ระบบและส่วนประกอบเบื้องต้นของรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

Introduction to Metropolitan Electric Train Systems and Components

นักสิทธ์ นุ่มวงษ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปัจจุบันระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของประชาชนในเมืองใหญ่ๆ ทั่วโลก ระบบขนส่งมวลชนด้วยราง (Rail Transit System) สามารถจำแนกออกได้เป็นสองประเภท คือ ระบบขนส่งมวลชนด้วยรางชนิดความจุต่ำ (Light Rail Transit System: LRT) และระบบขนส่งมวลชนด้วยรางชนิดความจุสูง (Heavy Rail Transit System: HRT) ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างกันในความสามารถของจำนวนคนที่ขนส่งได้ นั่นคือ สำหรับ LRT จะสามารถขนส่งได้ 20,000 ถึง 40,000 คนต่อชั่งโมงต่อทิศทาง ส่วน HRT จะสามารถขนส่ง ได้มากกว่า 40,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ระบบ LRT ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นแบบทั้งที่ลงไปวิ่งในถนนร่วมกับรถยนต์ และแบบที่วิ่งในเขตการวิ่งของตัวเอง ส่วนระบบ HRT จะวิ่งในเขตการวิ่งของตัวเองเท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นใต้ดิน บนดิน หรือลอยฟ้า บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายถึงระบบและส่วนประกอบของรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบเบื้องต้น ให้แก่ผู้สนใจทั่วไปได้ทราบ เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นของรถไฟฟ้าฯ ได้ ซึ่งหวังว่าจะเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อย

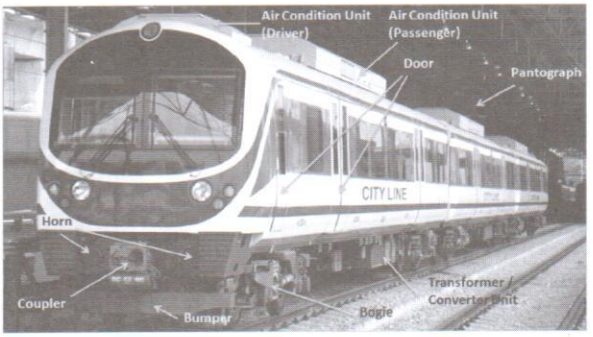
ลักษณะของ Metropolitan Electric Train หรือที่เรียกกันว่ารถไฟฟ้า (Metro) มีหลายอย่างที่คล้ายกับรถไฟฟ้าชานเมือง (Suburban Rapid Transit หรือ Commuter rail) คือมีโครงสร้างตัวถังของตู้โดยสารทั่วไปไม่แตกต่างกันมากนัก แต่จะแตกต่างกันบ้างในรายละเอียด และลักษณะเฉพาะบางอย่าง เช่น ความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้, ระบบรับ-จ่ายกระแสไฟฟ้า, แคร่ (bogie) ที่ต้องออกแบบให้เหมาะกับขนาดรางและความเร็วของรถ ลักษณะการออกแบบและจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องโดยสาร และระบบอาณัติสัญญาณ (signaling) เป็นต้น และหากเปรียบเทียบรถไฟฟ้ากับรถบัสขนาดใหญ่พบว่ามีลักษณะของตัวถังที่อาจเทียบเคียงกันได้เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น คือ สำหรับรถบัสโครงสร้างจะประกอบด้วยตัวถัง (body) ที่อยู่บนคัสซี (chassis) ส่วนรถไฟฟ้าจะประกอบด้วยตู้โดยสารอยู่บนโครงสร้างหลักคล้ายเฟรม (main frame) ระบบกันสะเทือนของรถบัสจะประกอบไปด้วยส่วนล้อและยางกับสปริงแบบแหนบและถุงลม ส่วนรถไฟฟ้าฯ ล้อจะเป็นเหล็กและติดตั้งอยู่ที่ภายในโบกี้ (bogie) ซึ่งจะมีคอยล์สปริงและถุงลมเป็นระบบกันสะเทือน ส่วน

