

หน่วยที่

IRS-001

## ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบราง

เนื้อหาการเรียนรู้

- วิวัฒนาการของการขนส่งทางราง
- ประวัติความเป็นมาของการขนส่งทางรางของไทย
- ความจำเป็นของระบบรางที่มีผลต่อการคมนาคม
- ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของการขนส่งทางราง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) อธิบายวิวัฒนาการ ความเป็นมา และความจำเป็นของการขนส่งทางรางได้
- 2) บอกข้อเด่น-ข้อข้อเสียเปรียบของการขนส่งทางรางได้

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ และเล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของการขนส่งทางรางที่มีผลต่อการพัฒนาประเทศ

## 1.1 วิวัฒนาการของการขนส่งทางราง

การขนส่งมีบทบาทสำคัญต่อการเดินทางมาตั้งแต่สมัยโบราณ การเดินทางในสมัยโบราณใช้พลังงานจากธรรมชาติ เช่น การใช้แรงลมเพื่อการแล่นเรือใบ นอกจากนี้ก็ยังมีการใช้แรงงานคนและสัตว์ เช่น ชาวไวกิ้ง (Viking) แห่งคาบสมุทรสแกนดิเนเวีย (Scandinavia Peninsular) เติมนเรือโดยใช้แรงงานคนเป็นฝีพาย ซึ่งสามารถเดินทางไปไกลถึงดินแดนชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean Sea) สำหรับบางภูมิภาคมีการใช้แรงงานสัตว์ เช่น ม้า วัว ช้าง ฯลฯ ในการบรรทุกหรือลากจูงสินค้า รวมทั้งใช้เป็นพาหนะสำคัญสำหรับนักเดินทาง ประเทศจีนในสมัยโบราณใช้ม้าในการส่งข้อมูลข่าวต่างๆ ถึงแม้ว่าการเดินทางในสมัยโบราณใช้พลังงานจากธรรมชาติและแรงงานสัตว์ดังกล่าวแล้ว แต่ก็สามารถเดินทางติดต่อกันได้ระหว่างโลกเก่า ซึ่งหมายถึง ทวีปยุโรป แอฟริกาและเอเชีย

การเดินทางสะดวกสบายและรวดเร็วขึ้น เมื่อมนุษย์เริ่มนำเครื่องจักรไอน้ำมาใช้ในการเดินเรือ ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 18 และนำมาใช้กับหัวรถจักร ในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 การประดิษฐ์คิดค้นทั้ง 2 สิ่งนี้ เป็นบ่อเกิดของเรือกลไฟและรถไฟในเวลาต่อมา ซึ่งในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 การขนส่งทางอากาศก็ได้เริ่มเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกและได้พัฒนาก้าวหน้าจนถึงปัจจุบัน

### 1.1.1 ยุคบุกเบิก (Earliest Traces)

การถือกำเนิดของการขนส่งทางราง ได้เริ่มต้นขึ้นในยุคกรีกโบราณและอาณาจักรโรมัน ราว 600 ปีก่อนคริสต์ศตวรรษ จากการที่ขบวนคาราวานได้บรรทุกสิ่งของ (Wagonways) ข้ามช่องแคบ Corinth และเมื่อข้ามพากมาแล้วได้ใช้แรงงานคนและสัตว์ในการลากจูงสิ่งของเหล่านั้นขึ้นไปตามทางลาด Diolkos ซึ่งเป็นร่องทางที่มี



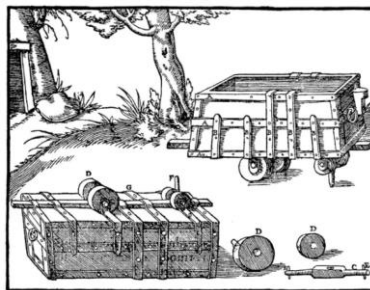
รางเพื่อป้องกันรถหลุดจากเส้นทาง เป็นระยะทางประมาณ 6 - 8.5 กิโลเมตร โดยมีการใช้งาน Diolkos เป็นเวลากว่า 650 ปี จนถึงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 1 จึงได้เลิกใช้

#### รูปที่ 1.1 ทางลาด Diolkos

(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Diolkos>)

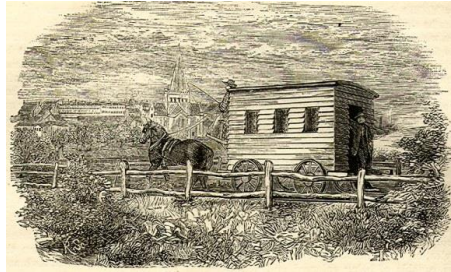
#### 1.1.2 ยุคแรก (Early Wagonways)

ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 15 เมืองแรกที่ประเทศเยอรมนีใช้เลื่อนติดล้อลากไปบนทางที่ใช้ไม้ปูลาดเพื่อใช้ขนถ่านหินและแร่ออกจากเหมืองโดยใช้แรงงานคนหรือสัตว์ ผลักหรือลากให้เคลื่อนที่ไป และรถลากนี้ได้ถูกนำไปใช้ในประเทศอังกฤษราวคริสต์ศตวรรษที่ 17



#### รูปที่ 1.2 รถลากที่ใช้ในเหมืองแร่ในประเทศเยอรมนี ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 15

(ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport))



รูปที่ 1.3 The First Railway Coach

(ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport))

ในคริสต์ศตวรรษที่ 18 ได้มีการเปลี่ยนใช้รางเหล็กมาทำทางวิ่งแทนการปูลาดด้วยไม้ ส่วนล้อยังคงทำด้วยไม้และไม่มีบังใบ



รูปที่ 1.4 รถม้าวิ่งบนราง (Tramways)

(ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport))

กระทั่งประมาณกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 ถึงครึ่งคริสต์ศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของการปฏิวัติอุตสาหกรรม จึงได้เปลี่ยนมาใช้ล้อเหล็กแบบมีบังใบ เพื่อป้องกันไม่ให้ล้อพลาดตกจากราง ล้อและรางรถไฟแบบนี้ใช้งานกับรถม้าที่วิ่งบนรางเป็นระยะเวลานาน และเป็นต้นแบบการประดิษฐ์รถจักรไอน้ำในคริสต์ศตวรรษที่ 19

### 1.1.3 ยุคบุกเบิกรถจักรไอน้ำ

ประมาณปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 ได้เกิดวิวัฒนาการของรถรางแบบใช้สายเคเบิลลากในเมือง หรือที่เรียกว่า เคเบิลคาร์ (Cable car) โดยถือกำเนิดขึ้นที่เมืองซานฟรานซิสโก สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1874 (พ.ศ. 2417) ได้รับความนิยมสูงสุดและใช้งานมากที่สุดในอเมริกา ประมาณปี ค.ศ. 1895 (พ.ศ. 2438)



รูปที่ 1.5 Cable car ในซานฟรานซิสโก สหรัฐอเมริกา  
(ที่มา : <http://handsatworkbenefit.com>)

ถึงแม้ว่ารูปแบบการขนส่งที่ใช้สายเคเบิลดึงรถให้เคลื่อนที่แบบเดิมจะหมดความนิยมไปเมื่อประมาณ ค.ศ. 1920 (พ.ศ. 2463) ในปัจจุบัน ยังคงพบเห็นตามแหล่งท่องเที่ยว ได้แก่ รถกระเช้า และอยู่ใกล้ตัวมนุษย์สมัยนี้มากที่สุดคือ ลิฟต์ ซึ่งเป็น "การขนส่งทางตั้ง" (Vertical Transportation)



(ก) รถกระเช้า (Cable Car)  
(ที่มา : <http://www.freeimageslive.co.uk>)



(ข) ลิฟต์ (Elevator)  
(ที่มา : <http://w6.thaiwebwizard.com>)

### รูปที่ 1.6 การขนส่งทางตั้ง (Vertical Transportation)

การปฏิวัติอุตสาหกรรมเริ่มต้นอย่างจริงจังในสมัยพระเจ้าจอร์จที่ 3 ครองราชย์ ระหว่าง ค.ศ. 1760-1820 (พ.ศ. 2303-2363) สิ่งประดิษฐ์อย่างหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นและนำมาใช้ขับเคลื่อน กระบวนการปฏิวัติอุตสาหกรรมก็คือ เครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งเจมส์ วัตต์ (James Watt) ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อ ใช้สำหรับสูบน้ำออกจากเหมืองแร่ใน พ.ศ. 2323 (ค.ศ. 1780)

ในปี พ.ศ. 2337 (ค.ศ.1794) จอห์น ฟิทซ์ (John Fitch) ได้ทำการออกแบบและสร้างโมเดล จำลองตัวแรกขึ้นในสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นริชาร์ด เทรวิทิค (Richard Trevithick) ได้สร้างรถจักร ไอน้ำขึ้นทดลองใช้งานเป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อ พ.ศ. 2346 (ค.ศ. 1803) แม้จะถือว่าเป็น ก้าวแรกของการบูรณาการทางเทคโนโลยีการขนส่ง แต่ก็ยังถูกต่อต้านจากกลุ่มผู้มีส่วนได้เสียกับ รถรางเทียมม้า (Wagonways) ที่ใช้อยู่เดิม เพราะกลัวว่าทั้งคนและม้าจะพากันตกงาน เหตุการณ์ใน ทำนองนี้เกิดขึ้นมาก่อน ยกตัวอย่างเช่น ผู้ประกอบการเรือข้ามช่องแคบกับการก่อสร้างอุโมงค์ ลอดช่องแคบอังกฤษ

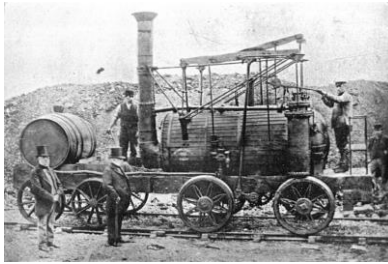
ความคิดริเริ่มของริชาร์ด เทรวิทิค มีความสำคัญต่อประวัติศาสตร์การขนส่งสมัยใหม่ ในงาน แสดงที่กรุงลอนดอนเมื่อ พ.ศ. 2351 (ค.ศ. 1808) มีการสร้างรถจักรไอน้ำชื่อ "Catch me who can" เพื่อสาธิตการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ แต่ไม่ประสบความสำเร็จมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม ผลงานที่ ริเริ่มไว้ ได้กลายเป็นรากฐานสำคัญ ที่วิศวกรรุ่นต่อมาใช้สานต่อจนประสบความสำเร็จ



รูปที่ 1.7 รถจักรไอน้ำที่สร้างโดย Richard Trevithick

(ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport))

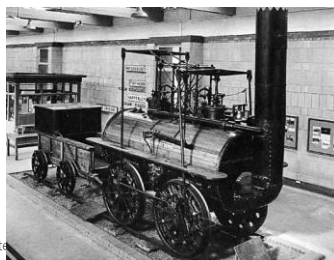
การใช้รถจักรไอน้ำในเชิงพาณิชย์เกิดขึ้นครั้งแรกใน พ.ศ. 2355 (ค.ศ. 1812) เมื่อบริษัท  
รถไฟขนถ่านหินมิดเดิลตัน นํารถจักรไอน้ำที่  
ออกแบบโดยแมทธิว มัวร์ มาใช้ในการ  
ขนส่ง และใน พ.ศ. 2363 (ค.ศ. 1820) จึงมี  
การนํารถจักรไอน้ำที่ร่วมกันออกแบบ โดย  
ยอร์จ สตีเวนสัน ทิโมธี แอควอร์ธ และวิล  
เลียม เอทลีย์ มาลากจูงรถขนถ่านหินของ  
กิจการรถไฟ ในช่วงที่เส้นทางมีความลาดชัน  
สูง และใน พ.ศ. 2356 (ค.ศ. 1813) วิลเลียม เอทลีย์ ได้ประดิษฐ์รถจักรไอน้ำ ชื่อ "Puffing Billy"  
ขึ้นมา



#### รูปที่ 1.8 รถจักรไอน้ำ Puffing Billy

(ที่มา: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Puffing\\_Billy\\_locomotive\\_\(Howden,\\_Boys'\\_Book\\_of\\_Locomotives,\\_1907\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Puffing_Billy_locomotive_(Howden,_Boys'_Book_of_Locomotives,_1907).jpg))

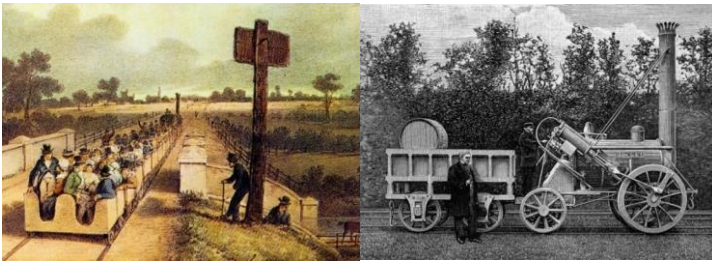
ใน พ.ศ. 2358 (ค.ศ. 1815) ยอร์จ สตีเวนสัน ได้สร้างรถจักรไอน้ำขึ้นใช้ในกิจการรถไฟขน  
ถ่านหินที่เมืองคิลลิงตัน จะเห็นว่าความพยายามในการประดิษฐ์รถจักรไอน้ำในช่วงนี้ ยังอยู่ในลักษณะ  
ต่างคนต่างทำ แต่ก็ถือว่าการเรียนรู้ที่สำคัญในการพัฒนารถไฟอย่างเป็นระบบในระยะต่อมา ซึ่ง  
เริ่มขึ้นเมื่อนักธุรกิจต้องการขนถ่านหินจากแหล่งผลิตที่เดอแรมไปยังท่าเรือสต็อกตัน บนฝั่งแม่น้ำ "ที"  
จึงทำการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อใช้ในการขนส่งถ่านหินของบริษัทรถไฟสต็อกตันถึงดาร์ลิงตัน โดยการ  
ก่อสร้างอยู่ในการควบคุมของยอร์จ สตีเวนสัน และได้สร้างรถจักรไอน้ำ หมายเลข 1 (Locomotion  
no.1) ขึ้นใช้งาน ซึ่งถือว่าการเริ่มต้นของยุคการขนส่งด้วยรถไฟ หรือ "Railway Age" นอกจากนี้  
ยอร์จ สตีเวนสันยังได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาผู้ให้กำเนิดกิจการขนส่งรถไฟของโลกด้วย



**รูปที่ 1.9 Locomotion no. 1**

(ที่มา: <http://www.stephensonloco.org.uk>)

แม้ว่ารถจักรไอน้ำของ ยอร์จ สตีเวนสันจะประสบความสำเร็จในการลากจูงขบวนรถขนถ่านหินหนัก 68 ตัน เป็นระยะทาง 34 กม. ระหว่างซิดดอนถึงสต็อกตัน แต่ความเชื่อว่ารจักรไอน้ำสามารถใช้ขนส่งผู้โดยสารได้ก็ยังไม่เกิดขึ้น จนกระทั่ง พ.ศ. 2373 (ค.ศ. 1830) บริษัทรถไฟลิเวอร์พูลและแมนเชสเตอร์ ได้สร้างทางรถไฟขนส่งผู้โดยสารขึ้น โดยใช้รถจักรชื่อ "ร็อกเก็ต (Rocket)" ลากจูง จึงถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นการขนส่งผู้โดยสารโดยใช้รถจักรไอน้ำอย่างเป็นทางการครั้งแรกในโลก



**รูปที่ 1.10 การขนส่งผู้โดยสารโดยใช้รถจักรไอน้ำ "ร็อกเก็ต (Rocket)" ลากจูง**

(ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Opening\\_Liverpool\\_and\\_Manchester\\_Railway.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Opening_Liverpool_and_Manchester_Railway.jpg)

และ <http://www.probertencyclopaedia.com>)

ปี พ.ศ. 2383 (ค.ศ. 1840) การขนส่งทางรถไฟได้รับความนิยมอย่างสูง นักลงทุนทั้งหลายต่างระดมเงินเข้ามาลงทุน เป็นช่วง "Railway Boom" มีผู้เสนอโครงการลงทุนรถไฟมากมาย ทั้งที่มีผลตอบแทนคุ้มค่าและที่เป็นโครงการปั้นหุ้ม ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์ฟองสบู่แตกต้นปี พ.ศ. 2390 (ค.ศ. 1847)

การสร้างทางรถไฟในลักษณะเลียนแบบ "Railway Mania" ในประเทศอังกฤษข้ามไปสู่ทวีปยุโรป เกิดการเสนอโครงการลงทุนรถไฟมากมาย มีการเริ่มต้นก่อสร้างทางรถไฟที่ประเทศเยอรมนี



และเบลเยียม พ.ศ. 2378 (ค.ศ. 1835) ออสเตรีย พ.ศ. 2380 (ค.ศ. 1837) เนเธอร์แลนด์ พ.ศ. 2382 (ค.ศ. 1839) รัสเซีย พ.ศ. 2394 (ค.ศ. 1851) นอร์เวย์ พ.ศ. 2397 (ค.ศ. 1854) และสวีเดน พ.ศ. 2399 (ค.ศ. 1856) ในระหว่างนี้ เริ่มมีผู้มองเห็นผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการสร้างรถไฟ เช่น ผลกระทบของระบบการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลายเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ ในปัจจุบันโครงการก่อสร้างทางรถไฟต้องปฏิบัติตามกฎหมายที่ออกมาบังคับ

## 1.2 ประวัติความเป็นมาของการขนส่งทางรางของไทย

### 1.2.1 รถราง (Tramway)

รถราง (Tramway) ถือกำเนิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่รัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 โดยนายอัลเฟรด จอห์น ลอฟตัส นายอังเดร ลู เพลลี เดอ ริเชอลิเออ และนายอาเก เวสเตินโฮลซ์ ชาวเดนมาร์ก ได้ขอพระราชทานราชานุญาตรัชกาลที่ 5 จัดตั้งบริษัทรถรางขึ้น โดยเริ่มเปิดให้บริการเที่ยวปฐมฤกษ์ เมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2431 ถือว่าประเทศไทยเป็นประเทศแรกในเอเชียที่มีการขนส่งทางราง โดยครั้งแรกใช้ม้าลากเทียมรถให้วิ่งไปตามราง เริ่มจากหน้าพระบรมมหาราชวัง ผ่านถนนเจริญกรุง จนถึงบางคอแหลมหรือถนนตกในปัจจุบัน รถรางคันนี้ให้บริการอยู่ระยะหนึ่งก็ขาดทุน เนื่องจากมีผู้ใช้บริการน้อย ทั้งที่ค่าโดยสารรถรางถูกกว่ารถโดยสารชนิดอื่นๆ แต่คนส่วนใหญ่กลับนิยมรถลาก เพราะสามารถไปรับส่งถึงที่และสะดวกกว่า ต่อมาผู้ประกอบการชุดนี้จึงโอนกิจการให้กับบริษัทรถรางกรุงเทพฯ ทุนจำกัด ซึ่งเป็นของอังกฤษรับช่วงไปดำเนินการต่อ แต่ก็ยังประสบปัญหาขาดทุนเช่นเดิม จึงได้เลิกกิจการไปเมื่อปี 2435 และได้มีการรื้อฟื้นกิจการรถรางขึ้นอีกครั้งในปี พ.ศ. 2437 โดยบริษัทรถรางไทยทุนจำกัด ซึ่งเปลี่ยนไปใช้กำลังไฟฟ้าแทนแรงม้า ต่อมามีบริษัทรถรางของเบลเยียม คือ Siam Electricity and Cy เข้ามาให้บริการ ในสมัยนั้น มีรถราง 7 สาย ได้แก่ สายบางคอแหลม สายสามเสน สายดุสิต สายบางซื่อ สายหัวลำโพง สายสีลม และสายปทุมวัน รางมีลักษณะเป็นรางเดี่ยว จึงต้องมีรางสับหลักทุกๆ 500 เมตร เพื่อให้รถหยุดสวนกันได้

รถรางแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นตัวถังไม้เปิดโล่ง และผืนผ้าใบที่ม้วนเก็บ ห้อยไว้กับขอบบนทั้งสองข้างสำหรับกันแดดกันฝุ่น และแบบที่สองเป็นรุ่นที่นิยมเรียกว่า "ไอโม่ง" ตามรูปทรงของหลังคาที่มีความโค้ง และตัวถังสร้างด้วยโครงเหล็ก



รูปที่ 1.11 รถรางในประเทศไทย

(ที่มา: [http://www.oknation.net/blog/home/blog\\_data/881/16881/images/story24/silom\\_tram.jpg](http://www.oknation.net/blog/home/blog_data/881/16881/images/story24/silom_tram.jpg))

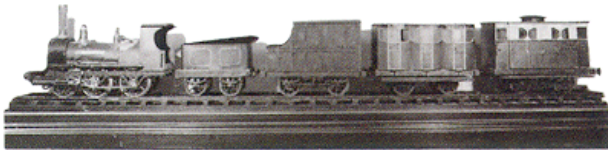
ต่อมาในสมัยจอมพลสฤษดิ์ ธนะรัชต์ ได้มีนโยบายที่จะยกเลิกการเดินทางและรถสามล้อถีบในเขตพระนคร-ธนบุรี การเดินทางจึงค่อยๆ ลดบทบาทลง และเลิกวิ่งในเขตเมืองหลวงเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2511 รวมระยะเวลาที่มีการใช้งานรถราง 80 ปี ซึ่งในขณะนั้น ประเทศไทยมีรถรางไฟฟ้าวิ่งก่อนหน้าประเทศญี่ปุ่นและอีกหลายเมืองในยุโรป

### 1.2.2 รถไฟ

ในอดีตการคมนาคมทางบกของราชอาณาจักรไทยนิยมใช้สัตว์ เช่น โค กระบือ ม้า ช้าง และเกวียนเป็นพาหนะในการเดินทาง และลำเลียงสินค้าต่างๆ จากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง จนกระทั่งในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ทรงมีพระบรมราชโองการสร้างทางรถไฟสยามขึ้น ตั้งแต่กรุงเทพฯ ถึงเมืองนครราชสีมา

ก่อนที่การรถไฟหลวงจะถือกำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2398 นั้น รัฐบาลสหราชอาณาจักร (อังกฤษ) ให้เซอร์ จอห์น เบริง (Ser John Bowring) ผู้สำเร็จราชการเกาะฮ่องกง ซึ่งได้รับการ

แต่งตั้งให้เป็นอัครราชทูตผู้มีอำนาจเต็ม พร้อมด้วยมิสเตอร์ แฮรี่ สมิท ปาร์ค (Mr. Harry Smith Parkes) กงสุลเมืองเอ็ดมิง เป็นอุปทูต เดินทางโดยเรือรบหลวงอังกฤษเข้ามาเจรจาขอแก้ไขสนธิสัญญาทางราชไมตรี ฉบับที่รัฐบาลอังกฤษ อนุญาตทำไว้กับรัฐบาลไทยเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2369 ซึ่งในเวลานั้น มิสเตอร์ แฮรี่ สมิท ปาร์ค ได้นำสนธิสัญญาฉบับใหม่ออกไปประทับตราแผ่นดินอังกฤษ แล้วนำกลับมาแลกเปลี่ยนสนธิสัญญากับฝ่ายไทย พร้อมทั้งอัญเชิญพระราชสาสน์และเครื่องราชบรรณาการของสมเด็จพระนางวิคตอเรีย แห่งสหราชอาณาจักรมาเพื่อทูลเกล้าฯ ถวาย แต่พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 ได้แก่ รถไฟจำลองย่อส่วนจากของจริง ประกอบด้วย รถจักรไอน้ำ และรถพ่วงครบขบวนเดินบนรางด้วยแรงไอน้ำ เช่นเดียวกับรถไฟที่ใช้อยู่ในเกาะอังกฤษ (ขณะนี้ได้เก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ) ราชบรรณาการในครั้งนั้น สมเด็จพระนางวิคตอเรียทรงมีพระราชประสงค์จะให้เป็นเครื่องถลพระราชหฤทัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ให้ทรงคิดสถาปนากิจการรถไฟขึ้นในราชอาณาจักรไทย แต่เนื่องจากในขณะนั้นภาวะเศรษฐกิจของไทยยังไม่มั่นคง และมีจำนวนพลเมืองน้อย กิจการจึงต้องระงับไว้



รูปที่ 1.12 รถไฟจำลอง เครื่องราชบรรณาการจากสมเด็จพระนางวิคตอเรีย แห่งสหราชอาณาจักร  
(ที่มา: <http://vigportal.mot.go.th/porta/site/PortalMOT>)

ต่อมาในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว สืบเนื่องมาจากนโยบายขยายอาณานิคมของอังกฤษและฝรั่งเศสแผ่มาครอบคลุมบริเวณแหลมอินโดจีน พระองค์ทรงตระหนักถึงความสำคัญของการคมนาคมโดยเส้นทางรถไฟ เนื่องจากการใช้แต่ทางเกวียนและแม่น้ำลำคลองนั้นไม่เพียงพอแก่การบำรุงรักษาพระราชอาณาเขต ราษฎรที่อยู่ห่างไกลจากเมืองหลวงมีจิตใจโน้มเอียงไปทางประเทศใกล้เคียง จึงสมควรที่จะสร้างทางรถไฟขึ้นในประเทศ เพื่อใช้ติดต่อกับมณฑลชายแดน

ทั้งนี้เพื่อสะดวกแก่การปกครอง ตรวจสอบป้องกันการรุกราน และใช้เป็นเส้นทางขนส่งผู้โดยสารและสินค้าไปมาด้วยกันได้ง่ายยิ่งขึ้น

### 1.2.2.1 การก่อสร้างทางรถไฟในประเทศไทย

การก่อสร้างทางรถไฟในประเทศไทยได้เริ่มต้นขึ้นในรัชสมัย รัชกาลที่ 5 ปี พ.ศ. 2429 (ค.ศ. 1886) รัฐบาลไทยในสมัยนั้น ได้อนุมัติสัมปทานแก่บริษัทชาวเดนมาร์ก เพื่อสร้างทางรถไฟสายแรกในประเทศไทย ระหว่างกรุงเทพ-สมุทรปราการ เรียก "ทางรถไฟสายปากน้ำ" ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดการเดินรถเมื่อวันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2436 การเดินรถไฟสายแรกในประเทศไทยจึงเกิดขึ้นหลังจากการสร้างทางรถไฟขนส่งผู้โดยสารสายแรกในโลกประมาณ 63 ปี กิจการรถไฟสายนี้ได้ยุบเลิกไปเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2503 และในวันที่ยุบเลิกนั้น รถไฟสายนี้ได้ติดตั้งระบบเป็นรถไฟฟ้าแล้ว

ในปี พ.ศ.2430 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวจึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เซอร์แอนดรู คลาก และบริษัทป็นซาร์ด แมกทักการ์ด โลเธอร์ ดำเนินการสำรวจเพื่อสร้างทางรถไฟจากกรุงเทพฯ - เชียงใหม่ และมีทางแยกตั้งแต่เมืองสระบุรี - เมืองนครราชสีมาสายหนึ่ง จากเมืองอุดรดิตถ์ - ตำบลท่าเตีอริมฝั่งแม่น้ำโขงสายหนึ่ง และจากเมืองเชียงใหม่ไปยังเชียงใหม่ เชียงแสนหลวง อีกสายหนึ่ง โดยทำการสำรวจให้แล้วเสร็จเป็นตอนๆ รวม 8 ตอน ในราคาค่าจ้างโดยเฉลี่ยไม่เกินไมล์ละ 100 ปอนด์ ทั้งสองฝ่ายลงนามในสัญญา เมื่อวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ.2430

เมื่อได้สำรวจแนวทางต่างๆ แล้ว รัฐบาลพิจารณาเห็นว่า จุดแรกที่สมควรจะสร้างทางรถไฟเชื่อมกับเมืองหลวงของไทยก่อนอื่นคือ นครราชสีมา ดังนั้นในเดือนตุลาคม 2433 จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ก่อตั้งกรมรถไฟขึ้น สังกัดอยู่ในกระทรวงโยธาธิการ มีพระเจ้าอนงยาเอ เจ้าฟ้ากรมขุนนริศรานุวัติวงศ์ ทรงเป็นเสนาบดี และนาย เค. เบ็ทเก (K. Bethge) ชาวเยอรมัน เป็นเจ้ากรมรถไฟ พร้อมกันนั้นได้เปิดประมูลสร้างทางรถไฟสายกรุงเทพ - นครราชสีมาเป็นสายแรก ณ ที่ทำการรถไฟกรุงเทพ ปรากฏว่า มิสเตอร์ จี มูเร แคมป์เบล แห่งอังกฤษ เป็นผู้ค้าประกันประมูลได้ในราคาต่ำสุด โดยเสนอราคาเป็นเงิน 9,956,164 บาท

นายคาร์ล เบทเก ได้ให้คำปรึกษาที่สำคัญคือ ให้ประเทศไทยดำเนินนโยบาย โดยอยู่ห่างจากอิทธิพลของอังกฤษในภาคตะวันตก วิธีการก็คือสร้างทางรถไฟขึ้นในภาคตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา จากกรุงเทพฯถึงนครราชสีมา และสร้างเป็นทางกว้าง 1.435 เมตร แทนที่จะสร้างเป็นทาง

กว้าง 1.000 เมตร ตามรายงานของวิศวกรหลวงป็นชาร์ด ซึ่งจะกลายเป็นกิจการรถไฟหนึ่งเดียวในภูมิภาคนี้ที่ใช้ทางกว้าง 1.435 เมตร นอกจากนั้นวิศวกรเยอรมันอีกท่านหนึ่ง คือ แฮร์มันน์ เกริร์ตส์ (Hermann Grehrts) ยังได้แนะนำให้สร้างทางรถไฟไปยังภาคเหนือถึงจังหวัดเชียงใหม่ โดยแยกออกจากทางรถไฟสายกรุงเทพ-นครราชสีมา ผ่านจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ พิษณุโลก อุตรดิตถ์ ลำปาง เชียงใหม่ โดยเส้นทางรถไฟที่แนะนำนี้ไม่ไปถึงจังหวัดตากตามแนวคิดในรายงานของป็นชาร์ดเลย ถือเป็นกลยุทธ์ในการถอยออกห่างจากพื้นที่อิทธิพลของอังกฤษ แต่ข้อเท็จจริงที่ปรากฏในภายหลังก็กลายเป็นการเข้าไปใกล้ชิดกับอิทธิพลของฝรั่งเศสซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการสร้างทางรถไฟอีกรูปแบบหนึ่ง

รัฐบาลไทยได้ทำสัญญาจ้างก่อสร้างทางรถไฟสายแรก (ที่เป็นของรัฐบาล) เมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2434 สร้างเสร็จและเปิดการเดินทางช่วงแรกจากกรุงเทพถึงอยุธยา ระยะทาง 71 กม. เมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2439 (หนังสือต่างประเทศบันทึกเป็น 26 มีนาคม พ.ศ. 2440) ซึ่งถือเป็นวันสถาปนากิจการรถไฟของรัฐบาลไทย



**รูปที่ 1.13** พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ประกอบพิธีตอกหมุด  
ตรึงรางเปิดการเดินทางไฟครั้งแรก เมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2439  
(ที่มา: <http://www.railway.co.th/home/srt/about/history.asp>)

รถไฟหลวงในประเทศไทยเกิดขึ้นหลังรถไฟในประเทศญี่ปุ่นประมาณ 24 ปี (ประเทศญี่ปุ่นเปิดการเดินทางรถไฟสายแรกระหว่างโตเกียวถึงโยโกฮาม่า เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2415) การสร้างทางรถไฟดำเนินไปถึงจังหวัดนครราชสีมา และเปิดการเดินทางเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2443 ใน

ระหว่างนี้ได้มีการก่อสร้างทางรถไฟสายเหนือ โดยแยกออกจากทางสายตะวันออกเฉียงเหนือที่ชุมทางบ้านภาชี ซึ่งสร้างเสร็จและเปิดเดินรถไฟช่วงแรกถึงลพบุรีเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2445

นายคาร์ล เบทเก ถึงแก่กรรมในปี พ.ศ. 2443 (ค.ศ. 1900) ผู้ที่สืบทอดงานต่อมา คือนายลูอิส ไวลเลอร์ (Luis Weiler) ซึ่งได้รับการแต่งตั้งให้เป็นเจ้ากรมรถไฟสายเหนือ ระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2447 ถึง 5 มิถุนายน พ.ศ. 2460 ในระหว่างที่นายลูอิส ไวลเลอร์ เป็นเจ้ากรมรถไฟหลวงนั้น ได้มีการก่อสร้างทางรถไฟขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในเส้นทางรถไฟสายเหนือถึงจังหวัดเชียงใหม่ และได้เปิดการเดินรถ เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2465

ระหว่างที่การก่อสร้างขยายเส้นทางรถไฟกำลังดำเนินการรุดหน้า ได้เกิดข้อขัดแย้งทางการเมืองขึ้น รัฐบาลอังกฤษมีความไม่สบายใจที่รัฐบาลไทยสร้างทางรถไฟโดยอยู่ภายใต้อิทธิพลทางความคิดของวิศวกรชาวเยอรมัน ในขณะที่เดียวกันรัฐบาลฝรั่งเศสก็ได้ยื่นเงื่อนไขให้รัฐบาลไทยใช้วิศวกรฝรั่งเศสเป็นที่ปรึกษาในการสร้างทางรถไฟต่อออกจากจังหวัดนครราชสีมา และในข้อตกลงที่เกิดขึ้นหลังกรณีทางการเมือง ห้ามมิให้รัฐบาลไทยสร้างทางรถไฟไปชิดชายฝั่งแม่น้ำโขงซึ่งถือเป็นเขตอิทธิพลของฝรั่งเศส

รัฐบาลไทยเริ่มมีอิสระในการตัดสินใจสร้างทางรถไฟในภูมิภาคด้วยตนเองได้หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 1 โดยมีการสร้างทางรถไฟขยายไปถึงอุดรธานี เมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2484 ถึงสถานีหนองคาย (เดิม) วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2501 ถึงวารินชำราบ (อุบลราชธานี) วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2473

การสร้างทางรถไฟสายใต้ เริ่มต้นดำเนินการในปี พ.ศ. 2444 มีต้นทางที่สถานีบางกอกน้อย โดยกำหนดสร้างช่วงแรกถึงเพชรบุรีระยะทาง 138 กม. เป็นทางกว้าง 1 เมตร เท่ากับทางรถไฟสายปากน้ำ ส่วนทางกับคำแนะนำของอธิบดีกรมรถไฟขณะนั้น คือ แฮร์มันน์ เกิร์ทส์ (Hermann Greherts) ซึ่งแนะนำให้สร้างเป็นทางกว้าง 1.435 เมตร เช่นเดียวกับทางรถไฟทางฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของแม่น้ำเจ้าพระยา มีผู้สันนิษฐานว่าการตัดสินใจสร้างทางกว้าง 1 เมตร คงมีพื้นฐานมาจากเหตุผลเรื่องการเชื่อมโยงกับรถไฟในมาเลเซียและพม่า ซึ่งอยู่ในเขตอิทธิพลของอังกฤษ ตามการศึกษาก่อนหน้านี้ และในการตัดสินใจสร้างทางรถไฟ กว้าง 1.435 เมตร ก่อนหน้านั้น รัฐบาลไทย (และข้าราชการไทย) ก็ไม่ได้เห็นด้วยโดยดุษฎีแต่อย่างใด ประกอบกับนาย เอช กริตตินส์ (H. Grittins) ซึ่งเดินทางเข้ามาประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2431 ก็เริ่มมีอิทธิพลในระบบข้าราชการไทย และต่อมาได้รับแต่งตั้งให้เป็น

ผู้รับผิดชอบในการสร้างทางรถไฟสายใต้ช่วงต่อจากเพชรบุรีลงไปทางใต้ และในที่สุดก็ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นเจ้ากรมรถไฟสายใต้ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2452 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2460

การสร้างทางรถไฟสายใต้สำเร็จลุล่วง โดยเปิดเดินรถถึงป่าดงเบขาร์ ในวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2461 และเปิดเดินรถถึงสุโขทัยในวันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2464

เนื่องจากปัญหาความไม่สะดวกในการบริหารกิจการรถไฟที่มีขนาดทางกว้างไม่เท่ากัน รัฐบาลในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 ได้ตัดสินใจเปลี่ยนขนาดความกว้างของทางรถไฟทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยามาเป็นทางกว้าง 1.000 เมตร และเปิดใช้งานสะพานพระราม 6 เพื่อเชื่อมทางรถไฟสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าด้วยกันเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2469 ตรงกับรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 7 หลังจากนั้นจึงรวมกรมรถไฟสายเหนือกับกรมรถไฟสายใต้เข้าเป็นหน่วยงานเดียวกันภายใต้ชื่อ กรมรถไฟหลวง โดยกรมพระกำแพงเพชรอัครโยธิน (พระองค์เจ้าบุรีฉัตรไชยากร) เป็นเจ้ากรม และเป็นคนไทยคนแรกที่ดำรงตำแหน่งอธิบดีกรมรถไฟ



#### รูปที่ 1.14 พระองค์เจ้าบุรีฉัตรไชยากร อธิบดีกรมรถไฟคนแรก

(ที่มา: <http://www.railway.co.th/home/srt/about/history.asp>)

ในสมัยที่พระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระกำแพงเพชรอัครโยธิน ทรงเป็นผู้บัญชาการกรมรถไฟหลวงอยู่นั้น ทรงเล็งเห็นการรถไฟ และทรงตระหนักดีว่าการใช้รถจักรไอน้ำลากจูงขบวนรถ นอกจากจะไม่สะดวกและประหยัดแล้ว ลูกไฟที่ระจัดกระจายออกมายังเป็นอันตรายได้ พระองค์จึงทรงสั่งรถจักรดีเซล จำนวน 2 คัน จากประเทศสวิสเซอร์แลนด์เข้ามาใช้เป็นครั้งแรก ซึ่งรถจักรดีเซลการกลคันแรก เลขที่ 21 - 22 ได้ออกวิ่งรับใช้ประชาชนเมื่อ พ.ศ. 2471 ปัจจุบันรถจักรประวัติศาสตร์คันนี้ยังคงอยู่ โดยการรถไฟฯ ได้นำมาติดตั้งที่ตึกบัญชาการรถไฟ เพื่อให้อนุชนรุ่นหลังได้ศึกษาหาความรู้ และเนื่องจากพระองค์ทรงเป็นผู้ให้กำเนิดรถจักรดีเซลขึ้นในเมืองไทย รถจักรดีเซลทุกคันที่ใช้อยู่ในการ

รถไฟฯ จึงได้ประดับเครื่องหมาย "บุรฉัตร" อันเป็นพระนามของพระองค์ที่ด้านข้างของรถจักรดีเซลทุกคันที่ส่งเข้ามา เพื่อเป็นการรำลึกและเทิดพระเกียรติแห่งพระองค์ท่าน



รูปที่ 1.15 รถจักรดีเซลไฟฟ้าคันแรก เลขที่ 21

(ที่มา: <http://www.railway.co.th/home/srt/about/history.asp>)

กิจการรถไฟซึ่งได้เริ่มตั้งแต่สมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2439 จนกระทั่งสิ้นรัชสมัยของพระองค์ ในปี พ.ศ. 2453 มีทางรถไฟที่เปิดใช้เดินรถรวมทั้งสิ้น 932 กิโลเมตร และกำลังก่อสร้าง 690 กิโลเมตร

ในสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 มีทางรถไฟที่เปิดใช้ทั้งหมด 2,581 กิโลเมตร และอยู่ในระหว่างก่อสร้าง 497 กิโลเมตร

ในสมัยพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 7 พระองค์ก็ทรงดำเนินรัฐประศาสน์นโยบายในการบำรุงการคมนาคมเช่นเดียวกับรัชกาลก่อนๆ แต่เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจของประเทศไทยกำลังปั่นป่วน ดังนั้น การก่อสร้างทางรถไฟจึงเป็นไปอย่างล่าช้า โดยมีทางรถไฟเพิ่มขึ้นเพียง 418 กิโลเมตร

ในสมัยพระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาอานันทมหิดล รัชกาลที่ 8 ประเทศไทยต้องประสบกับสภาวะทางการเงิน และสงครามโลกครั้งที่ 2 ทำให้การก่อสร้างทางรถไฟไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร โดยมีทางรถไฟก่อสร้างเพิ่มเพียง 259 กิโลเมตร

สำหรับกิจการรถไฟในสมัยพระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาภูมิพลอดุลยเดช รัชกาลที่ 9 ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 กิจการรถไฟประสบภัยสงครามอย่างหนัก ทรัพย์สินทั้งอาคาร และรถ



จักรล้อเลื่อนได้รับความเสียหายมาก จำต้องเริ่มบูรณะฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมโดยเร็ว ถ้าจะอาศัยเงินลงทุนจากงบประมาณของรัฐแหล่งเดียวจะไม่ทันการ รัฐบาลจึงต้องขอกู้เงินจากธนาคารโลกมาสมทบระหว่างการเจรจาจ่ายเงินนั้น ธนาคารโลกได้เสนอให้รัฐปรับปรุงองค์กรของกรมรถไฟหลวงให้มีอิสระกว่าที่เป็นอยู่ เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการบริหารกิจการรถไฟในเชิงธุรกิจ ในปี พ.ศ. 2494 รัฐบาลจอมพล ป.พิบูลสงคราม เป็นนายกรัฐมนตรี ได้พิจารณาเห็นสมควรจัดตั้งกิจการรถไฟเป็นเอกเทศ จึงได้เสนอร่างพระราชบัญญัติการรถไฟแห่งประเทศไทย พ.ศ.2494 ต่อรัฐสภา และได้มีพระบรมราชโองการให้ตราเป็นพระราชบัญญัติขึ้นไว้ตามที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับลงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2494 กรมรถไฟหลวงจึงเปลี่ยนฐานะมาเป็นรัฐวิสาหกิจประเภทสาธารณูปการภายใต้ชื่อว่า "การรถไฟแห่งประเทศไทย" ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2494 เป็นต้นมา โดยการดำเนินงานอยู่ภายใต้ พรบ.การรถไฟฯ ฉบับ พ.ศ. 2494

#### 1.2.2.2 ช่วงความเจริญก้าวหน้าของระบบขนส่งรถไฟในประเทศไทย

การบริหารงานกิจการรถไฟในช่วงเวลาที่เป็นกรมรถไฟหลวงมีความเจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากความคืบหน้าตั้งแต่ลงมือสร้างทางรถไฟสายแรกจากกรุงเทพฯ ถึงนครราชสีมา และเปิดการเดินรถเมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2439

ในปี พ.ศ. 2452 มีทางรถไฟในประเทศรวมทั้งสิ้น 900 กม. ประกอบด้วย ทางรถไฟกว้าง 1.435 เมตร จากกรุงเทพฯ ถึงบ้านดารา/สวรรคโลกในทางสายเหนือ ถึงนครราชสีมาในสายตะวันออกเฉียงเหนือ และถึงฉะเชิงเทราในสายตะวันออก ส่วนในสายใต้มีทางรถไฟกว้าง 1.000 เมตร จากสถานีบางกอกน้อย (ธนบุรี) ถึงเพชรบุรี นอกจากนั้นยังมีรถไฟเอกชนสายปากน้ำ และรถไฟสายแม่กลอง สำหรับรถไฟสายแม่กลองนั้น เมื่อหมดสัมปทานแล้วได้กลับคืนมาเป็นของรัฐบาลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2495

อีก 10 ปีต่อมา คือ พ.ศ. 2462 ความยาวทางรถไฟเพิ่มขึ้นเป็น 2,250 กม. สายเหนือถึงจังหวัดลำปาง และได้ขยายการก่อสร้างจากนครราชสีมาออกไปยังจังหวัดหนองคายและอุบลราชธานี ส่วนสายตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเวลานั้นอยู่ระหว่างการก่อสร้างขยายเส้นทางออกไปยังจังหวัดปราจีนบุรี

การก่อสร้างทางรถไฟสายใต้มีความคืบหน้าอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ เมื่อถึง พ.ศ. 2462 ทางรถไฟขยายไปถึงอำเภอกันตัง จังหวัดตรัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ปาดังเบซาร์ และสุโขทัย

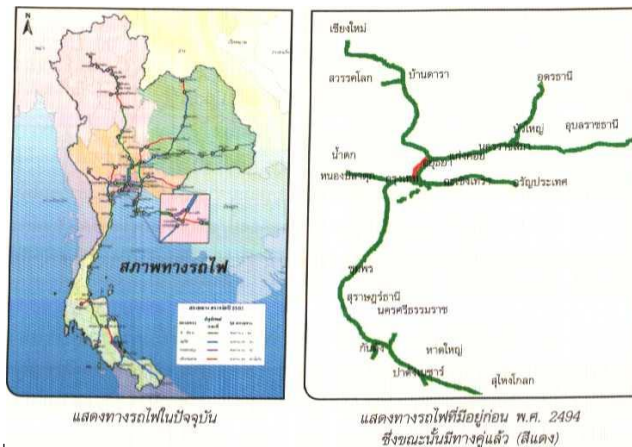
นอกจากนั้นยังมีการตัดสินใจปัญหาเรื่องความกว้างของทางรถไฟสายเหนือและสายใต้ที่แตกต่างกัน และเป็นที่ยกเถียงกันอยู่นานก่อนหน้านั้นอีกด้วย โดยในการประชุมคณะรัฐมนตรี (ภาษาอังกฤษในบรรณานุกรมลำดับที่ 30 เข้าใจว่า คือที่ประชุมเสนาบดีสภาหรือคณะลูกขุน ณ ศาลา) เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2462 (โปรดเกล้าฯ ในวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2462) ให้ลดขนาดความกว้างทางรถไฟสายเหนือเป็น 1.000 เมตร เท่ากับทางรถไฟสายใต้

ในด้านขบวนรถไฟนั้น นาย H.A.K. Zachariae ชาวเดนมาร์ก ซึ่งเป็นวิศวกรใหญ่ฝ่ายการช่างกล ของกรมรถไฟหลวงในระหว่างปี พ.ศ. 2469-2475 ได้พิจารณา เห็นว่าไม้พินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงหยากรและเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Value) ต่ำ ต้องใช้พินจำนวนมากต้มน้ำให้เกิดพลังงานได้เท่าเทียมกับการใช้ถ่านหินในต่างประเทศ สถานที่กองเก็บที่สถานีกรุงเทพฯ ก็มีจำกัด ประกอบกับกรมรถไฟเป็นผู้บริหารโรงไฟฟ้าของกรุงเทพฯ อยู่ในขณะนั้นด้วย จึงได้เสนอเรื่องการเดินรถไฟในพื้นที่ย่านกรุงเทพฯ เพื่อลดการใช้พินกับรถจักรไอน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาแล้วพบว่า ค่าติดตั้งระบบการเดินรถไฟต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเห็นว่าควรนำรถจักรดีเซลเข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาไปพลางก่อน แนวคิดดังกล่าวได้รับความเห็นชอบ และมีการสั่งซื้อรถจักรดีเซล 2 คัน เข้ามาใช้งานในปี พ.ศ. 2471 คือ รถจักรหมายเลข 21 และ 22 เป็นรถจักรดีเซลขนาด 200 แรงม้า ถ่ายทอดกำลังด้วยระบบการกล (Mechanical Transmission) การตัดสินใจเรื่องนำรถจักรดีเซลมาใช้ เป็นความคิดที่ก้าวหน้ามาก และเป็นชาติแรกในทวีปเอเชียที่มีตำรในเรื่องดังกล่าว ในขณะที่นั้นแม้กิจการรถไฟในสหรัฐอเมริกาก็ยังคงมีนโยบายใช้รถจักรไอน้ำโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงต่อไป

### 1.2.2.3 ช่วงการตกต่ำของระบบขนส่งรถไฟในประเทศไทย

การสร้างทางรถไฟในประเทศไทยหลังจากเปิดการเดินรถไฟในเส้นทางสายแรก เมื่อ พ.ศ. 2439 ได้ดำเนินการรวดเร็วไปอย่างรวดเร็ว จนถึงปี พ.ศ. 2494 ประเทศไทยมีทางรถไฟยาวมากกว่า 3,200 กิโลเมตร และมีโครงการสร้างทางสายใหม่ที่อยู่ระหว่างการพิจารณาอนุมัติอีกหลายโครงการ แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากรัฐบาลผ่านกฎหมายเปลี่ยนกรมรถไฟหลวงเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ภายใต้ชื่อ "การรถไฟแห่งประเทศไทย" เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2494 ได้ส่งผลต่อการพัฒนาของประเทศไทย

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 แม้ว่าประเทศไทยจะพยายามรักษาความเป็นกลางอย่างเคร่งครัด แต่ในที่สุดก็ต้องยอมให้ญี่ปุ่นเดินทัพผ่านเข้าไปในพื้นที่อิทธิพลของอังกฤษทางภาคตะวันตก จึงเท่ากับเป็นฝ่ายตรงข้ามกับสัมพันธมิตร และเนื่องจากการขนส่งทางรถไฟเป็นเส้นทางยุทธศาสตร์ที่สำคัญอย่างยิ่งในขณะนั้น จึงเป็นเป้าหมายการโจมตีทางอากาศอย่างรุนแรง หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 สภาพของทางรถไฟเสียหายอย่างหนัก รัฐบาลจึงจำเป็นต้องกู้ยืมเงินจากธนาคารโลกเพื่อใช้ในการบูรณะซ่อมแซม และเงื่อนไขในการให้กู้ยืมประการหนึ่งก็คือ ให้รัฐบาลไทยเปลี่ยนกรมรถไฟหลวงซึ่งเป็นระบบราชการมาเป็นรัฐวิสาหกิจการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยรับโอนทรัพย์สินและข้าราชการกรมรถไฟหลวงมาทั้งหมดรวมทั้งมอบทุนประเดิมให้เป็นการประเดิมเริ่มต้นด้วยจำนวน 30 ล้านบาท



i

### รูปที่ 1.16 ทางรถไฟในประเทศไทย

(ที่มา: นคร จันทกร, 2555, ช่างรถไฟ)

นับจาก พ.ศ. 2494 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยมีทางรถไฟยาว 4,043 กม. ซึ่งเพิ่มขึ้นเพียง 600 กิโลเมตรเศษ บทบาทในการขนส่งผู้โดยสารและสินค้าด้วยรถไฟลดลงเหลือ 5% และ 2% ของปริมาณการขนส่งในประเทศโดยประมาณ ตามลำดับ ข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้ไม่ได้

หมายความว่าความนิยมใช้บริการขนส่งทางรถไฟลดลง แต่ศักยภาพของการให้บริการถูกจำกัดด้วยเส้นทางและขบวนรถที่มีอยู่ ประกอบกับมีการพัฒนาระบบขนส่งทางถนนโดยใช้เงินงบประมาณจากรัฐบาลมากมายในแต่ละปี กิจการเดินรถไฟจึงไม่สามารถแข่งขันกับระบบขนส่งอื่นได้ และทางรถไฟส่วนมากยังเป็นทางเดี่ยว ขบวนรถต้องรอลูกกันไปตลอดทาง จึงไม่สามารถเดินรถได้รวดเร็วและตรงเวลา อีกทั้งยังต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ซ่อมบำรุง และการสร้างทาง ทำให้กิจการเริ่มต้นมีผลประกอบการขาดทุนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 และขาดทุนต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ด้วยเหตุนี้ สภาพทางรถไฟจึงล้าหลังมาก ทางรถไฟมากกว่า 3,200 กิโลเมตร สร้างไว้แต่ครั้งเป็นกรมรถไฟหลวง มีทางรถไฟเพียง 600 กิโลเมตรเศษ ซึ่งก่อสร้างเพิ่มเติมในสมัยเป็นการรถไฟแห่งประเทศไทย ทางรถไฟในปัจจุบัน (พ.ศ. 2553) มีความยาว 4,043 กม. เป็นทางเดี่ยว 3,763 กม. (93%) และเป็นทางคู่ (หรือมากกว่าทางคู่) 280 กม. (7%) ด้วยสภาพทางรถไฟดังกล่าว ประกอบกับระบอบาณัติสัญญาณที่ล้าสมัย สภาพรถจักรและล้อเลื่อนเก่าทรุดโทรม ทำให้การเดินรถไฟใช้เวลาจากต้นทางถึงปลายทางนานและช้ากว่ากำหนดเวลามาก ด้วยคุณภาพการให้บริการที่เสียเปรียบระบบขนส่งอื่นซึ่งประกอบกิจการแข่งขันอยู่ในตลาดเดียวกัน และการที่ไม่อาจกำหนดราคาค่าบริการให้สะท้อนต้นทุนได้ แม้ว่าจะเก็บค่าโดยสารราคาถูกมากแล้ว ส่วนแบ่งตลาดก็เหลืออยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ

### 1.3 ความจำเป็นของระบบรางที่มีผลต่อการคมนาคม

การขนส่งระบบรางเป็นการขนส่งที่พัฒนามานับตั้งแต่ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การค้นพบเครื่องจักรไอน้ำ และได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาควบคู่กับการปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุโรป เป็นการขนส่งที่รวดเร็วและมีบทบาทสูง สามารถเคลื่อนย้ายคน และขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยประหยัด รวมทั้งก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่าทางถนน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐในการประหยัดพลังงานและช่วยลดปัญหาการจราจร

ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้นำเสนอโครงการลงทุนของการรถไฟฯ ตามแผนดังกล่าว รัฐบาลที่บริหารประเทศในขณะนั้นได้พักโครงการลงทุนไว้ และให้ทางการรถไฟฯ ว่าจ้างสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) มาศึกษากรณีการบริหารงานของการรถไฟฯ ก่อน ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวนโยบาย

การลงทุนในอนาคต รายงานของ TDR1 ที่นำเสนอในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2536 ก็เริ่มจากการถามคำถามและการได้รับคำตอบ คือ **"ประเทศไทยยังต้องมีระบบขนส่งรถไฟ"** คำตอบนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นที่สังคมเริ่มรับทราบมุมมองใหม่ของประเทศในการเห็นประโยชน์ของรถไฟในภาพรวมที่จะเกิดแก่ประเทศมากกว่าการเป็นองค์กรที่จะต้องทำกำไรได้ตั้งที่เข้าใกล้กันมาเป็นเวลานาน รายงานการศึกษาของ TDR1 เห็นว่า จะต้องทำการลงทุนเพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างเส้นทางรถไฟให้สามารถแข่งขันได้กับระบบขนส่งอื่น และเสนอหลักการให้รัฐบาลรับภาระการบริการสาธารณะ (Public Service Obligation: PSO) เพื่อแก้ไขปัญหาการเงินของการรถไฟฯ สิ่งเหล่านี้รวมทั้งข้อเสนอให้ปรับโครงสร้างธุรกิจที่ตามมาในช่วงขึ้นศตวรรษใหม่ (ค.ศ. 2000) ยังไม่บังเกิดผลเป็นรูปธรรมเท่าที่ควร หลายฝ่ายยังคงคลางแคลงใจที่จะเดินหน้าอย่างเต็มตัวด้วยเหตุผลต่างๆ นานา

ในปี พ.ศ. 2542 รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนบีทีเอส ของบริษัท ระบบขนส่งมวลชน กรุงเทพมหานคร จำกัด (มหาชน) ได้ถือกำเนิดขึ้น ทำให้สังคมไทยเห็นประจักษ์ถึงประโยชน์ของระบบขนส่งทางรางในรูปแบบที่ทันสมัย เป็นการแก้ภาพลักษณ์ของรถไฟเดิมที่สังคมยังเคลือบแคลงใจ หากจะต้องใช้เงินจำนวนมากมาคอบกู้กิจการ ซึ่งเป็นภาพลักษณ์ที่ถูกเหมาเอาว่าการขนส่งทางรางคงเป็นรูปแบบอย่างที่รถไฟของการรถไฟฯ เป็นอยู่ การเปลี่ยนแปลงภาพลักษณ์ดังกล่าวช่วยให้การอธิบายปัญหาการรถไฟฯ ให้ผู้กำหนดนโยบายขนส่งเข้าใจได้ง่ายขึ้น และระบบขนส่งทางรางได้เข้ามาอยู่ในความสนใจอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 1.17 รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนบีทีเอส

(ที่มา : <http://1.bp.blogspot.com>)

การจัดตั้งสำนักนโยบายขนส่งและจราจร (สนข.) การกำเนิดขึ้นของรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล (บีทีเอส) และบีเอ็มซีแอล (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)) ทำให้เกิดเครือข่าย (Networking) ของผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งทางราง ซึ่งไม่ใช่ว่าคุณภาพของการรถไฟฯ ที่โดดเด่น รู้เรื่องรถไฟอยู่คนเดียวดังเช่นในอดีตที่ผ่านมา รวมทั้งความสำเร็จของรถไฟความเร็วสูงในต่างประเทศ ประกอบกับการรับทราบข้อมูลข่าวสารที่สะดวกและรวดเร็วทางอินเทอร์เน็ต วิศวกรรมและเทคโนโลยีที่เสริมแต่งให้การขนส่งทางรถไฟมีรูปแบบที่ทันสมัย รวมทั้งปัญหาสภาพแวดล้อม ต้นทุนการขนส่งของประเทศและปัญหาพลังงานที่จะใช้ขนส่งในอนาคต ผลักดันให้การขนส่งระบบรางของประเทศที่ซบเซาหลายปีกลับมาอยู่ในความสนใจของสังคม และหวังว่าระบบขนส่งทางรางจะกลับมา มีบทบาทอย่างมากในระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศต่อไปในอนาคต

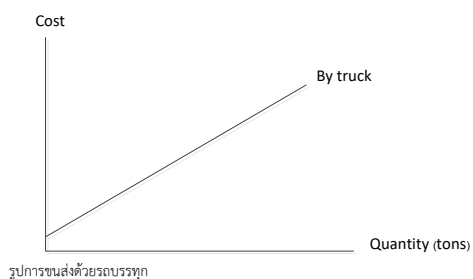
## 1.4 ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของการขนส่งทางราง

### 1.4.1 ข้อได้เปรียบของการขนส่งทางราง

การขนส่งทางราง เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า การขนส่งทางรางเป็นการขนส่งที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบการขนส่งทางบกแบบอื่น เมื่อขนส่งในปริมาณที่เท่ากัน ตัวเลขที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปทางวิชาการขนส่งก็คือ รถไฟขนส่งคนค่าประหยัดพลังงานกว่าการใช้รถยนต์บรรทุก 3.5 - 4.5 เท่า รถไฟขนส่งผู้โดยสารประหยัดพลังงานมากกว่ารถโดยสารสาธารณะ 1.7-2.0 เท่า และประหยัดพลังงานกว่ารถโดยสารส่วนบุคคล 5.0 เท่า

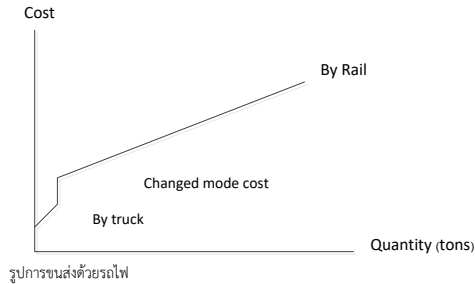
กรณีศึกษา การขนส่งข้าวสารของบริษัท ซีพีอินเตอร์เทรด จำกัด เป็นกรณีศึกษาการขนส่งข้าวจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยาไปร้านค้าปลีกที่จังหวัดเชียงใหม่ ในเส้นทาง 2 ทาง คือ 1) ทางถนน และ 2) ทางรถไฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่งข้าวรูปแบบต่างๆ เพื่อหาระยะทางและเวลาที่เกิดขึ้นจริงเพื่อเสนอแนวทางในการลดต้นทุนและพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในการขนส่งข้าวในประเทศ โดยมีการสัมภาษณ์ผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องใช้หลักเกณฑ์ในการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งจากโรงงานข้าววังแดง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำหน่ายไปยังร้านค้าปลีกในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันใช้รถบรรทุก 10 ล้อ 1 คัน สามารถบรรจุได้ 3,000

ถุง ค่าเช่ารถ 25,000 บาทต่อเที่ยว ระยะทางในการขนส่ง 667 กิโลเมตร ใช้เวลา 10 ชั่วโมง 17 นาที  
ดั่งแผนภาพ 1.1



**แผนภาพ 1.1** แสดงลักษณะของต้นทุนการขนส่งทางรถบรรทุกที่เกิดขึ้น  
(ที่มา: <http://logisticscorner.com/index.php/2009-05-25-00-45-43/transportation/2225-2011-01-16-12-52-43.htm#>)

