ผศ. ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปัญหาการเคลื่อนตัวของดิน จากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะ

รูปที่ 1 เทคโนโลยีการก่อสร้างอุโมงค์ในยุคโรมัน โดยอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก

บทนำ

เนื่องด้วยการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกประเทศทั่วโลก อีกทั้งปัจจัยด้านพื้นที่บนดินมีจำกัด จึงทำให้เกิดโครงการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านการขนส่งมวลชน จนถึงระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ ในประเทศไทยเองก็เช่นกันได้มีโครงการอุโมงค์ใต้ดินเกิดขึ้นจำนวนมากในปัจจุบัน ตั้งแต่อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพฯ หรือสายเฉลิมรัชมงคล อุโมงค์ส่งน้ำประปาขนาดใหญ่ อุโมงค์สำหรับสายส่งกระแสไฟฟ้า และอุโมงค์ระบายน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม การขุดเจาะอุโมงค์ดังกล่าวใช้วิธีการขุดเจาะด้วยหัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล หรือ Earth Pressure Balance (EPB) Shield ซึ่งเป็นวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันโดยเฉพาะในการขุดผ่านชั้นดินเหนียว และยังสามารถใช้ในกรณีดินทรายได้หากใช้โฟมช่วยขณะทำการขุดเจาะ อย่างไรก็ตามกว่าที่จะสามารถขุดเจาะอุโมงค์ได้อย่างปลอดภัยในปัจจุบัน ในอดีตวิศวกรอุโมงค์ได้ผ่านความยากลำบากในการก่อสร้างอุโมงค์อย่างมาก ซึ่งในการก่อสร้างอุโมงค์ในแต่ละโครงการนั้นต้องใช้ทั้งงบประมาณและแรงงานมหาศาล อีกทั้งยังมักเกิดการพังทลายอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งคร่าชีวิตคนและส่งผลเสียหายอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม จนทำให้ต้องมีการพัฒนาเครื่องมือและวิธีการขุดเจาะให้ทันสมัยมากขึ้น เพื่อป้องกันการสูญเสียดังกล่าว

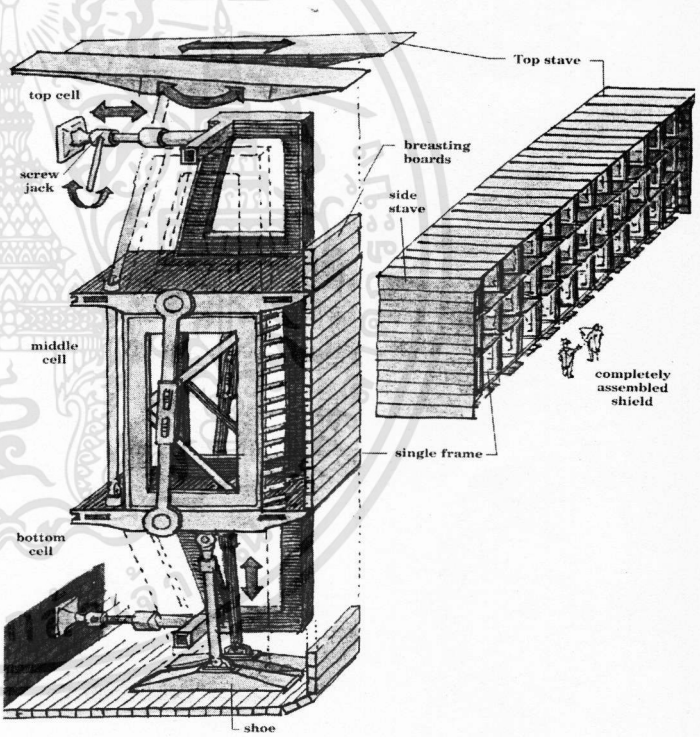
ถึงแม้ว่าการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินด้วยหัวเจาะจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยกว่าในอดีตมาก แต่ยังคงพบปัญหาจากการเคลื่อนตัวของดินอยู่เสมอ เช่น การทรุดตัวของผิวดินซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างบนผิวดินและที่ใกล้เคียงกับแนวอุโมงค์ บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะและอธิบายปัจจัยและสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาการเคลื่อนตัวของดิน

การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะ

มนุษย์ได้ริเริ่มการขุดเจาะอุโมงค์มาตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ แต่ได้เริ่มมีการบันทึกเป็นหลักฐานอย่างชัดเจนในสมัยกรีกและโรมัน หรือเมื่อ 2-3 พันปีก่อน ในสมัยนั้นชาวกรีกและโรมันรู้จักการขุดเจาะอุโมงค์เพื่อการส่งน้ำหรือที่รู้จักกันว่า Aqua Duct โดยสามารถสร้างได้ยาวเป็นกิโลเมตร ซึ่งอุโมงค์ส่วนใหญ่ในยุคก่อนมักจะเจาะผ่านชั้นหินโดยอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก วิธีการก่อสร้างในยุคแรก นั้นคนงานก็จะใช้สิ่วค่อยๆ สกัดไปทีละน้อย ต่อมาเริ่มรู้จักใช้ไฟเผาหน้าหินให้ร้อนจัดก่อนจากนั้นจึงใช้น้ำราด เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ทำให้หินเกิดการแตกร้าวและง่ายต่อการสกัดออก ดังแสดงในรูปที่ 1 การก่อสร้างอุโมงค์ในอดีตนี้จะใช้คนงานจำนวนมหาศาลและใช้เวลานานนับสิบปี ดังตัวอย่างเช่น อุโมงค์ส่งน้ำในยุคของซีซาร์คลอเดียสแห่งอาณาจักรโรมันซึ่งต้องใช้แรงงานถึง 30,000 คน ใช้เวลานานถึง 10 ปี ต่อมามนุษย์มีความสามารถในการขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อนและหินที่มีความแข็งแรงน้อยมากขึ้น ซึ่งมีความยากและอันตรายขณะทำการก่อสร้างทั้งจากการพังทลายของดินและจากการทะลักเข้าของน้ำใต้ดินเข้าสู่อุโมงค์ จนอาจเกิดน้ำท่วมภายในอุโมงค์และดินโดยรอบถล่มลงมาสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงได้ ดังนั้นเพื่อหาทางป้องกันอันตรายจากการก่อสร้างอุโมงค์ จึงได้มีการคิดค้นหัวขุดเจาะอุโมงค์เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2368 โดยมาร์ค บรูเนล ซึ่งพยายามขุดเจาะอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์ ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ แต่ในระหว่างดำเนินการขุดเจาะ อุโมงค์เกิดถล่มลงมาหลายครั้งเนื่องจากไม่สามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำและดินบริเวณด้านหน้าของอุโมงค์ได้ จากความล้มเหลวครั้งแล้วครั้งเล่า มาร์ค บรูเนล ได้เรียนรู้และพัฒนาวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยการทำแผ่นเหล็กหล่อมาประกอบเป็นเฟรมถึง 12 เฟรม โดยแต่ละเฟรมจะมีแผ่นหลังคา เมื่อต่อกันแล้วจะมีลักษณะคล้ายกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ ในแต่ละเฟรมจะแบ่งเป็นสามชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยด้านหน้าของเฟรมประกอบด้วยแผ่นไม้วางตามยาวเรียงกันเป็นกำแพง เพื่อป้องกันการพังทลายของดินด้านหน้าของอุโมงค์ โดยแผ่นไม้ดังกล่าวจะถูกค้ำไว้กับเฟรมเหล็ก วิธีการขุดเจาะก็จะค่อยๆ ยกแผ่นไม้ออกมาครั้งละชิ้น แล้วขุดดินด้านหน้าเข้าไปช่วงละ 6 นิ้ว จากนั้นจึงประกอบแผ่นไม้กลับไปดังเดิม แล้วติดตั้งค้ำยันไว้ เมื่อขุดเจาะดินหน้าแผ่นไม้ทุกแผ่นแล้ว เฟรมจะถูกดันไปข้างหน้า เพื่อพร้อมสำหรับขุดดินในกระบวนการเดิมอีกครั้ง โดยจะทำกระบวนการนี้ซ้ำแล้วซ้ำอีกเพื่อขุดเจาะอุโมงค์ช่วงละ 6 นิ้ว ไปสู่อีกฝั่งหนึ่งของแม่น้ำเทมส์ และผนังอุโมงค์ที่ใช้เป็นแผ่นอิฐก่อ โดยวิธีที่มาร์ค บรูเนล ใช้นี้ได้กลายมาเป็นต้นแบบของการขุดเจาะอุโมงค์ที่ใช้หัวเจาะจนถึงปัจจุบัน



