและผู้ประกอบการให้ความสำคัญในการทำงานภายในศูนย์ซ่อมบำรุงมากที่สุดจะเป็นส่วนของงานรถไฟฟ้าและเครื่องกล ทั้งด้วยเงื่อนไขของรอบเวลาการใช้งานที่ต่างกัน และวิธีการซ่อมบำรุงที่ต่างกัน

แนวทางการพัฒนาศูนย์ซ่อมบำรุงรวมจะต้องอาศัยองค์ประกอบดังนี้ (ก) แผนการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าต่างๆของ สนข. ตำแหน่งของศูนย์ซ่อมบำรุง ผู้ได้รับสัมปทาน ลักษณะของสัมปทาน (ข) ประมาณการจำนวนขบวนรถ จำนวนตู้รถไฟฟ้าในแต่ละเส้นทาง ตลอดจนแผนการจัดซื้อตามระยะเวลาต่างๆ (ค) เทคโนโลยีรถไฟฟ้าที่เลือกใช้ (ง) รายการอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่เลือกใช้ (จ) กระบวนการซ่อมบำรุง (ฉ) ตัวแบบการประเมินความต้องการใช้ และขีดความสามารถของศูนย์ซ่อมบำรุง (ช) นโยบายของรัฐ และผู้ประกอบการที่สัมพันธ์กับแผนการซ่อมบำรุง (เช่น RAMS เป็นต้น)

แนวปฏิบัติที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ตั้งแต่การกำหนดโครงการ การออกแบบ การจัดหา จนกระทั่งการเดินรถและซ่อมบำรุง อาจสามารถปฏิบัติได้โดยมีสัมฤทธิผลที่ดี สะดวกในการดำเนินโครงการ เนื่องจากแต่ละโครงการเป็นเอกเทศ ด้วยเหตุนี้แนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบศูนย์ซ่อมบำรุงรวมเพื่อให้เกิดการลงทุนและการใช้ทรัพยากรการซ่อมบำรุงร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือ เครื่องจักร ช่างฝีมือ จะทำให้อรรถประโยชน์ของทรัพยากรสูงขึ้น และช่วยให้จำนวนในการจัดเก็บสต๊อคลดลง ค่าใช้จ่ายก็ลดลงด้วย เมื่อทำงานซ่อมบำรุงมากขึ้นจะก่อให้เกิดองค์ความรู้ในการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะนำไปสู่การคิดค้นและพัฒนากระบวนการทำงานให้เหมาะสมกับตนเองจนเกิดความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า และประการสุดท้ายเป็นการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรม การสร้างงาน สร้างรายได้ และพัฒนาเศรษฐกิจไทย

อย่างไรก็ดี แนวทางการพัฒนาศูนย์ซ่อมบำรุงรวมจะต้องขึ้นกับการกำหนดนโยบายของรัฐบาลในระดับภาพรวมของระบบ คือ (1) นโยบายเส้นทางร่วม (2) นโยบายควบคุมแบบของรถไฟ ตลอดจนการใช้งานชิ้นส่วนร่วมกัน (3) นโยบายมาตรฐานการบริหารจัดการโครงข่ายระบบรถไฟฟ้า และ (4) การกำหนดตำแหน่งของศูนย์ซ่อมบำรุงรวม

2.2.3 งานวิจัย การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขบวนรถไฟฟ้าและล้อเลื่อน [18]

เป็นโครงการการเก็บข้อมูลกิจกรรมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของส่วนประกอบต่างๆของรถไฟฟ้าที่แสดงในรายงานประกอบไปด้วยชิ้นส่วนในโบกี้ 19 ชิ้นส่วนแรก และระบบปรับอากาศ ประตูผู้โดยสาร แบตเตอรี่ และระบบอัดอากาศ โดยภาพรวมจะเห็นว่าส่วนใหญ่กิจกรรมการบำรุงรักษาจะเกิดขึ้นที่ทุกๆ ระยะทาง 15,000 กิโลเมตร หรือ 1 เดือน และบางส่วนจะมีกิจกรรมการบำรุงรักษาที่เพิ่มมาตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังตาราง 2.2 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการบำรุงรักษาของ (1) บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ BTSC (2) บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ BMCL และ (3) บริษัท รถไฟฟ้า รฟท. จำกัด หรือ SARL

จากการเปรียบเทียบพบว่าลักษณะรถไฟฟ้าของบริษัท BTSC และ BMCL มีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากเป็นรถไฟฟ้าประเภทวิ่งรับส่งผู้โดยสารภายในเมือง (Metro) เหมือนกัน ส่วนรถไฟฟ้าของบริษัท SARL นั้นต่างออกไปเนื่องจากเป็นรถไฟฟ้าประเภทวิ่งรับส่งผู้โดยสารชานเมืองหรือระหว่างเมือง (Suburban or Commuter train) และรถไฟฟ้าทั้งสามบริษัทต่างเป็นรถจากบริษัท Siemens และชิ้นส่วนภายในยังมาจากผู้ผลิตที่คล้ายคลึงกัน จะต่างกันบ้างในรายละเอียดปลีกย่อยเนื่องจากลักษณะการให้บริการ และสภาวะที่เกิดขึ้นในขณะให้บริการ ทำให้กิจกรรมการบำรุงรักษาแต่ละช่วงแตกต่างกันได้

ผู้รับช่วงงานบำรุงรักษาของบริษัท BTSC และ BMCL เป็นบริษัทเดียวกันคือ บริษัท Siemens ซึ่งจะดูแลตั้งแต่การบำรุงรักษาแบบเบาไปจนถึงการบำรุงรักษาใหญ่ ส่วนบริษัท SARL จะทำการบำรุงรักษาด้วยตนเอง ยกเว้นงานบำรุงรักษาใหญ่ที่จะจัดการประมูลทำสัญญากับบริษัทภายนอก ซึ่งการบำรุงรักษาใหญ่จะต้องวางแผนล่วงหน้า 2 ปี เพื่อสะสมอะไหล่ ให้สามารถซ่อมบำรุงได้อย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ เครื่องมือที่ใช้ในการซ่อมบำรุงใหญ่โบกี้ มีทั้งเครื่องมือเฉพาะและเครื่องมือทั่วๆไป ซึ่งหากมีศูนย์บำรุงรักษารวมจะสามารถลดจำนวนอุปกรณ์บางอย่างได้ โดยการรวมการบำรุงรักษาใหญ่มาไว้ที่เดียวกันนั้นเป็นไปได้หากมีปริมาณงานที่เพียงพอ เน้นไปที่ระบบและชิ้นส่วนใหญ่ เช่น โบกี้ ระบบปรับอากาศ เป็นต้น เนื่องจากการเคลื่อนย้ายรถทั้งขบวนเป็นไปได้ยากหากรถไฟฟ้าแต่ละสายไม่เชื่อมต่อกัน และโมเดลรถไฟฟ้าที่แตกต่างกันนั้นไม่มีนัยยะสำคัญมากนักในเรื่องของเทคนิคการบำรุงรักษา

ตารางที่ 2.2 แสดงระยะทางและระยะเวลาของกิจกรรมการบำรุงรักษาของชิ้นส่วนรถไฟฟ้าที่แสดงในโครงการ

Parts	Counter based Maintenance in Kilometer (Time based maintenance)									
	3,500	7,000	15,000	45,000	90,000	180,000	540,000	1,080,000	1,620,000	2,160,000
	1W	2W	1M	3M	6M	1Y	3Y	6Y	9Y	12Y
Traction motor										
Gear Unit										
Transmission Coupling										
Wheelset										
Bearing Box										
Bogie Frame										
Primary Suspension										
Secondary Suspension										
Air Spring										
Leveling Valve										
Vertical Damper										
Lateral Damper										
Anti Roll Bar										
Bogie Connection										
Pivot Pin										
Pilot Bar										
Current Collector Shoe										
Wheel Flange Lubrication										
Overhaul Bogie										
Air condition										
Passenger Door										
Battery										
Air Compressor										

2.2.4 งานวิจัย การศึกษาและเปรียบเทียบการดำเนินงานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า [19]

เป็นโครงการสำรวจและเปรียบเทียบการดำเนินงานและดัชนีชี้วัดงานซ่อมบำรุงของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า 3 แห่งได้แก่ (1) บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ BTSC (2) บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ BMCL และ (3) บริษัท รถไฟฟ้า รฟท. จำกัด หรือ SARL เนื่องจากการให้บริการเดินรถไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและทรัพย์สินของผู้โดยสาร และมีดัชนีชี้วัดของงานซ่อมบำรุง ดังนี้ (1) การส่งมอบงานบำรุงรักษา (2) การดูแลรักษาคุณภาพการทำงาน (3) ความน่าเชื่อถืออุปกรณ์ (4) การลดความเสี่ยงในการดำเนินงาน (5) การบำรุงรักษาการใช้ทรัพยากร (6) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

จากการเปรียบเทียบพบว่า งานซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าแบ่งเป็นงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกันและงานซ่อมบำรุงเชิงรักษา ซึ่งแต่ละบริษัทมีหลักการที่ใกล้เคียงกัน และนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดการงาน ทั้งยังจัดตั้งศูนย์บริหารงานซ่อมบำรุงขึ้นมาเพื่อคอยทำหน้าที่ประสานงานระหว่างฝ่ายการเดินรถและฝ่ายซ่อมบำรุง รวมถึงการวางแผนและควบคุมการทำงานซ่อมบำรุง ส่วนตัวชี้วัดการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าก็มีลักษณะคล้ายกัน คือให้ความสำคัญกับการให้บริการมากที่สุด เช่น จะต้องมีรถไฟฟ้าอยู่ในสภาพพร้อมให้บริการ และเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับระบบรถไฟฟ้าจนต้องหยุดให้บริการจะต้องเข้าไปแก้ไขให้เร็วที่สุด ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุงด้วย

เนื่องจากมีการใช้รถไฟฟ้าถึง 3 รุ่นที่มีความหลากหลายด้านเทคโนโลยี เมื่อต้องการแนวทางพัฒนาโรงซ่อมบำรุงแบบรวม จะต้องมีความหลากหลายในการซ่อมบำรุง รวมถึงการจัดเก็บอะไหล่จะยากขึ้นไปด้วย ในการจัดซื้อรถไฟครั้งใหม่ควรพิจารณาความเป็นไปได้ในการจัดการรถไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการซ่อมบำรุง เกิดการแบ่งปันชิ้นส่วน ทำให้ลดต้นทุนการใช้รถ รวมถึงทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัย และอุตสาหกรรมในประเทศเพื่อสอดรับความต้องการของการดำเนินการรถไฟ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยในการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ซึ่งการวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงพรรณนา โดยผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์จาก 2 แหล่ง ได้แก่ (1) การวิจัยเอกสารถึงข้อมูลเบื้องต้นและกรณีศึกษาของศูนย์ซ่อมบำรุงต่างประเทศ และ (2) การสอบถามความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงโดยตรงเพื่อศึกษาปัญหาและความต้องการในการซ่อมบำรุงในปัจจุบันและเป็นกรณีศึกษา โดยใช้แบบสอบถามและแบบสำรวจเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การวิจัยเอกสาร

3.1.1 การรวบรวมเอกสารกรณีศึกษาของศูนย์ซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยค้นคว้าและรวบรวมเอกสารข้อมูลการออกแบบของศูนย์ซ่อมบำรุงของโครงการรถไฟฟ้าต่างประเทศผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งบริษัทผู้ดำเนินงานหรือเจ้าของโครงการรถไฟฟ้าทำการเผยแพร่ข้อมูลให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงเพื่อศึกษาได้ รวมถึงค้นคว้าเอกสารการออกแบบเบื้องต้นของโครงการรถไฟฟ้าจากหน่วยงานที่สามารถสืบค้นได้ โดยผู้วิจัยให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับประเภทของรถไฟฟ้า ประเภทศูนย์ซ่อมบำรุง องค์ประกอบภายในศูนย์ซ่อมบำรุง และการออกแบบ ซึ่งมีรายละเอียดโครงการดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของศูนย์ซ่อมบำรุงเพื่อเป็นกรณีศึกษา

โครงการรถไฟฟ้า	ประเภทรถไฟฟ้า	ผู้ดำเนินการ
The Train à Grande Vitesse (TGV) [24]	รถไฟฟ้าความเร็วสูง	French National Railway Corporation (SNCF)
Tokaido-Sanyo Shinkansen Lines [24]	รถไฟฟ้าความเร็วสูง	Central Japan Railway Company (JR central) and West Japan Railway Company (JR west)
โครงการรถไฟความเร็วสูง สายกรุงเทพฯ-เชียงใหม่ ระยะที่ 1 (กรุงเทพฯ-พิษณุโลก) [20]	รถไฟฟ้าความเร็วสูง	-*
โครงการรถไฟความเร็วสูง สายกรุงเทพฯ-ระยอง [25]	รถไฟฟ้าความเร็วสูง	-*
โครงการรถไฟฟ้าชานเมือง (สายสีแดง) บางซื่อ-รังสิต [23]	รถไฟฟ้าชานเมือง	-*
Panvel-Diva-Vasai-Virar Corridor [26]	รถไฟฟ้าชานเมือง	Mumbai Railway Vikas Corporation Ltd.
Varanasi Metro [21]	รถไฟฟ้าขนส่งมวลชน	Varanasi Development Authority
Aalborg Light Rail Transport [27]	รถไฟฟ้ารางเบา	-*

*เป็นเพียงรายงานแผนการออกแบบ (Preliminary operating plan และ Design report)

3.1.2 การศึกษาปัจจัยในการออกแบบ

ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่ค้นคว้าได้โดยการอ่านและไตร่ตรอง เพื่อทำความเข้าใจและเรียบเรียงออกมาในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และเปรียบเทียบกันในลักษณะของตารางการเปรียบเทียบข้อมูล กรอกข้อมูลเกี่ยวกับศูนย์ซ่อมบำรุงของแต่ละโครงการ เช่น ประเภทรถไฟฟ้า จำนวนรถไฟฟ้า ส่วนประกอบภายในศูนย์ซ่อมบำรุง เครื่องจักรต่างๆภายในโรงซ่อม ช่วงเวลาการบำรุงรักษา เป็นต้น ลงในตาราง

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากตารางมาวิเคราะห์หาปัจจัยในการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ที่บรรจุอยู่ในหลายๆโครงการ ทำการคัดเลือกข้อมูลเหล่านั้นแล้วถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบสำหรับศูนย์ซ่อมบำรุงไม่ว่าจะเป็นรถไฟประเภทใดก็ตาม

3.2 กรณีศึกษาจากการสอบถามความคิดเห็น

3.2.1 กำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

(1) ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ บุคลากรที่มีหน้าที่บำรุงรักษาเกี่ยวกับรถไฟฟ้า ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าแบบครบวงจร ของโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่มีโครงการอยู่ภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 4 แห่ง ซึ่งมีรายละเอียดบุคลากรตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนบุคลากรที่มีหน้าที่บำรุงรักษารถไฟฟ้า

ศูนย์ซ่อมบำรุง	จำนวนคน
Depot A	32
Depot B	42
Depot C	161
Depot D	139
รวม	374

(2) กลุ่มตัวอย่าง

ขั้นที่ 1 รวบรวมจำนวนบุคลากรมีหน้าที่ซ่อมแซมและบำรุงรักษาเกี่ยวกับรถไฟฟ้า ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงทั้ง 4 แห่ง ซึ่งมีทั้งสิ้นจำนวน 374 คน

ขั้นที่ 2 เลือกศึกษาโดยวิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างโดยบังเอิญหรือการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบตามสะดวก (Accidental Sampling or Convenience Sampling) ซึ่งเป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) และกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามที่ Robert V. Krejcie

แห่งมหาวิทยาลัย Minisota และ Earyle W. Morgan แห่งมหาวิทยาลัย Texas (1970 : 608-609) ได้สร้างตารางขนาดประชากรและขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมา จะได้ขนาดหน่วยตัวอย่างดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนหน่วยตัวอย่างที่ต้องทำแบบสอบถามของแต่ละแผนกย่อย