ถ้าเปลี่ยนการขนส่งมาเป็นทางรถไฟ ต้นทุนค่าระวางแบบเหมาตู้คอนเทนเนอร์รถไฟจากชุมทางบ้านภาชี-เชียงใหม่ 532 บาท/ตัน โดย 1 ตู้คอนเทนเนอร์ สามารถบรรจุได้สูง 4,000 ถุง ซึ่งมากกว่า แต่ในกรณีนี้จะเปรียบเทียบในจำนวนเท่ากันคือ 3,000 ถุง แต่เนื่องจากรถไฟไม่สามารถส่งสินค้าแบบ Door to Door ได้ จึงต้องมีการขนแบบต่อเนื่องโดยรถบรรทุกจากโรงงานมาที่สถานีรถไฟ ซึ่งมีต้นทุนขนส่งอีก 1,500 บาท และค่าขนส่งจากสถานีรถไฟไปยังร้านค้าปลีกปลายทางอีก 1,500 บาท ระยะทางในการขนส่งทางรถไฟ 751 กิโลเมตร ใช้เวลา 12 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งล่าช้ากว่าทางรถบรรทุกประมาณ 3 ชั่วโมง แต่ถ้ามีการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานแล้ว จะสามารถกำหนดเวลารวมทั้งเพิ่มเที่ยวและประสิทธิภาพการให้บริการได้ เพราะฉะนั้นต้นทุนการขนส่งทางรถไฟเท่ากับ 10,980 บาท ซึ่งต่างจากการใช้รถบรรทุกถึง 14,020 บาท ดั่งแผนภาพ 1.2



**แผนภาพ 1.2** แสดงลักษณะของต้นทุนการขนส่งทางรถไฟที่เกิดขึ้น

(ที่มา: <http://logisticscorner.com/index.php/2009-05-25-00-45-43/transportation/2225-2011-01-16-12-52-43.html#>)

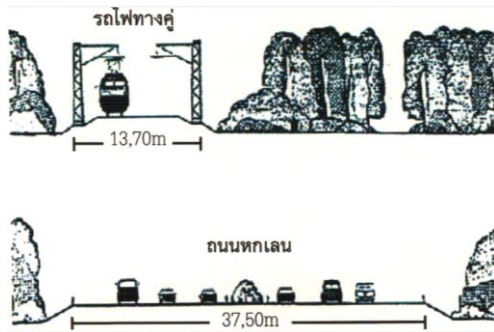
ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนการขนส่งทางรถไฟมีต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งหากมีการหันมาให้ความสนใจพัฒนาการบริหารจัดการ ทั้งในด้านการสนับสนุนการจัดระเบียบการขนส่งทางรถไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การขนส่งทางรถไฟก็จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยเฉพาะธุรกิจค้าข้าวเท่านั้น

นอกจากนั้นระบบการขนส่งทางรางที่เป็นรถไฟไฟฟ้า ยังสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต้นกำเนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานนิวเคลียร์ มาทำการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การขนส่งทางรางนอกจากจะช่วยประหยัดต้นทุนการขนส่ง และประหยัดพลังงานแล้ว ยังเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าระบบขนส่งอื่น รถไฟปล่อยก๊าซที่เป็นพิษน้อยกว่าระบบขนส่งอื่น เมื่อทำการขนส่งในปริมาณที่เท่ากัน และปลอดภัยกว่าระบบการขนส่งประเภทอื่น ระบบการเดินรถไฟสามารถควบคุมการจราจรบนเส้นทางได้ เนื่องจากทางรถไฟเป็นเส้นทางที่ควบคุมการเข้ามาใช้เส้นทาง (Controlled Access) ซึ่งแตกต่างจากถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่จะนํารถเข้ามาริ่งเมื่อไรก็ได้ นอกจากนี้ระบบขนส่งทางรถไฟใช้น้ําคู่อการใช้ที่ดินแบบเมือง ชุมชนที่เติบโตกับระบบรถไฟมีลักษณะกระจุกอยู่รอบบริเวณที่เป็นศูนย์กลางการขนถ่ายคนและสินค้า ได้แก่ สถานีรถไฟและย่านสินค้าต่างๆ รถไฟสามารถขนส่งได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก จึงใช้ที่ดินเพื่อก่อสร้างโครงสร้างขนส่งน้อยกว่าระบบขนส่งอื่น โดยทั่วไปรถไฟทางคู่จะมีขีดความสามารถในการขนส่งมากกว่าถนน 6 ช่องจราจร จึงใช้



ทรัพยากรที่ดินของประเทศในการก่อสร้างโครงสร้างขนส่งน้อยกว่า สิ่งเหล่านี้คือเหตุผลสนับสนุนนโยบายการใช้ระบบรางเป็นแกนกลางของระบบขนส่งสำหรับประเทศ



รูปที่ 1.18 รถไฟทางคู่มีขีดความสามารถขนส่งเท่ากับถนน 6 ช่องจราจร (ที่มา: รายงานเรื่อง รถไฟกับสิ่งแวดล้อมของสหภาพยุโรป: EU)

#### 1.4.2 ข้อเสียเปรียบของการขนส่งทางราง

ถึงแม้ว่าการขนส่งทางรางจะมีข้อเด่นอยู่หลายประการ แต่ก็มีข้อเสียเปรียบที่สำคัญ คือ ไม่สามารถส่งสินค้าแบบถึงที่ หรือ Door to Door ได้ ซึ่งอาจจะเสียเปรียบมากหากเปรียบเทียบกับรถยนต์ส่วนบุคคล แต่หากเปรียบเทียบกับระบบขนส่งสาธารณะอื่นก็ไม่ได้เสียเปรียบมากนัก ข้อเสียเปรียบนี้เองที่บริการขนส่งทางรถไฟจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการจากด้านอุปสงค์ (Demand Side Management) จึงจะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การบริหารจัดการจากด้านอุปสงค์ ได้แก่ การกำหนดแผนการใช้ที่ดินและผังเมืองที่เอื้อต่อการเข้ามาใช้บริการการพัฒนาเมือง ในต่างประเทศเรียกว่า Transit-oriented Development (TOD) ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาเมืองที่มุ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัยในการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบราง

การบริหารจัดการจากด้านอุปสงค์ยังมีความครอบคลุมในเรื่องการบริหารจัดการระบบขนส่งต่อเนื่องที่จะมารับช่วงจากระบบราง การให้บริการตัวร่วม บริการที่จอดรถทั้งรถยนต์และจักรยาน

การสร้างบรรยากาศที่เอื้อต่อการเดินเท้า เหล่านี้คือการบริหารจัดการด้านอุปสงค์ที่จะช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับภาระขนส่งระบบราง

เนื่องจากระบบรางมีราคาแพงต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก เมื่อลงทุนก่อสร้างระบบแล้วจะต้องหาทางเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้สูงที่สุดจึงจะคุ้มค่า การก่อสร้างระบบรางที่สามารถใช้สินค้าอุตสาหกรรมในประเทศได้อย่างเหมาะสม นอกจากจะช่วยในด้านประหยัดต้นทุนของประเทศแล้วยังช่วยเพิ่มการจ้างงานในประเทศและเป็นฐานในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความจำเป็นที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงมากอาจทำให้เกิดผูกขาดการขนส่ง โดยเฉพาะการผูกขาดโดยภาครัฐ ซึ่งในหลายกรณีเป็นผู้เดียวที่มีความสามารถในการลงทุนและการบริหารจัดการ โดยภาครัฐก็มักจะติดขัดในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมแล้วระบบขนส่งทางรางมีข้อได้เปรียบสูง ส่วนข้อเสียเปรียบนั้นเป็นเรื่องที่สามารถบริหารจัดการได้ ด้วยเหตุนี้เองที่การขนส่งทางรางได้รับการพิจารณาให้เป็นทางเลือกในกรณีที่มีความต้องการระบบขนส่ง ซึ่งประหยัด ปลอดภัย และดูดีมีระดับ ข้อได้เปรียบเหล่านี้ทำให้ระบบรางสามารถผ่านช่วงเวลาที่ยากลำบากคือ ช่วงการขยายตัวของระบบขนส่งทางถนน (Road Boom) หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 มาได้ การก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงในต่างประเทศมุ่งเน้นไปที่การเป็นระบบขนส่งทางเลือกที่ประหยัดพลังงาน ประหยัดการใช้ทรัพยากรที่ดินในการสร้างระบบขนส่ง ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าระบบขนส่งอื่น

## บทสรุป

การขนส่งทางรางถือกำเนิดมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 600 เป็นการขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าด้วยยานพาหนะที่วิ่งไปตามราง การขนส่งทางรางในประเทศไทยได้ถือกำเนิดขึ้นในรัชสมัยรัชกาลที่ 5 จนถึงปัจจุบันนี้เป็นระยะเวลากว่า 114 ปี สำหรับการขนส่งทางรางเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่โลจิสติกส์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับการค้าระหว่างประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในหลายๆ ประเทศ และถือได้ว่าเป็นระบบขนส่งทางเลือกที่ประหยัดพลังงาน ประหยัดการใช้ทรัพยากรที่ดินในการสร้างระบบขนส่ง ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าระบบการขนส่งแบบอื่น

## เอกสารอ้างอิง

นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ : ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทาง  
รางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงาน  
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

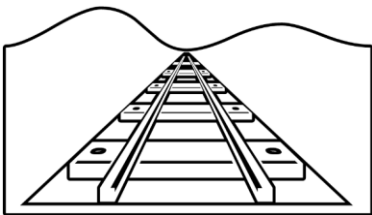
นรврรรณ ชัยฉัยโรจัน. การขนส่งทางราง ทางเลือกในการลดต้นทุน. สืบค้นจาก  
<http://blog.eduzones.com/magazine/104913> เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2556

History of rail transport. สืบค้นจาก [http://en.wikipedia.org/wiki/  
History\\_of\\_rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport) เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2556

กำเนิดและพัฒนาการของการขนส่ง. สืบค้นจาก [http://www.baanjomyut.com/ library\\_2/  
extension-2/the\\_origin\\_and\\_development\\_of\\_transportation/ index.html](http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/the_origin_and_development_of_transportation/index.html) เมื่อ  
วันที่ 25 มีนาคม 2556

รรางไทย. สืบค้นจาก <http://www.sarakadee.com/2012/04/16/tramway/> เมื่อวันที่ 20  
มีนาคม 2556

ประวัติการรถไฟแห่งประเทศไทย. สืบค้นจาก [http://vigportal.mot.go.th/portal/site/  
PortalMOT](http://vigportal.mot.go.th/portal/site/PortalMOT) เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2556



หน่วยที่

**IRS-002**

**ระบบทางรถไฟ**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| เนื้อหาการเรียนรู้      | <input type="checkbox"/> ความหมายและหน้าที่ของทางรถไฟ<br><input type="checkbox"/> โครงสร้างและส่วนประกอบของทางรถไฟ<br><input type="checkbox"/> ขนาดและมาตรฐานทางรถไฟ<br><input type="checkbox"/> รูปแบบโครงสร้างของทางรถไฟ<br><input type="checkbox"/> จุดเด่น - จุดด้อยของทางรถไฟแต่ละประเภท  |
| จุดประสงค์การเรียนรู้   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) จำแนกประเภทของทางรถไฟได้</li> <li>2) อธิบายโครงสร้างทางรถไฟ มาตรฐานและขนาดของทางรถไฟได้</li> <li>3) บอกความแตกต่างของรูปแบบโครงสร้างของทางรถไฟแบบบนพื้นปกติ ทางรถไฟลอยฟ้า และทางรถไฟใต้ดินได้</li> <li>4) บอกข้อเด่น-ข้อด้อยของทางรถไฟแต่ละแบบ และเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบทางแบบต่างๆ ในการขนส่ง</li> </ol> |
| ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง | <p>ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของทางรถไฟ ข้อเด่น ข้อด้อย และความเหมาะสมของทางรถไฟแต่ละประเภทในการขนส่งทางรางของประเทศ</p>   |

## 2.1 ความหมายและหน้าที่ของทางรถไฟ

รถไฟเป็นยานพาหนะขนส่งที่แตกต่างจากยานพาหนะอื่นๆ คือ คนขับจะไม่สามารถเลือกมได้ว่าจะวิ่งไปทางไหน แต่พนักงานที่อยู่ภาคพื้นดินจะเป็นคนกำหนดให้ ก่อนที่จะมีรถไฟอย่างไรในปัจจุบันนี้ มนุษย์เราได้เรียนรู้เรื่องการใช้อยานพาหนะที่มีล้อซึ่งสามารถลากไปตามรางมานานแล้ว ต่อมาจึงเรียนรู้ว่า หากมีการใช้วัสดุปูทางให้ราบเรียบ จะสามารถลากหรือเข็นยานพาหนะผ่านไปได้สะดวก โดยไม่ต้องออกแรงมาก ซึ่งได้มีการพัฒนาต่อเนื่องมาเรื่อยๆ โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในแต่ละยุคสมัยปูทางลาดให้รถวิ่ง เช่น ขอนไม้ แผ่นไม้กระดาน แผ่นหิน แผ่นเหล็ก เป็นต้น จนในที่สุดก็พัฒนามาเป็นรางรถไฟที่มีรูปร่างดังที่เห็นในปัจจุบัน



ทางรถไฟสมัยโบราณ ใช้เหล็กฉากวางบนหิน  
(ที่มา: <http://www.jamespreller.com>)



ทางรถไฟใช้คานเหล็กปูพื้นด้วยแท่งหิน  
(ที่มา: <http://us.123rf.com>)



ทางรถไฟวางบนหมอนไม้  
(ที่มา: <http://www.missingmiami.com>)



ทางรถไฟปัจจุบันวางบนหมอนคอนกรีต  
(ที่มา: <http://faithduringreality.files.wordpress.com>)

## รูปที่ 2.1 การวางทางรถไฟแต่ละยุคสมัย

### 2.1.1 ความหมายของทางรถไฟ

ทางรถไฟ หมายถึง ทางที่ประกอบด้วยรางสองราง ซึ่งปกติทำมาจากเหล็กกล้าวางขนานต่อๆ กันบนไม้หมอนซึ่งวางตั้งฉากกับตัวราง ไม้หมอนวางอยู่บนชั้นของหินก้อน ซึ่งมีขนาดประมาณ 3-6 ซม. ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะห่างของรางเรียกว่า "เกจ" (Gauge) โดยมีคันทันเป็นฐานรองรับทางรถไฟ

## 2.1.2 หน้าที่ของทางรถไฟ

ทางรถไฟทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ รับน้ำหนักรถไฟ (Load bearing) และกำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction guiding)

### 2.1.2.1 หน้าที่ในการรับน้ำหนักรถไฟ (Load bearing)

สิ่งที่บ่งบอกความสามารถในการรับน้ำหนักของทางรถไฟ โดยมาตรฐานเรียกว่า น้ำหนักกดเพลา (Axle load) และการกระจายของน้ำหนักบนทาง (Load distribution) ซึ่งตัวเลขดังกล่าวจะใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบทางรถไฟและขบวนรถไฟ ทางรถไฟที่ออกแบบโดยใช้มาตรฐานน้ำหนักกดเพลาสูง หมายถึง ต้องใช้รางขนาดใหญ่วางอยู่บนโครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งจะช่วยให้ค่าก่อสร้างแพงขึ้น แต่จะมีขีดความสามารถในการขนส่งสูงด้วย ดังนั้น การนำรถไฟมาวิ่งบนทางต้องคำนึงถึงน้ำหนักของรถไฟที่วิ่งด้วย

ทางรถไฟที่ออกแบบสำหรับรถสินค้าที่มีน้ำหนักกดเพลาสูง เมื่อนำรถโดยสารซึ่งเบากว่ามาวิ่งก็จะรู้สึกถึงความมั่นคงที่ดี แต่ในทางกลับกันถ้าเป็นทางที่ทำไว้สำหรับรถโดยสาร แล้วนำรถสินค้าไปวิ่ง อาจจะทำให้ทางชำรุดทรุดโทรมเร็ว

ในสมัยโบราณหัวรถจักรไอน้ำเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุด แต่ในปัจจุบัน รถสินค้าคือส่วนที่หนักไม่แพ้กัน รถสินค้าที่ใช้วิ่งกันอยู่ในยุโรปมีน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 25 ตัน ในขณะที่รถสินค้าในประเทศออสเตรเลียน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 26 ตัน การสร้างทางรถไฟสำหรับรถความเร็วสูงโดยทั่วไปกำหนดน้ำหนักกดเพลาไว้ที่ 17-19 ตัน

ปัจจุบันโครงสร้างทางรถไฟถูกแบ่งออกเป็นอีก 2 ระดับชั้น ถ้าเป็นขบวนรถไฟขนาดเล็กมีน้ำหนักกดเพลา เช่น ทางรถไฟที่วิ่งในเมืองหรือรถราง เรียกว่า “Light rail” ส่วนทางรถไฟขนาดใหญ่ ซึ่งสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักมาก ประกอบด้วย โครงสร้างที่แข็งแรง เรียกว่า “Heavy rail” อย่างไรก็ตาม การแบ่งระดับชั้นนี้ เป็นความหมายที่ใช้บอกขีดความสามารถในการขนส่งของระบบขนส่งมวลชน เช่น “Heavy rail” หมายถึง ระบบขนส่งมวลชนที่มีขีดความสามารถในการขนคนได้มากกว่า 50,000-60,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง เป็นต้น

ในอดีต ทางรถไฟของประเทศไทยในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 สามารถรองรับน้ำหนักกดเพลาสูงสุดได้เพียง 10.5 ตัน ในขณะที่รถสินค้า มีน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 8-10 ตัน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการปรับปรุงทางรถไฟเดิมให้สามารถรับน้ำหนักกดเพลาได้สูงสุด 16 ตันทั่วประเทศ

ส่วนทางรถไฟที่สร้างใหม่ รวมทั้งทางรถไฟที่ปรับปรุงขนาดหนัก (Rehabilitation) ออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักกดเพลาได้สูงสุด 20 ตัน ทางรถไฟตามมาตรฐานใหม่ที่ออกแบบให้มีขีดความสามารถในการรับน้ำหนักกดเพลาสูง จะมีความมั่นคง สามารถวิ่งรถโดยสารได้ด้วยความเร็วสูงสุดมากกว่า 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ทางรถไฟที่สร้างขึ้นควรตอบสนองความต้องการหรือใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ทางรถไฟที่ออกแบบมาใช้เป็นการเฉพาะกิจ (Dedicated track) เช่น ทางรถไฟขนส่งมวลชน ทางรถไฟความเร็วสูง ซึ่งสร้างมาเพื่อรองรับประเภทเดียวโดยเฉพาะ ทางรถไฟเหล่านี้จะไม่รูดสินค้าที่มีน้ำหนักมากมาวิ่งได้ ถึงแม้การใช้เส้นทางร่วมกันจะประหยัด มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แต่หากมองในทางวิศวกรรมและการดูแลรักษาแล้ว การแยกทางวิ่งออกไปต่างหากจะเหมาะสมกว่า

### 2.1.2.2 หน้าที่ในการกำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction Guiding)

ล้อรถไฟและรางรถไฟจะทำงานสัมพันธ์กันในการกำหนดเส้นทางวิ่งไปตามราง ส่วนประกอบหลักของล้อซึ่งทำหน้าที่ประคองตัวรถให้วิ่งไปตามรางและบังคับไม่ให้ตกรางคือ บังใบ (Flange) ซึ่งอยู่ด้านในล้อ พื้นล้อตรงส่วนที่สัมผัสหัวราง เรียกว่า เทรด (Thread) และเส้นผ่าศูนย์กลางล้อที่วัดตรงจุดสัมผัสนี้ เรียกว่า เส้นผ่านศูนย์กลาง ณ.จุดสัมผัส (Diameter on Thread) ระยะห่างจากจุดที่พื้นล้อด้านบนสัมผัสหัวรางถึงจุดที่บังใบสัมผัสหัวรางด้านข้าง เรียกว่า ระยะสายตัว (Wheel flange play) ซึ่งการรถไฟฯ กำหนดระยะสายตัวออกด้านข้างล้อไว้ข้างละ 6.75 มม.

ขณะที่ขบวนรถเคลื่อนที่ บังใบล้อจะบังคับให้ล้อพร้อมเพลาอยู่ระหว่างรางทั้ง 2 ข้าง เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ จะต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ประแจ (Turnout หรือ Point) ซึ่งทำหน้าที่ประคองบังใบล้อให้ขบวนรถวิ่งไปตามทิศทางที่กำหนด ตามท่าของประแจ



## 2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของทางรถไฟ

### 2.2.1 โครงสร้างของทางรถไฟ

ปกติทางรถไฟจะมีทางๆ เดียว ใช้สำหรับขบวนรถวิ่งทั้งไปและกลับ ทางนี้เรียกว่า **ทางประธาน (Main line)** ขบวนรถที่วิ่งขึ้นและลงย่อมต้องมีการสวนกันหรือหลีกกันเป็นครั้งคราว จึงจำเป็นต้องจัดที่ไว้สำหรับขบวนรถหลีกเป็นระยะๆ เรียกว่า **ทางหลีก (Siding)** ซึ่งปกติมักสร้างไว้ในเขตสถานี โดยมอบให้นายสถานีเป็นเจ้าหน้าที่ควบคุมรับผิดชอบ จุดที่ทางหลีกและทางประธานมาบรรจบกันนั้นมีแบบลักษณะของรางพิเศษ เรียกว่า **จุดสับราง (Switching part)** ไว้สำหรับบังคับให้รถผ่านเข้าทางประธานหรือเข้าทางหลีกได้ตามความต้องการ บริเวณสถานีซึ่งประกอบด้วยทางประธานและทางหลีกทั้งหมดรวมกัน เรียกว่า **ย่านสถานี (Station yard)** ย่านสถานีที่ใหญ่มากๆ จึงมักเป็นที่รวมรถ และในวันหนึ่งๆ มีการสับเปลี่ยนรถเพื่อจัดขบวนเป็นจำนวนมาก เช่น ย่านพหลโยธินที่บางซื่อ เป็นต้น เราเรียกย่านใหญ่นี้ว่า **ย่านสับเปลี่ยน (Marshalling yard)** ตามย่านสถานีโดยทั่วไปจะมีประแจปรุงรางแปลกๆ วางไว้เป็นจำนวนมาก วัตถุประสงค์ของประแจเหล่านี้ก็เพื่อให้รถสามารถวิ่งผ่านไปมาตามทางหลีกต่างๆ ตามต้องการด้วยการบังคับกลไกของประแจให้ขยับไปในท่าต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์พิเศษ การบังคับจะรวมอยู่ที่ศูนย์อาคารกลางย่านสถานี เรียกว่า **หอสัญญาณ** เจ้าหน้าที่ผู้บังคับประแจเรียกว่า **พนักงานสัญญาณ**

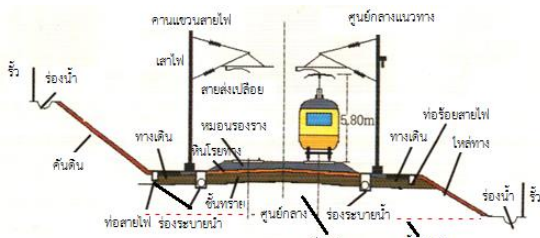


รูปที่ 2.2 ทางรถไฟ

(ที่มา: <http://www.reo11.net>)

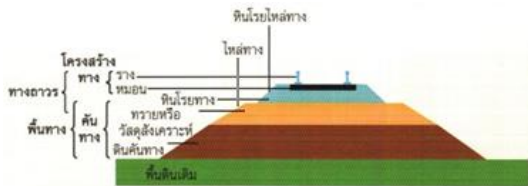
### 2.2.3 ส่วนประกอบของทางรถไฟ

ในมุมมองของคนทั่วไป ทางรถไฟอาจเป็นเพียงแค่รางเหล็ก 2 เส้นวางทอดขนานกันไป แต่ถ้ามองแบบช่างรถไฟ ก็将会เห็นว่ารางเหล็กนั้นวางอยู่บนหมอนรองราง (Sleepers หรือ Ties) มีเครื่องยึดเหนี่ยวราง (Rail fastening device) ทำหน้าที่ยึดรางเหล็กไว้กับหมอน ใต้หมอนลงไปคือหินโรยทาง (Ballast) ทำหน้าที่ยึดหมอนรองรางไว้กับที่และถ่ายน้ำหนักรถไฟเฉลี่ยลงบนคันทาง (Embankment) ซึ่งอยู่ใต้ชั้นหินโรยทาง และส่วนที่อยู่ล่างสุด คือ พื้นดินเดิมซึ่งจะรับน้ำหนักส่วนของโครงสร้างทางรถไฟส่วนบนไว้ นอกจากนี้บริเวณสะพาน ทางเลี้ยวประแจ หรือจุดวิกฤต ก็จะมีรางอีกคู่หนึ่งวางขนานไปกับรางรับน้ำหนักเรียกว่า รางประคอง (Guard rail) ทำหน้าที่ประคองล้อรถไฟที่อาจพลัดตกจากรางให้อยู่ในขอบเขตจำกัด เพื่อป้องกันไม่ให้ขบวนรถไฟหลุดออกไปทำความเสียหายกับ โครงสร้างหรือตกลงจากสะพานสูง ตรงบริเวณที่ถนนตัดผ่านทางรถไฟจะมีรางกันไว้สำหรับวัสดุสิ่งแปลกปลอมที่อาจหลุดเข้ามาแทรกอยู่ข้างทาง



รูปที่ 2.3 หน้าตัดโครงสร้างทางรถไฟกรณีเป็นทางบนพื้นดินและเป็นรถไฟฟ้่า  
(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ข่างรถไฟ)

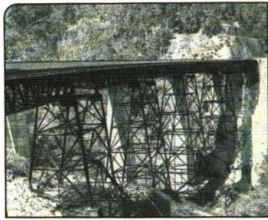
ดินคันทาง (Embankment) ทำหน้าที่รับน้ำหนักขบวนรถไฟจากหินโรยทาง แล้วถ่ายน้ำหนักขบวนรถไฟทั้งหมดลงบนพื้นดินเดิม ดินคันทางที่ได้คัดเลือกคุณสมบัติเพื่อความทนทานในการใช้งาน จะถูกบดอัดขึ้นรูป มีลาดเอียงทางด้านข้าง (Slope) และที่ผิวด้านบนมีลาดเอียงออกทางด้านข้างเล็กน้อย (Camber) เพื่อให้มีน้ำที่ซึม ผ่านหินโรยทางลงมาระบายออกได้สะดวก ระหว่างหินโรยทางกับดินคันทาง ก็อาจจะมีวัสดุอื่นคั่นอยู่ เพื่อให้ดินคันทางมีอายุการใช้งานได้นาน วัสดุเหล่านี้ ได้แก่ หยาบหยาบ หรือแผ่นวัสดุสังเคราะห์ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินคันทางถูกน้ำฝนกัดเซาะ



รูปที่ 2.4 รายละเอียดหน้าตัดขวางทางรถไฟ  
(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ข่างรถไฟ)

โครงสร้างของทางรถไฟจะมีความแตกต่างตามภูมิประเทศที่ทางรถไฟตัดผ่านเข้าไป ซึ่งภูมิประเทศที่แตกต่างกันก็จะมีโครงสร้างแตกต่างกัน ได้แก่ ทางรถไฟที่ผ่านแม่น้ำลำคลอง ต้องมีสะพาน (Bridge) ผ่านที่ราบมีน้ำไหลผ่าน ต้องมีช่องระบายน้ำ (Culvert) ผ่านหุบเขาตื้น มีทางถม

(Embankment) ผ่านหุบเขาลึก มีสะพานห่อ (Viaduct) ผ่านเนินเขาขนาดย่อม ต้องมีทางตัด (Cutting) และผ่านภูเขาขนาดใหญ่ ต้องมีถ้ำหรือโมงค์ (Tunnel) เป็นต้น



สะพาน (Viaduct) ในทางรถไฟชั้นขุนตาล



การสร้างทางรถไฟเป็นทางตัดผ่านเนินเขา (Cutting)



ถ้ำพระฉาย คลองสิบเก้า-แก่งคอย  
ความยาว 1.197 เมตร



ถนนตัดผ่านทางรถไฟ ไม่สะดวกในการเดินรถไฟ  
ไม่ปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

### รูปที่ 2.5 ทางรถไฟที่ตัดผ่านสถานที่ต่างๆ

(ที่มา: นคร จันทกร. 2555. ช่างรถไฟ)

## 2.3 ขนาดและมาตรฐานรางรถไฟ

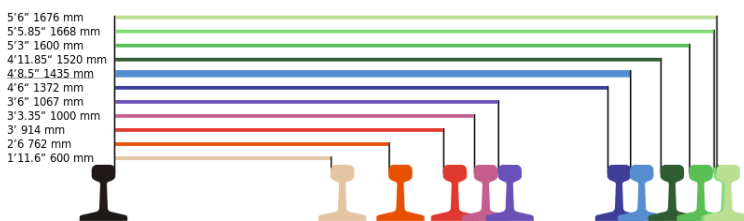
รางรถไฟมีประวัติวิวัฒนาการมานานมากตามเทคโนโลยีในการผลิตที่ทำได้ในแต่ละยุคสมัย จนกระทั่งถึงปัจจุบัน รางรถไฟจะทำได้ด้วยเหล็กเหนียวรีดร้อน มีรูปร่าง ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ หัวราง (Rail head) เอรราง (Web) และ ฐานราง (Foot) รางที่นิยมใช้ คือ แบบฐานรางกว้าง ซึ่งสามารถยึดเกาะอยู่กับหมอนรองรางได้อย่างมั่นคงด้วยเครื่องยึดเหนี่ยวราง (Rail fastener) ในสมัยโบราณจะวางรางรถไฟลงบนหมอนไม้โดยตรงและใช้ตะปูราง (Dog spike) ตอกยึดฐานรางไว้ อย่างไรก็ตาม การเดินขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักมากและวิ่งด้วยความเร็วสูงในปัจจุบัน ทำให้การยึดรางกับ

ไม่หมอนมีการพัฒนารูปแบบ มีอุปกรณ์ส่วนประกอบอื่น เพื่อช่วยให้การยึดรางไว้กับหมอนสามารถใช้ งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขนาดความกว้างรางรถไฟ (อังกฤษ: Rail gauge หรือ Track gauge) คือ ระยะห่างของรางรถไฟ โดยวัดจากหัวรางด้านในข้างซ้ายถึงหัวรางด้านในข้างขวา ขนาดความกว้างของรางรถไฟที่มีใช้งานอยู่ทั่วโลก ประกอบด้วย รางรถไฟแคบที่สุด คือ รางเดี่ยว (Mono rail) ไปจนถึงรางรถไฟที่กว้างที่สุดที่มีใช้งาน คือ ขนาดความกว้าง 2.140 เมตร



รูปที่ 2.6 ระยะในการวัดขนาดความกว้างรางรถไฟ (ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)



รูปที่ 2.7 ขนาดเกจต่างๆ (ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ขนาดความกว้างของรางรถไฟที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

### 2.3.1 รางกว้าง (Broad gauge)

เป็นรางที่มีขนาดความกว้างมากกว่า 1.435 เมตรขึ้นไป ใช้กันอยู่มากในประเทศที่มีขนาดพื้นที่กว้าง เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย และสหภาพโซเวียต ได้แก่

- อินเดีย เกจ (Indian gauge) 1.676 เมตร (5 ฟุต 6 นิ้ว)
- ไอเบอเรียน เกจ (Iberian gauge) 1.668 เมตร (5 ฟุต 5 2/3 นิ้ว)
- ไอร์แลนด์ เกจ (Irish gauge) 1.600 เมตร (5 ฟุต 3 นิ้ว)
- รัสเซีย เกจ (Russian gauge) 1.520 เมตร (4 ฟุต 11 5/8 นิ้ว)

### 2.3.2 รางมาตรฐาน (Standard gauge)

เป็นรางขนาด 1.435 เมตร (4 ฟุต 8 1/2 นิ้ว) มีจำนวนประเทศที่ใช้มากที่สุด เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า Standard gauge บางครั้งเรียกว่า European Standard Gauge (ESG). เป็นรางรถไฟที่กำหนดเป็นมาตรฐานของกลุ่มในประเทศยุโรป เพื่อช่วยให้การดำเนินการถึงกันกระทำได้โดยสะดวก ทางรถไฟทั่วโลกมากกว่าร้อยละ 60 จะใช้มาตรฐานนี้เป็นหลัก โดย Standard gauge นี้มีชื่อเรียกอีกหนึ่งว่า Stephenson gauge ซึ่งมาจากชื่อของ George Stephenson ผู้ที่สร้างรถไฟคันแรกของโลกนั่นเอง

### 2.3.3 รางแคบ (Narrow gauge)

เป็นรางรถไฟที่มีความกว้างของรางน้อยกว่า 1.435 เมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดความกว้าง 1.067 เมตร และขนาดความกว้าง 1.00 เมตร

#### ขนาดความกว้าง 1.067 เมตร (3 ฟุต 6 นิ้ว)

เป็นขนาดรางที่มีจำนวนประเทศที่ใช้มากเป็นอันดับที่สอง เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า Cape gauge มีใช้อยู่กระจัดกระจายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศที่เป็นเกาะในทวีปเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย เข้าใจว่ารางกว้างขนาดนี้ได้ชื่อมาจากการนำไปใช้ในการสร้างทางรถไฟในสหภาพแอฟริกาใต้

#### ขนาดความกว้าง 1.000 เมตร (3 ฟุต 3-3/8 นิ้ว)

เป็นขนาดรางที่มีจำนวนประเทศที่ใช้มากเป็นลำดับที่สาม เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า Meter gauge ใช้อยู่ในกลุ่มประเทศเอเชียอาคเนย์ทั้งหมด อาทิ ไทย มาเลเซีย เวียดนาม กัมพูชา บางประเทศในแอฟริกา อเมริกาใต้ และทางรถไฟสายแยกในยุโรปบางประเทศ รถไฟที่วิ่งในบริเวณดังกล่าวจะวิ่งด้วยความเร็วไม่สูงนัก

หลายประเทศได้เลือกใช้ระบบรางแคบ ด้วยเหตุผลด้านค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง โดยเฉพาะในช่วงทำทางผ่านภูเขา และการดูแลรักษา แต่ทางแคบก็จะมีปัญหาด้านการรับน้ำหนักไม่ได้มาก และไม่สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูง แต่เพราะทางแคบนั้นมีข้อดีด้านค่าใช้จ่าย เช่น ทางรถไฟที่จะชักรากอ้อยและกล้วยหอมออกจากไร่ ก็เลือกใช้รางแคบเพียงกว้าง 2 ฟุต หรือ 610 มิลลิเมตรเท่านั้น ก็เพียงพอสำหรับกิจกรรมที่ต้องการใช้ในการชักลาก และไม่ต้องใช้ในความเร็วสูงนัก

นอกจากนั้น ในบางประเทศได้มีการใช้ระบบรางรถไฟแบบผสม (Mixed gauge) หรือ รางรถไฟรางร่วม (dual-gauge) เป็นการทำให้รางรถไฟให้รถไฟที่ต้องการความกว้างของราง 2 ระบบให้สามารถใช้แนวเส้นทางเดิมได้ โดยวางรางเสริมเข้ากับรางระบบเดิม จึงได้ราง 2 ระบบในแนววางรางเดิม ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีระบบรางรถไฟรางร่วม



รูปที่ 2.8 แบบการวางรางรถไฟรางร่วมในต่างประเทศ (ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)



รูปที่ 2.9 รถไฟที่เยอรมนี วิ่งบนรางรถไฟแบบรางผสม

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ตาราง 2.1 สถานที่ที่มีการใช้งานของ Track Gauge ประเภทต่างๆ

| ความกว้าง<br>(เมตร) | ชื่อเรียกขนาด  | ระยะทาง<br>(กิโลเมตร) | สถานที่ที่มีการใช้งาน   |
|---------------------|----------------|-----------------------|---|
| 1.000               | Meter gauge    | 95,000                | เอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย<br>(17,000 กิโลเมตร, ซึ่งปัจจุบันมีระยะทางลดลงจาก<br>โครงการปรับเปลี่ยนขนาดราง),<br>ทางรถไฟในอาร์เจนตินา (11,000 กิโลเมตร),<br>ทางรถไฟในบราซิล (23,489 กิโลเมตร),<br>โบลิเวีย, ทางเหนือของประเทศชิลี, เคนย่า, ยูกันดา<br>(โดยประมาณ 7% ของทางรถไฟในโลก)                       |
| 1.067               | Cape gauge     | 112,000               | แอฟริกาใต้และแอฟริกากลาง, อินโดนีเซีย, ญี่ปุ่น,<br>สาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน), ฟิลิปปินส์, นิวซีแลนด์,<br>รัฐควีนแลนด์ ออสเตรเลีย<br>(ประมาณ 9% ของทางรถไฟในโลก)  |
| 1.435               | Standard gauge | 720,000               | รางรถไฟในกลุ่มประเทศยุโรป, อาร์เจนตินา,<br>สหรัฐอเมริกา, แคนาดา, สาธารณรัฐประชาชนจีน,<br>เกาหลี, ออสเตรเลีย, ใจกลางของแอฟริกาตะวันออก,<br>แอฟริกาเหนือ, เม็กซิโก, คิวบา, ปานามา, เวเนซุเอลา,<br>เปรู, อุรุกวัย และฟิลิปปินส์<br>เส้นทางรถไฟความเร็วสูงในประเทศญี่ปุ่น และสเปน<br>(ประมาณ 60% ของรางรถไฟในโลก) |
| 1.520               | Russian gauge  | 220,000               | รัฐ CIS (รวมทั้งรางรถไฟในประเทศรัสเซีย),<br>เอสโตเนีย, ลัตเวีย, ลิทัวเนีย, มองโกเลีย<br>(ประมาณ 17% ของรางรถไฟในโลก)  |
| 1.524               |                | 5,865                 | รางรถไฟในประเทศฟินแลนด์   |
| 1.600               | Irish gauge    | 9,800                 | ไอร์แลนด์, รัฐวิกตอเรีย ประเทศออสเตรเลียส่วนใหญ่<br>และบางรัฐเซาท์ ประเทศออสเตรเลีย (Victorian gauge)<br>(4,017 กิโลเมตร),<br>รางในประเทศบราซิล (4,057 กิโลเมตร)  |
| 1.668               | Iberian gauge  | 15,394                | โปรตุเกส,<br>ทางรถไฟในสเปน (ในสเปน 21 กิโลเมตร เป็นรางที่ใช้<br>ร่วมกัน 3 ราง ในรางคู่ โดยใช้ Iberian กับ standard  |



|       |              |        |   |
|-------|--------------|--------|---|
|       |              |        | gauges ซึ่งที่เหลือเป็นแผนที่จะทำในอนาคต)   |
| 1.676 | Indian gauge | 77,000 | อินเดีย (42,000 กิโลเมตร; เพิ่มขึ้นจากโครงการปรับเปลี่ยนราง), ปากีสถาน, ทางรถไฟในประเทศอาร์เจนตินา (24,000 กิโลเมตร), ชิลี (ประมาณ 6.5%ของทางรถไฟในโลก) |

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ในอดีตการเลือกขนาดรางรถไฟในการก่อสร้างนั้น ส่วนหนึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขบางอย่างเพื่อตอบสนองท้องถิ่น เช่น ทางรถไฟแคบ มูลค่าในการก่อสร้างมีราคาถูกกว่า และสามารถเข้าพื้นที่แคบๆ ช่างหน้ามาได้ แต่รางรถไฟรางกว้างให้ประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้ความเร็วได้มากขึ้น

ในบางประเทศ การเลือกใช้รางเป็นประเด็นทางการเมือง การปกครอง เช่น ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการใช้รางรถไฟรางแคบ ขนาด 1.000 เมตร ในดินแดนภายใต้อำนาจอธิปไตยของประเทศไทย และฝรั่งเศส เมื่อประเทศสยาม (ไทย) ได้สร้างรถไฟหลวงสายแรกเพื่อไปเชียงใหม่ โดยใช้ขนาด 1.435 เมตร มีบันทึกไว้ในประวัติศาสตร์อีกด้วยว่า ในระหว่างความขัดแย้งทางการค้าไทยกับฝรั่งเศส ได้มีการทำสนธิสัญญาไว้ข้อหนึ่ง ซึ่งห้ามประเทศไทยสร้างทางรถไฟไปชิดชายฝั่งแม่น้ำโขง ทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือจึงสร้างไปหยุดที่อำเภอวารินชำราบในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดอุดรธานี สำหรับทางรถไฟสายใต้นั้นก่อสร้างด้วยเงินกู้จากประเทศอังกฤษ ซึ่งประเทศไทยจำยอมต้องสร้างด้วยขนาด 1.000 เมตร ด้วยเหตุผลที่อังกฤษต้องการใช้เป็นเส้นทางเชื่อมทางระหว่างมลายูกับพม่า ซึ่งเป็นรางขนาด 1.000 เมตร และมีค่าก่อสร้างถูกกว่าด้วย

การพัฒนาทางรถไฟในประเทศไทยเริ่มต้นตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 5 โดยได้มีการสร้างทางรถไฟขนาด 1.435 เมตรในบริเวณตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยาในรางสายเหนือ โดยไม่ใช่ขนาดเดียวกับประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อหลบเลี่ยงจากขนาดรางรถไฟของอังกฤษ ป้องกันการรุกรานเป็นอาณานิคม และต่อมาได้มีการสร้างรางเพิ่มทางด้านฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาขนาด 1.000 เมตร ซึ่งเป็นทางรถไฟสายใต้ปัจจุบัน

ขนาดความกว้างของรางรถไฟที่มีอยู่ในประเทศไทย มี 3 ขนาด ดังนี้

**รางรถไฟขนาด 1.000 เมตร (Meter Gauge)**

- รางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย
- รถไฟหลวง สถานีรถไฟกรุงเทพ - สถานีรถไฟนครราชสีมา (ในอดีตมีขนาด 1.435 เมตร)

**รางรถไฟขนาด 1.435 เมตร (Standard gauge)**

- รถไฟฟ้ามหานคร
- รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
- รถไฟฟ้าบีทีเอส

**รางรถไฟรางแคบขนาด 0.700 เมตร**

- ทางรถไฟสายหาดเจ้าสำราญ (เป็นรถไฟชั้นเจ้านาย ปัจจุบันเป็นทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 3177 เพชรบุรี-หาดเจ้าสำราญ)

**2.3.4 เปรียบเทียบการใช้งานของรางกว้าง 1.000 เมตร กับรางกว้าง 1.435 เมตร**

**2.3.4.1 ด้านเทคนิค**

ความเร็วสูงสุดสำหรับขบวนรถไฟที่วิ่งใช้งานบนรางกว้าง 1.000 เมตร (และ 1.067 เมตร) ในขณะนี้คือ 160-170 กม./ชม. (ประเทศแอฟริกาใต้เคยทำการทดลองวิ่งถึง 250 กม./ชม. แต่ไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่า มีการนำมาวิ่งใช้งานในเชิงพาณิชย์หรือไม่) ดังนั้นหากประเทศไทยต้องการให้ขบวนรถของการรถไฟฯ วิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไม่เกิน 160-170 กม./ชม. ก็อยู่ที่จะพัฒนารailroad รางกว้าง 1.000 เมตร ซึ่งประหยัดเงินงบประมาณได้มากกว่าการเปลี่ยนความกว้างของราง

ปัญหาที่ขบวนรถไฟของการรถไฟฯ ยังวิ่งเร็วไม่ได้ในขณะนี้ คือ ความมั่นคงของทางรถไฟ ความเหมาะสมในด้านสมรรถนะของล้อเลื่อน มีถนนตัดผ่านทางรถไฟมาก มีคนและสัตว์เลี้ยงขึ้นมาบนทางรถไฟ (ไม่มีรั้วกัน) และอาณัติสัญญาณสำหรับควบคุมการเดินรถไม่เหมาะกับความเร็วสูง ถ้าจะปรับปรุงสิ่งเหล่านี้ให้ขบวนรถไฟสามารถวิ่งได้เร็ว 160-170 กม./ชม. บนรางกว้างขนาด 1.000 เมตร จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเปลี่ยนเป็นรางกว้าง 1.435 เมตร นอกจากนี้หากเปลี่ยนเป็นรางกว้าง 1.435 เมตร แต่ไม่ได้ปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ก็ยังไม่ปลอดภัยที่จะวิ่งขบวนรถด้วยความเร็วสูงอยู่ดี

ความนุ่มนวล (Riding Comfort) การทรงตัวของรถที่วิ่งบนทางรถไฟที่ใช้รางกว้าง 1.435 เมตร จะมีความนุ่มนวลดีกว่ารางกว้าง 1.000 เมตร อย่างแน่นอนเมื่อวิ่งที่ความเร็วเท่ากัน แต่ไม่ได้

หมายความว่า การใช้รางกว้าง 1.000 เมตร ไม่ปลอดภัย เพราะเมื่อจะเพิ่มความเร็วขบวนรถก็ต้องผ่านการรับรองจากวิศวกรอยู่แล้ว

#### 2.3.4.2 ด้านการใช้สอย

ความกว้างของตัวรถไฟถูกกำหนดโดยเขตบรรทุก (Loading Gauge) ตัวรถของ รถฟ. ในปัจจุบันกว้าง 2.92 เมตร ตัวรถไฟความเร็วสูง (รางกว้าง 1.435 เมตร) กว้าง 3.38 เมตร ส่วนรถไฟฟ้า BTS กว้าง 3.2 เมตร รถไฟใต้ดินของ รฟม. กว้าง 3.12 เมตร ดังนั้นพื้นที่ใช้สอยบนรถสำหรับรางกว้าง 1.435 เมตร จึงมากกว่า เพราะตัวรถมีขนาดกว้างกว่า อย่างไรก็ตาม การที่ตัวรถมีขนาดกว้างกว่าไม่ได้หมายความว่า ผู้ใช้มีความสะดวกสบายกว่า เพราะในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ก็คือ มีที่สำหรับให้คนจำนวนมากขึ้น สามารถยืนเบียดเสียดกันบนรถไฟขนส่งมวลชน ถ้าเป็นรถทางไกล ก็คือสามารถวางเก้าอี้ขึ้นได้มากขึ้น จากแถวเรียงสี่อาจเป็นแถวเรียงห้า ฉะนั้น การที่ตัวรถกว้างขึ้นท้ายที่สุดแล้ว ก็คือ ช่วยในระบบขนส่งรถไฟทั้งระบบมีขีดความสามารถในการขนส่งสูงขึ้น แต่ผลดีนี้ก็ต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่าย ในการแก้ไขขนาดความกว้างของรางด้วย

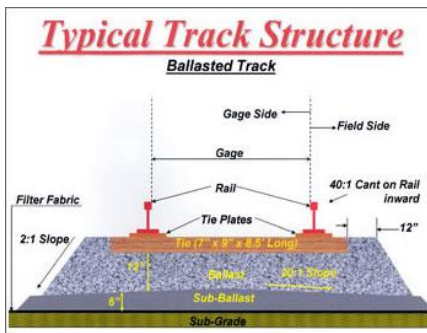
### 2.4 รูปแบบโครงสร้างของทางรถไฟ

ในเอกสารการสอนนี้ ได้แบ่งรูปแบบโครงสร้างของทางรถไฟออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางรถไฟแบบบนพื้นดิน ทางรถไฟลอยฟ้า และทางรถไฟใต้ดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.4.1 รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟบนพื้นดิน

การก่อสร้างทางรถไฟสมัยแรกๆ ไม่มีเครื่องมือกลหุ่นแรง งานส่วนใหญ่จึงทำโดยใช้แรงคน ส่วนในปัจจุบันมีการใช้เครื่องทุ่นแรง และเทคนิคใหม่ๆ ที่ทันสมัย เช่น ดินที่จะนำมาเป็นคันถนนรถไฟ ก็มีการเลือกเอาแต่ดินที่เหมาะสม ต้องมีการบดอัดให้แน่น เพื่อกันมิให้มีการยุบตัวได้ ความลาดชันของทางก็ต้องจำกัด ไม่ให้มีมากนัก ทางโค้งก็ทำให้เป็นโค้งกว้างมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่ออำนวยความสะดวกขบวนรถสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงได้ตลอดทาง นอกจากนี้ยังมีการแก้ไข โดยการเชื่อมรางให้ติดต่อกันเป็นท่อนยาวๆ รางเชื่อมนี้จะทำให้มีความยาวเท่าใดก็ได้ ซึ่งสมัยก่อนต้องมีการเว้นระยะหัวต่อรางทุกๆ ท่อนไว้เสมอ เพื่อให้รางสามารถขยายตัวได้เมื่ออากาศร้อน ป้องกันไม่ให้เกิดรางคู้งขึ้น แต่ในปัจจุบันได้แก้ปัญหาเรื่องการยึดตัว หรือหดตัวของราง โดยการยึดรางให้ติดแน่นกับหมอนด้วย

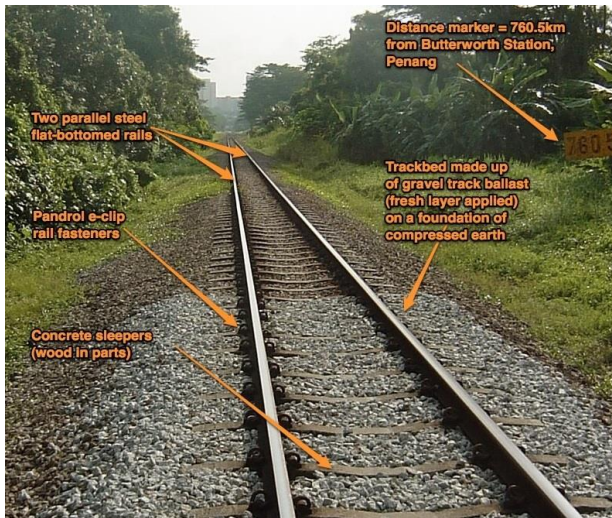
อุปกรณ์ชนิดหนึ่งเรียกว่า สมอ (Anchor) หรือคลิป (Clip) อันเป็นเครื่องยึดเหนี่ยวรางแบบสปริง ในกรณีเช่นนี้ ไม่ว่าอากาศจะร้อนหรือเย็น รางก็จะถูกบังคับให้มีความยาวคงที่ เพราะรางถูกยึดไว้แน่นแล้ว หมอนรองรางซึ่งแต่เดิมเป็นหมอนไม้ก็เปลี่ยนเป็นหมอนคอนกรีต การวางรางบนหมอนคอนกรีตจะมีแผ่นยางกันกระเทือนสอดรองรับไว้ ซึ่งจะช่วยลดความดังของเสียง และลดความกระเทือนลงไปได้มาก นอกจากนี้ รางเชื่อมยังช่วยให้รถสามารถวิ่งได้เรียบและเร็วขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางรถไฟบนดิน

(ที่มา: <http://www.trackguy.com>)

ในการสำรวจเพื่อก่อสร้างทางรถไฟนั้น ต้องมีการหาแนวทางที่ดีที่สุด และประหยัดที่สุด ถ้าพื้นที่ใดเป็นบริเวณภูเขา ก็ต้องพยายามหลีกเลี่ยง ทั้งนี้เพราะการสร้างทางผ่านภูเขานั้น ทำได้ลำบาก และค่าก่อสร้างก็สูงกว่าการสร้างทางในทางราบมาก ยกเว้นมีความจำเป็นที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในบางกรณีก็ใช้วิธีเจาะเป็นช่องเข้าไปในภูเขา เพื่อให้ขบวนรถลอดผ่านภูเขาไปสู่จุดหมายปลายทางได้ ช่องทางรถไฟที่ถูกสร้างขึ้นโดยให้ลอดไปได้ภูเขานี้ เรียกว่า อุโมงค์ (tunnel) ในปัจจุบันมีอุโมงค์ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้เป็นทางรถยนต์ และทางรถไฟหลายแห่ง ในต่างประเทศมีการสร้างอุโมงค์ลอดลงไปได้ดิน บางแห่งก็สร้างอุโมงค์จากเกาะหนึ่งลอดลงไปได้ทะเล แล้วไปโผล่ขึ้นที่อีกเกาะหนึ่ง สำหรับทางรถไฟทุกสายในประเทศไทยมีอุโมงค์อยู่ทั้งสิ้นรวม 6 แห่ง ล้วนแต่เป็นอุโมงค์ลอดภูเขาทั้งสิ้น



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของทางรถไฟบนดิน

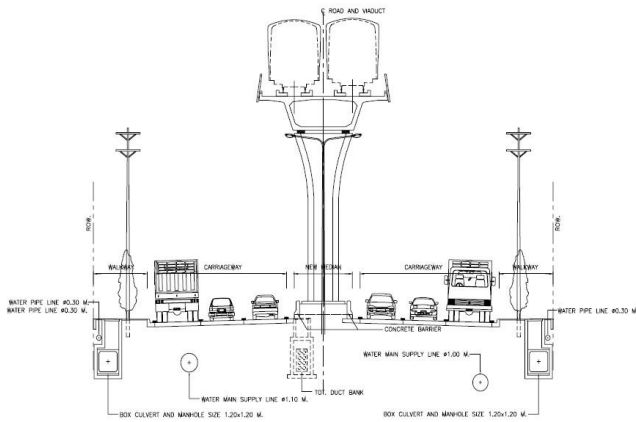
(ที่มา: <https://skitch-img.s3.amazonaws.com>)

## 2.4.2 รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟลอยฟ้า

ในที่นี้จะกล่าวถึง รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟลอยฟ้าของ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ BTS

รูปแบบโครงสร้างของโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานครในปัจจุบัน (BTS) เป็นทางยกระดับที่สร้างอยู่ในเกาะกลางถนน ทางยกระดับนี้กว้างประมาณ 9 เมตร อยู่สูงจากพื้นโดยทั่วไปประมาณ 12 เมตร ใช้ระบบคานคอนกรีตรูปกล่องหล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน (มีลักษณะเป็น Segmental Box Girder) แล้วนำมาประกอบในสถานที่ โดยนำมาต่อกันด้วย Launcher ทำให้การก่อสร้างไม่ต้องปิดการจราจร หรือปิดเพียงบางส่วนในระหว่างการยกชิ้นส่วนประกอบ การเลือกใช้โครงสร้างดังกล่าว นอกจากจะกระทบต่อการจราจรน้อยแล้ว ยังดูสวยงามเป็นระเบียบ และสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนได้ดี อีกทั้งการก่อสร้างสามารถทำได้รวดเร็ว ใช้เวลาน้อยกว่าแบบอื่นๆ สำหรับเสารองรับทางยกระดับนั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีตมีความกว้างประมาณ 2 เมตร มีระยะห่างช่วงเสา (Span Length) ประมาณ 30-35 เมตร เสาจะตั้งบนฐานราก (Pile Cap) โดยมี

เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 ถึง 1.50 เมตร จำนวน 4 ต้น รองรับฐานราก เสาเข็มแต่ละต้นลึกประมาณ 54 เมตร สำหรับทางยกระดับที่จะก่อสร้างใหม่ จะมีรูปแบบของโครงสร้างแตกต่างไปจากของ BTS บ้าง ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้างและลดผลกระทบต่อจราจรบนถนนให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.12 รูปแบบทั่วไปของทางยกระดับ

(ที่มา: <http://www.skyscrapercity.com>)

สำหรับส่วนต่อขยายสายสีลม ช่วงสะพานตากสินถึงตลาดพลูนั้น ทางยกระดับเป็นแบบหล่อในที่ (Cast-in-situ) วางบนเสาเดี่ยวบริเวณเกาะกลางถนนเช่นกัน

ในส่วนของการต่อขยายสายสุขุมวิทนั้น ทางยกระดับเป็นแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบชิ้นส่วน (Segment) แล้วนำมาประกอบกันต่อเนื่องทุกสามช่วงเสา รองรับด้วยเสาเดี่ยว

### 2.4.3 รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟใต้ดิน, อุโมงค์

ในการก่อสร้างรถไฟใต้ดินนั้นขั้นตอนที่สำคัญ คือ การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินเพื่อใช้เป็นเส้นทางเดินรถของรถไฟใต้ดิน

ในอดีต มีการเริ่มขุดอุโมงค์โดยการใช้มือเปล่า และก้าวหน้าเรื่อยมาจนสามารถใช้เครื่องเจาะอัตโนมัติขนาดใหญ่ที่เราเรียกว่า Tunnel-boring machine (TBM) การใช้เครื่องมือที่ทันสมัยสามารถทำให้การเจาะอุโมงค์ทำได้ง่าย รวดเร็ว และปลอดภัยมากขึ้น

การสร้างอุโมงค์เป็นสิ่งที่อันตรายมาก นอกจากความเสี่ยงเรื่องการพังทลายของดินซึ่งสามารถใช้ผนังคอนกรีตป้องกันได้แล้ว ยังมีความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่อุโมงค์และเรื่องมลพิษ เพราะอุโมงค์บางแห่งอาจจะใช้การระเบิดหรือการเจาะ ในขณะที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ มีโอกาสที่จะมีฝุ่นผง แก๊สพิษ ความร้อน และความชื้นสูง เกิดขึ้นอยู่เสมอ ดังนั้นคนงานที่อยู่ในอุโมงค์ที่กำลังทำการก่อสร้างจึงอยู่ในสภาวะที่อันตราย

การขุดอุโมงค์สามารถทำได้หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของดิน ขนาดของอุโมงค์ ระดับความลึก เสถียรภาพของการขุดที่ต้องการ และอื่นๆ ในการสร้างอุโมงค์เพื่อการขนส่งทางระบบราง คล้ายกับการสร้างอุโมงค์ทั่วไป แบ่งลักษณะการขุดเจาะได้ 4 วิธี ดังนี้

#### 1. วิธี “ขุดและปิด” (Cut-and-cover)

เรามักใช้วิธี “ขุดและปิด” (Cut-and-cover) กับอุโมงค์ที่อยู่ตื้นๆ การก่อสร้างเช่นนี้จะเป็นการก่อสร้างอุโมงค์ มีลักษณะขุดเปิดหน้าดินเป็นทางยาว เสริมกําลังกันดินด้านข้าง สร้างพื้นหรือค้ำยันภายใน สร้างหลังคาปิด และสุดท้ายก็ปิดคลุมด้วยวัสดุธรรมชาติด้านบน หรือ อาจจะทำผิวจราจรใหม่ปิดทับก็ได้

#### 2. วิธี “เจาะ” (Drill)

การเจาะอุโมงค์ชนิดนี้นิยมใช้กับดินที่แข็งไม่มากนัก โดยด้านหน้าอุโมงค์ยังคงรูปได้ การเจาะจะนำส่วนกระแทกประสิทธิภาพสูง ซึ่งมักจะติดตั้งบนรถที่เคลื่อนย้ายได้ เข้าไปทำการเจาะหน้าดินในอุโมงค์ และทำการลำเลียงเศษหินออกมาสู่ด้านบน การเจาะเช่นนี้ทำได้ช้า และมักจะใช้ควบคู่ไปกับการใช้ระเบิดในการเจาะ

#### 3. วิธี “ระเบิด” (Explosive)

การเจาะอุโมงค์ชนิดนี้มักนิยมใช้เมื่อพบว่ามีหินที่แข็งปานกลางถึงมากอยู่ในพื้นที่การขุด การขุดจะใช้ส่วนเจาะนำ และทำการฝังระเบิดกระจายให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของหน้าอุโมงค์ และทำการระเบิด เพื่อให้หินแตกร่วงหล่นออกมา การใช้ระเบิดในการขุดมีความเสี่ยงค่อนข้างมาก แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ส่วนเจาะ การใช้ระเบิดจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านนี้โดยเฉพาะ และจำเป็นต้องมีมาตรการการรักษาความปลอดภัยค่อนข้างสูง

#### 4. วิธี “หัวเจาะ TBM” (Tunnel-boring machine)

หลักการการทำงานของ หัวเจาะแบบ TBM (บางที่เรียกว่า moles) คือ หัวเจาะขนาดใหญ่ มักมีขนาดเกือบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ ที่ด้านหน้าหัวเจาะจะเป็นระนาบที่ติดกับดินหรือหินที่จะขุดเจาะ โดยจะมีใบตัดค่อยๆ กัดเนื้อดินหรือหินทีละน้อย โดยการหมุนประมาณ 2-4 รอบต่อนาที และค่อยๆ นำเศษดินหรือหินเหล่านี้ลำเลียงออกทางสายพานด้านหลัง และนำออกไปยังทางออก หัวเจาะจะถูกดันต่อเนื่องด้วยระบบไฮดรอลิก และเสี้ยนแนวการขุดทางด้วยเลเซอร์ หลังจากนั้นแผ่นผนังที่ทำด้วยคอนกรีต หรือเหล็กขนาดใหญ่ก็จะถูกติดตั้งตามหลังเครื่องเจาะมาเรื่อยๆ ทีละชั้นๆ จนเป็นผนังอุโมงค์ที่สมบูรณ์

สำหรับในงานก่อสร้างเพื่อวางถนน และรถไฟ การใช้หัวเจาะชนิดนี้จะเหมาะสมคุ้มค่ากว่าวิธีอื่นๆ เพราะต้องการอุโมงค์ขนาดใหญ่ และระยะทางในการเจาะค่อนข้างยาว

หัวเจาะแบบ TBM มีอยู่หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน กล่าวคือ อาจจะเป็นแบบใช้สารเคลือบผิวดิน (bentonite slurry) หรือแบบหัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภทสมดุลแรงดันดิน (earth-pressure balance) ซึ่งทั้งสองเทคนิคมีจุดประสงค์เหมือนกัน คือ พยายามพยุงดินหรือวัสดุด้านหน้ามิให้เคลื่อนตัวกลับเข้ามาในอุโมงค์ เพราะการไหลตัวของดินเข้ามาในอุโมงค์จะส่งผลให้ผิวดินด้านบนเสียหายและทรุดตัวลงมา

