

Utmost Science

อุดมวิทย์

ตุลาคม 2568

นวัตกรรมสร้างโลกใต้ดิน แห่งอนาคต



สำนักงานที่ปรึกษาด้านการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน



วารสารอุดมวิทย์ | Utmost Sciences
เดือนตุลาคม 2568 ฉบับที่ 9/2568

บรรณาธิการบริหาร:

นายฐิติเดช ตูลารักษ์
อัครราชทูตที่ปรึกษา (ฝ่ายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม) ประจำกรุงวอชิงตัน

กองบรรณาธิการ:

ดร. ศิริพร เต่าแก้ว
นางสาวอุไรริน ขอบุญ
นายอิสรา ปทุมานนท์

จัดทำโดย

สำนักงานที่ปรึกษาด้านการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน
1024 Wisconsin Ave., N.W. Suite 104
Washington, D.C. 20007

ติดต่อคณะผู้จัดทำได้ที่
Phone: +1 (202) 944 5200
Email: ost@thaiembdc.org
Website: www.ohesdc.org
Facebook: www.facebook.com/ohesdc

คำนำ

สวัสดีท่านผู้อ่านที่เคารพ วารสารอุดมวิทย์ฉบับนี้ขอนำท่านผู้อ่านไปสู่โลกของนวัตกรรมใต้ดิน ผ่านมุมมองของวิศวกรรมโยธาและการเจาะอุโมงค์ใต้ดิน หนึ่งในความสำเร็จทางเทคโนโลยีที่ยิ่งใหญ่ของมนุษยชาติ วิวัฒนาการของการก่อสร้างใต้ดินนี้ได้สะท้อนถึงความเฉลียวฉลาด ความมุ่งมั่น และการปรับตัวของมนุษย์ต่อความท้าทายทางภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในยุคที่การขยายตัวของเมืองดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ความยืดหยุ่นต่อสภาพภูมิอากาศและความยั่งยืนของโครงสร้างพื้นฐานกลายเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนา วิศวกรรมด้านการเจาะอุโมงค์จึงไม่เพียงตอบโจทย์ด้านคมนาคมและพลังงานเท่านั้น แต่ยังเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบเมืองแห่งอนาคต

วารสารฉบับนี้ได้นำเสนอความรู้เกี่ยวกับกลไกและโครงสร้างของเครื่องเจาะอุโมงค์ในปัจจุบัน พร้อมย้อนมองเหตุการณ์สำคัญทางประวัติศาสตร์ของการขุดอุโมงค์ ตลอดจนกรณีศึกษาจากเหตุการณ์อุโมงค์ถล่มครั้งสำคัญในทวีปอเมริกา และภาพรวมของมาตรการความปลอดภัยซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่รอบคอบและการกำกับดูแลอย่างเข้มงวด นอกจากนี้วารสารฉบับนี้ยังได้บรรยายถึงสถาบันการศึกษาของสหรัฐฯ ที่มีหลักสูตรเฉพาะทางด้านการเจาะอุโมงค์ และบริษัทชั้นนำด้านการเจาะอุโมงค์ของสหรัฐฯ ที่มีส่วนผลักดันเทคโนโลยีการขุดอุโมงค์ให้ก้าวสู่ยุคใหม่ที่เทคโนโลยีดิจิทัลและหุ่นยนต์ กำลังเข้ามามีบทบาทสำคัญในการกำหนดอนาคตของการขุดอุโมงค์

เราหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะช่วยให้ท่านผู้อ่านเข้าใจภาพรวมของวิวัฒนาการด้านวิศวกรรมอุโมงค์ ความเชื่อมโยงระหว่างเทคโนโลยี ความปลอดภัย และความยั่งยืน และตระหนักถึงพลังของนวัตกรรมที่กำลังสร้างโลกใต้ดินแห่งอนาคต

ทีมบรรณาธิการ

สำนักงานที่ปรึกษาด้านการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน



สารบัญ

06.....การเจาะอุโมงค์และเครื่องเจาะอุโมงค์

09.....ย้อนอดีตสู่รถไฟใต้ดินสายแรกของมหานครนิวยอร์ก

11.....การใช้งานการเจาะอุโมงค์ในปัจจุบัน

12.....ประเภทของเครื่องเจาะอุโมงค์

15.....การขุดอุโมงค์ในเขตเมืองและใกล้ผิวดิน

16.....เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มครั้งใหญ่แถบทวีปอเมริกาในปี 2025

20.....วิศวกรรมและมาตรการความปลอดภัยของงานเจาะอุโมงค์

23.....สถาบันการศึกษาที่มีหลักสูตรเฉพาะทางด้านการเจาะอุโมงค์
บริษัทที่ประกอบธุรกิจด้านการเจาะอุโมงค์ในสหรัฐอเมริกา

25.....Robbins และ โครงการในปี 2025

29.....The Boring company และ โครงการในปี 2025

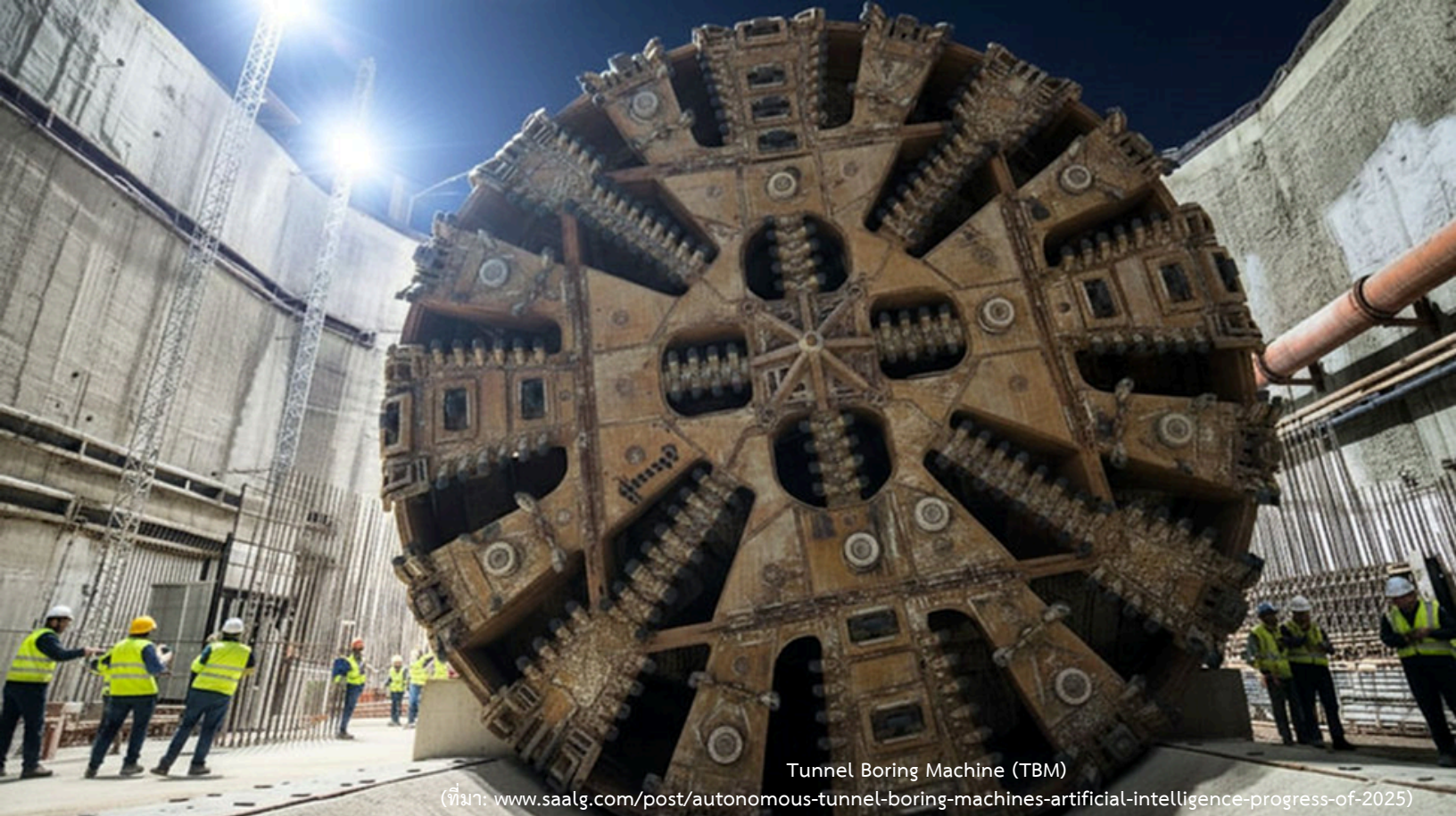
33.....โครงการขนาดใหญ่ของบริษัทด้านการเจาะอุโมงค์อื่นๆ

38.....บริษัทอเมริกันอื่นๆ ที่ประกอบธุรกิจด้านการเจาะอุโมงค์

39.....บริษัทอเมริกันด้านการตรวจสอบอุโมงค์

40.....งานวิจัยด้าน Drone-based photogrammetry และ VR

42.....เทคโนโลยีด้านการสร้างอุโมงค์ในปี 2025

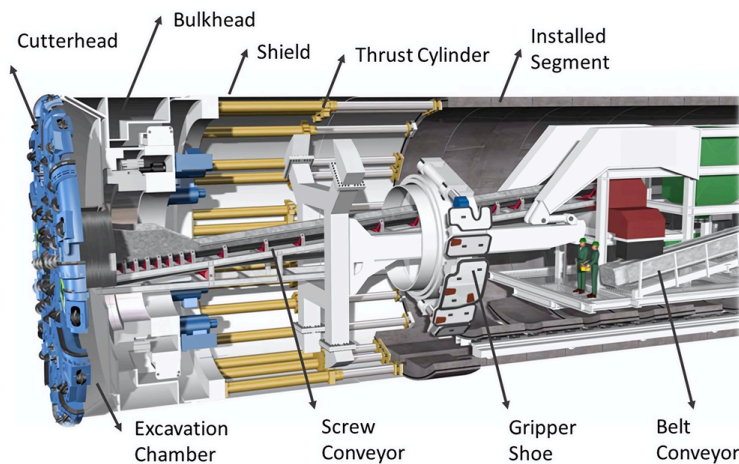


Tunnel Boring Machine (TBM)

(ที่มา: www.saalq.com/post/autonomous-tunnel-boring-machines-artificial-intelligence-progress-of-2025)