ระบบขับเคลื่อนนั้นของรถบัสส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ แต่ของรถไฟฟ้าฯจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระแสสลับ โดยระบบจ่ายไฟให้แก่รถไฟฟ้านี้ อาจใช้ระบบจ่ายไฟด้านบน (pantograph) หรือระบบที่ใช้รางที่สามจ่ายไฟ (third rail) ก็ได้ตามความเหมาะสม รถไฟฟ้าฯนี้มีระบบเบรก ทั้งแบบไดนามิก คือใช้มอเตอร์เบรก และแบบกลไก (mechanical brake) ร่วมกัน ซึ่งแตกต่างจากระบบเบรกของรถบัส ซึ่งจะมีแต่ระบบเบรกแบบกลไกเท่านั้น ภายในรถไฟราง และศูนย์ควบคุมจะมีระบบควบคุมและระบบอาณัติสัญญาน (train control and signaling system) ซึ่งใช้ในการควบคุมการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าฯแบบอัตโนมัติ โดยมีระบบย่อยๆ เช่น Automatic Train Control (ATC), Automatic Train Operation (ATO), Automatic Train Protection (ATP) เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างจากรถบัสที่การควบคุมรถขึ้นกับการขับขี่ของพนักงานขับรถเป็นหลัก

ส่วนประกอบหลักของรถไฟฟ้าฯ (Metro) สามารถจำแนก และอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

1. โครงสร้าง (เฟรม) หลัก (Car Train Main Frame)

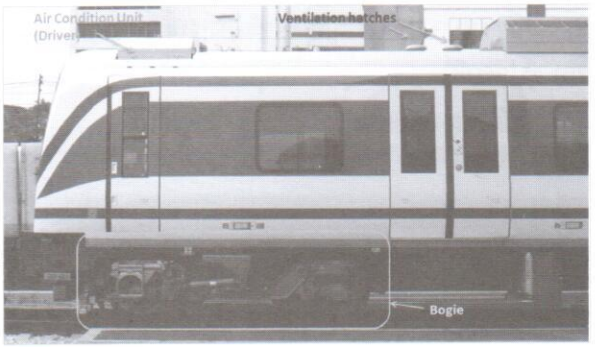
โครงสร้างหลัก (main frame) ของตู้รถไฟฟ้าฯ (car train) เปรียบได้กับโครงแชสซี (chassis frame) ของรถบรรทุก แต่ของรถไฟฟ้าฯ เป็นโครงสร้าง (platform) เต็มตามขนาดของตู้รถไฟฟ้าฯโครงสร้างหลักนี้เป็นโครงสร้างที่ใช้ยึดแคร่หรือโบกี้ (bogie) ซึ่งอยู่ด้านล่างและตัวถัง (car body) ที่อยู่ด้านบนเข้าด้วยกันเป็นตู้รถไฟฟ้าฯ ส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างหลักมักจะสร้างจากเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูงที่ด้านหน้าของหัวรถไฟจะมีกันชน (front bumper) ขนาดใหญ่เพื่อรองรับแรงกระแทกจากการชน



ภาพแสดงส่วนประกอบของขบวนรถไฟฟ้าฯ [1]
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย City Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

2. ตู้โดยสาร (Car Body)

"ตู้โดยสาร (car body)" คือ ตัวโครงสร้างหลักของ "ตู้รถไฟ" (car train) ซึ่งมักสร้างจากเหล็กกล้าทนแรงดึงสูง (high tensile steel) เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรืออลูมิเนียม ตู้โดยสาร(car body)นี้จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันผู้โดยสารจากอุบัติเหตุ จากการชนหรือพลิกตกราง ลักษณะโดยรวมของตู้โดยสารมีลักษณะเป็นโครงสร้างโลหะทรงกล่อง และมีเปลือก (shell) โลหะหรือวัสดุคอมโพสิตปิดอยู่ภายนอก และมีกระจกและประตูประกอบอยู่ด้วย ในการออกแบบตู้โดยสารจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้นความเครียด (stress/strain)และลักษณะการเสียรูปขณะเกิดการชน โดยใช้เทคนิคทางไฟไนต์อิลิเมนต์ (finite element method)และต้องทำการทดสอบจริงด้วย ส่วนหัวด้านหน้าของรถไฟฟ้าจะต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับหลักอากาศพลศาสตร์เพื่อลดแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นขณะวิ่งและเพิ่มเสถียรภาพในการเคลื่อนที่ โดยส่วนใหญ่แล้วบริษัทผู้ผลิตรถไฟฟ้าฯ จะเป็นผู้ผลิตตู้โดยสารนี้เองด้วย



