การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพฯ : ความท้าทายที่วิศวกรไทยรอคอย

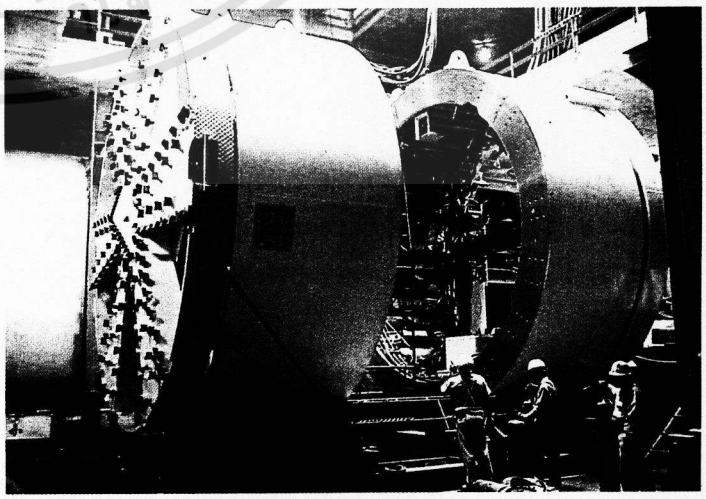
ผศ. ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

การขยายตัวอย่างรวดเร็วของเมืองใหญ่ที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่นดังเช่น กรุงเทพมหานคร ทำให้โครงข่ายถนนไม่เพียงพอกับความต้องการในการเดินทางของประชาชน ประกอบกับไม่มีการส่งเสริมระบบขนส่งสาธารณะอย่างเพียงพอ ทำให้ประชาชนใช้รถยนต์ส่วนตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาจราจรแออัดบนท้องถนน และปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมาใช้ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ที่สามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้เดินทางได้เป็นจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินนี้ได้มีการใช้งานในเมืองใหญ่ทั่วโลกมานานแล้ว โดยเริ่มต้นที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2433 ซึ่งเทคโนโลยีการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินและระบบรถไฟฟ้าได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนเป็นวิธีการก่อสร้างที่ทันสมัยและปลอดภัยที่ใช้ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพมหานครหรือสายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งได้เริ่มก่อสร้างในปี พ.ศ. 2540 และเปิดใช้อย่างเป็นทางการในวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2547 โดยรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกนี้จะวิ่งอยู่ในอุโมงค์ คู่ขนานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.3 เมตร มีความลึกโดยเฉลี่ย 21 เมตรจากผิวดิน และมีความยาว 20 กิโลเมตร ประกอบด้วย สถานีโดยสารใต้ดิน 18 สถานี จากสถานีหัวลำโพงมายังสถานีบางซื่อ ทำให้ประชาชนมีทางเลือกในการเดินทางที่สะดวกสบายและรวดเร็วเหมือนในเมืองใหญ่ๆ ที่มีประชากรอาศัยอยู่ใกล้เคียงกับกรุงเทพฯ เช่น กรุงโซล ประเทศเกาหลี ที่มีประชากร 10 ล้านคน แต่มีระบบไฟฟ้าขนส่งมวลชนถึงเกือบ 300 กิโลเมตร และยังคงก่อสร้างอยู่อย่างต่อเนื่อง กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ มีประชากรประมาณ 7 ล้านคน มีระบบไฟฟ้าขนส่งมวลชนประมาณ 400 กว่ากิโลเมตร และกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ที่มีประชากร 10 ล้านคน และมีระบบไฟฟ้าขนส่งมวลชนมากกว่า 200 กิโลเมตร โดยระบบส่วนใหญ่อยู่ใต้ดิน ขณะที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีประชากรมากกว่า 10 ล้านคน มีระบบรถไฟฟ้าเพียง 44 กิโลเมตรเท่านั้น อีกทั้งการเจริญเติบโตของเขตเมืองยังเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้ายังคงจำเป็นต้องทำอยู่อย่างต่อเนื่องไปอีกหลายสิบปี เพื่อที่จะสามารถตอบสนองพฤติกรรมในการเดินทางของประชาชนให้เปลี่ยนมาใช้ระบบรถไฟฟ้าแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลจึงจะบรรลุผล

การก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในปัจจุบัน

การขุดเจาะอุโมงค์ในอดีตมักประสบปัญหาการพังทลายของดินจากด้านหน้าอุโมงค์ โดยเฉพาะในการขุดเจาะอุโมงค์ในดินทรายหรือใต้ระดับน้ำใต้ดิน ทำให้การขุดเจาะอุโมงค์ต้องใช้เวลานานและมักจะสร้างความสูญเสียทั้งชีวิตและสภาพแวดล้อม จนในที่สุดการปฏิวัติการขุดเจาะอุโมงค์จึงได้เริ่มขึ้นในประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1825 โดยวิศวกรเลื่องชื่อ มาร์ค บรูเนล (Marc Brunel) ซึ่งพยายามจะขุดเจาะอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์ ณ กรุงลอนดอน ซึ่งนายบรูเนล ได้ใช้ความพยายามในการขุดอุโมงค์นี้อยู่นานกว่า 14 ปี จนสามารถขุดอุโมงค์ที่มีความยาวกว่า 150 เมตรได้สำเร็จ ใน



รูปที่ 1 หัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุลซึ่งใช้ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

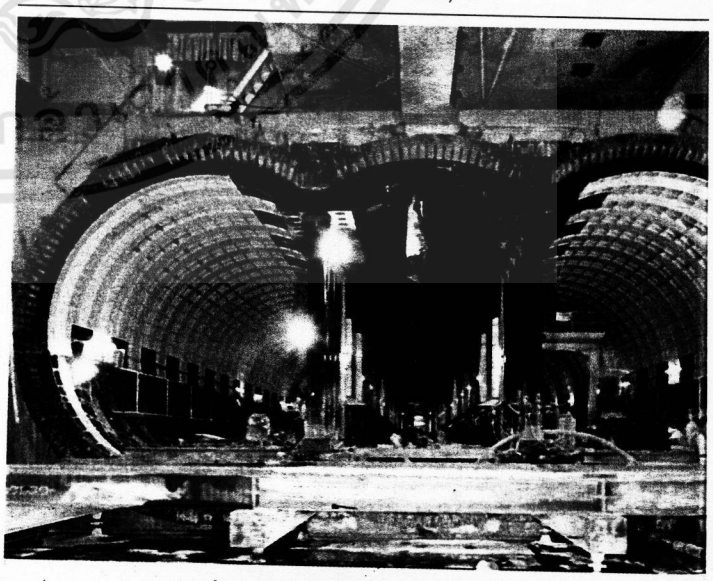
ระหว่างดำเนินการขุดเจาะอุโมงค์นี้ หลายครั้งที่อุโมงค์เกิดถล่มทลายลงมา เนื่องจากไม่สามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำและดินบริเวณด้านหน้าของอุโมงค์ได้ จากความล้มเหลวครั้งแล้วครั้งเล่า มาร์ค บรูเนล ได้เรียนรู้และพัฒนาวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยการนำแผ่นเหล็กหล่อมาประกอบเป็นเฟรมถึง 12 เฟรม โดยแต่ละเฟรมจะมีแผ่นหลังคา เมื่อต่อกันแล้วจะมีลักษณะคล้ายกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ วิธีที่เซอร์มาร์ค บรูเนล ใช้นี้ได้กลายมาเป็นวิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ Shield ที่ใช้กันสืบต่อมาจนกระทั่งปัจจุบัน จากนั้นในปี ค.ศ. 1869 นายเจมส์ เกทเฮด ก็สามารถขุดเจาะอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์ ด้วยเครื่องมือขุดเจาะคล้ายของบรูเนล แต่เป็นรูปทรงกระบอกแทนที่สี่เหลี่ยมแบบเดิม และยังเป็นครั้งแรกที่ใช้ผนังอุโมงค์แบบเหล็กหล่อ เครื่องขุดเจาะของเจมส์ เกทเฮด นำไปสู่การพัฒนาการสร้างเครื่องเจาะอุโมงค์แบบหน้าเปิด (Open-Face Shield) ช่วงต่อมาในปี ค.ศ. 1876 ได้มีการพัฒนาเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่องมือกล (Mechanized Shield) เป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1959 ระบบป้องกันดินด้านหน้าด้วยของเหลวได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมนี ซึ่งนำไปสู่การผลิตเครื่องขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้น้ำโคลนหรือ Slurry/Hydro Shield เพื่อป้องกันการพังทลายของดินขณะขุดเจาะอุโมงค์เป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น