การเจาะอุโมงค์และเครื่องเจาะอุโมงค์

เครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine - TBM) เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวิธีการขุดอุโมงค์แบบดั้งเดิม เช่น การเจาะและระเบิด (Drilling and Blasting - D&B) หรือการขุดด้วยมือในดิน โดยมีข้อได้เปรียบสำคัญคือช่วยลดการรบกวนต่อพื้นที่โดยรอบและสร้างผนังอุโมงค์ที่เรียบ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบุผนัง และเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับงานในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นสูง อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ TBM ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสภาพธรณีวิทยาซับซ้อน เครื่องเจาะอุโมงค์มีต้นทุนการผลิตและติดตั้งเริ่มต้นที่สูง และมักถูกคาดหวังให้มีอัตราการขุดที่รวดเร็ว แต่ความไม่แน่นอนของสภาพพื้นดิน เช่น พื้นที่ที่มีความไม่เสถียรหรือไม่เอื้ออำนวย อาจก่อให้เกิดความล่าช้าและเพิ่มต้นทุนการก่อสร้างอย่างมีนัยสำคัญ แม้จะเกิดปัญหาเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ของความยาวอุโมงค์ทั้งหมด แต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการดำเนินโครงการโดยรวมได้มาก



Tunnel Boring Machine (TBM)
(ที่มา: <https://railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/>)

สภาพพื้นที่ยากต่อการขุดต้องการความยืดหยุ่นของวิธีการมากกว่าพื้นที่ที่มีคุณภาพดี โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาที่มีโครงสร้างธรณีวิทยาซับซ้อน เช่น เทือกเขาหิมาลัย เทือกเขาแอนดิส และเทือกเขาแอลป์ การใช้ TBM มักถูกหลีกเลี่ยง เนื่องจากเครื่องมีความไม่ยืดหยุ่นและเสี่ยงต่อการติดขัดในชั้นดินที่ไม่เอื้ออำนวย ปัญหาที่มักพบ ได้แก่ การบีบตัวของหิน การแตกหรือระเบิดของชั้นหิน การพังทลายของหน้าดิน การร่วงของหิน หรือการไหลของดินบริเวณแนวรอยเลื่อน ปัญหาเหล่านี้อาจรุนแรงจนถึงขั้นต้องหยุดหรือยกเลิกโครงการ ซึ่งเคยเกิดขึ้นจริงในหลายโครงการอุโมงค์ในเทือกเขาหิมาลัย สาเหตุสำคัญที่ทำให้การใช้ TBM ในพื้นที่ภูเขาอย่างเทือกเขาหิมาลัยประสบความท้าทาย ได้แก่ ความลึกของอุโมงค์ที่มาก ความเค้นในพื้นที่สูง ความซับซ้อนของชั้นหิน และการมีอยู่ของรอยพับ รอยเลื่อน เขตเฉือน รวมถึงชั้นหินที่มีน้ำ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ผู้ออกแบบมักลังเลที่จะใช้ TBM ในภูมิภาคดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การเจาะสำรวจล่วงหน้าอย่างสม่ำเสมอในช่วงเปลี่ยนหัวตัดหรือระหว่างการทำงานซ่อมบำรุง สามารถช่วยลดความไม่แน่นอนและความเสี่ยงจากสภาพธรณีวิทยาที่ไม่คาดคิดได้อย่างมาก

เครื่องเจาะอุโมงค์สามารถเจาะผ่านวัสดุได้หลากหลาย ตั้งแต่ดินอ่อน ทราย ไปจนถึงหินแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ที่เจาะได้มีตั้งแต่ประมาณ 1 เมตร ไปจนถึงเกือบ 16 เมตร สำหรับอุโมงค์ขนาดเล็กกว่า 1 เมตร มักใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบไม่เปิดหน้าดิน (trenchless construction) หรือการเจาะแนวนอนควบคุมทิศทางแทน แม้ต้นทุนเริ่มต้นของ TBM จะสูง แต่เมื่อโครงการมีความยาวมากขึ้น ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อระยะทางมักต่ำกว่าวิธี D&B เนื่องจากสามารถขุดได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องเจาะอุโมงค์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดในโลกขนาด 15.43 เมตร ผลิตโดยบริษัท Herrenknecht AG ประเทศเยอรมนี สำหรับโครงการในเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน ถูกออกแบบมาเพื่อเจาะผ่านดินอ่อน เช่น ทรายและดินเหนียว ส่วนเครื่องเจาะอุโมงค์หินแข็งที่ใหญ่ที่สุดมีขนาด 14.4 เมตร ผลิตโดยบริษัท The Robbins Company สำหรับโครงการอุโมงค์น้ำใต้แม่น้ำไนแอการาในประเทศแคนาดา เครื่องนี้มีชื่อว่า “Big Becky” ตั้งตามชื่อผลิตไฟฟ้า Sir Adam Beck ซึ่งเป็นจุดหมายปลายทางของอุโมงค์ดังกล่าว เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำของประเทศ

ที่มา:

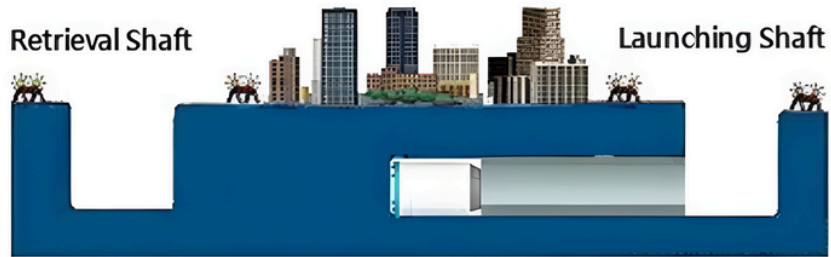
Tunnel Boring Machines in Difficult Grounds, www.sciencedirect.com/topics/engineering/tunnel-boring-machine
Tunnel Boring Machine (TBM), <https://railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/>



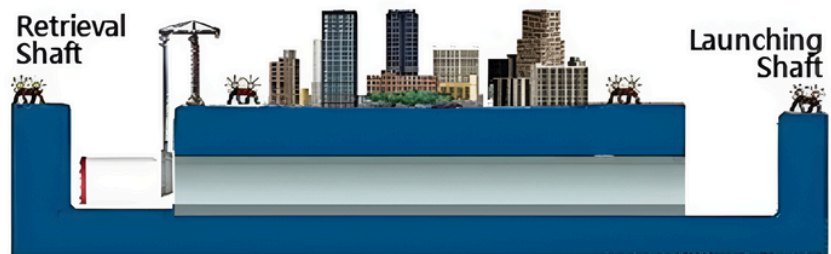
1. Excavate launching shaft and retrieval shaft



2. Assemble the TBM at the launching shaft



3. Cut and excavate the tunnel



4. TBM arrives in the retrieval shaft to be dismantled for transportation

ขั้นตอนการก่อสร้างเครื่องเจาะอุโมงค์

1. ขุดหลุมเริ่มต้นและหลุมปลายทาง ดำเนินการขุดหลุมสำหรับการเริ่มต้นการเจาะ (launching shaft) และหลุมสำหรับรับเครื่องเจาะเมื่อสิ้นสุดการเจาะ (retrieval shaft)
2. ประกอบเครื่องเจาะอุโมงค์ที่หลุมเริ่มต้น ทำการประกอบเครื่อง TBM ณ หลุมเริ่มต้นเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเจาะอุโมงค์
3. เจาะและขุดอุโมงค์ เครื่อง TBM ทำการเจาะและขุดอุโมงค์ตามแนวที่กำหนด
4. เครื่อง TBM เดินทางถึงหลุมปลายทางเพื่อถอดประกอบและขนย้าย เมื่อเครื่องเจาะถึงปลายทาง จะมีการถอดชิ้นส่วนเพื่อขนย้ายออกจากพื้นที่

(ที่มา: <https://railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/>)



การก่อสร้างทางรถไฟในเมืองแมนฮัตตันในช่วงปี 1900
(ที่มา: <https://nypost.com/2024/10/25/lifestyle/new-york-city-subway-system-turns-120-heres-what-it-looked-like-in-1904/>)

ย้อนอดีตสู่รถไฟใต้ดินสายแรกของมหานครนิวยอร์ก

รถไฟใต้ดินสายแรกของนิวยอร์กเปิดให้บริการในปี ค.ศ. 1904 ถือเป็นระบบขนส่งมวลชนใต้ดินระยะทาง 20 ไมล์ที่พลิกโฉมการเดินทางในเมืองที่รวดเร็วและกลายเป็นมาตรฐานทางวิศวกรรมระดับโลก การก่อสร้างอุโมงค์ในสมัยนั้นอาศัยวิธีการเจาะอุโมงค์แบบไม่ใช้เครื่องเจาะอุโมงค์ แต่ใช้เทคนิค**ขุดเปิดแล้วกลบ (cut-and-cover)** ด้วยแรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งเป็นการขุดร่องลึกตามแนวถนน สร้างอุโมงค์ภายใน แล้วจึงกลบพื้นผิวกลับคืน วิธีนี้เหมาะกับสภาพชั้นหินที่หลากหลายของแมนฮัตตันและความหนาแน่นของเมือง โครงการต้องเผชิญกับความท้าทายทั้งด้านกฎหมาย ธรณีวิทยา และการจัดการ เช่น การเจาะอุโมงค์ใต้แม่น้ำ Harlem และใต้ทางรถไฟที่เปิดใช้งานอยู่ พร้อมทั้งยังต้องรักษาการจราจรบนพื้นผิวให้ดำเนินต่อไปได้ วิศวกรจึงต้องวางแผนการก่อสร้างแบบแบ่งช่วงเพื่อลดผลกระทบและรับมือกับความท้าทายทางธรณีวิทยาและโลจิสติกส์อย่างมีประสิทธิภาพ นวัตกรรมที่นำมาใช้ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าแบบรางที่สาม (third rail), รางด่วน (express tracks), และเทคนิคการกันน้ำด้วยผ้าสักหลาดเคลือบยางมะตอยและอิฐเสริมแรง ระบบรถไฟใต้ดินนี้ช่วยกระตุ้นการเติบโตของประชากรในแมนฮัตตันตอนเหนือและเขต Bronx และภายในปี ค.ศ. 1905 มีผู้โดยสารใช้บริการมากถึง 600,000 คนต่อวัน

สำหรับการข้ามแม่น้ำ Harlem วิศวกรใช้**วิธีวางท่อจมใต้น้ำ (immersed tube construction)** โดยขุดลอกร่องน้ำ ตอกเสาเข็ม และทำให้โครงสร้างไม้และเหล็กจมลงใต้น้ำเพื่อให้สามารถขุดและสร้างอุโมงค์ใต้น้ำได้ อุโมงค์เหล่านี้ถูกบุด้วยคอนกรีตและเหล็ก พร้อมระบบกันน้ำหลายชั้น เช่น ผ้าสักหลาดเคลือบยางมะตอยและอิฐเสริมแรง