ภาพแสดงส่วนประกอบของขบวนรถไฟฟ้าฯ [2]
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย City Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

3. ส่วนภายในตู้โดยสาร (Car Interior)

ส่วนภายในตู้โดยสาร (car interior) มักทำจากวัสดุที่เป็นพลาสติกหรือไฟเบอร์ที่ไม่ลามไฟ และไม่เกิดควันพิษ ส่วนประกอบย่อยอื่นๆ คือส่วนอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสาร เช่น มีส่วนของราวจับและชั้นวางของ ซึ่งมักทำจากสแตนเลส มือจับซึ่งมักทำจากพลาสติกหรือยางที่นั่งผู้โดยสารอาจทำจากพลาสติกฉีดขึ้นรูปหรือเบาะที่มีผ้าหุ้มพื้นของตู้โดยสารมักเป็นพื้นกันการลื่นไถล (non-slip floor) โดยทั่วไปมีส่วนประกอบ ดังนี้

1) ส่วนหุ้มผนังห้องโดยสาร (interior cladding) และฉนวน (insulator)
2) เพดานห้องโดยสาร (ceiling passenger area)
3) ระบบส่องสว่างภายใน
4) ราวจับและชั้นวางของ ซึ่งมักทำจากสแตนเลส มือจับทำจากพลาสติกหรือยาง
5) ที่นั่งผู้โดยสาร อาจทำจากพลาสติกฉีดขึ้นรูปหรือเบาะที่มีผ้าหุ้ม
6) พื้นของตู้โยสาร มักเป็นพื้นกันการลื่นไถล (nonslip floor)
7) กระจก (sidewall window)
8) ป้ายบอกข้อมูลการเดินทางแก่ผู้โดยสาร เช่น บอกสถานีและเวลาที่ใช้ในการเดินทาง
9) เครื่องหมาย และสัญลักษณ์ต่างๆ (labeling)
10) อุปกรณ์อื่นๆ อาทิอุปกรณ์ทุบกระจกให้แตก เมื่อเกิดอุบัติเหตุ และอุปกรณ์ดับเพลิง เป็นต้น

4. ส่วนภายนอกตู้โดยสาร (Car Exterior)

ส่วนภายนอกตู้โดยสาร (car exterior) เป็นส่วนประกอบของตู้โดยสารด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องทนทานต่อสภาพอากาศ โดยทั่วไปมีส่วนประกอบดังนี้

1) ระบบส่องสว่าง (lighting system)
2) กระจกหน้า และด้านข้างรถ
3) ที่ปัดฝนและระบบล้างกระจกหน้า
4) ป้ายบอกข้อมูลต่างๆที่ด้านหน้ารถ
5) ส่วนเชื่อมต่อรถไฟแต่ละขบวน (intercar gangway)
6) ขั้นบันได (footsteps)
7) เครื่องหมาย และ สัญลักษณ์ต่างๆ (labeling and painting)
8) แตรหน้ารถ
9) ชิ้นส่วนสำหรับปรับปรุงและลดแรงต้านอากาศ เช่น สปอยเลอร์ (spoiler)
10) ระบบท่อและสายไฟ ตลอดจนอุปกรณ์เสริมอื่นๆ

5.ห้องควบคุมรถไฟฟ้าฯ (Operator's Cab)

คือส่วนของห้องควบคุมสำหรับพนักงานขับรถ ซึ่งมีความสำคัญมาก ภายในจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ อาทิ

1) ที่นั่งคนขับ (operator's seat)
2) กระจกหน้าและม่านบังแดด (windshield complete)

ภาพแสดงภายในของขบวนรถไฟฟ้าฯ
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย City Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

ภาพแสดงภายในห้องควบคุมของขบวนรถไฟฟ้าฯ
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย City Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

3) ฉนวน (insulator)
4) ผนังหุ้มภายใน (cab interior cladding)
5) ผนังกั้นระหว่างห้องควบคุมและห้องโดยสาร (partition wall)
6) ส่วนเพดานของห้องควบคุม (ceiling cab)
7) แผงควบคุมรถ (operator console)
8) อุปกรณ์สื่อสาร
9) อุปกรณ์ควบคุม