แบบ bentonite slurry จะใช้เพียงแค่แรงดันจากของเหลว ปรองคองหน้าดินระหว่างเครื่อง TBM กับดินที่กำลังจะขุด ส่วน earth-pressure balance มักจะใช้แรงดันลมหรือน้ำช่วยปรองคองดินด้านหน้าเครื่องขุดไว้



ขั้นตอนในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินนั้น เริ่มจากการทำการสำรวจดินว่าเหมาะสมในการก่อสร้างหรือไม่ จะต้องขุดลงไปลึกเท่าใด ต้องวางแนวอุโมงค์อย่างไร ซึ่งแนวอุโมงค์เหล่านี้จะก่อสร้างขึ้นทีหลัง เนื่องจากตลอดแนวอุโมงค์จะมีโครงสร้างทางโยธาต่างๆ เช่น สะพาน ตึก เสาไฟฟ้า เป็นต้น โดยจะต้องวางแนวอุโมงค์เพื่อหลบสิ่งต่างๆ เหล่านี้ด้วย รวมทั้งท่อประปาของการประปานครหลวง

ในการก่อสร้างอุโมงค์และสถานีรถไฟใต้นั้นต้องใช้เทคนิคทางด้านโยธาชั้นสูง ขั้นตอนในการก่อสร้างรถไฟใต้ดินคือ หลังจากขุดเอาหน้าดินออกแล้วก็สร้างโครงสร้างสถานี ส่วนอุโมงค์รถไฟจะใช้เครื่องเจาะเจาะลงไป เมื่อเจาะเสร็จก็มีเสริม concrete segment ที่ทำเป็นวงกลมเข้าไป และจะเจาะต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งเทคนิคในการก่อสร้างของอุโมงค์รถไฟและสถานีรถไฟใต้นั้นก็ใช้เทคนิคการก่อสร้างที่แตกต่างกัน เมื่อมีการเคลื่อนตัวของพื้นดินหรือแรงดันน้ำเปลี่ยนแปลงไป อุโมงค์สามารถยับยั้งขึ้น-ลงได้ ซึ่งสามารถจะลดผลกระทบที่อาจจะเกิดจากพื้นดินอ่อนหรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของหน้าดิน เพราะหน้าดินไม่ใช่สิ่งที่เป็นของแข็งอยู่ตลอดเวลา เจ้าหน้าที่ส่วนซ่อมบำรุงจะออกสำรวจอุโมงค์รถไฟใต้ดินแทบทุกวัน เพื่อตรวจสอบว่าโครงสร้างของอุโมงค์มีการเคลื่อนตัวมากน้อยแค่ไหน



รูปที่ 2.13 การเสริม Concrete segment

(ที่มา: <http://www.ctipmass.com>)

การขุดเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพมหานครด้วยระบบหัวขุดเจาะ ได้เริ่มเข้ามาดำเนินการก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ในโครงการอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง ซึ่งกลุ่มบริษัท

ผู้รับเหมาก่อสร้าง ION Joint Venture ประกอบด้วย อิตาเลียน-ไทย โอบายาชิ และ นิซิมิตสึ เป็นกลุ่มแรกที่เข้ามาดำเนินการก่อสร้าง โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภท Semi-mechanical shield จากประสบการณ์ก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพฯ ที่ผ่านมามีข้อได้ทราบปัญหาในการใช้หัวขุดเจาะประเภท Semi-mechanical (Open type shield) ที่มีขีดจำกัดไม่เหมาะสมกับการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟฟ้ามหานคร ซึ่งมีสภาพของชั้นดินหลายประเภท ดังนั้น จึงได้มีการพิจารณาเลือกใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภทสมดุลย์แรงดันดิน (Earth Pressure Balance Shield - EPB) ซึ่งเป็นหัวขุดเจาะที่เหมาะสมสำหรับการขุดเจาะในทุกสภาพของชั้นดินในกรุงเทพฯ

#### เทคนิคการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance (EPB)

ลักษณะของหัวขุดแบบ Earth Pressure Balance เป็นหัวขุดแบบปิดหน้า เพื่อกันการพังทลายของหน้าดิน การขนถ่ายดินอาศัยดินที่อยู่ใน Soil chamber ถูกดูดผ่าน Screw conveyor เป็นตัวขนถ่ายดินผ่านระบบสายพานอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งทางออกของ Screw conveyor มีประตูเปิด-ปิดด้วยระบบไฮดรอลิกอีกชั้นหนึ่ง ความเร็วของการขนถ่ายดินด้วยระบบ Screw conveyor ขึ้นอยู่กับแรงดันดินใน Soil chamber กล่าวคือ ถ้าสภาพดินดีจะมีแรงดันดิน ถ้าสภาพดินเลวจะทะลักเข้ามาใน Soil chamber ทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งแรงดันนี้จะไปกำหนดความเร็วรอบของ Screw conveyor ให้ช้าลง เพื่อดันดินให้ทะลักเข้ามาน้อยลงหรือปิด Slide gate ถ้าสภาพดินเลวและสามารถทะลักผ่าน Screw conveyor ได้

1) การควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนตัวของหัวขุดประกอบด้วย

- Shield jack เป็นแม่แรงขนาดตั้งแต่ 80 ตัน จำนวนขึ้นอยู่กับขนาดของหัวขุดติดตั้งด้านหลังหัวขุด เพื่อใช้ในการถ่วงตัวไปข้างหน้า โดยอาศัยเปลือกอุโมงค์เป็นตัวรับแรง การบังคับแนวซ้าย-ขวา หรือ ขึ้นบนและลงข้างล่าง ให้พิจารณาเลือกตำแหน่งของ Shield jack เช่น ต้องการให้หัวขุดเลี้ยวซ้ายให้เลือก Shield jack ในตำแหน่งขวามือโดยยึดถือการหันหน้าเข้าหัวขุด
- Copy cutter คือ ฟันสามารถยึดตัวออกทางด้านรัศมี เพื่อเพิ่มการกัดหน้าดินให้เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เพื่อช่วยให้หัวขุดสามารถเลี้ยวตัวได้มากขึ้น

Articulated steering jack คือ ส่วนของหัวขุดที่สามารถหักงอเพื่อลดรัศมีความโค้งของอุโมงค์

ระบบควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์ (TBM Driving control system) ใช้อุปกรณ์ Gyro-compass & Computerize level control system

2) เทคนิคการคำนวณออกแบบความดันที่หัวเจาะ เพื่อดันทานแรงดันดินในขณะที่ขุดเจาะ ซึ่งในการคำนวณโครงสร้างของหัวขุดจะต้องพิจารณาแรงดันดิน แรงต้านทานขณะขุดเจาะ ความหนาของ Skin plate ความแข็งแรงของ Ring girder และความสามารถในการดันและบิดของ Cutter head เป็นต้น

3) วิธีเลือกตำแหน่งที่จะนำเครื่องมือขุดเจาะอุโมงค์ลงไป และนำดินที่ขุดเจาะออกไปทิ้ง (Construction shaft) จะต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่รวมทั้งทางเข้าออก เพื่อขนถ่ายวัสดุและอุปกรณ์ในการก่อสร้างที่เพียงพอและสะดวก ระยะทางระหว่าง Construction shaft และ Reception shaft จะต้องสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของหัวขุดและระยะเวลาการก่อสร้าง

4) เทคนิคการวางแผนและลำดับขั้นตอนการนำดินที่ขุดเจาะอุโมงค์ไปทิ้ง โดยส่งผลกระทบต่อการจราจรน้อยที่สุด การจราจรในกรุงเทพฯมีผลต่อการก่อสร้างอุโมงค์มาก ไม่เพียงแต่การขนถ่ายดินเพียงอย่างเดียว การขนถ่ายชิ้นส่วนอุโมงค์ก็มีผลกระทบมาก การวางแผนจะต้องพิจารณาส่วนประกอบดังนี้

ขนาดของพื้นที่ทำงานต้องมีขนาดที่เหมาะสมและการจัดการที่ดี เช่น พื้นที่ที่เก็บดินต้องเพียงพอต่อการขุดเจาะอุโมงค์ในตอนกลางวันและจะต้องมีการจัดการขนย้ายดินให้หมดในเวลากลางคืน ซึ่งจะไม่กระทบกับการจราจร

การขนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์จากโรงงานผลิต จะต้องขนย้ายในเวลากลางคืนและไม่ส่งผลกระทบกับการขนย้ายดิน

ระยะทางจากสถานที่ขุดดินและหน่วยงาน ต้องสัมพันธ์กับปริมาณรถในการขนถ่ายจะต้องมีที่ขุดดินสำรองเพื่อป้องกันผลกระทบต่อการขุดเจาะอุโมงค์



รูปที่ 2.14 อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (ที่มา: <http://www.mrta.co.th>)

โครงสร้างของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานครนั้น ได้ถูกออกแบบให้รับแรงสั่นสะเทือนในแนวนอนของแผ่นดินไหว (Horizontal Acceleration Seismic Force) ในขนาด 6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักของโครงสร้าง (0.06g) ซึ่งเชื่อว่าเพียงพอที่จะรับแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.15 รถไฟฟ้าใต้ดิน BMCL

(ที่มา: <http://entertainment.goosiam.com>)

## 2.5 จุดเด่น – จุดด้อยของโครงสร้างทางรถไฟแต่ละประเภท

ทางรถไฟแต่ละประเภทมีจุดเด่น – จุดด้อยแตกต่างกันออกไป การจะตัดสินใจเลือกประเภทของทางรถไฟนั้น จะต้องคำนึงถึงสภาพพื้นที่ ความเหมาะสม และงบประมาณ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงจุดเด่น – จุดด้อยของทางรถไฟแต่ละประเภท

| ประเภทของทางรถไฟ | จุดเด่น  | จุดด้อย   |
|------------------|--|---|
| ทางรถไฟบนพื้นดิน | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> การก่อสร้างทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อนและรวดเร็วกว่าแบบอื่นๆ</li> <li><input type="checkbox"/> มูลค่าในการก่อสร้างต่ำที่สุด</li> <li><input type="checkbox"/> สามารถตอบสนองความต้องการหรือใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ทั้งในด้านการขนส่งผู้โดยสารและการขนส่งสินค้า</li> <li><input type="checkbox"/> มีความสะดวกรวดเร็วต่อการใช้งาน เป็นระบบขนส่งมวลชนที่มีขีดความสามารถในการขนคนได้มากที่สุดต่อชั่วโมงต่อทิศทาง</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางค่อนข้างสูง เพราะจะต้องบำรุงรักษาสภาพทางตลอดเวลา ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปัญหาการทรุดตัวของทางและดินคั่นทาง</li> <li><input type="checkbox"/> มักจะเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดตัดทางบ่อยครั้ง เนื่องจากการฝ่าฝืนสัญญาณของคนและยานพาหนะ รวมทั้งการลักลอบเข้ามาในพื้นที่เขตทางรถไฟ เช่น การนำสัตว์มาเลี้ยง</li> </ul> |

| ประเภทของทางรถไฟ       | จุดเด่น  | จุดด้อย   |
|------------------------|--|---|
| ทางรถไฟลอยฟ้า          | <input type="checkbox"/> การก่อสร้างทำได้ง่ายกว่าทางรถไฟใต้ดิน<br><input type="checkbox"/> มีความสะดวกรวดเร็วต่อการใช้งานเหมาะสมทั้งในพื้นที่ในเมือง และนอกเมือง (พื้นที่ในเมืองต้องมีพื้นที่ขนาดใหญ่พอสมควร)<br><input type="checkbox"/> ค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบต่ำกว่าทางรถไฟใต้ดิน<br><input type="checkbox"/> ระบบความปลอดภัยทำได้ง่ายกว่ารถไฟใต้ดิน<br><input type="checkbox"/> เมื่อเกิดเหตุอันตราย สามารถกู้ภัยช่วยเหลือได้ง่าย | <input type="checkbox"/> ทำให้พื้นที่ตามแนวเส้นทางมีความทึบ ดูอึดอัด บดบังทัศนียภาพ และมีข้อจำกัดในบางพื้นที่   |
| ทางรถไฟใต้ดิน, อุโมงค์ | <input type="checkbox"/> ทำให้พื้นที่ตามแนวเส้นทางดูโล่ง ไม่บดบังทัศนียภาพ<br><input type="checkbox"/> สามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ ตามขนาดของพื้นที่นั้นๆ<br><input type="checkbox"/> สามารถสร้างในพื้นที่ชั้นในของเมืองได้  | <input type="checkbox"/> ขั้นตอนในการก่อสร้างค่อนข้างยุ่งยาก<br><input type="checkbox"/> งบประมาณในการก่อสร้างสูง<br><input type="checkbox"/> สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าประเภทอื่น ช่วงระหว่างการก่อสร้าง เนื่องจากต้องมีระบบระบายอากาศที่ดี<br><input type="checkbox"/> ค่าใช้จ่ายสำหรับการดูแลรักษาและระบบรักษาความปลอดภัยสูง เพราะต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ แสงสว่าง และช่วงที่มีการทดสอบระบบ ก็จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นตลอด<br><input type="checkbox"/> เมื่อเกิดเหตุอันตราย การกู้ภัยและช่วยเหลือได้ยาก |

ส่วนในด้านการลงทุนนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะลงทุนอย่างไร ถ้ารัฐบาลลงทุนเอง อาจจะมีการกู้เงินมาลงทุน หรือถ้าเป็นเอกชนลงทุน ก็จะต้องให้รัฐบาลเห็นชอบ เพื่อให้รัฐบาลเปิดสัมปทานเดินรถกับเอกชน เพราะระบบขนส่งสาธารณะ รัฐบาลจะไม่อนุญาตให้เอกชนครอบครอง

### บทสรุป

ทางรถไฟทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ รับน้ำหนักรถไฟ (Load bearing) และกำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction guiding) ขนาดความกว้างของรางรถไฟที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) รางกว้าง (Broad gauge) เป็นรางที่มีขนาดความกว้างมากกว่า 1.435 เมตรขึ้นไป ใช้กันอยู่มากในประเทศที่มีขนาดพื้นที่กว้าง เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย และสหภาพโซเวียต 2) รางมาตรฐาน (Standard gauge) เป็นรางขนาด 1.435 เมตร มีจำนวนประเทศที่ใช้มากที่สุด เรียกมาตรฐานรางกว้างขนาดนี้ว่า Standard gauge และ 3) รางแคบ (Narrow gauge) เป็นรางรถไฟที่มีความกว้างของรางน้อยกว่า 1.435 เมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดความกว้าง 1.067 เมตร และขนาดความกว้าง 1.00 เมตร สำหรับรูปแบบโครงสร้างของทางรถไฟออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางรถไฟแบบบนพื้นดิน ทางรถไฟลอยฟ้า และทางรถไฟใต้ดิน ซึ่งในแต่ละรูปแบบก็มีจุดเด่น-จุดด้อยแตกต่างกันออกไป

## เอกสารอ้างอิง

นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ : ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

การสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน. สืบค้นจาก

<http://knowledgesharing.thaiportal.net/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1/tabid/93/articleType/ArticleView/articleId/128/Default.aspx> เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2556

ทางรถไฟ. สืบค้นจาก <http://lms.thaicyberu.go.th/officialtcu/main/advcourse/presentstu/course/ww523/pamaiuthid/pamaiuthid-web2/topic/topic1.htm>

เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2556

ขนาดความกว้างของรางรถไฟ. สืบค้นจาก

<http://www.oknation.net/blog/BlueDragonExp/2007/04/21/entry-1> เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2556

ขนาดความกว้างของทางรถไฟ. สืบค้นจาก

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%82%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%84%E0%B8%9F> เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2556

ขนาดความกว้างของรางรถไฟ. สืบค้นจาก

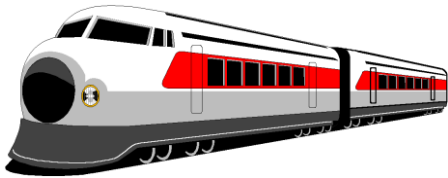
<http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=2> เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2556

เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟด้วยระบบ EARTH PRESSURE BALANCE (E.P.B.). สืบค้น

จาก <http://www.mrta.co.th/frame/epb.htm> เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2556







หน่วยที่

IRS-003

## รถไฟและองค์ประกอบ

เนื้อหาการเรียนรู้

- วิวัฒนาการของรถไฟ
- ประเภทของรถไฟ
- เทคโนโลยีรถไฟในต่างประเทศ
- องค์ประกอบหลักของรถไฟ
- ระบบส่งกำลัง และระบบเบรก

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) บอกประเภทของรถไฟชนิดต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งรูปแบบและเทคโนโลยีทางด้านรถไฟที่ใช้อยู่ในต่างประเทศได้
- 2) อธิบายส่วนประกอบและระบบต่างๆ ที่สำคัญของรถไฟประเภทต่างๆ ได้

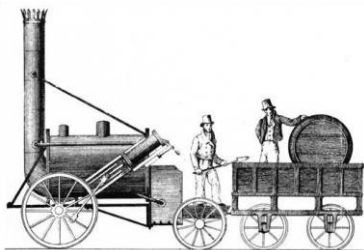
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับวิวัฒนาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่ของรถไฟ ประเภทของรถไฟ ส่วนประกอบและระบบที่สำคัญของรถไฟ

### 3.1 วิวัฒนาการของรถไฟ

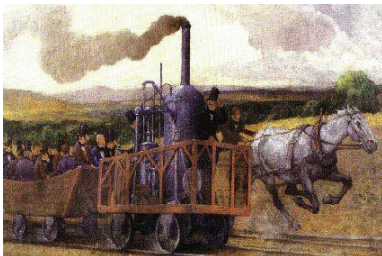
รถไฟเป็นกลุ่มของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปตามราง เพื่อขนส่งสินค้าหรือผู้โดยสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง รางแบ่งออกเป็นหลายประเภท ส่วนใหญ่ประกอบด้วยราง 2 เส้นขนานกัน นอกจากนั้นยังรวมถึงรางประเภทรางเดี่ยวหรือประเภทที่ใช้พลังแม่เหล็กด้วย รถไฟจะขับเคลื่อนด้วยหัวรถจักรหรือขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์หลายๆ ตัวที่ติดอยู่ใต้ท้องรถ รถไฟสมัยใหม่จะใช้กำลังจากหัวรถจักรดีเซลหรือจากไฟฟ้าที่ส่งมาตามสายไฟที่อยู่เหนือตัวรถหรือตามรางที่สาม (Third Rail) เดิมรถไฟขับเคลื่อนโดยใช้หม้อต้มนํ้าทำให้เกิดไอนํ้า ไอนํ้าทำให้เกิดแรงดัน แรงดันจะทำการขับเคลื่อนกลไกทำให้ล้อรถไฟเคลื่อนที่ได้ เรียกรถชนิดนี้ว่า รถจักรไอนํ้า

รถไฟเริ่มเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2319 โดยสร้างขึ้นเพื่อใช้บรรทุกถ่านหิน ตัวรถมีล้อ แล่นไปตามราง และใช้ม้าลาก ต่อมาในปี พ.ศ. 2357 จอร์จ สตีเฟนสัน



(George Stephenson) ชาวอังกฤษ ได้พัฒนาให้เป็นรถจักรไอนํ้า ชื่อว่า ร็อคเก็ต (Rocket) ซึ่งสามารถแล่นได้ด้วยตนเอง โดยนำมาใช้ลากจูงรถถ่านมํ้าในเหมืองถ่านหิน ต่อมารถไฟได้เปลี่ยนสภาพจากรถขนถ่านหินมาเป็นรถสำหรับขนส่งผู้โดยสารและสินค้า ดังเช่นในปัจจุบัน

รูปที่ 3.1 รถจักรไอนํ้าร็อคเก็ต ประดิษฐ์โดยจอร์จ สตีเฟนสัน



(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

### รูปที่ 3.2 รถจักรไอน้ำในยุคแรกกำลังน้อยต้องใช้ม้าเทียมช่วยลาก

(ที่มา: <http://www.trainsforthais.com>)

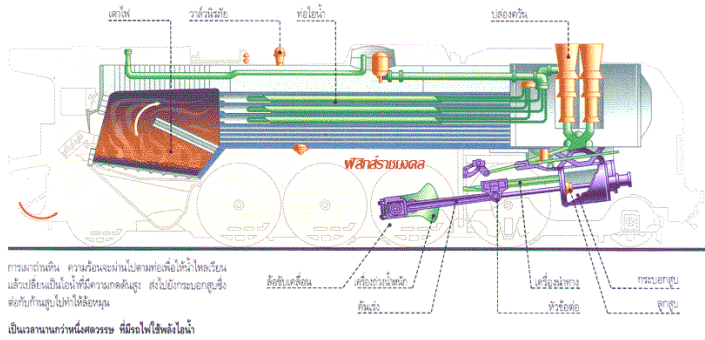
## 3.2 ประเภทของรถไฟ

รถไฟมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการออกแบบ และจุดประสงค์ในการใช้งาน รถไฟบางประเภทจะวิ่งบนรางพิเศษเฉพาะ เช่น รถไฟรางเดียว รถไฟความเร็วสูง รถไฟพลังแม่เหล็ก เป็นต้น

ในเอกสารการสอนนี้ ได้แบ่งประเภทของรถไฟออกตามแหล่งพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน รถจักรต้นกำลัง เป็น 5 ประเภท ได้แก่ รถจักรไอน้ำ รถจักรดีเซลและรถดีเซลราง รถจักรไฟฟ้าและรถไฟฟ้ราง รถไฟความเร็วสูง และรถไฟพลังแม่เหล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 รถจักรไอน้ำ (Steam Locomotive)

รถจักรไอน้ำ ใช้เครื่องจักรไอน้ำเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน เครื่องจักรไอน้ำเป็นเครื่องยนต์แบบสันดาปภายนอก (External combustion) กล่าวคือ เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น ถ่านหิน ฟืน น้ำมัน น้ำมันเตา จะถูกเผาไหม้ในห้องสันดาป แล้วนำความร้อนไปต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำที่ เกิดขึ้นซึ่งมีแรงดันสูง จะถูกส่งไปดันลูกสูบของเครื่องจักรไอน้ำให้เคลื่อนที่ ก้านของลูกสูบซึ่งต่อกับ คันชักคันโยง จะทำหน้าที่ดึงและดันล้อรถจักรให้หมุนเพื่อสร้างแรงขับเคลื่อนขบวนรถไฟ



รูปที่ 3.3 ภาพตัดของรถจักรไอน้ำ

(ที่มา: <http://www.rmutphysics.com>)

เครื่องจักรไอน้ำของรถจักรไอน้ำจะทำงานแบบระบบเปิด (Open system) หมายความว่าไอน้ำที่ใช้แล้วจะถูกปล่อยทิ้งในอากาศ น้ำในหม้อต้มจึงลดลงตลอดเวลาที่ใช้งาน รถจักรไอน้ำจึงต้องมีรถบรรทุกน้ำพ่วงติดไปด้วย เพื่อใช้เติมเข้าหม้อต้มบนรถจักร

แม้ว่ารถจักรไอน้ำจะเป็นต้นกำเนิดที่ทำให้เกิดการเดินขบวนรถไฟ แต่เนื่องจากวิธีการแปลงพลังงานและส่งถ่ายพลังงานไปใช้ผ่านกระบวนการหลายทอด ทำให้รถจักรไอน้ำมีประสิทธิภาพโดยรวมค่อนข้างต่ำ ประกอบกับต้องบรรทุกน้ำและเชื้อเพลิงที่มีน้ำหนักมากติดตัวไปด้วย จึงเหลือพื้นที่บรรทุกสินค้าและผู้โดยสารน้อย นอกจากนี้รถจักรไอน้ำยังมีพิสัยทำการสั้น ต้องแวะเติมน้ำและเชื้อเพลิงไปตลอดทาง ถึงแม้ว่ารถจักรไอน้ำจะเป็นสัญลักษณ์ของขบวนรถไฟที่มีเสน่ห์ชวนให้หลงใหล แต่เมื่อเกิดวิวัฒนาการด้านอื่น รถจักรไอน้ำจึงถูกแทนที่ด้วยรถไฟแบบอื่นๆ ทั้งหมด

การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ยุติการใช้รถจักรไอน้ำเมื่อประมาณปี พ.ศ.2525-2530 ปัจจุบันคงเหลือรถจักรไอน้ำเก็บสำรองไว้ 5 คัน เพื่อใช้ในโอกาสงานสำคัญต่างๆ เช่น วันปิยมหาราช

วันสถาปนาการรถไฟ วันปีใหม่ วันแม่ เป็นต้น



### รูปที่ 3.4 รถจักรไอน้ำที่สงวนไว้ใช้ในโอกาสงานสำคัญต่างๆ

(ที่มา: <http://www.siam1.net>)

## 3.2.2 รถจักรดีเซลและรถดีเซลราง (Diesel Locomotive and Diesel Railcar)

### 3.2.2.1 รถจักรดีเซล (Diesel Locomotive)

ก่อนสงครามโลกครั้งที่หนึ่งไม่กี่ปี รูตอล์ฟ ดีเซล ชาวเยอรมัน ได้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก (Heavy Oil) สำเร็จ โดยเรียกว่า “เครื่องยนต์ดีเซล” ตามชื่อของเขา และมีผู้นําเอาไปทดลองใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกําลัง เพื่อการขับเคลื่อนและดูดลากกับรถจักร เรียกว่า “รถจักรดีเซล”

การเริ่มใช้เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการดูดลากบนทางรถไฟ เป็นรถดีเซลไฟฟ้า คือ เป็นรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลต่อควบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้กําลังจากเครื่องดีเซลไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปหมุนมอเตอร์ขับเคลื่อนรถจักรต่อไป ซึ่งได้ทดลองใช้ในการรถไฟแห่งหนึ่งในประเทศสวีเดน เมื่อปี ค.ศ. 1913

หลังสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ได้มีการทดลองใช้รถจักรดีเซล โดยพิจารณาปรับปรุงและตรวจสอบความเหมาะสมทางเทคนิค ตลอดจนความเหมาะสมในทางเศรษฐกิจ เพื่อเปรียบเทียบกับรถจักร 2 ชนิด เป็นผลให้การผลิตหลายแห่ง โดยเฉพาะในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือ นำเอามาใช้ทดลองวิ่งในลักษณะเป็นรถจักรใช้ในการสับเปลี่ยน (Shunting locomotive) และใช้เป็นรถดีเซลราง (Diesel railcar) บางแห่งทดลองใช้เป็นรถจักรในทางประธาน (Main line locomotive) ซึ่งยังมีข้อเสีย คือ ยังไม่สามารถปรับปรุงให้ใช้เครื่องยนต์ที่มีกําลังมาสูงกว่า 1,200 แรงม้าได้ แต่ต่อมาภายหลังสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ในปัจจุบันสามารถจะติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องเดียวมีกําลัง 5,000 แรงม้ากับรถจักร 1 คันได้

รถจักรดีเซล เป็นรถจักรที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องต้นกำลัง เป็นเครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน (Internal combustion) และมีเครื่องอุปกรณ์สำหรับส่งหรือถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อ เพื่อขับเคลื่อนตัวเองและลากจูงรถพ่วง ประกอบด้วย

1) โครงประธานและลำตัว ทำหน้าที่รับตัวเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่บนโครงพื้น วางบนล้อโดยตรง หรือวางบนแคร่โบกี้ ภายในแบ่งออกเป็น ห้องขับ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มองเห็นทางข้างหน้าถนัด และห้องเครื่อง ซึ่งมีเครื่องยนต์และเครื่องอุปกรณ์ต่างๆ

2) ตัวเครื่องยนต์ดีเซล เป็นเครื่องต้นกำลัง จะติดตั้งอยู่บนรถที่ห้องเครื่อง

3) อุปกรณ์เครื่องถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ ซึ่งถ่ายทอดกำลังมาขับเคลื่อนด้วยระบบต่างๆ ระบบถ่ายทอดกำลังที่มีใช้กันในรถจักรดีเซล แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

#### 1) รถจักรดีเซลการกล (Diesel-Mechanical Locomotive)

เป็นรถจักรที่มีลักษณะการส่งกำลังคล้ายกับรถยนต์ คือ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลออกแรงไปขับเคลื่อนและใช้ทริบเฟืองกลไกเป็นเครื่องถ่ายทอดกำลัง โดยมีการใช้เกียร์ ซึ่งเกียร์หนึ่งจะขับเคลื่อนโดยใช้เทอร์คอคคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงขับเคลื่อนโดยตรงผ่านเกียร์ ซึ่งจะเข้าเกียร์โดยพนักงานขับรถ บังคับการผ่านระบบไฟฟ้าและลมเป็นตัวเข้าเกียร์ ปัจจุบันมีการพัฒนาชุดเกียร์อัตโนมัติที่เรียกว่า “Autoshift” ทำให้การขับเคลื่อนเป็นแบบอัตโนมัติทั้งหมด และประสิทธิภาพสูงกว่ารถจักรดีเซลไฟฟ้า แรงลากจูงสูงกว่า ประหยัดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ มากกว่า แต่ใช้ได้กับรถที่มีแรงม้ายังไม่สูงนัก (การรถไฟแห่งประเทศไทยแทบไม่ใช้แล้ว)

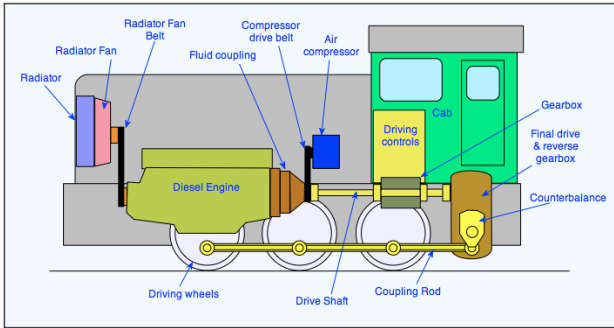
**275-300 B.H.P. DIESEL MECHANICAL 0-6-0 LOCOMOTIVE.**  
4 ft. 8½ in. Gauge.



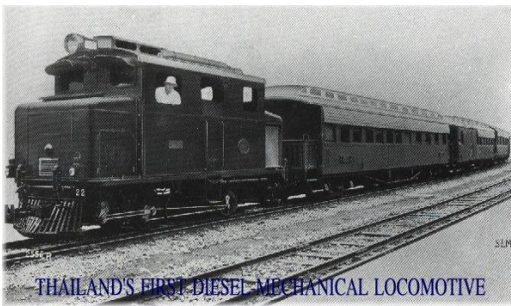
275-300 B.H.P. Diesel Mechanical 0-6-0 Locomotive.

รูปที่ 3.5 รถจักรดีเซลการกล

(ที่มา: <http://www.enuii.org>)



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงหัวรถจักรดีเซลการกล (ที่มา: <http://www.railway-technical.com>)



รูปที่ 3.7 รถจักรดีเซลการกลคันแรกของประเทศไทย

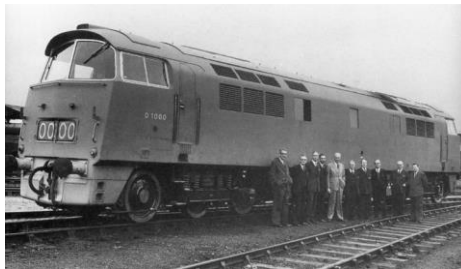
(ที่มา: <http://www.oocities.org/thaitrains/Thailoco9-15.jpg>)

## 2) รถจักรดีเซลไฮดรอลิก (Diesel-Hydraulic Locomotive)

เป็นรถจักรที่ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลขับไฮดรอลิกทรานสมิชชั่น (Hydraulic Transmission) ซึ่งภายในไฮดรอลิกทรานสมิชชั่นจะประกอบด้วย เครื่องแปลงแรงหมุน (Torque converter) 1 ตัว หรือมากกว่า และชุดเกียร์กลับอาการ (Reversing Gear)



ซึ่งทรานสมิซันจะส่งกำลังโดยเฟลาซิป 2 ด้าน ไปขับเกียร์บ็อกซ์ (Gear Box) ที่แควร์ เพื่อขับเฟลาอ์รถจักร เช่น รถจักรรูป และเฮนสเซล



รูปที่ 3.8 รถจักรดีเซลไฮดรอลิก Locomotive No.1000

(ที่มา: <http://www.swindowviewpoint.com>)

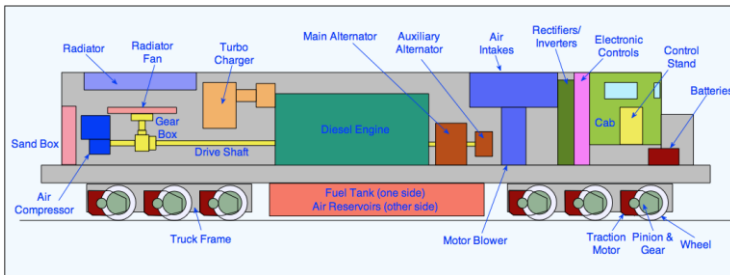
นอกจากนี้ยังมีทรานสมิซันอีกระบบหนึ่งที่มีทอร์คคอนเวอร์เตอร์ 2 ตัว ตัวหนึ่งขับในทิศเดินหน้า อีกตัวขับถอยหลัง ไม่มีเกียร์กลับอาการ การขับเคลื่อนทำได้โดยเปิดน้ำมันไฮดรอลิกเข้าทอร์คคอนเวอร์เตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งขับในทิศทางที่ต้องการ นอกจากนั้น ทรานสมิซันแบบนี้ยังทำหน้าที่เป็นไดนามิกเบรกได้ด้วย เหมาะกับการใช้งานที่ต้องมีการกลับอาการบ่อยๆ เช่น รถจักรสับเปลี่ยน HAS

ในปัจจุบัน รถจักรดีเซลไฮดรอลิกที่มีแรงม้าสูงไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง ความสะดวกในการควบคุมและการใช้งานต่ำ

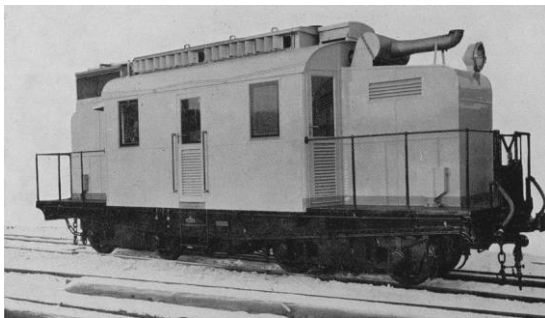
### 3) รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel-Electric Locomotive)

เป็นรถจักรที่ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนดีเซลปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Main generator) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยเร็กติไฟเออร์ (Rectifier) แล้วจ่ายไฟไปยังมอเตอร์ลากจูง (Traction Motor: TM)

ในปัจจุบัน รถจักรรุ่นใหม่ ๆ ในต่างประเทศนิยมใช้มอเตอร์ลากจูงแบบกระแสสลับ ซึ่งจะมีตัวอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จ่ายให้มอเตอร์ลากจูง



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและการวางระบบขับเคลื่อน (ที่มา: <http://www.railway-technical.com>)



รูปที่ 3.10 รถจักรดีเซลไฟฟ้าคันแรก สร้างในปี ค.ศ. 1921 ประเทศสวีเดน โดย DEVA และ ASEA (ที่มา: <http://www.railpage.com.au/f-p1449292.htm>)

รถจักรดีเซลไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบ คือ ต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำ การประกอบง่าย การควบคุมระบบต่างๆ ไม่ยุ่งยาก แรงลากจูงนุ่มนวลตลอดไม่ว่าจะใช้กำลังมากหรือน้อย เหมาะสำหรับเป็นรถจักรแรงม้าสูง แต่ถ้าเป็นรถจักรแรงม้าต่ำจะมีข้อเสียเปรียบ คือ ราคาต้นทุนของรถจะสูงเกินไป

### 3.2.2.2 รถดีเซลราง (Diesel Railcar)

รถดีเซลรางมีระบบการทำงานคล้ายกับรถจักรดีเซล เพียงแต่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กกว่า และมีเครื่องยนต์กระจายอยู่บนขบวนรถไฟหลายคัน รวมทั้งยังใช้พื้นที่บนรถติดตั้งเครื่องยนต์เพื่อการโดยสาร รถดีเซลรางเปรียบเสมือนรถเมล์โดยสารที่วิ่งบนรางรถไฟ บางครั้งก็เรียกรถดีเซลรางว่า Diesel Multiple Unit (DMU) หมายถึง การนำรถดีเซลรางหลายคันมาพ่วงต่อเข้ากันเป็นขบวนรถไฟยาวๆ

วิธีการถ่ายทอดกำลังของรถดีเซลรางค่อนข้างตรงข้ามกับรถจักร คือ ระบบถ่ายทอดกำลังแบบไฮดรอลิกได้รับความนิยมมากกว่าระบบถ่ายทอดกำลังด้วยไฟฟ้า รถดีเซลรางที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้งานอยู่เป็นแบบติดตั้งเครื่องยนต์ที่ได้ทั้งรถ ขนาดเครื่องยนต์มีตั้งแต่ 220 - 350 แรงม้า และถ่ายทอดกำลังด้วยเครื่องถ่ายทอดกำลังแบบไฮดรอลิกที่เรียกว่า “Torque Converter” ซึ่งคล้ายกับเกียร์อัตโนมัติในรถยนต์ เพียงแต่ในรถไฟขบวนหนึ่งมีรถที่ติดตั้งเครื่องยนต์อยู่ในหลายคัน และใช้ระบบไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานจากระถังนำคันเดียว

รถดีเซลรางเป็นที่นิยมใช้มากในประเทศไทย เนื่องจากมีความคล่องตัวสูง ความล่าช้าต่ำ แต่มีการซ่อมบำรุงมากและค่าใช้จ่ายสูง

รถดีเซลรางสะดวกในการจัดทำขบวนรถสั้นๆ เพียงชุดเดียว (2 คัน) ให้พอเหมาะกับการโดยสาร ในแง่ความปลอดภัยของผู้โดยสาร รถทุกคันมีประตูขึ้นลง เปิด-ปิด ด้วยระบบอัตโนมัติที่พนักงานขับรถเป็นผู้ควบคุม



รูปที่ 3.11 ขบวนรถดีเซลรางของการรถไฟแห่งประเทศไทย

(ที่มา: <http://portal.rotfai thai.com>)

### 3.2.2.3 รถไฟฟ้ารางและรถจักรไฟฟ้า (Electric Railcar and Electric Locomotive)

รถรางไฟฟ้าคันแรกในโลกสร้างขึ้นโดย เวย์เนอร์ ฟอน ซิเมนส์ (Werner Von Siemens) วิศวกรชาวเยอรมัน ในปี พ.ศ. 2422 (ค.ศ. 1879) ต่อมาได้พัฒนามาเป็นรถไฟฟ้าราง (Electric Multiple Unit: EMU) และรถจักรไฟฟ้า (Electric Locomotive) แต่ก็มีหลักการเดียวกัน คือ มีมอเตอร์ไฟฟ้าตั้งอยู่บนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ได้



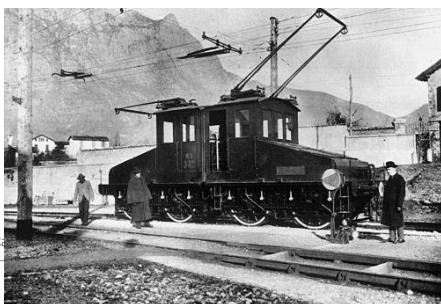
### รูปที่ 3.12 รถรางไฟฟ้าคันแรกของโลก (ที่มา: <http://portal.rotfaithai.com>)

รถไฟฟ้ําได้รับกําลังจากสายไฟฟ้ําแรงสูงเหนือราง มีทั้งแบบไฟ DC และ AC เช่น รถไฟชินคันเซ็น ใช้ไฟ AC 25,000 โวลต์ รถด่วน รถเร็ว รถธรรมดา ใช้ไฟ DC 1,500 กิโลโวลต์ เป็นต้น

รถไฟฟ้ําใช้แพร่หลายในประเทศที่กิจการรถไฟพัฒนามาก เช่น แอญโรป อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานหลายแบบ ได้แก่ รถไฟความเร็วสูงวิ่งระหว่างเมืองใหญ่ เช่น รถ TGV ของฝรั่งเศส รถชินคันเซ็นของญี่ปุ่น รถ ICE ของเยอรมัน ความเร็วสูงสุดในปัจจุบันประมาณ 350 กม./ชม. รถโดยสารในรูปรถด่วน รถเร็ว ระหว่างเมืองโดยใช้ความเร็วสูงสุดประมาณ 150 – 200 กม./ชม. และรถขนส่งมวลชนในเมืองใหญ่ เช่น รถไฟใต้ดิน นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบรถไฟฟ้ําให้ใช้งานเฉพาะในเมืองใหญ่เป็นแบบรถไฟรางเดียว

รถไฟฟ้ําที่มีข้อดีเหนือกว่ารถดีเซลทั้งในด้านวิศวกรรมและประโยชน์ใช้สอย ในทางวิศวกรรมรถไฟฟ้ําที่มีสมรรถนะสูงกว่ารถดีเซลมาก เพราะมีพลังงานในรูปของกระแสไฟฟ้ํารออยู่ในสายส่ง ซึ่งสามารถดึงมาใช้หมุนล้อได้เท่าที่ต้องการ รถไฟฟ้ํามีพิสัยทำการไกลเท่าที่มีสายส่งกระแสไฟฟ้ํา ไม่ต้องแวะเติมเชื้อเพลิง และมีคาบการบำรุงรักษายาวนานกว่า ไม่จำเป็นต้องกลับโรงซ่อมได้นานถึง 7 - 15 วัน ในขณะที่รถดีเซลต้องกลับโรงซ่อมทุกวัน นอกจากนี้ รถไฟฟ้ํายังสามารถนำพลังงานจากเชื้อเพลิงหลายรูปแบบมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้ํา แล้วนำมาใช้ขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีเสียงดังของเครื่องยนต์ และไม่ปล่อยไอเสียออกมานอกรถ จึงเหมาะสำหรับระบบขนส่งในเมืองที่ต้องการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมซึ่งถูกทำลายจากระบบขนส่ง ถึงแม้ว่าการเดินรถไฟฟ้ําจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบป้อนกระแสไฟฟ้ําเพิ่มขึ้น แต่ก็เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

รถจักรไฟฟ้า (Electric Locomotive) เป็นรถจักรที่ขับเคลื่อนโดยใช้กระแสไฟฟ้ําที่มาจากสายส่งไฟฟ้ําเหนือราง (Overhead lines) จากรางที่สาม



ระบบขนส่งทางรางเบื้องต้น (Introduction to Rail)

(Third rail) หรือจากเครื่องจัดเก็บพลังงานที่อยู่บนตัวรถ (On-board energy storage device) เช่น แบตเตอรี่ (Chemical battery) หรือfuel cell.

**รูปที่ 3.13** รถจักรไฟฟ้าแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ AC คันแรกของโลก (Power: 3 เฟส AC, 3600 โวลต์) ออกแบบโดย Kálmán Kandó แห่งบริษัท Ganz ประเทศฮังการี และใช้ใน Valtellina Railway ประเทศอิตาลี (ที่มา: <http://en.wikipedia.org>)



**รูปที่ 3.14** รถจักรไฟฟ้าของประเทศจีน ขับเคลื่อนด้วยระบบ AC-DC-AC อินเวอร์เตอร์ใช้ GTO หล่อด้วยน้ำเย็น (ที่มา: <http://www.gofront.com>)

### 3.2.3 รถไฟความเร็วสูง (High-Speed Rail)

รถไฟความเร็วสูง (High-speed rail - HSR) คือ รถไฟโดยสารที่มีความเร็วสูงกว่ารถไฟทั่วไป โดยปกติรถไฟความเร็วสูงทั่วไปจะวิ่งบนรางรถไฟที่มีขนาด 1.435 เมตร (สแตนดาร์ดเกจ) ยกเว้นรถไฟความเร็วสูงในรัสเซีย

สหภาพยุโรป นิยามว่า รถไฟความเร็วสูงเป็นรถไฟที่สามารถวิ่งได้ความเร็วยังน้อย 200 กม./ชั่วโมง สำหรับรางปกติ และ 250 กม./ชั่วโมง สำหรับรางปรับปรุง ส่วนกระทรวงคมนาคมของสหรัฐอเมริกา ได้นิยามว่า รถไฟความเร็วสูง คือ รถไฟที่สามารถรักษาความเร็วไว้ได้มากกว่า 125 ไมล์ต่อชั่วโมง (201 กม./ชั่วโมง)

รถไฟความเร็วสูงส่วนใหญ่ถูกออกแบบสำหรับเป็นรถโดยสาร แต่ในบางประเทศได้มีการออกแบบสำหรับให้บริการขนส่งสินค้า เช่น La Poste ของประเทศฝรั่งเศส

รถไฟความเร็วสูงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแข่งขันกับการคมนาคมทางถนน และทางอากาศ ทำให้การเดินทางโดยรถไฟซึ่งเชื่อมความนิยมลง กลับมาได้รับความนิยมสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

รถไฟความเร็วสูงสายแรกของโลกเกิดขึ้นเมื่อ 40 ปีที่แล้ว ณ ประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า “รถไฟชินคันเซ็น” สาย Tokaido Shinkansen เชื่อมต่อระหว่างกรุงโตเกียวและนครโอซาก้า ระยะทาง 553 กิโลเมตร เปิดดำเนินการเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2507 เพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญในการอำนวยความสะดวกต่อการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกซึ่งจัดขึ้นที่กรุงโตเกียวในปีนั้น

ต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ญี่ปุ่นมีรถไฟรุ่นใหม่ที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 220 กม./ชั่วโมง และเพิ่มความเร็วมากขึ้นเรื่อยๆ โดยรถไฟรุ่นโนโซมิ ซีรีส์ 300 ได้เพิ่มความเร็วเป็น 270 กม./ชั่วโมง และรถไฟรุ่นใหม่ คือ โนโซมิ ซีรีส์ N700 ได้เพิ่มความเร็วเป็น 300 กม./ชั่วโมง



**รูปที่ 3.15** รถไฟชินคันเซ็น ซีรีส์ N700 วิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ปัจจุบันญี่ปุ่นมีเครือข่ายรถไฟความเร็วสูงกว้างขวางที่สุดในโลก ระยะทางประมาณ 2,400 กิโลเมตร รถไฟชินคันเซ็นของญี่ปุ่นมีประสิทธิภาพในการดำเนินการสูงมาก นับจนถึงปัจจุบันยังไม่มีอุบัติเหตุที่ทำให้ผู้โดยสารเสียชีวิต และรถไฟยังวิ่งตรงเวลามาก

การเปิดให้บริการรถไฟความเร็วสูงของญี่ปุ่น ก่อให้เกิดการตื่นตัวครั้งใหญ่ในประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำของโลก แต่กว่าที่ประเทศเหล่านี้จะเริ่มเปิดบริการรถไฟความเร็วสูง ก็ถ้าหลังญี่ปุ่นถึง 17 ปี กล่าวคือ ฝรั่งเศสเปิดให้บริการเส้นทางแรก ระหว่างกรุงปารีสกับนครลียง เมื่อปี พ.ศ. 2524 โดยใช้ชื่อรถไฟว่า TGV นับว่าประสบความสำเร็จอย่างสูง มีผู้โดยสารมาใช้บริการจำนวนมาก ส่งผลให้ผู้โดยสารเครื่องบินและรถบัสลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว



**รูปที่ 3.16** ซีรีส์ TGV เจ้าของสถิติโลกหลายสมัยของฝรั่งเศส

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ส่วนเยอรมนีได้เปิดใช้รถไฟความเร็วสูง โดยใช้ชื่อว่า InterCityExpress (ICE) ซึ่งมีความเร็ว 280 กม./ชั่วโมง ซึ่งประสบความสำเร็จในเชิงธุรกิจอย่างมาก ซึ่งนอกจากจะใช้ในประเทศเยอรมนีแล้ว บริษัทซีเมนส์ยังจำหน่ายรถไฟ ICE ให้แก่หลายประเทศ





รูปที่ 3.17 ICE 3 ของเยอรมนี

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

เกาหลีใต้นับเป็นอีกประเทศหนึ่งที่สนใจก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง เนื่องจากปัญหาการจราจรติดขัดที่ก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจมากถึงปีละ 800,000 ล้านบาท

หน่วยงาน Korea High Speed Rail Construction Authority (KHRC) ก่อสร้างเส้นทางรถไฟความเร็วสูงชื่อ Korea Train Express (KTX) เชื่อมระหว่างกรุงโซลและนครปูซาน ระยะทาง 412 กม. โดยเริ่มเปิดให้บริการต้นเดือนเมษายน พ.ศ. 2547



รูปที่ 3.18 Korea Train Express (KTX) ประเทศเกาหลีใต้

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

นอกจากการก่อสร้างเส้นทางรถไฟความเร็วสูงแล้ว รัฐบาลเกาหลีได้ยังผลิตรถไฟใช้เอง โดยสถาบันวิจัยรถไฟแห่งประเทศเกาหลี (Korea Railroad Research Institute - KRRRI) ได้ทำการวิจัยและพัฒนา โดยได้รับความช่วยเหลือทางเทคนิคจากบริษัท Alstom ของฝรั่งเศส โดยวิจัยเพื่อนำมาผลิตเชิงพาณิชย์

รถไฟความเร็วสูงของเกาหลีได้มีกำลังสูงถึง 18,000 แรงม้า นับว่ามีพลังสูงกว่าของรถไฟ TGV ถึงร้อยละ 50 ทำให้สามารถแล่นได้ด้วยความเร็วสูงถึง 350 กม./ชั่วโมง โดยแต่ละขบวนบรรทุกผู้โดยสารได้ 935 คน จำแนกเป็นผู้โดยสารชั้น 1 จำนวน 127 คน และชั้นสอง 808 คน

สำหรับได้วันก็มีโครงการรถไฟความเร็วสูงเช่นเดียวกัน มีระยะทาง 345 กม. จำนวน 10 สถานี เชื่อมโยงกรุงไทเปกับนครเกาสง ซึ่งเป็นเมืองใหญ่อันดับ 2 ของประเทศ ใช้เงินลงทุนมากถึง 600,000 ล้านบาท ดำเนินการโดยบริษัท Taiwan High Speed Rail Corp. (THSRC) โดยใช้เทคโนโลยีของญี่ปุ่น เป็นรถไฟฟ้ารุ่น “โนซิมิ 700T” มีความเร็วสูงสุด 300 กม./ชั่วโมง

สำหรับรถไฟความเร็วสูงของจีน (China Railway High-speed – CRH) ได้เริ่มดำเนินการเมื่อวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2550 การออกแบบระบบรถไฟความเร็วสูงทั้งหมดได้ถูกออกแบบมาจากต่างประเทศ โดยกำหนดให้รุ่น CRH-1 ถึง CRH-5 ใช้สำหรับการเดินทางที่รวดเร็วระหว่างเมือง ซึ่งจีนได้ศึกษา วิจัย และพัฒนาระบบรถไฟความเร็วสูงเป็นของตนเอง ในปัจจุบัน จีนได้ถือครองสิทธิบัตร

ใหม่ๆ มากมาย ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของรถไฟความเร็วสูง และจีนยังได้ออกแบบส่วนประกอบใหม่เพื่อให้รถไฟสามารถวิ่งที่ความเร็วมากขึ้นกว่าการออกแบบแบบเดิมๆ ของรถไฟต่างประเทศ จนในปัจจุบัน จีนมีแบบรถไฟความเร็วสูงต่างๆ มากมาย เพื่อใช้งานให้เหมาะสมตามแต่ละสภาพภูมิประเทศ และเศรษฐกิจ



รูปที่ 3.19 CRH380A ของจีนที่ถูกพัฒนาให้มีความเร็วที่สูงมากเมื่อไม่นานมานี้

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

สำหรับในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น มาเลเซียได้ก่อสร้างทางรถไฟความเร็วสูงสายสั้นๆ ระยะทาง 56 กม. ใช้เวลาเดินทางเพียง 28 นาที เชื่อมระหว่างกรุงกัวลาลัมเปอร์กับท่าอากาศยานแห่งใหม่ โดยใช้ชื่อว่า Express Rail Link (ERL) เป็นรถไฟฟ้าที่ผลิตโดยบริษัทซีเมนส์ของเยอรมนี เปิดดำเนินการเมื่อปี พ.ศ. 2545

มาเลเซียเคยมีดำริว่า จะก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงในเส้นทางเชื่อมระหว่างกรุงกัวลาลัมเปอร์และสิงคโปร์ โดยใช้เงินลงทุน 55,000 ล้านดอลลาร์ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการเดินทางลงมาก จากเดิมใช้เวลาจนถึง 6 ชั่วโมง ให้ลดลงเหลือเพียง 90 นาที แต่ต่อมาคณะรัฐมนตรีของมาเลเซียได้พิจารณาทบทวน และมีมติให้ยกเลิกโครงการเนื่องจากเห็นว่าค่าใช้จ่ายแพงมาก

สำหรับประเทศไทยนั้น เมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 รัฐบาลไทยได้อนุมัติให้ดำเนินโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงสายกรุงเทพฯ - หอนงคาย และ พ.ศ. 2556 รัฐบาลได้ยกร่างพระราชบัญญัติ (พรบ.) ให้อำนาจกระทรวงการคลังกู้เงินราว 2 ล้านล้านบาท สำหรับใช้พัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ โดยโครงการรถไฟความเร็วสูงเป็นหนึ่งในโครงการที่ถูกบรรจุอยู่ในเนื้อหาของ พรบ. โดยมีแนวทางที่รัฐบาลไทยจะเป็นเจ้าของระบบราง และให้สัมปทานการดำเนินงานแก่เอกชน ในขณะเดียวกัน กระทรวงคมนาคมได้เตรียมจัดนิทรรศการรถไฟความเร็วสูง ณ ท่าอากาศยานดอนเมืองในกลางปี และวางแผนให้สามารถทำการประกวดราคาได้ภายในสิ้นปี

### 3.2.4 รถไฟพลังแม่เหล็ก

รถไฟพลังแม่เหล็ก หรือรถไฟแม็กเลฟ (Maglev มาจากคำว่า Magnetically levitating) ใช้หลักการของมอเตอร์แบบเส้นตรง มีอำนาจแม่เหล็กยกรถไฟลอยขึ้นเล็กน้อยและผลักดันตัวรถวิ่งไปตามราง

ในทศวรรษที่ 1960 ได้มีการค้นคว้าวิจัยเรื่องระบบขับเคลื่อนด้วยพลังแม่เหล็กในสหรัฐอเมริกาในช่วงเวลาสั้นๆ อย่างไรก็ตามที่ประเทศอังกฤษ Eric Laithwaite วิศวกรชาวอังกฤษได้พัฒนารถไฟพลังแม่เหล็กให้ใช้งานได้จริงๆ รถไฟพลังแม่เหล็กของเขาวิ่งอยู่บนรางความยาว 1 ไมล์ (1.6 กิโลเมตร) และผ่านการทดสอบวิ่ง แต่การคิดค้นวิจัยของเขานั้นได้มีการยกเลิกในปี ค.ศ. 1973 เนื่องจากขาดงบประมาณและโครงการก็ไม่คืบหน้าเท่าที่ควร ต่อมาราวทศวรรษที่ 1970 เยอรมนีได้เริ่มค้นคว้าวิจัยเรื่องรถไฟพลังแม่เหล็ก หลังจากผ่านความล้มเหลวมากมาย ในที่สุดเยอรมนีก็เป็น

ชาติแรกที่ได้พัฒนาเทคโนโลยีขั้นยอดนี้จนสำเร็จ ราวทศวรรษที่ 1980 อย่างไรก็ตาม ตัวนำยิ่งยวดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จนเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการยอมรับเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้ในหลายๆ ประเทศ

ประเทศอังกฤษเป็นประเทศแรกที่มีการนำรถไฟพลังแม่เหล็ก หรือรถไฟแม็กเลฟมาใช้งานจริง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 แต่รถไฟพลังแม่เหล็กในยุคนั้นเป็นรถไฟที่มีความเร็วต่ำ และวิ่งในระยะสั้นๆ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2547 จีนได้พัฒนารถไฟพลังแม่เหล็กขึ้นมา เพื่อใช้งานในนครเซี่ยงไฮ้ จากการทดสอบการวิ่ง รถไฟเซี่ยงไฮ้สามารถใช้ความเร็วได้สูงสุด 500 กม./ชม. ต่อจากนั้นอีก 1 ปี ญี่ปุ่นก็นำเทคโนโลยีดังกล่าวมาต่อยอด และผลิตรถไฟพลังแม่เหล็กขึ้นมาใช้งานเอง โดยมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 100 กม./ชม.