ศูนย์ซ่อมบำรุง	จำนวนคน
Depot A	29
Depot B	37
Depot C	133
Depot D	103
รวม	302

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ผู้วิจัยใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านความคิดเห็นของผู้ปฏิบัติหน้าที่ภายในโรงซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า ในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล คือแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจลักษณะโครงสร้างและอุปกรณ์เครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุง คือแบบสำรวจที่ผู้วิจัยทำการสำรวจ สอบถามและบันทึกด้วยตัวเอง โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

(1) ศึกษาขอบเขตของเนื้อหาสาระที่เกี่ยวกับความคิดเห็นในการใช้งานพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับขบวนรถไฟฟ้าของโรงซ่อมบำรุงทั้งด้านความเพียงพอของพื้นที่ใช้สอย ความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักร ความปลอดภัยในการใช้งานพื้นที่ และสุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุงที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมทั้งศึกษาเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ ในเรื่องของแผนผังและองค์ประกอบของศูนย์ซ่อมบำรุง ขนาดพื้นที่ ความสามารถในการรองรับขบวนรถไฟ แผนผังและอุปกรณ์ภายในโรงซ่อมบำรุง และช่วงเวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์

(2) ผู้วิจัยได้สร้างแบบสำรวจขึ้นเอง โดยสร้างข้อความขึ้นเพื่อสำรวจแผนผังของโรงซ่อมบำรุง ลักษณะโครงสร้างของศูนย์ซ่อมบำรุง ขนาดพื้นที่ ความสามารถในการรองรับขบวนรถไฟ แผนผังของโรงซ่อมบำรุง อุปกรณ์เครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุง และช่วงเวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ โดยแบบสำรวจมีจำนวน 27 ข้อ

(3) ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามขึ้นเอง โดยสร้างข้อความในแบบสอบถามให้สอดคล้องและครอบคลุมเนื้อหาสาระ พร้อมวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ตอน ใช้สำหรับบุคลากรที่มีหน้าที่ซ่อมแซมและบำรุงรักษาเกี่ยวกับรถไฟฟ้า ซึ่งแบบสอบถามแต่ละชุดแบ่งออกได้เป็นตอนๆ ดังนี้

ตอนที่ 1 เป็นคำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา แผนกงานทำงาน ตำแหน่ง ลักษณะการทำงาน และประสบการณ์ในการปฏิบัติหน้าที่ จำนวน 7 ข้อ

ตอนที่ 2 เป็นแบบสอบถามถึงความคิดเห็นในเรื่องต่างๆเกี่ยวกับโรงซ่อมบำรุง จากความต้องการและพฤติกรรมของผู้ใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ความเพียงพอของพื้นที่ใช้สอยภายในโรงซ่อมบำรุง	จำนวน 6 ข้อ
ส่วนที่ 2 ความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุง	จำนวน 6 ข้อ
ส่วนที่ 3 ความปลอดภัยในการใช้งานพื้นที่	จำนวน 7 ข้อ
ส่วนที่ 4 สุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุง	จำนวน 4 ข้อ

3.2.3 การตรวจสอบเครื่องมือ

ผู้วิจัยนำแบบสำรวจและแบบสอบถามที่สร้างเสร็จแล้วนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานร่วม ทำการตรวจสอบและแก้ไขความถูกต้องของเนื้อหา และความเหมาะสมในการใช้ถ้อยคำและสำนวนภาษา และความชัดเจนในข้อคำถาม

3.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยติดต่อขอหนังสือจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปยังบริษัทผู้ดำเนินงานเดินรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 3 แห่ง เพื่อขอความอนุเคราะห์ ให้ความร่วมมือในการสำรวจและให้พนักงานภายในโรงซ่อมบำรุงตอบแบบสอบถาม และให้สัมภาษณ์เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโรงซ่อมบำรุง

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามความคิดเห็นจากพนักงานซ่อมบำรุง ซึ่งมีการวัดแบบกำหนดมาตราวัดตามแบบของ Likert Scale และมีคำตอบให้เลือกทั้งหมด 5 ระดับ โดยเป็นข้อความเชิงบวกทั้งสิ้นมาตรวจให้คะแนนคำตอบแต่ละข้อตามเกณฑ์การให้คะแนน สามารถแปลความหมายของค่าคะแนนคำถามเชิงบวกได้ดังนี้

คะแนน 5 หมายถึง พนักงานมีความคิดเห็นว่า ดีมาก
คะแนน 4 หมายถึง พนักงานมีความคิดเห็นว่า ดี
คะแนน 3 หมายถึง พนักงานมีความคิดเห็นว่า ปานกลาง
คะแนน 2 หมายถึง พนักงานมีความคิดเห็นว่า ค่อนข้างไม่ดี
คะแนน 1 หมายถึง พนักงานมีความคิดเห็นว่า ไม่ดี

การแปลความหมายของคะแนนเฉลี่ยความคิดเห็นที่มีต่อโรงซ่อมบำรุง สามารถแบ่งได้ตามแนวคิดของ Best [28] ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	ระดับความคิดเห็นต่อโรงซ่อมบำรุง
น้อยกว่า 1.50	ไม่ดี
1.51 – 2.50	ค่อนข้างไม่ดี
2.51 – 3.50	ปานกลาง
3.51 – 4.50	ดี
มากกว่า 4.51	ดีมาก

การแปลความหมายของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับ Likert Scale ที่มีคำตอบให้เลือกทั้งหมด 5 ระดับ จะใช้เกณฑ์ดังนี้ (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2541 : 74)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า 1 หมายถึง มีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าหรือเทียบเท่า 1 หมายถึง มีความคิดเห็นแตกต่างกันมาก

(2) สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

(2.1) ค่าร้อยละ (Percentage) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง เช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา แผนกการทำงาน ตำแหน่ง ลักษณะงานที่ทำ และประสบการณ์ทำงาน

$$\text{ค่าร้อยละ} = \frac{\text{ค่าจำนวนที่คำนวน}}{\text{ค่าจำนวนทั้งหมด}} \times 100$$

(2.2) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) ใช้วิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของพนักงานซ่อมบำรุงที่มีต่อโรงซ่อมบำรุง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2541 : 35)

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ x แทน คะแนนแต่ละค่าในกลุ่มตัวอย่าง
n แทน จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

(2.3) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อแสดงลักษณะการกระจายของคะแนนในแต่ละข้อ ซึ่งคำนวณได้จากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2541 : 35)

$$SD = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
x แทน คะแนนแต่ละค่าในกลุ่มตัวอย่าง
n แทน จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาประโยชน์ใช้สอยศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าให้มีผลดีต่อการใช้งานมากที่สุดในด้านความเพียงพอ ความเหมาะสม ความปลอดภัย การใช้และการเก็บรักษาเครื่องมือ การจัดการงานซ่อมบำรุงให้สอดคล้องกับการบริการของรถไฟฟ้า เพื่อการออกแบบที่มีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการทำงาน

การออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้านั้นมีความเชื่อมโยงกันด้วยเหตุและผล เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าเป็นการก่อสร้างที่ใช้งบประมาณสูงมาก ต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการก่อสร้างเป็นลำดับแรก และต้องมีการสำรวจสถานที่ท่องเที่ยว แหล่งชุมชน หรือศูนย์การค้าเพื่อออกแบบให้สะดวกต่อการเดินทาง เนื่องจากรถไฟฟ้านั้นจอดเป็นรายสถานี เมื่อออกจากสถานีรถไฟฟ้าแล้วต้องพิจารณาไปถึงการขนส่งทางถนนที่สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย เป็นการส่งเสริมการใช้รถโดยสารสาธารณะร่วมกัน รวมถึงวางแผนการใช้บริการในอนาคตด้วย โดยส่วนใหญ่จะแบ่งกลุ่มการออกแบบเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกออกแบบโครงการรถไฟฟ้า พิจารณาความคุ้มค่า ระยะทาง จำนวนขบวนรถ และความถี่ในการให้บริการ อีกกลุ่มนำข้อมูลด้านขบวนรถของกลุ่มแรกมาออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง ซึ่งลำดับขั้นตอนการพิจารณาโครงการรถไฟฟ้าจนกระทั่งออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงที่เหมาะสม มีดังต่อไปนี้

(1) สำรวจพื้นที่ชุมชน

เมื่อเริ่มต้นโครงการรถไฟฟ้าต้องพิจารณาความคุ้มค่าโดยสำรวจจำนวนประชากรทั้งหมดของแหล่งชุมชนที่สนใจ สถานที่สำคัญใกล้เคียง แหล่งท่องเที่ยว ศูนย์การค้า สถานที่ทำงาน สถานศึกษา สถานพยาบาลและจุดเชื่อมต่อกับโครงการรถไฟฟ้าสายอื่นหรือขนส่งสาธารณะทางอื่น เพื่อประมาณโอกาสที่ผู้โดยสารจะใช้บริการเดินทางในแต่ละวัน สำรวจเจาะลึกลงไปถึงช่วงวัยของประชากร เนื่องจากคนวัยต่างกันจะมีพฤติกรรมการเดินทางในช่วงเวลาต่างกัน เช่น คนวัยทำงานและวัยเรียนมักจะเดินทางในช่วงเช้าและเย็นสำหรับวันจันทร์ถึงศุกร์ ขณะที่ผู้ที่ไม่ได้ทำงานประจำอาจจะเริ่มออกเดินทางช่วงสาย และวันเสาร์ถึงอาทิตย์อาจมีการเดินทางตลอดเวลาการให้บริการ เป็นต้น การสำรวจนี้ส่งผลไปถึงการพิจารณาประเภทรถไฟฟ้าและปริมาณการเดินรถ

(2) ประเภทรถไฟฟ้า

การเลือกประเภทรถไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการพิจารณาปริมาณผู้โดยสารต่อเที่ยวต่อทิศทาง เนื่องจากรถไฟฟ้าแต่ละประเภทมีความสามารถในการขนส่งต่างกัน ดังนี้

(2.1) รถไฟฟ้ารางเบา เป็นรถรางขนส่งผู้โดยสารในเมืองปะปนกับการจราจรบนผิวถนน ระบบเสริมนี้สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ราว 6,000 – 12,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ความเร็วเฉลี่ยขบวนรถราว 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(2.2) รถไฟฟ้ารางเดี่ยว สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ราว 15,000 – 30,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ด้วยความเร็วเฉลี่ยขบวนรถ กว่า 25 - 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะห่างระหว่างขบวนรถราว 5 – 10 นาที และระยะทางระหว่างสถานีประมาณ 400 – 600 เมตร

(2.3) รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนทางรางหลัก (Mass Rapid Transit) เป็นระบบขนส่งผู้โดยสารทางราง หลักของเมืองที่สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ในจำนวนมาก มีเส้นทางเชื่อมโยงย่านสำคัญๆ เช่น ศูนย์กลาง ธุรกิจการค้า และศูนย์ราชการต่างๆที่มีประชาชนเดินทางไปมาติดต่อเนืองแน่น ระยะทางระหว่างสถานีไม่ เกิน 1,000 เมตร รัศมีการให้บริการของระบบนี้มักจะห่างจากใจกลางเมืองออกไปเป็นระยะทางไม่เกิน 30 กิโลเมตร หรือใช้ระยะเวลาเดินทางไม่เกิน 30 – 40 นาที ความเร็วสูงสุดของขบวนรถราว 80 – 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 30 – 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาระหว่างขบวนรถราว 1 นาทีครึ่ง - 5 นาที ซึ่งสามารถขนส่ง ผู้โดยสารได้มากกว่า 50,000 – 60,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง

(2.4) รถไฟฟ้าขนส่งทางไกลระหว่างเมือง (Inter-city Rail) เป็นระบบขนส่งทางรางระยะไกลที่ เชื่อมระหว่างเมือง โดยมากขบวนรถมีความเร็วถึง 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้บริการจอดรับส่งผู้โดยสาร ตามสถานีที่เป็นแหล่งชุมชนต่างๆ

(2.5) รถไฟฟ้าขนส่งทางรางความเร็วสูง เป็นระบบขนส่งทางรางระหว่างเมืองใหญ่ที่มีความสำคัญ ทางเศรษฐกิจ มีระยะทางห่างไกลกัน และมีความต้องการในการเดินทางระหว่างเมืองของผู้โดยสารจำนวน มาก รถไฟความเร็วสูงจะวิ่งด้วยความเร็วสูงกว่า 250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนทางเฉพาะที่มีระบบอาณัติ สัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงออกแบบเป็นพิเศษ เหมาะสำหรับการ เดินทางในระยะทางระหว่างราว 200 - 800 กิโลเมตร

(3) แผนการเดินรถไฟฟ้า

การกำหนดเวลาในการเดินรถนั้นคำนวณได้จากปริมาณผู้โดยสารมากที่สุดต่อชั่วโมงต่อทิศทาง เทียบกับความสามารถในการบริการของรถไฟฟ้าหนึ่งขบวน จะรู้ได้ว่าต้องเดินรถไฟแต่ละขบวนห่างกันกี่ นาที หรือที่เรียกว่าเฮดเวย์ (Headway) ซึ่งเฮดเวย์แต่ละชั่วโมงก็ไม่เท่ากัน ช่วงที่คนใช้บริการมากเฮดเวย์ก็ จะน้อย ส่วนช่วงที่คนใช้บริการน้อยเฮดเวย์ก็จะมาก และนำเฮดเวย์มาคำนวณจำนวนรถไฟฟ้า ซึ่งรถไฟฟ้า จะใช้งบประมาณค่อนข้างมาก และต้องมีสำรองเผื่อใช้อย่างพอเหมาะด้วย

(4) ประเภทของศูนย์ซ่อมบำรุง

ประเภทของศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการตอนออกแบบ เนื่องจากไม่มีข้อกำหนดว่า ศูนย์ซ่อมบำรุงจะต้องมีแห่งเดียวเท่านั้น ดังนั้นผู้ออกแบบและผู้พิจารณาจึงสามารถจัดสรรศูนย์ซ่อมบำรุงได้ ตามความเหมาะสมกับโครงการ จำนวนรถไฟฟ้าและแผนการเดินรถก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการพิจารณา หากจำนวนรถไฟฟ้ามากและเส้นทางให้บริการไกลมากก็สามารถจัดสรรให้มีศูนย์ซ่อมบำรุงได้หลายประเภท และมากกว่าหนึ่งแห่ง ประการแรกสิ่งที่ต้องกำหนดคือหน้าที่ของศูนย์ซ่อมบำรุงก่อน หากต้องการซ่อมบำรุง แบบเบาหรือซ่อมบำรุงแบบหนัก ก็ต้องมีเครื่องจักร อุปกรณ์และพนักงานซ่อมบำรุง แต่ถ้าเพียงแค่ทำความ สะอาดและจอดเก็บรถก็ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องซ่อมและพนักงานซ่อม มีเพียงพนักงานทำความสะอาด

เครื่องทำความสะอาดและพนักงานดูแลขบวนรถไฟ หรือถ้าต้องการเป็นศูนย์ซ่อมบำรุงแบบครบวงจรแล้วนั้น มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีทั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ พนักงานงานซ่อมและพนักงานทำความสะอาด รวมทั้งมีศูนย์สั่งการเดินรถด้วย ซึ่งศูนย์ซ่อมบำรุงแบบครบวงจรนี้ต้องมีการจัดการและบริหารค่อนข้างมาก