6. แคร่หรือโบกี้ (Bogie)

"แคร่ หรือ โบกี้" (bogie) เป็นส่วนสำคัญที่รองรับตู้รถไฟฟ้าฯไว้ โดยในรถไฟฟ้าฯ 1 ตู้ (1 car train)จะประกอบไปด้วยโบกี้จำนวน 2 โบกี้ โดยในแต่ละชุดของโบกี้นั้นจะประกอบไปด้วยล้อและแกนล้อ ระบบขับเคลื่อน (ในกรณีที่เป็นโบกี้ขับเคลื่อน) ระบบเบรก ระบบลดแรงสะเทือน และอุปกรณ์เสริมอื่นๆ รายละเอียดของส่วนประกอบภายในโบกี้ โดยสังเขปมีดังนี้

ล้อและแกนล้อ (Wheels and Axles)

1) ล้อ (wheel) และแกนล้อ (axles) อาจเป็นเหล็กหล่อชิ้นเดียว หรือหลายชิ้นเชื่อมเข้าด้วยกัน
2) ตลับลูกปืน (bearing)
3) ระบบหล่อลื่น เช่น จาระบีแข็ง (hard grease)
4) เซ็นเซอร์วัดรอบของล้อ

ระบบขับเคลื่อน (Traction System)

1) มอเตอร์ขับเคลื่อนกระแสสลับหรือกระแสตรง แล้วแต่รุ่นรถไฟฟ้า
2) เกียร์ทด (transmission gear box)
3) อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (convertor, inverter system)
4) ระบบหล่อเย็น หรือระบายความร้อน มอเตอร์
5) ตัวควบคุมมอเตอร์(motor controller unit)
6) อุปกรณ์เสริมอื่นๆ ในระบบควมคุมมอเตอร์

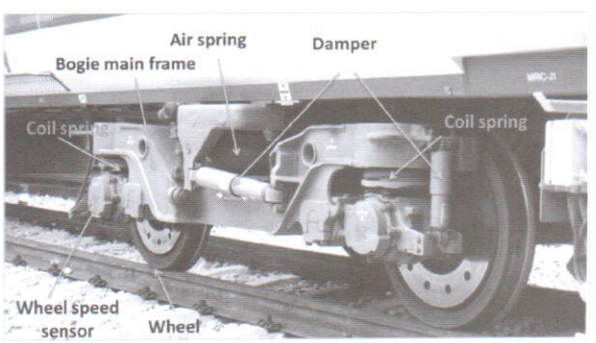
ระบบห้ามล้อหรือเบรก (Brake System)

รายละเอียดแสดงในหัวข้อระบบห้ามล้อหรือเบรก (brake system)

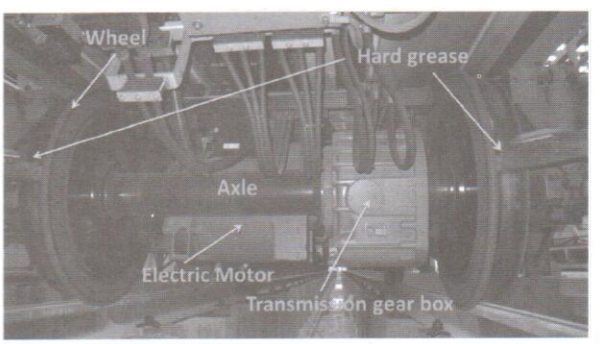
ระบบลดแรงสั่นสะเทือน (Suspension System)

1) ระบบลดแรงสั่นสะเทือนหลักชนิดคอยล์สปริง (primary suspension coil spring) คือ สปริงยาง (cone rubber spring) ซึ่งเป็นส่วนรับภาระหลักของระบบลดแรงสั่นสะเทือน

2) ระบบลดแรงสั่นสะเทือนรองชนิดแอร์สปริง (secondary suspension air spring) คือ แอร์สปริงหรือถุงลม ที่เป็นส่วนรับภาระรองของระบบละแรงสั่นสะเทือน ประกอบไปด้วยระบบควบคุมแรงดันลม และอุปกรณ์จ่ายลม ซึ่งใช้ร่วมกับระบบอื่นๆ



ภาพแสดงโบกี้ (Bogie) ของขบวนรถไฟฟ้าฯ [1]
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย Express Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))