Transrapid รถไฟพลังแม่เหล็กรุ่นแรกของโลก ผลิตโดยเยอรมนี      รถไฟพลังแม่เหล็กเซี่ยงไฮ้ของจีน ที่พัฒนาโดยเยอรมนี

รูปที่ 3.20 รถไฟพลังแม่เหล็ก

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ความเร็วของรถไฟพลังแม่เหล็กที่ดีว่าเป็นสถิติโลก อยู่ที่ 581 กม./ชั่วโมง โดยรถไฟญี่ปุ่นทำลายสถิติโลกที่รถไฟ TGV ของฝรั่งเศสลง ด้วยความเร็วที่มากกว่ากันอยู่ 6 กม./ชั่วโมง

### 3.3 เทคโนโลยีรถไฟในต่างประเทศ

ปัจจุบันการเดินทางโดยรถไฟนั้นว่าเสียเปรียบการเดินทางโดยรถยนต์มาก เนื่องจากรถยนต์สามารถเดินทางไปถึงจุดหมายปลายทางได้ แต่กรณีเดินทางโดยรถไฟ จะเกิดความไม่สะดวกต้องไปต่อรถยนต์ที่สถานี

ในปัจจุบัน รถไฟความเร็วสูงขับเคลื่อนด้วยพลังไฟฟ้าและพลังแม่เหล็ก แต่ในอนาคตยังมีอีกเทคโนโลยีที่กำลังได้รับการจับตามอง โดยเมื่อเร็วๆ นี้ บริษัท Bombardier ได้เปิดตัวรถไฟแบบใหม่

Formatted: Centered

Formatted: Thai Distributed Justification, Indent: First line: 1.27 cm

คือ Bombardier JetTrain ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ไอพ่นเหมือนกับที่ใช้ในเครื่องบิน สามารถทำความเร็วได้สูงถึง 240 กม./ชั่วโมง ซึ่งมีข้อดี คือ ไม่ต้องลงทุนจำนวนมากเพื่อติดตั้งระบบสายส่งไฟฟ้าไปยังตัวรถไฟ

ในเอกสารการสนทน่นี้ ได้นำเสนอเทคโนโลยีรถไฟในต่างประเทศ 3 ประเทศ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น ประเทศฝรั่งเศส และประเทศอิตาลี โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.3.1 เทคโนโลยีรถไฟของประเทศญี่ปุ่น

ญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกๆ ในแถบเอเชียที่นำระบบรางเข้ามาใช้ในการคมนาคม รถไฟสายแรกของประเทศญี่ปุ่นนั้นถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1872 เป็นเส้นทางระหว่างเมืองโตเกียวกับโยโกฮาม่า ดำเนินการสร้างและบริการโดย Japan Government railways หรือ JGR โดยมีประเทศอังกฤษให้คำปรึกษา รางที่ใช้เป็นรางกว้าง 1.067 เมตร หรือรางขนาดแคบ หัวรถเป็นแบบหัวรถจักรไอน้ำซึ่งนำเข้ามาจากอังกฤษ โดยนาย Briton Edmund Morell หัวหน้าวิศวกรคนแรกของ JGR ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งระบบรถรางในญี่ปุ่น

ความเปลี่ยนแปลงในพัฒนาระบบรางของญี่ปุ่นได้เกิดขึ้น เมื่อมีการออกพระราชบัญญัติ Railway Nationalization คือ การแปรรูประบบรางจากของรัฐมาเป็นของเอกชน (ดังเช่นประเทศไทย ในสมัยที่ยุบกรมรถไฟหลวงมาเป็นการรถไฟแห่งประเทศไทยและอยู่ภายใต้กระทรวงคมนาคม) แต่เนื่องจากการผนวกรวมรางนั่นเอง ก็เป็นสาเหตุให้รัฐมีค่าใช้จ่ายสูงมาก จนไม่มีงบประมาณที่จะขยายเส้นทางเพิ่มในพื้นที่ห่างไกล รัฐจึงได้ร่าง พรบ. ใหม่ที่อนุญาตให้เอกชนมีสิทธิในการดำเนินการรางเบา (Light Railway) ในปี ค.ศ. 1910 และ ปีค.ศ. 1929 ได้นำหัวรถจักรดีเซลเข้ามาจากประเทศเยอรมัน และมีพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งระบบรางและหัวรถจักร ซึ่งในปี ค.ศ. 1931 ประเทศญี่ปุ่นมีระยะทางของรางทั้งหมด 14,574 กิโลเมตร



ระบบการขนส่งทางรางเบื้องต้น (Introduction to Railway System)

### รูปที่ 3.21 Light rail train ในญี่ปุ่น

(ที่มา: <http://topicstock.pantip.com>)

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาที่เข้ามาควบคุมญี่ปุ่น ได้จัดการปฏิรูปการรถไฟญี่ปุ่น ให้เป็นบริษัทมหาชน เรียกว่า การรถไฟแห่งประเทศไทย (Japanese National Railways : JNR) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1949 การปฏิรูปนี้ทำให้การก่อสร้างซ่อมแซมระบบรถไฟต่างๆ เป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีการเปลี่ยนแปลงระบบของตัวรถไฟ คือ การเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าแทนดีเซล โดยมีการติดตั้งสายนำไฟฟ้าไปตามเส้นทางหลักๆ และยกเลิกการใช้รถจักรไอน้ำทั้งหมด แต่ขณะนั้นรถไฟยังใช้รางแคบจึงไม่สามารถทำความเร็วได้มาก จึงได้มีการสร้างรถไฟความเร็วสูงหรือที่เราเรียกว่า “ชินคันเซ็น”



รูปที่ 3.22 0 Series Shinkansen ในพิพิธภัณฑ์

(ที่มา: <http://topicstock.pantip.com>)

โครงการชินคันเซ็นปรากฏออกมาเป็นรูปร่างได้เนื่องจากนาย Hideo Shima วิศวกรใหญ่ และนาย Shinji Sogo ประธานคนแรกของ JNR เพราะในช่วงแรกของการเสนอโครงการรถไฟความเร็วสูงหรือชินคันเซ็นนั้น มีเสียงต่อต้านออกมาพอสมควรถึงเรื่องอนาคตของการขนส่ง ว่าจะเข้าสู่ยุคขนส่งทางอากาศ และรถไฟก็จะตกยุคไปในที่สุด แต่นาย Shinji Sogo ได้ยืนยันกรานในแนวคิดรถไฟความเร็วสูงนั้น และสามารถผลักดันจนเป็นที่สำเร็จ ซึ่งทำให้ญี่ปุ่นนับเป็นชาติแรกที่มีการสร้างรถไฟความเร็วสูงแบบใหม่นี้

รัฐบาลญี่ปุ่นได้อนุมัติโครงการในปี ค.ศ. 1958 สำหรับการก่อสร้างทางรถไฟความเร็วสูงในสาย Tokaido shinkansen ที่เชื่อมระหว่างโตเกียวและโอซาก้า ระยะทาง 515 กิโลเมตร ซึ่งเป็นคน

ละเส้นกับ Tokaido main line เดิม แต่จะขนานกันไป โดยเป็นการวางระบบรางใหม่ทั้งระบบเป็นรางคู่ขนาดมาตรฐานหรือ 1.435 เมตร



### รูปที่ 3.23 ทางรถไฟสาย Tokaido shinkansen

(ที่มา: <http://topicstock.pantip.com>)

ปี ค.ศ.1964 ทางรถไฟ Tokaido shinkansen ก็สร้างแล้วเสร็จ โดยรถรุ่นแรกก็นำมาวิ่งคือ shinkansen 0 series ซึ่งมีความเร็วในการใช้งานจริงสูงสุดอยู่ที่ 210 กม./ชั่วโมง โดยรถรุ่นนี้ถูกใช้เรื่อยมาจนปลดระวางไปในปี ค.ศ. 2008 เส้นทางรถไฟความเร็วสูงสายใหม่นี้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก มีผู้โดยสารถึง 100 ล้านคนภายในเวลาไม่ถึง 3 ปี และมีผู้โดยสารรวม 1,000 ล้านคนในปี ค.ศ.1976 ช่วงนั้นนับว่าเป็นยุคทองของการรถไฟญี่ปุ่น

จากความสำเร็จดังกล่าว ทำให้มีการต่อขยายทางรถไฟสาย Sanyo shinkansen จากโอซาก้าไปยังฮิโรชิม่าและฟูกุโอกะ ซึ่งสร้างเสร็จในปี ค.ศ. 1975 นอกจากการวางเส้นทางชินคันเซ็นแล้วในช่วงนั้นรัฐบาลยังได้ผลักดันให้ก่อสร้างรางเพิ่มเติมสำหรับทางรถไฟอีกส่วนใหญ่ที่ยังเป็นรางเดี่ยว

ในปี ค.ศ. 1987 รัฐสภาญี่ปุ่นมีมติให้แปรรูปการรถไฟอีกครั้งไปเป็นของเอกชน โดยแตกเป็นบริษัท 6 ย่อยตามภูมิภาค เช่น JR-Central, JR-West, JR-East โดยเรียกรวมๆ กันว่า Japan Railways Group หรือ JR Group



**รูปที่ 3.24** การแปรรูปรถไฟญี่ปุ่นและแบ่งเขตตามภูมิภาค

(ที่มา: <http://topicstock.pantip.com>)

จากการแปรรูปเป็นเอกชน ทำให้แต่ละบริษัทมีอิสระในการดำเนินการมากขึ้น และที่สำคัญคือ เกิดการแข่งขันระหว่างองค์กร โดยการเปลี่ยนแปลงเริ่มจากการลดจำนวนคนงาน และพัฒนาสิ่งที่มีอยู่เดิมให้ดีขึ้น จนทำให้ในปลายปี ค.ศ. 1987 มีผู้โดยสารเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.2 จากปี ค.ศ. 1986

นอกจาก JR Group จะประกอบด้วยบริษัทเดินรถตามภูมิภาคแล้ว ยังประกอบไปด้วย 3 บริษัทย่อย คือ JR Freight ดูแลเกี่ยวกับการขนส่งสินค้า ซึ่งก่อตั้งขึ้นพร้อมกับ 6 บริษัทแรก Railway Technical Research Institute (RTRI) และ JR Information Systems ซึ่ง RTRI นับเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนารถไฟญี่ปุ่นในช่วงหลัง เนื่องจากเป็นองค์กรที่ได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับรถไฟ ตั้งแต่การพัฒนาความปลอดภัย ไปจนถึงการออกแบบรถไฟความเร็วสูงในอนาคต เช่น Maglev และรถไฟที่สามารถใช้ได้ทั้งรางแคบและรางมาตรฐาน

จากการทำงานอย่างเป็นเอกภาพระหว่าง JR Group ทำให้รถไฟญี่ปุ่นฟื้นตัวขึ้นมาใหม่ และยิ่งใหญ่กว่าเดิม ทั้งคุณภาพ การบริการ และความเร็ว จนก้าวขึ้นเป็นแนวหน้าในการพัฒนาระบบรถไฟของโลกในทุกวันนี้



ระบบขนส่งทางรางเบื้องต้น (Introduction to Railway System)



รูปที่ 3.25 รถไฟเปลี่ยนขนาดรางได้ Gauge Change Train รุ่น GCT01-201 กำลังอยู่ระหว่างการ  
พัฒนาสามารถวิ่งได้บนราง 1,067 mm ถึง 1,435 mm

(ที่มา: : <http://topicstock.pantip.com>)



รูปที่ 3.26 รถไฟชินคันเซ็นรุ่นต่างๆ

(ที่มา: <http://topicstock.pantip.com>)

### 3.3.2 เทคโนโลยีรถไฟของประเทศฝรั่งเศส

ในปี ค.ศ. 1964 French national railways หรือ SNCF ได้พยายามพัฒนารถไฟแบบเดิม  
ให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการร่วมมือกันระหว่าง SNCF และรัฐบาลญี่ปุ่น ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ  
รถไฟความเร็วสูงชินกันเซ็น (Shinkansen high speed train) จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1967 โครงการ  
ดังกล่าวได้เริ่มขึ้นในประเทศฝรั่งเศส ภายใต้ชื่อโครงการว่า "Rail Possibilities on New  
Infrastructures" มีชื่อรหัสว่า C03 สามารถพัฒนาระดับความเร็วได้มากถึง 180-200 กม./ชั่วโมง  
โดยใช้ Gas turbine เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนน้ำมันดีเซล เรียกว่า ETG (Element a  
turbine and gas หรือ Gas Turbine Unit) ใช้วิ่งระหว่าง Paris กับ Cherbourg โดยเริ่มเปิดบริการ  
ในปี ค.ศ. 1970 ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า จากโครงการดังกล่าวทำให้มีการพัฒนารถไฟความเร็ว  
สูงหรือที่รู้จักกันในนามว่า TGV ย่อมาจากภาษาฝรั่งเศสที่ว่า "Tres Grande Vitesse" แปลว่า Very

high speed train ซึ่งได้ถูกสร้างขึ้น และมีการทดลองใช้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1971 สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 280-300 km/h โดยใช้ต้นแบบที่เรียกว่า TGV 001 Turbotrain



รูปที่ 3.27 รถไฟ TGV รุ่นแรก

(ที่มา: <http://blog.eduzones.com>)

เนื่องจาก TGV เป็นรถไฟที่ได้รับการออกแบบให้มีศักยภาพสูงกว่ารถไฟความเร็วสูงทั่วไป คือ เป็นการรวมกันระหว่างรถไฟที่มีความเร็ว และสามารถขับเคลื่อนในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงถึง ร้อยละ 4 ได้อย่างปลอดภัย ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงทำให้มีเส้นทางเดินรถไฟในประเทศฝรั่งเศส มากขึ้น เป็นผลให้การรถไฟของประเทศฝรั่งเศสสามารถให้บริการแก่ประชาชนได้มากขึ้น และมีพื้นที่ ให้บริการมากกว่าเดิม ประชาชนจึงหันกลับมาใช้บริการการขนส่งสาธารณะทางรถไฟ TGV สูง กว่าเดิม จากวิกฤตการณ์น้ำมันที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1974 ทำให้ประเทศฝรั่งเศสมีการพัฒนาระบบการ ขับเคลื่อนของรถไฟ TGV โดยใช้พลังงานทดแทน Gas turbine โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในการ ขับเคลื่อนทั้งระบบ

เนื่องจาก TGV เป็นรถไฟความเร็วสูงที่ต้องวิ่งผ่านใจกลางเมืองสำคัญๆ ของประเทศฝรั่งเศส และแหล่งชุมชนหนาแน่นในเมืองต่างๆ ของทวีปยุโรป ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจึง ไม่ทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ TGV ยังเป็นรถไฟที่มีน้ำหนักเบา โดยเน้นวัสดุใน การประกอบตัวถึงเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาที่สุด ในปัจจุบัน ตัวถังรถไฟของ TGV ทำจากอลูมิเนียม



ay System)

### รูปที่ 3.28 รถไฟ TGV

(ที่มา: <http://www.raileurope.com>)

นอกจากนั้น ยังมีการออกแบบหัวรถไฟในลักษณะ Aerodynamic ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในรูปลักษณะที่คล้ายกับเครื่องบิน บางครั้งจึงมีคำพูดที่ว่า "This trailer is not a train" ซึ่งถือได้ว่าเป็นเอกลักษณ์สำคัญของ TGV

เนื่องจากทวีปยุโรปเป็นทวีปที่ประกอบไปด้วยประเทศต่างๆ มากกว่า 20 ประเทศ ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกันเป็นแผ่นดินขนาดใหญ่ การคมนาคมขนส่งทางบกจึงมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะการคมนาคมขนส่งทางรถไฟ จะเห็นได้ว่า TGV มีความเหมาะสมอย่างมากในการให้บริการแก่ประชาชนและผู้ใช้บริการที่อยู่ห่างไกลกัน ซึ่งส่วนมากจะเป็นการให้บริการในระหว่างประเทศ หรือภายในประเทศที่มีขนาดใหญ่หลายๆ

นอกจากความสะดวกรวดเร็วในการให้บริการแก่ประชาชนแล้ว TGV ยังมีระบบการรักษาความปลอดภัยที่เยี่ยมยอดแม้ว่าจะวิ่งด้วยความเร็วสูงก็ตาม (ในปัจจุบันสามารถวิ่งด้วยอัตราความเร็วมากกว่า 500 กม./ชั่วโมง) ซึ่งความเร็วที่ให้บริการในปัจจุบันประมาณ 360 กม./ชั่วโมง แต่จากบันทึกเกี่ยวกับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการให้บริการของรถไฟ TGV พบว่า ไม่ร้ายแรงมากนักเมื่อเทียบกับความเร็วในการวิ่ง และที่สำคัญคืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทุกครั้ง รถไฟจะไม่พลิกคว่ำตกราง เนื่องจากระบบห้ามล้ออัตโนมัติที่มีลักษณะเป็นแขนยื่นออกมาจับยึดกับรางทั้ง 4 ด้านของตู้รถไฟแต่ละตู้ และระบบล้อที่เชื่อมต่อระหว่างตู้ ทำให้ตัวรถไฟไม่ตกจากรางเหมือนรถไฟแบบเก่า



**รูปที่ 3.29** รถไฟที่เร็วที่สุดในโลกอันดับ 2 TGV POS ประเทศฝรั่งเศส

(ที่มา: <http://board.postjung.com>)

ปัจจุบันโครงข่ายการให้บริการรถไฟ TGV ครอบคลุมประเทศฝรั่งเศสทั้งหมด และยังขยายไปยังประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ เบลเยียม เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน และสหราชอาณาจักร โดยผ่าน Channal Tunnel (Map) และระบบการควบคุมรถทั้งหมดเป็นการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ ส่วนกลาง (The TGV Signalling System) เรียกว่า ระบบ TVM (Transmission Voie - Machine) หรือ Track to train transmission ซึ่งเป็นระบบการควบคุมการเดินทางรถไฟที่ใช้ความเร็วมากกว่า 160 กม./ชั่วโมง เนื่องจากพนักงานขับรถไม่สามารถมองเห็นสัญญาณการจราจรได้ในความเร็วดังกล่าว การใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมระบบการเดินทางทั้งหมด จึงมีความปลอดภัยสูงกว่า เพราะในการควบคุมจะมีการเชื่อมโยงกันในทุกๆ ระบบที่เกี่ยวข้อง

**3.3.3 เทคโนโลยีรถไฟของประเทศอิตาลี**

ประเทศอิตาลีมีทางรถไฟความยาวทั้งหมด 19,469 กิโลเมตร เชื่อมต่อ 16 ประเทศ มีจำนวนประชากรประมาณ 60 ล้านคน ประมาณ 2.5 ล้านคน อาศัยอยู่ในกรุงโรม และอีก 1.5 ล้านคนอาศัยอยู่ในเมืองมิลาน ประเทศอิตาลีมีเครือข่ายรถไฟทั่วประเทศและสามารถเชื่อมกับประเทศเพื่อนบ้านได้ ทำให้การเดินทางโดยรถไฟเป็นช่องทางคมนาคมที่สะดวก ซึ่งรถไฟของประเทศอิตาลี

สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 300 กม./ชั่วโมง



เส้นทางรางเบื้องต้น (Introduction to Railway System)

### รูปที่ 3.30 เส้นทางรถไฟประเทศอิตาลี

การให้บริการของรถไฟอิตาลีแบ่งออกเป็น 3 ประเภท-หลักๆ ได้แก่

1) Eurostar (ES หรือ Treni Eurostar Italia) เป็นสายรถไฟในอิตาลีที่เดินทางเฉพาะเมืองหลักๆ ของอิตาลี ซึ่งเป็นรถไฟความเร็วสูงวิ่งในระยะทางที่ไกล โดยมี 2 บริษัทที่ดำเนินการ คือ Trenitalia และ Italo



รูปที่ 3.31 รถไฟความเร็วสูง Trenitalia

(ที่มา: <http://www.miserveunavacanza.com>)

ก่อนหน้านี้ Trenitalia ผู้ขาดการให้บริการรถไฟความเร็วสูงในอิตาลีเพียงรายเดียว รวมถึงสายการบินด้วย แต่ในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2013 นี้ บริษัท Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV) ได้เปิดให้บริการรถไฟ Italo โดยจะวิ่งผ่านเมืองมิลาน โรม และเมืองเนเปิลส์ รถไฟขบวนนี้ถือว่าเป็น

รถไฟที่วิ่งด้วยความเร็วสูงที่สุดในยุโรป ด้วยความเร็วสูงสุด 186 ไมล์ต่อชั่วโมง ตัวรถผลิตโดยบริษัท Alstom จากฝรั่งเศส มีโครงสร้างมาจากรถไฟรุ่น AGV (Automotrice Grande Vitesse) จะใช้ระบบรางแบบเดียวกับรถไฟ AGV-TGV ที่ทำสถิติวิ่งได้ถึง 357 ไมล์ต่อชั่วโมงเมื่อปี ค.ศ. 2007 ทาง NTV คาดว่า จะมีผู้ใช้บริการ 9 ล้านคนต่อปี ภายในสิ้นปี ค.ศ. 2014 นี้



รูปที่ 3.32 รถไฟความเร็วสูง Italo

(ที่มา: <http://images.thaiza.com>)

2) Intercity รถไฟความเร็วระดับปานกลาง ซึ่งวิ่งให้บริการระหว่างเมืองใหญ่ๆ โดยให้บริการในระดับ First Class และ Second Class



(ที่มา: <http://farm5.staticflickr.com>)



(ที่มา: <http://www.pbase.com>)

รูปที่ 3.33 รถไฟระหว่างเมือง Intercity

3) Regionale (Regional Trains) เป็นรถไฟสายชานเมืองหรือท้องถิ่น ซึ่งมีราคาโดยสารที่ ถูก และที่สำคัญตัวมักจะมีคนโดยสาร โดยเฉพาะสายรถไฟในเมืองหลักๆ ที่มีผู้คนอาศัยอยู่เยอะ



(ที่มา: <http://fam9.staticflickr.com>)

(ที่มา: <http://www.railjournal.com>)

### รูปที่ 3.34 รถไฟสายชานเมือง (Regional Trains)

รถไฟอิตาลีมีรูปแบบการใช้งานที่ทันสมัย และใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรงเพื่อขับเคลื่อนขบวนรถ ซึ่งแตกต่างจากประเทศไทยที่ยังไม่มีรถโดยสารหรือรถสินค้าที่สามารถใช้พลังงานโดยตรงจากไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนขบวนรถ มีเพียงระบบขนส่งมวลชนภายในเมืองหลวงที่ใช้รถไฟที่รับไฟฟ้าโดยตรงจากรางที่สาม (รางจ่ายไฟ)

## 3.4 องค์ประกอบหลักของรถไฟ

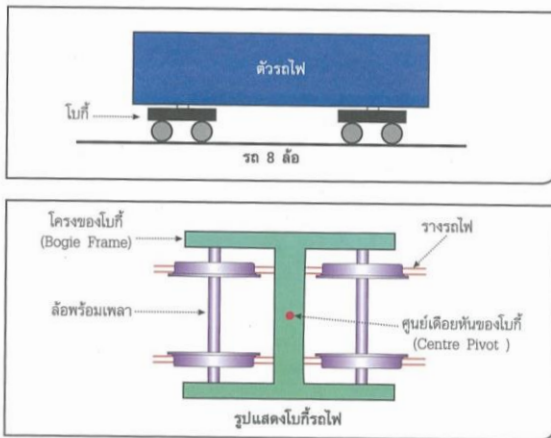
องค์ประกอบหลักของรถไฟ ประกอบด้วย โบกี้ ล้อ และระบบรองรับน้ำหนัก

โบกี้ (Bogies) หมายถึง ส่วนที่รองรับน้ำหนักตัวรถ ออกแบบเพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้ตัวรถสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงอย่างปลอดภัย และให้ความรู้สึกที่มั่นคงต่อผู้โดยสาร

ตัวรถไฟที่สร้างใช้งานในระยะแรกยังไม่มียกตัวรถจะวางอยู่บนล้อพร้อมเพลา 4 ล้อ โดยมีสปริงรับน้ำหนักวางคั่นอยู่ตรงกลาง ซึ่งโดยทั่วไปไม่สามารถวิ่งได้เร็ว ยกเว้นตัวรถไฟ 4 ล้อที่พัฒนาขึ้นใหม่ที่สามารถวิ่งได้เร็วกว่าเดิมแต่ก็ไม่เป็นที่นิยม การมีโบกี้จะช่วยให้ตัวรถไฟมั่นคง วิ่งได้อย่างนุ่มนวลทั้งในทางตรงและทางโค้ง โดยโบกี้จะรับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการยุบตัวหรือการไม่สม่ำเสมอของ

ทางรถไฟทำให้ผู้โดยสารรู้สึกสบาย นอกจากนี้ ยังลดผลที่เกิดจากการยุบตัวของรางรถไฟที่ส่งผลถึงคุณภาพการนั่งโดยสารอีกด้วย

รถไฟ 4 ล้อ เป็นรถไฟที่วิศวกรรถไฟประดิษฐ์ขึ้นใช้งานในระยะแรก แต่ไม่สามารถวิ่งด้วยความเร็วสูง เนื่องจากคาบในการส่ายตัวของล้อมีระยะสั้น ทำให้ตัวรถมีการสั่นสะเทือนเกินมาตรฐานความปลอดภัยในทุกทิศทาง เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูง ในระยะต่อมาจึงมีผู้คิดประดิษฐ์รถ 8 ล้อขึ้น โดยการนำเอารถ 4 ล้อ มาทำให้สั้นลง เรียกว่า “โบกี้”

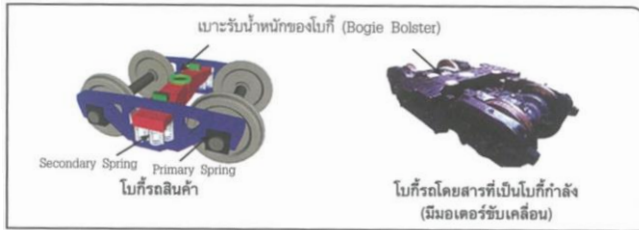


รูปที่ 3.3๕5 โบกี้รถไฟ

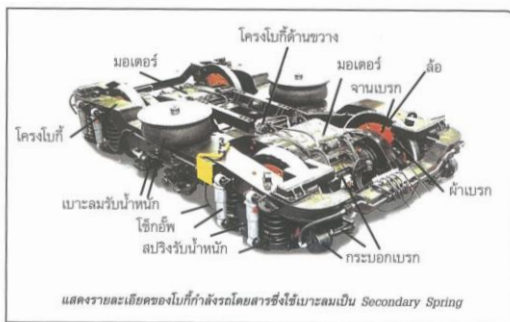
(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ)

โบกี้มีหลายแบบ เช่น โบกี้แบบ 1 เพลา มี 2 ล้อ โบกี้แบบ 2 เพลา มี 4 ล้อ หรือโบกี้แบบอื่นขึ้นอยู่กับกรออกแบบเพื่อรับน้ำหนัก





รูปที่ 3.376 เบาะรับน้ำหนักของโบกี้  
(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ)

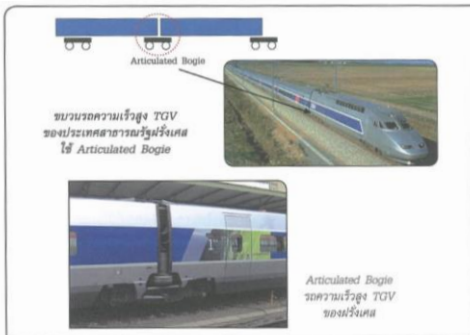


รูปที่ 3.387 แสดงรายละเอียดของโบกี้กำลังรถโดยสารซึ่งใช้เบาะลมเป็น Secondary Spring  
(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ)

รถไฟแบบมี 2 โบกี้ โบกี้ละ 2 เพลา เป็นล้อเลื่อนรถไฟแบบมาตรฐานที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีการออกแบบนี้ทำให้รถไฟมีราคาแพงจึงมีผู้พยายามพัฒนาระบบรับน้ำหนักแบบอื่น โดยออกแบบรถไฟให้ใช้โบกี้ร่วมเรียก Articulated Bogie ซึ่งวิศวกรเห็นว่า หากสามารถสร้างให้มีสรรถนะเท่ากับรถแบบ 2 โบกี้ ก็จะมีราคาถูกกว่า

ภายหลังเมื่อเครื่องมือและเทคโนโลยีมีความทันสมัยมากขึ้น ก็สามารถออกแบบรถไฟวิ่งความเร็วสูงได้ เช่น รถ 4 ล้อที่ใช้เทคโนโลยี “Talgo Pendular” ของบริษัท Talgo ในประเทศสเปน

ใช้ล้อชุดเดียวรับน้ำหนักรถ 2 คัน (Articulate Single-axle Bogie) สามารถทำความเร็วในขณะที่ทดสอบได้ถึง 359 กม./ชม.

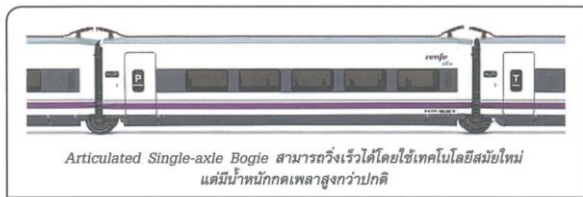


รูปที่ 3.398 Articulated Bogie

(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ)



รถโดยสาร 4 ล้อที่ใช้เทคโนโลยี Talgo Pendular ของประเทศสเปน



รูปที่ 3.4039 Talgo Pendular และ Articulated Single-axle Bogie

(ที่มา: นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ)

ขบวนรถไฟความเร็วสูงของประเทศฝรั่งเศสซึ่งใช้งานได้จริงที่ความเร็วสูงสุดถึง 350 กม./ชม. ออกแบบโดยใช้ระบบรับน้ำหนักแบบใช้โบกี้ร่วมกัน (Articulate two-axle bogie) เพื่อลด

ค่าใช้จ่ายในการสร้างและบำรุงรักษา โดยสามารถรักษาสมรรถนะการวิ่งใช้งานที่ความเร็วสูง และมีค่าการสิ้นตามมาตรฐานความปลอดภัย แต่เนื่องจากมีน้ำหนักกวดเพลาสุงจึงไม่เป็นที่นิยม

### 3.4.2 ล้อพร้อมเพลลา (Wheel & Axle)

ล้อพร้อมเพลลาเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของเครื่องล้อเลื่อนและเครื่องเคลื่อนไหว (Running gear) ในรถ 4 ล้อจะประกอบอยู่กับชองก้ามปูตัวรถ และ ในรถ 8 ล้อจะประกอบอยู่กับแคร่ การที่รถจะเคลื่อนที่ได้ต้องมีล้อเป็นอุปกรณ์หลักพร้อมอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ การใช้งานรถพ่วงด้วยความเร็วสูงอย่างปลอดภัยนั้น จำเป็นต้องตรวจสอบและซ่อมบำรุงล้อพร้อมเพลลาอย่างเคร่งครัด โดยสม่ำเสมอ เพื่อให้ปลอดภัยต่อการใช้งาน ลดการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อขบวนรถ ซีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสาร และสินค้าที่บรรทุกทุกในขบวนรถ



### รูปที่ 3.40 ล้อพร้อมเพลารถไฟ

(ที่มา: [http://www.preciousgoods.com/showcase/railway\\_wheel\\_axles.jpg](http://www.preciousgoods.com/showcase/railway_wheel_axles.jpg))

ล้อพร้อมเพลา แบ่งออกเป็นได้ 2 ชนิด คือ

#### 1) ล้อมีปลอก (Retrying wheel)

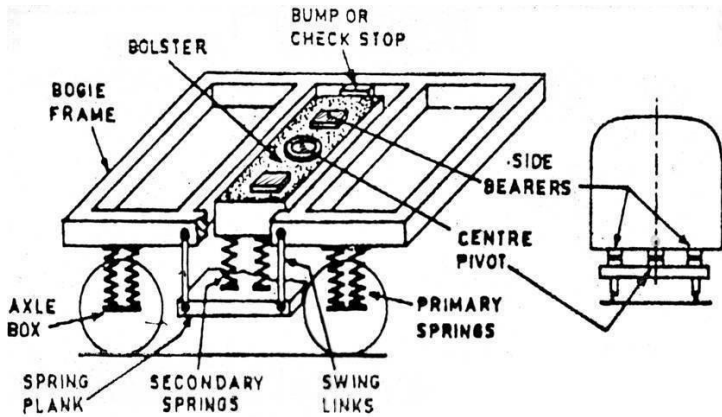
ประกอบด้วย ปลอกล้อ (Wheel tyer) แหวนอัดปลอกล้อ (Gibson ring) และเพลาล้อ (Axle)

#### 2) ล้อรีบตีบ (Solid rolled disc wheel)

เป็นล้อที่ผลิตขึ้นด้วยกรรมวิธีนำเหล็กเหนียวท่อนที่ถูกตัดเป็นชิ้นๆ มาเผาจนร้อนแดง แล้วบีบอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องกลไฮดรอลิก (Hydraulic press) จากนั้นนำไปรีดด้วยเครื่องรีดล้อ (Wheel rolling mill) ขณะที่กำลังร้อนแดง แล้วผ่านเข้าเครื่องกลึงแต่ง (Machining) ตามขั้นตอนของ Machining lines และขบวนการอื่นๆ จนได้ล้อเสร็จสมบูรณ์เป็นเหล็กชิ้นเดียว แล้วนำไปอัดเข้ากับเพลา เป็นล้อพร้อมเพลา ซึ่งประกอบด้วย ล้อ (Wheels) และเพลาล้อ (Axle)

### 3.4.3 ระบบรองรับน้ำหนัก (แคร่)

ระบบรองรับน้ำหนักของรถไฟ หรือที่เรียกว่า “แคร่” มีส่วนประกอบทั่วไป ดังนี้



รูปที่ 3.41 ส่วนประกอบทั่วไปของแคร่

(ที่มา: <http://wiki.iricen.gov.in>)

1) โครงแคร่ (Bogie Frame) คือ ส่วนที่ต้องมีความแข็งแรงมาก เป็นเสมือนตัวเรือนที่ประกอบอุปกรณ์อื่นๆ เข้าไว้ทั้งหมด โครงแคร่ทำด้วยเหล็กแผ่นเรียบหรือเหล็กแผ่นอัดโค้งเชื่อมขึ้นรูป มีสํานักสำหรับติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สํานักห้ามล้อ สํานักรับชุดเกียร์สำหรับแคร่รถดีเซลราง มีช่องหม้อเพลลาสำหรับติดตั้งล้อพร้อมเพลลา เป็นต้น

2) เบาะแคร่ (Bolster) คือ ส่วนที่รับน้ำหนักมาจากตัวรถ อาจเป็นแบบจุดเดียว 2 จุด หรือ 3 จุด เบาะแคร่ไม่ได้เป็นชิ้นเดียวกับโครงแคร่ มักต่อแขวนกันโดยใช้เหล็กแขวน (Swing Hanger) เบาะแคร่ส่วนใหญ่จะมี 2 ส่วน คือ ส่วนบน (Upper bolster) ติดกับตัวรถจากศูนย์และเด้ากันโคลงเพื่อรับน้ำหนักจากตัวรถ น้ำหนักถ่ายทอดผ่านสปริงชดเบาะแคร่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบกันสะเทือน ชั้นที่ 2 และส่วนล่าง (Lower bolster) รับน้ำหนักจากตัวบนผ่านสปริง และมีเหล็กแขวนต่อกับโครงแคร่

เบาะแคร่ของแคร่แต่ละชนิดอาจไม่เหมือนกัน เช่น ของแคร่แอร์สปริงกับแคร่ธรรมดา แคร่ของรถบางชนิดจะไม่มีเบาะแคร่ เช่น แคร่ของรถจักรทั่วไป และรถดีเซลรางสปริงเดออร์

3) หม้อเพลลา (Axle Box) สวมอยู่บริเวณคอเพลลา ล้อ ทำหน้าที่เป็นเรือนของแบริ่งคอเพลลา เป็นฐานรับสปริงของคอเพลลา รับน้ำหนักจากโครงแคร่ไปสู่เพลลา ล้อ หม้อเพลลาอยู่ระหว่างก้ามปูของโครงแคร่ซึ่งมีแผ่นกันสีก และมีช่องว่างเพื่อให้เข้าโค้งได้

4) เตาข้างโคลง (Side Bearer) เป็นตัวรับน้ำหนักทางด้านข้างสำหรับแคร่รับน้ำหนัก 3 จุด และเป็นตัวกันรถโคลงเนื่องจากข้างในจะมีตัวสปริงชดอยู่

5) ระบายห้ามล้อ (Brake Rigging) ติดตั้งไว้กับโครงแคร่ เพื่อทำหน้าที่ดันแท่งห้ามล้อจับทั้งหมดในแคร่พร้อมกัน

6) แองเกอร์ลิงค์ แคร่บางชนิดและแคร่แอร์สปริงจะมีแองเกอร์ลิงค์ ทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนในแนวตามยาวรถ แองเกอร์ลิงค์จะยึดต่อเบาะแคร่กับตัวรถ หรือเบาะแคร่กับโครงแคร่

7) สวิงแองเกอร์ (Swing Link) เป็นแขนต่อระหว่างเบาะแคร่ตัวล่างกับโครงแคร่ ทำหน้าที่แขวนน้ำหนักรถไว้กับโครงแคร่ สายตัวเหมือนเปลให้ตัวรถเอียงเล็กน้อย และช่วยลดการส่ายตัวทางด้านข้างของรถ

8) ออยแดมเปอร์ (Oil Damper) หรือโชคอัพแบบไฮดรอลิก ติดตั้งระหว่างตัวเบาะแคร่ตัวบนกับตัวล่างเพื่อลดการสั่นสะเทือน สำหรับแคร่บางชนิด มีออยแดมเปอร์เพื่อลดการสั่นสะเทือนในด้านข้าง

9) แอร์สปริง (Air Spring) ทำหน้าที่เป็นชุดกันสะเทือนชั้นที่ 2 แทนสปริงชด มีคุณสมบัติลดการสั่นสะเทือนดีกว่าสปริงชด เหมาะสำหรับรถที่ใช้สำหรับโดยสาร

แคร่รถไฟแบ่งได้เป็น แคร่รถจักร แคร่รถดีเซลราง แคร่โดยสาร และแคร่รถสินค้า

### 3.4.3.1 แคร่รถจักร

แคร่รถจักรจะมี 3 เพลลา (6 ล้อ) เนื่องจากจะต้องรับน้ำหนักที่มากกว่าแคร่รถดีเซลรางและแคร่รถโดยสาร



ทางรางเบื้องต้น (Introduction to Railway System)

### รูปที่ 3.42 แคร่รถจักร

(ที่มา: <http://gigant.chem.elte.hu>)

#### 3.4.3.2 แคร่รถดีเซลราง

แคร่ที่ใช้กับรถดีเซลรางจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแคร่ของรถโดยสาร เนื่องจากตัวรถโดยสาร และรถดีเซลรางมีจุดมุ่งหมายคล้ายกันคือ บรรทุกผู้โดยสาร แต่แคร่รถดีเซลรางต้องมีแคร่ 2 แบบ คือ แคร่กำลัง (Power bogie) ซึ่งมีชุดเพื่อง เกียร์ขับเคลื่อน ซึ่งต่อมาจากทรานสมิชชั่น และแคร่ไม่มีกำลัง (Trailer bogie)



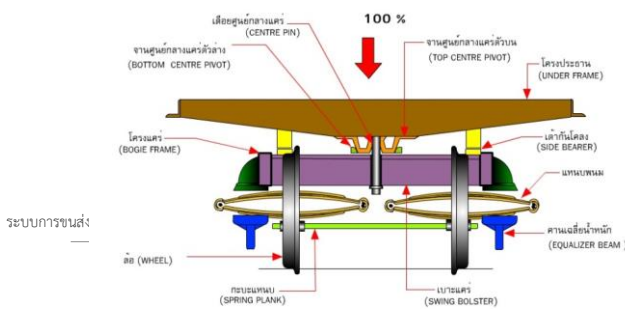
รูปที่ 3.43 แคร่รถดีเซลราง

(ที่มา: <http://www.railway-technology.com>)

#### 3.4.3.3 แคร่โดยสาร

แคร่ที่ใช้กับรถโดยสารในปัจจุบันมีหลายแบบ ซึ่งมีคุณลักษณะและสมรรถนะแตกต่างกันไป ตามยี่ห้อและบริษัทผู้ผลิต แคร่ที่ใช้กับรถโดยสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย แบ่งออกตาม ลักษณะของการถ่ายเทน้ำหนักจากรถสู่แคร่ ได้ 3 แบบ คือ แคร่รับน้ำหนักจุดเดียว แคร่รับน้ำหนัก แบบสองจุด และแคร่รับน้ำหนักแบบสามจุด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1) แคร่รับน้ำหนักจุดเดียว (One point load)



แคร่รับน้ำหนักจุดเดียว (ONE POINT LOAD)

น้ำหนักตัวและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดถ่ายเทลงสู่เดือยกลางแคร่ (Centre plate) 100%

**รูปที่ 3.44** อุปกรณ์และการรับน้ำหนักของแครรับน้ำหนักจุดเดียว

(ที่มา: วิจารย์ พานิช. การจัดการองค์ความรู้ ฝ่ายช่างกล.)

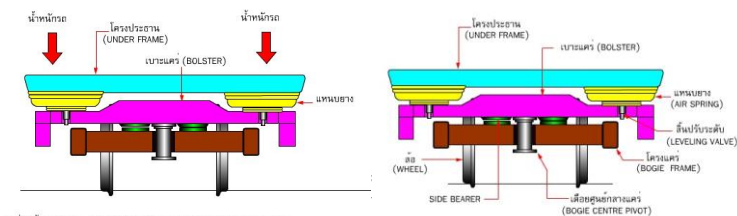
มีหลักการโดยให้น้ำหนักตัวรถและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดถ่ายเทเฉลี่ยลงสู่ศูนย์กลางแคร่ 100% ที่เด้ากันโคลงทั้งสองข้างมีช่องว่างข้างละประมาณ 3 มม. แบ่งเป็นแคร่ชนิดเด้ากันโคลงอยู่ด้านนอกของแคร่ ได้แก่ แคร่เพนซิลวาเนีย และแคร่ชนิดเด้ากันโคลงอยู่ด้านนอกของแคร่ ได้แก่ แคร่ ไอ.ซี.เอฟ. (อินเดีย) แคร่โรมาเนีย และแคร่ B-4 (รถพระที่นั่ง)



**รูปที่ 3.45** แคร่ B-4 รถพระที่นั่งกลางวัน

(ที่มา: <http://portal.rotfaithai.com>)

**2) แคร่รับน้ำหนักแบบสองจุด (Two point load)**



แคร่รับน้ำหนัก 2 จุด (2 POINT LOAD) ของรถเอช. บี.พี. และรถดีเซลราง



ลักษณะการรองรับน้ำหนักแบบสองจุด

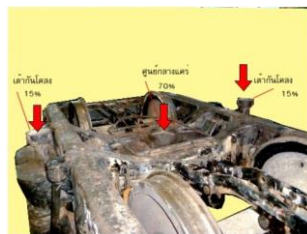
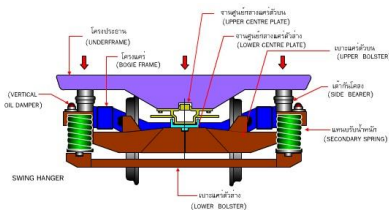
ส่วนประกอบของแคร่รองรับน้ำหนักแบบสองจุด

### รูปที่ 3.46 ลักษณะและส่วนประกอบของแคร่รับน้ำหนักแบบสองจุด

(ที่มา: วิจารย์ พานิช. การจัดการองค์ความรู้ ฝ่ายช่างกล.)

แคร่รับน้ำหนักแบบสองจุด หรือแคร่ Air spring ได้แก่ แคร่ TS – 836 ใช้กับรถนอนปรับอากาศ (บน.ท.ป. 1001 – 1036) แคร่ TS 126 -127 ซึ่งให้บริการกับรถดีเซลราง มีการถ่ายเทน้ำหนักจากตัวรถผ่าน Air spring มายังเบาะแคร่ (Bogie bolster) จากนั้นจะถ่ายเทผ่านลงมาที่โครงแคร่ (Bogie frame) รวม 2 จุด แต่ละจุดอยู่ระหว่างศูนย์กลางแคร่และโครงแคร่ด้านข้าง น้ำหนักจากโครงแคร่จะถ่ายเทผ่านแหวนจุดคอเพลลาไปยังหัวหม้อเพลลา ล้อ และราง ตามลำดับ

### 3) แคร่รับน้ำหนักแบบสามจุด (Three point load)



อุปกรณ์และการรับน้ำหนักของแคร่รับน้ำหนัก 3 จุด

### รูปที่ 3.47 อุปกรณ์และการรับน้ำหนักของแคร่รับน้ำหนักแบบสามจุด

(ที่มา: วิจารย์ พานิช. การจัดการองค์ความรู้ ฝ่ายช่างกล.)

แครรับน้ำหนักแบบสามจุดเป็นแค่แบบมาตรฐานของการรถไฟญี่ปุ่นหรือเป็นแบบแคร J.N.R (Japan National Railway) มีหลักการถ่ายทอนน้ำหนัก โดยน้ำหนักตัวรถและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (Load) เฉลี่ยถ่ายทอลงที่ศูนย์กลางแคร (Centre plate) 70-87% และลงที่เต้ากันโคลง (Side bearer) ทั้งสองข้างๆ ละ 6.5-15% สามารถพ่วงใช้งานด้วยความเร็วสูงสุด 90-120 กม./ชม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแครโบกี้แต่ละแบบที่สร้างออกมาใช้งานแต่ละบริษัท

#### 3.4.3.4 แครรถสินค้า

เป็นแครที่มีการถ่ายทอนน้ำหนักแบบจุดเดียว ใช้กับรถสินค้า 8 ล้อ มีทั้งแบบใช้แบบรีจคอปเพลแบบกบ เพลาเรียบ และแบบตลับลูกกลิ้ง เต้ากันโคลงต้องมีช่องว่างห่างจากตัวรถและไม่ได้รับน้ำหนัก



รูปที่ 3.48 แครรถสินค้า T-11

(ที่มา: <http://portal.rotfaithai.com>)

ส่วนรถประเภท 4 ล้อ ไม่มีแครสำหรับรับน้ำหนัก แต่จะถ่ายน้ำหนักลงสู่ล้อโดยผ่านชุดกันสะเทือนชั้นต้นโดยตรง คือ แหนบรับน้ำหนัก และหม้อเพลารถ 4 ล้อ มีข้อเสีย คือ การเข้าโค้งมีความฝืดมาก เนื่องจากตัวรถและล้อปิดให้ตัวกันได้น้อย ความสั่นสะเทือนมากกว่าเนื่องจากมีระบบกันสะเทือนเพียงชั้นเดียว

### 3.5 ระบบส่งกำลัง และระบบเบรก

#### 3.5.1 ระบบส่งกำลัง

ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบส่งกำลังขับเคลื่อนของรถจักรดีเซล และรถดีเซลราง

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งต่างจากเครื่องจักรไอน้ำที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก และมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ต่างกัน คือ เครื่องจักรไอน้ำ สามารถเริ่มต้นเดินเครื่อง

ได้ด้วยตัวเอง และสามารถรับภาระได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบตัดและต่อกำลังงาน แต่เครื่องยนต์สันดาปภายในอย่างเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ไม่สามารถเดินเครื่องได้ด้วยตัวเอง ต้องมีระบบช่วยในการเริ่มต้นเดินเครื่อง และไม่สามารถรับภาระได้ในทันที ต้องมีความเร็วรอบมากพอจึงจะมีกำลังมากพอที่จะรับภาระได้ ดังนั้น จึงต้องมีระบบในการตัดต่อกำลังเพื่อให้การรับภาระงาน หรือการส่งกำลังเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่ให้เกิดการกระตุกหรือกระชาก และเครื่องยนต์ดีเซลจะมีกำลังดูดลากที่ด้อยที่ค่าความเร็วหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้ได้กำลังดูดลากมากพอที่จะสามารถออกรถได้ จำเป็นต้องมีระบบในการทดกำลัง เพื่อเพิ่มกำลังดูดลากในการออกรถ และเมื่อสามารถเคลื่อนตัวได้แล้ว ระบบก็จะเปลี่ยนความเร็วให้สูงขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์นั้นสามารถทำงานอยู่ในจุดที่ให้กำลังงานที่ดีที่สุดได้ตลอดเวลา ทำใหยานพาหนะมีความเร็วสูงขึ้น แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป ขึ้นอยู่ว่าจะเอาใช้งานในลักษณะใด เช่น ต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่ หรือต้องการกำลังในการดูดลาก ดังนั้น จึงต้องมีระบบส่งกำลัง เพื่อช่วยใหยานยนต์สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

รถไฟเป็นยานยนต์ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีวิธีการและหลักการพื้นฐานของระบบส่งกำลังในการขับเคลื่อนที่ไม่ได้แตกต่างไปจากรถยนต์ จะต่างกันในระยะเหยียดปลักย่อยที่จะต้องปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานของรถไฟ โดยเริ่มต้นตั้งแต่น้ำหนักตัวรถไฟ ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่ารถยนต์ ในที่นี้จะพูดถึงรถไฟที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (ด้านการขนส่งสินค้า และมวลชน) ที่วิ่งอยู่บนรางที่มีความกว้างตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป

ในระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกลและยานยนต์ทั่วไป รวมไปถึงระบบส่งกำลังของรถไฟนั้นมีด้วยกัน 3 แบบ คือ ระบบส่งกำลังแบบทางกล ระบบส่งกำลังด้วยไฮดรอลิก และระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

#### 3.5.1.1 ระบบส่งกำลังแบบทางกล

ระบบส่งกำลังทางกลถือว่าเป็นระบบส่งกำลังที่เก่าแก่ที่สุด และมีประสิทธิภาพในการส่งกำลังสูงสุด ส่วนประกอบในระบบส่งกำลังแบบนี้ ได้แก่ เพลาส่งกำลัง เพื่อเปลี่ยนความเร็วและคลัทช์เพื่อใช้ในการตัดต่อกำลัง ซึ่งคลัทช์ที่ใช้ในระบบส่งกำลังยานพาหนะทั้งหมดจะเป็นแบบความฝืดทั้งหมด แต่จะเป็นแบบแห้งหรือแบบเปียก หรือจะเป็นแบบแผ่นเดียว หรือแบบหลายแผ่น ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้งานหนัก หรือจะใช้กำลังกำลังมากแค่ไหน

ในระบบนี้ กำลังจากเครื่องยนต์จะส่งผ่านชุดคลัทช์เพื่อตัดต่อกำลัง เพื่อให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างนิ่มนวลและเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนคูเพื่องขับที่ใช้สำหรับเปลี่ยนความเร็ว จากนั้นกำลังขับจะถูกส่งไปยังหีบเพื่องเปลี่ยนความเร็ว โดยภายในหีบเพื่องเปลี่ยนความเร็ว จะมีชุดเพื่องทดกำลังอยู่เป็นคู่ๆ เพื่อใช้เปลี่ยนความเร็วและกำลังขับ โดยในขณะที่กำลัง จะใช้ครั้งละ 1 คู หรือ 1 อัตราทดเท่านั้น โดยหีบเพื่องที่ใช้ส่งกำลังส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ จะเป็นแบบเพื่องขับกันตลอด ส่วนการเลือกใช้คูเพื่องในการส่งกำลังจะใช้บล็อกเลื่อนเข้าไปจับให้เพื่องส่งกำลังครั้งละ 1 คู

วิธีการแบบนี้ จะใช้กับระบบการส่งกำลังทางกลที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ส่วนใหญ่จะใช้กับรถยนต์ และเครื่องจักรกลในการก่อสร้างบางส่วน และจะใช้ในการส่งกำลังขับในขนาดไม่เกิน 2,000 นิวตัน.เมตร หรือไม่เกิน 600 กิโลวัตต์ ด้วยเหตุที่ว่า ยิ่งปริมาณของกำลังที่ส่งยิ่งมากขึ้นเท่าไร ขนาดของชิ้นส่วนก็จะยิ่งมีขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น

เมื่อชิ้นส่วนในระบบส่งกำลังมีขนาดใหญ่ขึ้น ปัญหาที่ตามมาก็คือ น้ำหนักโดยรวมของระบบ ความยุ่งยากในการออกแบบระบบบังคับควบคุมการทำงาน และการหลอ่ลื่น ตลอดจนความยุ่งยากในการซ่อมบำรุง

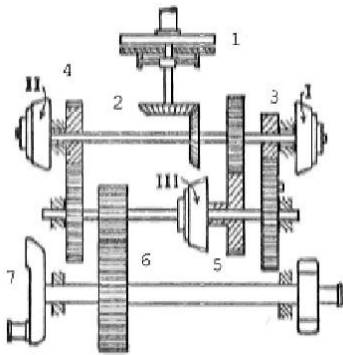
สำหรับรถไฟ ระบบส่งกำลังแบบนี้ จะมีใช้ในรถยนต์รางที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตัวเอง เช่น รถยนต์รางบรรทุกที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงทาง รถจักรในเมือง รถจักรในโรงงาน หรือรถจักรสับเปลี่ยนที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เพราะจะมีความยุ่งยากในการใช้งาน เช่น ถ้าจะใช้กับรถจักรดีเซลขนาด 1,000 แรงม้า ก็จะต้องใช้ชุดเพื่องเปลี่ยนความเร็วอย่างน้อยก็ต้อง 4 ความเร็วขึ้นไป พร้อมชุดเกียร์กลับทางอีก 1 ชุด เพื่อให้รถจักรสามารถวิ่งเดินหน้า และถอยหลังได้ด้วยความเร็วเท่าๆ กัน จุดนี้เป็นคุณลักษณะเฉพาะของรถไฟที่ต่างจากรถยนต์

ความยุ่งยากในการใช้งานของระบบส่งกำลังแบบพื้นฐาน คือ รถทั้งขบวนหนักประมาณ 300 ตัน น้ำหนักจะมากกว่ารถบรรทุก 18 ล้อที่บรรทุกน้ำหนักเต็มที 6-7 เท่าตัว เมื่อเริ่มออกรถ จะต้องเข้าเกียร์ เร่งเครื่องยนต์ และเข้าคลัทช์ ในขณะที่เข้าคลัทช์ ก็ต้องเร่งเครื่องยนต์ให้สัมพันธ์กันเพื่อที่จะพาขบวนรถเคลื่อนที่ออกไป เมื่อขบวนรถเคลื่อนที่แล้ว ก็ไล่เปลี่ยนชุดเพื่องขับเพื่อเปลี่ยนความเร็ว เหมือนกับการเปลี่ยนความเร็วในรถยนต์ เวลาจะหยุดก็เช่นกัน

ในทำนองเดียวกัน เวลาขึ้นทางลาดชัน พนักงานขับรถก็ต้องเปลี่ยนเกียร์เพื่อเพิ่มกำลังขับให้ทัน ไม่เช่นนั้นก็จะขึ้นเขาไม่ไหว และขณะเดียวกัน เวลาลงทางลาดชัน ถ้าเปลี่ยนเกียร์ไม่ทัน อาจ

ทำให้เครื่องฟังเพราะรอบหมุนเกิน หรือหยุดขบวนรถไม่ได้ โดยเฉพาะถ้าลงห้ามล้อแล้วรถยังไม่หยุด ก็จะมีเวลาผ่าเสาห้าม หรือแตกโค้งได้

ในยุคแรกของรถจักรดีเซล ใช้ระบบการส่งกำลังแบบทางกล\_หรือเรียกสั้นๆ\_ว่า รถจักรดีเซลการกล เช่น รถจักรดีเซลที่เยอรมันสร้างขึ้นในปี 1925 เพื่อใช้ในรัสเซีย เป็นรถจักรดีเซลขนาด 1,200 แรงม้า ใช้คลัทช์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า และขบวนเพื่องแบบขบวนกันตลอด (Constant-mesh) ระหว่างเพลาส่งกำลังของเครื่องยนต์กับเพลาข้อเหวี่ยง (Jack shaft) (7) ซึ่งมีก้านต่อไปยังหมุนล้อซึ่งคลัทช์ และขบวนเพื่อง ดังแสดงในรูป 3.49



รูปที่ 3.49 ระบบส่งกำลังแบบทางกล

(ที่มา: <http://www.thaiairssoftgun.com>)

การบังคับและควบคุมมี 2 ลักษณะ

ลักษณะแรกเป็นระบบที่อัตโนมัติ มีส่วนบังคับการที่แยกกันระหว่างคอนโทรลที่ใช้เร่งรอบเครื่องยนต์ กับคันบังคับการเปลี่ยนความเร็ว กล่าวคือ เมื่อจะออกรถ พนักงานขับรถจะโยกคันบังคับการเปลี่ยนความเร็วไปที่ตำแหน่ง 1 ซึ่งระบบจะสั่งการให้คลัทช์ชุดที่ 1 จับ ดังนั้น ชุดเพื่องส่งกำลังชุดเกียร์ 1 (3) จะเป็นตัวส่งกำลังในตำแหน่งความเร็วที่ 1 จากนั้น พนักงานขับรถจะทำการเร่งรอบเครื่องยนต์ เมื่อพนักงานขับรถเริ่มเร่งรอบเครื่องยนต์ ระบบควบคุมก็จะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ จนกระทั่งปริมาณไฟฟ้ามากพอที่จะทำให้สนามแม่เหล็กมี

ความเข้มหมากพอที่จะพาให้เพลลาขับชุดเฟืองส่งกำลังหมุนตามเครื่องยนต์ รถจักรก็จะสามารถที่จะออกตัวไปได้ โดยที่ทั้ง 2 ส่วน คือ เพลลาส่งกำลังของเครื่องยนต์ และเพลลาขับหีบเฟืองทด จะไม่สัมผัสกัน

ลักษณะการขับเคลื่อนแบบนี้ จะเหมือนกับการขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ เพียงแต่ขณะที่ทำการเปลี่ยนความเร็ว พนักงานขับรถไม่ต้องเหยียบคลัทช์ และในทางกลับกัน เวลาที่จะลดความเร็วหรือลดเกียร์เพื่อเพิ่มกำลังฉุดลาก ก็จะทำให้ลักษณะย้อนกลับขบวนการดังกล่าว

ลักษณะที่สองเป็นการควบคุมระบบอัตโนมัติ จะเป็นการใช้หลักการของความดันน้ำมันไฮดรอลิกที่ควบคุมเกียร์ จะผันแปรไปตามความเร็วรถที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีคั่นบังคับการเปลี่ยนทำขับริหว่างขับริ (D) กับว่าง (N) โดยการควบคุมจะไปในลักษณะดังกล่าว คือ เมื่อต้องการออกรถพนักงานขับรถจะโยกคันบังคับการเปลี่ยนทำขับริไปในตำแหน่งขับริ (D) ระบบควบคุมจะสั่งการให้ชุดคลัทช์ I จับ และเมื่อพนักงานขับรถเปิดคอนโทรลเพื่อเร่งเครื่องยนต์ ระบบควบคุมจะต่อทางไฟให้กับคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการส่งกำลังให้กับหีบเฟืองขับ และที่เพลลาส่งกำลังออก จะมีปั๊มไฮดรอลิก ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัววัดความเร็วของรถ หรือเรียกว่า “กัฟเวอร์เนอร์ปั๊ม” กล่าวคือเมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น ปั๊มก็จะหมุนเร็วขึ้นตามไปด้วย จะมีผลทำให้แรงดันน้ำมันที่ไปควบคุมการเปลี่ยนความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย

ระบบนี้ มีจุดอ่อนอยู่ที่คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า เพราะถ้าจะใช้ส่งถ่ายแรงบิดมากๆ จะต้องทำให้ชุดคลัทช์ที่มีปริมาตรสนามแม่เหล็กมากๆ ซึ่งหมายความว่า ชุดคอยล์ไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็กจะต้องมีขนาดใหญ่ ทำให้มีน้ำหนักมาก และต้องใช้กระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก ซึ่งทำให้ต้องมีเครื่องยนต์แยกต่างหากอีกหนึ่งเครื่อง เพื่อใช้ขับเคลื่อนทำไฟสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดคลัทช์แม่เหล็ก โดยเฉพาะ ซึ่งถ้าเครื่องทำไฟขัดข้อง รถจักรจะไม่สามารถใช้การได้ และชุดคลัทช์ความถี่ I II และ III ที่ใช้ล๊อคชุดเฟืองส่งกำลัง จะต้องมีการดูแลรักษาปรับตั้งชดเชยการสึกหรอตามระยะเวลาที่กำหนด ไม่นั้นแล้ว ชุดคลัทช์จะไม่สามารถล๊อคเฟืองส่งกำลังให้ทำการส่งกำลังได้ หรือส่งกำลังไม่เต็มที่ อาจทำให้รถขึ้นทางลาดชันไม่ไหว ทำให้ชุดคลัทช์สึกหรอและเสียหายได้ ซึ่งจะทำให้รถวิ่งไม่ได้

จุดอ่อนอีกประการหนึ่ง คือ เนื่องจากระบบนี้ใช้เฟืองขับ ทำให้มีการสึกหรอเนื่องจากการเสียดสี มีเสียงดังรบกวน เมื่อชุดเฟืองทดกำลังสึกหรอ มีน้ำหนักมาก บังคับควบคุมยาก และมีความ

ยุ่งยากในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง ดังนั้น เมื่อมีการพัฒนาให้รถจักรมีความเร็วสูงขึ้น มีกำลังฉุดลากมากขึ้น

ดังนั้น เมื่อระบบขับเคลื่อนทางกลไม่สามารถที่จะพัฒนาให้เป็นไปได้ ผู้ผลิตจึงหันไปพัฒนาระบบส่งกำลังระบบใหม่ที่มีคุณลักษณะในการทำงานที่ดีกว่า นั่นคือ ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก ซึ่งความจริงแล้ว ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก กับระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าพัฒนามาพร้อมกัน มีข้อดีและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกัน ซึ่งทางผู้ผลิกระบบส่งกำลังด้วยไฮดรอลิกของรถไประยใหญ่ คือ วอยท์ แห่งสหพันธรัฐเยอรมัน ยังพัฒนาระบบส่งกำลังนี้อย่างต่อเนื่อง

### 3.5.1.2 ระบบส่งกำลังด้วยไฮดรอลิก

ระบบนี้เป็นกำลังด้วยของเหลว สามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ คือ

#### 1) ระบบการส่งกำลังแบบไฮดรอสแตติกส์

ระบบส่งกำลังแบบนี้อาศัยหลักการทำงานโดยใช้ความดันของของไหล โดยในระบบจะมีปั๊มไฮดรอลิก ซึ่งจะถูกขับโดยเครื่องยนต์ต้นกำลัง ดังนั้น กำลังงานของเครื่องยนต์จะทำให้เกิดการไหลของของไหลขึ้น เมื่อของไหลไหลมาถึงอุปกรณ์ทำงาน คือ มอเตอร์ไฮดรอลิก จะทำให้เกิดความต้านทานของของไหล ทำให้ของไหลที่มาจากปั๊มไหลช้าลงหรือหยุดไหล ดังนั้น จะทำให้เกิดความดันขึ้นภายในระบบ ความดันของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถเอาชนะภาระที่มอเตอร์มอเตอร์ก็จะเริ่มหมุนทำงานต่อไป จึงเรียกระบบนี้ว่า “ไฮดรอสแตติกส์” เพราะการทำงานของอุปกรณ์ทำงานไม่ได้ใช้การเคลื่อนที่ของน้ำมัน แต่ใช้ความดันของน้ำมันซึ่งเกิดจากความต้านทานของระบบ ดันให้อุปกรณ์ทำงาน ในที่นี้ คือ มอเตอร์ไฮดรอลิก ให้ทำงาน

ข้อจำกัดของระบบนี้ มีดังนี้

- ไม่สามารถส่งกำลังได้สูงมากนัก เพราะถ้าต้องการให้ส่งกำลังได้มาก มอเตอร์และปั๊มจะต้องมีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักมาก ต้องใช้น้ำมันส่งกำลังจำนวนมาก ท่อต่างๆ ต้องมีขนาดใหญ่ และแข็งแรง ทำให้ระบบโดยรวมมีน้ำหนักมาก และมีความยุ่งยากในการในการซ่อมบำรุง

- ไม่สามารถทำงานต่อเนื่องได้เป็นเวลานาน เพราะขณะที่น้ำมันไหลผ่านปั๊ม มอเตอร์ น้ำมันจะถูกบีบอัดผ่านช่องทางและชิ้นส่วนต่างๆ ในปั๊มและมอเตอร์ ตลอดจนมีความร้อนจากการเสียดสีของชิ้นส่วนในปั๊มและมอเตอร์ ยิ่งถ้าให้ทำงานที่ความเร็วสูงมาก เป็นเวลานาน จะทำให้เกิดความร้อนสูงมากในระบบ ดังนั้น จึงต้องมีระบบการระบายความร้อนน้ำมันส่งกำลัง โดยทั่วไปแล้วทั้งปั๊มและมอเตอร์โดยส่วนใหญ่จะใช้รอบหมุนไม่เกิน 1,800 รอบ/นาที