งานก่อสร้างยังดำเนินไปพร้อมกับสถานีผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อว่า Interborough Rapid Transit Co. Power-house อาคารแห่งนี้ถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่กินพื้นที่ยาวตลอดหนึ่งบล็อกในย่าน Hell's Kitchen ของนครนิวยอร์ก สายพานลำเลียงถูกใช้ในการขนถ่านหินที่ส่งมาทางเรือบรรทุก ไปยังหม้อไอน้ำซึ่งผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สถานีแห่งนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อจ่ายพลังงานให้กับรถไฟได้มากถึง 800 ขบวนพร้อมกัน โดยใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งทำให้สถานีนี้กลายเป็นสถานีผลิตไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในโลกในขณะนั้น ตามรายงานของคณะกรรมการอนุรักษ์สถานที่สำคัญแห่งนครนิวยอร์ก (NYC Landmarks Preservation Commission)

สถานีผลิตไฟฟ้าของระบบนี้เคยเป็นสถานีที่ใหญ่ที่สุดในโลก และความสำเร็จทางวิศวกรรมของโครงการรถไฟใต้ดินสายแรกของนครนิวยอร์ก สมาคมวิศวกรรมโยธาแห่งอเมริกา (American Society of Civil Engineering หรือ ASCE) ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineers หรือ ASME) ได้ประกาศให้รถไฟใต้ดินสายแรกของนครนิวยอร์กเป็นอนุสรณ์สถานทางวิศวกรรมโยธาและเครื่องกลระดับชาติร่วมกัน ในปี ค.ศ. 1977 สำหรับการข้ามแม่น้ำ Harlem วิศวกรใช้วิธีวางท่อจมใต้น้ำ (immersed tube construction) โดยขุดลอกร่องน้ำ ตอกเสาเข็ม และทำให้โครงสร้างไม้และเหล็กจมลงใต้น้ำเพื่อให้สามารถขุดและสร้างอุโมงค์ใต้น้ำได้ อุโมงค์เหล่านี้ถูกบุด้วยคอนกรีตและเหล็ก พร้อมระบบกันน้ำหลายชั้น เช่น ผ้าสักหลาดเคลือบยางมะตอยและอิฐเสริมแรง



ที่มา:

The first New York City subway delivers speed, www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/issues/magazine-issue/article/2024/05/the-first-new-york-city-subway-delivers-speed

การใช้งานการเจาะอุโมงค์ในปัจจุบัน

- **อุโมงค์ขนส่งในเมือง** TBMs ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างรถไฟใต้ดิน รถไฟฟ้า รถไฟรางเบา และอุโมงค์ทางหลวงใต้เมือง เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนพื้นผิวและเพิ่มความปลอดภัยในการขุดเจาะ
- **อุโมงค์สาธารณูปโภค** การก่อสร้างอุโมงค์สำหรับระบบประปา การบำบัดน้ำเสีย การระบายน้ำ สายไฟฟ้า และสายสื่อสาร ใช้ TBMs เพื่อรับมือกับสภาพแวดล้อมในเมืองที่ซับซ้อนโดยลดผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบ
- **โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟและถนน** TBMs ถูกใช้ในการเจาะอุโมงค์รถไฟระยะไกลและทางหลวง เพื่อเพิ่มการเชื่อมต่อและลดเวลาในการเดินทาง
- **การทำเหมืองและอุโมงค์ทางเข้า** TBMs แบบเฉพาะทางถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่เพื่อขุดอุโมงค์ทางเข้า ช่องระบายอากาศ และเส้นทางสกัดแร่ โดยเน้นความทนทานในสภาพใต้ดินที่รุนแรง
- **โครงการควบคุมน้ำและน้ำท่วม** TBMs สร้างอุโมงค์สำหรับอ่างเก็บน้ำ ช่องเบี่ยงน้ำ และระบบระบายน้ำท่วม เพื่อปกป้องพื้นที่เมืองจากภัยพิบัติทางน้ำ
- **การใช้งานในภาคพลังงาน** TBMs ถูกใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โครงการพลังงานความร้อนใต้พิภพ และการกำจัดกากนิวเคลียร์ เพื่อสร้างโครงสร้างใต้ดินที่มั่นคง
- **การใช้งานนวัตกรรม** การใช้งานใหม่ ๆ เช่น ฟาร์มใต้ดินในเมือง และศูนย์ข้อมูลใต้ดิน กำลังใช้ TBMs เพื่อสร้างพื้นที่ใต้ดินรูปแบบใหม่ที่ตอบโจทย์อนาคต

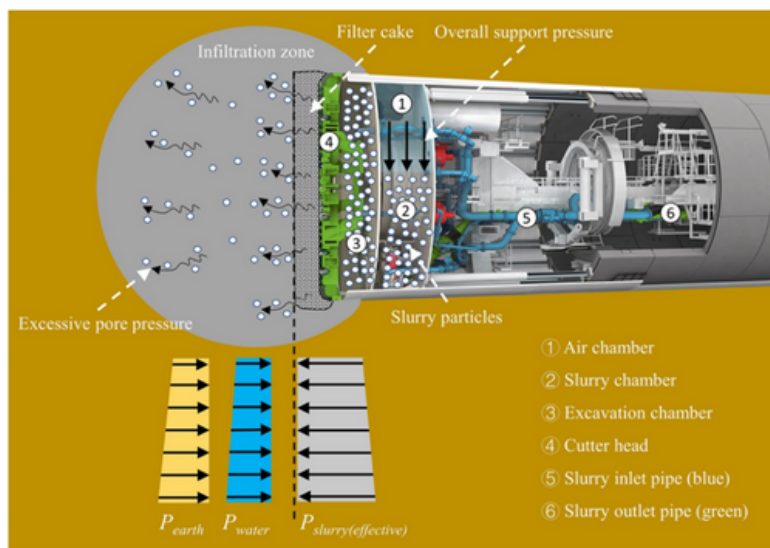
ที่มา:

Tunnelling and Underground Space Technology, <https://www.sciencedirect.com/journal/tunnelling-and-underground-space-technology/about/article-collections/development-and-application-of-tunnel-boring-machines-in-the>
Mastering TBM Boring Machine Operations in Modern Tunneling, <https://amixsystems.com/tbm-boring-machine/>

ประเภทของเครื่องเจาะอุโมงค์

ประเภทของเครื่องเจาะอุโมงค์ แบ่งตามการเจาะในดินอ่อนและหินแข็ง

1. เครื่องเจาะอุโมงค์แบบแรงดันสเลอรี่สมดุล (Slurry Pressure Balance - SPB TBM)



(ที่มา: <https://doi.org/10.1007/s11440-023-01805-8>)

หลักการพื้นฐาน เครื่องเจาะอุโมงค์ประเภทนี้ทำงานโดยรักษาแรงดันที่หน้าตัดอุโมงค์ในระหว่างการขุดเจาะ โดยการเติมสารสเลอรี่ เช่น เบนโทไนต์ เข้าไปในห้องซึ่งอยู่ด้านหลังหัวเจาะ ผสมกับน้ำและเพิ่มแรงดันให้สามารถสร้างเป็นชั้นโคลนบริเวณพื้นผิวที่อยู่ระหว่างการเจาะ เพื่อสร้างสภาวะพื้นผิวให้มีความมั่นคงไม่พังทลายในระหว่างการเจาะ

ข้อดี

- สามารถขุดเจาะในดินอ่อน ดินเปี้ยว หรือดินที่ไม่มั่นคงได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ซึ่งไม่เคยเป็นไปได้มาก่อน
- เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีแรงดันน้ำสูง (อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน)
- ลดการทรุดตัวของพื้นดินและสร้างผนังอุโมงค์ที่เรียบ ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งผนังอุโมงค์ได้อย่างมาก และเหมาะสำหรับใช้งานในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง

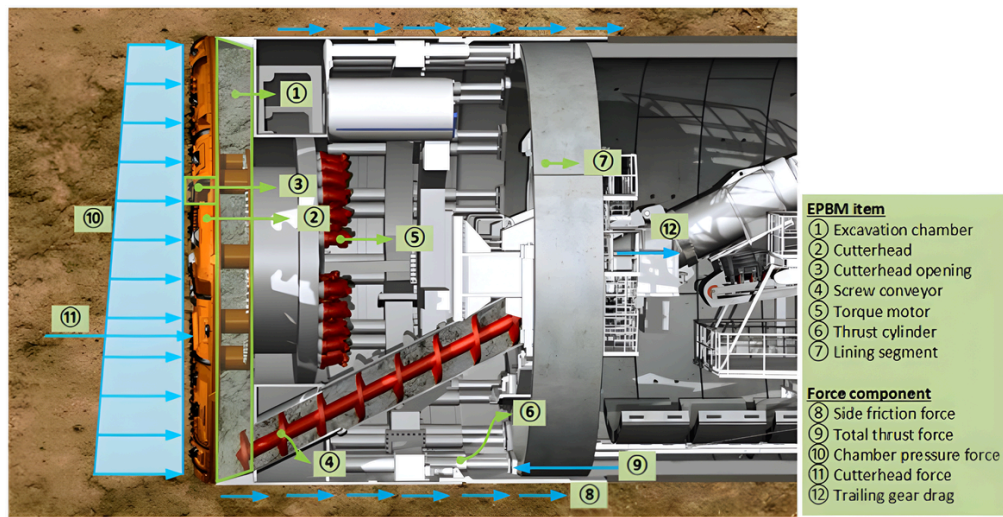
ข้อเสีย

- ข้อเสียหลักคือค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่สูง เครื่อง TBM มีต้นทุนการผลิตสูง เคลื่อนย้ายยาก และต้องใช้ระบบสนับสนุนและพลังงานจำนวนมาก
- การขุดเจาะอาจถูกขัดขวางโดยก้อนหินหรือหินใหญ่

ลักษณะสำคัญ

- ผนังอุโมงค์: ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
- ประสิทธิภาพโดยทั่วไป: 5 ถึง 30 เมตรต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

2. เครื่องเจาะอุโมงค์แบบสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance - EPB TBM)



(ที่มา: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104457>)

หลักการพื้นฐาน เป็นวิธีการขุดอุโมงค์แบบใช้เครื่องจักร โดยวัสดุที่ขุดออก (spoils) จะถูกส่งเข้าสู่เครื่องเจาะอุโมงค์ผ่านระบบสกรูลำเลียง ซึ่งช่วยรักษาแรงดันที่หน้าตัดอุโมงค์ให้สมดุลโดยไม่ต้องใช้สารสเลอรี่