ภาพแสดงโบกี้ (Bogie) ของขบวนรถไฟฟ้าฯ [2]
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย Express Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

3) แดมเปอร์ (damper or shock absorber) ใช้เพื่อหน่วงการสั่นสะเทือนของตัวรถไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความนิ่มนวลมากขึ้น

4) ระบบรักษาความเสถียร หรือเหล็กกันโคลง (stabilizer anti-roll bar) เหล็กกันโคลงจะถูกติดตั้งในแต่ละแคร่ เพื่อทำหน้าที่ลดการโอนเอียงของตัวรถไฟฟ้าในขณะเลี้ยว เข้าโค้ง หรือในกรณีที่ปะทะกับแรงลมที่มีความเร็วสูง

อุปกรณ์เสริมอื่นๆ (Accessories)

1) บังโคลน (mud guard)
2) เซ็นเซอร์ของระบบอาณัติสัญญาณ
3) ระบบเพิ่มแรงเสียดทานให้กับรางที่ลื่น (sanders)
4) ระบบท่อและสายไฟต่างๆ
5) จุดยึดระหว่างแคร่และโครงรถ
6) เครื่องหมายและสัญลักษณ์ต่างๆ

7. ระบบห้ามล้อหรือเบรก (Braking System)

ระบบห้ามล้อหรือเบรก เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เบรกรถเพื่อชะลอความเร็วทั้งขณะวิ่ง และขณะกำลังเข้าจอดที่สถานี ระบบเบรกจะถูกติดตั้งในแคร่และบางส่วนอยู่ด้านล่างของตัวถังรถ เช่น ส่วนของหม้อลม (pneumatic tank) ที่ใช้ในระบบเบรกแบบกลไก (mechanic brake) ตัวต้านทานที่ใช้รับกระแสที่มากเกินไป ที่เกิดขึ้นจากระบบเบรกด้วยมอเตอร์ ระบบเบรกในรถไฟฟ้าประกอบไปด้วยสองระบบที่ทำงานร่วมกัน คือ

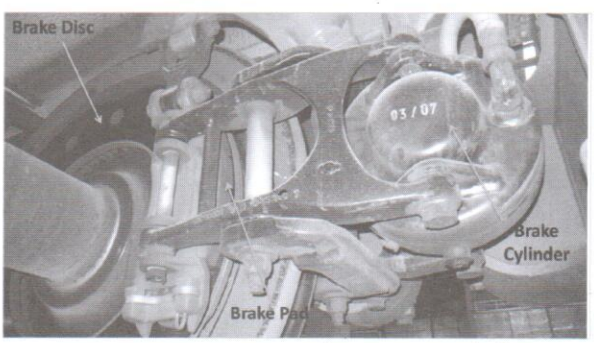
ระบบเบรกแบบไดนามิก (Dynamic Brake)

เป็นระบบเบรกที่ใช้มอเตอร์เบรก คือใช้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้เกิดโหลดที่สามารถหน่วงความเร็วของรถไฟได้และจะจ่ายไฟฟ้าไปที่ตัวต้านทาน (resistor) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และระบายความร้อนออกสู่อากาศภายนอก หากกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ได้มีการส่งกลับเข้าไปในระบบจะเรียกว่าเป็นเบรกแบบกำเนิดซ้ำ (regenerative brake)

ระบบเบรกแบบกลไก (Mechanical Brake หรือ Friction Brake)

เป็นระบบเบรกที่ใช้กลไกทางกล และแรงเสียดทานทางกลในการเบรก คือ ใช้เบรกแบบจาน (disc brake) เพื่อช่วยระบบเบรกแบบไดนามิกหยุดรถในบางกรณีเช่น เมื่อความหน่วงไม่พอ กรณีที่ต้องการจอด หรือกรณีฉุกเฉิน ระบบเบรกนี้รวมไปถึงเบรกมือ เพื่อการจอดรถด้วย (parking brake) ในระบบเบรกนี้มีส่วนประกอบย่อย คือ

1) กระบอกสูบเบรก (brake cylinder, brake caliper)
2) จานเบรก (brake disc)
3) โครงสร้างกลไกการกดเบรก
4) สาย/ท่อ ของระบบเบรก
5) ระบบลมสำหรับเบรก
6) ระบบควบคุมการเบรก (brake control unit)
7) ระบบเพิ่ม แรงเสียดทานให้กับรางที่ลื่น (sanders) โดยการฉีดทรายลงไปบนพื้นผิวของราง



