

## รถไฟฟ้าใต้ดินเชิงเส้น (Linear Metros)

โดย ศ.ดร.ธนัดชัย กุลรวรานิชพงษ์

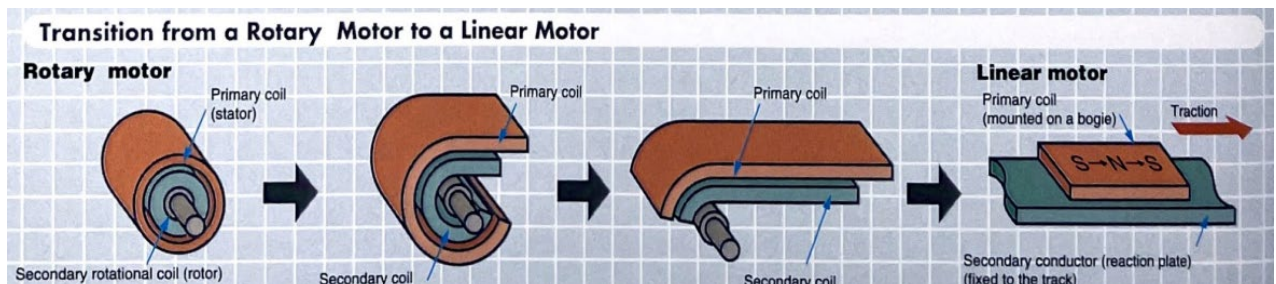
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รถไฟฟ้าใต้ดินเป็นระบบขนส่งสาธารณะในเมืองที่สนับสนุนการดำรงชีวิตของประชาชน ส่งเสริมการพัฒนาภูมิภาค เปิดใช้งานเมืองให้มีการเข้าถึงได้ในทุกพื้นที่ และเสริมสร้างการทำงานของเมือง นอกจากนี้ เนื่องจากรถไฟฟ้าใต้ดินส่วนใหญ่สร้างไว้ใต้ถนน จึงสามารถใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ส่งเสียงรบกวนต่อชุมชนมากนักและไม่ส่งผลกระทบต่อภูมิทัศน์ของเมือง ดังนั้นรถไฟฟ้าใต้ดินจึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเมืองและควรได้รับการส่งเสริมทั่วโลก อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก รวมถึงต้องมีการวางแผนระยะยาว ทำให้การพัฒนารถไฟฟ้าใต้ดินในแต่ละเมืองมีความคืบหน้าค่อนข้างช้า เนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างที่สูงขึ้น



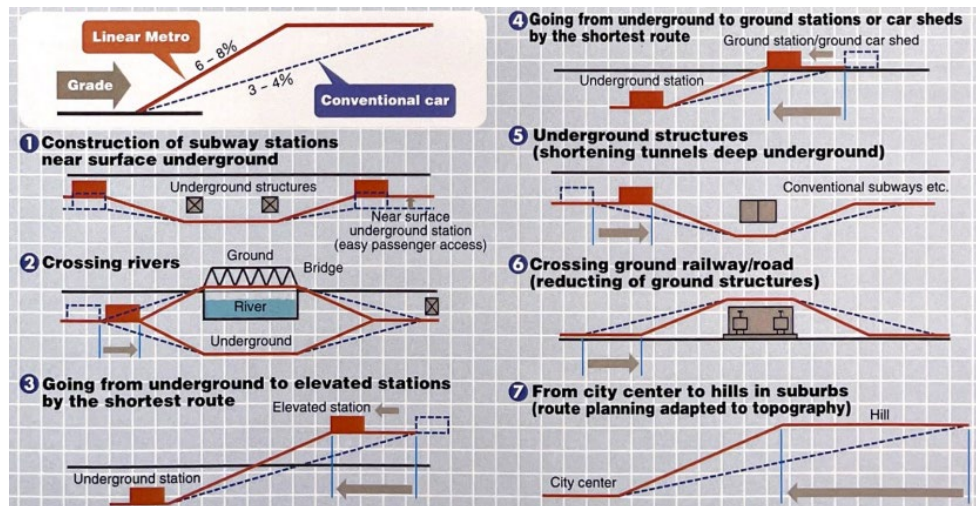
ที่มา <http://www.jametro.or.jp/en/linear/>