แต่ระบบนี้มีจุดเด่น คือ ถ้าใช้ปั๊มและมอเตอร์แบบปรับอัตราการไหลได้ ระบบนี้จะมีอัตราทดเชิงปริมาตรแบบไม่มีขีดจำกัดในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สามารถทำได้ เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของการรั่วไหลภายในปั๊ม และมอเตอร์

จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนแบบนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในรถจักร และรถดีเซลรางได้

## 2) ระบบการส่งกำลังแบบไฮดรอลิกไดนามิกส์

ระบบนี้จะอาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงพลังงาน กล่าวคือ พลังงานกลของเครื่องยนต์ต้นกำลังจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานจลน์ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหล และจะถูกเปลี่ยนกลับให้เป็นพลังงานงานกลอีกครั้งหนึ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

### (1) อุปกรณ์ตัดต่อกำลังด้วยของเหลว (Fluid coupling)

โครงสร้างของอุปกรณ์นี้ มีลักษณะเหมือนขามสองใบประกบกัน และภายในขามแต่ละใบจะมีใบพัดแบ่งเป็นช่องๆ โดยใบหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นอิมเพลเลอร์ จะถูกขับโดยต้นกำลัง และอีกใบหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นกังหันหรือเทอร์ไบน์ (Turbine) ประกอบอยู่ภายในตัวเรือนเดียวกัน ส่วนเพลาส่งกำลังออกของเทอร์ไบน์ จะวางอยู่บนแบริงของตัวเรือน ซึ่งมีอิมเพลเลอร์ประกบติดอยู่ภายใน ทำให้เทอร์ไบน์และอิมเพลเลอร์ สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน แล้วภายในช่องว่างของอิมเพลเลอร์และเทอร์ไบน์ จะบรรจุด้วยน้ำมันส่งกำลังจนเต็ม

ดังนั้น เมื่ออิมเพลเลอร์หมุนด้วยความเร็วมากพอ น้ำมันส่งกำลังจะถูกสาดออกไปด้วยแรงเหวี่ยงให้เข้าไปปะทะกับใบพัดภายในเทอร์ไบน์ ถ้าแรงปะทะมีมากพอ เทอร์ไบน์ก็จะค่อยๆ หมุน



ตามไปเป็นการต่อกำลังขับ ในขณะที่เดียวกันถ้าอิมเพลเลอร์หมุนช้าลง แรงปะทะของน้ำมันที่ออกจากอิมเพลเลอร์ก็จะลดลงตาม ทำให้เทอร์ไบน์ลดความเร็วลงหรือหยุดหมุน จะเป็นการตัดกำลังขับโดยอัตโนมัติ ซึ่งความเร็วของเทอร์ไบน์ไม่จำเป็นต้องเท่ากับความเร็วของอิมเพลเลอร์ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับภาระงานของงานของเทอร์ไบน์

จากลักษณะการทำงานนี้ จะเห็นว่า เป็นการส่งกำลังด้วยแรงปะทะของน้ำมันส่งกำลัง ทำให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างต่อเนื่องและนิ่มนวล ไม่มีการกระตุก กระชาก แต่เนื่องจากลักษณะโครงสร้างไม่สามารถทำให้เกิดการทวีคูณแรงบิดเมื่อเริ่มต้นรับภาระงานได้ และประสิทธิภาพในการส่งกำลังไม่ดีนัก ดังนั้นอุปกรณ์นี้ ซึ่งต่อไปจะเรียกทับศัพท์ว่า “ฟลูอิดคัปปลิง” จึงถูกใช้งานร่วมกับเกียร์อัตโนมัติสำหรับรถยนต์ และเครื่องจักรกลในยุคแรกๆ เท่านั้น และเมื่อได้มีการพัฒนาอุปกรณ์นี้ให้ดีขึ้น เรียกว่า เครื่องแปลงแรงบิด หรือทอร์คคอนเวอร์เตอร์ นั่นเอง

ในปัจจุบันนี้ ฟลูอิดคัปปลิงยังคงมีใช้อยู่ สำหรับระบบส่งกำลังในเครื่องจักรกลบางอย่าง เช่น ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนระบายความร้อนของรถจักรอัลสตอม หรือระบบส่งกำลังในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการให้เกิดกระตุก กระชาก



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.50 ลักษณะของเทอร์ไบน์ของ (ก) ฟลูอิดคัปปลิง และ (ข) อิมเพลเลอร์

(ที่มา: <http://www.thaiairssoftgun.com>)

## (2) เครื่องแปลงแรงบิด (Torque converter)

เครื่องแปลงแรงบิดหรือทอร์คคอนเวอร์เตอร์มีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับฟลูอิดคัปปลิง แต่จะมีโครงสร้างภายในแตกต่างกัน คือ ใบพัดในอิมเพลเลอร์ และในเทอร์โบไบน จะเป็นส่วนโค้งที่มีมุมรับกัน และเมื่อนํานํ้ามาประกบกัน นํ้ามันส่งกำลังที่ถูกเหวี่ยงออกจากอิมเพลเลอร์ จะมีทิศทางพุ่งเข้าปะทะกับใบพัดเทอร์โบไบนในทิศทางที่เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดแรงบิดดีขึ้น และเมื่อนํ้ามันส่งกำลังออกจากเทอร์โบไบนแล้ว จะไหลเข้าใบพัดบังคับทิศทางนํ้ามัน เพื่อบังคับให้ไหลกลับเข้าสู่อิมเพลเลอร์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และเปลี่ยนทิศทางของนํ้ามันให้มีทิศทางที่เข้าสู่อิมเพลเลอร์ให้มีทิศทางเดียวกับใบพัดภายในอิมเพลเลอร์ ผลที่ได้คือ จะช่วยเสริมแรงซึ่งกันและกัน ทำให้ความเร็วของนํ้ามันที่ออกจากอิมเพลเลอร์มากขึ้น และเมื่อนํ้ามันพุ่งไปกระทบกับใบพัดของเทอร์โบไบน แรงปะทะที่ได้จะมากขึ้น ทำให้แรงบิดส่งออกที่เพลาส่งกำลังเพิ่มขึ้น

คุณลักษณะเฉพาะตัวของทอร์คคอนเวอร์เตอร์คือ ความสามารถในการเพิ่มแรงบิดของเพลาส่งกำลังออก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มมีความเร็วแตกต่างระหว่างอิมเพลเลอร์และเทอร์โบไบน กล่าวคือเมื่อเทอร์โบไบนหมุนช้าลงไม่ว่าจะเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม ถ้าอิมเพลเลอร์ยังหมุนความเร็วเท่าเดิม นั้นหมายความว่า ความเร็วของนํ้ามันส่งกำลังที่ออกจากอิมเพลเลอร์ยังเท่าเดิม ดังนั้นแรงปะทะที่ใบพัดเทอร์โบไบนจะเพิ่มเองโดยอัตโนมัติ ส่งผลทำให้แรงบิดที่เพลาส่งกำลังออกเพิ่มขึ้นตามส่วนของความเร็วรอบของเทอร์โบไบนที่ลดลง

ปัจจุบันได้มีการนำเอาทอร์คคอนเวอร์เตอร์มาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะนำมาใช้ติดต่อกำลังแก่คลัทช์แบบความฝืดร่วมกับห้องเฟืองส่งกำลังแบบอัตโนมัติ ทั้งในรถนั่งส่วนบุคคล รถบรรทุกทั้งส่วนบุคคลและเชิงพาณิชย์ รถโดยสาร รวมทั้งรถยนต์รางส่วนหนึ่งด้วย



รูปที่ 3.51 ลักษณะของอิมเพลเลอร์ของเทอร์คองเวอเตอร์ (สีเหลือง) กับใบพัดบังคับทิศทางน้ำมัน หรือสเตเตอร์ (สีแดง) และเทอร์ไบน์  
(ที่มา: <http://www.thaiairsoftgun.com>)

ส่วนประกอบภายในของเทอร์คองเวอเตอร์ มีดังนี้ประกอบด้วย -1) อิมเพลเลอร์ -2) เทอร์ไบน์ 3) ใบพัดบังคับทิศทางน้ำมัน และ 4) ล้อคอัพคัลท์ช

แต่ในรถจักรดีเซลที่ใช้ในการขนส่งเชิงพาณิชย์ และใช้ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก ขนาดตั้งแต่ 1,500 แรงม้า และรถยนต์รางส่วนหนึ่ง ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ใบพัดเพื่องัดในการส่งกำลัง เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของโครงสร้างและน้ำหนัก การควบคุมการทำงาน ตลอดจนการซ่อมบำรุง ดังนั้น จึงได้มีการนำเอาคุณลักษณะเฉพาะตัวของเทอร์คองเวอเตอร์และฟูดคลับปลิงมาประกอบกันเป็นห้องอุปกรณ์ส่งกำลังแบบไฮโดรไดนามิกส์ ซึ่งจะไม่ใช้อัตราทดในลักษณะของเฟืองเกียร์

ในวงการผู้ประกอบหัวรถจักรและรถดีเซลรางนั้น วอยท์ (Voith) แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี เป็นผู้ผลิตระบบส่งกำลังสำหรับยานยนต์รายใหญ่ โดยเฉพาะห้องส่งกำลังของรถจักรดีเซลไฮดรอลิก ได้พัฒนาระบบห้องส่งกำลังจากระบบส่งกำลังทางกลแบบฟันเฟืองมาเป็นห้องส่งกำลังแบบไฮโดรไดนามิกส์หรือเทอร์โบทรานสมิทชันสำหรับหัวรถจักรและรถดีเซลราง ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ส่งกำลังได้ราบเรียบ ไม่มีอาการกระตุก กระชาก มีอัตราเร่งออกตัวที่ดี บังคับควบคุมง่ายกว่า น้ำหนักไม่มาก เมื่อเทียบกับห้องส่งกำลังแบบฟันเฟืองที่ขนาดการส่งกำลังเท่าๆ กัน มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทางกลภายในน้อยกว่า ช่วยลดการสูญเสียกำลังเนื่องจากการเสียดทาน แต่มีข้อด้อย คือ เป็นการส่งกำลังด้วยน้ำมัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งกำลังน้อยกว่าระบบส่งกำลังทางกล ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะมีประสิทธิภาพในการส่งกำลังได้ประมาณ 85-90% เท่านั้น และจากการที่ใช้ความหนืดของน้ำมันในการส่งกำลัง การบีบอัด และการเสียดสีภายในเนื่อน้ำมัน ทำให้เกิดความร้อน ดังนั้น จะต้องมียาระบายความร้อนของน้ำมันที่เหมาะสม เพราะถ้าน้ำมันส่งกำลังร้อนมากเกินไป จะทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง มีผลให้เกิดการรั่วไหลขึ้นภายในระบบ ซึ่งจะทำให้รถจักรไม่มีกำลัง

นอกจากรถจักรดีเซลที่ใช้ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิกแล้ว ยังมียานยนต์รางอีกแบบหนึ่งที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบเดียวกันนี้ คือ ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนของรถดีเซลราง

รถดีเซลรางนั้น กล่าวได้ว่า เป็นรถยนต์รางแบบหนึ่ง มีศัพท์เรียกเฉพาะคือ ว่า (Railcar) แต่เนื่องจากเครื่องยนต์กำลังที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกเฉพาะที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า รถดีเซลราง (Diesel Railcar)

ถ้าเรานำรถแบบที่มีห้องบังคับการ (ห้องขับ) มา 1 คัน เมื่อนำมาพิจารณา จะเห็นว่าเป็นเหมือนรถโดยสารที่ใช้ระบบส่งกำลังแบบอัตโนมัติคันหนึ่ง เพียงแต่วิ่งบนรางเท่านั้น และมีคุณลักษณะที่ต่างจากรถยนต์ คือ สามารถเคลื่อนที่เดินทางและถอยหลังได้ด้วยความเร็วเท่าๆ กัน และไม่ต้องอาศัยอัตราทดหลายชั้นเหมือนกับรถยนต์ เพราะยานยนต์รางนั้นจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ต่างจากรถยนต์ คือ มีน้ำหนักมากกว่า แต่มีความเสียดทานในการเคลื่อนที่น้อยกว่า เพราะฉะนั้นเมื่อเริ่มต้นออกตัวก็ไม่ต้องอาศัยอัตราทดของระบบส่งกำลังมากนัก เพื่อป้องกันไม่ให้ล้อตัน และเมื่อเคลื่อนตัวออกไปแล้ว ระบบส่งกำลังก็เพียงแต่รักษากำลังขับเคลื่อนให้สม่ำเสมอ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้เรื่อยๆ

ระบบส่งกำลังในรถดีเซลรางนั้นจะคล้ายๆ กับระบบในรถจักรดีเซล คือ มีทั้งระบบส่งกำลังด้วยไฟฟ้า และระบบส่งกำลังด้วยไฮดรอลิก แต่ไม่มีการใช้ระบบส่งกำลังทางกล เนื่องจาก-ระบบส่งกำลังทางกลบังคับได้ยากในการควบคุมระยะไกล ในกรณีฟ่วงต่อเป็นขบวนทำการ (Multiple unit) ดังนั้น ผู้สร้างจึงเลือกใช้วิธีการส่งกำลังขับเคลื่อนที่ใช้การง่ายกว่า คือ ระบบดีเซลไฟฟ้า และระบบดีเซลไฮดรอลิก แต่ระบบขับเคลื่อนด้วยดีเซลไฟฟ้าไม่นิยม เพราะว่ารถดีเซลรางโดยทั่วไป ในแต่ละคันเครื่องยนต์ต้นกำลังจะมีกำลังขับเคลื่อนประมาณ 250-400 แรงม้า ถ้าขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยขับเคลื่อนแค่เดียว (2 เฟลา) ฉะนั้น มอเตอร์ลากจูง 1 ลูก จะมีกำลังขับเคลื่อนประมาณ 200-300 แรงม้า ซึ่งมีข้อจำกัด คือ มอเตอร์ที่เล็ก จะมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของขดลวด ทำให้เป็นการจ่ายกระแสที่ไหลเข้าไปด้วย ซึ่งมีผลให้มอเตอร์มีแรงบิดออกตัวน้อย และความเสียดทานในตัวมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์ทำรอบหมุนได้ไม่ดี และเนื่องจากความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current) ในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังโดยรวมลดลง และสุดท้าย คือ ข้อจำกัดในเรื่องของระบบควบคุม ทำให้รถดีเซลรางนั้นนิยมใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกมากกว่า

วิธีการขับเคลื่อนทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบขับเคลื่อนทางกล และระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก มีข้อด้อย คือ ระบบขับเคลื่อนทางกลนั้นมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่มาก และชิ้นส่วนที่ใช้ในการส่งกำลังจะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ทำให้มีความยุ่งยากในการบังคับควบคุมตลอดจน ยากต่อการซ่อมบำรุง

ส่วนระบบการส่งกำลังด้วยไฮดรอลิกนั้น แม้จะมีชิ้นส่วนที่ใช้ในระบบส่งกำลังน้อยกว่า แต่ก็ต้องใช้สารตัวกลางในการส่งกำลัง คือ น้ำมันไฮดรอลิก เนื่องจากน้ำมันไฮดรอลิกเป็นของเหลว จึงมีการรั่วไหลในขณะที่ทำการส่งถ่ายกำลังงาน เป็นสาเหตุให้ระบบการส่งกำลังด้วยไฮดรอลิกจึงไม่สามารถส่งกำลังได้เต็ม 100% โดยจะส่งกำลังได้เพียง 90–95% เท่านั้น หมายความว่า เผลาที่ส่งกำลังออกไปขับเคลื่อนกับเพลารับกำลังเข้านั้น หมุนด้วยความเร็วไม่เท่ากันตลอดเวลาที่มีการส่งกำลัง โดยเพลาส่งกำลังออกนั้น จะหมุนช้ากว่าเพลารับกำลังเข้าเสมอ

เนื่องจากกำลังงานที่ส่งนั้นกลายเป็นความร้อน เนื่องมาจากการสั่นไถลภายในเนื้อของของเหลวที่ใช้ในการส่งกำลัง ดังนั้นน้ำมันที่ใช้ในการส่งกำลังจึงต้องมีการระบายความร้อนเพื่อควบคุมความหนืดให้คงที่ เพื่อให้ได้สมรรถนะในการส่งกำลังสูงสุด และถ้าน้ำมันที่ใช้ในการส่งกำลังมีอุณหภูมิสูงเกินไป ก็จะทำให้สูญเสียสมรรถนะในการส่งกำลัง เนื่องจากน้ำมันจะมีความหนืดลดลง ทำให้เกิดการรั่วไหลในระบบส่งกำลังมากขึ้น

ด้วยเหตุนี้ รถจักรขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกจึงไม่เหมาะในการทำขบวนรถที่มีน้ำหนักมาก ขึ้นทางลาดชันด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลานาน หรือเป็นระยะทางไกล เพราะการขับเคลื่อนในลักษณะดังกล่าว จะทำให้เพลารับกำลังเข้ากับเพลาส่งกำลังออกหมุนด้วยความเร็วต่างกันมาก เป็นผลทำให้น้ำมันส่งกำลังมีอุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง จนน้ำมันไม่สามารถรักษาความหนืดเอาไว้ได้ เป็นเหตุให้ห้องส่งกำลังสูญเสียสมรรถนะในการส่งกำลังในที่สุด

ดังนั้น ยานพาหนะที่ใช้ระบบการส่งกำลังด้วยไฮดรอลิก ถ้าจำเป็นต้องขับเคลื่อนในลักษณะบรรทุกหนัก หรือลากจูงขึ้นทางลาดชันด้วยความเร็วต่ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จำเป็นจะต้องมีช่วงเวลาหยุดพักเพื่อให้ระบบส่งกำลังได้ลดอุณหภูมิลงบ้าง

ระบบส่งกำลังแบบไฮดรอลิก มีข้อด้อยอีกประการหนึ่ง คือ ถ้าเป็นระบบใหญ่ที่สามารถส่งกำลังได้ในระดับเป็นพันแรงม้า ชุดเครื่องแปลงแรงบิดหรือทอร์คคอนเวอร์เตอร์ จะมีขนาดใหญ่มาก และความยุ่งยากอีกประการหนึ่ง คือ การบำรุงรักษา และการซ่อมแซม นอกจากนั้นถ้าเราต้องการให้ระบบนี้มีความสามารถในการส่งกำลังได้มากๆ ทอร์คคอนเวอร์เตอร์ก็จะมีขนาดใหญ่มากขึ้นตามไปด้วย ผลที่ตามมา คือ จะทำให้ชิ้นต่างๆ ในชุดทอร์คคอนเวอร์เตอร์ เช่น อิมเพลเลอร์ เทอร์ไบน์ และสเตเตอร์ มีขนาดใหญ่มากขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการใช้งานและการซ่อมบำรุง ตลอดจนมีค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้งานสูง

### 3.5.2.3 ระบบการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

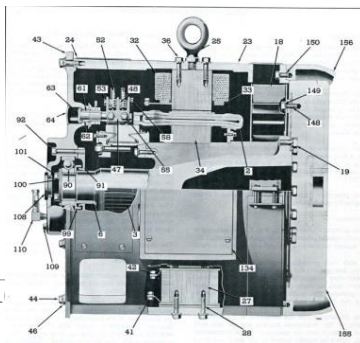
หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลมีมากขึ้น รวมทั้งทางด้านรถไฟ เพราะการขนส่งทางรถไฟจะสามารถขนส่งสินค้า และมวลขนได้ไ้ปริมาณมาก ในขณะที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนน้อยกว่าการขนส่งทางรถยนต์ในปริมาณเท่าๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นการขนส่งสินค้า หรือขนส่งมวลขน

จากความสำเร็จในการนำเอาไฟฟ้ามาขับเคลื่อนรถราง จึงได้มีการนำเอาไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟด้วย เนื่องจากมีความต้องการในขนส่งสินค้าเพื่อการพัฒนาในด้านต่างๆ มากขึ้น

สมรรถนะของรถจักรไอน้ำเริ่มถึงจุดที่จะไม่สามารถที่จะพัฒนาต่อไปได้ ในขณะที่ระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้ายังไม่สามารถตอบสนองได้ทั้งหมด ดังนั้น ระบบการขับเคลื่อนแบบดีเซลไฟฟ้าจึงได้ถูกเลือกเพื่อการนี้ ซึ่งในขณะนั้นเครื่องยนต์ดีเซลได้มีความก้าวหน้ามากขึ้น โดยมีขนาดที่เล็กลง มีน้ำหนักน้อยลง มีกำลังขับเคลื่อนมากขึ้น มีความเร็วรอบหมุนสูงขึ้น ดังนั้น จึงได้เกิดเป็นแนวความคิดที่จะนำเอาเครื่องยนต์ดีเซลมาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วนำไฟฟ้าที่ได้จ่ายให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนโดยตรง โดยผ่านชุดควบคุมเพื่อให้รถจักรสามารถขับเคลื่อนเดินทางได้อย่างปลอดภัย

ในยุคแรกนั้น ระบบการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เป็นระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ขับเคลื่อนก็ใช้มอเตอร์กระแสตรง หรือที่เราเรียกว่าระบบ DC-DC แต่เมื่อมีความต้องการกำลังขับเคลื่อนมากขึ้น จนเกินกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองได้ ระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงถูกพัฒนาให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ระบบมอเตอร์ขับเคลื่อนยังคงเป็น

อยู่



ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

(production to Railway System)

### รูปที่ 3.52 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/ib/dcgen0011.jpg>)

การนำไฟฟ้ากระแสสลับมาขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำได้โดยการนำไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า ชุดเรกติไฟเออร์ ซึ่งจะทำหน้าที่เรียงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง จากนั้นก็จะนำไปผ่านชุดควบคุมก่อนที่จะนำไปป้อนให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนต่อไป แต่เนื่องจากมอเตอร์ขับเคลื่อนแบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีขีดจำกัดอยู่ตรงที่ว่า ถ้าต้องการให้มีกำลังขับเคลื่อนมากๆ มอเตอร์จะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดอีกประการหนึ่งที่สำคัญมาก คือ ถ้าให้ทำงานที่ความเร็วต่ำ เต็มกำลังต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ เช่น ใช้รถจักรทำขบวนเต็มหน่วยลากจูงขึ้นทางลาดชันด้วยความเร็วต่ำ เป็นระยะทางยาว ก็อาจทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานสั้นลง หรือเสียหายได้

จากข้อจำกัดนี้ ทำให้มีการพัฒนามอเตอร์ขับเคลื่อนระบบไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นมา ทั้งที่ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนแปลงความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ รวมไปถึงการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั้นยากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาก แต่จากจุดเด่นที่ดีกว่าในโครงสร้างของมอเตอร์ที่สามารถทำงานแบบเต็มกำลังที่ความเร็วต่ำได้ดี และมีขนาดเล็กกว่า ตลอดจนน้ำหนักที่เบากว่า จึงทำให้วิศวกรรถไฟต้องหาทางนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนรถจักรดีเซลไฟฟ้าให้ได้ และในเวลาเดียวกันจากการที่อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทกำลังสูงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเล็กลง และมีสมรรถนะสูงขึ้น คือ สามารถทำงานที่แรงเคลื่อนสูง กระแสสูงได้ดี ตลอดจนสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ดี เช่น ภายในห้องเครื่องของรถจักรดีเซลที่มีทั้งความร้อน

ความชื้น ไขมัน หรือก๊าซไอเสีย ดังนั้น อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ในลักษณะโมดูลจึงถูกพัฒนาขึ้น ทำให้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแบบ AC-AC ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ในรถจักรดีเซลไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย

### 3.5.2 ระบบเบรกของขบวนรถไฟ

ความคุ้นเคยของผู้คนต่อระบบเบรกของรถยนต์คงจะมีมากกว่ารถไฟ แต่โดยหลักการแล้ว การเบรกรถมีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อจะทำการหยุดรถที่กำลังวิ่งด้วยความเร็ว ซึ่งในการเบรกรถยนต์นั้นจะใช้ผ้าเบรกกดลงบนจานเบรก ทำให้เกิดแรงเบรกขึ้น และแรงเบรกนี้จะพยายามหยุดล้อที่กำลังหมุน ซึ่งจะถูกฝืนไว้ด้วยแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางกับผิวถนน ทำให้รถที่กำลังวิ่งลดความเร็วลงจนหยุด การเบรกขบวนรถไฟก็อาศัยหลักการเดียวกัน เพียงแต่ขบวนรถไฟประกอบด้วยรถหลายคันพ่วงต่อกัน และมีน้ำหนักมากกว่า จึงต้องทำการเบรกพร้อมกัน เพื่อไม่ให้เกิดการกระตุกกระชาก ซึ่งทำให้ผู้โดยสารรู้สึกไม่สบายและไม่ปลอดภัย

ขบวนรถไฟสมัยโบราณที่ใช้ในเมืองแร่ ใช้ลิ้มไม้ติดกับกระเดื่อง เมื่อจะทำการเบรก ก็ใช้คนงานโยกกระเดื่องกดลิ้มลงบนล้อ เมื่อเริ่มแรกการเดินทางไฟนั้น ขบวนรถไฟในสมัยโบราณยังไม่มี การคิดค้นอุปกรณ์การเบรกที่ทันสมัย มีเฉพาะเบรกบนรถจักรไอน้ำซึ่งจะเปิดไอน้ำแรงดันสูงเข้าไปต้น ลูกสูบในกระบอกเบรก (Brake cylinder) เพื่อกดแท่งห้ามล้อ (Brake shoes) ลงบนพื้นล้อ แต่เนื่องจากรถไฟทั้งขบวนก็มีเบรกอยู่ที่รถจักรไอน้ำคันเดียว จึงไม่สามารถวิ่งเร็วได้

ต่อมาจึงมีการติดตั้งห้ามล้อมือ (Hand brake) บนรถพ่วง พอคนขับจะทำการเบรกขบวนรถไฟ ก็จะส่งสัญญาณให้เจ้าหน้าที่ประจำรถแต่ละคันซึ่งเรียกว่า พนักงานห้ามล้อ หมุนห้ามล้อมือเพื่อ กดแท่งห้ามล้อลงบนพื้นล้อ วิธีการนี้ก็ทุลักทุเลพอสมควร แต่ขบวนรถก็สามารถวิ่งได้เร็วกว่าเดิม พนักงานซึ่งทำหน้าที่หมุนห้ามล้อมือนี้ ภาษาอังกฤษเรียกว่า Brake man

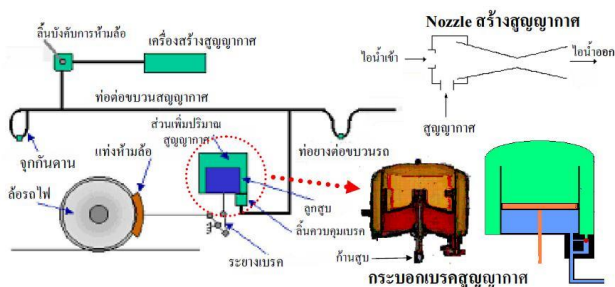


รูปที่ 3.53 การทำงานของระบบเบรก (ที่มา: <http://image.free.in.th/iy/picno1.jpg>)



### 3.5.2.1 ระบบเบรกแบบใช้สุญญากาศ

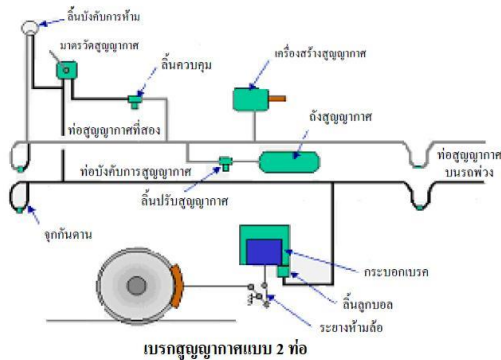
มีผู้ประดิษฐ์เครื่องสร้างสุญญากาศขึ้นบนรถจักรไอน้ำโดยใช้ไอน้ำผ่าน Nozzle ด้วยความเร็วสูง เกิดเป็นสุญญากาศขึ้น แล้วต่อท่อนําสุญญากาศไปใช้ในการควบคุมการเบรกบนรถแต่ละคัน เมื่อจะทำการห้ามล้อ คนขับก็ปล่อยอากาศเข้าไปในท่อโดยมีลิ้นควบคุมให้อากาศไหลเข้าเฉพาะด้านล่างของกระบอกเบรก แต่ด้านบนยังคงเป็นสุญญากาศ ลูกสูบในกระบอกเบรกก็จะยกตัวขึ้นระยางเบรก (Brake Linkage) ที่ต่อจากก้านลูกสูบก็จะไปกดแท่งห้ามล้อลงบนพื้นล้อ วิธีการนี้ทำให้มีเบรกทำงานบนรถหลายคันในขบวนรถไฟ ขบวนรถจึงสามารถวิ่งได้เร็วกว่าเดิมอย่างปลอดภัย



รูปที่ 3.54 การทำงานของระบบเบรกแบบใช้สุญญากาศ

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/is/picno2.jpg>)

ระบบเบรกแบบสุญญากาศยังใช้งานต่อมาอีกเป็นเวลานาน และได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการประดิษฐ์เครื่องสร้างสุญญากาศแบบลูกสูบ (Exhauster) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า สามารถใช้กระบอกเบรกขนาดใหญ่ ประกอบกับการปรับปรุงในส่วนอื่น เช่น ใช้ท่อขบวนสุญญากาศ (Vacuum Brake Pipe) 2 ท่อ (ใช้งานอยู่ที่ประเทศอังกฤษ) การเพิ่มปริมาตรด้านบนของกระบอกโดยติดตั้งถังเพิ่มปริมาตร (Expansion Tank) ขบวนรถที่ใช้ระบบเบรกสุญญากาศจึงสามารถวิ่งได้เร็วกว่า 100 กม./ชั่วโมง



รูปที่ 3.555 การทำงานของระบบเบรกแบบใช้สุญญากาศ 2 ท่อ

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/ij/picno3.jpg>)

อย่างไรก็ตาม ระบบสุญญากาศยังมีข้อบกพร่องอีกมาก การสร้างสุญญากาศจะทำได้มากที่สุดเพียง 76 ซม.ปรอท (การใช้งานจริงตั้งไว้ที่ 52-54 ซม.ปรอท) จึงสามารถสร้างแรงห้ามล้อได้จำกัด หากต้องการเพิ่มแรงห้ามล้อให้สูงขึ้นก็จะต้องใช้ลูกสูบขนาดใหญ่ (ขนาดใหญ่ที่สุดซึ่งการรถไฟฯ เคยนำมาใช้คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 21 นิ้ว) และใช้ระยางเบรก (Brake Linkage) ซึ่งมีอัตราการได้เปรียบเชิงกลสูง แต่วิธีการดังกล่าว ทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่องในการบำรุงรักษา ลูกสูบขนาดใหญ่ขัดตัวในกระบอกเบรก เกิดปัญหาสูบค้ำ เบรกจับจนล้อร้อนแดง การใช้ระยางเบรกที่มีอัตราการได้เปรียบเชิงกลสูง ทำให้ระบบทำงานชักช้าเมื่อคนขับสั่งให้เบรก แม้ว่าระบบสุญญากาศจะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนัก แต่ก็ใช้อยู่ในการรถไฟฯ มาจนกระทั่งปี พ.ศ. 2528 จึงเริ่มต้นเปลี่ยนเป็นระบบเบรกแบบใช้ลมอัดหรือที่เรียกว่า Compressed Air Brake

### 3.5.2.2 ระบบเบรกแบบใช้ลมอัด

ยอร์จ เวสต์ดิงเฮาส์ ชาวอเมริกันเป็นผู้ประดิษฐ์เบรกแบบใช้ลมอัดขึ้น โดยนำออกใช้งานเมื่อปี พ.ศ. 2412 หลักการทำงานคล้ายคลึงกับการปล่อยไอน้ำแรงดันสูงเข้าไปดันลูกสูบในกระบอกเบรก เพียงแต่ใช้ลมอัดแรงดันสูงแทน ระบบนี้ดีกว่าการใช้สุญญากาศตรงที่สามารถสร้างแรงดันลมซึ่งจะไป

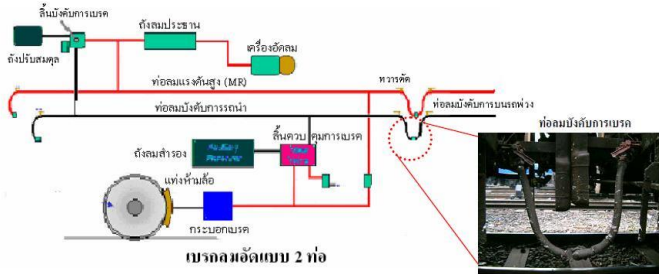
ดันลูกสูบได้สูงกว่า (ค่าตามมาตรฐานของ UIC คือ 3.5-3.8 บาร์) จึงสามารถใช้กระบอกเบรกขนาดเล็ก ใช้ระยะห่างล้อที่มีอัตราการใช้เปรียบเชิงกลต่ำ สามารถตอบสนองคำสั่งได้ดีกว่า ค่าบำรุงรักษาถูก และมีปัญหาในการใช้งานน้อย

ระบบเบรกแบบลมอัดที่การรถไฟฯ นำมาใช้เป็นแบบท่อลมบังคับการเดี่ยว (Single Pipe) คือ ใช้ท่อบังคับการเบรก (Brake Pipe) ท่อเดียวและมีคุณสมบัติตามที่กำหนดเป็นมาตรฐานของ UIC เรียกว่า ระบบ Graduate Release and Application หมายความว่าสามารถกำหนดได้ว่าจะให้การเบรกรุนแรงขนาดไหน และจะคลายเบรกแค่ไหน เหตุที่เลือกระบบนี้มาใช้ก็เพราะอนุมาณเอาไว้ขบวนรถไฟของประเทศไทยและสภาพการใช้งานในประเทศคล้ายคลึงกับยุโรป คือ เป็นขบวนรถที่มีความยาวพอประมาณ (ไม่เกิน 700 เมตร) แตกต่างจากประเทศที่วิ่งขบวนรถยาว เช่น อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย และบราซิล ซึ่งขบวนรถสินค้าในประเทศเหล่านั้นจะมีความยาวเกิน 1 กิโลเมตร จึงเหมาะที่จะเลือกใช้ระบบที่เรียกว่า Direct Release and Application คือ เมื่อคนขับสั่งให้เบรกหรือคลายเบรก ระบบก็จะทำงานจังหวะเดียว ไม่สามารถกำหนดแรงเบรกตามที่คนขับต้องการได้

เบรกแบบลมจำแนกออกตามระบบการบังคับการได้ 2 แบบ คือ แบบสั่งการโดยตรง (Direct Brake) และแบบสั่งการอัตโนมัติ (Automatic Air Brake)

แบบสั่งการโดยตรง คนขับจะเปิดลมจากถังพักลมให้ไหลผ่านท่อลมที่เชื่อมต่อระหว่างรถแต่ละคัน (เรียกว่า Brake Cylinder Pipe) เข้าไปยังกระบอกเบรกในระบบนี้ไม่เป็น Fail safe คือเมื่อรถพ่วงหลุดออกจากกัน ระบบเบรกจะไม่ทำงาน

เบรกลมอัดแบบสั่งการอัตโนมัติ มีลิ้นควบคุมการเบรกเรียกว่า Distributor Valve (DV) และถังลมสำรองติดอยู่บนรถแต่ละคันในท่าไม่ใช้งาน ลิ้นบังคับการบนรถนำ (รถจักร) จะส่งลม (แรงดันประมาณ 5 บาร์) เข้าไปในท่อซึ่งต่อไปตลอดทั้งขบวนรถ เรียกว่า ท่อลมบังคับการเบรก (Brake pipe: BP) ลมแรงดัน 5 บาร์ จะไหลผ่านลิ้นควบคุมเข้าไปเก็บอยู่ในถังพัก เมื่อคนขับต้องการเบรกขบวนรถไฟก็จะปล่อยลมในท่อ BP ออก ลิ้นควบคุม DV ก็จะปล่อยลมจากถังพักลมสำรองเข้าไปในกระบอกเบรก และเมื่อคนขับสั่งคลายเบรก DV ก็ปล่อยลมในกระบอกเบรกทิ้ง ขณะเดียวกันก็ปล่อยลมเข้าถังเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการเบรกครั้งต่อไป



รูปที่ 3.56 เบรกลมอัดแบบ 2 ท่อ  
(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/ia/picno4.jpg>)

ความแตกต่างระหว่างระบบ Graduated Release และ Direct Release จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของ DV สำหรับในกรณีแรกนั้น DV จะควบคุมแรงดันลมในกระบอกเบรก (ซึ่งก็คือแรงเบรก) ให้มากขึ้นน้อยไปตามแรงลมในท่อบังคับการที่ลดลง ส่วนในกรณีหลัง เมื่อแรงดันลมในท่อบังคับการลดลงถึงพิกัดที่ปรับตั้งไว้ให้เกิดการเบรก DV ก็จะปล่อยลมเข้ากระบอกเบรกเต็มพิกัดทันที และเมื่อแรงดันลมในท่อบังคับการเพิ่มขึ้นถึงพิกัดที่ปรับตั้งไว้สำหรับคลายเบรก DV ก็จะปล่อยลมออกจากกระบอกเบรกทันที ระบบหลังนี้ใช้กับขบวนรถสินค้ายาวเกิน 1 กิโลเมตร เนื่องจากในขณะที่ขบวนรถไฟวิ่งไปนั้น จะเกิดคลื่นความดันอากาศ (Pressure Wave) ขึ้นในท่อลมบังคับการ ซึ่งสำหรับขบวนรถที่ยาวมากก็อาจจะมีผลทำให้ DV ทำงานไม่ถูก กล่าวคือ เมื่อช่วงของคลื่นความดันอากาศต่ำ (Low Pressure Wave) เคลื่อนผ่าน DV ก็จะเข้าใจว่ามีคำสั่งให้เบรก จึงปล่อยลมเข้ากระบอกเบรก ทั้งที่คนขับไม่ได้สั่งการ ครั้นเมื่อคลื่นความดันอากาศสูงเคลื่อนผ่าน DV ก็จะปล่อยลมออกจากกระบอกเบรก ปรากฏการณ์นี้จะทำให้เบรกทำงานและหยุดสลับกันซึ่งเป็นอันตรายต่อขบวนรถ DV ยังมีข้อกำหนดเป็นรายละเอียดปลีกย่อยอีกมาก เช่น Sensitivity และ Insensitivity เป็นต้น ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

ระบบเบรกลมอัดแบบอัตโนมัติมีคุณสมบัติเป็น Fail Safe คือ เมื่อรถในขบวนหลุดออกจากรันท่อลมบังคับการขาด ลมในท่อไหลออก DV ก็จะสั่งการให้เบรกบนรถทุกคันทำงาน



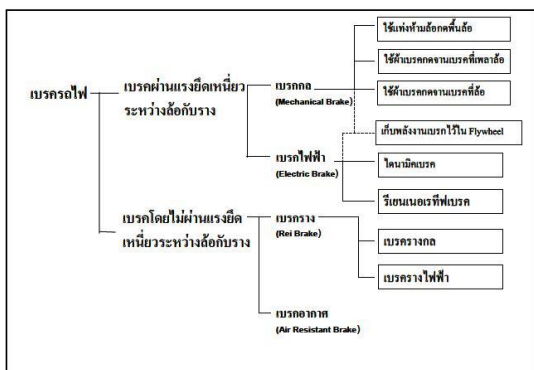


รูปที่ 3.57

(ที่มา: <http://image.free.in.th/iv/picno5.jpg>)

### 3.5.2.3 ระบบเบรกแบบอื่นๆ

กลไกที่จะถ่ายแรงเบรกที่สร้างขึ้นไปทำการหยุดขบวนรถนั้น จำแนกได้ 2 กลุ่ม ดังนี้



รูปที่ 3.58 ระบบเบรกแบบอื่นๆ

(ที่มา: <http://image.free.in.th/it/picno6.jpg>)

กลุ่มที่หนึ่ง วิธีถ่ายแรงเบรกไปทำการหยุดรถกลุ่มแรก เรียกว่า การเบรกโดยใช้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesion Brake) นั้น แรงเบรกที่สร้างขึ้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม จะทำการหยุดขบวนรถได้โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง เหมือนกับการเบรกรถยนต์นั่นเอง เบรกที่อยู่ในกลุ่มนี้เป็นระบบหลักที่ใช้งานในสภาพปกติ เพราะมีความนุ่มนวลมากกว่า

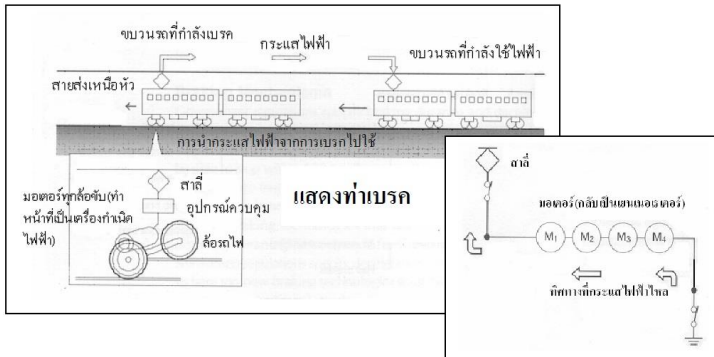
การเบรกแบบนี้ยังแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ เบรกกล และเบรกไฟฟ้า

**เบรกกาล (Mechanical Brake)** คือ ระบบเบรกแบบดั้งเดิมซึ่งมีวิวัฒนาการมาพร้อมกับการสร้างรถไฟ วิธีสร้างให้เกิดแรงเบรกสำหรับเบรกในกลุ่มนี้ ก็อาจใช้แรงซึ่งเกิดจากใช้แรงคนจับคานเบรก หรือใช้แรงจากกระบอกเบรกไปดึง (หรือดัน) คานเบรกไปกดแผ่น (ผ้า) เบรกลงบนพื้นล้อ หรือจานเบรก

**เบรกไฟฟ้า (Electrical Brake)** เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยสนับสนุนการทำงานของเบรกกาล ช่วยลดการสึกหรอของผ้าเบรก จานเบรก เบรกได้รวดเร็วกว่าเบรกทางกล และสามารถคืนไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้า (เฉพาะรถไฟไฟฟ้า) เบรกไฟฟ้าสามารถแยกตามระบบการทำงานได้ 2 ชนิด คือ **เบรกไฟฟ้าแบบไดนามิกเบรก (Dynamic Brake)** และ **เบรกไฟฟ้าแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Braking)**

**เบรกไฟฟ้าแบบไดนามิกเบรก (Dynamic Brake)** ใช้กับขบวนรถไฟที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่หมุนล้อมาเป็นเอนเนอร์เจอร์ ซึ่งถูกล๊อคขั้วให้หมุนแล้วนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปผ่านชุดความต้านทาน (Resistor) ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อน และถูกพัดลมระบายความร้อนเป่าทิ้งไปในอากาศ ระบบนี้ใช้อยู่บนรถจักรบางรุ่นของการรถไฟฯ และใช้กับขบวนรถไฟความเร็วสูงรุ่นแรกๆ ของญี่ปุ่น ซึ่งยังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อน ขบวนรถไฟจะมีประสิทธิภาพสูงเฉพาะในช่วงความเร็วสูง ประกอบกับข้อเท็จจริงที่การเบรกขบวนรถไฟในกลุ่มนี้ต้องอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ผสมแรงเบรก (Blending) ระหว่างแรงที่มาจากเบรกกาลกับแรงจากเบรกไฟฟ้า เพื่อให้แรงเบรกที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง เมื่อความเร็วขบวนรถลดต่ำลงถึงระดับหนึ่งแล้ว (ประมาณ 30-50 กม./ชม. ~~ชั่วโมง~~ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ) อุปกรณ์ดังกล่าวก็จะตัดไดนามิกเบรกออกจากการใช้งาน เหลือเบรกกาลทำหน้าที่อย่างเดียว

ขบวนรถสมัยใหม่จะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เพราะมีค่าบำรุงรักษาถูกกว่า ได้แก่ ขบวนรถไฟของบีทีเอสของประเทศไทย และรถไฟใต้ดิน ซึ่งสามารถใช้งานได้ถึงช่วงความเร็วต่ำ โดยหลักการแล้ว สามารถใช้เบรกขบวนรถไฟได้จนถึงความเร็ว 0 กม./ชม. ~~ชั่วโมง~~ แต่ในทางปฏิบัติสามารถทำได้แต่ต่ำกว่าความเร็วประมาณ 1 กม./ชม. ~~ชั่วโมง~~



รูปที่ 3.-59 ท่าเบรก

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/it/picno8.jpg>)

เบรกไฟฟ้าแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Braking) ใช้หลักการเดียวกันกับไดนามิกเบรก เพียงแต่ไม่เป่าความร้อนที่เกิดขึ้นทิ้งไปในอากาศ แต่นำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปขับเคลื่อนขบวนรถอื่นที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งกำลังอยู่ในท่าขับ (Traction) และต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งการเบรกแบบ**รีเจนเนอเรทีฟ**จะทำให้การเดินรถไฟทั้งระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น รถไฟฟ้าจึงนิยมให้เบรกไฟฟ้า

ในกลุ่มการเบรกโดยผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับรางยังมีระบบเบรกอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นแนวคิดและทำการทดลองกันมานานแล้ว แต่ยังมีการใช้งานไม่แพร่หลาย คือ การนำพลังงานที่เกิดจากการเบรกไปสะสมไว้ใน Flywheel แล้วนำพลังงานจาก Flywheel กลับไปขับเคลื่อนรถ เมื่อจะเคลื่อนออกตัวครั้งต่อไป กลไกในการใช้ล้อรถไฟที่กำลังวิ่งไปหมุนขับ Flywheel สามารถทำได้ทั้งวิธีการกลหรือไฟฟ้า แต่ปัญหาคือคือ ตัว Flywheel ซึ่งมีน้ำหนักมาก ไม่เหมาะที่จะติดตั้งไว้บนรถ

**กลุ่มที่สอง** คือ การเบรกโดยไม่ผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Non-Adhesion Brake) ส่วนใหญ่จะใช้งานเป็นระบบเสริมเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ยกเว้นเบรกอากาศ (Air Resistant Brake) ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาอย่างจริงจังอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอาจจะพัฒนาขึ้นเป็นระบบเบรกหลัก เพราะไม่สิ้นเปลือง และสามารถนำมาใช้ควบคู่ไปพร้อมกับการเบรกที่อาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง

กลุ่มเบรกที่ไม่อาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับรางแบ่งออกเป็น เบรกราง และเบรกอากาศ

**เบรกราง (Rail Brake)** ยังแยกย่อยเป็น 2 ประเภทคือ แบบเบรกรางกล (Direct Mechanical Rail Brake) ใช้ผ้าเบรกดกลบนรางโดยตรง ระบบนี้ใช้กับรถราง (Street Car) มาแต่ดั้งเดิม เพราะสามารถตั้งแรงเบรกได้สูงเท่าที่ต้องการ สามารถหยุดขบวนรถได้ในระยะเท่ากับระยะเบรกของรถยนต์ ดังนั้นในต่างประเทศปัจจุบันก็ยังคงเห็นรถรางกับรถยนต์วิ่งปนกันอยู่บนถนน เพราะมีระยะเบรกเท่ากันนั่นเอง

มีความพยายามที่จะใช้เบรกรางกับขบวนรถไฟโดยทั่วไปซึ่งเร็วกว่ารถราง แต่พบว่าทำให้เกิดปัญหาทางสึกมาก ต่อมา จึงมีการประดิษฐ์เบรกรางไฟฟ้า (Electric Rail Brake) ขึ้น หัวเบรกของเบรกรางไฟฟ้ามีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าติดอยู่ เมื่อต้องการใช้เบรกก็นำขั้วขั้วบวกและลบขึ้นที่หัวเบรกแล้วเลื่อนเข้าไปใกล้ราง ขั้วแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในราง ระบบเบรคนี้นี้จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Eddy Current Brake ระบบเบรคนี้นี้มีการทดลองนำมาใช้ในขบวนรถไฟความเร็วสูง เพราะการเบรกขบวนรถไฟโดยส่งแรงเบรกผ่านความยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง อาจต้องใช้ระยะเบรกถึง 2-3 กิโลเมตร ถ้าใช้เบรกรางก็จะสามารถเบรกได้ในระยะทางที่สั้นลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่า ถ้าต้องการแรงเบรกสูง ก็จะต้องเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หัวเบรกขึ้น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในรางสูงตามไปด้วย ผลก็คือ เกิดอุณหภูมิเพิ่มสูงในรางเป็นจุด (Flash Temperature) ทำให้เกิดแรงดึงผิวที่หัวราง ซึ่งตามมาด้วยปัญหาหัวรางแตกร้าว ระบบนี้จึงไม่ค่อยใช้งานเป็นระบบหลัก เพียงแต่ติดตั้งไว้บนขบวนรถไฟความเร็วสูง ใช้เป็น Last Resource ซึ่งใช้งานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน



รูปที่ 3.60 หลักการทำงานของเบรกราง

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/it/picno9.jpg>)



ในปัจจุบัน ได้มีผู้สร้างหัวเบรกรางที่รวมเอาเบรกรางแบบกล (ใช้ผ้าเบรก) และเบรกรางไฟฟ้า (ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า) ไว้ด้วยกัน ซึ่งพบเห็นการใช้งานอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ การสร้างแรงเบรกแบบ Eddy Current ยังสามารถทำได้โดยใช้จานเบรกซึ่งติดตั้งบนเพลาล้อรถไฟ วิธีการทำงานก็คล้ายกับระบบดิสเบรก เพียงแต่แทนที่ผ้าเบรกด้วยขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า แต่การเบรกก็นี้ยังต้องอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง ระบบเบรกนี้มีใช้งานในขบวนรถไฟความเร็วสูง มีข้อดี คือ ไม่ต้องเปลี่ยนผ้าเบรก เพราะหัวเบรกไม่เสียดสีกับจานเบรก

เบรกอากาศ (Air Resistant Brake) เป็นแนวคิดแบบโบราณที่ฟื้นฟูขึ้นใหม่ และกำลังทดลองอยู่กับขบวนรถไฟความเร็วสูงในประเทศญี่ปุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถไฟแม่เหล็ก (MAGLEV) ซึ่งไม่มีล้อ เบรกแบบนี้จะมีประสิทธิภาพเฉพาะในย่านความเร็วสูง แต่เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายจากการสึกหรอ ญี่ปุ่นจึงหวังจะพัฒนาขึ้นใช้กับระบบเบรกหลักของขบวนรถไฟความเร็วสูง ควบคู่กับการใช้ระบบเบรกแบบอื่น ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการเบรกสูงขึ้น เพราะสามารถทำงานเสริมกับเบรกในกลุ่มที่ใช้แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางได้อย่างเต็มที่ โดยไม่เกิดปัญหาล้อรถจับตาย



เบรกอากาศขบวนรถไฟ MAGLEV

แผงด้านลมเบียดยกขึ้นในท่าเบรก



เบรกอากาศขบวนรถไฟความเร็วสูง

### รูปที่ 3.61 เบรกอากาศ

(ที่มา: <http://image.free.in.th/z/it/picno10.jpg>)

#### การเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรกโดยผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง

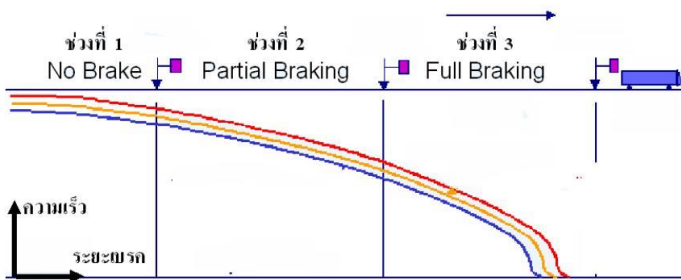
ความเร็วสูง) ประเทศไทยยังไม่มีกำหนดระยะเบรกดังกล่าว มาตรฐานการออกแบบระบบเบรกที่การรถไฟฯ กำหนดขึ้นใช้เอง กำหนดให้รถคันเดียว (Individual Car) มีระยะเบรกไม่เกิน 700 เมตร และขบวนรถ (Train) มีระยะเบรกไม่เกิน 1,000 เมตร ในกรณีที่มีการกำหนดระยะเบรกไว้สั้นมาก วิศวกรผู้ออกแบบก็จะต้องหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรก

ขบวนรถไฟที่วิ่งด้วยความเร็ว 300 กม./ชม. จะเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 83 – 84 เมตร ในเวลา 1 วินาที จากสภาพที่เป็นจริง จะสามารถแบ่งการทำงานของระบบเบรกออกได้อย่างคร่าวๆ เป็น 3 ช่วง ตามรูปที่ 3.62 ได้แก่

ช่วงที่หนึ่ง เมื่อคนขับเห็นเหตุที่จะต้องเบรก และใช้เวลาตัดสินใจ (Human Delay) เมื่อตัดสินใจแล้ว จึงสั่งการให้ระบบทำงาน ซึ่งจะกินเวลาอีกระยะหนึ่งกว่าที่ระบบเบรกจะทำงานเต็มที่ (Instrumental Delay) ระหว่างนี้ขบวนรถไฟจะมีความเร็วลดลงเอง เนื่องจากแรงต้าน (Train Resistance)

ช่วงที่สอง อุปกรณ์เบรกเริ่มทำงาน คำสั่งเบรกถูกถ่ายทอดจากรถต้นขบวนเป็นทอดๆ ไปยังท้ายขบวน ลมไหลเข้ากระบอกเบรกบนรถแต่ละคัน ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ ระบบเบรกจะทำงานแค่บางส่วน เรียกว่า ช่วง Partial Braking ซึ่งอัตราหน่วงยังไม่สูงมากนัก

ช่วงที่สาม ลมไหลเข้ากระบอกเบรกเต็มพิกัดแล้ว อุปกรณ์เบรกบนรถทุกคัน ทำงานเต็มตามสมรรถนะที่ได้รับการออกแบบไว้ เรียกว่า ช่วง Full Braking



รูปที่ 3.62 การทำงานของระบบเบรก

(ที่มา: <http://image.free.in.th/ik/picno11.jpg>)

ดังนั้นสรุปได้ว่า ระบบเบรกที่ใช้เป็นพื้นฐานของขบวนรถไฟทั่วไป คือ การเบรกโดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง แต่มีข้อจำกัด คือ พื้นผิวที่ล้อรถไฟสัมผัสกับรางมีขนาดเล็กมาก แตกต่างจากพื้นผิวที่ล้ออย่างสัมผัสกับถนน ในการออกแบบจึงไม่สามารถสร้างแรงเบรกให้ทำการเบรกได้รุนแรงเหมือนรถยนต์ ด้วยเหตุนี้ขบวนรถไฟจึงมีระยะเบรกลาวกว่ารถยนต์มาก ทำให้จำเป็นต้องมีระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินขบวนรถ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ระบบรถไฟมีราคาแพง ยิ่งขบวน

รถไฟที่วิ่งความเร็วสูงก็ยังมีระยะเบรกยาว ต้องใช้ระบบอัดดีสียูเนียมซึ่งสลับซับซ้อนและมีราคาแพงขึ้นเป็นเงาตามตัว

ระบบเบรกที่ทำงานโดยไม่อาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง อาจจะทำให้สามารถเบรกขบวนรถได้ในระยะใกล้เคียงกับรถยนต์ แต่ก็มีปัญหาอื่นจึงไม่เหมาะจะนำมาใช้เป็นหลักได้ ในกรณีการเบรกรถไฟตามปกติ ส่วนใหญ่ก็จะใช้ระบบสนับสนุนในการเบรกฉุกเฉิน ยกเว้นรถรางซึ่งใช้ความเร็วต่ำ

พลังงานในการเบรกขบวนรถแต่ละครั้งมีค่ามหาศาล ตัวอย่างเช่น ขบวนรถหนัก 500 ตันวิ่งด้วยความเร็ว 300 กม/ชม. ถ้าจะทำให้หยุดต้องใช้พลังงานถึง  $1.77 \times 10^9$  จูล เป็นพลังงานความร้อนที่สามารถต้มน้ำปริมาณ 4,200 ลิตร ที่อุณหภูมิ 0°C ให้เดือดได้ หรือคิดเป็นพลังงานจำนวน 1,000-2,000 เท่าของพลังงานที่รถยนต์ใช้ พลังงานที่สูญเสียไปในการเบรกแต่ละครั้งจึงเป็นการสูญเสียเปล่า ซึ่งหากสามารถนำกลับมาใช้ได้ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น แต่เทคโนโลยีในการนำกลับมาใช้ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็น Regenerative Braking หรือการเก็บสะสมพลังงานไว้ใน Flywheel แล้วนำกลับมาใช้ในการขับเคลื่อนขบวนรถ ยังคงซับซ้อนและมีราคาแพง การเบรกขบวนรถไฟโดยทั่วไป จึงยังคงใช้วิธีปล่อยพลังงานดังกล่าวเสียไปในรูปแบบต่าง ๆ

รถไฟขนส่งมวลชนซึ่งสร้างใช้งานมาตั้งแต่เทคโนโลยีในการขับเคลื่อนและการเบรกลำสมัย ใช้วิธีนำแรงดึงดูดของโลกมาช่วย (Gravity Brake) โดยสร้างสถานีให้สูงกว่ารางวิ่ง การเบรกในขณะที่รถขึ้นเนิน หรือการเร่งขบวนรถในขณะที่ลงเนิน จะช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด รถไฟขนส่งมวลชนที่ออกแบบดังกล่าว เช่น รถใต้ดินสายวิคทอเรีย ในกรุงลอนดอน เป็นต้น แต่เนื่องจากค่าก่อสร้างเส้นทางจะมีราคาแพงขึ้นกว่าปกติ จึงมักไม่ค่อยพบในระบบขนส่งมวลชนสมัยใหม่ อย่างไรก็ตาม หากโอกาสอำนวย ก็เป็นวิธีการง่าย ๆ ที่ยังใช้ได้ดีและสามารถพบเห็นได้ ดังกรณีสถานีรถไฟฟ้ําของบีทีเอสบางสถานี ซึ่งจะโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตาม แต่วิธีการนี้ก็ช่วยทำให้เกิดการประหยัดไปนานตราบเท่าที่ระบบยังใช้งานอยู่

## บทสรุป

รถไฟมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับกรอบแบบที่มีจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป รถไฟบางประเภทจะวิ่งบนรางพิเศษเฉพาะ เช่น รถไฟรางเดียว รถไฟความเร็วสูง รถไฟพลังแม่เหล็ก เป็นต้น ถ้าแบ่งประเภทของรถไฟออกตามแหล่งพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน รถจักรดีเซลก็ได้แก่ รถจักรไอน้ำ รถจักรดีเซลและรถดีเซลราง รถจักรไฟฟ้าและรถไฟฟ้ําราง รถไฟความเร็วสูง และรถไฟพลังแม่เหล็ก

การเดินทางโดยรถไฟเสียเปรียบการเดินทางโดยรถยนต์มาก เพราะไม่สามารถเดินทางไปถึงจุดหมายปลายทางได้ ต้องไปต่อรถยนต์ที่สถานี และกิจการรถไฟยังต้องแข่งขันกับคู่แข่งรายใหม่ คือ สายการบินราคาประหยัด ซึ่งเก็บค่าโดยสารในราคาต่ำใกล้เคียงกับค่าโดยสารรถไฟ จึงสามารถแย่งผู้โดยสารรถไฟจำนวนมาก หากรถไฟจะแข่งขันกับรถยนต์และเครื่องบินได้แล้ว จะต้องมีความเร็วอย่างต่ำ 200 กม./ชั่วโมง รัฐบาลหลายประเทศจึงได้พัฒนาระบบรถไฟความเร็วสูงขึ้น แม้ว่าจะต้องลงทุนเป็นเงินสูงมากก็ตาม เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของกิจการรถไฟ ในปัจจุบันมีรถไฟความเร็วสูงขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและพลังแม่เหล็ก แต่ในอนาคตยังมีอีกเทคโนโลยีที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ไอพ่นเหมือนกับที่ใช้ในเครื่องบิน สามารถทำความเร็วได้สูงถึง 240 กม./ชั่วโมง และไม่ต้องลงทุนจำนวนมากเพื่อติดตั้งระบบสายส่งไฟฟ้าไปยังตัวรถไฟอีกด้วย

องค์ประกอบหลักของรถไฟประกอบไปด้วย โบกี้ ล้อ และระบบรองรับน้ำหนัก นอกจากนั้นยังมีระบบส่งกำลังและระบบเบรกที่มีความสำคัญไม่แพ้กัน

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2539. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับล้อเลื่อน**. เอกสารประกอบการฝึกอบรม  
พนักงานรถจักร ตามโครงการ The improvement of the railwal training center.

นคร จันทร. 2555. **ช่างรถไฟ : ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทาง  
รางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงาน  
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

นคร จันทร. **เอกสารประกอบการบรรยายการประชุมวิศวกรรมแห่งชาติประจำปี 2553**.