ภาพแสดงระบบเบรกแบบกลไก ของขบวนรถไฟฟ้าฯ
(ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย Express Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

8. ระบบขับเคลื่อน (Traction System)

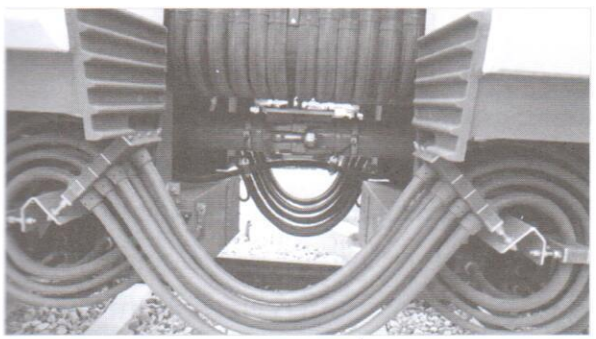
ในรถไฟฟ้าฯส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (traction induction motor) เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยในแต่ละมอเตอร์ที่ติดตั้งที่เพลาของแคร่ชุดนี้เรียกว่า ชุดขับเคลื่อน (drive unit)

หน้าที่ของระบบขับเคลื่อน จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยที่ปลายเพลาจะติดตั้งชุดเฟืองขับส่งกำลัง

ผ่านเกียร์ที่ติดตั้งอยู่บนเพลาล้อ ทำให้ล้อหมุนเคลื่อนที่ไปได้โดยการทำงานของมอเตอร์นั้น จะรับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสมาใช้ในช่วงของการเบรก มอเตอร์จะเปลี่ยนหน้าที่เปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (generator) แทน โดยการหมุนขับของล้อ (พลังงานจลน์) รถไฟฟ้าฯจะเป็นการหมุนปั่นให้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้านี้ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา และส่งไปผ่านตัวต้านทานในวงจร brake chopper เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วระบายทิ้งออกไปโดยใช้พัดลมเป็นตัวช่วย

9. อุปกรณ์เชื่อมต่อ(พ่วง)ระหว่างตู้โดยสาร (Coupler)

เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเชื่อมตู้โดยสาร (car train) แต่ละคันเข้าด้วยกันเป็นขบวนรถไฟ ชนิดของอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างตู้โดยสารมีทั้งแบบอัตโนมัติ (automatic) และแบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-permanent (manual))



ภาพแสดงตัวอย่างของอุปกรณ์เชื่อมต่อ (พ่วง)ระหว่างตู้โดยสาร(Coupler) ของขบวนรถไฟฟ้าฯ (ที่มา: ภาพถ่ายของรถไฟฟ้าฯ สาย Express Line ในโครงการ Airport Rail Link (SARL))

อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างตู้โดยสารแบบอัตโนมัติ (Automatic Coupler)

ตัวรถไฟฟ้าชนิด A-car (ตู้โดยสารรถไฟฟ้าฯ ที่มีระบบขับเคลื่อน) จะติดตั้งเครื่องพ่วงอัตโนมัติ โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น เครื่องพ่วงอัตโนมัติทางกลและทางไฟฟ้า ท่อลม เป็นต้น ในการปลดขอพ่วงนั้นจะทำการตัดท่อลม โดยสามารถควบคุมได้จากโต๊ะควบคุมของพนักงานขับรถ หรือลงมาตัดท่อลมข้างล่างด้วยตัวพนักงานเองก็ได้

อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างตู้โดยสารแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-permanent (manual) Coupler)

การต่อขอพ่วง และการปลดขอพ่วงจะใช้รูปแบบแมนนวล (manual) โดยการทำงานจะใช้หลักการดูดซับพลังงานจากแรงกระแทกของขอพ่วงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อไฟฟ้าและลมระหว่างตู้แต่ละตู้จะถูกเชื่อมต่อหรือตัดออกโดยพนักงาน

10. ระบบประตู (Door System)