ข้อดี

- สามารถขุดเจาะในดินอ่อน ดินเปียก หรือดินที่ไม่มั่นคงได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ซึ่งไม่เคยเป็นไปได้มาก่อน
- ลดการทรุดตัวของพื้นดินและสร้างผนังอุโมงค์ที่เรียบ ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งผนังอุโมงค์ได้อย่างมาก และเหมาะสำหรับใช้งานในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง

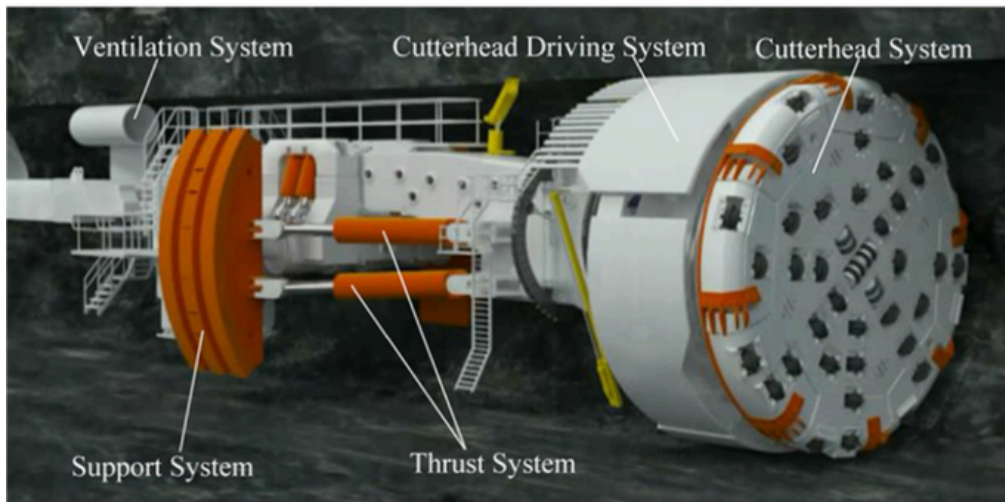
ข้อเสีย

- ข้อเสียหลักคือค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่สูง เครื่อง TBM มีต้นทุนการผลิตสูง เคลื่อนย้ายยาก และต้องใช้ระบบสนับสนุนและพลังงานจำนวนมาก (แต่ยังคงถูกกว่า SPB TPM)

ลักษณะสำคัญ

- ผนังอุโมงค์: ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
- ประสิทธิภาพโดยทั่วไป: 9 ถึง 35 เมตรต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

3. เครื่องเจาะอุโมงค์สำหรับหินแข็ง (Hard Rock TBM)



(ที่มา: <https://doi.org/10.1177/16878140187547>)

หลักการพื้นฐาน เป็นวิธีการขุดอุโมงค์โดยใช้เครื่องเจาะที่มีโครงป้องกัน (shield) และหัวเจาะ (cutter head) ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับหินแข็ง

ข้อดี

- เป็นวิธีการขุดที่ต่อเนื่องและควบคุมได้ดี สามารถขุดได้ด้วยความเร็วสูงเมื่อสภาพพื้นดินเอื้ออำนวย

ข้อเสีย

- ข้อเสียหลักคือค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่สูง เครื่อง TBM มีต้นทุนการผลิตสูง เคลื่อนย้ายยาก และต้องใช้ระบบสนับสนุนและพลังงานจำนวนมาก (แต่ยังคงถูกกว่า EPB TPM และ SPB TPM)
- การใช้งานจำกัดเฉพาะอุโมงค์ที่มีระยะทางยาว ซึ่งความเร็วในการขุดและคุณภาพของอุโมงค์สามารถชดเชยต้นทุนเริ่มต้นที่สูงได้

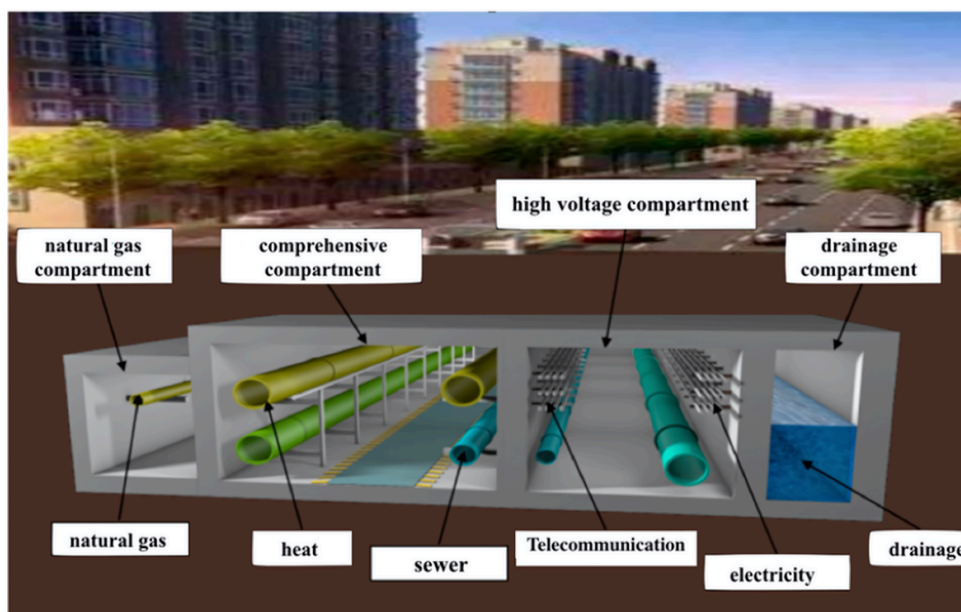
ลักษณะสำคัญ

- ผนังอุโมงค์: ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป / คอนกรีตพ่น / หรือไม่ใช้ผนังเลย
- ประสิทธิภาพโดยทั่วไป: 12 ถึง 67 เมตรต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

การขุดอุโมงค์ในเขตเมืองและใกล้ผิวดิน

การขุดอุโมงค์ในเขตเมืองมีความท้าทายเฉพาะ คือจำเป็นต้องไม่รบกวนพื้นผิวดิน ซึ่งหมายความว่าต้องหลีกเลี่ยงการทรุดตัวของพื้นดิน วิธีทั่วไปในการป้องกันการทรุดตัวในดินอ่อนคือการรักษาแรงดันของดินทั้งในระหว่างและหลังการก่อสร้างอุโมงค์ อย่างไรก็ตาม การรักษาแรงดันนี้อาจมีความยากลำบาก โดยเฉพาะเมื่อเจาะผ่านชั้นดินที่หลากหลาย เช่น บริเวณที่ส่วนบนของหน้าตัดอุโมงค์เป็นทรายเปี้ยก ส่วนล่างเป็นหินแข็ง

เครื่องเจาะอุโมงค์ที่มีระบบควบคุมแรงดันด้านหน้า (positive face control) เช่น EPB และ Slurry Shield (SS) จะถูกนำมาใช้ในสถานการณ์เช่นนี้ เครื่องทั้งสองประเภทสามารถลดความเสี่ยงของการทรุดตัวของพื้นผิวและการเกิดช่องว่างใต้ดินได้ หากมีการใช้งานอย่างเหมาะสมและมีข้อมูลสภาพดินที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อขุดอุโมงค์ในเขตเมือง จำเป็นต้องพิจารณาอุโมงค์อื่น ๆ ที่มีอยู่แล้ว รวมถึงสายสาธารณูปโภคและฐานรากลึกตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนเบื้องต้นของโครงการ และต้องมีมาตรการรองรับเพื่อบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ



(ที่มา: <https://doi.org/10.3390/su12010153>)

ที่มา:

Tunnel Boring Machine (TBM), <https://railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/>

เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มครั้งใหญ่ แถบทวีปอเมริกาในปี 2025

1. เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มในเมืองลอสแอนเจลิส ประเทศสหรัฐฯ

เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มในลอสแอนเจลิสเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2025 ระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำเสียขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 ฟุต ในพื้นที่ Wilmington เหตุการณ์นี้ทำให้คนงานก่อสร้างจำนวน 31 คนติดอยู่ใต้ดิน ห่างจากช่องทางเข้าอุโมงค์เกือบ 6 ไมล์ การถล่มเกิดจากความล้มเหลวของโครงสร้างผนังอุโมงค์อย่างกะทันหัน ส่งผลให้เกิดกองดินและเศษซากขนาด 12 ถึง 15 ฟุต อย่างไรก็ตาม คนงานทั้งหมดสามารถหลบหนีออกมาได้อย่างปลอดภัยโดยย้อนกลับเส้นทางผ่านบริเวณที่ถล่ม และได้รับการช่วยเหลือโดยไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บรุนแรง ซึ่งเป็นผลจากการตอบสนองอย่างรวดเร็วของทีมกู้ภัยและการฝึกอบรมของคนงานเอง เหตุการณ์นี้นำไปสู่การหยุดโครงการมูลค่า 700 ล้านดอลลาร์ทันที และมีการสอบสวนอย่างละเอียดถึงสาเหตุ และเน้นย้ำถึงความเสี่ยงที่มีอยู่ในการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินที่ซับซ้อน



เจ้าหน้าที่กู้ภัยและคนงานรวมตัวกันที่ไซต์ก่อสร้างในลอสแอนเจลิส ซึ่งเกิดเหตุอุโมงค์ถล่มเมื่อคืนวันที่ 9 กรกฎาคม 2025 ส่งผลให้คนงานบางส่วนติดอยู่ใต้ดินชั่วคราว

(ที่มา: www.nbcnews.com/news/us-news/dozens-workers-rescued-los-angeles-tunnel-collapse-rcna217915)



Note: Approximate tunnel path.

เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มที่เกิดขึ้นในลอสแอนเจลิสเป็นส่วนหนึ่งของโครงการสาธารณสุขที่ชื่อว่า Clearwater Project ซึ่งดำเนินการโดยหน่วยงานเขตสุขภาพของ Los Angeles County Sanitation Districts อุโมงค์ที่กำลังก่อสร้างมีความยาวประมาณ 7 ไมล์ และคาดว่าจะแล้วเสร็จในปี 2027 โครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อแทนที่อุโมงค์เก่าสองเส้นที่ชำรุดและเสี่ยงน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่มหาสมุทร อุโมงค์เดิมมีอายุ 60 และ 80 ปี ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวในปัจจุบัน และไม่สามารถหยุดใช้งานได้ เนื่องจากต้องลบล้างน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

(ที่มา: www.cnn.com/2025/07/10/us/los-angeles-tunnel-collapse-rescue-hnk)

ที่มา:

Dozens of workers rescued in Los Angeles tunnel collapse, <https://www.nbcnews.com/news/us-news/dozens-workers-rescued-los-angeles-tunnel-collapse-rcna217915>

A partial tunnel collapse in Los Angeles left dozens of workers trapped about 400 feet below ground. They all survived, www.cnn.com/2025/07/10/us/los-angeles-tunnel-collapse-rescue-hnk

2. เหตุการณ์อุโมงค์ในรัฐบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา



ตำแหน่งที่ตั้งและภาพบ่อกักเก็บกากแร่และเหมืองเปิดของเหมือง Red Chris ตั้งอยู่บริเวณต้นน้ำของแม่น้ำ Iskut ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำสำคัญของแม่น้ำ Stikine (ที่มา: www.youtube.com/watch?v=59iM7dCNbgk)

เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มที่เหมืองทองและทองแดง Red Chris ทางตอนเหนือของรัฐบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2025 คนงานเหมือง 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทเจาะอุโมงค์ ติดอยู่ใต้ดินหลังจากเกิดการถล่มของพื้นดินสองครั้งติดต่อกันในอุโมงค์ที่ทางเข้า โดยกองเศษซากดินถล่มที่ปิดกั้นนั้นมีความยาวประมาณ 20 ถึง 30 เมตร และสูง 7 ถึง 8 เมตร แต่คนงานสามารถหลบภัยในห้องนิรภัยใต้ดินที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ ซึ่งมีอากาศ อาหาร และน้ำเพียงพอ การช่วยเหลือใช้เวลาเกินกว่า 2 วัน โดยทีมกู้ภัยใช้เครื่องมือควบคุมระยะไกลในการเคลื่อนย้ายเศษซาก และสามารถนำคนงานทั้งสามขึ้นสู่พื้นผิวได้อย่างปลอดภัย เหตุการณ์นี้นำไปสู่การหยุดดำเนินการของเหมืองชั่วคราว การสอบสวนอย่างเป็นทางการ และการให้ความสนใจใหม่ต่อมาตรการความปลอดภัยในงานใต้ดินของภาคทรัพยากรแคนาดา ถือเป็นหนึ่งในเหตุการณ์ฉุกเฉินเกี่ยวกับอุโมงค์ที่ได้รับการรายงานมากที่สุดในแคนาดาและมีผลลัพธ์ที่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากไม่มีผู้เสียชีวิตหรือได้รับบาดเจ็บ



ตัวอย่างห้องนิรภัยใต้ดิน (ที่มา: www.youtube.com/watch?v=59iM7dCNbgk)

ที่มา:

Rescue operation underway for 3 miners trapped underground at northern B.C. mine, www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/miners-red-chris-mine-bc-dease-lake-1.7592096

Three workers rescued after two days in collapsed Canada mine, www.bbc.com/news/articles/cd787n4pqxro

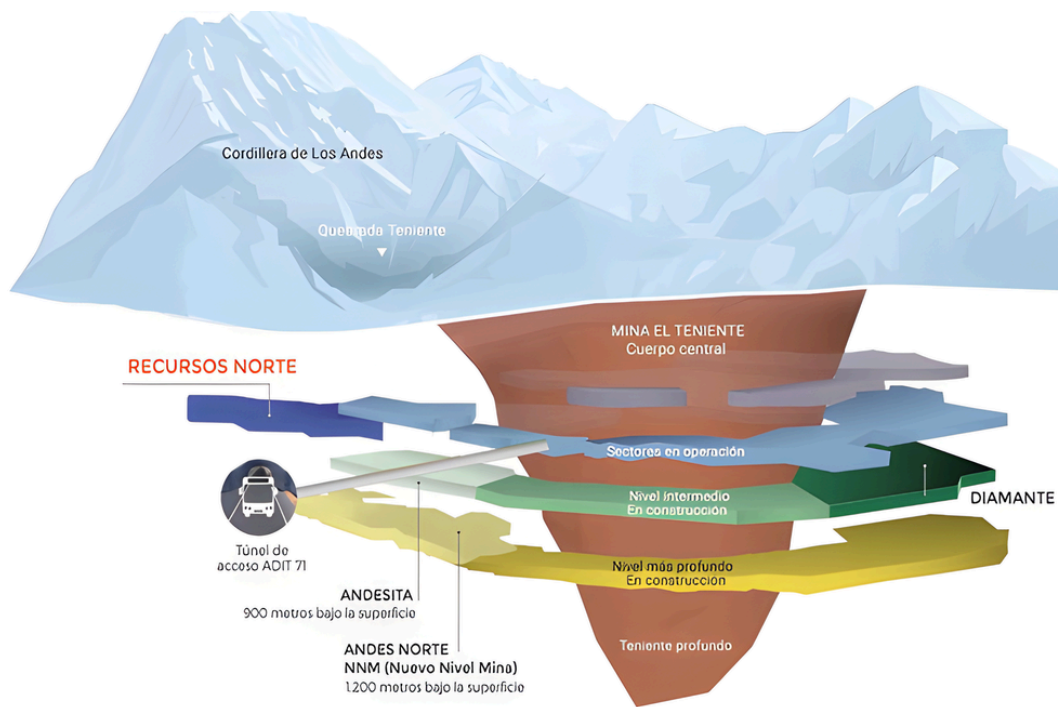
3. เหตุการณ์อุโมงค์ในกรุงซานติอาโก ประเทศชิลี



เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มที่เหมือง El Teniente

(ที่มา: www.nationalheraldindia.com/international/collapse-at-chiles-major-copper-mine-kills-1-worker-and-leaves-5-missing)

เหตุการณ์อุโมงค์ถล่มที่เหมือง El Teniente เหมืองทองแดงใต้ดินที่ใหญ่ที่สุดในโลก ตั้งอยู่ ณ กรุงซานติอาโก ประเทศชิลี เมื่อ 31 กรกฎาคม 2025 เหตุการณ์ร้ายแรงนี้ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิต 6 ราย และบาดเจ็บ 9 ราย จากการถล่มของอุโมงค์หลายช่วง รวมระยะทางกว่า 3,700 เมตร ซึ่งมากกว่าที่ประเมินไว้ในตอนแรกถึง 5 เท่า การถล่มส่งผลกระทบต่อเขตการผลิตที่สำคัญ ทำให้สูญเสียทองแดงไปถึง 33,000 เมตริกตันคิดเป็นมูลค่าประมาณ 340 ล้านดอลลาร์สหรัฐและนำไปสู่การหยุดดำเนินงานครั้งใหญ่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานทองแดงทั่วโลก มีการดำเนินการช่วยเหลือ การประเมินทางวิศวกรรม และการสอบสวนอย่างเป็นทางการ โดยมุ่งเน้นไปที่ความมั่นคงของโครงสร้าง การล้มเหลวของระบบเสริมโครงสร้าง และสาเหตุที่เป็นไปได้ เช่น กิจกรรมการทำเหมืองล้ำสุด การซึมของน้ำ และการออกแบบเสาขนาดไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม สำนักงานสำรวจธรณีวิทยาสหรัฐฯ (U.S. Geological Survey - USGS) รายงานว่าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5.0 แมกนิจูดในพื้นที่ตอนกลางของประเทศชิลี ซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมือง El Teniente ณ วันที่ 31 กรกฎาคม 2025 โดยเจ้าหน้าที่กำลังตรวจสอบว่าเป็นแผ่นดินไหวตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมการทำเหมืองในพื้นที่ แต่หน่วยงานรับมือภัยพิบัติแห่งชาติของชิลี (Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres - Senapred) รายงานถึงแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในเขต Machalí ของภูมิภาค O'Higgins ห่างจากกรุงซานติอาโกประมาณ 100 กิโลเมตร จากเหตุการณ์อุโมงค์ในครั้งนี้นำให้บริษัท Codelco ซึ่งเป็นผู้ผลิตทองแดงของชิลี ต้องปรับปรุงมาตรฐานความปลอดภัย ระงับการดำเนินงาน และเริ่มการทบทวนมาตรการความปลอดภัยในการทำเหมืองทั่วประเทศ ถือเป็นภัยพิบัติจากการทำเหมืองใต้ดินที่ร้ายแรงที่สุดในภูมิภาคในช่วงเวลาดังกล่าว สะท้อนถึงผลกระทบทั้งด้านมนุษย์และเศรษฐกิจ รวมถึงความเร่งด่วนในการปรับปรุงการกำกับดูแลและวิศวกรรมความปลอดภัยของอุโมงค์



เหมือง El Teniente ในประเทศชิลีและแผนภาพใต้ดินจำลอง

(ที่มา: www.nationalheraldindia.com/international/collapse-at-chiles-major-copper-mine-kills-1-worker-and-leaves-5-missing และ www.wsws.org/en/articles/2025/08/10/ugdy-a10.html)

ที่มา:

Collapse at Chile's major copper mine kills 1 worker and leaves 5 missing, www.pbs.org/newshour/world/collapse-at-chiles-major-copper-mine-kills-1-worker-and-leaves-5-missing

Chile's Codelco cuts 2025 copper forecast after El Teniente mine collapse, <https://www.reuters.com/world/americas/chiles-codelco-cuts-2025-copper-forecast-after-el-teniente-mine-collapse-2025-08-22/>



วิศวกรรมและมาตรการความปลอดภัย ของงานเจาะอุโมงค์

อุโมงค์มีบทบาทสำคัญในโครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่ โดยเป็นทางสัญจรสำหรับรถยนต์ รถไฟ และระบบสาธารณูปโภคใต้ภูเขา แม่น้ำ หรือแม้แต่มหาสมุทร แม้ว่าการก่อสร้างอุโมงค์จะพัฒนาไปมาก แต่ก็ยังเป็นงานที่มีความเสี่ยงสูง ต้องอาศัยเทคนิควิศวกรรมเฉพาะทาง การวางแผนอย่างละเอียด และมาตรการความปลอดภัยที่เข้มงวดเพื่อปกป้องทั้งคนงานและประชาชน

ความเสี่ยงในการก่อสร้างอุโมงค์

การก่อสร้างอุโมงค์มีความเสี่ยงโดยธรรมชาติ เช่น

- การพังทลายของโครงสร้าง
- น้ำท่วม
- การสัมผัสกับก๊าซพิษ
- อันตรายจากไฟไหม้

ตามข้อมูลจากสำนักงานสถิติแรงงานสหรัฐฯ (Bureau of Labor Statistics - BLS) มีอุบัติเหตุจากการก่อสร้างอุโมงค์ที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บหลายรายดังที่ได้ยกตัวอย่างข้างต้น ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นของมาตรการความปลอดภัยที่เข้มงวด หน่วยงานรัฐบาลกลาง สหรัฐฯ เช่น สำนักงานความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (Occupational Safety and Health Administration - OSHA) ได้กำหนดแนวทางความปลอดภัยที่เข้มงวดสำหรับโครงการอุโมงค์ เช่น การเสริมผนังอุโมงค์ ระบบระบายอากาศ และการตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่อง