วิจารณ์ พานิช, การจัดการองค์ความรู้ ฝ่ายช่างกล. สืบค้นจาก :

<http://58.181.223.131/km/index.html> เมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2556

ยุทธศักดิ์ วัฒนสวัสดิ์. **เทคโนโลยีรถไฟความเร็วสูง**. สืบค้นจาก

[http://www.nesdb.go.th/specialWork/suvarnabhumi/news\\_center/local\\_news/technology\\_of\\_rapid\\_train.htm](http://www.nesdb.go.th/specialWork/suvarnabhumi/news_center/local_news/technology_of_rapid_train.htm) เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556

**ประวัติศาสตร์รถไฟญี่ปุ่น**. สืบค้นจาก

<http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstock/2012/04/X12028816/X12028816.html> เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556

**รถไฟความเร็วสูง**. สืบค้นจาก

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%B9%E0%B8%87> เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556

**รถไฟพลังแม่เหล็ก**. สืบค้นจาก

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81> เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556



โครงการพัฒนาหลักสูตรและนำร่องการสร้างกำลังคนระดับช่างเทคนิค ด้านระบบขนส่งทางรางเข้าสู่ตลาดแรงงาน

**ระบบงานส่งกำลังรถไฟ-รถดีเซลราง-ระบบเบรก.** สืบค้นจาก

<http://www.thaiirsoftgun.com/board/index.php?PHPSESSID=e957505d39850129f80842fe6a624a07&topic=84725.0> เมื่อวันที่ เมษายน 2556

**TGV คืออะไร.** สืบค้นจาก <http://www.geocities.ws/railsthai/tgv.htm> เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556

**High-speed rail.** สืบค้นจาก [http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail](http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail) เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556

**Diesel Locomotive Technology.** สืบค้นจาก <http://www.railway-technical.com/diesel.shtml#Mechanical-Transmission> เมื่อวันที่ 14 เมษายน 2556

**Wheels and Bogies.** สืบค้นจาก <http://www.railway-technical.com/whlbog.shtml> เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2556



## หน่วยการเรียนรู้ที่

# IRS-004

## ระบบไฟฟ้าของรถไฟฟ้า

|                         |  |
|-------------------------|--|
| เนื้อหาการเรียนรู้      | <input type="checkbox"/> ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบราง<br><input type="checkbox"/> ระบบตัวรถไฟฟ้า<br><input type="checkbox"/> การควบคุมความเร็วรถไฟฟ้า<br><input type="checkbox"/> ระบบการจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อนตัวรถ<br><input type="checkbox"/> ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟ  |
| จุดประสงค์การเรียนรู้   | <ol style="list-style-type: none"><li>1) อธิบายระบบไฟฟ้าที่ใช้กับระบบรางและรถไฟ ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าและระบบสำรองสำหรับไฟฟ้าในระบบรางได้</li><li>2) อธิบายลักษณะและวิธีการส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับขบวนรถได้</li><li>3) บอกความแตกต่างระหว่างระบบไฟฟ้าในตัวรถ ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถ และระบบไฟฟ้าที่ใช้ในสถานีได้</li></ol> |
| ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง | ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าของรถไฟและระบบเกี่ยวเนื่อง การผลิตและการส่งจ่ายไฟฟ้าของรถไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้าในรถไฟและสถานีของทางรถไฟแต่ละประเภทในการขนส่งทางรางของประเทศ   |



โครงการพัฒนาหลักสูตรและนําร่องการสร้างกำลังคนระดับช่างเทคนิค ด้านระบบขนส่งทางรางเข้าสู่ตลาดแรงงาน

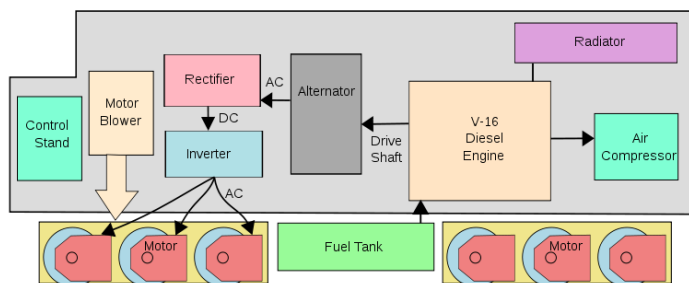


#### 4.1 ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบราง

ระบบขนส่งทางราง (Railway system) เป็นการเดินทางที่สะดวกและรวดเร็วอีกทางหนึ่ง ทั้งยังประหยัดต้นทุนสามารถขนส่งทั้งผู้โดยสารและสิ่งของได้คราวละมากๆ เมื่อเทียบกับการเดินทางชนิดอื่นๆ



หัวรถจักร (Locomotive) เป็นต้นกำลังสำคัญในการขูดลาก (Traction) ขบวนรถไฟ ระบบต้นกำลังที่สำคัญที่เราคุ้นกันดี คือ ระบบไอน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการขนส่งสูงเมื่อเทียบกับระบบรถจักรไฟฟ้าในสมัยนั้น เนื่องจากข้อจำกัดของระบบไฟฟ้าจึงถูกพัฒนามาใช้เครื่องยนต์ดีเซลแทน เนื่องจากข้อดีในเรื่องของ “อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก” ที่ดีกว่า ปัญหาด้านระบบส่งกำลังเป็นปัญหาสำคัญของการใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาตัวต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นตัวต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า และขับเคลื่อนรถไฟโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอเตอร์ลากจูง (Traction motor) และเนื่องจากปัญหาจุกจิกในเรื่องของเครื่องยนต์ประสิทธิภาพในการทำงาน การบำรุงรักษา รวมถึงความก้าวหน้าในเทคโนโลยีด้านไฟฟ้า รถจักรไฟฟ้า จึงกลับเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้



Truck (Bogey)

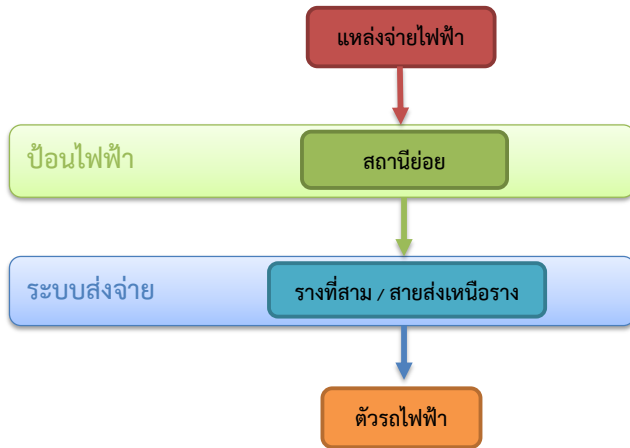
SCHEMATIC DIAGRAM OF MODERN U.S. DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE

- Engines may be V-12, V-16 or V-20
- Engine drives either an alternator (AC) or generator (DC)
- Traction motors are either DC or AC
- Motor blower blows air over traction motors to cool them

รูปที่ 4.1 Block diagram แสดงระบบรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า

(ที่มา: <http://en.wikipedia.org>)

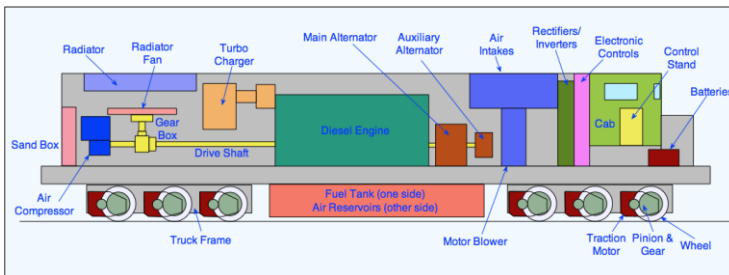
ระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ นับตั้งแต่หัวรถจักรชนิดเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบขนส่งทางราง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขับเคลื่อนขบวนรถไฟ เครื่องยนต์ดีเซลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าจะถูกถ่ายเทไปที่มอเตอร์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์แปลงไฟ การควบคุมความเร็วสามารถทำได้โดยการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้น และความเร็วของมอเตอร์ลากจูงสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปัญหาจุกจิกของเครื่องยนต์รถจักรไฟฟ้า และการทำงานที่มีประสิทธิภาพของมอเตอร์ซึ่งมากกว่า 90% การใช้ระบบไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงถูกพัฒนาขึ้น โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถ จะได้รับพลังงานจากสถานีจ่ายไฟฟ้าตรงไปยังรถไฟผ่านระบบสายส่ง ดังนั้น รถไฟฟ้าจึงมีการลงทุนในเบื้องต้นที่สูงกว่ารถไฟแบบธรรมดา เนื่องจากรถไฟต้องได้รับการป้องกันกระแสไฟฟ้าจากภายนอกตลอดระยะทางที่วิ่งไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องก่อสร้างสถานีย่อยตลอดเส้นทางที่รถไฟวิ่ง การป้องกันพลังงานไม่ว่าจะเป็นแบบรางที่สาม หรือแบบสายส่งเหนือราง อย่างไรก็ตาม ระบบรถไฟยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยการดึงพลังงานกลับมาใช้ประโยชน์ในขณะหยุดรถ (Regenerative braking) ได้ และในการควบคุมความเร็วของรถ จะใช้การควบคุมไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ลากจูงโดยตรง ซึ่งมีการควบคุมที่ง่ายกว่าการควบคุมผ่านเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 4.2 Block diagram แสดงลักษณะการส่งจ่ายพลังของรถไฟ

#### 4.1.1 รถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า

เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นต้นกำลังหลักจะต่อโดยตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักของรถไฟ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (Synchronous Generator) ซึ่งขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นอยู่กับกำลังที่รถจักรต้องการ เช่น รถจักร ALSTHOM Machine รุ่น Model TA 671 A3 ใช้เครื่องกำเนิดขนาด 1730 kVA และนอกจากนี้ยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟารอง (ชนิดเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักเพียงแต่ขนาดเล็กกว่า) ต่ออยู่ด้วย เพื่อสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กหลักให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลัก การผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟารองจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ช่วยในการผลิต ในขณะเดียวกันพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็ถูกนำไปประจุแบตเตอรี่ด้วย ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักจะใช้รับไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟารองผ่านอุปกรณ์แปลงไฟเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลัก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายให้กับมอเตอร์ลากจูงต่อไป

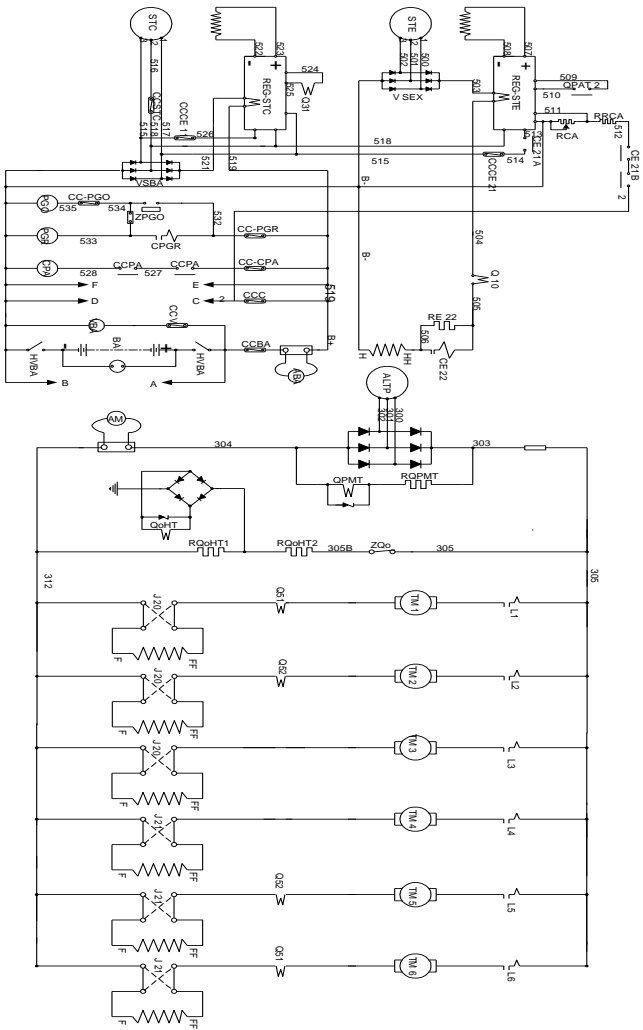


รูปที่ 4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักและเครื่องกำเนิดไฟฟารองในรถจักรชนิดเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า

(ที่มา: [www.railway-technology.com](http://www.railway-technology.com))

มอเตอร์ลากจูงที่ใช้ในรถไฟส่วนมากจะใช้ 4-6 ตัว ซึ่งแล้วแต่การออกแบบของรถไฟ เช่น 235 kW จำนวน 6 ตัว สำหรับหัวรถจักร ALSTHOM Machine รุ่น Model TA 671 A3 เป็นต้น นอกจากนี้ มอเตอร์ที่ใช้งานยังมีทั้งแบบไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นมอเตอร์ต่อแบบอนุกรม (Series motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Induction motor) โดย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ มีข้อดีในเรื่องของการบำรุงรักษาที่ง่ายกว่า และ  
น้ำหนักตัวที่เบากว่าที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องต้องมีตัวแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้า  
กระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งทำให้ค่าสูญเสียสูงขึ้น

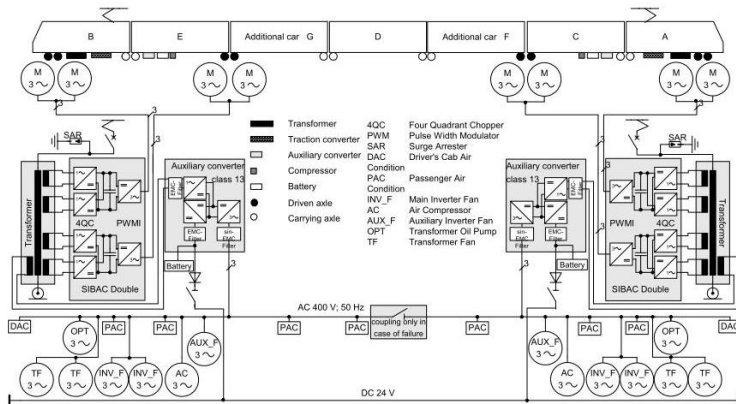


รูปที่ 4.4 ระบบไฟฟ้ากำลังในรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า

### 4.1.2 รถจักรแบบไฟฟ้า

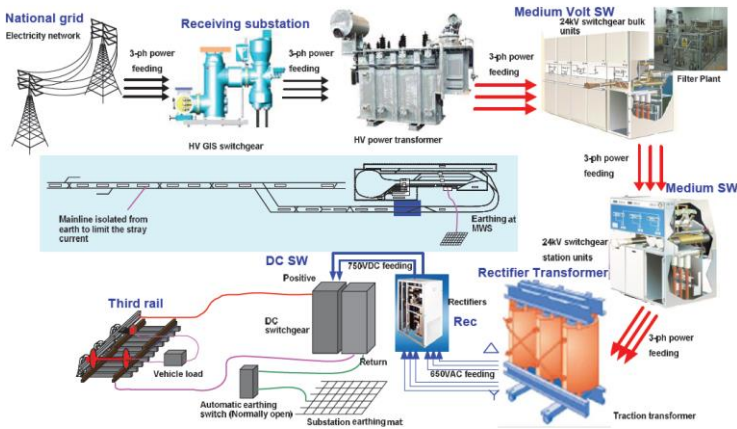
รถจักรไฟฟ้านอกจากจะแตกต่างจากรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้าตรงที่ไม่มีเครื่องยนต์เป็นตัวต้นกำลังแล้ว ระบบจัดการทางไฟฟ้าเป็นอีกระบบหนึ่งที่มีแตกต่างกันมาก โดยมีความยุ่งยากมากยิ่งขึ้น รถจักรไฟฟ้าจะรับไฟฟ้าจากภายนอกและผ่านตัวแปลงไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับระบบภายในรถไฟ เพื่อจ่ายเข้าระบบควบคุมความเร็วของรถไฟ ซึ่งนิยมใช้เป็นระบบควบคุมระดับแรงดันตามความกว้างของพัลส์ซ์ (จะกล่าวในส่วนของ การควบคุมความเร็ว) ระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในรถไฟมีหลายหลายระดับขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต เช่น ระบบไฟฟ้าของรถไฟ Siemens ไฟฟ้าที่เข้ามาในรถจะถูกลดระดับแรงดันลงโดยหม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันนี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ แรงดันที่ใช้ขับเคลื่อนตัวรถ และแรงดันที่ใช้ในระบบสนับสนุนอื่นๆ

แรงดันที่ใช้ขับเคลื่อนตัวรถจะถูกยกระดับให้สูงขึ้นให้เหมาะสมกับมอเตอร์ลากจูง เช่น 460-750 V 250 kW เป็นต้น โดยการยกระดับแรงดันขึ้นนี้จะต้องควบคุมทั้งแรงดันและความถี่ เพื่อที่จะสามารถควบคุมความเร็วของรถไฟได้ ส่วนแรงดันที่ใช้ในระบบสนับสนุนจะเป็นค่าแรงดันมาตรฐานที่ 400V 50Hz เพื่อให้ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เช่น แสงสว่าง ระบบประตู ระบบระบายความร้อน เป็นต้น รวมถึงการให้บริการแก่ลูกค้าด้วย



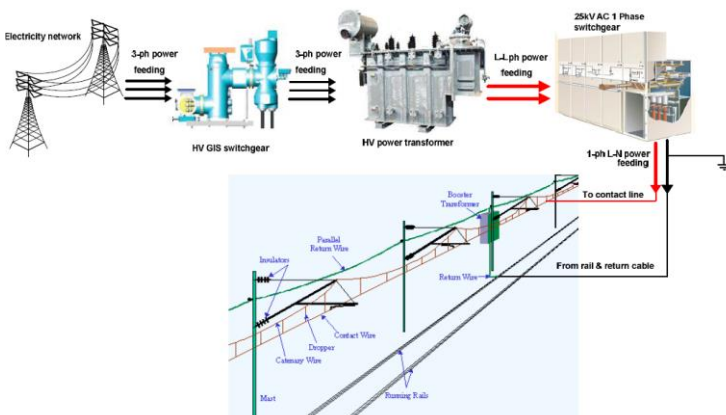
รูปที่ 4.5 ระบบไฟฟ้าในตัวรถของซีเมนส์

(ที่มา: บริษัท ซีเมนส์ จำกัด)



รูปที่ 4.6 ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ตัวรถของซีเมนส์

(ที่มา: บริษัท ซีเมนส์ จำกัด)



รูปที่ 4.7 ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ตัวรถของซีเมนส์

(ที่มา: บริษัท ซีเมนส์ จำกัด)



ระบบไฟฟ้าภายนอกสำหรับรถไฟเป็นอีกระบบหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากรถไฟไม่มีเครื่องยนต์ันกำลังอยู่บนรถ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟมีอยู่ 2 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทั้งสองระบบจะมีค่าแรงดันที่ระดับต่างๆ ตามมาตรฐาน BS EN 50163 and IEC 60850 ซึ่งระดับแรงดันจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเลือกวิธีการส่งผ่านไฟฟ้าเข้าไปในตัวรถนอกเหนือไปจากความเร็วในการเดินรถ

ตารางที่ 4. มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟ

| Electrification      | Nominal (V)     |
|----------------------|-----------------|
| D.C. (mean values)   | 600             |
|                      | 750             |
|                      | 1500            |
|                      | 3000            |
| A.C. (R.M.S. values) | 15000 (16.7 Hz) |
|                      | 25000 (50 Hz)   |

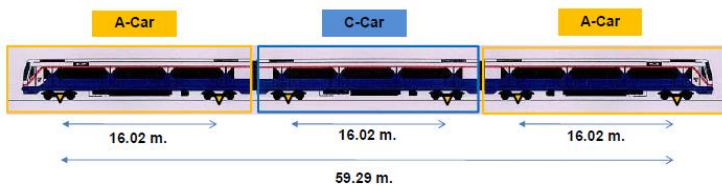
องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าภายนอกตัวรถคล้ายกับสถานีไฟฟ้าย่อยทั่วไป คือ ต้องมีระบบป้องกัน และมีหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงระดับแรงดันให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าที่ใช้ ส่วนที่แตกต่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยทั่วไป คือ ถ้าเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องมีชุดแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เป็นแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ในขณะที่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะมีหม้อแปลงแบบเรกติไฟเออร์พร้อมทั้งชุดเรกติไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนผ่านตู้อุปกรณ์ป้องกัน และจ่ายให้กับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟต่อไป

## 4.2 ระบบตัวรถไฟฟ้า

รถไฟในปัจจุบันมีการใช้พลังงานโดยแบ่งตามแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกเป็น 2 แบบ คือ ไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ตัวรถไฟฟ้ามีแบบแผนเริ่มจากรถไฟฟ้ากระแสตรงเพราะมีระบบที่ค่อนข้างง่าย แต่สายที่ใช้ต้องหนาและระยะทางสั้น จึงต้องมีการพัฒนาหรือปรับเปลี่ยนลักษณะการรับและเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ได้รับ เพื่อที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนตัวรถ และทำงานระบบอำนวยความสะดวกภายในรถ ภายใต้หลักการของรถไฟฟ้ากระแสตรงแบบเดิม

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ระบบเดินรถไฟที่ระบบแรกมีการผลิตตัวรถให้รองรับระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับการป้อนพลังงานไฟฟ้าแรงดันต่ำจากสถานีย่อยไปที่มอเตอร์ในตัวรถโดยตรง ที่พบมากที่สุดในยุคแรกของรถไฟฟ้า คือ ไฟฟ้ากระแสตรง 600 V และ 750 V สำหรับรถรางและรถไฟฟ้าใต้ดิน จากนั้นเริ่มพัฒนาต่อเพื่อใช้ในตอนใต้ของประเทศอังกฤษด้วยพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ 1,500 V และ 650/750 V นอกจากนั้นก็มีการพัฒนาเป็นระบบรางที่สามกระแสไฟฟ้าตรง 1,200 V ในประเทศเยอรมนี เพราะเหตุผลทางด้านค่าใช้จ่ายและความปลอดภัย จนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ. 1976 เริ่มมีการเปลี่ยนนําระบบสายส่งเหนือรางมาแทนที่ระบบรางที่สามทางตอนใต้ของประเทศอังกฤษ โดยใช้พลังงานกระแสตรงที่ 750 V และ 650 V เพื่อเชื่อมต่อการเดินทางของรถไฟฟ้าใต้ดินแบบเก่า จนมีแพร่ขยายออกไปหลายเมือง อาทิเช่น ในประเทศฝรั่งเศส แถวเมือง SNCF Culoz-Madane บริเวณเทือกเขาแอลป์ ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง 1,500 V

ในกลางศตวรรษที่ 20 หรือช่วงปี ค.ศ. 1909 ในประเทศใหญ่ อาทิเช่น เยอรมนี ออสเตรีย สวิตเซอร์แลนด์ นอร์เวย์ และสวีเดน เริ่มมีการเปลี่ยนระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ 15 kV 16.7 Hz ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ เพราะความสะดวกในลดค่าใช้จ่ายการสร้างสถานีย่อย แต่ก็ยังมีปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นมาก เพราะบริเวณหน้าสัมผัสรอยต่อบริเวณสายส่งมีการเสียดสีมากทำให้เกิดความร้อนสูง มีพลังงานสูญเสียสูง และการใช้คลื่นความถี่ต่ำ ต้องแปลงจากระบบไฟฟ้าอาคารโดยมอเตอร์ปั่นไฟฟ้าหรืออินเวอร์เตอร์แบบคงที่ (Static inverters) ที่ป้อนพลังงานจากสถานีย่อย หรือเครื่องปั่นไฟฟ้า ณ จุดต่อระหว่างสถานี จนปี ค.ศ. 1979 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้มีการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน โดยติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อควบคุมค่าความผันแปรของมอเตอร์



รูปที่ 4.8 ลักษณะตู้ (Car) ของรถไฟฟ้า

(ที่มา: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=97276494>)

ลักษณะขบวนรถโดยทั่วไปที่ประกอบขึ้นเป็น 1 ขบวน มี 3 ส่วน คือ

A-Car มีระบบขับเคลื่อนและห้องคนขับ (Driver Cab)

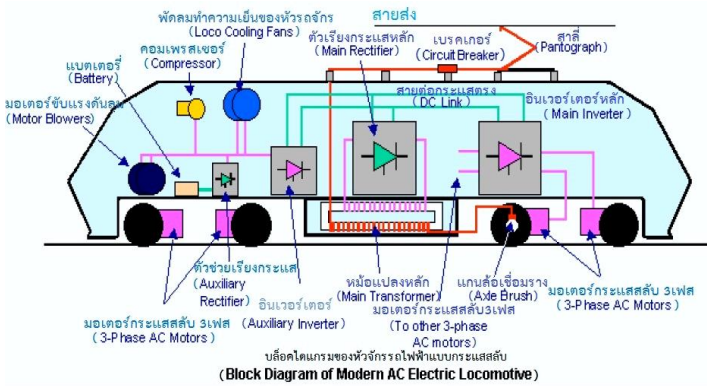
B-Car มีระบบขับเคลื่อนแต่ไม่มีห้องคนขับ (Driver Cab)

C-Car ไม่มีระบบขับเคลื่อนและห้องคนขับ (Driver Cab)

รถแต่ละขบวนส่วนมากมี 3 ตู้ (3 car train) โดยรถแบบ A-Car จะอยู่ตู้หน้าและตู้หลังของขบวน ส่วนรถแบบ C-Car จะอยู่ตู้กลางขบวน ขบวนรถไฟฟ้าแบบ 3 ตู้มียาวประมาณ 65.30 เมตร และมีความกว้างประมาณ 3.20 เมตร มีประตูเลื่อนกว้างประมาณ 1.40 เมตร จำนวน 12 บาน ตัวถังทำด้วยเหล็กปลอดสนิม ติดตั้งระบบปรับอากาศ พร้อมหน้าต่างชนิดกันแสง ซึ่งสามารถนำขบวนรถแบบ 3 ตู้จำนวน 2 ขบวน มาต่อพ่วงกันเป็นขบวนรถแบบ 6 ตู้ (Double 3 car train or 6 car train) ได้

ความจุของขบวนรถไฟฟ้าทั่วไปความจุโดยสารรวม 1 ขบวน (3 ตู้) ที่ 8 คน/ตารางเมตร ประมาณ 1,106 คน แบ่งเป็นความจุโดยสาร 1 ตู้ (นั่ง + ยืน) ประมาณ 368 คน จำนวนที่นั่ง 1 ตู้ 42 ที่นั่ง และจำนวนที่นั่ง 1 ขบวน 126 ที่นั่ง

การใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับของตัวรถนั้น จะมีลักษณะการรับพลังงานคล้ายๆ กัน เพียงแค่รถไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับมีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์บางส่วนให้เหมาะสมกับพลังงานที่ได้รับ อาทิเช่น มอเตอร์ขับเคลื่อน (จากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ) หรือเพิ่มเติมหม้อแปลง และวงจรเรียงกระแสใส่เข้าไปเพื่อส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังระบบทำความเย็นภายในตัวรถ และแบตเตอรี่สำรอง ซึ่งจะมีรูปแบบการจัดเรียงโดยทั่วไปคล้ายกันทั้งสองรูปแบบภายใต้ระบบที่เป็นระบบเดียวกันดังเช่นตัวอย่างของรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.9 Block diagram แสดงหัวรถจักรไฟฟ้าแบบกระแสสลับ

(ที่มา: <http://www.railway-technical.com/elec-loco-bloc.shtml>)

### 4.3 การควบคุมความเร็วรถไฟ

การควบคุมความเร็วของรถไฟ สามารถควบคุมได้ผ่านการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ลากจูง ในหัวรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้การควบคุมรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งต่อโดยตรงเข้ากับเพลาล้อ เท่ากับเป็นการควบคุมความเร็วโดยตรง สำหรับหัวรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า ใช้วิธีการควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์เช่นเดียวกัน แต่ผลของความเร็วเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นหรือต่ำลง ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าที่ระดับแรงดันสูงขึ้นหรือต่ำลงเช่นเดียวกัน จากระดับแรงดันที่เปลี่ยนไปนี้ถูกส่งไปให้มอเตอร์ลากจูงที่ต่อกับเพลลาโดยตรง ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของรถไฟได้

#### 4.3.1 พื้นฐานการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า

จากที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นว่ามอเตอร์ที่ใช้ในรถไฟส่วนใหญ่จะมี 2 ประเภทหลัก คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอนุกรม และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ ทั้งสองประเภทนี้มีการควบคุมการทำงานที่แตกต่างกัน ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หลักการที่สำคัญ คือ การสร้าง

สนามแม่เหล็กกระตุ้น  $\phi$  ที่สวนอยู่กับที่ และในขณะที่เดียวกันก็สร้างสนามแม่เหล็กหลักในส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านกระแสไฟฟ้า  $I_m$  และทำให้เกิดแรงบิดตามสมการที่ (1)

$$T = kI_m\phi \quad (1)$$

$k$  = ค่าคงที่

เนื่องจากมอเตอร์เป็นชนิดอนุกรม ซึ่งกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กเป็นกระแสตัวเดียวกับกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ดังนั้น แรงบิดที่เกิดขึ้นจึงมีค่าแปรผันตามค่ายกกำลังสองของกระแสจ่ายเข้ามอเตอร์ และแรงบิดจะยิ่งสูงถ้ากระแสยังมีค่าสูงเนื่องจากมอเตอร์จะดึงกระแสสูงขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับรถไฟ เนื่องจากขณะออกตัวผลของน้ำหนักกระทำให้ต้องการแรงบิดสูงเพื่อให้สามารถออกตัวได้ สำหรับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะขึ้นอยู่กับแรงดันจ่ายเข้ามอเตอร์  $V_m$  ดังสมการที่ 2

$$N = k(V_m - I_m R_m) / \phi \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่า ความเร็วของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับแรงดันจ่ายเข้ามอเตอร์ ซึ่งขณะที่รถไฟวิ่งหรือออกตัวแล้ว มอเตอร์จะดึงกระแสต่ำลงเนื่องจากค่าแรงบิดที่ต้องการลดต่ำลง การเพิ่มความเร็วทำได้โดยการเพิ่มแรงดันจ่ายเข้ามอเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น

กรณีมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กหมุน ซึ่งเกิดขึ้นจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟสเข้าไปในขดลวดในส่วนอยู่กับที่ ในขณะที่สนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ ตัวมอเตอร์ จะเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบนส่วนเคลื่อนที่ซึ่งต่อครบวงจรอยู่ จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของส่วนเคลื่อนที่ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นผลให้เกิดการดูดและผลักของสนามแม่เหล็กทั้งในส่วนอยู่กับที่และส่วนเคลื่อนที่ จนเกิดการหมุนของส่วนเคลื่อนที่ขึ้น ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำนี้ สามารถควบคุมได้ทั้งแรงบิดและความเร็วเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยแรงบิด  $T$  สามารถควบคุมได้ด้วยแรงดัน ในขณะที่ความเร็ว  $N$  สามารถควบคุมได้ด้วยความเร็วดังสมการที่ (3)

$$\left. \begin{aligned} T &\propto V^2 \\ N &= \frac{120f}{P} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

เมื่อ  $f$  = ความถี่

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

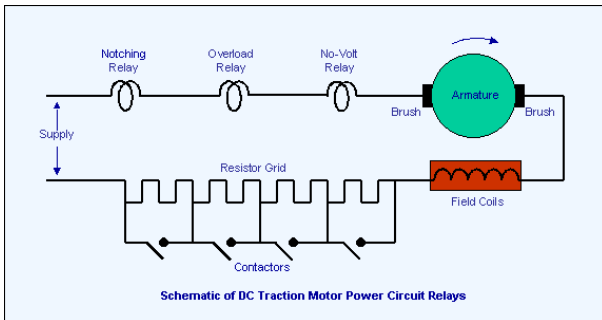
โดยทั่วไปการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ จะพิจารณาอัตราส่วนของแรงดันกับความถี่ให้มีค่าคงที่เสมอ เนื่องจากการปรับความถี่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว จะทำให้การให้แรงบิดตกลงเนื่องจากกระแสจ่ายเข้ามอเตอร์ตกลง และเช่นเดียวกันถ้าจ่ายแรงดันมากเกินไปจะทำให้กระแสจ่ายเข้าสูงเกินพิกัด และถ้าจ่ายแรงดันต่ำก็ทำให้ความเร็วขณะทำงานตกลง

#### 4.3.2 เทคนิคการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า

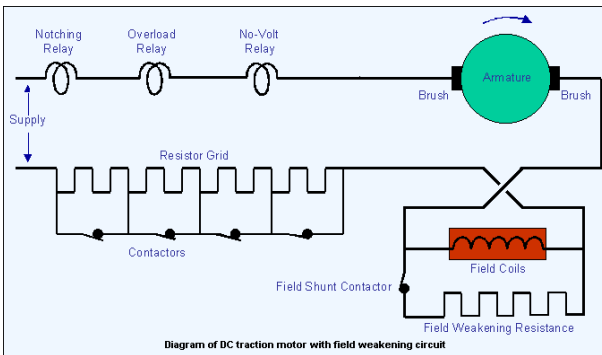
การควบคุมความเร็วรถไฟในกรณีรถไฟแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า จะใช้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าผ่านการควบคุมรอบของเครื่องยนต์ดีเซล ในขณะที่รถไฟที่ใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนมาควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ลากจูงโดยตรง ในกรณีใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เทคนิคง่าย ๆ ในการควบคุมความเร็ว คือ การต่ออนุกรมความต้านทานเข้าไปกับตัวมอเตอร์ เป็นผลให้มีแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทาน และแรงดันส่วนที่เหลือจะจ่ายให้กับมอเตอร์ซึ่งมีขนาดต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่าย เทคนิคนี้จะมีปัญหาเรื่องการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรม และเนื่องจากต้องรับกระแสที่สูงมาก ตัวต้านทานนี้จะต้องถูกออกแบบมาเฉพาะเพื่อให้ทนกระแสได้ การควบคุมความเร็วลักษณะนี้จะใช้ในขณะออกตัวจนถึงความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์ลากจูงทำได้ คือ การเพิ่มแรงดันให้กับมอเตอร์ลากจูงให้มีค่าเท่ากับแรงดันแหล่งจ่าย หรือการปลดความต้านทานที่ต่ออนุกรมทั้งหมดในวงจรออก

มอเตอร์ลากจูงที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม สามารถเพิ่มความเร็วรอบให้สูงกว่ากรณีจ่ายแรงดันที่พิกัดให้กับมอเตอร์ลากจูงได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยลดกระแสที่จ่ายเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กโดยการต่อขนานความต้านทานเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (field weakening) ซึ่ง

ถ้าสนามแม่เหล็ก ( $\phi$ ) ลดลงความเร็วก็จะเพิ่มขึ้นตามสมการที่ (2) แต่จะมีผลให้ค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นตกลงตามสมการที่ (1) ดังนั้นวิธีการนี้จะใช้ในขณะที่รถวิ่งอยู่ซึ่งไม่ต้องการแรงบิดสูงมากนัก



รูปที่ 4.10 การควบคุมความเร็วรถไฟแบบใช้ความต้านทานอนุกรม (Rheostat)  
(ที่มา: <http://www.railway-technical.com/tract-01.shtml>)

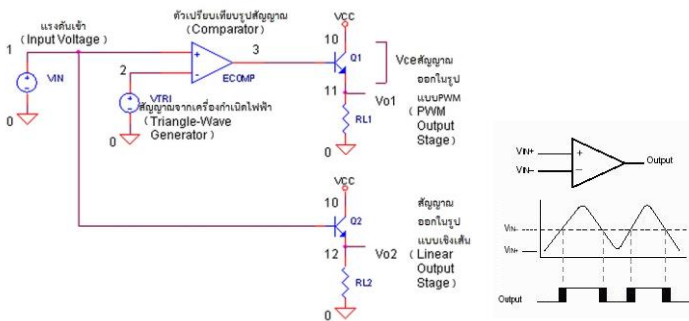


รูปที่ 4.11 การเพิ่มความเร็วรถไฟแบบใช้ความต้านทานขนานเข้ากับขดลวดสนาม  
(Field weakening)

(ที่มา: <http://www.railway-technical.com/tract-01.shtml>)

จากปัญหาของค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานและความก้าวหน้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ (Pulse width modulation : PWM)

เป็นเทคนิคใหม่ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะนอกจากจะลดปัญหาเรื่องการสูญเสียแล้วยังมีขนาดที่เล็กกว่า และมีการควบคุมที่แม่นยำกว่า เพราะมีผลของความผิดพลาดอันเนื่องมาจากความร้อนน้อยกว่า การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าแบบนี้ อาศัยหลักการหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นสัญญาณระหว่างค่าสูงสุดกับศูนย์ของสัญญาณพัลส์ซ์ เช่น ถ้าสัญญาณช่วงสูงสุด (on) มีค่าเป็น 40% ของคาบเวลา หมายความว่า แรงดันเฉลี่ยจะมีค่าเป็น 40% ของค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน ซึ่งเท่ากับถ้าเราสามารถควบคุมให้ความกว้างของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ จะเท่ากับเป็นการปรับระดับค่าแรงดันจ่ายออกให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เช่นเดียวกัน ซึ่งจะไปช่วยในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ในลักษณะของการแก้ไขสัญญาณเข้าวงจร เมื่อชะลอความเร็วรถไฟ มักจะมีลักษณะที่ไม่เรียบเท่าที่ควร วงจร PWM จะนำสัญญาณมาเปรียบเทียบกับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดและพยายามปรับรูปคลื่นสัญญาณให้มีลักษณะเรียบมากยิ่งขึ้น โดยการขยายสัญญาณกระแสและความถี่ให้กว้างขึ้นไปตามสัดส่วนของแรงดันไฟฟ้า



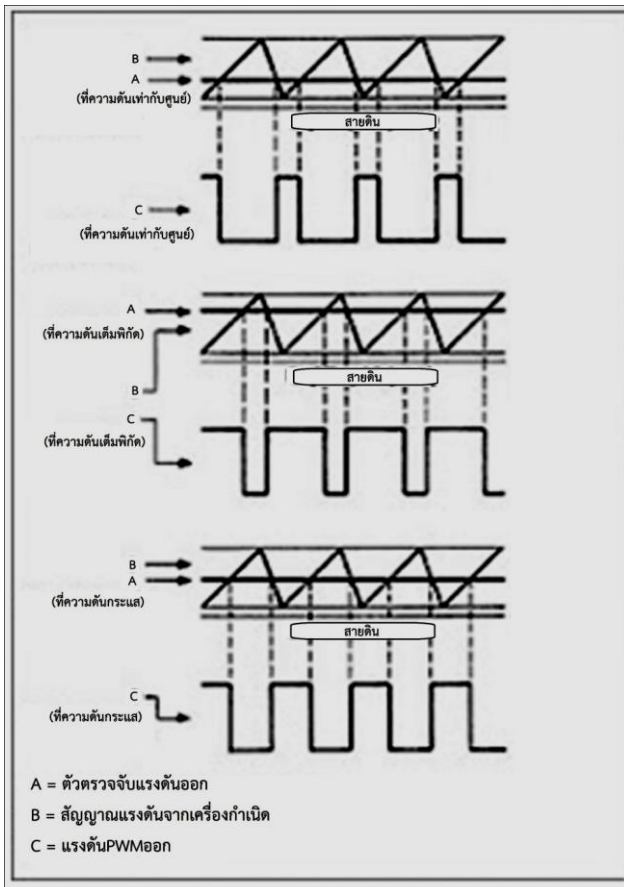
รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างลักษณะของวงจร Pulse width modulation (PWM)

(ที่มา: <http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/pwm/pwm.html>)

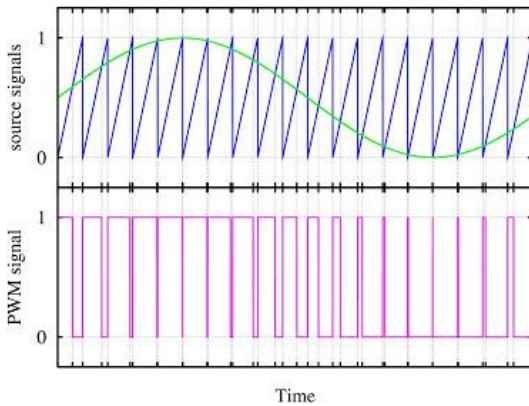
จากรูปที่ 4.12 สัญญาณ PWM นี้สามารถสร้างด้วยวงจรคอมพาราเตอร์หรือวงจรเปรียบเทียบนั่นเอง และวงจรที่นิยมใช้กัน คือ Op-Amp ลักษณะการทำงานสามารถอธิบายได้ง่ายๆ คือ การปรับความกว้างของพัลส์ซ์ โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกับกัน และสองสัญญาณที่วางก็คือ สัญญาณ "สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ซ์ อาทิเช่น ถ้าเรา



นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างคงที่ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 รูปการนำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม



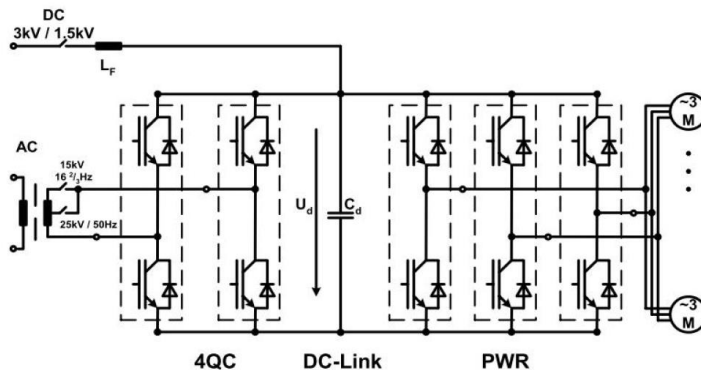
รูปที่ 4.14 แสดงตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับก่อนเข้าวงจรPWMและหลังถูกปรับสัญญาณ

(ที่มา : <http://www.scottpages.net/ReviewOfControllers.html>)

การควบคุมรูปคลื่นไฟฟ้าแบบ PWM ถูกนำมาใช้อย่างแพร่ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนมอเตอร์ลากจูงจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมไปเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำด้วย พิจารณาได้จากสมการที่ 3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำในระยะแรกๆ จะใช้การควบคุมความถี่ ซึ่งส่งผลต่อกำลังของมอเตอร์ที่จ่ายออกมาด้วย หลังจาก PWM ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงในการมอดูเลต เปลี่ยนเป็นการใช้รูปคลื่นซายน์ในการมอดูเลตแทน ส่งผลให้เราสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ของรูปคลื่นในเวลาเดียวกัน (Variable voltage, variable frequency : VVVF) ซึ่งให้ผลในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำได้ทั้งกำลังและความเร็วในขณะเดียวกัน

รูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับจะถูกนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ IGBT (insulated gate bipolar transistor) ซึ่งทนกระแสสูงและแรงดันสูงกว่าทรานซิสเตอร์ทั่วไป อีกทั้งยังควบคุมการทำงานที่ง่ายกว่าโดยใช้สัญญาณแรงดันช่วง -20 – 20 V เท่านั้น ข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ ในขณะที่มีการหยุดรถจะเกิดพลังงานมหาศาลไหลย้อนกลับจากมอเตอร์ซึ่งเปลี่ยนสภาวะการทำงานไปเป็น

เครื่องกำเนิด พลังงานที่ได้รับนี้มีค่าสูงมากสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบได้ (Regenerative breaking)



รูปที่ 4.15 วงจรการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

(ที่มา: บริษัท ซีเมนส์ จำกัด)

#### 4.4 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถ

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้ามีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบกระแสตรง (Direct Current: DC) และระบบกระแสสลับ (Alternating Current: AC) ส่วนระบบการป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้ามีสองระบบ คือ ระบบรางที่สาม (Third Rail System) และระบบสายส่งเหนือราง (Overhead Wire System) ระบบรางที่สามมีข้อดีในเรื่องผลกระทบต่อด้านมลพิษทางสายตา เพราะไม่มีโครงสร้างของระบบป้อนกระแสไฟฟ้าที่รกรุงรังอยู่เหนือราง แต่มีข้อจำกัดทางด้านความปลอดภัยและการใช้งาน จึงเหมาะสมกับระบบขนส่งมวลชนที่ไม่มีคนและสัตว์เลี้ยงเดินบนทางรถไฟ แต่สำหรับระบบการใช้สายส่งเหนือรางจะตรงข้าม เพราะมีโครงสร้างของระบบสายส่งรกรุงรังอยู่เหนือรางไม่น่าดู จึงมักใช้กับการเดินรถไฟทางไกล ขบวนรถเร็วและมีแรงดันสูง ซึ่งไม่สามารถใช้ระบบรางที่สามได้

##### 4.4.1 ระบบรางที่สาม (Third Rail System)

รถไฟที่ใช้รางที่สามเป็นตัวจ่ายพลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อนตัวซึ่งมียาวตลอดตามเส้นทางเดินรถ โดยมีตัวสัมผัสเพื่อจ่ายกระแสเข้าสู่ตัวรถที่เรียกว่า ชูและชูเกียร์ (Shoe & Shoe gear) ที่มีลักษณะการเชื่อมต่อได้หลากหลายรูปแบบดังรูป 4.16 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบสายส่งเหนือรางแล้ว แบบรางที่สามนั้นมีอันตรายต่อคน สัตว์ หรือสิ่งของต่างๆ ที่อาจเข้ามาสัมผัสกับรางได้นอกจากนั้นอากาศที่เลวร้ายยังส่งผลต่อการเดินรถไฟที่สามด้วยเช่นกัน

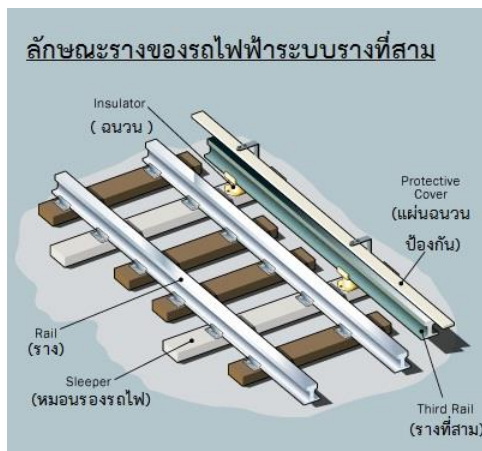


(ที่มา : <http://changthaidotcom.wordpress.com>)

(ที่มา : <http://www.skyscrapercity.com>)

รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบรางที่สาม

ระบบรางที่สามของรถไฟนั้นแตกต่างจากรถไฟที่รู้จักกันตรงที่ว่า รางที่สามที่มีหน้าที่เป็นทางเดินของไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเดินรถไฟที่สาม ซึ่งมีลักษณะการติดตั้งโดยทั่วไปดังรูปที่ 4.17



**รูปที่ 4.17** แสดงลักษณะรางมาตรฐานของรถไฟไฟฟ้าแบบรางที่สาม

(ที่มา: <http://hemantschronicle.blogspot.com>)

นอกเหนือจากรางที่เป็นตัวนำไฟฟ้าแล้ว รถไฟฟ้ายังมีตัวนำเพื่อเชื่อมต่อและส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังตัวรถโดยผ่านหน้าสัมผัสหรือขาต่อ (Shoe) ที่เชื่อมต่อติดอยู่กับหมอนรองรางรถไฟบริเวณด้านข้างของราง ยึดไว้กับฉนวน ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ แบบหน้าสัมผัสด้านบน แบบหน้าสัมผัสด้านบนมีแผ่นป้องกัน แบบหน้าสัมผัสด้านข้าง และแบบหน้าสัมผัสด้านล่าง ตามลักษณะการเชื่อม ดังรูปที่ 4.18



**รูปที่ 4.18** ลักษณะการติดตั้งหน้าสัมผัสของรถไฟฟาระบบรางที่สาม

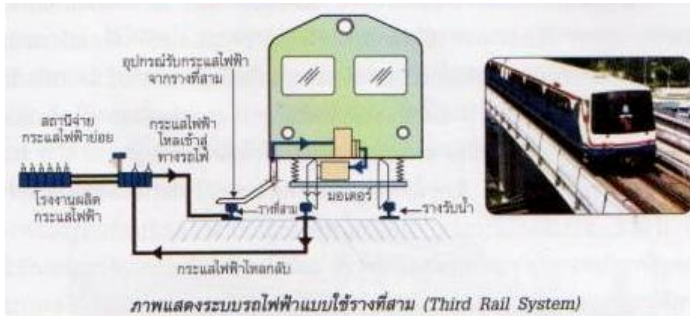
(ที่มา: <http://english.stackexchange.com/questions/73874>)



**รูปที่ 4.19** ลักษณะของหน้าสัมผัสหรือขาต่อจากรถไฟฟ้า (Shoe)

(ที่มา: Railway E&M Department)

ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไปจนถึงตัวรถไฟฟาระบบรางที่สามนั้น จะใช้การส่งผ่านพลังงานระหว่างสถานีกับตัวรถไฟฟาด้วยรางทั้งสี่ โดยจะมีการส่งพลังงานได้หลายรูปแบบภายใต้รูปแบบรางที่สามเดียวกัน คือ พลังงานจากสถานีจะถูกส่งผ่านรางที่สามไปยังตัวรถไฟฟ่า ใช้ในการขับเคลื่อนรถ เปิดใช้งานระบบไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศภายในรถไฟฟ่า หลังจากนั้นพลังงานที่เหลือออกจากรถทางระบบรางที่เชื่อมต่อบริเวณล้อด้านใดด้านหนึ่ง เพื่อให้ระบบไฟฟ้าครบวงจร



รูปที่ 4.20 ระบบรถไฟแบบใช้รางที่สาม

(ที่มา: นคร จันทศร. 2555. ช่างรถไฟ)

#### 4.4.2 ระบบการใช้สายส่งเหนือราง (Overhead Wire System)

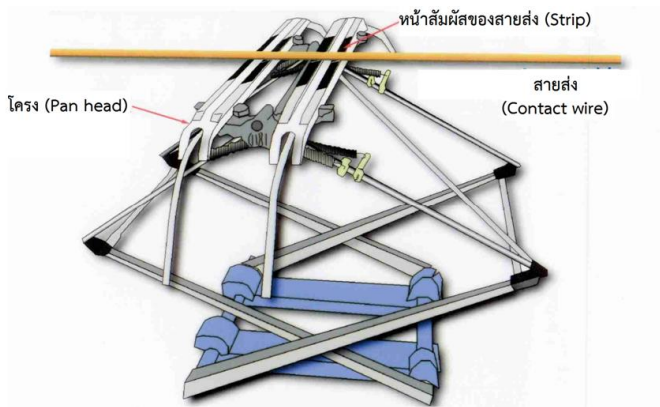
ระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือราง ประกอบด้วย เสารับน้ำหนัก (Overhead Catenary System pole: OCS Pole) ปักเรียงตลอดข้างทางรถไฟ มีระยะห่างกันประมาณ 50-60 เมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายส่งและความเร็วขบวนรถที่วิ่งผ่านสายส่ง (Contact Wire) ที่สัมผัสกับสาลี่ ออกแบบให้มีร่องด้านบนไว้เพื่อค้ำปีกค้ำที่ติดอยู่กับสายแขวน (Hanger) ปลายอีกด้านหนึ่งจะยึดติดอยู่กับสายรับน้ำหนัก (Messenger Wire)



รูปที่ 4.21 สายส่งเหนือราง

(ที่มา: <http://www.tramz.com/tw/la04.jpg>)

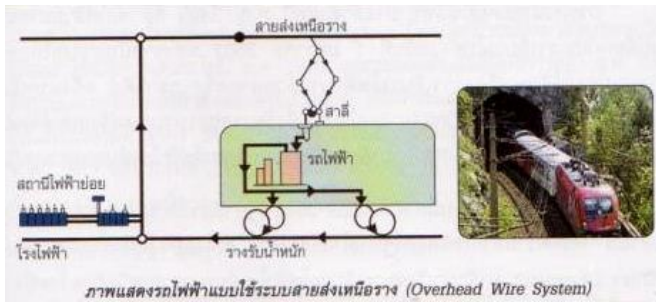
สายส่งเหนือรางจะใช้หลักการทางกลศาสตร์ของสายไฟและแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนมากกว่าแบบรางที่สาม แต่รูปแบบสายส่งเหนือรางสามารถทนต่อสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยได้หลากหลาย โดยส่วนประกอบหลักที่เรียกว่า โข้วตัวนำสายลี้ หรือเคเทนนารี (Catenary) ซึ่งในปัจจุบันจะออกแบบโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้มีความแข็งแรง สมดุล และสามารถเปลี่ยนถ่ายไปยังรถที่วิ่งรางถัดไปได้ ติดตั้งบริเวณด้านบนของตัวรถ ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อพลังงานจากสถานีไปยังตัวรถ โดยตามมาตรฐานมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ หน้าสัมผัสของสายส่ง (Strip) โครง (Pan head) และสายส่ง (Contact wire) และคุณสมบัติของสายส่งที่สำคัญ คือ การเคลื่อนที่ของคลื่นให้เรียบ



รูปที่ 4.22 ลักษณะของสายลี้หรือโครงสายส่งแบบเหนือรางแบบมาตรฐาน (Standard Pantograph)  
(ที่มา: Railway E&M Department)

สายลี้หรือเคเทนนารี (Catenary) นั้น จะรับพลังงานจากสถานีที่ถูกส่งมาตามสายส่งเหนือรางเข้าไปที่ตัวรถออกไปที่รางครบวงจร





รูปที่ 4.23 รถไฟฟ้าแบบใช้สายส่งเหนือราง (Overhead Wire System)

(ที่มา: นคร จันทศร. 2555. ช่างรถไฟ)

#### 4.5 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟ

รถไฟฟ้าจะใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้า นำมาแปลงตามลักษณะของรถไฟในแต่ละท้องถิ่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับมาให้อยู่ในสถานะและระดับที่เหมาะสม เพื่อส่งเข้าไปสู่ระบบเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าและนำไปใช้ในการขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้า



(System)

## รูปที่ 4.24 สถานีไฟฟ้าย่อย

(ที่มา: <http://www.railway-technology.com>)

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟนั้นมีอยู่ 2 ระบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในแต่ละภูมิภาค โดยแบ่งออกตามลักษณะของระบบกระแสไฟฟ้าดังนี้

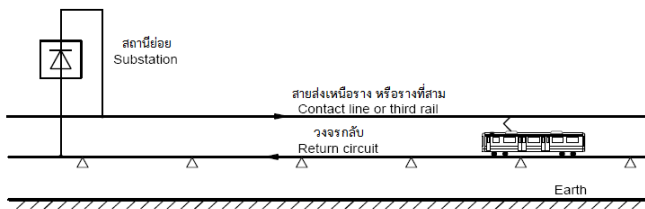
### 4.5.1 ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่นิยมสำหรับเส้นทางเพียงระยะสั้นๆ อาทิเช่น การเดินทางภายในเมืองหรือเมืองใกล้เคียง ซึ่งเป็นที่นิยมในสมัยก่อนจนถึงปี ค.ศ. 1960 แต่อย่างไรก็ตาม บางเมืองแถบทวีปยุโรปยังคงมีการใช้ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในระบบรถไฟสายหลัก 650 V เพื่อใช้เชื่อมต่อกับรถไฟใต้ดินที่ใช้ระบบ 750 V เนื่องจากง่ายต่อการควบคุม และลักษณะการทำงานของมอเตอร์ที่มีขนาดเล็ก ส่งผลต่อตัวรถไฟที่มีน้ำหนักเบา ใช้พลังงานน้อย และหม้อแปลงขนาดกลาง แต่ต้องใช้สายหนาในระยะทางที่สั้น

การตั้งสถานีย่อยของระบบรถไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะติดตั้งทุกๆ 3-4 กิโลเมตร เพราะกระแสสูง แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 600-750 V ตามที่นิยม 1500-3000 V สำหรับรถราง และรถไฟฟ้าระบบรางที่สามในทางตอนใต้ของอังกฤษ เพราะจำพวกแรงดันไฟฟ้าต่ำมักจะใช้กับรถไฟฟ้าที่ใช้ 3-4 ราง ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า 1 kV โดยมากจะถูกจำกัดเพื่อความปลอดภัย จึงนิยมใช้สำหรับรถไฟนอกเมืองใหญ่ อาทิเช่น เมืองฮัมบวร์ก (Hamburg) ประเทศเยอรมนี จะใช้รถไฟที่แรงดันราวประมาณ 1200 V ในประเทศฝรั่งเศส ย่านโคลลอต โมเดน (Culoz-Modane) ในเทือกเขาแอลป์ใช้ 1500 V กับแบบรางที่สามจนกระทั่งปี ค.ศ. 1976 เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ จะใช้อุปกรณ์กึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพื่อปรับลดแรงดันจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงบริเวณตัวป้อนพลังไฟฟ้า (Utility supply) นอกจากนั้นยังมีเครื่องยนต์ช่วยเสริมบางอย่าง เช่น พัดลม และตัวระบายอากาศ (Compressor) เนื่องจากพลังงานจากมอเตอร์มีการป้อนเพิ่มแรงจากตัวป้อนพลังงานไฟฟ้า (Traction Supply) ที่มีขนาดใหญ่มาก เพราะขนาดของฉนวนป้องกันนั้นมีขนาดใหญ่ ตามขนาดของแรงดันที่สูง

พลังงานจากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบมอเตอร์ (Motor-Generator) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเปิดหลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent light) โดยการต่อสายแบบอนุกรม ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาจนเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent light) ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปยังรถไฟ  
โดยผ่านสายส่งเหนือรางหรือรางที่สาม

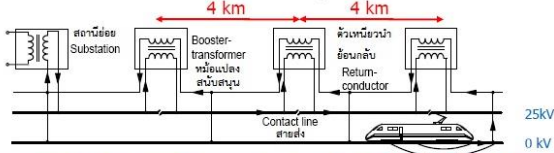
#### 4.5.2 ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ในทุกวันนี้ระบบความถี่กระแสสลับยังมีมาตรฐานที่ไม่แน่ชัด การตัดสินใจโดยมากจะขึ้นอยู่กับหม้อแปลงและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับปัจจุบันสามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำจากการใช้งานจริง ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียพลังงาน แต่สิ่งสำคัญที่ทำให้ประเทศส่วนมากเลือกระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ คือ สามารถเพิ่มแรงดันได้ง่ายกว่าแบบกระแสตรงเพื่อการส่งผ่านสื่อกลางในระยะทางได้ไกลขึ้น ทำให้ไม่ต้องตั้งสถานีย่อยมาก

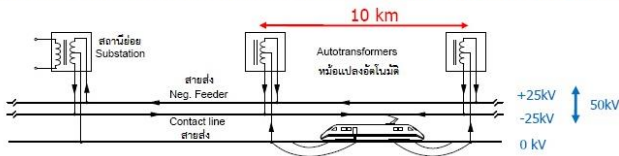
ลักษณะการป้อนพลังงานไฟฟ้าในการใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มี 3 รูปแบบ คือ ระบบแบบปกติ ระบบแบบใช้หม้อแปลงสับเปลี่ยน และระบบแบบหม้อแปลงอัตโนมัติ ซึ่งโดยรวมแล้วหลักการทั่วไปจะมีการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีย่อยเพื่อส่งเข้าสู่ตัวรถไฟ และไหลย้อนกลับไปครบวงจร แต่วงจรแบบใช้หม้อแปลงสับเปลี่ยนและแบบหม้อแปลงอัตโนมัตินั้นจะมีอุปกรณ์เสริมคือ หม้อแปลงตามข้อสังเกตของการต่อของวงจรดังกล่าว



ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หม้อแปลงสับเปลี่ยน (Booster Transformer System)



ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบหม้อแปลงอัตโนมัติ (Auto Transformer System)



รูปที่ 4.26 ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

#### 4.5.2.1 กระแสสลับความถี่ต่ำ

ปกติแล้วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเชื่อมต่อและป้อนไฟฟ้ากระแสสลับด้วยได้ เพราะปัจจุบันการกลับขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่ส่งผลของทิศทางแรงบิด แต่ก็ไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับการเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ การเหนี่ยวนำจำนวนมากของกระแสของแกนที่ไม่มีกระแสไหล จะทำให้เกิดความร้อนสูงและเสื่อมประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว

ในระบบกระแสสลับความถี่ต่ำจะสามารถป้อนไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงได้หลากหลายวิธี ช่วยให้มีมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าลดการสูญเสียพลังงานจากแรงต้านทาน ทำให้สามารถขับเคลื่อนเครื่องจักรด้วยมอเตอร์ขนาดเล็กที่ขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานจากหม้อแปลงแรงดันต่ำ

การใช้คลื่นความถี่ต่ำนี้จะต้องแปลงไฟฟ้าจากระบบอาคารบ้านเรือน โดยใช้มอเตอร์ปั่นไฟหรืออินเวอร์เตอร์ที่แยกออกจากสถานีไฟฟ้าโดยสิ้นเชิง