(5) สถานที่ตั้งศูนย์ซ่อมบำรุง

สถานที่ตั้งศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นควรสอดคล้องกับระยะทางของทั้งโครงการ เพื่อให้สามารถจัดส่งรถไฟฟ้าไปบริการได้ตามเวลาเดินรถ หากระยะห่างระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงกับสถานีที่ไกลสุดนั้นไกลมากก็ทำให้ต้องนำรถไฟออกจากโรงเก็บรถก่อนเวลาบริการมาก ดังนั้นจึงควรจัดตั้งสถานที่เก็บรถไฟไว้ตรงกลางและใกล้กับเส้นทางมากที่สุด หรือหากมีมากกว่าหนึ่งแห่งก็ควรจัดตั้งไว้ที่ด้านปลายสุดทั้งสองด้านของเส้นทาง เพื่อให้สามารถส่งรถไปบริการได้ทันในตอนเช้าและเก็บรถเข้าโรงจอดได้อย่างรวดเร็วในตอนกลางคืน เมื่อเก็บรถและตัดการจ่ายไฟฟ้าในระบบได้เร็วส่งผลให้พนักงานซ่อมบำรุงทั้งตัวรถไฟฟ้าและทางรถไฟก็มีเวลาในการจัดการงานมากขึ้นนั่นเอง แต่ต้องห่างจากตัวสถานีที่ใกล้ที่สุดมากพอเพื่อให้กิจกรรมการซ่อมบำรุงเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและมีความคล่องตัวโดยที่ไม่ให้ปัจจัยจากภายนอกเช่นอิทธิพลของพื้นที่ที่อยู่อาศัยอย่างเขตชุมชน จะเป็นข้อจำกัดในเรื่องของกฎหมายต่างๆที่ควบคุมการทำกิจกรรมทางการซ่อมบำรุงไม่ให้ดำเนินการอย่างราบลื่นได้ เป็นต้น ดังนั้นศูนย์ซ่อมบำรุงไม่ควรจะติดกับสถานีมากเกินไป โดยต้องมีทางเชื่อมขึ้น-ลงระหว่างพื้นที่ศูนย์ซ่อมบำรุงและทางวิ่งหลัก (Main line) สำหรับให้ขบวนรถไฟฟ้า

สภาพแวดล้อมของศูนย์ซ่อมบำรุงก็มีความสำคัญ เนื่องจากมีการซ่อมบำรุงและทำความสะอาดย่อมมีสิ่งสกปรก สารเคมี และมีการใช้น้ำ ดังนั้นควรมีการจัดการน้ำให้สะอาดเมื่อใช้น้ำแล้วก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ หรือนำน้ำวนกลับไปใช้ซ้ำให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ รักษาสภาพแวดล้อมมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และต้องเป็นที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก รวมถึงการก่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นจะต้องไม่ไปขัดขวางการจราจรท้องถิ่นหรือการจราจรทางน้ำมากนัก ทั้งตัวอาคารศูนย์ซ่อมเองและทั้งการสัญจรเข้า-ออกศูนย์ซ่อมบำรุง

4.1 ประเภทของการบำรุงรักษา

โดยทั่วไปงานด้านการบำรุงรักษา (maintenance task) ของระบบในรถไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม [5] คือ

4.1.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance)

เป้าหมายคือดูแลรักษาให้รถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้โดยไม่เสียหายในขณะกำลังให้บริการ และรักษามาตรฐานในการให้บริการให้ได้ตามเป้าหมายของผู้เดินรถ

(1) การบำรุงรักษาตามระยะเวลาหรือระยะทาง (time or counter-based maintenance

สามารถแบ่งออกเป็นระยะเวลาต่างๆ เป็น สัปดาห์ (W) เดือน (M) ปี (Y) เช่น 1W, 2W, M1, M3, M6, Y1 เป็นต้น งานการซ่อมบำรุงก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละโปรแกรม โดยทั่วไปคิดว่าระยะเวลา 1 เดือน (M1) รถไฟจะวิ่งเป็นระยะทางประมาณ 15,000 กม. ทั้งนี้อาจจะมีความแตกต่างจากนี้ได้ ขึ้นอยู่กับการให้บริการเช่น ความถี่ในการวิ่งหรือระยะเวลาระหว่างคัน (time headway) ระยะทางของเส้นทางเดินรถ และลักษณะการให้บริการและตารางการเข้าซ่อมบำรุงของรถไฟฟ้า เป็นต้น

(2) การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (condition based maintenance)

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า ในการบำรุงรักษาแบบป้องกันนั้นยังมีการรวมถึงการบำรุงรักษาตามสภาพการใช้งานของอุปกรณ์ชิ้นส่วนในรถไฟฟ้าด้วย กล่าวคือบางครั้งตามสภาวะการใช้งานจริงในประเทศไทย หรือ ที่อื่นๆ มีอุณหภูมิ ความชื้น สภาพรอง การเดินรถ และสิ่งต่างๆที่แตกต่างกันออกไปจากสภาวะที่ผู้ผลิตรถไฟฟ้าใช้ในกานออกแบบและผลิต จึงทำให้มีโอกาสที่ระยะทาง หรือ ระยะเวลาในกาซ่อมบำรุงแบบป้องกันนั้นจะไม่ตรงกับความเป็นจริงที่อยู่ในเอกสารคู่มือ (manual) ซึ่งอาจจะเกินได้ทั้งการเสียหายเร็วหรือช้ากว่าที่ผู้ผลิตกำหนด ทำให้การซ่อมบำรุงตามสภาพนั้นมีความสำคัญอย่างมาก เพราะจะสามารถทราบได้ว่าควรจะซ่อมบำรุงรักษาชิ้นส่วนหรือระบบนั้นเมื่อใด และป้องกันปัญหาการเกิดความขัดข้องหรือเสียหายระหว่าการใช้งานได้ สิ่งที่สำคัญมากในการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพคือการวัด การทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.2 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (corrective maintenance)

คือการบำรุงรักษาเมื่อพบว่ามีความบกพร่องหรือเสียหาย เป็นการบำรุงรักษาเมื่อพบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้น ซึ่งคาดเดาไม่ได้ ดังนั้นเมื่อพบความเสียหายจะต้องทำการซ่อมแซมให้รถไฟสามารถใช้การได้อย่างรวดเร็ว โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารและพนักงาน

4.1.3 การบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul)

ขอบเขตของงานคือ การถอดชิ้นส่วนของระบบต่างๆออกมาตรวจสอบและปรับปรุงหรือเปลี่ยนใหม่ เช่นใน โบกี้ ระบบกันสั่นสะเทือน ระบบเบรก ระบบปรับอากาศ ระบบจ่ายลม มอเตอร์ขับเคลื่อน ห้องเกียร์ ชุดรับกระแสไฟ เป็นต้น โดยการทำการบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) จะขึ้นกับระยะเวลาและสภาพการใช้งานรถไฟฟ้านั้น (time based and condition based) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ชิ้นส่วนภายในรถไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนสภาพไปอย่างไรหลังจากใช้งาน ส่วนใหญ่แล้วงานบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) นี้จะทำทุกๆ 6 ปี หรือ 1 ล้าน กม. สำหรับรถไฟฟ้าชานเมือง (metro) ทั้งนี้ระยะเวลาในการทำการบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) จะสามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพการใช้งานและบำรุงรักษารถไฟฟ้านั้น ซึ่งอาจจะต้องทำเร็วขึ้นหรือช้าลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องทำการยืนยันโดยผู้เชี่ยวชาญและมีการเก็บข้อมูลจากระบบในรถไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ยืนยัน

4.2 ประเภทและหน้าที่ของศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟ

หลักการทำงานพื้นฐานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟคือการให้บริการ บำรุงรักษา และจอดรถไฟ ในอดีตศูนย์ซ่อมบำรุงแบ่งออกเป็นศูนย์ซ่อมบำรุงแบบเบา (Light Maintenance Depot : LMD) มักใช้สำหรับเติมเชื้อเพลิงหรือทำความสะอาดภายนอกและบำรุงรักษาล้อเลื่อนให้อยู่ในสภาพพร้อมให้บริการ กับศูนย์ซ่อมบำรุงแบบหนัก (Heavy Maintenance Depot : HMD) มักจะจำแนกตามประเภทการบำรุงรักษาและเวลาที่จะดำเนินการ ซึ่งรถไฟสมัยใหม่มักต้องการซ่อมบำรุงน้อย โดยไปเพิ่มความจุเชื้อเพลิงมากขึ้นสำหรับรถไฟดีเซล ทั้งยังสามารถที่จะวิเคราะห์ข้อบกพร่องได้เองและสังเกตการณ์ได้จากระยะไกล

อุตสาหกรรมระบบรางนั้นพัฒนาตลอดเวลาเพื่อตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งศูนย์ซ่อมบำรุงก็ถูกพัฒนาไปพร้อมกัน สามารถแบ่งประเภทและหน้าที่ได้ดังนี้

(1) สถานที่ซ่อมบำรุง (Maintenance Facility) มีสิ่งอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบและซ่อมบำรุงล้อเลื่อนได้อย่างเต็มรูปแบบ

(2) สถานที่ทำความสะอาด (Servicing Site) มีเครื่องล้างตู้โดยสารอัตโนมัติ เน้นการทำความสะอาดเป็นหลัก

(3) ลานจอดและทำความสะอาดเล็กน้อย (Stabling and Minor cleaning) มีทางสำหรับจอดรถและมีทางเดินยกระดับเพื่อเข้าถึงรถไฟ และทำความสะอาดภายใน

(4) ครบวงจร (Multi-Function) ศูนย์ซ่อมบำรุงประเภทนี้รวมการทำงานทุกอย่างของศูนย์ซ่อมบำรุงทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมา โดยปกติจะให้บริการล้อเลื่อนหลายชนิดและมีผู้ควบคุมมากกว่า 1 คน

4.3 องค์ประกอบหลักภายในศูนย์ซ่อมบำรุง

องค์ประกอบภายในศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นก็ขึ้นอยู่กับประเภทของศูนย์ซ่อม ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีรายละเอียดอาคารสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และจัดวางแผนผังของศูนย์ซ่อมบำรุงต่างกันออกไป โดยหน้าที่ของแต่ละห้อง/อาคาร และปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบองค์ประกอบต่างๆ จะมีดังนี้

4.3.1 โรงจอดรถไฟฟ้า (Stabling Yard)

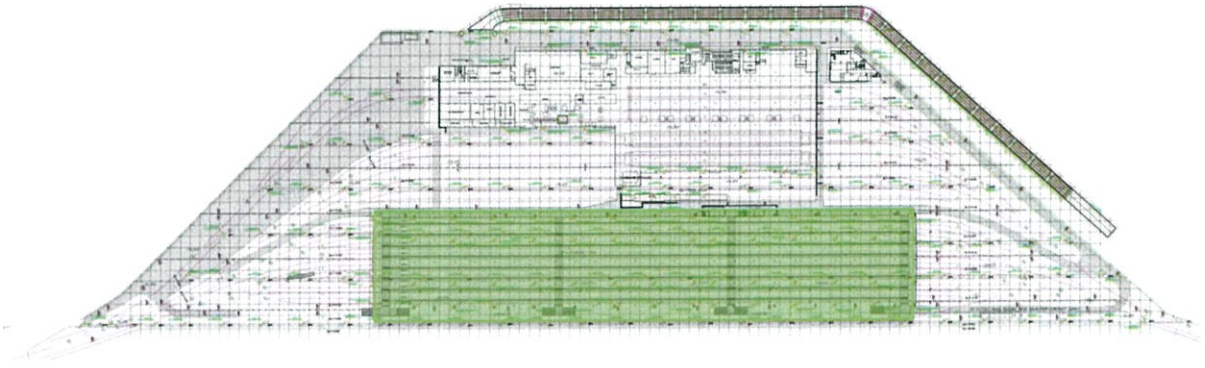
โรงจอดรถไฟฟ้า เป็นสถานที่จอดเก็บรถไฟฟ้าที่ไม่ได้นำออกไปให้บริการในเส้นทาง และไม่ได้นำไปซ่อมบำรุงหรือทำความสะอาด ควรมีพื้นที่เพียงพอสำหรับรถไฟทุกขบวนและออกแบบเผื่อการเพิ่มจำนวนรถไฟฟ้าในอนาคตด้วย โดยในหนึ่งทาง (Track) สามารถรองรับรถไฟได้มากกว่าหนึ่งขบวน และถ้าเป็นไปได้ต้องสามารถเคลื่อนที่รถไฟเข้า-ออกได้ทั้งด้านหัวและด้านท้าย เพื่อให้สามารถเข้าออกได้แม้ว่าทางใดทางหนึ่งจะถูกขัดขวางหรือมีปัญหา ความยาวของทางจอดต้องมีการเผื่อระยะสำหรับระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟฟ้ากรณีที่ใน 1 ทาง มีขบวนรถไฟฟ้าจอดมากกว่า 1 ขบวน และระยะปลอดภัยสำหรับระบบป้องกันการชน (ATP margin), safety buffer stop และอาจจะมีการเผื่อระยะสำหรับ cross pathway ในกรณีที่มีกิจกรรมการบำรุงรักษาภายในโรงเก็บรถ ระยะห่างระหว่างแต่ละแทร็คควรห่างกันประมาณ 4-6 เมตร ขึ้นอยู่กับความกว้างของรถไฟฟ้า และต้องมีทางเดิน (Access Platform) สำหรับการดำเนินกิจกรรมการทำงานภายในโรงเก็บรถ ให้มีความกว้าง ความยาว และจำนวนที่เพียงพอต่อการดำเนินกิจกรรมการทำงาน

ภายในโรงเก็บรถ เช่น การทำความสะอาด พร้อมทั้งต้องมีระบบแสงสว่างเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงาน ปัจจัยที่ควรพิจารณา ได้แก่

(1) ขนาดและความจุของโรงจอดรถไฟฟ้าที่ต้องมีการคำนวณจากจำนวนขบวนรถไฟฟ้าทั้งหมดในโครงการและต้องมีการเผื่อขบวนที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วย และต้องมีพื้นที่ทั้งหมดที่เพียงพอต่อการใช้งาน

(2) จำนวนและจุดทางเข้า-ออกสำหรับขบวนรถไฟฟ้าให้มีความสะดวกและไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของขบวนอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง

(3) ควรมีทางเดิน (Access Platform) ไว้สำหรับการเดินเข้า-ออกรถไฟฟ้าสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ทำงาน



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงจอดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีเขียว) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

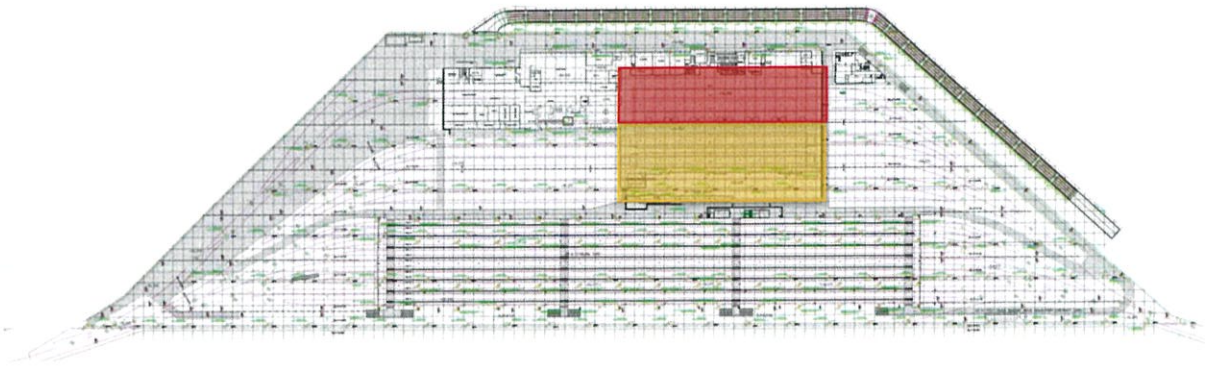
4.3.2 โรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (Heavy, Light Maintenance หรือ Main workshop)

โรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา เป็นอาคารปฏิบัติการที่มีเครื่องมือและเครื่องจักรหลายชนิดและมีทางรถไฟ (Track) ที่มีไว้สำหรับ ตรวจสอบ (Inspection) และซ่อมบำรุงขบวนรถไฟฟ้า โดยเป็นการซ่อมบำรุงที่ครบวงจร สามารถทำการถอดชิ้นส่วนและประกอบเข้าใหม่ได้ทุกส่วนของรถไฟฟ้า