คือระบบของประตูอันประกอบไปด้วย ประตูสำหรับผู้โดยสาร ประตูสำหรับคนขับ ประตูระหว่างตู้โดยสารและประตูฉุกเฉินในรถไฟฟ้า ระบบประตูมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1) โครงสร้างประตู
2) ระบบขับเคลื่อนประตู
3) ระบบล็อคประตู
4) ระบบควบคุมการเปิดปิด
5) ปุ่มเปิดปิดประตู

11. ระบบส่องสว่าง (Lighting)

คือระบบส่องสว่างของรถไฟฟ้าฯทั้งภายนอกและภายใน อันประกอบไปส่วนประกอบหลัก คือ

1) ระบบส่องสว่างภายนอก (exterior lighting)
2) ระบบส่องสว่างภายในห้องโดยสาร (interior lighting)
3) ระบบส่องสว่างภายในห้องคนขับ (operator's cab lighting)
4) ระบบไฟสัญญาณและไฟบอกสถานะการ ทำงานบกพร่อง (failure indication light)
5) วงจรและระบบสายไฟ

12. ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (Air Condition and Ventilation System)

ระบบปรับอากาศ และระบบระบายอากาศติดตั้งบนตัวรถแต่ละคันโดยกำหนดให้ทำงานอัตโนมัติ

ทั้งในห้องพนักงานขับรถและห้องผู้โดยสาร โดยในรถไฟฟ้าแต่ละคันจะติดตั้งระบบปรับอากาศไว้บนหลังคาจำนวน 2 เครื่องที่เหมือนกัน ในชุดของระบบปรับอากาศจะใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ในการควบคุมอุณหภูมิระบบปรับอากาศภายในห้องผู้โดยสาร ระบบปรับอากาศและระบายอากาศนี้ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก เช่น

1) ปั้มคอมเพรสเซอร์ (compressor)
2) เครื่องควบแน่น หรือ คอยล์ร้อน (condenser)
3) เครื่องระเหย หรือ คอยล์เย็น (evaporator)
4) พัดลมระบายอากาศ (ventilation fan)
5) อินเวอร์เตอร์ ของระบบปรับอากาศ (air condition inverter)
6) ระบบควบคุมของระบบปรับอากาศ (air condition controller)
7) เครื่องฟอกอากาศ (air purifier)

13. ระบบผลิตและจ่ายลม (Pneumatic System or Air supply System)

เครื่องอัดอากาศ (compressor) จะติดตั้งอยู่ที่ตู้โดยสารที่ไม่มีระบบขับเคลื่อน(c-car) โดยการทำงานของเครื่องอัดอากาศจะสามารถอัดอากาศได้มากที่สุดที่ความดัน 10 bar นอกจากนั้นที่ตัวของเครื่องอัดอากาศยังมีการป้องกันการอัดอากาศมากเกินด้วยการติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (safety valve) มอเตอร์ที่ขับเครื่องอัดอากาศนั้นจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 400V จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเสริม (auxiliary inverter) มาเป็นไฟเลี้ยงให้ทำงานการควบคุมมอเตอร์ที่ขับเครื่องอัดอากาศนั้นจะควบคุมจากสวิตช์ควบคุมแรงดัน (pressure switch sensing) ที่ติดตั้งอยู่ที่ท่อลม หลักการทำงานเครื่องอัดอากาศ จะตัดการทำงานเมื่อลมเข้าถังจนถึงความดัน 8.5 bar ภายในท่อลม และระบบจะตัดการทำงานของเครื่อง อัดอากาศเมื่อความดันภายในท่อลมหลักมีความดัน ถึง 10 bar เมื่ออากาศซึ่งถูกอัดออกมาจากเครื่องอัดอากาศ จะถูกทำให้ผ่านเครื่องทำให้อากาศแห้ง (twin tower air dryer unit) ทำให้อากาศถูกดักจับความชื้นเอาไว้ทำให้ได้อากาศแห้งออกมา อากาศที่แห้งนี้จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 35% จึงทำให้ไม่เกิดการกัดกร่อนภายในระบบลม

14. ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า (Electrification and Power Supply System)

ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า (electrification and power supply system) เป็นระบบที่ใช้ในการรับพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก แล้วแปลงความต่างศักย์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน ในบางกรณีจะแปลงไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรง(DC) โดยใช้อุปกรณ์ปรับสัญญาณ (rectifier) (ในกรณีใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง - DC motor) แล้วจึงจ่ายให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน ซึ่งติดตั้งอยู่ในโบกี้ ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลักดังนี้