ความปลอดภัยและวิวัฒนาการของการก่อสร้างอุโมงค์

การก่อสร้างอุโมงค์ในสหรัฐฯ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตั้งแต่ยุคแรก โดยอุโมงค์แห่งแรกคือ Musconetcong Tunnel สร้างเสร็จในปี 1875 ที่รัฐนิวเจอร์ซีย์ เพื่อใช้กับคลอง Morris

การก่อสร้างอุโมงค์ยุคแรก

ใช้แรงงานคน เครื่องมือพื้นฐาน และไม่มีมาตรการความปลอดภัยที่ชัดเจน และคนงานที่เรียกว่า “sandhogs” ต้องเผชิญกับ

- การพังทลายของอุโมงค์จากการเสริมโครงสร้างไม่เพียงพอ
- การสัมผัสกับก๊าซพิษที่อาจทำให้ขาดอากาศหายใจหรือเกิดการระเบิด
- น้ำท่วมจากการกั้นน้ำไม่ดี
- ปัญหาสุขภาพจากการระบายอากาศไม่เพียงพอและการทำงานใต้ดินเป็นเวลานาน เช่น โรคจากแรงดันอากาศ

การก่อสร้างอุโมงค์ยุคใหม่

ใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีขั้นสูง พร้อมมาตรการความปลอดภัยที่เข้มงวด เช่น

- เครื่องเจาะอุโมงค์ที่ลดการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมอันตราย
- ระบบระบายอากาศที่จัดการก๊าซพิษอย่างมีประสิทธิภาพ
- วัสดุกันไฟและแผนฉุกเฉิน เช่น ระบบระบายควันและทางออกฉุกเฉิน
- การฝึกอบรมและอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE)
- ระบบชุดเจาะและเสริมโครงสร้างอัตโนมัติที่ช่วยป้องกันการพังทลาย

เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์และข้อควรคำนึงด้านความปลอดภัย

เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและวัตถุประสงค์ เช่น

- Immersed Tube Method วางชิ้นส่วนอุโมงค์สำเร็จรูปลงในร่องใต้ดินและเชื่อมต่อกันใต้น้ำ
- TBM ขุดเจาะหินพร้อมเสริมผนังอุโมงค์ไปพร้อมกัน

แม้ว่าวิธีเหล่านี้จะเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ความปลอดภัยในไซต์งานยังคงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเหตุการณ์อุโมงค์ถล่มและการเสียชีวิตจากก๊าซพิษในอดีตเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการลดความเสี่ยงในทุกขั้นตอน

ความก้าวหน้าในด้านความปลอดภัยของอุโมงค์

เทคโนโลยีใหม่ช่วยเพิ่มความปลอดภัย เช่น

- ขนาดอุโมงค์ที่ใหญ่ขึ้นรองรับความต้องการโครงสร้างพื้นฐาน
- TBM ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสัมผัสกับอันตราย
- ผนังอุโมงค์กันไฟและระบบระบายอากาศที่ช่วยควบคุมไฟและควัน
- ระบบชุดเจาะและเสริมโครงสร้างอัตโนมัติที่ช่วยป้องกันการพังทลาย



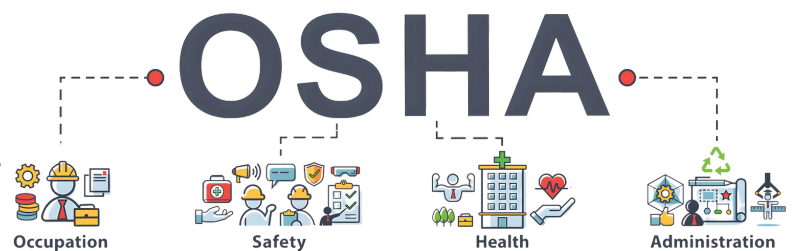
กรณีศึกษา: อุโมงค์ Detroit-Windsor

สร้างในปี 1930 ถือเป็นหนึ่งโครงการอุโมงค์ใต้น้ำขนาดใหญ่แห่งแรกในอเมริกาเหนือ โดยใช้วิธี Immersed Tube วางชิ้นส่วนเหล็กสำเร็จรูปลงในร่องไต้ดินและเชื่อมต่อกัน แม้จะล้าหน้าในยุคนั้น แต่ยังขาดมาตรการความปลอดภัยที่ทันสมัย เช่น ไม่มีระบบกรองอากาศหรือระบายควัน รวมไปถึงไม่มีป้ายเตือนหรือทางออกฉุกเฉิน ปัจจุบันอุโมงค์นี้ได้รับการปรับปรุงตามมาตรฐาน OSHA เช่น ระบบระบายอากาศทันสมัย วัสดุกันไฟและป้ายเตือนอันตรายเพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสารและคนงาน

มาตรฐาน OSHA และการวางแผนรับมือเหตุฉุกเฉิน

ภายใต้ข้อกำหนด OSHA 29 CFR 1926.800 ไซต์งานก่อสร้างอุโมงค์ต้องมี

- เส้นทางหลบหนีที่กำหนดไว้
- ระบบตรวจสอบอันตรายแบบเรียลไทม์
- อุปกรณ์ช่วยชีวิต (self-rescuers) ที่พร้อมใช้งาน



ที่มา:

Beneath the Surface: How Engineering and Safety Protect Tunnel Workers, <https://resources.duralabel.com/articles/tunnel-construction-safety>
Underground Construction (Tunneling), <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3115.pdf>



สถาบันการศึกษาที่มีหลักสูตรเฉพาะทางด้านการเจาะอุโมงค์

Colorado School of Mines



Graduate Admissions

Home Academics + Application Process + Connect + Financial Resources +



Underground Construction and Tunnel Engineering

Graduate program at Colorado School of Mines

Colorado School of Mines เมือง Golden รัฐโคโลราโด สหรัฐฯ เปิดสอนหลักสูตรบัณฑิตศึกษาครอบคลุมด้านการก่อสร้างใต้ดินและวิศวกรรมอุโมงค์ (Underground Construction and Tunnel Engineering) ซึ่งถือเป็นหลักสูตรเฉพาะทางที่โดดเด่นในทวีปอเมริกาเหนือ โดยมุ่งเตรียมผู้สำเร็จการศึกษาให้มีความสามารถในการออกแบบ ก่อสร้าง บำรุงรักษา และฟื้นฟูโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์ของพื้นที่ใต้ดิน โดยเน้นทั้งด้านเทคนิคและการปฏิบัติจริงในงานวิศวกรรมอุโมงค์ รูปแบบหลักสูตรเป็นมีทั้งปริญญาโท ปริญญาเอก และ ประกาศนียบัตรบัณฑิต

Colorado School of Mines มีศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมที่มีชื่อว่า Earth Mechanics Institute (EMI) ที่มีประวัติยาวนานด้านการวิจัยและวิศวกรรมระบบการขุดเจาะ โดยเฉพาะการใช้เครื่องเจาะอุโมงค์หินแข็ง ดินอ่อน และงาน microtunneling โดยโปรแกรมการศึกษาของ EMI ครอบคลุมความรู้ด้านต่างๆ สำหรับการเจาะอุโมงค์ เช่น การทดสอบสมบัติทางกายภาพของหิน/ดิน การประเมินหลุมเจาะ การทดสอบหัวเจาะ การเลือกประเภทเครื่องเจาะ การออกแบบหัวเจาะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การประเมินความเสี่ยงจากก๊อหินและกวดขนาดใหญ่ การพยากรณ์ประสิทธิภาพการทำงาน และการวิเคราะห์ต้นทุนและกำหนดการของโครงการโดยรวม เป็นต้น นอกจากนี้ EMI ยังดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องเจาะอุโมงค์ โดยใช้ระบบบันทึกข้อมูลจาก Programmable Logic Controller (PLC) ซึ่งติดตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น แรงดัน กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ อัตราการเจาะ และความยาวช่วงการเจาะระหว่างการขุดอุโมงค์ โดยใช้โปรแกรม Excel macro ในการลดข้อมูลดิบและวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องจักรและแก้ไขปัญหา จากผลงานที่ผ่านมา EMI มีส่วนร่วมในโครงการเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่ทั่วโลก รวมถึงในสหรัฐอเมริกา สวิตเซอร์แลนด์ และนิวซีแลนด์

ที่มา:

Underground Construction and Tunnel Engineering, <https://gradprograms.mines.edu/program/underground-construction-and-tunnel-engineering/>

Excavation Engineering and Earth Mechanics Institute, <https://emi.mines.edu/>

University of Illinois Urbana-Champaign

UNIVERSITY OF ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN

HOW TO ENROLL / REQUEST INFO

I | Illinois Online

Search



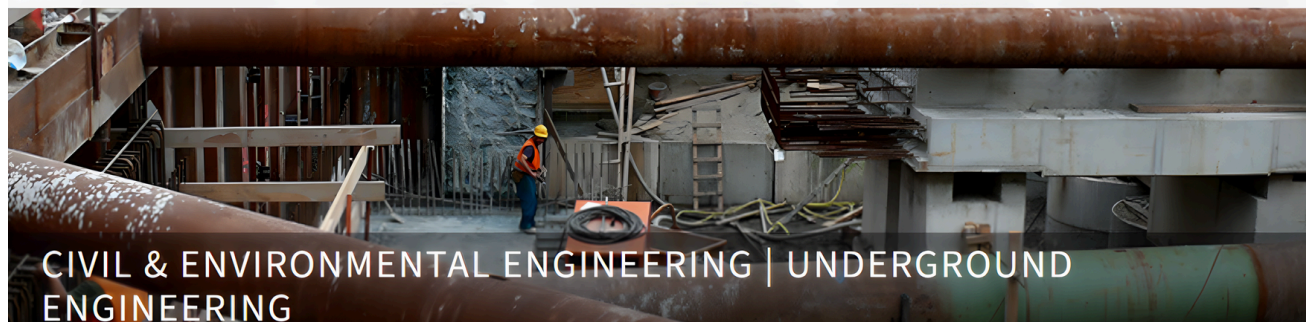
Online Programs ▼

Online Courses ▼

What You Need to Know ▼

Tuition and Fees ▼

Why Illinois Online ▼



University of Illinois Urbana-Champaign (UIUC) เมือง Champaign รัฐอิลลินอยส์ เปิดสอนหลักสูตรประกาศนียบัตรออนไลน์ด้านวิศวกรรมใต้ดิน (Graduate Certificate in Underground Engineering) ภายใต้ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม (Department of Civil and Environmental Engineering) โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาทักษะให้แก่นักศึกษาและวิศวกรที่ปฏิบัติงานจริงในด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและการก่อสร้างใต้ดิน หลักสูตรนี้นับเป็นหนึ่งในไม่กี่หลักสูตรในสหรัฐอเมริกาที่เปิดสอนวิชาด้านการเจาะอุโมงค์ และครอบคลุมพื้นฐานของการจำลองเชิงตัวเลข (numerical modeling) และการประยุกต์ใช้พลังงานใต้ดิน (geoenergy) สำหรับงานก่อสร้างใต้ดินและโครงสร้างธรณี