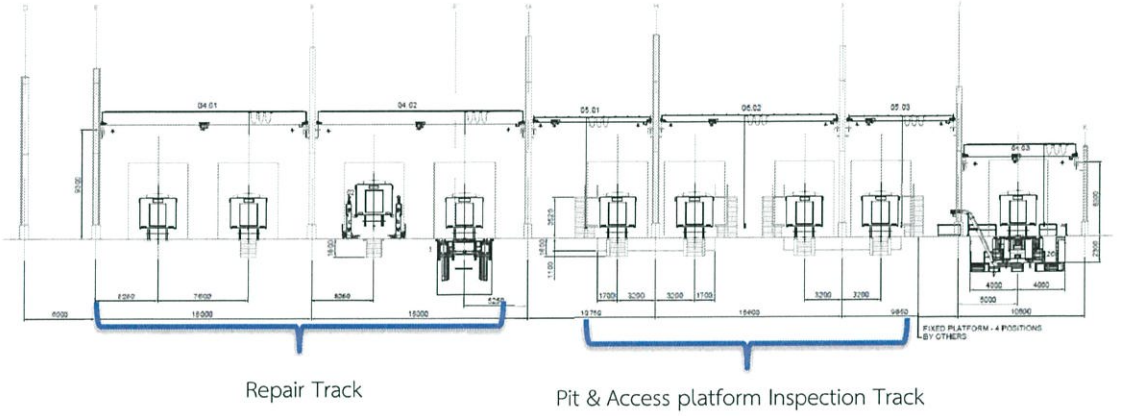
ทางที่อยู่ในโรงซ่อมบำรุงนี้หลักๆจะประกอบด้วย 2 ประเภทได้แก่

(1) ทางสำหรับการตรวจสอบรถไฟฟ้า (Inspection Track) จะมีทางเดินสำหรับตรวจสอบช่วงล่างและหลังคาของขบวนรถ (Pit and Access Platform)

(2) ทางสำหรับทำการซ่อมบำรุง (Repair Track) จะมีเครื่องจักรทุ่นแรงจำหรับอำนวยความสะดวกในการซ่อมแซมขบวนรถไฟฟ้าเช่น เครนเหนือศีรษะ (Overhead Crane)



รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (พื้นที่สีแดงและส้มตามลำดับ) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 แสดงทาง (Track) ที่อยู่ภายในโรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

สำหรับการออกแบบนั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่

(1) รูปแบบของโครงการรถไฟฟ้าและประเภทของขบวนรถที่ทำการให้บริการ เช่นถ้าเป็นรถไฟฟ้าในเมืองที่รับพลังงานไฟฟ้าผ่านทางรางที่สาม (third rail) ก็จะมีระบบจ่ายไฟภายในโรงซ่อมบำรุงหนักในรูปแบบของปลั๊กจ่ายไฟแบบ stinger แต่ถ้าเป็นรูปแบบรถไฟฟ้าแบบชานเมืองหรือรถไฟฟ้าความเร็วสูงที่รับพลังงานไฟฟ้าจากส่ายส่งเหนือหัว (Overhead Catenary System) โรงซ่อมบำรุงหนักก็จะมีการออกแบบให้มีรางจ่ายไฟฟ้าที่เป็นรางจ่ายไฟฟ้าเหนือหัว เป็นต้น นอกจากนั้น ยังเป็นตัวกำหนดว่าต้องมีเครื่องจักรและอุปกรณ์ทุ่นแรงหรือสิ่งอำนวยความสะดวกอะไรบ้าง เช่นกำหนดให้เครนเหนือหัว (Overhead Crane) ไว้สำหรับการอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งเครนเหนือหัวนี้ก็จะมีพิกัดขนาดที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการว่าในแต่ละทาง (Track) จะต้องการขนาดเท่าไหร่บ้าง

(2) จำนวนขบวนรถทั้งหมดที่วิ่งให้บริการในโครงการ จะมีผลต่อจำนวนทาง (Track) สำหรับตรวจสอบและซ่อมบำรุงภายในโรงซ่อมบำรุง ซึ่งต้องมีจำนวนที่เพียงพอต่อการเข้าซ่อมบำรุงและตรวจสอบของรถตามตารางการวางแผนซ่อมบำรุง

(3) แผนการซ่อมบำรุง จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการซ่อมบำรุงหลักๆจะมีสองประเภทคือ การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) และ การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (corrective maintenance) ดังนั้นต้องมีการกำหนดจำนวนทาง (track) ให้เพียงพอและสอดคล้องกับแผนการซ่อมบำรุงต่างๆด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันนั้นต้องมีการคำนวณจำนวนทางสำหรับตรวจสอบและซ่อมบำรุงจากรอบระยะเวลาหรือระยะทาง (time or counter-based maintenance) ที่กำหนดขึ้นมาเช่น การเข้าตรวจสอบและซ่อมบำรุงทุกๆ สัปดาห์ (W) เดือน (M) ปี (Y) เช่น 1W, 2W, M1, M3,M6, Y1 เป็นต้น งานการซ่อมบำรุงก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละโปรแกรม เช่น โดยทั่วไปคิดว่าระยะเวลา 1 เดือน (M1) รถไฟฟ้าในเมืองจะวิ่งเป็นระยะทางประมาณ 15,000 กม. ทั้งนี้อาจจะมีความแตกต่างจากนี้ได้ ขึ้นอยู่กับประเภทของการบริการดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณจำนวนทางสำหรับตรวจสอบและซ่อมบำรุงของรถไฟฟ้าความเร็วสูง

เป็นการตรวจสอบตามวาระปกติ (Regular Inspection of maintenance) ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้เวลาในการซ่อมบำรุงต่อหนึ่งขบวนเท่ากับ 4 ชั่วโมง และในเวลางานปกติต่อวันจะอยู่ที่ 8 ชั่วโมง ดังนั้นในหนึ่งวันจะสามารถทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงตามวาระปกติได้ 2 ขบวนต่อทางต่อวัน ซึ่งวงรอบของการซ่อมบำรุงประเภทนี้จะอยู่ที่ทุกๆ 30 วัน หรือทุก 30,000 กม. หากขบวนรถไฟความเร็วสูงวิ่งเกินวันละ 1,000 กม. จะทำให้ถึงวาระการเข้าตรวจสอบก่อน 30 วัน โดยทั่วไปรถไฟความเร็วสูงจะวิ่งให้บริการได้ประมาณ 1,250 กม.ต่อวัน และมีจำนวนขบวนรถทั้งหมด 66 ขบวน คำนวณได้ [20]

กรณี 1. ใน 1 ปีเมื่อหักวันหยุด จะเหลือจำนวนวันที่ทำการซ่อมบำรุง = 240 วัน
ดังนั้นจำนวนครั้งที่ต้องเข้าตรวจสอบและซ่อมบำรุงต่อ 1 ขบวนใน 1 ปีคือ

$$1{,}250\times365\times(1.1)\div30{,}000=16.73 \text{ ครั้ง/ขบวน/ปี}$$

โดยค่า factor 1.1 คือค่าความเผื่อกรณีการสูญเสียหรือสำเร็จไว้ 10%

2. จำนวนงานที่จะต้องทำตลอดทั้งปีคือ

$$66\times16.73\times1.1=1215 \text{ ครั้ง/ปี}$$

โดยค่า Factor 1.1 เป็นค่าที่เผื่อไว้กรณีหยุดชะงักหรือผิดปกติของแรงงาน

ดังนั้นจำนวนทาง (track) สำหรับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงที่ต้องการก็คือ

$$1215\div240\div2=3 \text{ แทร็ค}$$

อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นตัวอย่างการคำนวณจำนวนทางโดยยึดจากแผนการซ่อมบำรุงแบบการบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) ของระบบรถไฟฟ้าในเมืองที่มีระยะทางวิ่งต่อวันที่น้อยกว่าและวิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำกว่ารถไฟฟ้าชานเมืองหรือรถไฟฟ้าระหว่างเมือง เป็นตัวอย่างโครงการรถไฟฟ้าในเมืองของเมือง Varanasi ประเทศอินเดีย ที่มีจำนวนรถไฟฟ้าทั้งหมด 56 ขบวน เป็นขบวนรถไฟฟ้าแบบ 3-car train set และระยะเส้นทางรวมประมาณ 29.3 กม. ซึ่งในการออกแบบแผนการซ่อมบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) นั้นได้กำหนดว่าวงรอบการเข้าตรวจสอบและซ่อมบำรุงใหญ่อยู่ที่ ทุกๆ 420,000 กม. หรือ 3.5

ปี สำหรับ Intermediate Overhaul (IOH) และ ทุกๆ 840,000 กม. หรือ 7 ปี สำหรับ Periodical Overhaul (POH) ซึ่งแต่ละขบวนที่เข้าซ่อมบำรุงจะใช้เวลาในการดำเนินการอยู่ที่ 10 วันต่อขบวน และ 20 วันต่อขบวน ตามลำดับ ซึ่งจะมีวิธีคำนวณทางสำหรับดำเนินการซ่อมบำรุงรักษาใหญ่ดังนี้ [21]

จำนวนครั้งทั้งหมดที่เข้ารับการซ่อมบำรุงรักษาใหญ่ ใน 7 ปี

IOH = 1 ครั้ง/ขบวน

POH = 1 ครั้ง/ขบวน (ซึ่งเท่ากับรอบที่สองของ IOH จึงทำรวมเป็น POH)

เมื่อคิดเฉลี่ยต่อปีจะได้เท่ากับ

IOH, 1/7 = 0.14 ครั้ง/ปี

POH, 1/7 = 0.14 ครั้ง/ปี

จำนวนครั้งที่ขบวนรถไฟฟ้าเข้ารับการซ่อมบำรุงใหญ่ทั้งหมด (ทั้ง 56 ขบวน)

IOH, $0.14 \times 56 = 7.8$ ครั้ง/ปี

POH, $0.14 \times 56 = 7.8$ ครั้ง/ปี

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ

IOH = 10 วัน

POH = 20 วัน

ดังนั้น จำนวนทางที่ต้องการสำหรับการซ่อมบำรุงรักษาใหญ่จะเท่ากับ

IOH, $7.8 \div (\frac{300}{10}) = 0.26$, ปัดเป็น 1 track

POH, $7.8 \div (\frac{300}{20}) = 0.52$, ปัดเป็น 1 track

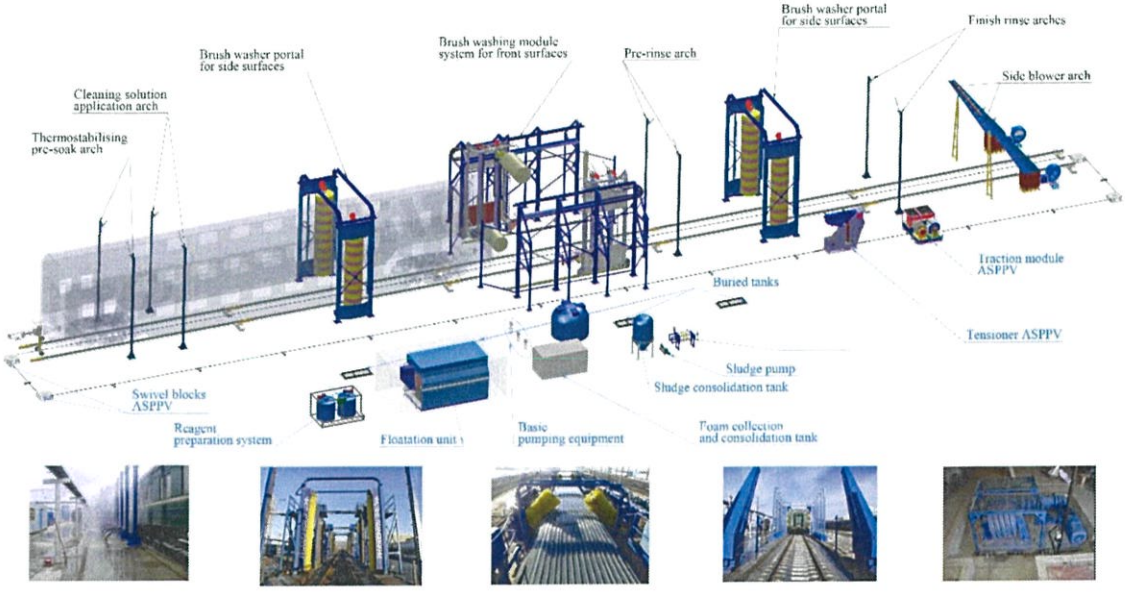
และมีการเผื่อทางไว้เพิ่มเติมอีก 2 ทาง สำหรับการซ่อมกรณีการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข หรือแบบที่ไม่อยู่ในตาราง (unscheduled maintenance) lifting, wheel, bogie ดังนั้นจึงมีการออกแบบทางสำหรับซ่อมบำรุงแบบการบำรุงรักษาใหญ่ (overhaul) รวมเป็น 4 ทาง ดังแสดงในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางการสรุปจำนวนทางสำหรับซ่อมบำรุง [21]

schedule	Schedule per train per year	Total Arising per year for disigned holding of 56 of 3 car set	Time taken overhaul	Number of lines needed	line required
IOH	1	7.8	10 day	0.26	1
POH	1	7.8	20 day	0.52	1
Unscheduled Repair/ lift / Wheel / Bogie section etc.					2
Workshop lines Provided					4

4.3.3 โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (Train Washing Plant)

โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า เป็นบริเวณที่ทำความสะอาดภายนอกตัวขบวนรถไฟฟ้าไฟฟ้าด้วยเครื่องล้างอัตโนมัติ ที่ประกอบไปด้วยก้านหมุนติดผ้า เครื่องฉีดพ่นน้ำยาทำความสะอาดและเครื่องฉีดพ่นน้ำ



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบต่างในเครื่องล้างขบวนรถไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic coach washing plant, AWP) [29]

ซึ่งปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นระบบอัตโนมัติ (Automatic coach washing plant, AWP) โดยให้ขบวนรถไฟฟ้าผ่านทางที่เป็นลักษณะคล้ายอุโมงค์ในทิศทางเดียวด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่งผ่านส่วนต่างๆ (Section) ซึ่งจะทำหน้าที่แตกต่างกันตั้งแต่การพ่นน้ำสะอาด พ่นน้ำยา ผ่านลูกกลิ้งทำความสะอาด (Brush rotor) สำหรับด้านข้าง ด้านหน้า-หลัง และหลังคาของขบวนรถ จากนั้นก็ล้างด้วยน้ำสะอาดอีกรอบเป็นการ

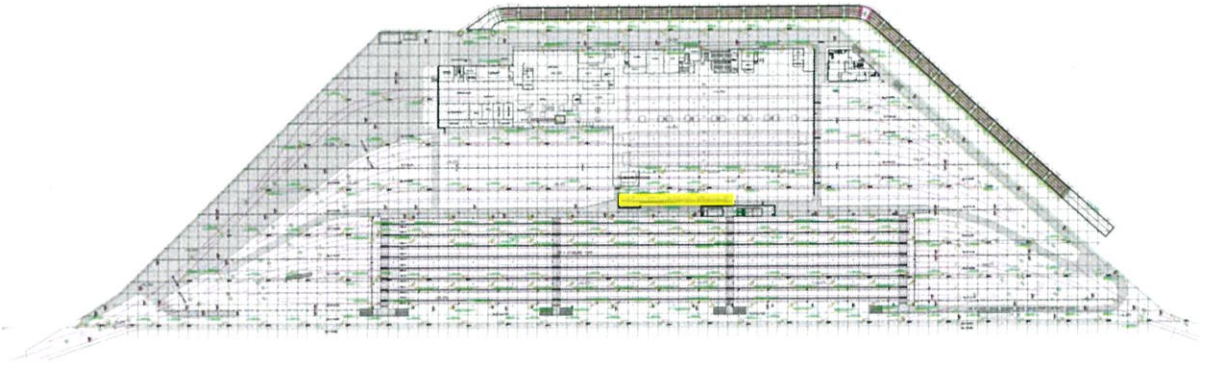
สิ้นสุดกระบวนการ สำหรับการออกแบบโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้านั้นต้องออกแบบให้ตั้งอยู่บริเวณที่สะดวกต่อการเข้า-ออกของขบวนรถไฟฟ้า และหลีกเลี่ยงบริเวณสถานที่ตั้งที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือสับเปลี่ยนขบวนรถไฟฟ้าที่ยุ่งยากภายในศูนย์ซ่อมบำรุง ดังนี้โดยส่วนมากจะตั้งอยู่บริเวณทางเข้า-ออกโรงจอดรถไฟฟ้า (Stabling yard) ซึ่งออกแบบให้ขบวนรถที่เสร็จสิ้นจากการให้บริการเข้าทำความสะอาดก่อนที่จะเข้าจอดพักรถที่โรงจอดรถไฟฟ้า หรืออาจจะอยู่บริเวณด้านข้างของโรงจอดรถไฟฟ้า นั่นคือรถที่เข้า-ออกโรงจอดรถไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องผ่านโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้านั้นเอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและความเหมาะสมของการใช้งาน ปัจจัยในการออแบบได้แก่