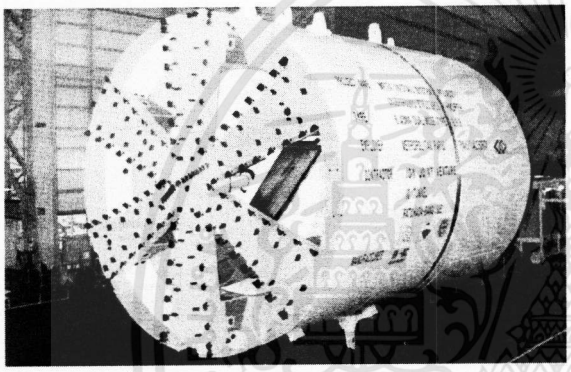
รูปที่ 2 เครื่องขุดเจาะอุโมงค์ของมาร์ค บรูเนล ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์

หัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Shield)

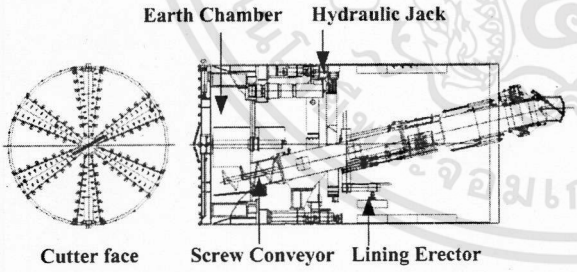
หัวเจาะอุโมงค์ของมาร์ค บรูเนล ในเวลาการขุดเจาะอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์อยู่นานกว่า 14 ปี จึงสามารถขุดอุโมงค์ที่มีความยาวเพียง 150 เมตร ได้สำเร็จ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวขุดเจาะอุโมงค์ในยุคแรกยังไม่สามารถป้องกันการพังทลายของดินและการทะลักเข้ามาของน้ำใต้ดินได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญขณะทำการก่อสร้าง ต่อมาจึงมีการพัฒนาวิธีการป้องกันการพังทลายของดินโดยวิธีการอัดอากาศภายในอุโมงค์ (Air Pressure Shield) และการใช้ระบบของเหลวหมุนเวียนเป็นแรงกดดันด้านหน้าหัวเจาะ (Hydro- หรือ Slurry Shield) ในปัจจุบันหัวขุดเจาะอุโมงค์ได้พัฒนามาจนสามารถใช้เพียงการปรับแรงดันดิน ระหว่างภายในห้องเก็บดินให้สมดุลกับแรงดันดินภายนอก ซึ่งทำให้ไม่เกิดการพังทลายของดินและปลอดภัยในการก่อสร้าง โดยเรียกหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบนี้ว่าหัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 หัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Shield)



รูปที่ 4 ส่วนประกอบสำคัญของหัวเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล

หัวเจาะอุโมงคแบบแรงดันดินสมดุลมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้ (รูปที่ 4)

(1) ส่วนหน้า ประกอบด้วย
- ใบตัดดินทางด้านหน้า (Cutter Face)
- ห้องเก็บดิน (Earth Chamber)
- เกลียวหมุนเพื่อลำเลียงดินออกจากห้องเก็บดิน (Screw Conveyor)

(2) ส่วนกลาง ประกอบด้วย
- ขาถีบไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) เพื่อดันหัวเจาะอุโมงค์ไปด้านหน้า
- ข้อต่อหัวเจาะเพื่อบังคับเลี้ยว (Articulation)

(3) ส่วนหลัง ประกอบด้วย
- แขนกลเพื่อประกอบชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ (Lining Erector)

โดยใบตัดดินด้านหน้าของหัวเจาะจะหมุนตัดดินเข้าสู่หัวเจาะ แล้วจึงลำเลียงโดยใช้เกลียวหมุนลำเลียงดินส่งต่อไปยังสายพายลำเลียงดิน จากนั้นจึงใช้รถลากขนดินที่ถูกขุดเจาะออกไปทิ้งที่ผิวดินต่อไป ขั้นตอนการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะนี้มีความปลอดภัยสูง ทั้งนี้มีระบบการป้องกันดินพังทลายด้านหน้าด้วยวิธีปรับแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance) โดยจะพยายามรักษาดินภายในด้านหน้าของหัวเจาะให้สมดุลกับภายนอก อีกทั้งการติดตั้งผนังอุโมงค์ยังกระทำภายในเปลือกหัวเจาะ โดยใช้แขนกลเพื่อประกอบชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ และฉีดอัดน้ำปูนตามรูของผนังเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดินรอบผนังอุโมงค์ด้านนอก จากนั้นแม่แรงไฮดรอลิกด้านหลังของหัวเจาะจะดัน ผนังอุโมงค์ที่ติดตั้งเสร็จแล้ว เพื่อเคลื่อนตัวไปข้างหน้าและดำเนินกระบวนการขุดเจาะต่อไป เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์วิธีนี้จึงสามารถลดปัญหาการทรุดตัวของดิน และความเสียหายของโครงสร้างใกล้เคียงได้ หากมีการควบคุมการขุดเจาะอย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม จากกรณีศึกษาในหลายโครงการ พบว่าการใช้หัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุลจะประสบความสำเร็จในการขุดเจาะในชั้นดินเหนียวแข็งเหนือระดับน้ำใต้ดินมากที่สุด

การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้าง

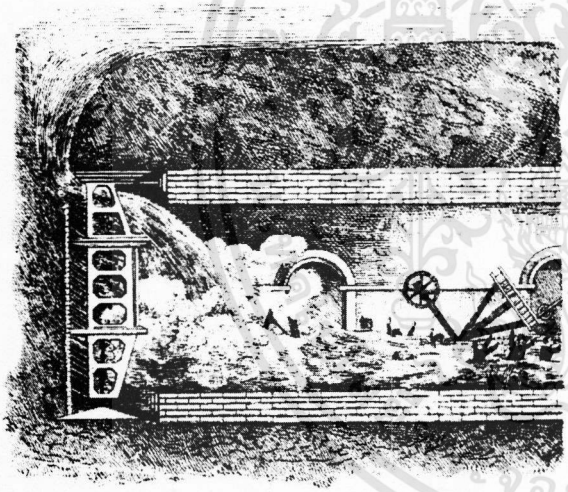
การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดจากการก่อสร้างอุโมงค์ในบทความนี้ จะเน้นถึงปัญหาการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะเท่านั้น โดยปกติแล้วการขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อนจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินสองประเภท คือ

1) การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้าง (Short-Term Deformation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสวงหาผลกำไร อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นในระยะยาว หรือหลังจากทำการก่อสร้าง (Long-Term Deformation)

การเคลื่อนตัวของดินประเภทแรกนี้มักจะเป็นการเคลื่อนตัวที่มีขนาดมากที่สุดและอันตรายที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้างอุโมงค์ การเคลื่อนตัวลักษณะนี้มีสาเหตุมาจาก "การสูญเสียมวลดิน (Ground Loss)" โดยเกิดขึ้นจากการที่มวลดินรอบอุโมงค์เคลื่อนตัวเข้าสู่ช่องเปิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเค้นในดิน (Stress Relief) ขณะทำการก่อสร้าง และหากอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน น้ำก็จะไหลเข้าสู่ช่องเปิดด้วยเช่นกัน ในกรณีของการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นในระยะยาว จะเกิดจากหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของดินเพิ่มขึ้นจากการก่อสร้างอุโมงค์ ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินจากปัญหาการอัดตัวคายน้ำของดิน (Consolidation Settlement) การเคลื่อนตัวลักษณะนี้จะเกิดขึ้นทีละน้อยแต่ต่อเนื่องเป็นเวลานานหลังจากการก่อสร้างอุโมงค์ได้เสร็จสิ้นไปแล้ว



รูปที่ 5 การพังทลายของอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์

บทความนี้จะนำเสนอเฉพาะการเคลื่อนตัวของดินจากการสูญเสียมวลดิน (Ground Loss) ขณะขุดเจาะอุโมงค์เท่านั้น กรณีนี้เป็นปัญหาสำคัญมากในอดีตที่วิธีการขุดเจาะยังไม่ทันสมัยเหมือนในปัจจุบัน การสูญเสียมวลดินอาจเกิดขึ้นทันทีทันใดและรุนแรงจนไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากการไหลตัวเข้าอย่างรวดเร็วของดินและน้ำเข้าสู่อุโมงค์ ดังตัวอย่างที่เกิดขึ้นในการก่อสร้างอุโมงค์ลอดใต้อุโมงค์แม่น้ำเทมส์ครั้งแรก โดย มาร์ค บรูเนล ดังรูปที่ 5 เป็นผลให้อุโมงค์พังทลาย อย่างไรก็ตามปัญหารุนแรงดังกล่าวมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมากในปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีการขุดเจาะอุโมงค์ได้พัฒนาระบบป้องกันการพังทลายของดิน โดยใช้แรงดันอากาศ แรงดันของเหลว หรือแรงดันดิน ภายในห้องกักดินต้านแรงดันดินด้านนอกหน้าหัวขุดเจาะ ขณะทำการขุดเจาะ โดยการสูญเสียมวลดินที่เกิดจากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะ (Shield หรือ Tunnel Boring Machine : TBM) จะแบ่งเป็นลักษณะเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