หลักสูตรออนไลน์นี้เหมาะสำหรับผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่เพิ่งสำเร็จการศึกษา ซึ่งต้องการความรู้เฉพาะทางด้านวิศวกรรมใต้ดิน โดยไม่จำเป็นต้องสมัครเรียนในระดับปริญญาเต็มรูปแบบทันที และยังสามารถใช้เป็นทางเลือกเสริมที่ยืดหยุ่นควบคู่กับหลักสูตรที่ครอบคลุมมากกว่า เช่น หลักสูตรปริญญาโทด้านวิศวกรรมอุโมงค์ของ Colorado School of Mines

ที่มา:

Civil & Environmental Engineering | Underground Engineering, <https://online.illinois.edu/online-programs/programs/civil-engineering-underground-engineering>

บริษัทที่ประกอบธุรกิจด้านการเจาะอุโมงค์ในสหรัฐฯ

บริษัท Robbins



เครื่องเจาะอุโมงค์หินแข็งแบบทันสมัยเครื่องแรกของโลกถูกพัฒนาในปี ค.ศ. 1952 โดย James Robbins สำหรับโครงการเขื่อน Oahe ในรัฐเซาท์ดาโคตา รุ่นแรกนี้ใช้การลากหัวเจาะและใบมีดเพื่อขุดหินดินดาน (shale) ซึ่งประสบความสำเร็จในการขุดเจาะ แต่ยังไม่แข็งแรงพอที่จะเจาะหินแข็งได้ Robbins จึงพัฒนาใบมีดแบบจานหมุน (rolling disc cutter) ซึ่งกลายเป็นเครื่องมือหลักในการเจาะอุโมงค์ผ่านหินแข็งเป็นครั้งแรก ตลอดหลายปีที่ผ่านมา เครื่อง TBM ของ Robbins ได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในปี 2015 มีการพัฒนาเครื่องรุ่นใหม่แบบไฮบริดที่เรียกว่า “crossover TBM” ซึ่งสามารถรับมือกับสภาพธรณีวิทยาหลายประเภทได้ ในปี 2017 Robbins ได้ดำเนินการประกอบเครื่อง TBM ณ หน่วยงานเป็นครั้งแรก ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการส่งมอบและประหยัดค่าใช้จ่ายได้หลายล้านดอลลาร์ ตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมา Robbins ได้พัฒนาเครื่องจักรให้สามารถรับมือกับสภาพพื้นดินหลากหลายประเภท โดยใช้เครื่อง TBM แบบไฮบริดและแบบ crossover ซึ่งรวมคุณสมบัติของเครื่องหลายประเภทเพื่อให้ปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ บริษัท Robbins มีบทบาทสำคัญในโครงการโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ และเป็นผู้ร่วมงานหลักในงานอุตสาหกรรมระดับนานาชาติ เช่น Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC) 2025 ปัจจุบันบริษัท Robbins ยังคงขยายธุรกิจไปทั่วโลก โดยมีเครื่องจักรที่ปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่ทำหายในหลายประเทศ สำนักงานใหญ่ของบริษัท Robbins ตั้งอยู่ที่เมือง Solon รัฐไอโอโอ

ที่มา:

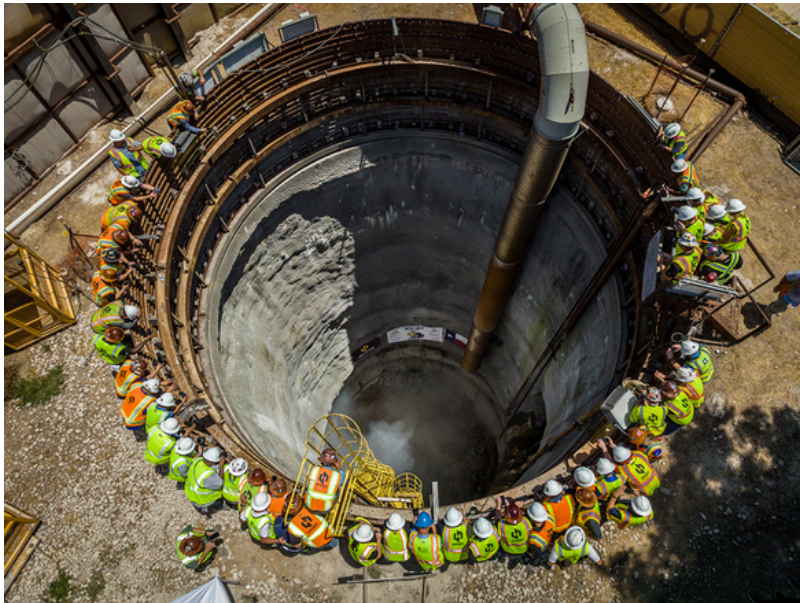
A legacy of innovation, www.robbinstbm.com/about/history/

About Robbins, www.robbinstbm.com/about/

Events, www.robbinstbm.com/retc-2025/

โครงการขนาดใหญ่ของ Robbins ในปี 2025 ได้แก่

1. โครงการอุโมงค์ระบายน้ำ Mill Creek Drainage Relief Tunnel ในเมืองดัลลัส รัฐเท็กซัส



เครื่องเจาะอุโมงค์ของบริษัท Robbins กำลังเจาะทะลุเข้าสู่ปล่องอุโมงค์ของโครงการระบายน้ำ Mill Creek Drainage Relief Tunnel ในเมืองดัลลัส รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา

(ที่มา: www.robbinstbm.com/category/press-releases/)

โครงการนี้ใช้เครื่องเจาะอุโมงค์แบบ Main Beam TBM ขนาดใหญ่ของ Robbins ซึ่งมีชื่อเล่นว่า “Big Tex” โดยสามารถเจาะอุโมงค์ความยาว 8 กิโลเมตร (ประมาณ 5 ไมล์) ผ่านชั้นหินชอล์กและหินดินดาน ด้วยอัตราการเจาะสูงสุดถึง 498 เมตร (1,634 ฟุต) ต่อเดือน จุดเด่นของโครงการนี้คือการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องเจาะอุโมงค์ ขณะอยู่ภายในอุโมงค์ซึ่งถือเป็นครั้งแรกของโลก โดยเปลี่ยนจากขนาด 11.6 เมตร (38 ฟุต) เป็น 9.9 เมตร (32.5 ฟุต) เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของโครงการ โดยไม่ต้องใช้หลุมหรือช่องทางเข้าอุโมงค์ที่ขุดไว้ล่วงหน้า การปรับขนาดนี้ถูกวางแผนและดำเนินการอย่างแม่นยำในสถานที่ก่อสร้าง แสดงให้เห็นถึงนวัตกรรมของ Robbins ในด้านเทคโนโลยี TBM และวิศวกรรมอุโมงค์ โครงการอุโมงค์ Mill Creek นี้เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ มีเป้าหมายเพื่อป้องกันน้ำท่วมระดับ 100 ปีในพื้นที่ East Dallas โดยคาดว่าจะแล้วเสร็จในช่วง 2027

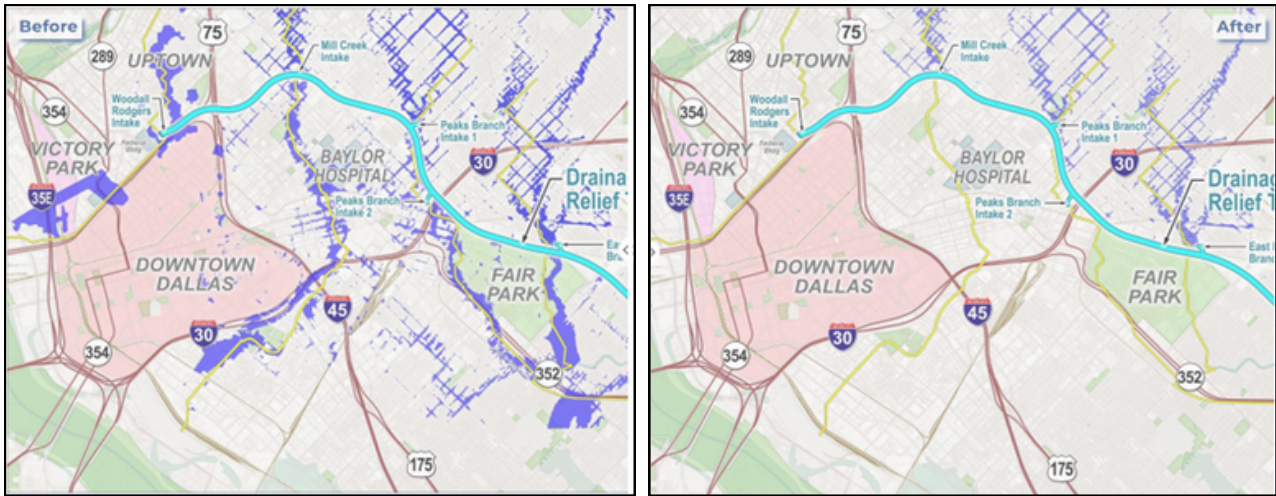


เครื่องเจาะอุโมงค์ Big Tex

(ที่มา: <https://halff.com/project/mill-creek-drainage-relief-project/>)

ที่มา:

Press Releases, www.robbinstbm.com/category/press-releases/
Mill Creek Drainage Relief Tunnel, www.millcreekunnel.com



แผนภาพจำลองการแก้ปัญหาท่วม ก่อนและหลังการสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ Mill Creek Drainage Relief Tunnel (ที่มา: www.millcreektunnel.com)

2. โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินเดลี (Delhi Metro DC-07) ประเทศอินเดีย