(1) ลักษณะของขบวนรถไฟฟ้า ทั้งความยาวขบวนรถและรูปร่างส่วนโค้งเว้าต่างๆ เพื่อออกแบบกระบวนการในการทำงานได้อย่างแม่นยำ

(2) โหมดการทำงานหรือ Service Function ว่าต้องการกำหนดการทำงานแบบไหนบ้าง

(3) ต้องมีพื้นที่ที่เพียงพอต่อการใช้งานรวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งขององค์ประกอบอื่นๆ

(4) แผนการเข้าล้างรถของโครงการ (Operation plan)



รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีเหลือง)
ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

ตัวอย่างการออกแบบ จากโครงการรถไฟฟ้าสายสีแดงช่วงบางซื่อ-รังสิต ที่มีการกำหนดรายละเอียดในการออกแบบโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้าดังนี้ [22]

1. ออกแบบให้รองรับกับขบวนรถไฟฟ้าขนาด 6 ตู้ต่อขบวน (6 car trains set) หรือประมาณ 120 เมตร

2. ออกแบบระบบให้เป็นระบบอัตโนมัติในการล้างภายนอกตัวขบวนรถไฟฟ้าทั้งด้านข้าง ด้านหน้า-หลัง และหลังคา และเดินรถในทิศทางเดียว

3. ออกแบบให้ใช้ระบบน้ำแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ พร้อมทั้งมีระบบบำบัดน้ำเสีย

4. รองรับให้ขบวนรถไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3-5 กม./ชม. ยกเว้นช่วงที่ทำความสะอาดด้านหน้า-หลังขบวนรถไฟฟ้า (cab) ต้องหยุดนิ่งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ไม่เคลื่อนที่

5. มีระบบฉีดน้ำยาล้างในแต่ละ section ที่สามารถฉีดน้ำยาได้ที่ความเข้มข้น 0.1-2.3 %

6. ต้องมีห้องควบคุมที่อยู่ติดกับทางวิ่งและสามารถควบคุมและสังเกตการณ์ได้

7. มีระบบไฟแสดงสถานะการทำงานและขั้นตอนการทำงาน (Wash status indication light) ที่เป็นสีต่างๆ ที่ทางเข้า และสามารถให้พนักงานขับรถหรือผู้ควบคุมมองเห็นได้ตลอดการทำงาน

8. สามารถเลือกโหมดการทำความสะอาดได้ (full wash, side wash only หรือ No wash) และกรณีเลือก "No wash" ขบวนรถสามารถขับผ่านโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้าได้ด้วยความเร็วไม่เกิน 25 กม./ชม. ทั้ง 2 ทิศทาง

9. กำหนดให้มีไฟแสดงตำแหน่งเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าอยู่บนแผงควบคุมของบนรถไฟฟ้า (Cab wash indication light) เพื่อนำทางพนักงานขับรถไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ขบวนรถให้ตรงตามตำแหน่งให้มีความแม่นยำอยู่ระดับ $\pm$1.2 ม.

10. ลูกกลิ้งทำความสะอาด (Brush rotor) จะทำการหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.8 กิโลวัตต์ และเคลื่อนที่แต่ละทิศทางด้วยระบบลมนิวเมติกส์และต้องมีระบบควบคุมการทำงานให้สอดคลองกับรูปร่างภายนอกของขบวนรถไฟฟ้า (Contour of the train profile)

11. การทำความสะอาดหรือล้างรถไฟฟ้าแบบเป็นลำดับ (the wash sequence) จะถูกควบคุมโดย programmatic logic controller (PLC) ที่อยู่ในส่วนควบคุมที่ออกแบบให้ใช้วัสดุที่แข็งแรงและสามารถป้องกันความชื้นได้

12. ให้มีฟังก์ชันที่สามารถควบคุมการล้างขบวนรถไฟฟ้าจากพนักงานขับรถได้ (Train driver) มีระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถนำน้ำที่ใช้แล้วให้กลับมาใช้ใหม่ได้ (Water recycling) ซึ่งระบบทั้งหมดจะอยู่ชั้นใต้ดิน

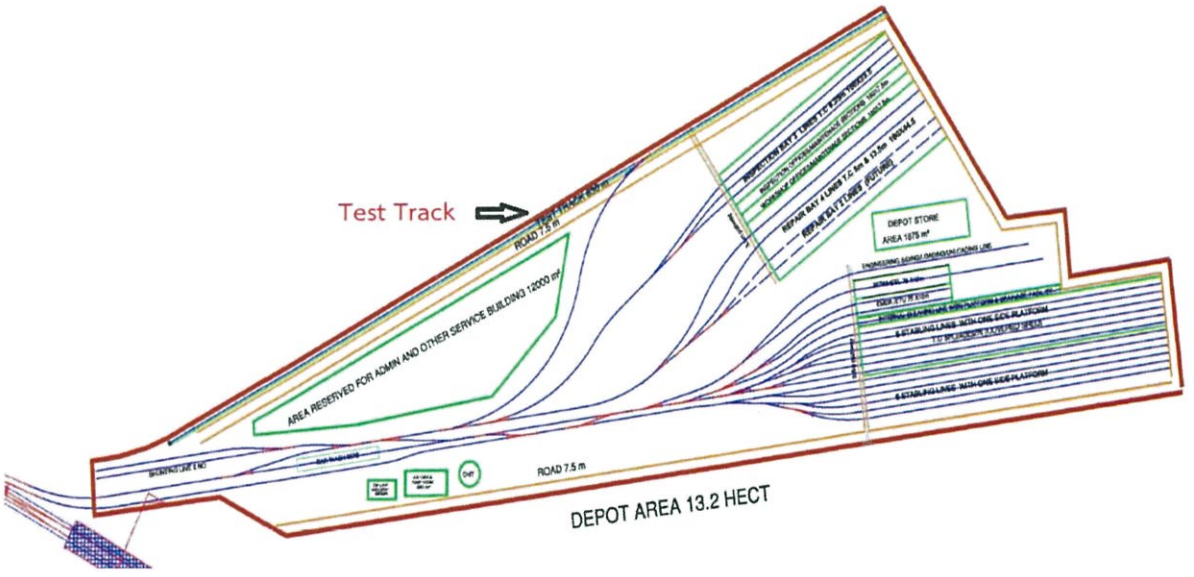
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (พื้นที่สีม่วง) ที่อยู่ภายนอกศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า โครงการรถไฟฟ้าสายสีแดงช่วงบางซื่อ-รังสิต

4.3.4 ทางวิ่งทดสอบ (Test track)

ทางวิ่งทดสอบ เป็นทางสำหรับใช้วิ่งทดสอบขบวนรถไฟฟ้าที่ได้รับการรับมอบในตอนเริ่มโครงการก่อนให้บริการหรือทดสอบสมรรถนะของขบวนรถไฟฟ้าหลังจากผ่านการซ่อมบำรุง (post-inspection test runs) ในชิ้นส่วนหลัก (Major repair) และซ่อมบำรุงรักษาใหญ่ (Overhaul) การทดสอบในทางวิ่งทดสอบนี้จะทดสอบแบบความเร็วต่ำ (low-speed dynamic tests) เพื่อสังเกตการณ์ การทำงานขอองระบบต่างๆเช่นระบบอาณัติสัญญาณ (พวก ATO/ATP) หรือระบบที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อน (Traction) เป็นต้น สถานที่ตั้งทางทดสอบนั้นจะต้องมีทางเชื่อมกับโรงซ่อมบำรุงและโรงจอดขบวนรถไฟฟ้าเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ตำแหน่งที่สะดวกและนิยมมากที่สุดคือแนวของทางวิ่งทดสอบจะทอดตัวไปตาม

แนวยาวของที่ดินศูนย์ซ่อมบำรุง และอีกลักษณะคือจะทำทางวิ่งทดสอบขนานไปกับทางประธาน (Main line) ซึ่งต้องแยกออกจากทางประธานอย่างชัดเจน (Separately) แต่ก็จะมีบางโครงการที่มีอุปสรรคในเรื่องข้อจำกัดของที่ดินที่มีไม่พอหรือแนวการวางที่ดินไม่เหมาะสมที่จะทำทางวิ่งทดสอบลักษณะเช่นนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ทางประธานเป็นทางวิ่งทดสอบแทน ซึ่งอาจมีความไม่สะดวกในการใช้งานเนื่องจากเป็นการใช้ทางร่วมกับการบริการเดินรถ จึงมีการวิ่งทดสอบในเวลาหลังปิดให้บริการเดินรถแทน หรือการใช้ทางที่อยู่ในโรงจอดรถไฟฟ้า (Stabling yard) ในการทดสอบแทน สำหรับความยาวของทางวิ่งทดสอบนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของรถ ความยาวของขบวนรถ และฟังก์ชันการตรวจสอบว่าต้องการจะทำการทดสอบอะไรบ้าง โดยส่วนมากจะอยู่ที่ 600 ถึง 2000 เมตร โดยคำนึงปัจจัยดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศูนย์ซ่อมบำรุงเช่น วางตัวเป็นแนวยาวหรือเป็นพื้นที่จัตุรัส เป็นต้น
2. ความยาวของขบวนรถและความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ
3. แผนการซ่อมบำรุงและแผนการทดสอบขบวนรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 รูปแบบการวางทางทดสอบ (Test Track) จะวางตัวด้านข้างตามยาวของพื้นที่โรงซ่อมบำรุง [6]

ตัวอย่างรถไฟฟ้าในเมือง (Metro) เป็นตัวอย่างโครงการรถไฟฟ้าในเมืองของเมือง Varanasi ประเทศอินเดีย เป็นขบวนรถไฟฟ้าแบบ 3-car train set ความยาวขบวนรถไฟฟ้าประมาณ 65 เมตร ใช้ความเร็วสูงในการวิ่งบริการอยู่ที่ 80 กม./ชม. ได้ออกแบบให้ทางวิ่งทดสอบมีความยาง 630 เมตร มีการติดตั้งอุปกรณ์อาณัติสัญญาณประเภท ATP และ ATO และมาการกำหนดขอบเขต (Boundary) ของทางวิ่งทดสอบอย่างชัดเจนโดยการล้อมรั้วเพื่อป้องกันบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องเข้ามาในพื้นที่ตามที่มาตรฐานความปลอดภัย

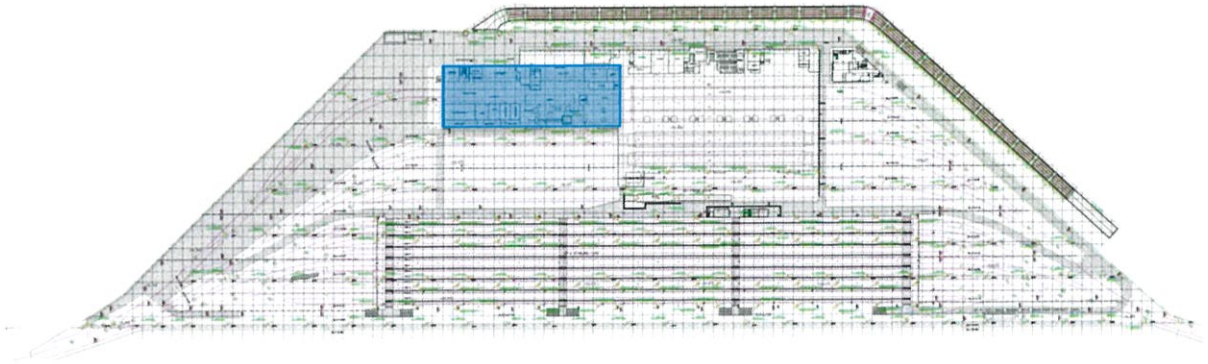
ตัวอย่างเช่นโครงการรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงช่วงบางซื่อ-รังสิต ที่เป็นรูปแบบขบวนรถไฟฟ้าชานเมือง (Commuter train) ที่วิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยในการบริการอยู่ที่ 140 กม./ชม. ความขบวนรถไฟฟ้าสูงสุดคือ 250 เมตร (25x10 เมตร) ได้มีการออกแบบให้ ทางวิ่งทดสอบมีความยาว 1500 เมตร

และเป็นทางวิ่งเดียวกับทางที่ใช้เชื่อต่อระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้ากับทางประธาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง [23]

4.3.5 โรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง (Infrastructure workshop)

โรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง เป็นอาคารที่มีไว้สำหรับการซ่อมบำรุงส่วนโครงสร้างโยธาเช่น ทางวิ่ง (Track work) ราง รวมทั้งระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้งหมดยกเว้นระบบล้อเลื่อน (Rolling Stock) เช่นระบบอาณัติสัญญาณ (Signalling) ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power supply) ระบบควบคุม SCADA หน่วยซ่อมบำรุงทางด้านอาคารต่างๆ (Building maintenance) ระบบจำหน่ายตั๋ว (Automatic fare collection) เป็นต้น ซึ่งในโรงซ่อมบำรุงโครงสร้างนี้จะมีทาง (Track) สำหรับรถไฟชนิดต่างๆที่ทำหน้าที่ซ่อมบำรุงในส่วนต่างๆเช่น รถซ่อมบำรุงทาง (Infrastructure Maintenance Vehicle) รถเจียราง (Rail reprofiling Equipment : Grinder) รถตรวจราง (Ultrasonic Inspection vehicle) รถลากจูง (shunting loco) เป็นต้น รวมถึงมีอุปกรณ์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟเหล่านี้ด้วย

การออกแบบโรงซ่อมบำรุงโครงสร้างที่ดีจะต้องแยกอาคารออกจากโรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (Heavy, Light Maintenance หรือ Main workshop) เพื่อไม่ให้เกิดการกีดขวางการทำงานของแต่ละส่วน แยกส่วนการทำงานอย่างชัดเจน และไม่ให้มีการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้าที่ต้องยากลำบากหรือยุ่งยาก เช่นตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของโรงซ่อมบำรุง เป็นต้น ภายในจะประกอบด้วยห้องหรือบริเวณของระบบต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น และมีพื้นขนาดใหญ่สำหรับเก็บวัสดุและอุปกรณ์ (Material Storage) เช่นราง (Rail) เครื่องยึดเหนี่ยวราง (Rail fastener) ต้องมีทางและพื้นที่สำหรับขนถ่ายอุปกรณ์ที่มาทางรถบรรทุกอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของโรงซ่อมบำรุงโครงสร้างที่ต้องออกแบบให้มีประตูขนาดใหญ่และทางขนถ่ายที่สะดวก พร้อมทั้งมีทาง (Track) สำหรับรถไฟซ่อมบำรุงต่างๆ อย่างน้อย 1 ถึง 2 ทาง และมีอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกในการซ่อมบำรุงรถซ่อมบำรุงเองอีกด้วยเช่น Mobile lifting jack เป็นต้น



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงพื้นที่ของโรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง (พื้นที่สีฟ้า) ที่อยู่ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

4.3.6 ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลัก (Operation Control Center : OCC)

ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถ เป็นห้องที่มีลักษณะเหมือนศูนย์สั่งการขนาดใหญ่ มีหน้าที่วางแผนควบคุม แก้ไขสถานการณ์ในการเดินรถรวมถึงยังควบคุมสั่งการระบบย่อย (Sud system) เช่นระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบสื่อสาร รวมไปถึงอาณัติสัญญาณ ซึ่งในห้องดังกล่าวจะมีจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่สามารถแสดงการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ในทางประธาน (Main line) และที่จอดอยู่ในศูนย์ซ่อมบำรุงทั้งหมด นั่นหมายความว่าศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถแห่งนี้เปรียบเหมือนหัวใจหลักในควบคุมดูแลและให้บริการระบบรถไฟทั้งหมดของโครงการ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงได้มีมาตรการรองรับในยามฉุกเฉินนั่นคือเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินเช่นแผ่นดินไหว ไฟไหม้ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถ หรือเหตุการณ์อื่นๆที่มีผลกระทบต่อระบบการเดินรถ ระบบที่สำคัญๆเช่นระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบอาณัติสัญญาณและการเดินรถต้องดำเนินการได้ต่อไปอย่างปลอดภัยจนกว่าเข้าสู่สภาวะปกติ จึงเป็นที่มาของการกำหนดให้มีการออกแบบและสร้างระบบสำรองขึ้น

ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรอง (Fallback Control Center : CBOCC) เป็นศูนย์ที่ใช้สำหรับกรณีฉุกเฉินเช่นไฟไหม้อาคารที่มีศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลัก (Operation Control Center : OCC) จนระบบได้รับความเสียหาย ดังนั้นศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองจะทำหน้าที่ในการเดินรถแทนและกู้สถานะการการเดินรถกลับมาให้เป็นปกติ ดังนั้นจึงมีอุปกรณ์และระบบสำคัญเหมือนกับศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลัก เช่นระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบอาณัติสัญญาณและการเดินรถ เป็นต้น ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองนั้นจะตั้งอยู่ในอาคารคนละหลังกับศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลักเพื่อว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินกับศูนย์หลัก ศูนย์สำรองต้องพร้อมใช้งาน ในบางโครงการได้มีการจัดตั้งศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลักและศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองอยู่ในบริเวณเนื้อที่เดียวกันแต่อยู่กันคนละอาคารกันเช่นโครงการรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิ้งที่ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถถหลักจะอยู่ที่อาคารซ่อมบำรุงหนัก (Main workshop) และศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองจะอยู่ที่อาคารโรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง (Infrastructure workshop) หรือบางโครงการที่ศูนย์ทั้งสองอยู่คนละเนื้อที่กัน เช่นโครงการรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดง บางซื่อ-รังสิต ที่ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลักจะอยู่ที่สถานีกลาบางซื่อ (Bang Sue Grand Station) ส่วนศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองจะอยู่ที่อาคารซ่อมบำรุงหนัก ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องคำนึงถึงเวลาในการดำเนินการกู้ระบบหรือการเดินทางของบุคลากรจากศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถหลักที่เสียหายไปยังส่วนศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถสำรองด้วย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าและพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบแต่ละองค์ประกอบพบว่า องค์ประกอบที่มีผลและเกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า (Electrical Rolling Stock) จะมีเพียง โรงเก็บรถ (Stabling Yard), โรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (Heavy, Light Maintenance หรือ Main workshop), โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (Train Washing Plant) และทางวิ่งทดสอบ (Test track) เท่านั้น ดังนั้นในการออกแบบต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่กล่าวมาข้างต้นให้สอดคล้องกับกิจกรรมและงานซ่อมบำรุงให้มากที่สุด ส่วนองค์ประกอบอื่นได้แก่ โรงซ่อมบำรุงโครงสร้าง (Infrastructure workshop) และ ศูนย์ควบคุมปฏิบัติการเดินรถ (Operation Control Center : OCC) จะไม่ค่อยมีผลต่อต่องานหรือกิจกรรมการซ่อมบำรุงมากนัก ดังเห็นได้จากในบางโครงการจะแยกองค์ประกอบทั้งสองออกจากโรงซ่อมบำรุง เพื่อความเหมาะสมเป็นต้น

4.4 เครื่องจักรภายในโรงศูนย์ซ่อมบำรุงหลัก

(1) เครนเหนือศีรษะ (Overhead Crane) เป็นอุปกรณ์หยิบจับมีทั้งแบบที่ติดตั้งอยู่บนคานและแบบเคลื่อนย้ายได้ ตัวยกเป็นมอเตอร์ติดรอก สามารถเคลื่อนที่ซ้ายขวาได้ตามการควบคุมด้วยปุ่มควบคุมแบบมีสาย เครนมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับการใช้งาน

รูปที่ 4.9 เครนเหนือศีรษะ [30]

(2) เครื่องยกต่างๆ (Lifting Jack) มักติดตั้งบริเวณหลุมตรวจสอบ เครื่องยกมีทั้งแบบตั้งพื้นที่สามารถเคลื่อนย้ายได้และแบบฝังใต้พื้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ยกขบวนรถขึ้นเหนือระดับพื้นเพื่อตรวจสอบหรือเพื่อถอดแคร่ มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับการใช้งาน

รูปที่ 4.10 Portable/Mobile Lifting Jacks [31]

รูปที่ 4.11 Underfloor lifting jack [32]

(3) เครื่องกลึงล้อ (Wheel Lathe) เป็นเครื่องกลึงล้ออัตโนมัติตามแบบรูปร่างของล้อที่กำหนดไว้ด้วยโปรแกรม ส่วนมากเป็นแบบใต้พื้นเนื่องจากสะดวกต่อการใช้งาน รถไฟสามารถเคลื่อนที่เข้าไปบนบริเวณเครื่องจักรได้เลยโดยไม่ต้องถอดแคร่ออก

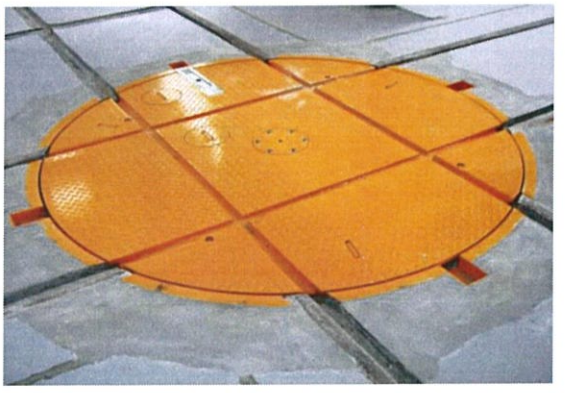
(4) เครื่องทดสอบสปริง (Spring Test Stand) เป็นเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงและคุณสมบัติของสปริงที่ติดตั้งบนชุดแคร่ ซึ่งสปริงมีหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนในการเคลื่อนที่ของรถไฟ

รูปที่ 4.12 Wheel lathe [33]

รูปที่ 4.13 Vertical spring test stand [34]

(5) เครื่องทดสอบน้ำหนักกดล้อ (Wheel Press) เป็นเครื่องที่กดแรงลงไปบนแคร่เพื่อทดสอบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของแคร่ก่อนที่จะนำไปใช้

(6) โต๊ะเปลี่ยนทางสำหรับแคร่ (Bogie Turntable) เป็นอุปกรณ์ฝังพื้นดิน สามารถหมุนได้รอบตัว ใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางของแคร่ในโรงซ่อมบำรุงเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังทางต่างๆที่ต้องการ



รูปที่ 4.14 Dual End Combination Wheel Press [35]

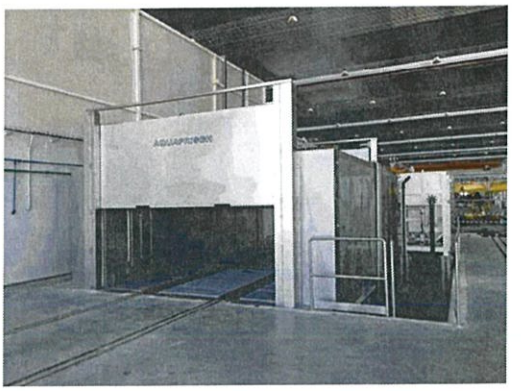
รูปที่ 4.15 Bogie turntable [36]

(7) เครื่องตัด / เจาะ / เลื่อย / เชื่อม / เจียร (Cutting / Driller / Saw / Grinder) เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

(8) ห้องพ่นสี (Paint Booth) เป็นห้องที่มีระบบจัดการอากาศอย่างดี เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ใช้สำหรับพ่นสีตัวรถไฟฟ้า หรือชิ้นส่วนเล็กๆ

(9) เครื่องทำความสะอาดแคร่ (Bogie Washing Plant) เป็นตู้ฉีดพ่นน้ำแรงดันสูงเพื่อทำความสะอาดแคร่

รูปที่ 4.16 ห้องพ่นสี [37]



รูปที่ 4.17 Bogie Washing Plant [38]

(10) เครื่องถอดแบริ่ง (Bearing removal and pressing) เนื่องจากแบริ่งเป็นอุปกรณ์รับน้ำหนัก หากเสียหายอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ จึงต้องถอดออกไปเพื่อบำรุงรักษาและใส่แบริ่งอันใหม่

(11) เครื่องทดสอบมอเตอร์ขับเคลื่อน (Traction Motor Test) ใช้สำหรับทดสอบมอเตอร์ขับเคลื่อน เพื่อความปลอดภัยและพร้อมใช้งาน

(12) ตู้อบแห้ง (Dryer Oven) สำหรับทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนแห้ง รวมถึงชิ้นส่วนอื่นๆ

(13) เครื่องสร้างความดันลม (Air Compressor) สร้างความดันลมเพื่อใช้ในระบบเบรก ระบบทำความสะอาดและซ่อมบำรุงต่างๆ

(14) เครื่องบำรุงรักษาระบบเบรก (Brake Maintenance)

(15) เครื่องบำรุงรักษาประตู (Door Maintenance)

(16) เครื่องบำรุงรักษาข้อพ่วง (Coupler Maintenance)

(17) เครื่องบำรุงรักษาแบตเตอรี่ (Battery Maintenance)

(18) อุปกรณ์ยกแคร่ (Bogie Work Stand) เป็นอุปกรณ์สำหรับตั้งแคร่ไว้เหนือระดับพื้นเพื่อบำรุงรักษา

(19) หลุมตรวจสอบแบบต่างๆ (Pit) เป็นหลุมแนวยาวด้านล่างของทางรถไฟ มีไว้สำหรับให้พนักงานเดินตรวจสอบด้านล่างของรถไฟ มีทั้งแบบหลุมทึบที่ไม่สามารถเข้า-ออกทางด้านข้างได้ (เข้า-ออกได้เพียงแค่ด้านหัวและท้าย) และมีทั้งหลุมที่สามารถเข้า-ออกด้านข้างได้ เนื่องจากใช้เสาคอนกรีตเป็นส่วนรองรับทางรถไฟไว้ ซึ่งหลุมชนิดนี้สะดวกต่อการทำงาน และอากาศถ่ายเทสะดวก

(20) ทางเดิน (Walkways) เป็นโครงสร้างแนวยาวขนานขบวนรถ คล้ายนั่งร้านสามารถมีได้ทั้งระดับประตูรถสำหรับเข้าไปสำรวจภายในขบวนรถหรือทำความสะอาด และระดับหลังคาสำหรับตรวจสอบอุปกรณ์บนหลังคา

(21) เครื่องกดแคร่ (Bogie preload stand) เป็นเครื่องจักรสำหรับกดแรงลงบนเพลาของแคร่เพื่อทดสอบความสามารถก่อนจะนำไปประกอบกับตู้รถไฟ

(22) โต๊ะยกแคร่ใต้พื้น (Bogie Drop Table) เป็นโต๊ะที่เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ เครื่องจักรอยู่ใต้พื้น เคลื่อนที่ลงเพื่อแยกแคร่ออกจากตู้รถไฟ และจะเคลื่อนที่ไปส่งและรับแคร่ชิ้นใหม่ที่ทำการบำรุงรักษาแล้ว มาประกอบกลับเข้าที่ตู้รถไฟดังเดิม สามารถทำได้โดยที่ไม่ต้องยกขบวนรถไฟขึ้นจากระดับพื้น

รูปที่ 4.18 Bogie drop table [39]

รูปที่ 4.19 Bogie preload stand [40]

4.5 กรณีศึกษาโดยใช้แบบสอบถาม

กรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาประสบการณ์ในการทำงานและความคิดเห็นของพนักงานบำรุงรักษาที่สังกัดอยู่ภายในองค์การที่ดำเนินงานโครงการรถไฟฟ้าภายในกรุงเทพมหานคร ซึ่งผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์ไปยังหน่วยงานเพื่อขอข้อมูลสำหรับงานวิจัย โดยมีเป้าหมายคือศูนย์ซ่อมบำรุง 4 แห่ง โดยมีรายละเอียดการตอบรับ ดังนี้

1. อนุมัติความอนุเคราะห์ 1 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 25
2. ไม่อนุมัติความอนุเคราะห์ 1 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 25
3. ไม่ได้รับการตอบรับ 2 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 50

ดังนั้นในผลการวิจัยในส่วนนี้จะมีกรณีตัวอย่างเพียงแห่งเดียวโดยผู้วิจัยให้ชื่อศูนย์ซ่อมบำรุงแห่งนี้ว่า Depot A ซึ่งได้รับผลการสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 21 คน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจาก Depot A

ข้อมูลทั่วไป	รายละเอียด	
	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	20	95.24
หญิง	1	4.76
รวม	21	100
2. อายุ		
21-30 ปี	13	61.91
31-40 ปี	7	33.33
41-50 ปี	1	4.76
รวม	21	100
ข้อมูลทั่วไป	**รายละเอียด**	
	จำนวน	**ร้อยละ**
3. ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่าปริญญาตรี	9	42.86
ปริญญาตรี	11	52.38
ปริญญาโท		
ปริญญาเอก		
อื่นๆ	1	4.76
รวม	21	100
4. แผนกการทำงาน		
Rolling Stock	21	100
รวม	21	100
5. ตำแหน่ง		
Supervisor	3	14.29
Engineer	6	28.57
Technician	12	57.14
รวม	21	100
6. ลักษณะงานที่ทำ		
ซ่อมบำรุง	18	85.72
ควบคุมงานซ่อมบำรุง	2	9.52
อื่นๆ	1	4.76
รวม	21	100
7. ประสบการณ์การปฏิบัติหน้าที่		
0 – 5 ปี	17	80.95
6 – 10 ปี	3	14.29
10 – 20 ปี	1	4.76
มากกว่า 20 ปี		
รวม	21	100

จากผลการสอบถามกลุ่มตัวอย่างตามตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าพนักงานที่มีความเกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าในศูนย์ซ่อมบำรุง A (Depot A) มีพนักงานส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 95.24 อายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 61.91 มีตำแหน่งการทำงานเป็นช่างเทคนิคมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.14 รองลงมาคือวิศวกร คิดเป็นร้อยละ 28.57 หน้าที่ที่ทำงานมากที่สุดคืองานซ่อมบำรุง คิดเป็นร้อยละ 85.72 รองลงมาคือหน้าที่ควบคุมงานซ่อมบำรุง คิดเป็นร้อยละ 9.52 และพนักงานที่ทำแบบสอบถามส่วนมากมีประสบการณ์ในการปฏิบัติหน้าที่ 0-5 ปี คิดเป็นร้อยละ 80.95 รองลงมาคือ 6-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 14.29

ตอนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับโรงซ่อมบำรุง

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามจาก Depot A

หัวข้อ	รายละเอียด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ	ลำดับที่
ส่วนที่ 1 ความเพียงพอของพื้นที่ใช้สอยภายในโรงซ่อมบำรุง					
1.1	พนักงานมีพื้นที่ในการเข้าตรวจสภาพขบวนรถได้อย่างสะดวกและเหมาะสม (Rolling Stock Inspection)	3.857	0.71	ดี	8
1.2	พนักงานมีพื้นที่ใช้สอยในการทำงานซ่อมบำรุงภายในแผนกเพียงพอ (พื้นที่ใช้สอยภายในบริเวณทำงาน เช่น พื้นที่สำหรับซ่อมบำรุง Traction Motor)	3.857	0.64	ดี	8
1.3	มีทาง (Track) เพียงพอสอดคล้องกับปริมาณการซ่อมบำรุงรถไฟในแต่ละวัน	4.048	0.65	ดี	5
1.4	พื้นที่สำหรับพักจากการทำงานมีเพียงพอต่อจำนวนพนักงาน	3.333	0.64	ปานกลาง	14
1.5	มีพื้นที่หรือทางสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่สะดวกและเหมาะสม	3.571	0.58	ดี	11
1.6	พื้นที่ในการทำงานอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม (เช่น โครงสร้างพื้นมีความแข็งแรงและมีหลังคาครอบคลุมทั่วพื้นที่การทำงาน)	3.905	0.81	ดี	7
ส่วนที่ 2 ความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุง					
2.1	เครื่องจักรหลายชนิดที่ต้องใช้ต่องานหนึ่งงาน ถูกติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกันอย่างเหมาะสม (ตัวอย่างเช่น งานที่ต้องใช้เครื่องจักรหลายชนิดในการซ่อมบำรุง หากเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้อยู่ใกล้กัน ก็จะทำให้การทำงานสะดวกยิ่งขึ้น)	3.571	0.58	ดี	11
2.2	เครื่องมือเครื่องจักรทุกชิ้นถูกใช้งานอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (ใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์ของเครื่องมือเครื่องจักร และไม่มีเครื่องมือเครื่องจักรชิ้นไหนไม่ถูกใช้งาน)	3.571	0.66	ดี	11

หัวข้อ	รายละเอียด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ	ลำดับที่
2.3	พื้นที่ของแต่ละแผนกถูกจัดเรียงเพื่อความสะดวกตามลำดับของการซ่อมบำรุง ทำให้การหมุนเวียนของงานมีความคล่องตัว	3.524	0.66	ดี	12
2.4	เครื่องมือเครื่องจักรมีความทันสมัยและตอบสนองต่อการทำงานให้ดีขึ้น (เช่น ทำงานได้รวดเร็วหรือมีประสิทธิภาพ)	3.952	0.58	ดี	6
2.5	จำนวนของเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานเพียงพอและสัมพันธ์กับปริมาณงาน	3.810	0.5	ดี	9
2.6	ท่านไม่มีอุปสรรคในการใช้งานเครื่องมือ	3.762	0.87	ดี	10
ส่วนที่ 3 ความปลอดภัยในการใช้งานพื้นที่					
3.1	มีป้ายระบุคำเตือนและคำแนะนำก่อนเข้าโรงซ่อมบำรุง	4.095	0.53	ดี	4
3.2	มีป้ายระบุคำเตือนและคำแนะนำก่อนใช้งานเครื่องมือเครื่องจักร	4.143	0.47	ดี	3
3.3	มีการบำรุงรักษาเครื่องมือเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ	4.286	0.55	ดี	1
3.4	มีเขตบอกพื้นที่ที่อาจได้รับอันตรายอย่างชัดเจน	4.238	0.53	ดี	2
3.5	ภายในโรงซ่อมบำรุงมีอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัยทั่วถึง	4.286	0.55	ดี	1
3.6	บริเวณการทำงานไม่อยู่ใกล้พื้นที่อันตราย (เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, ห้องเก็บถังแรงดันสูง)	3.905	0.61	ดี	7
3.7	ความปลอดภัยจากเครื่องมือเครื่องจักรภายในแผนกของท่าน	3.952	0.79	ดี	6
ส่วนที่ 4 สุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุง					
4.1	พื้นที่บริเวณโรงซ่อมบำรุงและพื้นที่ทำงานไม่มีน้ำหรือสิ่งสกปรกขังที่พื้น	2.905	1.11	ปานกลาง	15
4.2	พื้นที่บริเวณโรงซ่อมบำรุงและพื้นที่ทำงานมีอากาศถ่ายเทสะดวก	3.810	0.85	ดี	9
4.3	ระบบน้ำเพียงพอและพร้อมใช้งานตลอดเวลา	3.476	0.85	ปานกลาง	13
4.4	ระบบไฟฟ้าเพียงพอและพร้อมใช้งานตลอดเวลา	3.905	0.68	ดี	7
	เฉลี่ยรวม	3.816	0.758	ดี	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย มากกว่า 4.5 = ดีมาก 3.5-4.49 = ดี 2.5-3.49 = ปานกลาง 1.5-2.49 = ค่อนข้างไม่ดี น้อยกว่า 1.49 = ไม่ดี

จากผลการสอบถามกลุ่มตัวอย่างตามตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าคิดว่าศูนย์ซ่อมบำรุง A มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีในการซ่อมบำรุง โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยรวม เท่ากับ 3.816 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม เท่ากับ 0.758 เมื่อพิจารณาความคิดเห็นที่มีต่อศูนย์ซ่อมบำรุงในรายข้อ จะเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย ดังต่อไปนี้

ลำดับที่ 1 ศูนย์ซ่อมบำรุงมีความปลอดภัยโดยมีการบำรุงรักษาเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ และมีอุปกรณ์ในการป้องกันอัคคีภัยติดตั้งไว้อย่างทั่วถึง สามารถปฏิบัติงานได้อย่างเต็มความสามารถ ลดความกังวลจากอันตรายได้ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 4.286 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.55

ลำดับที่ 2 ศูนย์ซ่อมบำรุงมีความปลอดภัยโดยมีการระบุเขตพื้นที่ที่อาจได้รับอันตรายไว้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสระวังตนเองหากเดินหรือทำงานอยู่ในพื้นที่อันตราย และยังมีเขตปลอดภัยที่แน่นอนสำหรับผู้เยี่ยมชมที่ไม่ชำนาญทางหรือไม่ทราบถึงความอันตรายในพื้นที่ที่ทำงานอีกด้วย โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 4.238 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53

ลำดับที่ 3 ศูนย์ซ่อมบำรุงมีป้ายระบุคำเตือนถึงความอันตรายและคำแนะนำเรื่องการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรไว้อย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานใช้งานเครื่องมือได้อย่างถูกวิธีและไม่เกิดอันตรายเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้งานก็ไม่เสียหายหากนำไปใช้งานผิดวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 4.143 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.47

ลำดับที่ 4 ศูนย์ซ่อมบำรุงมีป้ายระบุคำเตือนและแนะนำการแต่งกายหรืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายบริเวณทางก่อนเข้าโรงซ่อมบำรุงชัดเจน ซึ่งส่งผลในเรื่องความปลอดภัยของทุกคนต้องการเข้าโรงซ่อมบำรุง โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 4.095 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53

ลำดับที่ 5 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีทางรองรับรถไฟฟ้าเหมาะสมกับปริมาณงานในการซ่อมบำรุงในแต่ละวัน ส่งผลในเรื่องพื้นที่ในการปฏิบัติงาน และสามารถซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึง โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 4.048 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.65

ลำดับที่ 6 เครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุงนั้นทันสมัยและตอบสนองการทำงานได้ดี ทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และยังมีความปลอดภัยในการใช้งานเนื่องจากได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมออีกด้วย โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.952 และพนักงานแต่ละคนมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.58 และ 0.79 ตามลำดับ

ลำดับที่ 7 บริเวณพื้นที่ทำงานซ่อมบำรุงตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสม โครงสร้างพื้นแข็งแรงทนทานและมีหลังคาครอบคลุมตลอดพื้นที่ และยังมีความปลอดภัยเนื่องจากไม่อยู่ใกล้พื้นที่อันตราย เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงหรือห้องเก็บถังแรงดันสูงด้วย นอกจากนี้ยังมีระบบไฟฟ้าเพียงพอและพร้อมใช้งานเพื่อการซ่อมบำรุงตลอดเวลา โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.905 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.81, 0.61 และ 0.68 ตามลำดับ

ลำดับที่ 8 โรงซ่อมบำรุงมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการตรวจสภาพรถไฟฟ้า พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างสะดวก และแต่ละพื้นที่การทำงานมีพื้นที่ใช้สอยเพียงพอ ไม่ล้ำเขตการทำงานออกไปยังพื้นที่ปลอดภัย โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.857 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.71 และ 0.68 ตามลำดับ

ลำดับที่ 9 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีเครื่องมือเครื่องจักรเพียงพอเหมาะสมและสัมพันธ์กับปริมาณการซ่อมบำรุง และยังมีอากาศถ่ายเทสะดวก พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้โดยไม่อึดอัดและไม่เสียสุขภาพส่งผลดีในเรื่องสุขลักษณะ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.81 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.5 และ 0.85 ตามลำดับ

ลำดับที่ 10 พนักงานส่วนใหญ่ในส่วนของงานซ่อมบำรุงไม่มีอุปสรรคในการใช้งานเครื่องมือ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.762 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.87

ลำดับที่ 11 ภายในศูนย์ซ่อมบำรุงมีพื้นที่หรือทางสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่สะดวกและเหมาะสมนอกเหนือไปจากพื้นที่ที่ใช้ปฏิบัติงาน และมีการจัดกลุ่มเครื่องจักรในการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนหนึ่งไว้บริเวณใกล้เคียงกันอย่างเหมาะสม เนื่องจากบางชิ้นส่วนต้องการใช้เครื่องจักรมากกว่าหนึ่งชนิดในการซ่อมบำรุง ทำให้สามารถซ่อมบำรุงชิ้นส่วนนั้นๆ ได้รวดเร็วมากขึ้น และเครื่องจักรเกือบทุกชนิดยังถูกใช้งานได้คุ้มค่าตรงตามวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.571 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.58 และ 0.66 ตามลำดับ

ลำดับที่ 12 พื้นที่การปฏิบัติงานแต่ละส่วนการซ่อมบำรุงถูกจัดตั้งเรียงตามลำดับในการซ่อมบำรุงอย่างดี เพื่อทำให้หมุนเวียนงานได้คล่องตัว ไม่โยกย้ายกลับไปมา ไม่ขัดขวางการทำงานของแต่ละส่วน ช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานได้ พิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.524 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.66

ลำดับที่ 13 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีระบบน้ำสำหรับการซ่อมบำรุงไม่ค่อยเพียงพอและไม่พร้อมใช้ได้ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลต่อสุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุง พิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.476 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.85

ลำดับที่ 14 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีพื้นที่พักผ่อนจากการทำงานของพนักงานไม่ค่อยเพียงพอต่อจำนวนพนักงาน พิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 3.333 ซึ่งพนักงานมีความคิดเห็นไม่แตกต่างกันมาก พิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.64

ลำดับที่ 15 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีน้ำหรือสิ่งสกปรกขังที่พื้นบ้างในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งส่งผลต่อสุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุง และอาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ พิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคิดเห็น เท่ากับ 2.905 แต่พนักงานมีความคิดเห็นแตกต่างกันพอสมควรอาจเป็นเพราะปฏิบัติงานคนละพื้นที่ พิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.11

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์จากงานวิจัยและเอกสารการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงทั้งหมด 8 โครงการซึ่งครอบคลุมประเภทของระบบขนส่งทางรางได้แก่ ระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูง, ระบบรถไฟฟ้าในเมือง, ระบบรถไฟฟ้ารางเบา (tram) และระบบรถไฟฟ้าชาญเมือง และได้แสดงผลการศึกษาไว้ในบทที่ 4 แล้ว และแสดงตารางการสรุปดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบองค์ประกอบต่างๆของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปัจจัยที่ควรพิจารณา
1	โรงจอดรถไฟฟ้า (Stabling yard)	1. ขนาดและความจุของโรงจอดรถไฟฟ้า ที่ต้องมีการคำนวณจากจำนวนขบวนรถไฟฟ้าทั้งหมดในโครงการและต้องมีการเผื่อขบวนที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วย และต้องมีพื้นที่ทั้งหมดที่เพียงพอต่อการใช้งาน 2. จำนวนและจุดทางเข้า-ออกสำหรับขบวนรถไฟฟ้า ให้มีความสะดวกและไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของขบวนอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง 3. ทางเดิน (Access Platform) ไว้สำหรับการเดินเข้า-ออกรถไฟฟ้าสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ทำงาน
2	โรงซ่อมบำรุงหนักและโรงซ่อมบำรุงเบา (Heavy, Light Maintenance หรือ Main workshop)	1. รูปแบบของโครงการรถไฟฟ้าและประเภทของขบวนรถที่ทำการให้บริการ ยังเป็นตัวกำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทุ่นแรง หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆด้วย 2. จำนวนขบวนรถทั้งหมดที่วิ่งให้บริการในโครงการ จะมีผลต่อจำนวนทาง (Track) สำหรับตรวจสอบและซ่อมบำรุงภายในโรงซ่อมบำรุง ซึ่งต้องมีจำนวนที่เพียงพอต่อการเข้าซ่อมบำรุงและตรวจสอบของรถตามตารางการวางแผนซ่อมบำรุง 3. แผนการซ่อมบำรุง ต้องมีการกำหนดจำนวนทาง (track) ให้เพียงพอและสอดคล้องกับแผนการซ่อมบำรุงต่างๆด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันนั้นต้องมีการคำนวณจำนวนทางสำหรับตรวจสอบและซ่อมบำรุงจากรอบระยะเวลาหรือระยะทาง (time or counter-based maintenance) ที่กำหนด

ลำดับ	องค์ประกอบ	ปัจจัยที่ควรพิจารณา
3	โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า (Train Washing Plant)	1. ลักษณะของขบวนรถไฟฟ้า ทั้งความยาวขบวนรถและรูปร่างส่วนโค้งเว้าต่างๆ เพื่อออกแบบกระบวนการในการทำงานได้อย่างแม่นยำ 2. โหมดการทำงานหรือ Service Function ว่าต้องการกำหนดการทำงานแบบไหนบ้าง 3. พื้นที่ที่เพียงพอต่อการใช้งานรวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งขององค์ประกอบอื่นๆ 4. แผนการเข้าล้างรถของโครงการ (Operation plan)
4	ทางวิ่งทดสอบ (Test track)	1. ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศูนย์ซ่อมบำรุง 2. ความยาวของขบวนรถและความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 3. แผนการซ่อมบำรุงและแผนการทดสอบขบวนรถไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์พบว่าในแต่ละโครงการนั้นจะมีองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในศูนย์ซ่อมบำรุงที่คล้ายคลึงกันอาจจะมีแต่ต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโครงการนั้นๆหรือเหมาะสมกับรูปแบบของโครงการนั้นๆ เช่น ในโครงการที่เป็นรูปแบบของรถไฟฟ้าความเร็วสูง ไม่จำเป็นต้องมีโรงจอดรถไฟฟ้า (Stabling yard) อยู่ในศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าก็ได้ เนื่องจากรูปแบบของรถไฟความเร็วสูงนั้นจะมีระยะเส้นทางเดินรถที่ยาว ดังนั้นการจัดตั้งโรงจอดรถตามปลายทางหรือกระจายตามเส้นทางจะสะดวกต่อการบริหารจัดการมากกว่านั้นเอง ต่างกับโครงการรถไฟฟ้าที่เป็นรูปแบบของรถไฟฟ้าในเมือง ระยะเส้นทางที่สั้นกว่า (ประมาณ 20 กิโลเมตร) อีกทั้งยังมีพื้นที่เพื่อที่จะสร้างโรงซ่อมบำรุงหรือโรงเก็บรถไฟฟ้านั้นมีอย่างจำกัดเพราะอยู่บริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างอย่างหนาแน่ ดังนั้นการให้มีโรงจอดรถไฟฟ้าอยู่ที่เดียวกับศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าจึงเหมาะสมกว่า เป็นต้น