(4) การสูญเสียมวลดินทางด้านหน้าของหัวเจาะ (Face Loss)

(5) การสูญเสียมวลดินจากการตัดดินเกินเส้นรอบวงของหัวเจาะ (Over-Cutting)

(6) การสูญเสียมวลดินจากการก้มหรือเงยหัวเจาะ (Pitching Loss)

(7) การสูญเสียมวลดินเกิดจากรบกวนสภาพดิน (Ground Disturbance)

(8) การสูญเสียมวลดินเกิดจากการเคลื่อนตัวปิดช่องว่างส่วนหางหัวเจาะ (Tail Void Closure)

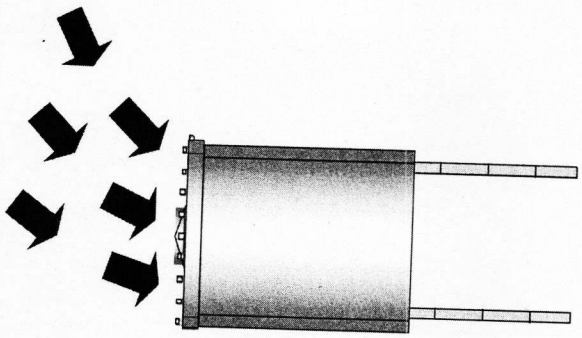
(1) การสูญเสียมวลดินทางด้านหน้าของหัวเจาะ (Face Loss)

การสูญเสียมวลดินทางด้านหน้าหัวเจาะมักจะเกิดขึ้นมากในกรณีที่ใช้หัวเจาะอุโมงค์แบบหน้าเปิด (Open-Faced Shield) เนื่องจากไม่มีการป้องกันแรงดันดินจากด้านหน้า ทำให้ดินเคลื่อนตัวเข้าสู่อุโมงค์ได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามถึงแม้ในกรณีการใช้หัวเจาะอุโมงค์แบบหน้าปิด (Closed-Faced Shield) ที่ใช้วิธีการรักษาเสถียรภาพหน้าหัวเจาะด้วยแรงดันอากาศ (Air Pressure) แรงดันน้ำ (Hydro-หรือ Slurry Pressure) หรือแรงดันดินต้านแรงดันดิน (Earth Pressure) ก็ยังคงมีโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียมวลดินทางด้านหน้า ดังรูปที่ 6 หากแรงดันไม่เพียงพอหรือไม่สมดุลระหว่างภายในและภายนอกของหัวเจาะ อีกทั้งการสูญเสียมวลดินลักษณะนี้ยังพบได้ชัดเจนในกรณีที่ขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นทรายมากกว่าที่ในกรณีที่ขุดเจาะในชั้นดินเหนียว เนื่องจากธรรมชาติของดินทรายที่มีระยะเวลาการคงตัว (Stand-Up Time) ที่น้อยกว่า

(2) การสูญเสียมวลดินจากการตัดดินเกินเส้นรอบวงของหัวเจาะ (Over-Cutting)

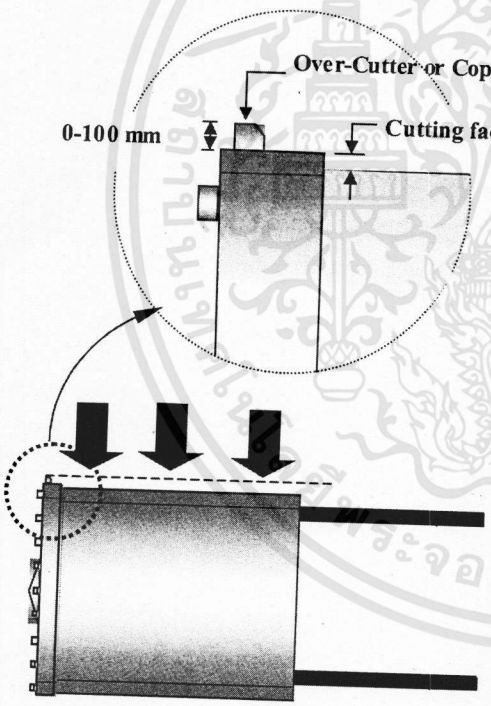
ในการขุดเจาะอุโมงค์ในช่วงทางโค้ง หัวเจาะจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การสูญเสียมวลดินด้านหน้าหัวเจาะ