จากนั้นในปี ค.ศ. 1966 ได้เริ่มมีการพัฒนาหัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Shield) ซึ่งกลายเป็นหัวเจาะอุโมงค์ยอดนิยมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน รวมถึงในประเทศไทยด้วย เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านการขนส่งมวลชน จนถึงระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ ตั้งแต่อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพฯ หรือสายเฉลิมรัชมงคล อุโมงค์ส่งน้ำประปาขนาดใหญ่ อุโมงค์สำหรับสายส่งกระแสไฟฟ้า และอุโมงค์ระบายน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม ซึ่งเป็นวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ที่สามารถควบคุมการทรุดตัวของดินได้ดีโดยเฉพาะในการขุดผ่านชั้นดินเหนียว ซึ่งในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลได้ใช้หัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุลถึง 8 หัวเจาะเพื่อก่อสร้างอุโมงค์คู่ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6.30 เมตร ผนังอุโมงค์หนา 30 เซนติเมตร มีระยะทางของอุโมงค์ยาวประมาณ 20 กิโลเมตร ประกอบด้วยสถานีโดยสาร 18 สถานี โดยจะสามารถให้บริการผู้โดยสารได้ไม่น้อยกว่า 40,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทางในปัจจุบัน

ความท้าทายในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย

ในแนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยายจะ
หัวลำโพงจะประกอบด้วยการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินประมา
5 กิโลเมตร และสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 4 สถานี โดยบางสถานีอาจะ
ต้องนำเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบไม่ขุดเปิดหน้าดินหรือขุดเปิดน้อยที่สุดมาใช้ เช่น การก่อสร้างแบบการสอดท่อค้ำ (Pipe Roc
การก่อสร้างแบบ Mining และการก่อสร้างโดยใช้หัวเจาะแบบพิเศ
หรือแบบหลายหน้า (Multi-Face Shield)

รูปที่ 2 หัวเจาะสามหน้า (Triple Face Shield)



รูปที่ 3 ชานชาลาและอุโมงค์ทางวิ่งของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเมืองโอซาก้า

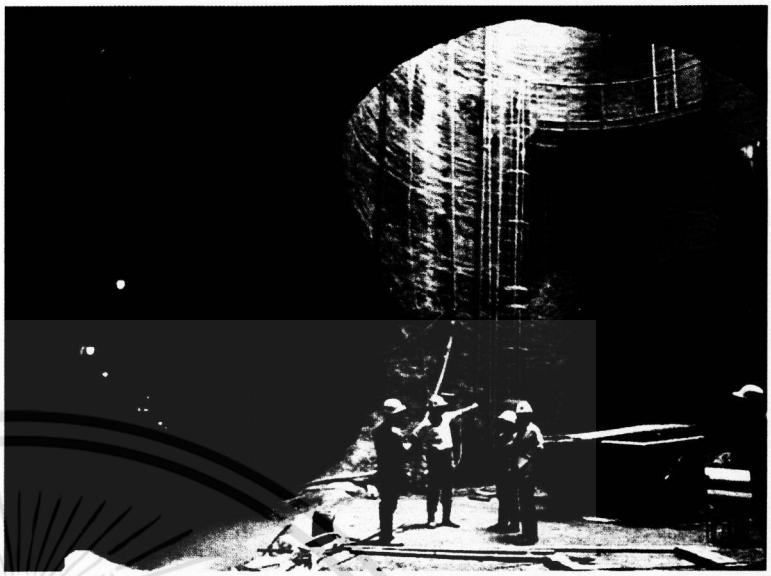
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเจาะแบบหลายหน้าได้ถูกใช้งานในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสาย 7 ในเมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งหัวเจาะที่ใช้มีสามหน้า (Triple Face Shield) หรือคล้ายกับสามหัวเจาะเรียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยหัวเจาะสองหัวด้านข้างใช้สำหรับขุดเจาะอุโมงค์คู่ส่วนทางวิ่งหรือรางของรถไฟฟ้า ขณะที่หัวตรงกลางสำหรับเจาะช่วงชานชาลาของสถานีใต้ดิน (รูปที่ 3) เมื่อใช้งานเสร็จสิ้นแล้วยังสามารถถอดประกอบเป็นหัวเจาะลักษณะปกติได้ ในกรณีนี้การก่อสร้างสถานีทำได้โดยเพียงขุดเปิดหน้าดินเฉพาะในส่วนทางขึ้น-ลงของผู้โดยสารเท่านั้น