#### 4.5.2.2 รถไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

รถไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นแบบที่มีใช้มากในปัจจุบัน เริ่มมีใช้ในประเทอิตาลี สวิสเซอร์แลนด์ และสหรัฐอเมริกาในต้นศตวรรษที่ยี่สิบ โดยมีประเทศอิตาลีเป็นผู้ใช้หลัก สำหรับพื้นที่ที่เป็นภูเขาทำตอนเหนือตั้งแต่ปี ค.ศ. 1901 จนถึงปี ค.ศ. 1976

ระบบความถี่ต่ำ (16Hz) นั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับระบบความถี่สูงที่ช่วยให้มีระบบหยุดที่ตอบสนองได้ดีกว่า แต่ต้องใช้ตัวป้อนพลังงานสองถึงสามตัวที่มีสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้มีความเร็วรถที่คงที่

#### 4.5.2.3 การเปลี่ยนจ่ายของหม้อแปลงระหว่างสถานีของกระแสสลับ

การเปลี่ยนจ่ายของหม้อแปลงระหว่างสถานี (Neutral sections) ของกระแสสลับนั้น มีความซับซ้อนมาก จะใช้ทรานซิลเตอร์หรือวงจร IGBT เพื่อสับหรือแปลงความถี่ให้สัญญาณมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ทำให้เป็นระบบที่ประหยัดพลังงานมาก แต่ก็มีข้อเสีย คือ ระบบจะถูกสัญญาณภายนอกรบกวน และการสลับเฟสของสายส่ง เพื่อป้องกันการสลับเฟสกันของสายส่งในการเลือกช่องทางในการป้อนพลังงานจากสถานีคนละสถานีที่บริเวณรอยต่อของสถานี จะต้องมีความระมัดระวังมากเป็นพิเศษโดยใช้การแบ่งเฟสต้องทำให้สถานีที่ผ่านมาตัดพลังงาน พร้อมกับสถานีที่ถึงต่อไปป้อนต่อมาทันที ทำให้การป้อนพลังงานไปถึงโดยทั่วถึงนั้นและตลอดเส้นทางนั้น ด้านตัวกลางรอยต่อของสถานี (Neutral sections) จะประกอบด้วย ลูกถ้วยเซรามิกที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการกระตุกของสัญญาณไฟฟ้า และลวดสายดินที่ถูกแยกออกจากสายป้อนทั้งสองสายด้วยฉนวน เพื่อป้องกันกระแสไฟรั่ว และพลังไฟฟ้าเกินกว่าระบบที่จะรับได้ปลอดภัย ซึ่งโดยทั่วไปนั้นการสับเบรกเกอร์นั้นจะเป็นหน้าที่ของพนักงานขับรถไฟฟ้า โดยสัญญาณเตือนจะถูกส่งไฟที่ส่วนกลางก่อนเพื่อวินิจัย และสั่งการให้คนขับรถสับเบรกเกอร์หยุดเดินขบวน ซึ่งการใช้เบรกเกอร์เป็นตัวตัดสัญญาณไฟฟ้า จะทำให้เกิดความขัดข้องในการเดินรถไฟในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การใช้สายดินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะป้องกันพลังงานไฟฟ้าที่เกินให้แบ่งลงพื้นดินอย่าง

ในสหราชอาณาจักรนั้น จะเรียกระบบนี้ว่า ระบบเปิด-ปิดพลังงานอัตโนมัติ (Automatic Power Control: APC) โดยใช้ชุดแม่เหล็กถาวรบริเวณข้างทางในการสื่อสารกับเครื่องตรวจจับบนรถไฟไฟฟ้า ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของสัญญาณไฟฟ้าบริเวณรอยต่อโดยอัตโนมัติ

## บทสรุป

ระบบรถไฟฟ้ที่ใช้ในระบบราง แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบไฟฟ้าของรถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าของรถจักรไฟฟ้า ซึ่งมีความแตกต่างกัน คือ รถจักรแบบเครื่องยนต์ดีเซล-ไฟฟ้า จะไม่มีเครื่องยนต์เป็นตัวต้นกำลัง และระบบจัดการทางไฟฟ้าเป็นอีกระบบหนึ่งที่มีแตกต่างกันมาก โดยมีความยุ่งยากมากยิ่งขึ้น ส่วนรถจักรไฟฟ้าจะรับไฟฟ้าจากภายนอกและผ่านตัวแปลงไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับระบบภายในรถไฟ เพื่อจ่ายเข้าระบบควบคุมความเร็วของรถไฟ

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟมี 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC)

ระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่นิยมใช้กันมาก คือ ระบบกระแสตรงขนาดแรงดันไฟฟ้า 750 V จะใช้ควบคู่กับระบบป้อนกระแสไฟฟ้าแบบรางที่สาม และระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันไฟฟ้า 1500/3000 V ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นมาอีกระดับหนึ่งและมีความถี่ต่ำกว่า จึงมักจะใช้กับระบบสายส่งเหนือหัว

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยมใช้กันมาก คือ ขนาดแรงดัน 25,000 V หรือที่เรียกว่าระบบ 25 kV Single Phase at Industrial Frequency ซึ่งจะมีส่วนที่แตกต่างกันไปบ้างตามระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละประเทศ เช่น บางประเทศใช้ความถี่ 16 2/3 Hz บางประเทศใช้ 50 Hz และบางประเทศใช้ 60 Hz เป็นต้น

การเดินทางรถไฟฟ้ต้องมีการสร้างสถานีจ่ายกระแสไฟฟ้าย่อย (Sub-station) เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่รับมาจากระบบสายส่งแรงสูงให้ลงมาอยู่ในระดับที่เหมาะสมเสียก่อน กระแสไฟฟ้าที่ลดแรงดันแล้วจะถูกนำมาส่งเข้าระบบการป้อนกระแสไฟฟ้า (Feeding System) เพื่อนำไปใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟ

สถานีจ่ายกระแสไฟฟ้าย่อยมีระบบการป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟมีสองระบบ คือ ระบบการใช้รางที่สาม (Third rail system) และระบบการใช้สายส่งเหนือหัว (Overhead wire system) ระบบรางที่สามมีข้อดีในเรื่องของผลกระทบต่อด้านมลพิษ (Visual Impact) เพราะไม่มีโครงสร้างของระบบป้อนกระแสไฟฟ้าตั้งอยู่เหนือรางรถไฟ แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานด้านความ

ปลอดภัย ระบบนี้จึงมักใช้กับรถใต้ดินหรือระบบขนส่งมวลชนที่อยู่ในเมืองซึ่งไม่มีคนและสัตว์เลี้ยงเดินผ่าน เพราะอาจได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าได้ สำหรับระบบสายส่งเหนือหัวจะตรงกันข้าม คือจะมีโครงสร้างของระบบสายส่งตั้งอยู่เหนือรางไม่น่าดู มักใช้กับการเดินรถไฟทางไกลซึ่งต้องติดตั้งระบบเดินรถไฟฟ้าแรงดันสูง ไม่สามารถใช้ระบบรางที่สามได้

### เอกสารอ้างอิง

นคร จันทร. 2555. ช่างรถไฟ : ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[http://en.wikipedia.org/wiki/Railway\\_electrification\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system)

[www.railway-technical.com/etracp.shtml](http://www.railway-technical.com/etracp.shtml)

<http://railsimroutes.net/blog/?p=912>

<http://www.bts.co.th/corporate/th/02-system-route.aspx>

Power point of Railway E&M Department

<http://www.scottpages.net/ReviewOfControllers.html>

<http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/pwm/pwm.htm>



## หน่วยการเรียนรู้ที่

# IRS-005

## ระบบอาณัติสัญญาณ

### เนื้อหาการเรียนรู้

- ความเป็นมาของระบบอาณัติสัญญาณ
- ระบบอาณัติสัญญาณขั้นพื้นฐาน
- ระบบอาณัติสัญญาณในการเดินรถและควบคุม
- ศูนย์ควบคุมการเดินรถ (Central Traffic Control)
- ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ (Automatic Train Control, ATC)
- ระบบเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Operation, ATO)
- ระบบหยุดรถอัตโนมัติ (Automatic Train Stop, ATS)
- ระบบป้องกันอัตโนมัติ (Automatic Train Protection, ATP)
- ระบบสื่อสาร (Communication System)

### จุดประสงค์การเรียนรู้

- 4) บอกลักษณะของระบบและอุปกรณ์อาณัติสัญญาณและการสื่อสารพื้นฐานตามกฎระเบียบและมาตรฐานในระบบรางได้
- 5) อธิบายรูปแบบการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารพื้นฐานในการควบคุมการเดินรถ และหน้าที่ของศูนย์การควบคุมการเดินรถได้
- 6) บอกหลักการทำงานพื้นฐานของระบบเดินรถอัตโนมัติ ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ ระบบหยุดรถอัตโนมัติ ระบบป้องกันอัตโนมัติ และอุปกรณ์สำคัญในระบบสื่อสารได้



ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ การสื่อสาร รวมถึงกฎระเบียบ มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

## 5.1 ความเป็นมาของระบบอาณัติสัญญาณ

ประเทศอังกฤษเป็นประเทศแรกในโลกที่ริเริ่มให้มีการเดินขบวนรถขึ้น โดยในระยะแรก ขบวนรถไฟมีความเร็วค่อนข้างต่ำ จึงใช้คนขี่ม้าถือธงวิ่งนำหน้าขบวนรถ ต่อมาได้มีการพัฒนาความเร็วของขบวนรถให้เร็วขึ้นจากเดิม และประกอบกับจำนวนประแจที่มีใช้ก็มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงเปลี่ยนมาใช้คนเฝ้าประแจแทน และได้มีการกำหนดให้มีสัญญาณต่างๆ เกิดขึ้น เช่น สัญญาณท่าห้าม สัญญาณท่าระวัง หรือสัญญาณท่าอนุญาต โดยใช้สัญญาณมือเป็นตัวแสดงท่าและความหมายของสัญญาณต่างๆ เช่น เขยียดแขนทั้งสิ่งชูเหนือศีรษะอยู่นิ่ง แสดงสัญญาณเป็นท่าห้าม เขยียดแขนข้างเดียวชูเหนือศีรษะอยู่นิ่ง แสดงสัญญาณเป็นท่าระวัง หรือเขยียดแขนตรงออกไปข้างลำตัวให้ได้ฉากกับทาง แสดงท่าอนุญาต หลังจากรถไฟขบวนหนึ่งได้ผ่านไปแล้ว ผู้ให้สัญญาณจะแสดงท่าห้ามเป็นระยะเวลา 5 นาที ถ้าภายในช่วงเวลานี้มีรถไฟอีกขบวนหนึ่งวิ่งตามมาก็จะผ่านสัญญาณนี้ไปไม่ได้ เมื่อครบ 5 นาทีแล้ว ผู้ให้สัญญาณจะเปลี่ยนท่าสัญญาณใหม่เป็นท่าระวัง ขบวนรถจึงจะผ่านสัญญาณนี้ไปได้ด้วยความระมัดระวัง ซึ่งสัญญาณท่าระวังนี้จะค้างอยู่อีก 5 นาที หลังจากนั้นผู้ให้สัญญาณจึงจะให้สัญญาณเป็นท่าอนุญาต จึงเรียกวิธีการนี้ว่า “การใช้เวลาเป็นตัวกำหนดในการเดินขบวนรถ”

หลังจากมีการขยายย่านสถานีให้กว้างขึ้น พนักงานสัญญาณไม่สามารถดูแลได้ทั่วถึงทั้งย่าน จึงได้มีการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้เครื่องหมายแทนสัญญาณขึ้น ในปี ค.ศ. 1837 นายมอร์ส ชาวอเมริกัน ได้ประดิษฐ์เครื่องรับ-ส่งโทรเลขขึ้น และได้นำมาใช้กับกิจการรถไฟ เพื่อใช้บอกตำแหน่งของขบวนรถที่อยู่ระหว่างสถานี และในปี ค.ศ. 1858 ได้มีการบังคับใช้ เพื่อให้รถแต่ละขบวนวิ่งตามกันโดยรักษาช่วงห่างระหว่างขบวนรถด้วยระยะทางที่กำหนด

ในปี ค.ศ. 1841 สัญญาณทางปลาแบบแรกได้ถูกสร้างขึ้นเป็นเครื่องมือสัญญาณ และได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อยๆ แต่ยังคงมีการใช้ช่วงเวลาเป็นตัวกำหนดการเดินขบวนรถ โดยมี

พนักงานสัญญาณเป็นผู้ควบคุมดูแล หรือใช้เครื่องรับ-ส่งโทรเลขเป็นตัวแจ้งบอกให้ทราบตำแหน่งของ ขบวนรถที่อยู่ระหว่างสถานี

## 5.2 ระบบอาณัติสัญญาณขั้นพื้นฐาน

เครื่องมือระบบอาณัติสัญญาณมีความจำเป็นมากสำหรับกิจการรถไฟ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ขบวนรถสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึง คือ เครื่องมือนี้ต้องไม่ เป็นอุปสรรคหรือรบกวนขบวนรถไฟและราง นอกจากนี้ เครื่องมือระบบอาณัติสัญญาณมีไว้เพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ คือ การรักษาช่วงห่างระหว่างรถคันหน้าและขบวนที่วิ่ง



ตามหลังมา และต้องไม่ยอมให้รถขบวนอื่นวิ่งสวนในทิศทางตรงกันข้ามในตอนระหว่างสถานีที่เป็น เส้นทางเดียว เรียกวินิจฉัยว่า “การควบคุมระยะห่างระหว่างขบวนรถ” เมื่อขบวนรถวิ่งไปบนเส้นทางที่มีการเตรียมทางให้โดยประแจ และสัญญาณมีการทำงานที่สอดคล้องกันในทางที่ได้จัดเตรียมไว้ ขบวนรถก็สามารถจะวิ่งไปในเส้นทางอื่นได้หรือเกิดการตกรางได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้เกิดความปลอดภัย ในเดินขบวนรถผ่านประแจและทางที่ได้มีการจัดเตรียมนี้ เรียกวินิจฉัยว่า “การควบคุมให้ขบวนรถวิ่งตาม เส้นทางที่กำหนดโดยวิธีการเตรียมทาง”

จากข้อเท็จจริงที่ว่า “ถารถไฟมีพวงมาลัยและเบรกหยุดได้เหมือนรถยนต์ ก็ไม่จำเป็นต้องมี สัญญาณ” จึงต้องทำความเข้าใจเรื่องการวิ่งและการทำงานของระบบเบรกของขบวนรถไฟเสียก่อน ว่าเหตุใดการสร้างทางรถไฟต้องมีระบบอาณัติสัญญาณที่ยุ่งยากและทำให้ค่าก่อสร้างแพงขึ้น ซึ่งทำให้

เกิดคำถามจากบุคคลทั่วไปเสมอว่า เหตุใดการสร้างทางรถไฟจึงแพงกว่าการสร้างถนน นอกจากนั้นยังทำให้การเดินทางไม่มีวิธีที่อยู่ยากและซับซ้อนกว่าการวิ่งรถยนต์บนถนน และมักเป็นปัญหาสำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับระบบการเดินทางรถไฟที่จะเข้าใจระบบรางอีกด้วย

รรางที่วิ่งในเมืองนอกจากวิ่งช้าแล้ว ยังมีระบบเบรกซึ่งสามารถหยุดขบวนรถได้ใกล้เคียงกับรถยนต์ รรางจึงไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณและสามารถวิ่งทับเส้นทางไปกับรถยนต์โดยใช้สัญญาณไฟจราจรบนถนนร่วมได้

ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบระบบสัญญาณรถไฟจึงมาจากระยะเบรกของขบวนรถไฟที่ยาวกว่าระยะเบรกของรถยนต์มาก อย่างไรก็ดี เมื่อการพัฒนาเทคโนโลยีรถไฟก้าวไกลไปมากแล้วระบบสัญญาณก็อาจจะมีข้อกำหนดและวัตถุประสงค์อื่นที่เราลืมหลักการเบื้องต้นว่า “สัญญาณรถไฟไม่มีไว้ให้คนขับรถไฟดูเพื่อที่จะควบคุมขบวนรถไฟให้วิ่งตามอาณัติที่ตกลงกันไว้” ข้อเท็จจริงนี้เราจึงเรียกระบบสัญญาณรถไฟแบบเต็มยศว่า “**อาณัติสัญญาณ**” ซึ่งหมายถึง สัญญาณที่ได้ตกลงความหมายกันไว้ก่อนแล้ว เช่น ไฟเหลือง หมายถึง ให้ระวัง (ในข้อบังคับและระเบียบการเดินทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย หมายความว่า ให้ระวังเพราะสัญญาณประจำที่ถัดไปข้างหน้าอาจเป็นไฟแดง) ไฟเขียว หมายถึง ให้นำขบวนรถผ่านไปได้ หรือไฟแดง หมายถึง ให้หยุดขบวนรถ เป็นต้น

ก่อนที่ระบบสัญญาณจะส่งสัญญาณสื่อความหมายออกมาได้ จะต้องอาศัยส่วนประกอบของอุปกรณ์ในระบบการทำงาน นั่นคือเทคโนโลยีเกี่ยวกับอาณัติสัญญาณ ได้แก่ สิ่งทีวิศวกรอาณัติสัญญาณ (Signalling Engineer) คิดค้นขึ้น ในเอกสารการสอนนี้ จะกล่าวหลักการของระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ ในความหมายที่นำมาใช้สื่อสารกับพนักงานขับรถไฟ เพื่อควบคุมขบวนรถไฟภายใต้กรอบของระบบที่จัดวางและตกลงทำความเข้าใจกันไว้ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้ โดยอาจจะลงลึกไปในรายละเอียดบ้างเท่าที่จำเป็น

### 5.3 ระบบอาณัติสัญญาณในการเดินทางและควบคุม

ระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้ในกิจการรถไฟ มีหน้าที่ควบคุม และกำหนดทิศทางเคลื่อนไหวของขบวนรถที่วิ่งบนทาง รวมทั้งการสับเปลี่ยนในย่านสถานี เพื่อให้มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพ

ในสมัยแรกที่เปิดกิจการเดินทางรถไฟขึ้นนั้น การอนุญาตให้ขบวนรถออกจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีข้างเคียง เรียกว่า การขอและให้ทางสะดวก การแจ้งความเคลื่อนไหวของขบวนรถใช้เครื่องโทร

เลขเป็นเครื่องมือติดต่อสอบถาม ส่วนการให้สัญญาณขบวนรถเข้าและออกจากสถานี ใช้สัญญาณธง ผ้ารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในเวลากลางวัน และตะเกียงสัญญาณในเวลากลางคืน ธงผ้าและตะเกียงสีเขียว หมายความว่า "อนุญาต" ส่วนสีแดงหมายถึง ความว่า "ห้าม"

ต่อมาได้มีการเปลี่ยนเป็นใช้**เสาสัญญาณชนิดทางปลา (Semaphore)** ซึ่งบังคับทางปลา ให้แสดงท่า "อนุญาต" หรือ "ห้าม" ส่วนการกลับประแจ เพื่อให้ขบวนวิ่งเข้าทางแยกหรือทางหลักที่ต้องการ ทำโดยการโยกคันกลับประแจ ซึ่งจะไปถึงสายลวดเหล็กกล้า 2 เส้น ที่ต่อไปยังกลไกที่เสาสัญญาณหรือประแจ หลังจากนั้นได้มีการเปลี่ยนมาใช้**เครื่องสัญญาณประแจกลไฟฟ้า (Electromechanical interlocking)** ซึ่งประกอบด้วย **สัญญาณไฟสี (Color light signal)** แทนสัญญาณชนิดทางปลา การกลับประแจด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า นับว่าเป็นเครื่องที่ให้ความปลอดภัยสูงและรวดเร็ว ต่อการปฏิบัติงานในย่านใหญ่ ปัจจุบันเครื่องสัญญาณประแจกลที่นับว่าทันสมัยที่สุดที่มีใช้อยู่ในกิจการของการรถไฟ คือ เครื่องสัญญาณประแจกลชนิดมีกลไกสัมพันธ์กันทางไฟฟ้าทั้งหมด (All relays interlocking) เป็นเครื่องมือที่มีสมรรถนะสูง ในด้านความปลอดภัย รวดเร็ว และสะดวกในการปฏิบัติงาน

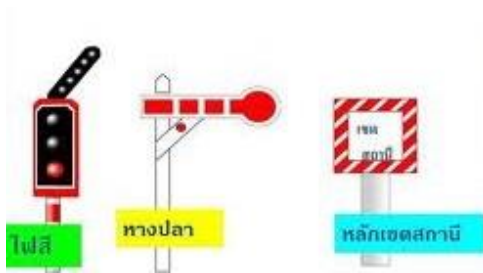
ในด้านการควบคุมความเคลื่อนไหวของขบวนรถ เนื่องจากความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ระบบตอนสมบูรณ์ คือ การปล่อยขบวนรถจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งครั้งละ 1 ขบวน เมื่อขบวนแรกเข้าสถานีเรียบร้อยแล้ว จึงปล่อยอีกขบวนหนึ่งได้ แต่ถ้าต้องการปล่อยขบวนรถให้เข้าสถานีได้ครั้งละหลายๆ ขบวนแล้ว จะต้องใช้ระบบ automatic block แทน

สำหรับในกิจการเดินรถ การอนุญาตให้ขบวนรถออกจากสถานีหนึ่ง ไปยังสถานีข้างเคียง จะต้องได้รับความร่วมมือ และยินยอม จากนายสถานีทั้ง 2 ด้าน ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวสำหรับกิจการรถไฟ เรียกว่า **"การขอและให้ทางสะดวก"** มีการใช้เครื่องตราทางสะดวก คือ หลังจากที่นายสถานีได้ขอ และได้รับแจ้งทางสะดวกแล้ว นายสถานีที่ขบวนรถจะออกไป จะได้รับลูกตราออกมาจากเครื่องตราทางสะดวกนี้ 1 ลูก เพื่อนำไปมอบให้พนักงานขับรถ เป็นหลักฐานว่า ได้ทางสะดวกเรียบร้อยแล้ว พนักงานขับรถจะรับลูกตราดังกล่าวไปด้วย แล้วมอบให้นายสถานีข้างหน้า เพื่อใส่คืนตราทางสะดวกให้กลับมามีในท่าปกติ สำหรับการขอและให้ทางสะดวกครั้งต่อไป แต่ในการดำเนินงานดังกล่าว ทำให้ขบวนรถต้องลดความเร็ว เพื่อรับและส่งลูกตราทางสะดวก การรถไฟฯ จึงได้ติดตั้งเครื่องทางสะดวกชนิดไม่มีลูกตรา เรียกว่า **"เครื่องทางสะดวกสัมพันธ์สัญญาณประจำที่"** และ

ในปัจจุบัน ได้เปิดใช้ในเส้นทางสายเหนือถึงสถานีสีลาอาสน์ สายใต้ถึงสถานีหัวหิน และสายตะวันออกเฉียงเหนือถึงสถานีนครราชสีมา

ระบบอาณัติสัญญาณในการเดินรถและควบคุมรถไฟในประเทศไทย ของการรถไฟแห่งประเทศไทย ออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัย สภาพภูมิประเทศ (ความลาดชัน ทางโค้ง สภาพพราง) ความหนาแน่นของชุมชน และงบประมาณ โดยระบบที่ใช้มีดังนี้

- สัญญาณไฟสี
- สัญญาณทางปลา
- หลักเขตสถานี
- สัญญาณตัวแทน



รูปที่ 5.1 สัญญาณประจำที่

(ที่มา: <http://portal.rotfaithai.com>)

### 5.3.1 สัญญาณไฟสี

สัญญาณไฟสี มี 2 ระบบ คือ

1) ระบบไฟสีสองท่า ใช้ไฟ 2 สี 2 ดวง (แดง + เขียว) หรือ 3 ดวง คือ เขียว + แดง + เขียว ใช้ในเส้นทางที่รถวิ่งด้วยความเร็วต่ำ เสาสัญญาณจะมีเพียงเสาเข้าเขตใน และเสาออก



รูปที่ 5.2 อาณัติสัญญาณประจำที่ชนิดไฟสี่สองท่า

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

2) ระบบไฟสี่สามท่า ใช้ในเส้นทางหลัก โดยจะมีเสาเตือน เสาเข้าเขตใน (มีไฟสี่เหลือง) และมีไฟสีขาว 5 ดวงบอกการเข้าประแจของขบวนรถ หรือเป็นจอ LED บอกหมายเลขของทางหลัก

- ระบบไฟสี่สามท่า แบบมีเสาออกตัวนอกสุด
- ระบบไฟสี่สามท่า
- ระบบไฟสี่สามท่า แบบมีสัญญาณเข้าเขตนอก



รูปที่ 5.3 อาณัติสัญญาณประจำที่ชนิดไฟสี่สามท่า

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

แบ่งประเภทตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทยได้เป็น

- ก.1ก ประแจกลไฟฟ้า ชนิดบังคับด้วยรีเลย์ และสัญญาณไฟสี่
- ก.1ข ประแจกลไฟฟ้า ชนิดบังคับด้วยคอมพิวเตอร์ และสัญญาณไฟสี่
- ก.2 ประแจกลหมู่ ชนิดบังคับด้วยเครื่องกลสายลวด และสัญญาณไฟสี่



ประแจกลเดี่ยว (ซ้าย)

(ที่มา : <http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=3479&postdays=0&postorder=asc&start=30>)

ประแจกลหมู่ (ขวา)

(ที่มา : <http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=3259&postdays=0&postorder=asc&start=20>)

### 5.3.2 สัญญาณทางปลา

เป็นอาณัติสัญญาณแบบดั้งเดิม แต่มีความปลอดภัยสูง เช่นเดียวกับระบบอาณัติสัญญาณประจำที่ชนิดไฟสี แบ่งเป็น

- ก.3 ประแจกล ชนิดบังคับด้วยเครื่องกลสายลวด พร้อมสัญญาณทางปลา มีเสาแบบสมบูรณ์ ประกอบด้วยเสาเตือน เสาเข้าเขตใน เสาออก และเสาออกตัวนอกสุด
- ก.4 ประแจกล ชนิดบังคับด้วยเครื่องกลสายลวด พร้อมสัญญาณทางปลา มีเสาไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วยเสาเข้าเขตใน และเสาออก
- ข. ประแจกลเดี่ยว พร้อมสัญญาณทางปลาเข้าเขตใน



(ก) ได้รับการอนุรักษ์ไว้ ณ สถานีรถไฟธนบุรี (ข) จัดแสดงที่พิพิธภัณฑ์รถไฟแห่งชาติ ประเทศอังกฤษ

### รูปที่ 5.4 สัญญาณประจำที่ชนิดทางปลา

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

#### 5.3.3 หลักเขตสถานี

หลักเขตสถานี จะใช้ในสถานีที่มีจำนวนขบวนรถเดินผ่านน้อย หรือสถานีที่มีการติดตั้งระบบอาณัติสัญญาณชนิดอื่นยังไม่สมบูรณ์ โดยหลักเขตสถานีจะตั้งแนวเสาเข้าเขตใน โดยพนักงานขับรถ (พชร.) จะต้องปฏิบัติตามสัญญาณมือหรือสัญญาณวิทยุจาก นายสถานี



### รูปที่ 5.5 หลักเขตสถานี

(ที่มา: <http://i790.photobucket.com>)

#### 5.3.4 สัญญาณตัวแทน

เป็นสัญญาณที่แสดงท่าของสัญญาณต้นถัดไป ใช้ในกรณีที่เป็นทางโค้งไม่สามารถมองเห็นสัญญาณต้นหน้าในระยะไกลกว่า 1 กิโลเมตร

- สัญญาณไฟเรียงเป็นแนวนอน หมายถึงว่า สัญญาณตัวหน้าแสดงท่าห้าม
- สัญญาณไฟเรียงเป็นแนวนอนกะพริบ หมายถึงว่า สัญญาณตัวหน้าแสดงท่าระวัง
- สัญญาณไฟเรียงเป็นแนวเฉียง หมายถึงว่า สัญญาณตัวหน้าแสดงท่าอนุญาต

## 5.4 ศูนย์ควบคุมการเดินรถ (Central Traffic Control)

ศูนย์ควบคุมการเดินรถ เป็นหัวใจของการควบคุมการเดินรถในระบบราง โดยเจ้าหน้าที่ในศูนย์ควบคุมการเดินรถจะทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการไปยังทุกสถานี และทุกขบวนรถไฟ เพื่อให้การ



เดินทางด้วยระบบรางเป็นไปด้วยความปลอดภัย รวดเร็ว และตรงเวลา ในกรณีที่มีเหตุสุดวิสัยไม่สามารถใช้ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการได้ ก็จะมีศูนย์ควบคุมสำรองอีกแห่งหนึ่ง ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการเดินรถให้ดำเนินไปโดยปกติได้

ในอดีต เมื่อระบบการเดินรถไฟยังไม่ซับซ้อน หอสัญญาณควบคุมการเดินรถมีขนาดเล็ก พนักงานจำสภาพทางรถไฟภายใต้การควบคุมของตนเองได้ จึงยังไม่มีคามจำเป็นต้องมีผังแสดงสถานะของทางและอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การดูแล แต่ระบบการเดินรถไฟสมัยใหม่มีความซับซ้อนมากขึ้น มีขบวนรถเดินหนาแน่นและอยู่ใกล้ชิดกันมากกว่าแต่ก่อน ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยอาจนำไปสู่อุบัติเหตุที่ร้ายแรงได้ ประกอบกับระบบควบคุมการเดินรถไฟได้รับการพัฒนาให้มีวิวัฒนาการไปตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมการให้ทาง ที่เรียกว่า Computer-based Interlocking เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบของผังแสดงสถานะของทางรถไฟ (Route Layout and Indication) จึงได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อช่วยให้การควบคุมขบวนรถไฟมีความสะดวกรวดเร็วและปลอดภัย

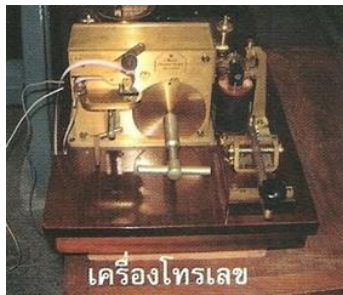
หอสัญญาณสำหรับควบคุมการเดินรถไฟสมัยใหม่ จะมีภาพจำลองของระบบการเดินรถที่กว้างขึ้น เช่น อาจจะมีจำลองระบบการเดินรถตลอดเส้นทางไว้ที่ศูนย์ควบคุมการเดินรถแห่งเดียว เรียกว่า Centralized Traffic Control (CTC) ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของระบบการเดินรถทั้งหมด หลังจากนั้นเมื่อก้าวเข้าสู่ยุคของการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการเดินรถแล้ว การติดตั้งรูปจำลองของระบบการเดินรถไฟในศูนย์ควบคุมการเดินรถก็อาจจะไม่จำเป็น เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมการเดินรถสามารถเรียกดูภาพจำลองของระบบการเดินรถบางส่วนขึ้นมาดูทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสั่งการควบคุมขบวนรถ ทั้งนี้ หากมีความจำเป็นต้องเรียกดูภาพรวมทั้งหมดก็สามารถทำได้ โดยใช้เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ (Overhead Projector) วิธีการนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ที่ศูนย์ควบคุมการเดินรถลงได้เป็นจำนวนมาก ศูนย์ควบคุมการเดินรถของรถไฟฟ้า BTS และรถไฟใต้ดิน BMCL รวมทั้งศูนย์ควบคุมการเดินรถจากระยะไกลของการรถไฟฯ ที่ติดตั้งระบบ CTC แล้ว ก็ใช้วิธีการเดียวกันนี้

#### 5.4.1 ศูนย์ควบคุมการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทย

การควบคุมการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทย แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

#### 5.4.1.1 ระบบนายสถานีจัดหลัก

ระบบนี้เป็นต้นกำเนิดของการควบคุมการเดินรถ โดยกำหนดให้นายสถานีทางสะดวกบางแห่งรับผิดชอบในการติดตามความเคลื่อนไหวของขบวนรถ และสั่งการเปลี่ยนหลักเมื่อขบวนรถล่าช้าไม่สามารถหลักกันที่สถานีตามที่กำหนดไว้ในสมุดกำหนดเวลาเดินรถหรือประกาศเดินรถได้ นายสถานีแขวงจัดหลัก จะมีพื้นที่และจำนวนสถานีในความรับผิดชอบตามความเหมาะสม โดยใช้เครื่องโทรเลขในการติดต่อประสานงาน ปัจจุบันระบบดังกล่าวยังคงใช้ในการเดินรถสายแม่กลอง แต่ได้นำเครื่องอินเตอร์คอมมาใช้เป็นเครื่องมือสื่อสาร ทำให้การติดต่อประสานงานสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ระบบนายสถานีแขวงจัดหลักยังถูกนำมาใช้เมื่อระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถที่ใช้อยู่ในปัจจุบันขัดข้องใช้การไม่ได้อีกด้วย



รูปที่ 5.6 เครื่องโทรเลขที่ใช้ในระบบนายสถานีจัดหลัก

(ที่มา: <http://www.chumphon-tcs.com/images/telegraph.jpg>)

#### 5.4.1.2 ระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถ (Train Control Telephone, TCT)

ระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถ เป็นระบบควบคุมการเดินรถที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศภาคพื้นยุโรปและสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ก่อนสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ต่อมาประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น อินเดีย ปากีสถาน สหภาพพม่า และมาเลเซีย ได้นำไปใช้ในกิจการรถไฟของตนสำหรับประเทศไทยนั้น การรถไฟแห่งประเทศไทยได้จัดส่งเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเดินรถระดับกลางผู้หนึ่งคือ พ.อ.แสง จุลจาริตต์ (ต่อมาดำรงตำแหน่งผู้ว่าการรถไฟแห่งประเทศไทย) เดินทางไปดูกิจการรถไฟของสหภาพพม่าและมาเลเซีย ในปี พ.ศ. 2481 ต่อมาในปี พ.ศ. 2483 การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ตกลงที่จะใช้ระบบควบคุมการเดินรถดังกล่าวนี้ โดยวางสายโทรศัพท์ไปยังเส้นทางสายตะวันออกเฉียงเหนือ แต่การดำเนินการต้องหยุดชะงักลงไป เนื่องจากเกิดสงครามมหาเอเชียบูรพาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2484



รูปที่ 5.7 ระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถ

(ที่มา: <http://www.chumphontcs.com>)

เมื่อสงครามสงบ การรถไฟฯ จึงได้รื้อฟื้นโครงการขึ้นมาใหม่ในปี พ.ศ. 2486 โดยใช้เงินกู้จากธนาคารโลกงวดที่ 2 ส่วนหนึ่ง และจากเงินช่วยเหลือจากองค์การบริหารวิเทศกิจแห่งสหรัฐอเมริกา (USOM) อีกส่วนหนึ่ง และได้ดำเนินการต่อเนื่องกันจนเสร็จสิ้นทั้งระบบ และสามารถเปิดใช้การได้ตั้งแต่วันที่ 20 พ.ย. 2501 เป็นต้นมา

ระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางจากหน่วยงานแต่ละหน่วยงานที่เรียกว่า "งานควบคุมการเดินรถแขวง" มีพนักงานควบคุมการเดินรถแขวงเป็นผู้รับผิดชอบ ใช้ปฏิบัติงานจำนวนน้อย เป็นการเปลี่ยนแปลงโฉมหน้าจากระบบนายสถานีแขวงจัดหลักที่ใช้นายสถานีแขวงจัดหลักจำนวนมาก นอกจากนั้นการใช้เครื่องโทรศัพท์แทนการใช้เครื่องโทรเลข ทำให้การติดต่อประสานงานและสั่งการเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่ามาก พนักงานควบคุมการเดิน

รถแขวง ทราบความเคลื่อนไหวของขบวนรถที่กำลังเดินอยู่ได้ถูกต้อง สามารถควบคุมการเดินรถได้ สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง หรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขการเดินรถ แจ้งข่าวสถานการณ์ด้านการเดินรถให้ผู้เกี่ยวข้องทราบได้อย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ในกรณีที่ขบวนรถประสบปัญหาหรืออุปสรรคใดๆ ในการเดินรถ

#### 5.4.1.3 ระบบควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลาง (Centralized Traffic Control, CTC)

เนื่องจากการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทยในเส้นทางภาคกลาง ซึ่งมีศูนย์กลางจากสถานีกรุงเทพมีขบวนรถเดินหนาแน่นเกินความจุของทาง ประกอบกับระบบอาณัติสัญญาณและระบบควบคุมการเดินรถที่ใช้อยู่ไม่เหมาะสมกับสภาพการเดินรถ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ขบวนรถล่าช้าและไม่สามารถเดินขบวนรถเพิ่มตามความต้องการได้ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการเดินรถและเพิ่มความจุของทางขึ้นอีกประมาณ 50% ตลอดจนเพิ่มความปลอดภัยในการเดินรถ การรถไฟฯ จึงจัดทำโครงการ "ปรับปรุงระบบอาณัติสัญญาณเส้นทางภาคกลาง" โดยใช้งบประมาณประมาณ 1,400 ล้านบาท ในการปรับปรุงระบบควบคุมการเดินรถ ระบบอาณัติสัญญาณในพื้นที่การเดินรถภาคกลางในระบบควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลางนี้ พนักงานควบคุมการเดินรถจะสามารถทราบตำแหน่งของขบวนรถทุกขบวนในพื้นที่ได้โดยถูกต้องตลอดเวลาจากแผงบรรยายทาง หรือจากหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.8 ศูนย์ควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลางของการรถไฟแห่งประเทศไทย

หน่วยงานซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลางนี้มีที่ตั้งอยู่ ณ อาคารควบคุมการเดินรถ (ใกล้ปากทางเข้านิคมรถไฟ กม.11 ด้านป้ายหยุดรถนิคมรถไฟ กม.11) มีพื้นที่รับผิดชอบดังนี้

- เส้นทางสายเหนือ ตั้งแต่สถานีบางเขนถึงสถานีลพบุรี รวม 21 สถานี (ระหว่างสถานีหนองวิวัฒน์ถึงสถานีลพบุรีอยู่ในระหว่างดำเนินการ)
- เส้นทางสายตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่สถานีหนองกวยถึงสถานีมาบกะเบา รวม 8 สถานี (อยู่ในระหว่างดำเนินการ)
- เส้นทางสายใต้ ตั้งแต่สถานีบางบำหรุถึงสถานีนครปฐม รวม 10 สถานี
- เส้นทางสายตะวันออก ตั้งแต่สถานีหัวหมากถึงสถานีฉะเชิงเทรา รวม 8 สถานี (อยู่ในระหว่างดำเนินการ)

## 5.4.2 ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า

### 5.4.2.1 ระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้ายูบีทีเอส

การควบคุมการเดินรถไฟฟ้ายูบีทีเอสใช้ระบบคอมพิวเตอร์สั่งการ ในส่วนของระบบอัตโนมัติ สัญญาณถูกออกแบบให้มีความปลอดภัยสูง แม้เมื่อมีการขัดข้องของระบบเกิดขึ้น ระบบจะปรับไปสู่สถานะที่ยังคงให้ความปลอดภัยแก่ผู้โดยสารเสมอ โดยเฉพาะในเรื่องความปลอดภัยนั้น ระบบปฏิบัติการเดินรถของบีทีเอส มีระบบควบคุมต่างๆ รองรับอยู่ เช่น ระบบป้องกันการชน ระบบควบคุมความเร็ว เป็นต้น



รูปที่ 5.9 ห้องควบคุมการเดินรถไฟฟ้ายูบีทีเอส

#### 5.4.2.2 ระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

การเดินรถไฟฟ้ามหานครมีการนำระบบอัตโนมัติสัญญาณที่เป็นระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมการเดินรถโดยอัตโนมัติ เพื่อให้การบริการมีประสิทธิภาพ สะดวกรวดเร็ว และปลอดภัยสูงสุด แบ่งเป็น 3 ระบบย่อย คือ

1) ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Operation-ATO) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ของขบวนรถไฟฟ้ํา เช่น การขับเคลื่อนรถไฟฟ้ํา การควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้ํา การควบคุมการห้ามล้อ การจอดรถไฟฟ้ํา และการรายงานสถานะของอุปกรณ์ต่างๆ ในตัวรถไฟฟ้ําไปยังศูนย์ควบคุม

2) ระบบป้องกันอัตโนมัติ (Automatic Train Protection-ATP) เป็นระบบที่คอยควบคุมไม่ให้รถไฟฟ้ําใช้ความเร็วเกินกำหนด ควบคุมความเร็วรถไฟฟ้ําให้อยู่ในพิสัยที่สัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างรถไฟฟ้ําข้างหน้า หากเกิดเหตุผิดปกติ ระบบ ATP จะสั่งการห้ามล้ออัตโนมัติ นอกจากนี้ยังควบคุมการเคลื่อนตัวของรถไฟฟ้ําจากสถานีรถไฟฟ้ํา โดยหากประตูดรถไฟฟ้ําและประตูกันขานชานชาลา ยังปิดไม่เรียบร้อย ระบบ ATP จะไม่อนุญาตให้รถไฟฟ้ําเคลื่อนตัวออกจากสถานี ต่างจากระบบ ATO ตรงที่มีความอิสระต่างกัน กรณีที่ระบบ ATO ชัดข้อง ต้องใช้คนควบคุมการเดินรถ ระบบ ATP จะยังคงควบคุมการเดินรถต่อไป

3) ระบบกำกับการเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Supervision-ATS) เป็นระบบที่คอยควบคุมการเดินรถไฟฟ้ําทั้งระบบให้เป็นไปตามตารางการเดินรถ โดยจะส่งข้อมูลต่างๆ เช่น ความเร็วของรถไฟฟ้ําแต่ละขบวน ติดตามและแสดงตำแหน่งของรถไฟฟ้ําทุกขบวนที่อยู่ในระบบ และจัดเตรียมขั้นตอนนี้ต่างๆ ในการควบคุมการเดินรถ เมื่อระบบการเดินรถมีเหตุขัดข้อง



### รูปที่ 5.10 ห้องควบคุมการเดินรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

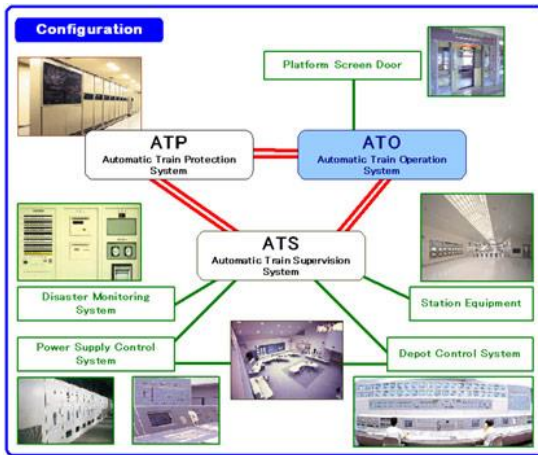
นอกจากนั้นบุคลากรที่ปฏิบัติหน้าที่ในศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการเดินรถ ในทุกตำแหน่งจะต้องได้รับการฝึกอบรมให้ตระหนักถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นลำดับแรก โดยจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับระเบียบ ขั้นตอนการปฏิบัติในทุกสถานการณ์อย่างถ่องแท้ สามารถตัดสินใจและแก้ปัญหาตามหน้าที่ และความรับผิดชอบได้อย่างถูกต้อง ฉับไว ตลอดจนไม่ตื่นตระหนก และสามารถควบคุมสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ทั้งนี้จึงต้องมีกระบวนการคัดเลือกบุคลากรอย่างพิถีพิถัน และจะต้องผ่านการฝึกอบรมด้วยเครื่องจำลองสถานการณ์การเดินรถ (Traffic Control Simulator) และต้องผ่านการทดลองปฏิบัติงานขึ้นตามข้อกำหนดของแต่ละหน่วยงาน เพื่อให้สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

## 5.5 ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ (Automatic Train Control, ATC)

เมื่อเทคโนโลยีควบคุมการเดินรถในหน่วยงานพัฒนาถึงขั้นที่สามารถป้องกันขบวนรถชนท้ายกันได้แล้ว วิวัฒนาการของระบบควบคุมการเดินรถจึงพัฒนาสูงขึ้นอีกขั้นหนึ่ง นั่นคือ ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ (ATC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับควบคุมการเดินขบวนรถไฟขนส่งมวลชนและรถไฟความเร็วสูงสมัยใหม่

ATC มีใช้งานมานานแล้วแต่ในความหมายที่แตกต่างกัน ในประเทศอังกฤษ หมายถึง ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เตือนคนขับรถไฟก่อนจะมีการพัฒนาระบบ AWS แต่ในอเมริกา จะหมายถึง แนวคิดในการควบคุมการเดินขบวนรถไฟสมัยใหม่ (ส่วนมากใช้กับระบบขนส่งมวลชน) ซึ่งจะหมายความรวมถึงกลุ่มอุปกรณ์สามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มระบบป้องกันการเดินขบวนรถอัตโนมัติ (Automatic Train Protection : ATP) กลุ่มระบบการเดินขบวนรถอัตโนมัติ (Automatic

Train Operation : ATO) และกลุ่มระบบบริหารการเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Supervision : ATS)



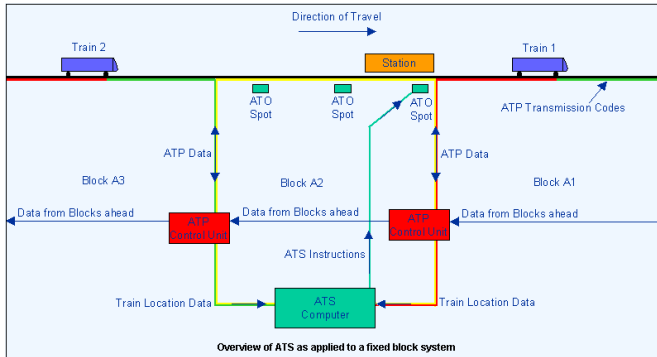
รูปที่ 5.11 ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ

(ที่มา: <http://www.kobelco.co.jp>)

ดังนั้นคำว่า ATC ในระบบควบคุมการเดินขบวนรถสมัยใหม่จึงหมายความรวมถึง ATP ATO และ ATS โดยอาจจะหมายถึง ระบบที่ยังใช้คนควบคุมการเดินรถอยู่ระดับหนึ่งด้วย (ในทำนองเดียวกันกับคำว่า ATC และ ATS ในระบบการพัฒนาสัญญาณรถไฟของประเทศญี่ปุ่นจะหมายถึง เครื่องหยุดขบวนรถอัตโนมัติหรือ Automatic Train Stop)

ชุดควบคุมการเดินรถในระบบ ATC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมการเดินขบวนรถ 3 กลุ่ม ได้แก่ ATP (Automatic Train Protection), ATO (Automatic Train Operation) and ATS (Automatic Train Supervision) ดังแสดงในรูปที่ 5.12





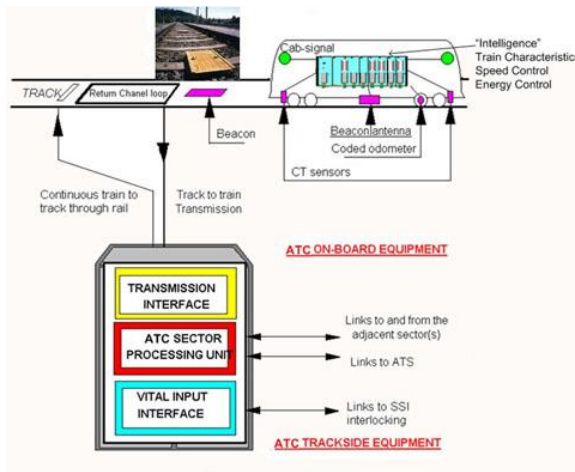
รูปที่ 5.12 แผนผังแสดงการทำงานระบบควบคุมรถอัตโนมัติ (ATC)  
(ที่มา: <http://www.railway-technical.com/ats1.gif>)

ATP จะทำหน้าที่ควบคุมการเดินรถในเบื้องต้น ทำหน้าที่จัดระยะห่างที่ปลอดภัยระหว่างรถที่เดินอยู่บนทางรถไฟเดียวกัน โดยมีศูนย์ควบคุมการเดินรถประจำในแต่ละพื้นที่ซึ่งควบคุมแต่ละตอนสัญญาณในพื้นที่ควบคุม ศูนย์ควบคุมการเดินรถจะได้รับข้อมูลจากตอนสัญญาณข้างหน้ามาคำนวณพิสัยความเร็วของขบวนรถที่เดินอยู่บนตอนสัญญาณที่ควบคุม แล้วส่งพิสัยความเร็วให้กับขบวนรถที่วิ่งผ่าน วิธีการส่งรหัสพิสัยความเร็วอาจดำเนินการในรูปของวงจรรไฟตอน (Track circuit) สายขดลวดไฟฟ้าที่วางเป็นห่วงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Loop) หรือ แบบใช้ตัว Balises (หรือ Beacon) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกติดตั้งตลอดตามแนวของราง

ศูนย์ควบคุมในระบบ ATP ซึ่งในระบบการเดินรถตามปกติ จะรับรู้แค่มีรถเดินอยู่ในตอนสัญญาณด้วยพิสัยความเร็วที่กำหนดเท่านั้น แต่ศูนย์ควบคุม ATP ในระบบ ATC จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ในระบบ ATS เพื่อเปรียบเทียบว่าขบวนรถวิ่งช้ากว่าหรือเร็วกว่ากำหนดเวลาด้วย ในกรณีนี้ ATS จะส่งคำสั่งไปยัง ATO ตามรายการเพื่อปรับแต่งการเดินรถให้ตรงเวลา

จุดรับส่งสัญญาณของระบบ ATO จะรับคำสั่งจากระบบ ATS เพื่อกำหนดว่าขบวนรถควรจะใช้เวลาหยุดที่สถานีข้างหน้านานเท่าใด และควรจะใช้ความเร็วเท่าใดเดินทางไปยังสถานีต่อไปจึงจะ

สามารถรักษากำหนดเวลาเดินรถได้ ระบบ ATO จะทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อควบคุมให้การเดินรถตรงเวลา (เพิ่มความเร็วจนถึงขีด จำกัดความเร็วกรณีก่อนเวลา)

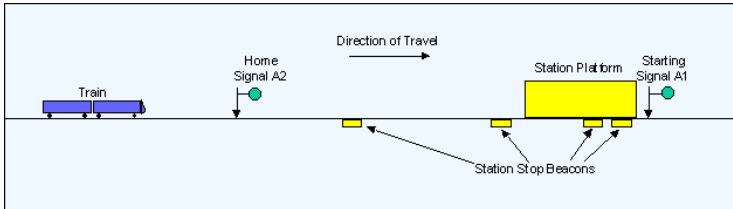


รูปที่ 5.13 การทำงานของระบบควบคุมรถอัตโนมัติ (ATC)

(ที่มา: <http://railssystem.net/images/signalling/signalling4.jpg>)

## 5.6 ระบบเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Operation, ATO)

ระบบเดินรถอัตโนมัติ (Automatic Train Operation , ATO) จะอยู่ในรถไฟแต่ละขบวนทำหน้าที่เสมือนผู้ขับขี่ ได้แก่ ควบคุมการออกรถ การเบรก การใช้ความเร็วที่เหมาะสม การจอดรถ และรายงานข้อขัดข้องของอุปกรณ์ในรถไฟไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อตรวจสอบและแก้ไขต่อไป



รูปที่ 5.14 แผนผังแสดงการทำงานของระบบเดินรถอัตโนมัติ (ATO)

(ที่มา: <http://www.railway-technical.com/sig401.gif>)

## 5.7 ระบบหยุดรถอัตโนมัติ (Automatic Train Stop, ATS)

ระบบหยุดรถอัตโนมัติ (Automatic Train Supervision, ATS) จะอยู่ในศูนย์ควบคุมการเดินรถ มีหน้าที่ ดังนี้

- 1) ควบคุมการเดินรถให้เป็นไปตามตารางเดินรถ
- 2) กำหนดข้อมูลควบคุมความเร็วรถ
- 3) ติดตาม และแสดงตำแหน่งรถทุกขบวน
- 4) รายงานข้อขัดข้องของอุปกรณ์ในรถ ไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อตรวจสอบและแก้ไขต่อไป

## 5.8 ระบบป้องกันอัตโนมัติ (Automatic Train Protection, ATP)

ระบบป้องกันอัตโนมัติ (Automatic Train Protection, ATP) จะอยู่ในศูนย์ควบคุมการเดินรถ ทำหน้าที่ดังนี้

- 1) ควบคุมดูแลไม่ให้รถใช้ความเร็วเกินกำหนด เพื่อมิให้เกิดการชนหรือตกราง
- 2) ควบคุมระยะห่างระหว่างขบวนรถ
- 3) ต่างจากระบบ ATO ตรงที่มีความอิสระต่อกัน กรณีที่ระบบ ATO ขัดข้อง ต้องใช้คนควบคุมการเดินรถ ระบบ ATP จะยังคงควบคุมการเดินรถต่อไป
- 4) จัดเตรียมขั้นตอนต่างๆในการควบคุมการเดินรถ เมื่อระบบการเดินรถมีเหตุขัดข้อง

## 5.9 ระบบสื่อสาร (Communication System)

ระบบการสื่อสาร (Communication System) ประกอบไปด้วยระบบย่อย 5 ระบบ ได้แก่

- 1) ระบบประกาศข่าวสารต่อสาธารณะ (Public Address)
- 2) ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Closed Circuit Television) สำหรับใช้ตรวจความปลอดภัย

บริเวณสถานี ขานขาลา ฯลฯ รวมทั้งควบคุมและสามารถเห็นได้จากศูนย์ควบคุมและที่สถานี



รูปที่ 5.15 กล้องวงจรปิดบริเวณขานขาลา BTS

- 3) ระบบการแจ้งเวลามาตรฐาน (Clock System) เพื่อควบคุมเวลาให้ตรงกันทุกๆ สถานี และศูนย์ควบคุม และเพื่อควบคุมการเดินรถเข้าออกสถานีให้ตรงตามตารางการเดินรถ
- 4) ระบบโทรศัพท์ (Telephone System) ใช้สำหรับการสื่อสารกันของผู้ปฏิบัติงาน
- 5) ระบบวิทยุ (Radio System) สำหรับการสื่อสารกันของผู้ปฏิบัติงาน

### บทสรุป

ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ (Railway signalling system) เป็นระบบกลไกสัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ในการเดินขบวนรถไฟเพื่อแจ้งให้พนักงานขับรถไฟทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า และตัดสินใจที่จะหยุดรถ ชะลอความเร็ว หรือบังคับทิศทาง ให้การเดินรถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในการเดินรถสวนกันบนเส้นทางเดียว หรือการสับหลักเพื่อให้รถไฟวิ่งสวนกันบริเวณสถานีรถไฟ หรือควบคุมรถไฟให้การเดินขบวนเป็นไปตามที่กำหนดไว้กรณีที่ใช้ระบบอาณัติสัญญาณแบบคอมพิวเตอร์

ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจะควบคุมและกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ และระยะเวลาในการเดินรถ ของขบวนรถที่อยู่บนทางร่วมเดียวกัน รวมทั้งการสับหลักบริเวณสถานีรถไฟ โดยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ จะออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อให้พนักงานขับรถไฟสามารถตัดสินใจเดินรถได้อย่างมั่นใจ และไม่ให้เกิดความสับสน



โครงการพัฒนาหลักสูตรและนำร่องการสร้างกำลังคนระดับช่างเทคนิค ด้านระบบขนส่งทางรางเข้าสู่ตลาดแรงงาน

## เอกสารอ้างอิง

การรถไฟแห่งประเทศไทย. **พื้นฐานอาณัติสัญญาณ**. เอกสารประกอบการฝึกอบรมพนักงานสื่อสาร ตามโครงการ The Improvement of the Railway Training Center โดยความร่วมมือระหว่าง JICA & SRT

นคร จันทร. 2555. **ช่างรถไฟ : ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

**ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ**. สืบค้นจาก

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%84%E0%B8%9F> เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2556

**ระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร**. สืบค้นจาก <http://www.mrta.co.th/blank/signal.htm> เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2556

**วิวัฒนาการของการควบคุมการเดินรถ**. สืบค้นจาก [http://www.chumphon-tcs.com/about\\_us/evolution.html](http://www.chumphon-tcs.com/about_us/evolution.html) เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2556



# หน่วยการเรียนรู้ที่

## IRS-006

### เทคโนโลยี

### การซ่อมบำรุง

|                         |   |
|-------------------------|---|
| เนื้อหาการเรียนรู้      | <input type="checkbox"/> การซ่อมบำรุงทางรถไฟ<br><input type="checkbox"/> การซ่อมบำรุงตัวรถไฟและองค์ประกอบ<br><input type="checkbox"/> การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ  |
| จุดประสงค์การเรียนรู้   | 7) อธิบายเทคโนโลยีและการซ่อมบำรุงระบบทางรถไฟ การซ่อมบำรุงรถไฟ ระบบไฟฟ้าของรถไฟและส่วนที่เกี่ยวข้อง และระบบอาณัติสัญญาณได้<br>8) มีความตระหนักถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงานด้านการซ่อมบำรุงระบบต่างๆ ของระบบรางและรถไฟ |
| ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง | ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้การซ่อมบำรุงในระบบต่างๆ ของรถไฟ รวมทั้งคำนึงถึงความปลอดภัยในการ   |

## บทนำ

ระบบงานในการซ่อมบำรุงรถไฟมีหลายระดับ ทั้งที่เป็นระบบหลัก (Main system) และระบบย่อย (Sub system) ถ้าเปรียบเทียบแล้วรถไฟทั้งขบวนคือระบบใหญ่ เป็นระบบหลักที่ประกอบไปด้วยระบบย่อย ได้แก่ ทางรถไฟ ระบบอาณัติสัญญาณ และขบวนรถไฟ ระบบย่อยเหล่านี้ต้องทำงานด้วยกันจึงจะเป็นการเดินทางรถไฟที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้อ้างอิงในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงในระบบราง คือ ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความพร้อมใช้งาน (Availability) ความสะดวกในการซ่อมบำรุง (Maintainability) และความปลอดภัย (Safety) หรือเรียกกันสั้นๆ ว่า “RAMS” ซึ่งเป็นหลักยึดถือปฏิบัติเพื่อทำให้เกิดการบำรุงรักษาที่มีประโยชน์สูงสุด (Optimum) ระบบมีความพร้อมใช้ มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำ และที่สำคัญไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้บริการ

สำหรับในหน่วยการเรียนนี้จะกล่าวถึงหลักการที่สำคัญในการซ่อมบำรุงในระบบหลักต่างๆ เช่น ระบบทางรถไฟ ตัวรถไฟและองค์ประกอบ ระบบไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ ซึ่งประกอบรวมกันเป็นระบบขนส่งทางรางที่สมบูรณ์

### 6.1 การซ่อมบำรุงทางรถไฟ

ทางรถไฟเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการเดินรถไฟ ทางที่วิ่งได้เรียบ ก็จะไม่ปลอดภัยต่อการเดินรถ ดังนั้น จึงต้องมีการบำรุงรักษาทางรถไฟให้สามารถรองรับการเดินรถได้อย่างปลอดภัยตลอดเวลา



สำหรับการบำรุงรักษาทางนั้น ถ้าขบวนรถโดยสารและขบวนรถสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้น พิกัดบรรทุกมากขึ้น และวิ่งด้วยความเร็วสูงขึ้นกว่าเดิม สภาพทางก็จะเสียหายเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ นอกเหนือจากนั้นสำหรับทางในตอนที่มิขบวนรถหนาแน่น จะทำให้เวลาในการปฏิบัติงานบำรุงทางน้อยลง จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นกว่าเดิม เช่น การนำเครื่องมือกลมาใช้ในการอัดหินเพื่อปรับระดับ เป็นต้น

ดังนั้นงานซ่อมบำรุงหลักๆ ในการบำรุงรักษาทางรถไฟ แบ่งได้ดังนี้

- 6.1.1 การซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง (Ballast track)
- 6.1.2 การซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง (Non-ballast track / Slab track)
- 6.1.3 การบำรุงรักษาทางในย่านและประแจ (Railroad switch/Turnout)

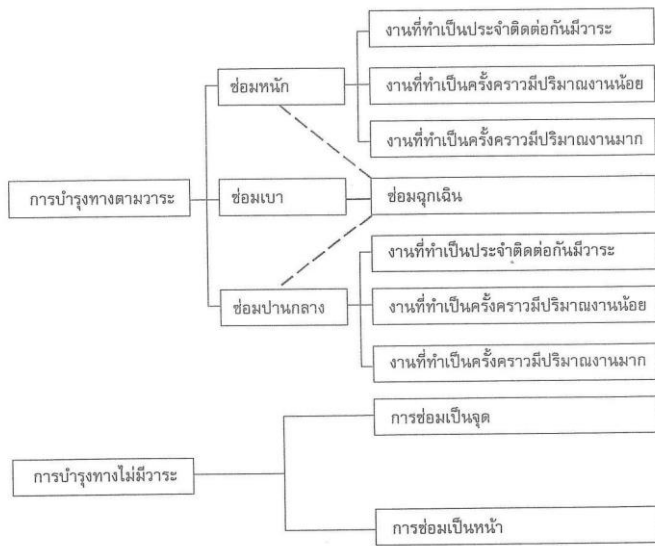
### 6.1.1 การซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง (Ballast track)