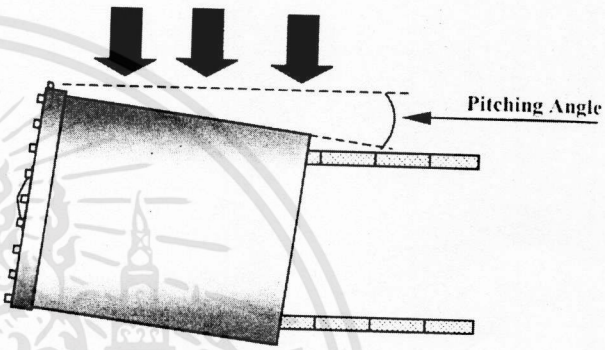
ต้องตัดดินเกินเส้นรอบวงเพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับเลี้ยวให้สะดวกขึ้น โดยการยืดใบตัด (Copy Cutter) ซึ่งสามารถยืดได้ถึงประมาณ 100 มม. เพื่อตัดดินส่วนเกินเส้นรอบวงหัวเจาะ ทำให้เกิดช่องว่างรอบหัวเจาะมากขึ้น (รูปที่ 7) ดังนั้นดินโดยรอบจะเคลื่อนตัวเข้าหาช่องว่างที่เกิดขึ้น



รูปที่ 7 การสูญเสียมวลดินจากการตัดดินเกินเส้นรอบวงของหัวเจาะ

(3) การสูญเสียมวลดินจากการก้มหรือเงยหัวเจาะ (Pitching Loss)

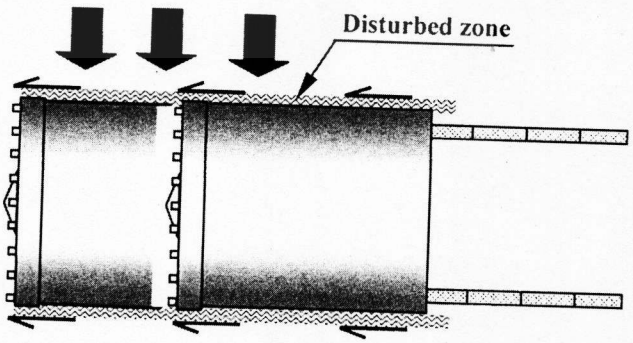
ขณะทำการขุดเจาะอุโมงค์ หัวเจาะต้องเคลื่อนตัวไปตามตำแหน่งอุโมงค์ที่ได้ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะควบคุมระดับของหัวเจาะให้อยู่ในแนวระดับขนานคงที่ตลอด เนื่องจากจุดศูนย์ถ่วงของหัวเจาะอยู่เยื้องไปด้านหน้า เนื่องจากน้ำหนักส่วนใหญ่ของหัวเจาะอยู่ทางด้านหน้าทำให้หัวเจาะมักจะถูกแรงโน้มถ่วงดึงให้หัวตกอยู่เสมอระหว่างการทำงาน ดังนั้นผู้ควบคุมจึงมักปรับให้หัวเจาะเงยขึ้นเล็กน้อยขณะทำการขุดเจาะ เพื่อรักษาอุโมงค์ให้อยู่ในแนวตำแหน่งที่ออกแบบไว้ให้มากที่สุด การก้มหรือเงยของหัวเจาะนี้ทำให้พื้นที่การเจาะเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ เป็นผลให้เกิดการสูญเสียมวลดินเข้าสู่อุโมงค์ได้ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การสูญเสียมวลดินจากการก้มเงยของหัวเจาะ

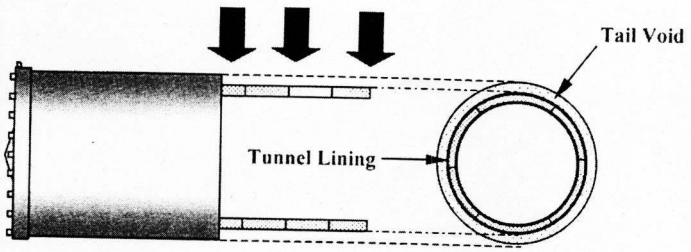
(4) การสูญเสียมวลดินเกิดจากรบกวนสภาพดิน (Ground Disturbance)

การขุดเจาะดินด้วยหัวเจาะจะมีผลกระทบต่อโครงสร้างของดินเดิมหรือรบกวนสภาพดิน เนื่องจากการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของหัวเจาะ (รูปที่ 9) ซึ่งเป็นผลให้เกิดการทำลายคุณสมบัติของดินและเกิดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณรอบหัวเจาะเข้าสู่อุโมงค์ ยิ่งหัวเจาะมีขนาดใหญ่เท่าไรก็ยิ่งรบกวนสภาพดินมากขึ้นเท่านั้น