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีรถไฟฟ้าใต้ดินราคาประหยัด ใช้พื้นที่น้อยเท่าที่จำเป็น ด้วยการนำเทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเชิงเส้น (linear motor) มาใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้าใต้ดินทำให้เกิดรูปแบบขนส่งมวลชนด้วยรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้เทคโนโลยีมอเตอร์ไฟฟ้าเชิงเส้นที่เรียกว่า รถไฟฟ้าใต้ดินเชิงเส้น (linear metro) หลักการทำงานของรถไฟฟ้าใต้ดินเชิงเส้นอาศัยหลักการตัดแปลงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีสเตเตอร์ (stator) ติดตั้งขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟส สนามไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นในแท่งโลหะหลายแท่งที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ (rotor) และแท่งโลหะนี้ถูกกลัดวงจรไว้ด้วยวงแหวนโลหะที่ปลายทั้งสองด้าน ทำให้มีรูปร่างคล้ายกรงกระรอก จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก (squirrel-cage induction motor)



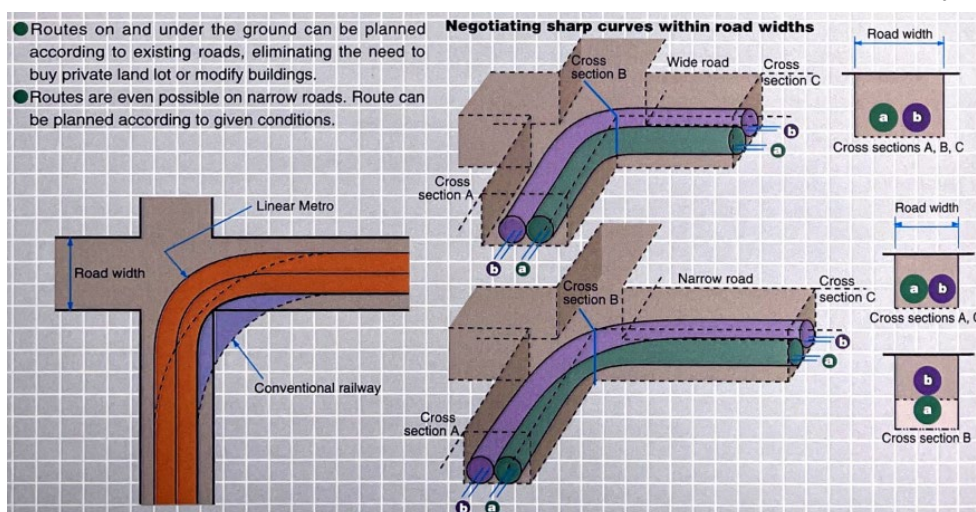
รูปที่ 1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเชิงเส้น

กระแสไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำขึ้นเนื่องจากขดลวดที่ลัดวงจรนี้ ทำให้เกิดแรงลัพท์กระทำกับโรเตอร์ส่งผลให้โรเตอร์หมุนได้ โรเตอร์จะถูกสนามแม่เหล็กหมุนที่สร้างจากขดลวดที่โรเตอร์ดูดให้เกิดแรงกระทำหมุนไปตามสนามแม่เหล็ก จากหลักการนี้ หากนำขดลวดที่พันอยู่ในโครงสเตเตอร์มาแผ่ออกยึดเป็นเส้นตรงแล้ววางโรเตอร์ติดไว้ที่โปกกีของรถไฟ หรือในทางกลับกัน นำขดลวดไปติดตั้งไว้ที่โปกกี แล้วนำแท่งโลหะที่ลัดวงจรที่ปลายทั้งสองด้านติดตั้งไว้ที่ส่วนของทางวิ่งให้มีระยะห่างพอประมาณย่อมส่งผลให้เกิดแรงกระทำดันให้ขดลวดที่ยึดติดกับโปกกีเคลื่อนที่ไปตามความยาวของทางวิ่งแทนที่จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมดังในรูปที่ 1