ทางรถไฟแบบ Ballast track เป็นทางรถไฟที่ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างสูง ประมาณ 70 – 200 ล้านบาท โครงสร้างทางรถไฟแบบนี้จะมี Design Service Life Cycle อย่างน้อย 50 ปี ด้านค่าใช้จ่ายสำหรับการก่อสร้างและการบริหารทางรถไฟนั้น การของบประมาณก่อสร้างนั้นไม่ยากเท่าการของบประมาณในการบำรุงรักษาทางรถไฟ มูลค่าของการซ่อมบำรุงทางจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามสภาพใช้งาน ดังนั้นในการบริหารทางรถไฟ เพื่อให้มีพื้นที่ทางวิ่งที่สมบูรณ์ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักและความเร็วลดลง ดังนั้น จึงต้องมีการวางแผนการบำรุงทางที่ดีตามกำหนดระยะเวลา เพื่อให้ทางรถไฟมีสภาพการใช้งานที่ดี เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในระยะยาว และทำให้การขนส่งทางรถไฟมีประสิทธิภาพ

ทางรถไฟแบบ Ballast track มีข้อดี คือ มีความนุ่มนวลและมีเสียงดังน้อยเมื่อขบวนรถวิ่งผ่าน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งแล้ว หินโรยทางจะสึกและหลวมคลอน ต้องมีการอัดหินเพิ่มเติมอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่หินโรยทางเสื่อมสภาพมากแล้วก็ต้องล้างหิน เพื่อคัดเลือกเศษวัสดุ และหินที่สึกไม่ได้ขนาดออก หากหินโรยทางเสื่อมสภาพมากจะต้องเปลี่ยนหินโรยทางใหม่

สำหรับทางรถไฟในประเทศไทย ซึ่งอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของการรถไฟแห่งประเทศไทย เกือบทั้งหมดเป็นทางรถไฟแบบ Ballast track ได้แบ่งประเภทของงานบำรุงทางรถไฟออกเป็น

2 ประเภท ได้แก่ 1) การบำรุงทางตามวาระ และ 2) การบำรุงทางไม่มีวาระ โดยเขียนเป็นแผนภาพ 6.1 ดังนี้



**แผนภาพ 6.1** แสดงประเภทของงานบำรุงทางรถไฟ  
(ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย, คู่มือการปฏิบัติการบำรุงทางตามวาระ)

### 6.1.1.1 การบำรุงทางตามวาระ

การบำรุงทางตามวาระ คือ การบำรุงทางที่มีกำหนดเวลาการปฏิบัติงานที่แน่นอน คือ มีการวางแผนล่วงหน้า เป็นแผนงานประจำวันและแผนงานประจำเดือน ตลอดจนแก้ไขปรับปรุง วิธีการปฏิบัติงานใหม่ โดยแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมดให้เสร็จในครั้งเดียวกัน

งานบำรุงรักษาทางตามวาระแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ การซ่อมหนัก การซ่อมเบา การซ่อมปานกลาง และการซ่อมฉุกเฉิน (Emergency Repair)

#### 1) การซ่อมหนัก (Heavy Repair หรือ A - Repair)

คือ งานบำรุงทางที่เกี่ยวกับการแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมดที่มีอยู่ในทาง ไม่ว่าจะเสียถึงพิภักใช้งานหรือไม่ก็ตาม เพื่อรักษาสภาพทางให้ถูกต้องตามมาตรฐาน คือ เป็นงานบำรุงทางที่กระทำทุก ๆ จุดเมื่อถึงวาระที่กำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้ทางเสียในภายหน้า (Protective Maintenance) ตลอดจนต้องเปลี่ยนหรือซ่อมวัสดุทุกประเภทที่ชำรุดหรือไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน โดยเริ่มต้นจากจุดหนึ่งไปสิ้นสุดถึงจุดหนึ่งตามระยะทางและเวลาที่กำหนด **รวมทั้งผ่าน เสมอทางระดับทุกแห่งที่อยู่ในระยะซ่อมหนันั้นๆ ด้วย**

การซ่อมหนักแบ่งออกตามลักษณะงานได้ดังนี้

- การซ่อมหนักในลักษณะงานบำรุงทางที่ทราบทาง คือ งานบำรุงรักษาทางโดยตรงซึ่งปฏิบัติเกี่ยวกับการแก้ไขปรับปรุงขนาดทาง แนวทาง ระดับตามยาว และระดับตามขวาง ซึ่งโดยทั่วไปดำเนินการโดย “หมู่ซ่อมทาง” (Track Gang) ตามวาระที่กำหนดให้
- การซ่อมหนักในลักษณะงานบำรุงทางทั่วไป คือ งานที่ทำเป็นครั้งคราวตามฤดูกาลหรือตามความจำเป็นที่เกิดขึ้นต้องปฏิบัติในรอบปี เช่น การทำความสะอาดหัวต่อราง ลอกร่องระบายน้ำ เสริมดินบ่าถนน เป็นต้น งานลักษณะนี้โดยทั่วไปดำเนินการโดย “หมู่งานทาง” (Working Gang)
- การซ่อมหนักในลักษณะงานทำเป็นครั้งคราว แต่ไม่กระทำทุกปี เช่น การเปลี่ยนราง การทำสะอาดหิน เป็นต้น งานลักษณะนี้ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก นอกเหนือจากอัตราค่าจ้างปกติ จึงต้องจัดหาแรงงานชั่วคราวเฉพาะงาน หรือโดยการจ้างเหมา ตามปกติเมื่อกล่าวถึงการซ่อมหนัก ให้หมายความถึงการซ่อมหนักในลักษณะแรก ซึ่งดำเนินการโดยหมู่ซ่อมทางตามวาระที่กำหนดให้

## 2) การซ่อมเบา (Light Repair หรือ B - Repair)

คือ งานบำรุงที่ทำโดยการแก้ไขข้อบกพร่องของทางเฉพาะจุดที่เสียเกินพิภักใช้งาน หรือเป็นงานบำรุงทางที่จะกระทำการแก้ไขก็ต่อเมื่อทางเสียเท่านั้น (Corrective Maintenance) เพื่อรักษาสภาพทาง รวบรวมการซ่อมหนักในปีต่อไป และไม่มีกรเปลี่ยนวัสดุทาง ยกเว้นวัสดุทางเล็กน้อยเท่าที่จำเป็นจริงๆ ก็อนุโลมให้เปลี่ยนได้ตามปกติ งานส่วนใหญ่ของการซ่อมเบา ได้แก่ งานปรับ ระดับขยกรางอัดหินเฉพาะบางจุด (Surfacing) และแก้ไขแนวทางบางส่วนเท่านั้น ซึ่งแตกต่าง

กับการซ่อมหนักที่ต้องแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมด และมีการปรับระดับอัดหินเป็นหน้า (Through Packing) พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนวัสดุทางด้วย

### 3) การซ่อมปานกลาง (Medium Repair หรือ C - Repair)

คือ งานบำรุงทางที่เกี่ยวกับการแก้ไขสิ่งบกพร่องทั้งหมดที่มีอยู่ในทาง ตลอดจนต้องเปลี่ยนหรือซ่อมวัสดุทางทุกประเภทที่ชำรุดหรือไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ตามระยะทางและเวลาที่กำหนดให้ ถ้าวัสดุใดคาดว่าจะมีอายุใช้การต่อไปไม่ถึงวาระการซ่อมปานกลางครั้งหน้าก็ต้องเปลี่ยนหรือซ่อมในคราวเดียวกัน

### 4) การซ่อมฉุกเฉิน (Emergency Repair)

คือ การแก้ไขทางเสียเป็นกรณีพิเศษที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด นอกเหนือจากการซ่อมหนัก หรือการซ่อมปานกลาง ซึ่งเป็นงานที่วางแผนไว้แล้ว และถ้าปล่อยทิ้งไว้อาจจะเป็นอันตรายต่อขบวนรถ หรือเป็นการไม่ประหยัด จึงจำเป็นต้องรีบซ่อมโดยด่วน

การซ่อมฉุกเฉิน แบ่งออกได้ตามลักษณะของงาน คือ

4.1) การซ่อมฉุกเฉินที่ต้องปฏิบัติทันที รอไม่ได้ หรือเป็นเหตุการณ์เฉพาะหน้า เช่น รถตกราง ทางขาด บ่าถนนเลื่อนไหล ต้องดำเนินการแก้ไขทันที และรีบรายงานให้ผู้บังคับบัญชาทราบ

4.2) การซ่อมฉุกเฉินที่รอการปฏิบัติได้ เช่น แผลทางเสียตามสภาพทางธรรมดาซึ่งตรวจพบระหว่างเดือนจากการตรวจทาง ให้สั่งการแก้ไขไว้ในแผนงานบำรุงทางประจำเดือน แต่ต้องรีบซ่อมโดยเร็วที่สุด



ก่อนปรับปรุง

หลังปรับปรุง

### รูปที่ 6.1 การปรับปรุงทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง

(ที่มา: <http://www.railway.co.th>)

### 6.1.1.2 การบำรุงทางไม่มีวาระ

การบำรุงทางไม่มีวาระ ประกอบด้วย การบำรุงเป็นหน้า และการบำรุงเป็นจุด

งานบำรุงทางที่เคยปฏิบัติมากันในแบบเดิมเป็นการบำรุงทางแบบเป็นจุด (Spot Repair หรือ D – Repair) โดยแบ่งระยะทางรับผิดชอบออกเป็นช่วงๆ ช่วงละประมาณ 6 กิโลเมตร อยู่ในความควบคุมดูแลของหมู่บำรุงทาง

การบำรุงทางเป็นจุดมีข้อดีเพียงอย่างเดียว คือ สามารถใช้วัสดุทางทุกชนิดได้ประโยชน์จนถึงที่สุด เช่น หมอนรองราง จะต้องใช้จนหมดอายุจริงๆ จนใช้การต่อไปอีกไม่ได้ จึงถอดออก

ในเวลาต่อมาได้มีการปรับปรุงวิธีการบำรุงทางเป็นการบำรุงทางเป็นหน้า คือ เริ่มต้นทำงาน บำรุงทางจากจุดหนึ่งเป็นระยะทางต่อเนื่องกันไปจนแล้วเสร็จถึงอีกจุดหนึ่งเสร็จแล้วจึงย้อนกลับมาเริ่มต้นใหม่

จากการศึกษาวิจัยของ Lake et. al., (2000) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีควีนสแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย พบว่า ในประเทศ Australia จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางรถไฟแบบ Ballast Track ประมาณ 25 – 35% ของค่าบริหารจัดการราง ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในระยะยาวที่มีมูลค่าที่สูง และยังมีเครื่องจักรในการบำรุงที่มีมูลค่าสูงอีกด้วย วิศวกรรถไฟในหลายประเทศจึงพยายามที่จะออกแบบพื้นทางที่ต้องการการบำรุงรักษาน้อย ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ให้ได้สูงสุด ซึ่งก็ได้พัฒนา Slab Track หรือทางรถไฟคอนกรีตขึ้นมา เพื่อลดจุดอ่อนของ Ballast Track เพื่อเสริมสมรรถนะของการขนส่งทางราง

### 6.1.2 การซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง (Non-ballast track / Slab track)

ทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรย (Non-ballast track) เป็นการวางรางลงบนแผ่นคอนกรีตอัดแรงที่เรียกว่า “Slab Track” หรือการวางรางลงบนหมอนคอนกรีตที่วางอยู่บนพื้นคอนกรีตที่มีช่องบังคับ เมื่อเทียบกับทางรถไฟแบบ Ballast track แล้ว Slab Track จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางที่ต่ำกว่า แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงกว่า



รูปที่ 6.2 การก่อสร้างทางรถไฟแบบ Slab Track

(ที่มา: <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0022460X07004075-gr1.jpg>)

สำหรับการซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง (Non-ballast track /Slab track) จะเป็นการซ่อมแซม Concrete shoulders โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ถอดเครื่องยึดเหนี่ยวและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องออก ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 การถอดเครื่องยึดเหนี่ยวราง

(ที่มา: <http://ars.els-cdn.com>)

- 2) ทำการซ่อมบํารับ (Shoulder) ตามแบบที่กำหนด และอาจจำเป็นต้องใช้กาวย Exoxy ทำการอุด (Grout) เพิ่มเติม ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การซ่อมบํารับราง (Shoulder)

(ที่มา: <http://ars.els-cdn.com>)

- 3) ตรวจสอบวัสดุรองรับ เช่น วัสดุรองรับที่ทำมาจากยาง และพลาสติกคุณภาพสูง
- 4) ติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวลงไปใหม่ (หรือชิ้นส่วนเดิมที่ไม่ชำรุด) ตามขั้นตอนการประกอบ ตามคำแนะนำของการติดตั้งในแต่ละมาตรฐาน ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 การติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวราง



(ที่มา: <http://ars.els-cdn.com>)

สำหรับทางรถไฟแบบ Slab track ในประเทศไทย มีเฉพาะในระบบรถไฟฟ้าในเมือง BTS, BMCL และ ARL ส่วนทางรถไฟส่วนใหญ่ของการรถไฟแห่งประเทศไทยนั้นยังเป็นแบบ Ballast track เนื่องจาก Slab track มีต้นทุนในการก่อสร้างสูงเมื่อเทียบกับแบบ Ballast track โดยปกติการลงทุนเพื่อก่อสร้าง Slab Track จะใช้เฉพาะเส้นทางหรือทางวิ่งที่ต้องการการใช้ประโยชน์สูง นอกจากนั้น การก่อสร้าง Slab track ยังมีปัญหาเรื่องความยากลำบากในการติดตั้ง เนื่องจากต้องมีความแม่นยำในการวางรางรถไฟ และถูกต้องตาม Vertical & Horizontal Alignment เพื่อป้องกันการตกรางของรถไฟ

### 6.1.3 มาตรฐาน กฎระเบียบ และความปลอดภัยในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงทางรถไฟ

#### 6.1.3.1 การบำรุงรักษาทางในย่าน

ทางในย่าน คือ ทางหลัก ทางตัน หรือทางอื่นๆ ซึ่งอยู่ภายในย่านสถานี และไม่ใช้ทางประธาน

การบำรุงรักษาทางในย่านจัดแบ่งลำดับความสำคัญในลักษณะของการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ

##### 1) ทางหลักที่ใช้เป็นทางรถโดยสาร

ทางหลักที่ใช้เป็นทางสำหรับการหลีกขบวนรถ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรถโดยสาร ให้ทำการบำรุงรักษาทางด้วยวิธีการซ่อมปานกลางปีละ 1 ครั้ง

การซ่อมปานกลางสำหรับทางในย่าน มีหน้าที่และวิธีการปฏิบัติเช่นเดียวกับการซ่อมปานกลางสำหรับทางประธาน แต่มีผลงานประมาณวันละ 72 เมตร ซึ่งน้อยกว่าผลงานในการซ่อมปานกลางสำหรับทางประธานซึ่งกำหนดไว้ประมาณวันละ 84 เมตร ทั้งนี้เพราะในย่านต่างๆ ไปมีสภาพทางและโครงสร้างไม่ดีเท่าทางประธานและมีปริมาณงานซ่อมมากกว่า

อีกประการหนึ่งในการปฏิบัติงานจะต้องเลือกเวลาที่ทางหลีกว่างขบวนรถ ซึ่งตามปกติในย่านใหญ่ทั่วๆ ไป จะมีเวลาทางหลีกว่างขบวนรถเพียงครั้งวันเท่านั้น เพราะจะมีการสับเปลี่ยนรถใน ตอนเช้าหรือเย็น และบางแห่งก็ตัดพ่วงทิ้งไว้ให้ทางหลีก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงาน หมุนนำและหมุนตามควรที่จะเริ่มงานจากจุดเดียวกัน และเสร็จที่สุดเดียวกันในแต่ละวันไป การซ่อมปานกลางในย่าน หมายความว่าถึง งานที่ทำการเกี่ยวกับการบำรุงรักษาทางเท่านั้น ไม่รวมถึงการทำความสะอาดทั่วๆ ไปซึ่งจำเป็นต้องจัดทำอยู่เสมอๆ ตามความจำเป็นแต่ละแห่ง

## 2) ทางหลีกที่ไม่ใช้ในการโดยสารหรือทางหลีกในทางแยก

สำหรับทางหลีกอื่นๆ นอกเหนือจากข้อ 1) เป็นทางหลีกที่ไม่ใช้สำหรับขบวนรถโดยสาร ตลอดจนทางหลีกในทางแยกต่างๆ กำหนดให้ทำการซ่อมเป็นจุดทุกปีโดยการซ่อมเดินหน้าไปถ้าทำได้ แต่ถ้าเห็นว่าควรจะทำการซ่อมปานกลางก็ให้อยู่ในดุลยพินิจของเขตฯ ที่จะดำเนินการ และมีอำนาจสั่งการได้ตามความจำเป็น

การซ่อมปานกลางสำหรับทางหลีก จะต้องมีการทำแผนงานบำรุงทางและดำเนินการเช่นเดียวกับการซ่อมปานกลางของทางประธานทุกประการ ส่วนการซ่อมเป็นจุดไม่มีการทำแผนงานคงซ่อมเท่าที่จำเป็นทุกปีตามความเหมาะสมแต่ละแห่งไป

### 6.1.3.2 การบำรุงรักษาประแจ

ประแจเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของทางรถไฟสำหรับติดตั้งไว้ที่รางรถไฟสำหรับให้รถไฟเดินเบี่ยงจากทางเดิมได้เมื่อต้องการ ส่วนประกอบที่สำคัญของประแจ ได้แก่ ลิ้นประแจ คันบังคับลิ้นประแจ รางเสริม รางปีก รางกัน และตะเฒ่ การควบคุมทิศทางที่จะให้ขบวนรถไฟวิ่งจะทำได้โดยยกคันบังคับ ลิ้นประแจ เพื่อเปิดลิ้นประแจสำหรับบังคับล้อรถไฟวิ่งไปในทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 6.6 ประแจจากโคมประแจ แสดงท่าประแจสวนเบี่ยงไปทางขวา  
(ที่มา: <http://th.wikipedia.org>)

ประแจเป็นจุดอ่อนของทางรถไฟซึ่งมีการสึกหรอและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงต้องมีการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์อยู่เสมอ การบำรุงรักษาประแจเป็นการตรวจสอบสภาพประแจ และซ่อมประแจให้มั่นคงแข็งแรง มีความปลอดภัยต่อการเดินรถ มีมิติต่างๆ ถูกต้อง และอยู่ในพิกัด และอำนวยความสะดวกของการทำงาน ระบบอาณัติสัญญาณ การบำรุงรักษาประแจ แบ่งประเภทตามลักษณะการปฏิบัติได้ 4 ชนิด คือ การซ่อมหนัก การซ่อมปานกลาง การซ่อมเบา และการซ่อมฉุกเฉิน

### 3.1) การซ่อมหนัก

เป็นการแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมดในชุดประแจ ทั้งด้านวัสดุทาง และแก้ไขความ คลาดเคลื่อนของรูปร่าง ได้แก่ ขนาดทาง ระดับตามขวาง ระดับตามยาว และแนวรางในชุดประแจ

### 3.2) การซ่อมปานกลาง

การซ่อมปานกลางของประแจเช่นเดียวกับการซ่อมหนัก แต่แตกต่างกันอยู่ที่การเปลี่ยนวัสดุ การซ่อมหนักให้เปลี่ยนวัสดุที่ชำรุดออกเป็นส่วนๆ แต่การซ่อมปานกลางให้เปลี่ยนวัสดุเป็นชิ้นๆ เฉพาะที่ชำรุด เช่น เปลี่ยนสลักเกลียว เค้า เพิ่มตะปูให้ครบถ้วน เป็นต้น

### 3.3) การซ่อมเบา

การซ่อมเบาประแจมีความหมายเช่นเดียวกับการซ่อมเบาในทางประธานหรือทางหลัก คือ มีแต่งานแก้ไขเครื่องประดับ ขนาดของทาง และแนวทางเท่านั้น ไม่มีการเปลี่ยนหรือซ่อมวัสดุเลย

**3.4) การซ่อมฉุดเงิน** คือ การแก้ไขสิ่งชำรุดหรือบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด และไม่อาจปล่อยทิ้งไว้ได้ ถือเป็นปฏิบัติเช่นเดียวกับการซ่อมฉุดเงินทางประธาน

การสร้างทางรถไฟและการบำรุงรักษาทางรถไฟให้อยู่ในสภาพปลอดภัย ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและกำลังคนสูงมาก การบำรุงรักษาทางรถไฟในระบบเดิมซึ่งใช้แรงงานคนสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ต้องจ้างคนเป็นจำนวนมากตลอดทางรถไฟ ดังนั้นเมื่อค่าแรงมีราคาแพงและต้องการลดค่าใช้จ่าย ประกอบกับความจำเป็นด้านช่องว่างที่หน่วยซ่อมสามารถเข้ามาทำงานมีจำกัด ตามปริมาณการเดินรถแน่นหนาบนทาง จึงมีการนำเครื่องมือกลเข้ามาใช้ตรวจและบำรุงรักษา การตรวจทางที่ทำให้ได้เร็ว คือ ใช้รถตรวจสภาพทาง (Track Inspection Car) ซึ่งสามารถอ่านค่าความคดเคี้ยวของทางรถไฟแล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (Control Index) เพื่อดูว่าทางตอนใดที่ต้องบำรุงรักษา ส่วนการแก้ไขทางที่เสียนั้น แต่เดิมใช้แรงงานคนอัดหินด้วยเครื่องอัดหินขนาดเล็กทำงานด้วยลมอัดซึ่งทำงานได้ช้า ในปัจจุบันมีการนำเครื่องมือกลหนักในการบำรุงรักษาทางรถไฟมาช่วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาทางรถไฟดีขึ้น เครื่องมือกลหนักได้รับการพัฒนาโดยลำดับและสามารถทำงานได้หลายอย่างและรวดเร็ว ได้แก่ การล้างหิน จัดแนวทาง เจียรหัวรางอัดหินในทาง อัดหินในชุดประแจ และรถลั่นหิน เป็นต้น

## 6.2 การซ่อมบำรุงตัวรถไฟและองค์ประกอบ

รถไฟแต่ละขบวนมีน้ำหนักสูงมาก โดยเฉพาะรถสินค้า ซึ่งแม้ว่าจะวิ่งช้ากว่ารถโดยสาร ดังนั้นการบำรุงรักษาจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุขึ้น สำหรับงาน

ซ่อมบำรุงระบบต่างๆ ของรถไฟ หากเปรียบเทียบกับรถยนต์ทั่วไป การซ่อมบำรุงรถยนต์ต้องเข้าศูนย์บริการหรืออู่บริการ รถไฟก็ต้องการศูนย์ซ่อมบำรุงเช่นเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่ศูนย์บริการรถยนต์นั้นสามารถตั้งกระจายอยู่ได้ทั่วไป ณ ที่มีถนนตัดผ่าน แต่สำหรับรถไฟแล้ว รถไฟจะไปถึง ณ ที่ใดได้ก็ต่อเมื่อมีทางรถไฟไปถึง ดังนั้นศูนย์ซ่อมบำรุงของรถไฟ (Depot) จึงจำเป็นต้องตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเส้นทางรถไฟ



รูปที่ 6.7 ศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟ (Depot)

(ที่มา: <http://www.theage.com.au>)



รูปที่ 6.8 การบำรุงรักษา Rolling stock

(ที่มา: <http://www.alstom.com>)

ระบบที่ใช้ในการบำรุงรักษารถไฟโดยทั่วไปสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM หรือ Planned Preventive Maintenance: PPM) และการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance: CM)

การบำรุงรักษารักษาแบบ PM/PPM เป็นระบบซ่อมบำรุงเพื่อบำรุงรักษาให้คงประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งเป็นการดำเนินการก่อนเกิดความชำรุด ระบบนี้ถ้าทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม โอกาสที่จะเกิดการชำรุดก่อนถึงกำหนดจะมีน้อยมาก

การใช้ PM/PPM มีข้อได้เปรียบ คือ 1) สามารถวางแผนการซ่อมและแผนสนับสนุนด้านโลจิสติกส์สำหรับชิ้นส่วนในการซ่อมบำรุงได้ และ 2) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจะกระจายออกไปในระยะเวลาของการประกอบกิจการ ส่วนข้อเสีย คือ ต้องรู้อายุการใช้งานและการจัดเปลี่ยนชิ้นส่วนก่อนชำรุด ซึ่งหากเปลี่ยนเร็วไปก็จะเสียประโยชน์ จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดและวางระบบบริหารการซ่อมไว้เป็นอย่างดี เพราะมิฉะนั้นจะเป็นระบบการซ่อมที่ฟุ่มเฟือย และมีค่าใช้จ่ายสูง

ส่วนข้อดี-ข้อเสียของระบบการซ่อมแบบ CM คือ การวางแผนการซ่อมและโลจิสติกส์ทำได้ยาก ค่าใช้จ่ายของกิจการอาจจะมากกระจุกตัวอยู่ในปีที่ชิ้นส่วนหมดอายุใช้งาน ซึ่งอาจกระทบสถานะทางการเงินของกิจการ นอกจากนี้ หากระบบที่ใช้วิธีการซ่อมแบบ CM เกิดการชำรุดในระหว่างทำงาน เช่น ค่าเสียหายในการกู้ระบบคืน หรือชื่อเสียงของกิจการ ซึ่งอาจเสียหายมากกว่าก็เป็นได้

อย่างไรก็ตาม ไม่มีระบบซ่อมใดที่สามารถจัดการชำรุดก่อนถึงกำหนดได้ ซึ่งจะตามมาด้วยการซ่อมแบบ CM ปกติแล้วการซ่อมจริงในหน้างานจึงมีทั้งแบบ PM/PPM ผสมกับ CM ถ้าสามารถบริหารจัดการให้เกิดการซ่อมในระบบ PM/PPM ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การซ่อมแบบ CM ซึ่งก่อปัญหาแก่การเดินรถไฟก็จะมีสัดส่วนลดลง

ระบบการซ่อมแบบ PM/PPM สามารถใช้การได้ดีเมื่อชิ้นส่วนหรือระบบมีอัตราการชำรุดเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานและเมื่อค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยกว่าค่าใช้จ่ายจากการซ่อมในระบบ CM อย่างไรก็ตาม ด้วยวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีของระบบคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร และอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ทำให้สามารถตรวจสอบสภาพการทำงานของชิ้นส่วนหรือระบบ รวมทั้งทำการประมวลผลและจัดส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ในปัจจุบันจึงมีวิธีการบริหารระบบซ่อมบำรุง

ที่เรียกว่า “การซ่อมตามสภาพการใช้งาน” (Condition-based Maintenance : CBM) และเป็นที่นิยมหลายกรณี ตัวอย่างการซ่อมในระบบ CBM ที่ใช้มานาน คือ การติดตั้งเครื่องวัดแรงดันคร่อมกรองน้ำมันหล่อลื่น เมื่อเกิดแรงดันต่างที่หน้ากรอง และหลังกรองมากกว่าพิกัดก็แสดงว่ากรองตันต้องเปลี่ยนใหม่แล้ว

อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการประมวลผลและการจัดทำรายงานจะสะดวกรวดเร็วกว่าแต่ก่อนมาก แต่การซ่อมในระบบ CBM จะมีต้นทุนเริ่มต้นในการติดตั้งอุปกรณ์ และในบางกรณีก็ไม่สามารถตรวจวัดสภาพการเสื่อมตามอายุการใช้งานของชิ้นส่วนได้ครบถ้วน วิธีการที่ใช้อยู่มากในปัจจุบันก็คือ ใช้ระบบ PM/PPM เป็นหลักและใช้ระบบ CBM เข้าเสริม ซึ่งในหลายกรณีได้พิสูจน์แล้วว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้มากกว่าการใช้ PM/PPM แต่เพียงอย่างเดียว

สำหรับการจัดทำรายการซ่อม (Check List) นั้น ในทางปฏิบัติ ไม่สามารถจะติดตามชิ้นงานทุกชิ้นได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงต้องจัดชิ้นงานเข้าเป็นกลุ่ม โดยหัวใจในการจัดกลุ่มก็คือ ต้องรู้อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย (Mean Time Failure: MTTF) ของชิ้นส่วน ซึ่งอาจจะไม่ใช่วิธีการที่สมบูรณ์แบบเสียทีเดียว ชิ้นส่วนที่ถูกจัดเข้ากลุ่มก่อนกำหนด MTBF จะถูกเปลี่ยนเร็วเกินไป เป็นการเสียผลประโยชน์ ทำให้ดูเหมือนว่าระบบ PM/PPM มีความสิ้นเปลือง ในขณะที่ชิ้นส่วนซึ่งถูกเปลี่ยนหลัง MTBF จะทำงานอยู่ในช่วง IFR มีโอกาสเกิดชำรุดขณะใช้งานสูง ทั้งนี้ไม่รวมถึงการชำรุดก่อน MTBF ซึ่งเกิดความบกพร่องในการผลิตหรือฝีมือการซ่อม (Workmanship) ขาดความประณีต สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการซ่อมแบบ CM เพิ่มขึ้นในหน่วยงาน

เมื่อจัดกลุ่มชิ้นส่วนเสร็จแล้วก็สามารถจัดรายละเอียดของรอบการซ่อม (Maintenance Scheme) และรายการซ่อม (Check List) ได้ รายการซ่อมนี้ก็จะเป็นคู่มือสำหรับการควบคุมคุณภาพเพื่อเป็นหลักประกันว่า ระบบจะกลับออกไปใช้งานได้อย่างมีคุณภาพเหมือน (หรือใกล้เคียง) ของใหม่หลังจากผ่านการซ่อมแล้ว

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่า รถไฟทั้งระบบจะประกอบด้วยระบบย่อยที่ทำงานไปด้วยกัน ระบบย่อยเหล่านี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วน ซึ่งสามารถจัดวางระบบซ่อมแบบ PM/PPM ได้เหมือนกัน สิ่งที่แตกต่างกัน คือ วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อใช้สำหรับควบคุมการซ่อม ซึ่งในอดีตที่ระบบการสื่อสารยังไม่

สะดวก ก็จะเก็บเป็นชั่วโมงใช้งาน หรือกิโลเมตรทำการ แต่ระบบการเก็บข้อมูลสมัยใหม่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล ประเมินผล และจัดทำรายงาน รวมทั้งนำส่งรายงานผ่านระบบสื่อสาร ทำให้การทำงานมีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

จากการที่ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทช่วยในการบริหารระบบการซ่อมบำรุงอย่างกว้างขวาง มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการซ่อมบำรุงซึ่งสามารถเชื่อมโยงระบบต่างๆ เข้าด้วยกัน และสามารถออกรายงานตามที่ฝ่ายบริหารต้องการอย่างรวดเร็ว เช่น ระบบการซ่อมบำรุงที่รถไฟขบวนส่งมวลชนบีทีเอสใช้บำรุงรักษาระบบการเดินรถไฟฟ้ทั้งระบบ ได้แก่ ขบวนรถไฟ ทางรถไฟ สัญญาณ ระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน ฯลฯ ซึ่งผู้ใช้สามารถวางระบบการซ่อมบำรุงได้สะดวกขึ้น

### 6.3 การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ

#### 6.3.1 ขอบข่ายของการทำงาน

กลุ่มบำรุงรักษาระบบอาณัติสัญญาณ การรถไฟแห่งประเทศไทย จะต้องดูแลบำรุงรักษา งานตามข้างทางรถไฟ และตรวจวัดให้ทำงานได้ตรงกับอุปกรณ์ต่อไปนี้

- (1) วงจรไฟตอน (Track Circuits)
- (2) เครื่องกลับประแกลงไฟฟ้า
- (3) สัญญาณ (ทั่วยุไป)
- (4) ตู้อุปกรณ์ข้างทาง (Object Controller Cabinet –OCC)
- (5) อุปกรณ์บริเวณทางตัดผ่าน
- (6) หม้อเก็บประจุไฟฟ้า (Secondary Cells)

งานบำรุงรักษาจะต้องบันทึกลงในสมุด (Work log) และแผนบันทึกเครื่องมือ (Equipment record Cards) ที่เป็นมาตรฐานการบำรุงรักษาที่จำเป็นตามระยะเวลาบำรุงรักษา 12 สัปดาห์ และตามคำแนะนำจากผู้อำนวยการ (Director) ของแผนกกำกับการอาณัติสัญญาณและโทรคมนาคม เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาจะต้องแก้ไขการผิดพลาด (Fault) ของอุปกรณ์ด้วยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบที่ชำรุดใหม่ และสามารถที่จะเข้าเฝ้าระบบแสดงการผิดพลาด (Fault) และตำแหน่งที่ผิดพลาดของสัญญาณโดยการใช้เครื่องมือวัด (Multi-meter) ข้อมูลทางด้านเทคนิค



จำเพาะจากการทำงานและการสร้างอุปกรณ์จะต้องเก็บไว้ในคู่มือของระบบ (The system manuals)

### 6.3.2 ความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal safety)

ผู้ปฏิบัติงานจะต้องไม่ละเลยข้อควรระวังในการรักษาความปลอดภัย และผู้ร่วมงานต้องเข้าใจการทำงานหน้าที่ของตนตามแนวทางแนะนำที่กำหนดไว้ในกฎข้อบังคับของการรถไฟฯ กลุ่มผู้ร่วมงานต้องคุ้นเคยกับคำแนะนำการทำงานเพื่อให้สัมพันธ์กับการป้องกันอุบัติเหตุ ความปลอดภัยส่วนบุคคลและวิธีปฐมพยาบาลเมื่อกำลังปฏิบัติงาน หรือให้สัญญาณรถวิ่ง กลุ่มร่วมการทำงานในสนามต้องปฏิบัติดังนี้

- หันหน้าไปทางที่รถวิ่งเข้ามา และต้องสวมเสื้อผ้าที่มีสีแดงหรือสะท้อนแสงที่ทำให้เห็นได้ไกลและชัดเจน
- พนักงานรักษาความปลอดภัย (Lock - out man) ต้องคอยตรวจสอบและระวังอันตรายจากขบวนรถ และคอยเฝ้าติดตามสอบถามขบวนรถจากผู้เกี่ยวข้อง เช่น **บสน.** หากมีขบวนรถเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงาน พนักงานรักษาความปลอดภัยต้องแจ้งสัญญาณเตือนด้วยนกหวีด หรือแจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานออกนอกพื้นที่ ขบวนรถจะผ่าน พนักงานรักษาความปลอดภัยจะต้องได้รับการอบรมให้รู้วิธีการรักษาความปลอดภัยให้ทันก่อนออกทำหน้าที่ ต้องแนะนำและเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ปฏิบัติตามกฎการรักษาความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด

### 6.3.3 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานในทาง

การขุดดินเพื่อฝังสายเคเบิลใต้ดิน หรืออย่างอื่นที่จะต้องขุดดินบริเวณใกล้ทางรถไฟจะต้องได้รับอนุญาตเห็นชอบจากเจ้าหน้าที่ฝ่ายการช่างโยธาเสียก่อน เพื่อป้องกันการเกิดพังทลายของดิน บริเวณใกล้ทางอันอาจทำให้สภาพทางทรุดตัว หากมีขบวนรถวิ่งผ่านจะเกิดอุบัติเหตุได้

### 6.3.4 ระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง (Failures)

วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาทางที่ดี เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความขัดข้องของระบบ ดีกว่าที่จะคอยจนเกิดการเสีย ในกรณีของการเกิดอุบัติเหตุฉุกเฉิน หรือการเสียจากอุปกรณ์อาณัติ สัญญาณ นายตรวจสถานี (นตส.) ในหน้าที่และทีมงานจะต้องเข้าทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ให้ใช้งานได้โดยเร็ว และ นตส. ต้องรายงานเหตุการณ์ทั้งหมดให้กับสารวัตรทราบโดยยื่นพร้อมกับแบบ รายงาน

การรายงานการเกิดอุบัติเหตุฉุกเฉินต้องแจ้งให้ทราบทางโทรศัพท์ทันทีทันใด เพื่อสารวัตร และ นตส. การรถไฟฯ จะสามารถทำงานพิเศษเพื่อสิ่งการต่อไป

### 6.3.5 การตรวจงาน

เมื่อเริ่มต้นของการกลับมาปฏิบัติหน้าที่ต้องจัดเก็บพัสดุให้เรียบร้อยสามารถจัดหามาใช้งานได้อย่างรวดเร็วพร้อมทั้งรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์อันไหน ให้กลุ่มผู้ร่วมงานนำไปใช้ บำรุงรักษา ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงภายหลังต้องแจ้งให้ทราบ เมื่อเข้าไปในห้องรีเลย์ หรือ ห้องปฏิบัติการเพื่อทำหน้าที่บำรุงรักษาต้องเซ็นชื่อ และลงวันที่เข้าไปด้วย เมื่อเสร็จสิ้นการปรับปรุง รักษาประจำวัน หรือแก้ไขการเสียหายคืนดีแล้ว ก่อนจะกลับควรจะถามผู้ปฏิบัติงานสถานีที่ เพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ในพื้นที่ อาณัติสัญญาณสัมพันธ์ทำงานถูกต้อง

### 6.3.6 เครื่องมือและเครื่องวัด

เครื่องมือต้องดูแลอย่างดี และเครื่องวัดทั้งหมดต้องใช้อย่างระมัดระวัง และเก็บรักษาให้อยู่ ในสภาพดี ถ้าตรวจสอบหรือพบความเสียหาย ให้ส่งเครื่องมือนั้นกลับไปซ่อมที่โรงงาน สำหรับ เครื่องมือวัดต้องตรวจสอบความปลอดภัย เช่น การต่อวงจรเวลาจะทำการวัด เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหาย ก่อนต่อเครื่องมือวัดให้ปรับสเกลที่จะใช้ไปที่ค่าสูงสุดก่อน

ข้อสำคัญ ถ้าเครื่องมือวัดปรับไปที่กระแสแต่นำไปวัดหาแรงดันไฟฟ้า ไม่เพียงแต่เครื่องมือ วัด ะเสียหายเท่านั้น แต่กระแสจากการต่อใช้เครื่องมือวัดผิดวิธีจะวิ่งไหลผ่านเข้าไปในวงจรสัญญาณ ซึ่งเป็นผลให้เครื่องอาณัติสัญญาณสัมพันธ์รีเลย์ทำงานที่ผิดพลาด

ข้อควรระวังที่จะทำให้มั่นใจว่าเครื่องมือหรือเครื่องวัดต้องใช้ให้ถูกต้องกับงานนี้เป็นเรื่องสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อเกิดการผิดพลาด (Fault) หรือใช้เครื่องมือวัดตรวจสอบวงจรรีเลย์อาณัติสัญญาณสัมพันธ์ ถ้าเครื่องมือนั้นมีความต้านทานภายในต่ำจะเกิดลัดวงจร ซึ่งจะมีผลทำให้รีเลย์ติด หรือรีเลย์ธรรมดาเปลี่ยนท่าดูได้ และถ้าเกิดกับวงจรกลับประจําจะทำให้ประจํากลับได้ห้องรถได้

ผู้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดเข็มต้องมั่นใจในเรื่องการตั้งสเกล ถ้าหากอยู่ในช่วงขณะที่รอกำลังวิ่งควรปิดสวิทช์เครื่องวัดก่อน (Off position) เพราะขณะรถวิ่งกระแสไฟฟ้าจะกระเพื่อมจึงป้องกันการเสียหายได้ และเมื่อจะทำการวัดเครื่องวัดต้องตั้งให้อยู่ในสเกลสูงสุดทุกครั้งเพื่อป้องกันเข็มตีสเกลหัก เมื่อเลิกใช้เครื่องวัดอย่าตั้งไว้ที่วัดความต้านทาน เพื่อป้องกันไฟไหม้

ข้อปฏิบัติขณะทำการตรวจสอบ หากมีขบวนรถผ่านมายังจุดหรือสถานที่ทำงานอยู่ให้หยุดการปฏิบัติงานก่อนขบวนรถเข้ามา และก่อนหยุดต้องตรวจสอบว่าอุปกรณ์ทำงานอยู่ในสภาวะที่ปลอดภัยหากขบวนรถเคลื่อนเข้ามาหรือหากทำงานในห้องรีเลย์ต้องออกจากห้องรีเลย์

### 6.3.7 ห้องรีเลย์ และห้องเครื่องมือ

ห้องรีเลย์และห้องอื่นๆ เครื่องมือสัญญาณ เครื่องมือทำงานต้องเก็บไว้ให้สะอาดและเรียบร้อย

วัสดุที่เหลือใช้ไม่ควรที่จะเก็บไว้ในห้องเหล่านี้ ห้องรีเลย์ควรใส่กุญแจตลอดเวลา ยกเว้นเมื่อต้องการใช้งานจึงเปิดห้องนั้น นตส. ที่อยู่ในหน้าที่ต้องอยู่คอยควบคุมและช่วยเหลือ เมื่อผู้ร่วมงานต้องการการช่วยเหลือการทำงาน หรือหาข้อผิดพลาด นตส. ต้องคอยดูแลความปลอดภัยให้กลุ่มผู้ร่วมงาน และคอยรวบรวมอุปกรณ์เครื่องมือให้ผู้ร่วมงาน ไม่ควรให้มีควันไฟในห้องรีเลย์ หรือพื้นที่อื่นๆ เช่น ห้องเก็บอุปกรณ์สัญญาณ ไม่ควรมีการเตรียมอาหาร หรือทำอาหารในอาคาร พื้นห้องควรดูด้วยไม้ถูพื้นใส่ถุงซังฟอกเง็จาง

### 6.3.8 การทำความสะอาดและการหล่อลื่น

ความสะอาด และความเรียบร้อยต้องหมั่นสังเกตตลอดเวลา เครื่องมือเครื่องวัดและการต่อสายรักษาไม่ให้มีฝุ่น และผงทรายเพื่อหลีกเลี่ยงการสึกกร่อน และป้องกันการเสียหายเบื้องต้น การ

หล่อลื่นต้องทำให้ทั่วถึงแต่อย่าให้มากเกินไป น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเครื่องที่เหลือต้องเช็ดออกให้หมด

ข้อต่อและเฟืองที่เคลื่อนไหวต้องตรวจสอบ ถ้าพบเหตุสึกกร่อนให้จัดการเปลี่ยนใหม่ตามต้องการ และต้องปรับให้เคลื่อนไหวได้อิสระ แต่อย่าให้ชิ้นส่วนหลุดออกจากกัน ใช้เฉพาะการหล่อลื่นตามแบบปรับปรุงแล้ว และต้องไม่ให้ไหลเข้าไปในสะพานต่อไฟฟ้า (Contact) ในกล่องสะพานไฟ ต้องทำความสะอาดด้วย หน้าคอนแทคควรทำความสะอาดและเช็ดเบาๆ ด้วยน้ำมันจำเพาะเพื่อป้องกัน การสึกกร่อน ตัวและฝาครอบของกล่องสะพานไฟควรรักษาให้สะอาด และปราศจากฝุ่นละออง

ข้อสำคัญ คือ หน้าสัมผัสต้องปรับให้ถูกต้อง มิฉะนั้นจะเกิดการผิดพลาดของระบบไฟฟ้าได้

### 6.3.9 การป้องกันอันตรายจากไฟไหม้

หากเกิดไฟไหม้ต่ออุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณอาจทำให้ระบบหยุดการทำงานหรือเกิดอันตรายต่อขบวนรถ ดังนั้น เจ้าหน้าที่บำรุงรักษา จะต้องคอยตรวจสอบไม่ให้มีวัสดุที่ติดไฟได้ เช่น กระดาษ เศษไม้ ฟืน ฝุ่นหรือวัสดุอื่นทั่วไปที่อาจจะติดไฟได้อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณ เช่น ตู้ใส่อุปกรณ์ข้างทาง เคเบิล อุปกรณ์ประแจ และอื่นๆ ที่อาจจะอันตรายจากเพลิงไหม้

### 6.3.10 การทำให้สัญญาณต่างๆ มองเห็นชัดเจน

ป้ายบอกสัญญาณต้องไม่ติดตั้งในลักษณะซ้อน หรือบังโครงสร้างหลังคา ราวสะพาน โดยเฉพาะทางที่เป็นทางโค้งความลาดเอียงของทาง การติดตั้งสัญญาณจะต้องหลีกเลี่ยงการติดตั้งในทางโค้ง เนื่องจากส่วนบนของป้ายหรือสัญญาณ จะโค้งเข้าหารางหากติดตั้งในแนวที่ทางโค้งพอดี และติดใกล้กับราง

กิ่งก้านของต้นไม้และพุ่มไม้ต้องไม่บังเสาสัญญาณต่างๆ และสัญญาณที่ทางตัดผ่านก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะบังป้ายหรือสัญญาณได้ ดังนั้นต้องหมั่นตรวจสอบ ตัดทอนกิ่งไม้ไม่ให้ขึ้นหรือล้า ทำให้บังป้ายหรือสัญญาณได้

## บทสรุป

การซ่อมบำรุงระบบราง ประกอบไปด้วย การซ่อมบำรุงทางรถไฟ การซ่อมบำรุงตัวรถไฟ และองค์ประกอบ และการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ

การซ่อมบำรุงหลักๆ ในบำรุงรักษาทางรถไฟ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การบำรุงทางรถไฟ แบบใช้หินโรยทาง (Ballast track) การบำรุงทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง (Non-ballast track /Slab track) และการบำรุงรักษาทางในย่านและประแจ (Railroad switch/Turnout)

ระบบที่ใช้ในการบำรุงรักษาทางรถไฟและองค์ประกอบ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM หรือ Planned Preventive Maintenance: PPM) เป็นระบบซ่อมบำรุงเพื่อบำรุงรักษาคงประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งเป็นการดำเนินการก่อนเกิดความชำรุด ระบบนี้ถ้าทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมแล้ว โอกาสที่จะเกิดการชำรุดก่อนถึงกำหนดจะมีน้อยมาก และ 2) การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance: CM) การซ่อมจริงในหน้างานจึงมีทั้งแบบ PM/PPM ผสมกับ CM ถ้าสามารถบริหารจัดการให้เกิดการซ่อมในระบบ PM/PPM ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การซ่อมแบบ CM ซึ่งก่อปัญหาแก่การเดินรถไฟก็จะมีสัดส่วนลดลง

สำหรับการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณนั้น จะต้องดูแลบำรุงรักษาตามข้างทางรถไฟ และตรวจวัดให้ทำงานได้ร่วมกับวงจรไฟตอม (Track Circuits) เครื่องกลับประแจกลไฟฟ้า สัญญาณต่างๆ ไป ตู้อุปกรณ์ข้างทาง อุปกรณ์บริเวณทางตัดผ่าน และหม้อเก็บประจุไฟฟ้า (Secondary cells)

ผู้ปฏิบัติงานจะต้องไม่ละเลยข้อควรระวังในการรักษาความปลอดภัย และผู้ร่วมงานต้องเข้าใจการทำงานหน้าที่ของตนตามแนวทางแนะนำที่กำหนดไว้ในกฎข้อบังคับของการรถไฟฯ กลุ่มผู้ร่วมงานต้องคุ้นเคยกับคำแนะนำการทำงานเพื่อให้สัมพันธ์กับการป้องกันอุบัติเหตุ ความปลอดภัยส่วนบุคคล และวิธีปฐมพยาบาลเมื่อกำลังปฏิบัติงาน หรือให้สัญญาณรถวิ่งกลุ่มร่วมงานทำงานในสนาม

## เอกสารอ้างอิง

การรถไฟแห่งประเทศไทย. การบำรุงรักษา. เอกสารประกอบการฝึกอบรมพนักงานสื่อสารตามโครงการ The Improvement of the Railway Training Center โดยความร่วมมือระหว่าง JICA & SRT

นคร จันทรร. 2555. ช่างรถไฟ: ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย. คู่มือการปฏิบัติการบำรุงทางตามวาระ.



## ดรรชนี

|                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| A-Car, 119                         | Stephenson gauge, 33              |
| AGV, 75                            | TGV, 63, 71, 72                   |
| Ballast track, 161                 | เกจ, 27                           |
| B-Car, 119                         | เขตบรรทุก, 37                     |
| Cape gauge, 33, 35                 | เคเทนนารี (Catenary), 131, 132    |
| C-Car, 119                         | เคเบิลคาร์ (Cable car), 4         |
| Central Traffic Control, 146       | เครื่องแปลงแรงบิด, 92             |
| Depot, 171                         | เครื่องจักรไอน้ำ, 5               |
| Eddy Current Brake, 105            | เครื่องตราทางสะดวก, 143           |
| European Standard Gauge (ESG.), 33 | เครื่องมือและเครื่องวัด, 176      |
| Eurostar, 74                       | เครื่องมือระบบอาณัติสัญญาณ, 141   |
| Heavy rail, 27                     | เครื่องยนต์ดีเซล, 114             |
| Iberian gauge, 35                  | เครื่องยึดเหนี่ยวราง, 30, 32      |
| Indian gauge, 35                   | เครื่องสัญญาณประแจกลไฟฟ้า, 142    |
| InterCityExpress (ICE), 63         | เต้ากันโคลง, 82                   |
| Irish gauge, 35                    | เทคโนโลยีรถไฟ, 67                 |
| JR Group, 70                       | เทรด (Thread), 28                 |
| Light rail, 27                     | เบรกแบบใช้ลมอัด, 100              |
| Meter gauge, 33, 35                | เบรกแบบใช้สุญญากาศ, 98            |
| Meter Gauge, 36                    | เบรกไฟฟ้า, 103                    |
| Non-ballast track, 165             | เบรกกล, 103                       |
| Railway Boom, 7                    | เบรกราง, 104                      |
| RAMS, 160                          | เบรกอากาศ, 106                    |
| Regionale, 76                      | เบาะแคร่, 81                      |
| Russian gauge, 35                  | เส้นทางสายเหนือ, 150              |
| Shoe & Shoe gear, 127              | เส้นทางสายใต้, 150                |
| Slab track, 167                    | เส้นทางสายตะวันออก, 150           |
| Standard gauge, 33, 35, 36         | เส้นทางสายตะวันออกเฉียงเหนือ, 150 |



|  |  |
|--|--|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง ณ จุดสัมผัส (Diameter on Thread), 28 | การกระจายของน้ำหนักบนทาง (Load distribution), 27 |
| เสาสัญญาณชนิดทางปลา, 142                               | การก่อสร้างทางรถไฟ, 10                           |
| เวยราจ (Web), 32                                       | การขนส่งทางราง, 19                               |
| แครโดยสาร, 83  | การขอและให้ทางสะดวก, 142, 143                    |
| แครรถจักร, 82  | การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า, 122               |
| แครรถดีเซลราง, 83                                      | การควบคุมความเร็วรถไฟ, 121                       |
| แครรถสินค้า, 85  | การซ่อมเบา, 163, 170                             |
| แครรับน้ำหนักแบบสองจุด, 84                             | การซ่อมฉกฉิน, 164, 170                           |
| แครรับน้ำหนักแบบสามจุด, 85                             | การซ่อมบํารับ, 167                               |
| แครรับน้ำหนักจุดเดียว, 83                              | การซ่อมบํารุงตัวรถไฟ, 171                        |
| แท่งห้ามล้อ, 98  | การซ่อมบํารุงทางรถไฟ, 160                        |
| แอร์สปริง, 82  | การซ่อมบํารุงรถไฟ, 160                           |
| แองเกอร์ลิงค์, 182                                     | การซ่อมบํารุงระบบไฟฟ้า, 174                      |
| โครงแคร, 81  | การซ่อมบํารุงระบบราง, 178                        |
| โครงสร้างของทางรถไฟ, 29, 38                            | การซ่อมปานกลาง, 163, 170                         |
| โซ่ตัวนำสาลี, 131                                      | การซ่อมหนัก, 162, 170                            |
| โบกี้ (Bogies), 76                                     | การตรวจงาน, 175                                  |
| ไดนามิคเบรก, 103                                       | การทำความสะอาด, 177                              |
| ไฟเขียว, 141   | การบํารุงทางไม่มีวาระ, 165                       |
| ไฟเหลือง, 141  | การบํารุงทางตามวาระ, 162                         |
| ไฟแดง, 141   | การบํารุงรักษาทางในย่าน, 168                     |
| ไม่ใช้หินโรยทาง, 165                                   | การบํารุงรักษาทางรถไฟ, 170                       |
| ไฮโดรไดนามิกส์, 91                                     | การบํารุงรักษาประแจ, 169                         |
| ไฮดรอลิกส์, 90   | การบํารุงรักษารถไฟ, 178                          |
| กระแสลับความถี่ต่ำ, 135                                | การปฏิบัติอุตสาหกรรม, 5                          |
| กระบอกเบรก, 98   | การป้องกันตรายจากไฟไหม้, 177                     |
| การเดินรถและควบคุม, 142                                | การรับน้ำหนักรถไฟ (Load bearing), 27             |
| การเดินรถไฟฟ้ามหานคร, 151                              | การก่อสร้างทางรถไฟ, 170                          |
|  | การหล่อสี, 177                                   |

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| กิจการรถไฟ, 14                               | ทางรถไฟสายแรก, 10                     |
| ขนาดและมาตรฐานรางรถไฟ, 32                    | ทางรถไฟสายใต้, 13                     |
| ขนาดความกว้างรางรถไฟ, 32                     | ทางหลัก (Siding), 29                  |
| ข้อเสียเปรียบของการขนส่งทางราง, 22           | ท่าระวาง, 140                         |
| ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของการขนส่งทางราง, 19 | ท่าห้าม, 140                          |
| ข้อได้เปรียบของการขนส่งทางราง, 19            | ท่าอนุญาต, 140                        |
| คลิป (Clip), 38                              | น้ำหนักกดเพลลา (Axle load), 27        |
| ความจำเป็นของระบบราง, 18                     | บังใบ (Flange), 28                    |
| ความจุของขบวนรถไฟฟ้า, 120                    | บำรุงรักษาทางรถไฟ, 178                |
| ความนุ่มนวล (Riding Comfort), 37             | ประเภทของรถไฟ, 53                     |
| ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน, 175              | ประแจ, 28, 169                        |
| ความปลอดภัยส่วนบุคคล, 174                    | พนักงานสัญญาณ, 29                     |
| ความหมายของทางรถไฟ, 27                       | พนักงานห้ามล้อ, 98                    |
| คันทาง (Embankment), 30                      | มอเตอร์ลากจูง, 114                    |
| จุดสับราง (Switching part), 29               | มอเตอร์ลากจูง (Traction motor), 112   |
| ชูและชูเกียร์, 127                           | ย่านสถานี (Station yard), 29          |
| ฐานราง (Foot), 32                            | ย่านสับเปลี่ยน (Marshalling yard), 29 |
| ดินคันทาง (Embankment), 30                   | ยุคแรก (Early Wagonways), 3           |
| ตรวจสอบวัสดุรองรับ, 167                      | ยุคบุกเบิก (Earliest Traces), 2       |
| ตะปูราง (Dog spike), 32                      | ยุคบุกเบิกรถจักรไอน้ำ, 4              |
| ตัวป้อนพลังงานไฟฟ้า, 134                     | รถไฟ, 9                               |
| ติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยว, 167                | รถไฟแม่เหล็ก, 66                      |
| ท่อลมบังคับการเดี่ยว, 100                    | รถไฟความเร็วสูง, 62                   |
| ทางประธาน (Main line), 29                    | รถไฟพลังแม่เหล็ก, 66                  |
| ทางรถไฟ, 27                                  | รถไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส, 136           |
| ทางรถไฟใต้ดิน, 41                            | รถไฟฟ้าราง, 60                        |
| ทางรถไฟบนพื้นดิน, 38                         | รถไฟฟ้ารางและรถจักรไฟฟ้า, 60          |
| ทางรถไฟลอยฟ้า, 39                            | รถไฟหลวง, 12                          |
| ทางรถไฟสายเหนือ, 12                          | รถไฟอิตาลี, 76                        |
|  | รถจักรแบบไฟฟ้า, 116                   |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| รถจักรไฟฟ้า, 60, 61, 116                                | ระบบตัวรถไฟฟ้า, 118                |
| รถจักรไอน้ำ, 5, 6, 52, 53                               | ระบบนายสถานีจัดหลัก, 147           |
| รถจักรดีเซล, 54   | ระบบประกาศข่าวสารต่อสาธารณะ, 156   |
| รถจักรดีเซลไฟฟ้า, 57                                    | ระบบป้องกันอัตโนมัติ, 151, 156     |
| รถจักรดีเซลไฮดรอลิก, 56                                 | ระบบรางที่สาม, 127, 128            |
| รถจักรดีเซลการกล, 55                                    | ระบบวิทยุ, 157                     |
| รถดีเซลราง, 59  | ระบบส่งกำลัง, 86                   |
| รถตรวจสภาพทาง, 170                                      | ระบบส่งกำลังแบบทางกล, 87           |
| รถราง (Tramway), 8                                      | ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง, 133      |
| รถรางไฟฟ้า, 60  | ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ, 134     |
| ร็อกเก็ต (Rocket), 7, 52                                | ระบบสื่อสาร, 156                   |
| ระบบเดินรถอัตโนมัติ, 155                                | ระบบหยุดรถอัตโนมัติ, 156           |
| ระบบเบรก, 97  | ระบบอาณัติสัญญาณ, 140              |
| ระบบโทรทัศนวงจรปิด, 156                                 | ระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง, 175       |
| ระบบโทรศัพท์, 157                                       | ระยะสายตัว (Wheel flange play), 28 |
| ระบบโทรศัพท์ควบคุมการเดินรถ, 148                        | ระยางห้ามล้อ, 82                   |
| ระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถ, 127                    | รางเดี่ยว (Mono rail), 32          |
| ระบบไฟสี่สองท่า, 144                                    | รางแคบ (Narrow gauge), 33          |
| ระบบไฟสี่สามท่า, 144                                    | รางกว้าง (Broad gauge), 33         |
| ระบบการแจ้งเวลามาตรฐาน, 157                             | รางประคอง (Guard rail), 30         |
| ระบบการใช้สายส่งเหนือราง, 131                           | รางมาตรฐาน (Standard gauge), 33    |
| ระบบการสื่อสาร, 156                                     | รางรถไฟแบบผสม (Mixed gauge), 34    |
| ระบบกำกับการเดินรถอัตโนมัติ, 151                        | รางรถไฟรางแคบ, 36                  |
| ระบบขนส่งทางราง, 112                                    | รางรถไฟรางร่วม (dual-gauge), 34    |
| ระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส, 150                    | รายการซ่อม, 173                    |
| ระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้ามหานคร สาย<br>เฉลิมรัชมงคล, 151 | รีเลย์เนอเรทีฟ, 104                |
| ระบบควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลาง, 149                    | ล้อพร้อมเพลลา, 79                  |
| ระบบควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ, 151                       | ล้อมีปลอก, 80                      |
| ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ, 152                              | ล้อรีบทีบ, 80                      |
|   | วันสถาปนากิจการรถไฟ, 11            |

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| วิวัฒนาการของการขนส่งทางราง, 2  | หมอนรองราง (Sleepers หรือ Ties), 30 |
| วิวัฒนาการของรถไฟ, 52           | หลักเขตสถานี, 143, 146              |
| ศูนย์ควบคุมการเดินรถ, 146       | ห้องเครื่องมือ, 176                 |
| ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้ํา, 150 | ห้องรีเลย์, 176                     |
| ศูนย์ซ่อมบำรุงของรถไฟ, 171      | หอสัญญาณ, 29                        |
| สถานีไฟฟ้าย่อย, 133             | หัวรถจักร (Locomotive), 112         |
| สมอ (Anchor), 38                | หัวราง (Rail head), 32              |
| ส่วนประกอบของทางรถไฟ, 30        | ห้ามล้อมือ, 98                      |
| สวิงแองเกอร์, 82                | หินโรยทาง, 30, 161                  |
| สัญญาณไฟสี, 142, 143, 144       | อธิบดีกรมรถไฟ, 13                   |
| สัญญาณตัวแทน, 143, 146          | ออยแคมเปอร์, 82                     |
| สัญญาณทางปลา, 140, 143, 145     | อาณัติสัญญาณ, 141                   |
| สายส่งเหนือราง, 131             | อาณัติสัญญาณขั้นพื้นฐาน, 141        |
| สาสี, 131, 132                  | อาณัติสัญญาณรถไฟ, 157               |
| หน้าที่ของทางรถไฟ, 27           | อุโมงค์ (tunnel), 39                |
| หม้อเพลา, 82                    | อุปกรณ์กึ่งตัวนำ, 134               |