รูปที่ 9 การสูญเสียมวลดินจากการรบกวนดิน

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



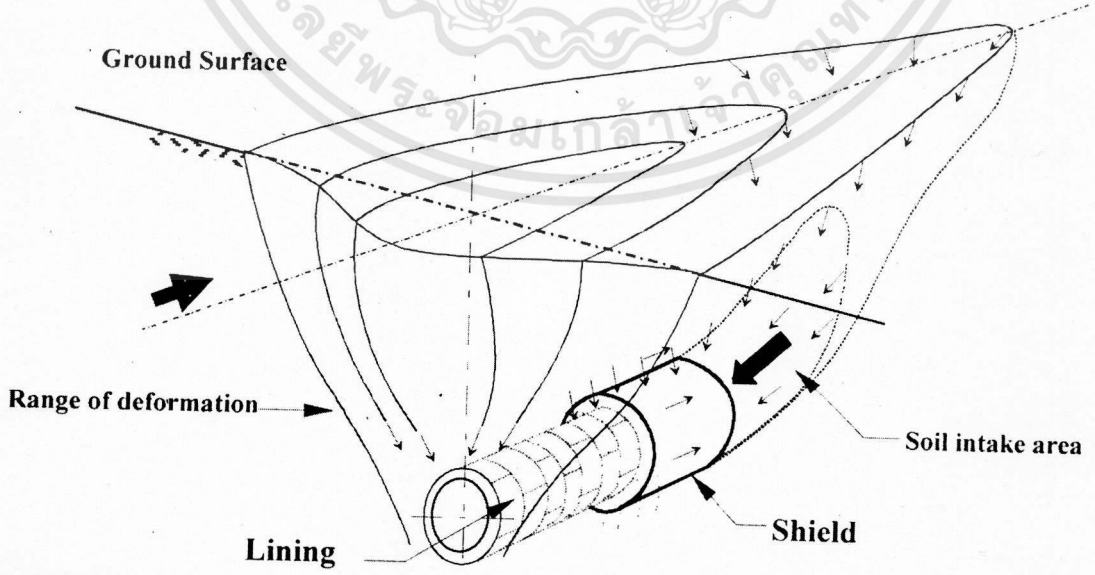
รูปที่ 10 การสูญเสียมวลดินจากช่องว่างส่วนท้ายของหัวเจาะ

(5) การสูญเสียมวลดินเกิดจากการเคลื่อนตัวปิดช่องว่างส่วนหางหัวเจาะ (Tail Void Closure)

การก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินด้วยหัวขุดเจาะจะเกิดช่องว่างส่วนหางของหัวขุดเจาะเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเจาะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวอุโมงค์ เนื่องจากมีพื้นที่ในการติดตั้งผนังอุโมงค์ภายในหัวเจาะซึ่งช่องว่างดังกล่าวจะมีขนาดประมาณ 7-8 ซม. ดังรูปที่ 10 ดังนั้นหากไม่มีวิธีป้องกันจะทำให้มวลดินโดยรอบอุโมงค์เคลื่อนตัวเพื่อปิดช่องว่าง ในปัจจุบันจะแก้ไขโดยการใช้การฉีดอัดน้ำปูน (Tail Void Grouting) แรงดันสูงเพื่อปิดช่องว่างดังกล่าว หรือการใช้ผนังอุโมงค์แบบขยายตัว (Expanding Lining) อย่างไรก็ตามการสูญเสียมวลดินจากการเคลื่อนตัวปิดของช่องว่างส่วนของหัวเจาะยังคงเกิดขึ้น