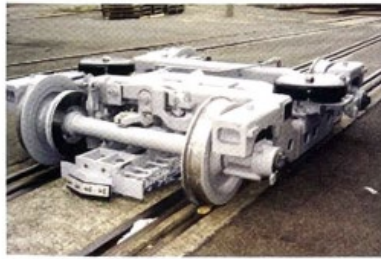
รูปที่ 2 ความสามารถในการไต่ทางชันของมอเตอร์ไฟฟ้าเชิงเส้น

ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของรถไฟฟ้ายางได้ดินเชิงเส้น คือ ขีดจำกัดของแรงยึดเกาะ (adhesion force) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของล้อเหล็กกับรางเหล็กจะเป็นตัวแปรที่จำกัดแรงสูงสุดในการขับเคลื่อน เมื่อแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์มีค่ามากกว่าค่าแรงเสียดทานสูงสุด จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ไถลของล้อ (wheel slip) บนรางเป็นสาเหตุให้รถไฟตกรางได้ เนื่องจากแรงเสียดทานไม่เพียงพอที่จะยึดล้อเหล็กให้สัมผัสติดกับผิวรางได้ แต่ด้วยหลักการของมอเตอร์เชิงเส้นแรงขับเคลื่อนเกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ทำให้แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวไม่ใช่ว่าปัจจัยหลักในการจำกัดแรงยึดเกาะ ด้วยเหตุนี้ทำให้รถไฟฟ้ายางได้ดินเชิงเส้นมีความสามารถในการไต่ทางชันได้ดีกว่ารถไฟฟ้ายางที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบเดิมดังในรูปที่ 2



รูปที่ 3 รัศมีความโค้งของเส้นทางรถไฟฟ้ายางได้ดินเชิงเส้นเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม

● Steering truck 轴承式转向架



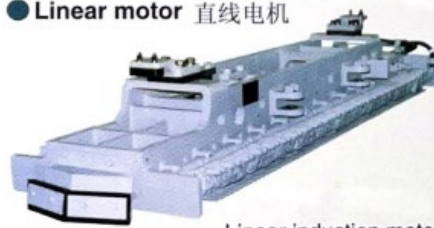
Steering truck 轴承式转向架

● Reaction plate 电磁反应板



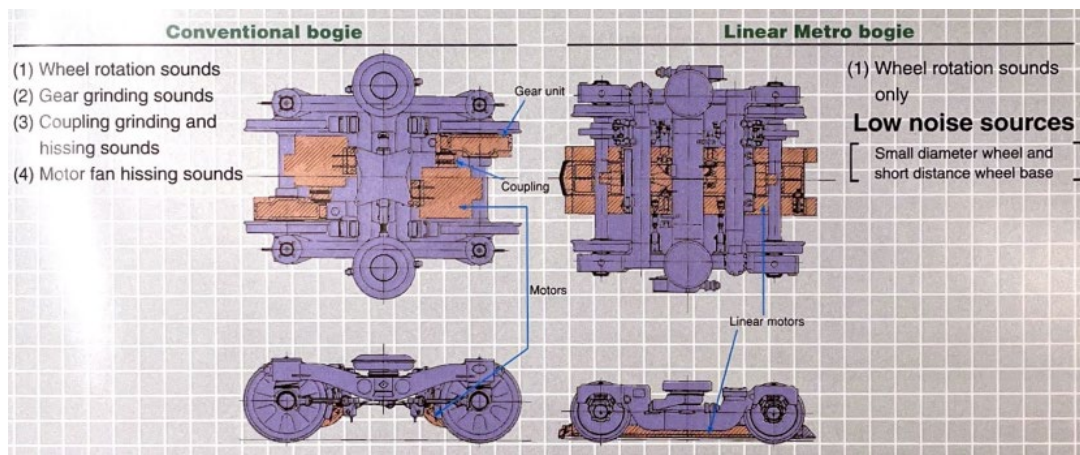
Reaction plate 电磁反应板

● Linear motor 直线电机



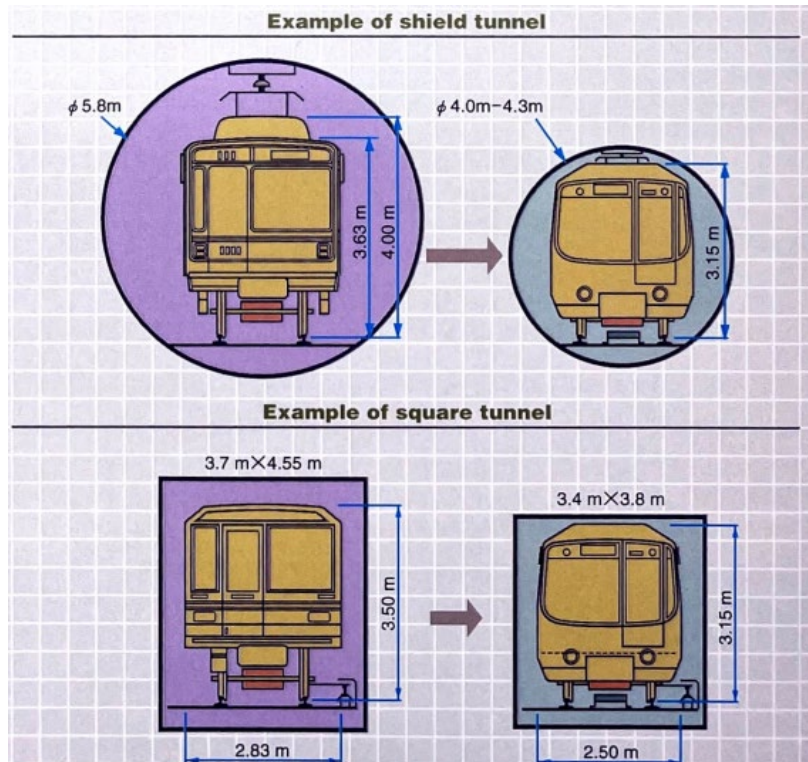
Linear induction motor  
电磁诱导式电机 (LIM)

รูปที่ 4 การแยกส่วนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นสำหรับรถไฟใต้ดินเชิงเส้น



รูปที่ 5 ขนาดโบกี้ขับเคลื่อนของรถไฟใต้ดินเชิงเส้นเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม

ยิ่งไปกว่านั้น ในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า รัศมีความโค้งของเส้นทางรถไฟใต้ดินเชิงเส้นยังระยะทางสั้นกว่าแบบปกติ ด้วยทำให้การวางแผนเส้นทางรถไฟใต้ดินมีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นในการวางแผนเส้นทางมากขึ้น เมื่อรวมเข้ากับการแยกชิ้นส่วนของสแตตอร์กับโรเตอร์ในมอเตอร์ โดยแยกให้ส่วนหนึ่งไปไว้ที่ทางวิ่งทำให้โบกี้ขับเคลื่อนมีขนาดเล็กลงดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 เมื่อรวมเข้ากับรัศมีความโค้งที่สั้นลงทำให้มิติของอุโมงค์รถไฟใต้ดินเชิงเส้นมีขนาดเล็กกว่าเดิมอย่างมีนัยสำคัญดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขนาดโบกี้ขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าใต้ดินเชิงเส้นเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม

ปัจจุบันนี้ ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเชิงเส้นมีการก่อสร้างและเปิดใช้งานส่วนใหญ่หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ทั้งหมดอยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยมีระยะทางให้บริการรวมทุกเส้นทางประมาณ 116 กิโลเมตร ในหกเมืองหลักดังนี้

#### 1. เมืองโอซาก้า (Osaka City)

สาย Nagahori-Tsurumi-Ryokuchi Line ระยะทาง 15 km

สาย Imazatosuji line ระยะทาง 11.9 km

#### 2. เมืองโกเบ (Kobe City)

สาย Kaigan line ระยะทาง 7.9 km

#### 3. เมืองฟูกุโอกะ (Fukuoka City)

สาย Nanakuma line ระยะทาง 13.4 km

#### 4. เมืองเซนได (Sendai City)

สาย Tozai line ระยะทาง 14.4 km

#### 5. กรุงโตเกียว (Tokyo City)

สาย Oedo line ระยะทาง 40.7 km

#### 6. เมืองโยโกฮาม่า (Yokohama City)

สาย Green line ระยะทาง 13.0 km