วิธีการก่อสร้างแบบการสอดท่อค้ำ (Pipe Roof) มักใช้ในกรณีที่ต้องก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในบริเวณใต้โครงสร้างอื่นที่มีอยู่ก่อนแล้ว เช่น การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินกังนัม ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ ที่จำเป็นต้องก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินใต้ตลาดนัดใต้ดิน โดยไม่ต้องส่งผลกระทบต่อโครงสร้างดังกล่าว วิธีการก่อสร้างแบบนี้ทำได้โดยต้องขุดเปิดหน้าดินบริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายสถานีเท่านั้นเพื่อเป็นบ่อสอดท่อ (Shaft) และเมื่อก่อสร้างเสร็จสิ้นก็ยังใช้เป็นทางขึ้น-ลงของผู้โดยสารได้ ขนาดของท่อค้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวและความลึกของสถานี และชนิดของดินบริเวณที่ทำการก่อสร้าง ซึ่งมักใช้ขนาดท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2 เมตร ทำหน้าที่เป็นท่อค้ำหรือหลังคาสถานี (รูปที่ 4) จากนั้นจึงสามารถขุดเจาะสถานีจากปลายหนึ่งไปสู่อีกปลายหนึ่งได้ด้วยการ Mining หรือการขุดเจาะแบบเหมืองที่ใช้แรงงานคนและเครื่องมือขุดเจาะทั่วไป

รูปที่ 4 วิธีการก่อสร้างแบบการสอดท่อค้ำ (Pipe Roof)

วิธีการก่อสร้างแบบ Mining ล้วนๆ ในกรณีของการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสามารถทำได้เช่นกัน โดยสามารถขุดได้ทั้งจากบนลงล่าง (Top-Down) หรือจากล่างขึ้นบน (Bottom-Up) ดังเช่นการก่อสร้างอุโมงค์และสถานีรถไฟฟ้า ณ กรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังรูปที่ 5 ซึ่งวิธีนี้จะใช้พื้นที่บริเวณผิวดินขณะทำการก่อสร้างน้อยมาก



รูปที่ 5 การก่อสร้างอุโมงค์และสถานีรถไฟฟ้า ณ กรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ด้วยวิธี Mining

บทสรุป

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมีความจำเป็นสำหรับกรุงเทพฯ ซึ่งนอกจากจะช่วยให้เกิดทางเลือกใหม่ที่สะดวกรวดเร็วในการเดินทางของประชาชน ยังช่วยเพิ่มพื้นที่การใช้งานใต้ดินที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยมาก และอนุรักษ์พื้นที่บนดินให้คงความสวยงามไว้ โดยปัจจุบันเทคโนโลยีการออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์พัฒนาไปไกลมาก เนื่องจากมีการก่อสร้างและพัฒนาพื้นที่ใต้ดินเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก แม้ว่าในกรณีที่ยากและมีความท้าทายความคิดของวิศวกร เช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยายก็สามารถทำได้เช่นกัน และกรุงเทพฯ ยังคงต้องการเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินอีกเป็นจำนวนมากเพื่อบริการประชาชนให้ทั่วถึง ดังนั้นการพัฒนาความรู้และความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างใต้ดินในประเทศไทยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้