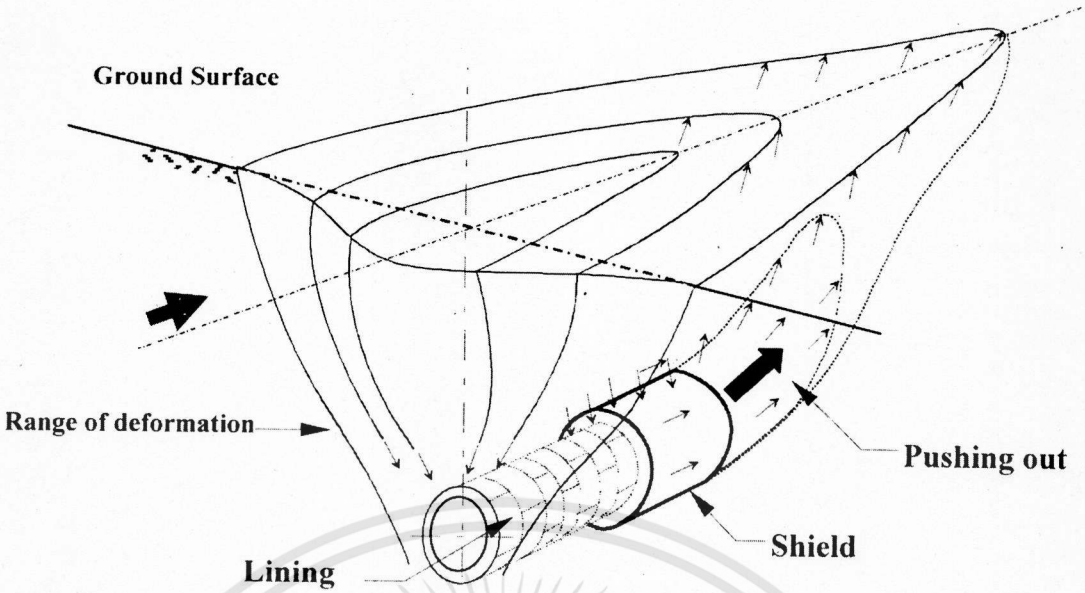
ขนาดการสูญเสียมวลดินในแต่ละลักษณะจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน วิธีการก่อสร้างอุโมงค์และวิธีการควบคุมหัวเจาะ ซึ่งการควบคุมนี้จะเกี่ยวข้องกับแรงดันหน้าหัวเจาะ การบังคับทิศทางความเร็ว การถีบตัว และประสิทธิภาพการทำงาน ดังนั้นการสูญเสียมวลดินจะมากหากปล่อยให้ด้านหน้าหัวเจาะขาดการป้องกัน หรือปล่อยช่องว่างส่วนหางไว้โดยไม่มีการฉีดอัดน้ำปูน หรือการรบกวนดินอย่างรุนแรงอันเนื่องมาจากการบังคับเคลื่อนที่ไม่ระมัดระวัง หรือการล่าช้าระหว่างการติดตั้งผนังอุโมงค์ของคนงาน เป็นต้น

การสูญเสียมวลดินที่เกิดจากการก่อสร้างอุโมงค์จะส่งผลให้เกิดการทรุดตัวบนผิวดินเป็นแนวยาว (Longitudinal Settlement) และแนวขวาง (Transverse Settlement) ของแนวอุโมงค์ซึ่งจะมีลักษณะเป็นหลุม หรือที่เรียกว่า Sink hole ดังแสดงในรูปที่ 11 อันเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของดินเข้าสู่ตัวอุโมงค์ โดยสามารถสร้างความเสียหายต่อผิวถนนและโครงสร้างข้างเคียง อย่างไรก็ตามควรตั้งข้อสังเกตว่า การเคลื่อนตัวของดินในทิศทางตรงกันข้าม หรือการผลักดินออกจากตัวอุโมงค์ก็เกิดได้เช่นกัน หากแรงต้านทานดินภายในหัวเจาะมีสูงมากกว่าแรงดันดินด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 12 ในกรณีนี้ก็สามารถสร้างความเสียหายได้ด้วยเช่นกัน โดยทำให้เกิดการบวมตัวที่ผิวดินและอาจสร้างปัญหาต่อฐานรากเสาเข็มที่อยู่ในแนวก่อสร้าง



รูปที่ 11 การเคลื่อนตัวของดินในลักษณะที่เข้าสู่ตัวอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ



รูปที่ 12 การเคลื่อนตัวของดินในลักษณะที่ถูกผลักออกจากตัวอุโมงค์

บทสรุป

การก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินด้วยหัวเจาะในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาก โดยมีการใช้หัวเจาะที่ทันสมัยและมีวิธีการรักษาเสถียรภาพระหว่างการขุดเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน อย่างไรก็ตามปัญหาการเคลื่อนตัวของดินยังคงเกิดขึ้นอยู่เสมอและมักจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง ดังนั้นเพื่อที่จะป้องกันปัญหานี้จึงควรต้องศึกษาหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน โดยพบว่านอกจากปัจจัยทางด้านสภาพดินที่เป็นปัจจัยสำคัญแล้ว ยังมีปัจจัยด้านการควบคุมและพฤติกรรมของหัวเจาะที่มีความซับซ้อน ดังนั้นการศึกษาและวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของดินและหัวเจาะจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถเข้าใจและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะนำไปสู่การป้องกันและแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้