<u>แพนโทกราฟ (Pantograph, OCS - Overhead Contact System) หรือระบบรางที่สาม (3rd Rail System)</u>

เป็นระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับรถไฟฟ้าฯโดยจะรับกระแสไฟฟ้าจากสายหรือรางส่ง โดยแพนโทกราฟ (pantograph,OCS)จะรับจากสายส่งด้านบนตัวรถเหมาะกับรถไฟที่วิ่งในระยะทางยาวๆ และออกนอกเมือง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบเปิด ซึ่งจะไม่ปลอดภัยหากใช้ระบบรางที่สาม(3 rd rail system) ส่วนระบบรางที่สาม(3 rd rail system) นั้นจะรับไฟฟ้าจากรางจ่ายไฟฟ้าด้านข้างของรถไฟ ซึ่งจะเหมาะกับการวิ่งในเมือง เช่น รถไฟใต้ดิน หรือแบบลอยฟ้าที่เป็นระบบปิด

<u>ระบบนิวเมติกของแพนโทกราฟ (Pantograph Pneumatic System)</u>

เป็นระบบลม (pneumatic system) ที่ใช้ดันแพนโทกราฟให้สัมผัสกับสายส่งไฟฟ้าอยู่เสมอ โดยระบบจ่ายลมจะเป็นระบบรวมที่ใช้กับระบบเบรกด้วย

<u>หม้อแปลง (Transformer)</u>

หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) ใช้แปลงความต่างศักย์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในระบบนี้จะมีระบบระบายความร้อนอยู่ด้วย

15. ระบบสื่อสารและเฝ้าระวัง (Communication and Monitoring System)

ระบบสื่อสารและเฝ้าระวัง (communication and monitoring system) คือ ระบบที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมกับพนักงานขับรถ และใช้ในการเฝ้าระวังและติดตาม (monitoring) การทำงานของตัวรถและพนักงานขับรถไฟด้วย ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและนำไปสู่อุบัติเหตุได้ ส่วนประกอบหลักของระบบนี้คือ

1) ระบบวิทยุสื่อสาร (radio)

2) ระบบกระจายเสียง (public address)

3) ระบบส่งข้อมูล (data transmission system)

16. ระบบควบคุมรถไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ (Train Control and Signaling System)

ระบบควบคุมรถไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณ (train control and signaling system) เป็นระบบที่ใช้ควบคุมรถแบบอัตโนมัติ (automatic train control, ATC.) และเพื่อให้การควบคุมแบบอัตโนมัตินี้มีความปลอดภัยและลดโอกาสและผลของการเกิดอุบัติเหตุ จึงมีระบบย่อยทำงานร่วมกัน โดยส่วนประกอบของระบบย่อยเหล่านี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายใน และนอกตัวรถไฟ เช่น บนราง หรือด้านข้างราง รวมทั้งที่ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานีรถไฟด้วย

ระบบย่อยของระบบควบคุมรถแบบอัตโนมัติประกอบไปด้วย

1) ระบบเดินรถแบบอัตโนมัติ (Automatic Train Operation, ATO) ระบบนี้เป็นระบบที่รถไฟฟ้าฯ ถูกควบคุมการเดินรถจากศูนย์ควบคุมกลาง ซึ่งจะสามารถคุมการเดินรถของรถไฟฟ้าฯ ทุกขบวนให้สอดคล้องและเป็นไปตามแผนการเดินรถ

2) ระบบป้องกันภัยแบบอัตโนมัติ (Automatic Train Protection, ATP) เป็นระบบที่จะควบคุมตัวรถไฟฟ้าฯ ในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินอันเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ หรือขณะเกิดอุบัติเหตุ เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดผลของการเกิดอุบัติเหตุลง

3) ระบบตรวจตารถแบบอัตโนมัติ (Automatic Train Supervision, ATS) ซึ่งจะประกอบด้วยระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time หรือเรียกว่า สกาด้า (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) เป็นระบบที่เจ้าหน้าที่ของศูนย์ควบคุมกลางตรวจสอบการทำงานของรถไฟฟ้าฯ

เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, "รายงานฉบับสมบูรณ์แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่องในประเทศไทย", ธันวาคม 2552

2. Website www.railway-technology.com