ในส่วนของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการออกแบบแต่ละองค์ประกอบนั้น จะพบว่านอกจากปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมและการจัดการที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการออกแบบและก่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงให้ได้อย่างเหมาะสม นั่นคืองบประมาณและความคุมค่าทางเศรษฐศาสตร์ ที่ต้องมีการพิจารณาควบคู่กันไป เพื่อให้การลงทุนนั้นคุ้มค่าที่สุดและเหมาะสมที่สุด ถ้าหากออกแบบเอื้อต่อความคล่องตัวในการทำงานเช่น มีการสร้างโรงจอดรถไฟฟ้าที่มากกว่ารถที่มีหรือตั้งเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงมากเกินจำเป็น ก็จะส่งผลให้ใช้งบประมาณในการสร้างที่เกินจำเป็น แต่ถ้าหากมีการลงทุนอย่างจำกัดมากเกินไปอาจจะส่งผลต่อความคล่องตัวในการดำเนินกิจกรรมการซ่อมบำรุงให้เกิดความยากลำบากและมีข้อจำกัดก็เป็นได้ และยังส่งผลต่อความปลอดภัยในการทำงานและความปลอดภัยของของการใช้งานรถไฟฟ้าให้ด้อยลงในที่สุด ดังนั้นปัจจัยทางวิศวกรรมและปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ต้องสมเหตุสมผลและเหมาะสมกัน

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

(1) มีขั้นตอนในการขอความอนุเคราะห์ไปยังหน่วยงาน เกี่ยวกับข้อมูลและแบบสอบถาม ซึ่งค่อนข้างใช้เวลาในการพิจารณาเพื่ออนุมัติ

(2) ข้อมูลส่วนใหญ่ที่นำมาใช้วิเคราะห์ เป็นข้อมูลที่เจ้าของข้อมูลไม่ต้องการให้นำไปเปิดเผยสู่สาธารณะชน และเข้าถึงยาก

(3) ในงานวิจัยนี้มีกลุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นกรณีศึกษาเพียงแห่งเดียว เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาในการขอความอนุเคราะห์

5.3 ข้อเสนอแนะ

(1) งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาลึกถึงรายละเอียดย่อยของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในศูนย์ซ่อมบำรุง หากมีผู้สนใจนำงานวิจัยไปศึกษาต่อยอด ควรศึกษาไปถึงความเหมาะสมสำหรับรถไฟฟ้าแต่ละประเภทและลำดับขั้นในการซ่อมบำรุง

(2) การขอข้อมูลเพื่อทำงานวิจัยจากหน่วยงาน อาจต้องใช้เวลาในการทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ และส่งไปยังหน่วยงาน จนกระทั่งทราบผลการอนุมัติ อย่างน้อยประมาณ 2 เดือน ดังนั้นผู้ทำงานวิจัยจะควรเผื่อเวลาเพื่อทำงานวิจัย

(3) การเขียนข้อมูลลงในงานวิจัย ควรระมัดระวังการเขียนข้อมูลที่อาจส่งผลกระทบด้านไม่ดีต่อเจ้าของข้อมูล ดังนั้นผู้จัดทำจึงควรหลีกเลี่ยงการระบุแบบเฉพาะเจาะจง

(4) ควรมีกรณีตัวอย่างในการศึกษามากเพียงพอสำหรับงานวิจัย

ภาคผนวก

เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็น

แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานโรงซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับศึกษาและวิเคราะห์สำหรับโครงงานการศึกษาการออกแบบเบื้องต้นศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับรถไฟไฟฟ้าของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบและปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าและเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการรองรับข้อกำหนดของโครงการรถไฟฟ้าในอนาคต โดยข้อมูลในแบบสอบถามจะถูกเก็บเป็นความลับและนำไปวิเคราะห์โดยภาพรวมเท่านั้น

ทางคณะผู้จัดทำขอความกรุณาในการตอบคำถามตามความคิดเห็นจริงของท่าน ความสมบูรณ์ของคำตอบที่ได้รับจากท่านจะมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อโครงงาน และขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

คำชี้แจง 1. โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างให้ตรงตามความเป็นจริง

2. แบบสอบถามฉบับนี้ มีทั้งหมด 2 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับโรงซ่อมบำรุง

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ ☐ 21-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี ☐ อื่นๆ (.....)

3. ระดับการศึกษา ☐ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก ☐ อื่นๆ (.....)

4. แผนกการทำงาน.....5. ตำแหน่ง.....

6. ลักษณะงานที่ทำ.....

.....

7. ประสบการณ์ในการปฏิบัติหน้าที่ ☐ 0-5 ปี ☐ 6-10 ปี ☐ 10-20 ปี ☐ มากกว่า 20 ปี

ตอนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับโรงซ่อมบำรุง

ระดับ 5 = มากที่สุดหรือดีมาก 4 = มากหรือดี 3 = ปานกลางหรือปานกลาง 2 = น้อยหรือค่อนข้างไม่ดี 1 = น้อยที่สุดหรือไม่ดี

รายละเอียด	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
ส่วนที่ 1 ความเพียงพอของพื้นที่ใช้สอยภายในโรงซ่อมบำรุง					
1.1 พนักงานมีพื้นที่ในการเข้าตรวจสภาพขบวนรถได้อย่างสะดวกและเหมาะสม (Rolling Stock Inspection)					
1.2 พนักงานมีพื้นที่ใช้สอยในการทำงานซ่อมบำรุงภายในแผนกเพียงพอ (พื้นที่ใช้สอยภายในบริเวณทำงาน เช่น พื้นที่สำหรับซ่อมบำรุง Traction Motor)					
1.3 มีทาง (Track) เพียงพอสอดคล้องกับปริมาณการซ่อมบำรุงรถไฟในแต่ละวัน					
1.4 พื้นที่สำหรับพักจากการทำงานมีเพียงพอต่อจำนวนพนักงาน					
1.5 มีพื้นที่หรือทางสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่สะดวกและเหมาะสม					
1.6 พื้นที่ในการทำงานอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม (เช่น โครงสร้างพื้นมีความแข็งแรงและมีหลังคาครอบคลุมทั่วพื้นที่การทำงาน)					
ส่วนที่ 2 ความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงซ่อมบำรุง					
2.1 เครื่องจักรหลายชนิดที่ต้องใช้ต่องานหนึ่งงาน ถูกติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกันอย่างเหมาะสม (ตัวอย่างเช่น งานที่ต้องใช้เครื่องจักรหลายชนิดในการซ่อมบำรุง หากเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้อยู่ใกล้กัน ก็จะทำให้การทำงานสะดวกยิ่งขึ้น)					
2.2 เครื่องมือเครื่องจักรทุกชิ้นถูกใช้งานอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (ใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์ของเครื่องมือเครื่องจักร และไม่มีเครื่องมือเครื่องจักรชิ้นไหนไม่ถูกใช้งาน)					
2.3 พื้นที่ของแต่ละแผนกถูกจัดเรียงเพื่อความสะดวกตามลำดับของการซ่อมบำรุง ทำให้การหมุนเวียนของงานมีความคล่องตัว					
2.4 เครื่องมือเครื่องจักรมีความทันสมัยและตอบสนองต่อการทำงานให้ดีขึ้น (เช่น ทำงานได้รวดเร็วหรือมีประสิทธิภาพ)					
2.5 จำนวนของเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานเพียงพอและสัมพันธ์กับปริมาณงาน					
2.6 ท่านไม่มีอุปสรรคในการใช้งานเครื่องมือ					
ส่วนที่ 3 ความปลอดภัยในการใช้งานพื้นที่					
3.1 มีป้ายระบุคำเตือนและคำแนะนำก่อนเข้าโรงซ่อมบำรุง					
3.2 มีป้ายระบุคำเตือนและคำแนะนำก่อนใช้งานเครื่องมือเครื่องจักร					
3.3 มีการบำรุงรักษาเครื่องมือเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ					
3.4 มีเขตบอกพื้นที่ที่อาจได้รับอันตรายอย่างชัดเจน					
3.5 ภายในโรงซ่อมบำรุงมีอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัยทั่วถึง					
3.6 บริเวณการทำงานไม่อยู่ใกล้พื้นที่อันตราย (เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, ห้องเก็บถังแรงดันสูง)					
3.7 ความปลอดภัยจากเครื่องมือเครื่องจักรภายในแผนกของท่าน					
ส่วนที่ 4 สุขลักษณะของโรงซ่อมบำรุง					
4.1 พื้นที่บริเวณโรงซ่อมบำรุงและพื้นที่ทำงานไม่มีน้ำหรือสิ่งสกปรกขังที่พื้น					
4.2 พื้นที่บริเวณโรงซ่อมบำรุงและพื้นที่ทำงานมีอากาศถ่ายเทสะดวก					
4.3 ระบบน้ำเพียงพอและพร้อมใช้งานตลอดเวลา					
4.4 ระบบไฟฟ้าเพียงพอและพร้อมใช้งานตลอดเวลา					

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานโครงการพัฒนาระบบราง. “โครงการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล” **รายงานการติดตามและประเมินผลการพัฒนาระบบราง.** 2559. หน้า 4.

[2] Piers Connor of PRC Rail Consulting Ltd. “**Train Maintenance.**” [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.railway-technical.com/trains/train-maintenance. 2017.

[3] นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์. “ส่วนประกอบของรถไฟ” **รายงานฉบับสมบูรณ์การพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวม.** 2559. หน้า 91-103.

[4] กรธรรม สถิรกุล. “ระบบขนส่งทางรางสำหรับผู้โดยสาร” **ประวัติและวิวัฒนาการของระบบขนส่งทางราง.** 2559. หน้า 13-16.

[5] วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ. “ความรู้เบื้องต้นการดำเนินงานซ่อมบำรุงระบบรถไฟฟ้า” **รายงานฉบับสมบูรณ์การพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวม**. 2559. หน้า 265-285.

[6] รู้กิจการพาณิชย์ จ., **การจัดการงานบำรุงรักษา.** กรุงเทพฯ : เอส.พี.เอ็น.การพิมพ์. 2546.

[7] อัศวินนิมตร ส. และพัดภู่ ธ., **วิศวกรรมบำรุงรักษา**. กรุงเทพฯ : แอคทีฟพริ้นท์. 2550.

[8] CENELEC. **Railway application – The specification and demonstration of reliability availability maintainability and safety (RAM) – Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 of safety.** London : n.p. 2007.

[9] Kelly A., **Maintenance System and Documentation**. Great Britain : n.p. 2006.

[10] Plummer P., “Land use planning and passenger rolling stock depot design” **Passenger Rolling Stock Depot Planning Guidance.** 2011. Pp.20-24.

[11] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. “งานออกแบบศูนย์ซ่อมบำรุง” **รายงานการออกแบบบทที่ 3 การออกแบบกรอบรายละเอียดและการจัดทำเอกสารประกวดราคา โครงการศึกษาและออกแบบรถไฟความเร็วสูงสายกรุงเทพ-เชียงใหม่ ระยะที่ 1.** 2555. หน้า 354-355.

[12] Plummer P., “Operational interface and Technical interface” **Passenger Rolling Stock Depot Planning Guidance.** 2011. Pp. 25-41.

[13] กัญญ์สิริ จันทร์เจริญ. “การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง” **การวิจัยทางการพยาบาล: แนวคิด หลักการ และวิธีปฏิบัติ.** ม.ป.ป. หน้า 85-86.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] หทัยชนก พรรคเจริญ, มาลิดา ปานทวีเดช, พรพรรณ แก้วศรีงาม, บรรพต ตีเมืองสอง, กรุณา ศรีคลัง และวรัญญา สุขวงศ์. "การเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น" **เทคนิคการสุ่มตัวอย่างและการประมาณค่า.** ม.ป.ป. หน้า 22.

[15] Krejcie R. V. and Morgan E. W., "Krejcie & Morgan Table" **Educational and Psychological Measurement.** 1970. Pp. 608-609.

[16] ณรงค์ ใจคำ. "**ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกฎระเบียบความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม ศึกษาเฉพาะกรณี : พนักงานซ่อมบำรุงรักษา บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ในโครงการรถไฟฟ้า บีทีเอส**" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[17] ประมวล สุธีจารุวัฒน. "การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขนส่งระบบราง" **รายงานฉบับสมบูรณ์การพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวม.** 2559.

[18] นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์. "การศึกษาและเปรียบเทียบงานซ่อมบำรุงขบวนรถไฟฟ้าและล้อเลื่อน" **รายงานฉบับสมบูรณ์การพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวม.** 2559.

[19] วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ. "การศึกษาและเปรียบเทียบการดำเนินงานของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า" **รายงานฉบับสมบูรณ์การพัฒนาระบบซ่อมบำรุงและปฏิบัติการขนส่งระบบรางแบบรวม.** . 2559.

[20] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. "การออกแบบการจัดวางผังศูนย์ซ่อมบำรุงและศูนย์ซ่อมบำรุงหนัก" **รายงานการออกแบบกรอบรายละเอียดและการจัดทำเอกสารประกวดราคา โครงการศึกษาและออกแบบรถไฟความเร็วสูงสายกรุงเทพ-เชียงใหม่ ระยะที่ 1.** 2555. หน้า 380-381.

[21] RITES. "Maintenance Depot" **Detailed Project Report for Rail Based Mass Transit System in Varanasi.** 2016. หน้า 1-19.

[22] MHSC. "CT Depot – DWE Preliminary Technical Specification" **The Construction of Mass Transit System Project in Bangkok (Red Line).** 2017.

[23] MHSC. "EMU Depot" **The Construction of Red Line (Bangsue - Rangsit) Project.** 2017.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[24] California High-Speed Rail Authority. "Maintenance protocols on existing HST systems" **Terminal and heavy maintenance facility guidance.** 2009. Pp. 2-26.

[25] การรถไฟแห่งประเทศไทย. "ศูนย์ซ่อมบำรุงและศูนย์ปฏิบัติการ" **รายงานการออกแบบรายละเอียด งานศึกษาความเหมาะสม สำรวจ และออกแบบรายละเอียดโครงการรถไฟความเร็วสูง สายกรุงเทพ-ระยอง.** 2557. หน้า 1-47.

[26] RITES. "Maintenance Depot and workshop" **Draft Feasibility Report of Techno-economic survey and preparation of DPR for Panvel-Diva-Vasai-Virar Corridor.** 2013. หน้า 1-11.

[27] COWI. **Preliminary description of the depot for LRT system.** Denmark : n.p. 2014.

[28] John W. Best and James V. Kahn. **Research in education.** USA : Allyn and Bacon. 1981.

[29] ส่วนประกอบต่างในเครื่องล้างขบวนรถไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://ctg.su/en/produkciya/equipment/complex-equipment-for-high-performance-cleaning-of-contaminated-hard-surfaces-air-and-water/car-washing-complexes-for-external-cleaning-washing-rinsing-drying-of-railway-rolling-stock-cars-including-long-distance-passenger-trains-commuter-electric-trains-and-subway-trains. พฤศจิกายน 2560.

[30] เครนเหนือศีรษะ. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.konecranes.com/equipment/overhead-cranes. พฤศจิกายน 2560.

[31] Portable/Mobile Lifting Jacks. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.intertranusa.com/cgi-sys/suspendedpage.cgi. พฤศจิกายน 2560.

[32] Underfloor lifting jack. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.autolift.info/unterflur-drehgestell-hebeboecke/. พฤศจิกายน 2560.

[33] Wheel lathe. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheel_lathe_hegenscheidt_Prerov.jpg. พฤศจิกายน 2560.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[34] Vertical spring test stand. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.checkline.com /product/TSF/TSF. พฤศจิกายน 2560.

[35] Dual End Combination Wheel Press. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://smtgroup .com/railway-wheel-shop-equipment/wheel-set-presses/wheel-press-dual-end-combination. พฤศจิกายน 2560.

[36] Bogie turntable. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.railway-technology .com/contractors/bogies/bulox-equipment/bulox-equipment8. พฤศจิกายน 2560.

[37] ห้องพ่นสี. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.novavertapaintbooths .com/paint-booths-2/industrial-paint-booth/. พฤศจิกายน 2560.

[38] Bogie Washing Plant. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.aquafrisch.com /en_US/page/bogies. พฤศจิกายน 2560.

[39] Bogie drop table. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.railway-technical.com /trains/train-maintenance/. พฤศจิกายน 2560.

[40] Bogie preload stand. [รูปภาพออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.mechan.co.uk /rail/bogie-test-press-test-stands/. พฤศจิกายน 2560.