โครงการ Delhi Metro DC-07 หมายถึงความสำเร็จในการดำเนินงานของเครื่องเจาะอุโมงค์แบบ Earth Pressure Balance (EPB) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.65 เมตร จำนวน 2 เครื่องของบริษัท Robbins ภายใต้โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินเดลี เฟส IV ของประเทศอินเดีย เครื่องเจาะอุโมงค์ทั้งสองได้ขุดอุโมงค์รวมระยะทาง 3,456.6 เมตร จากสถานี Airforce Station ไปยังสถานี Tughlakabad Railway Colony โดยผ่านสถานี Maa Anandmayee Marg ซึ่งเป็นพื้นที่เมืองที่มีประชากรหนาแน่น มีข้อจำกัดด้านโลจิสติกส์ และมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่หลากหลาย เช่น หิน กรวด ทราย ตะกอน และดินเหนียวการเจาะอุโมงค์ทั้งสองช่วงเสร็จสิ้นตามกำหนดในช่วงต้นเดือนมิถุนายน 2025



เครื่องเจาะอุโมงค์ของบริษัท Robbins เจาะทะลุถึงสถานี Tughlakabad Railway Colony ได้สำเร็จ ถือเป็นการเสร็จสิ้นสัญญา DC07 ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินเดลีอย่างสมบูรณ์ (ที่มา: www.robbinstbm.com/es/delhi-metro-2025/)

ที่มา:

Robbins TBMs break through at Delhi Metro DC-07 Project, www.robbinstbm.com/es/delhi-metro-2025/

3. อุโมงค์ Expressway ในเมืองฮิโรชิมา ประเทศญี่ปุ่น

เครื่องเจาะอุโมงค์แบบ slurry ของบริษัท Robbins ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.67 เมตร (44.8 ฟุต) ได้เจาะอุโมงค์ระยะทาง 1.4 กิโลเมตร (0.9 ไมล์) ในโครงการทางด่วนฮิโรชิมา สายที่ 5 เสร็จสมบูรณ์เมื่อวันที่ 30 เมษายน ถือเป็นครั้งแรกที่มีการใช้เครื่องเจาะอุโมงค์แบบ slurry ขนาดใหญ่ที่ผลิตโดยต่างประเทศในการเจาะหินแข็งในประเทศญี่ปุ่น เครื่องจักรขนาด 2,400 ตันนี้ถูกติดตั้งใต้พื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูงของฮิโรชิมา อุโมงค์นี้เชื่อมต่อใจกลางเมืองกับเครือข่ายทางหลวงแห่งชาติ และช่วยปรับปรุงการเข้าถึงสนามบินฮิโรชิมา โครงการนี้เผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ท้าทาย เช่น หินแกรนิตแข็งที่มีค่าความต้านแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงถึง 130 เมกะปาสกาล (19,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และแรงดันน้ำใต้ดินสูง เครื่องเจาะอุโมงค์ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อรับมือกับสภาพที่มีการสั่นสะเทือนสูง และถูกประกอบขึ้นในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งช่วยให้สามารถขนส่งเครื่องเป็นชิ้นส่วนและประกอบใหม่ในพื้นที่จำกัดภายในเวลา 8 เดือน และเพื่อจัดการความเสี่ยง ทีมงานได้ทำการเจาะแนววนรอบทุก ๆ 50 เมตรเพื่อตรวจสอบรอยร้าวของชั้นหิน และให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเมื่อเจาะผ่านพื้นที่อยู่อาศัย เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การสั่นสะเทือน เสียงรบกวน และการเคลื่อนตัวของดิน



เครื่องเจาะอุโมงค์แบบ Slurry ของบริษัท Robbins ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.67 เมตร (44.87 ฟุต) เจาะทะลุสำเร็จในฤดูใบไม้ผลิปี 2025 ถือเป็นการเสร็จสิ้นการขุดเจาะผ่านชั้นหินแกรนิตที่มีความท้าทายสูงและแรงดันน้ำใต้ดินสูง (ที่มา: www.robbinstbm.com/hiroshima-breakthrough/)

ที่มา:

Huge Robbins Slurry TBM breaks through in Hiroshima, www.robbinstbm.com/hiroshima-breakthrough/

Tunnel breakthrough advances Hiroshima Expressway project, www.constructionbriefing.com/news/tunnel-breakthrough-advances-hiroshima-expressway-project/8084131.article

The Boring Company



The Boring Company เป็นบริษัทด้านโครงสร้างพื้นฐานและการก่อสร้างอุโมงค์ของสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งโดย Elon Musk ในปี 2017 โดยมีเป้าหมายในการปฏิวัติระบบขนส่งในเมือง ด้วยการสร้างเครือข่ายอุโมงค์ความเร็วสูงใต้ดินที่เรียกว่า “Loops” บริษัทนี้ผลิตเครื่องเจาะอุโมงค์ด้วยตนเอง โดยออกแบบให้สามารถขุดอุโมงค์ได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบบเดิมโดยใช้เครื่องเจาะอุโมงค์รุ่น Prufrock โครงการหลักของบริษัทคือ Las Vegas Convention Center Loop ซึ่งเป็นระบบอุโมงค์ยาว 1.7 ไมล์ สำหรับขนส่งผู้โดยสารด้วยรถยนต์ Tesla เพื่อลดความแออัดบนพื้นผิวถนน

The Boring Company มีแผนขยายโครงการในลาสเวกัสและเมืองอื่น ๆ รวมถึงโครงการ Hyperloop ซึ่งเป็นระบบขนส่งความเร็วสูงพิเศษ อุโมงค์ของบริษัทถูกออกแบบมาเพื่อรองรับรถยนต์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่วิ่งด้วยความเร็วต่ำในปัจจุบัน โดยมีวิสัยทัศน์ในอนาคตที่จะสร้างเครือข่ายการเดินทางที่รวดเร็ว ปราศจากความแออัดใต้เมืองใหญ่ บริษัทมีอุโมงค์วิจัยและพัฒนาในหลายเมืองทั่วสหรัฐฯ สำนักงานใหญ่ของบริษัท The Boring Company ตั้งอยู่ที่เมือง Bastrop รัฐเท็กซัส

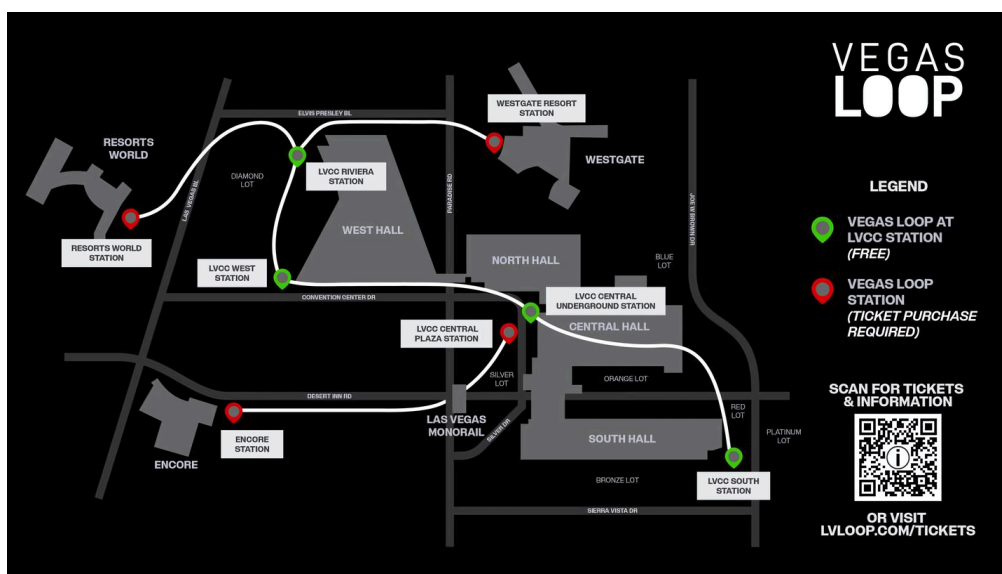
ที่มา:

Our Projects, www.boringcompany.com/projects

โครงการขนาดใหญ่ของ The Boring Company ในปี 2025 ได้แก่

1. Vegas Loop, Las Vegas Convention Center (LVCC) Loop และส่วนขยาย เป็นระบบอุโมงค์ใต้ดินที่เชื่อมต่อจุดหมายสำคัญ เช่น สนามบินและรีสอร์ทต่าง ๆ ในลาสเวกัส โครงการนี้ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการเดินทางและลดความแออัดในช่วงงานอีเวนต์ขนาดใหญ่ LVCC เป็นระบบขนส่งที่มี 3 สถานีและอุโมงค์ความยาว 1.7 ไมล์ ถูกสร้างขึ้นภายในระยะเวลาประมาณ 1 ปี ด้วยงบประมาณกว่า 47 ล้านดอลลาร์สหรัฐ การขุดอุโมงค์เกิดขึ้นระหว่างการจัดงานประชุมที่มีผู้เข้าร่วมมากกว่า 100,000 คน โดยไม่มีการปิดถนนหรือเกิดการรบกวนใด ๆ LVCC Loop เชื่อมต่อ อาคาร West Hall ของศูนย์ประชุมลาสเวกัส (LVCC) เข้ากับพื้นที่เดิมของศูนย์ประชุม (North/Central/South Halls) โดยลดระยะเวลาเดินทางข้ามพื้นที่จาก 45 นาทีเหลือเพียงประมาณ 2 นาที ระบบ LVCC Loop เปิดให้บริการครั้งแรกในเดือนเมษายน ปี 2021 สำหรับงานประชุมธุรกิจรายนด Mecum และได้ให้บริการในงานประชุมทุกงานหลังจากนั้น โดยแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับผู้โดยสารมากกว่า 4,500 คนต่อชั่วโมง และมากกว่า 32,000 คนต่อวัน ในปี 2024 ระบบ LVCC Loop ได้รับการขยายเป็น 2.1 ไมล์ และเพิ่มสถานีเป็น 5 แห่ง โดยมีการเพิ่มสถานี LVCC Riviera และสถานี LVCC Central Plaza

ในขณะที่ Vegas Loop ยังอยู่ในขั้นตอนการดำเนินงานในปี 2025 นี้ แต่เมื่อโครงการเสร็จสมบูรณ์ Vegas Loop จะสามารถรองรับผู้โดยสารได้สูงสุดถึง 90,000 คนต่อชั่วโมง โดยเชื่อมต่อสถานที่สำคัญต่าง ๆ เช่น สนามบินนานาชาติ Harry Reid สนามกีฬา Allegiant Stadium และใจกลางเมืองลาสเวกัส ด้วยเวลาเดินทางระหว่าง 2 ถึง 8 นาที ทำให้ Clark County และเมืองลาสเวกัส ได้อนุมัติการก่อสร้างอุโมงค์รวมระยะทาง 68 ไมล์ และสถานีทั้งหมด 104 แห่ง ซึ่งยืนยันว่า Vegas Loop จะเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานในอนาคตของเมือง

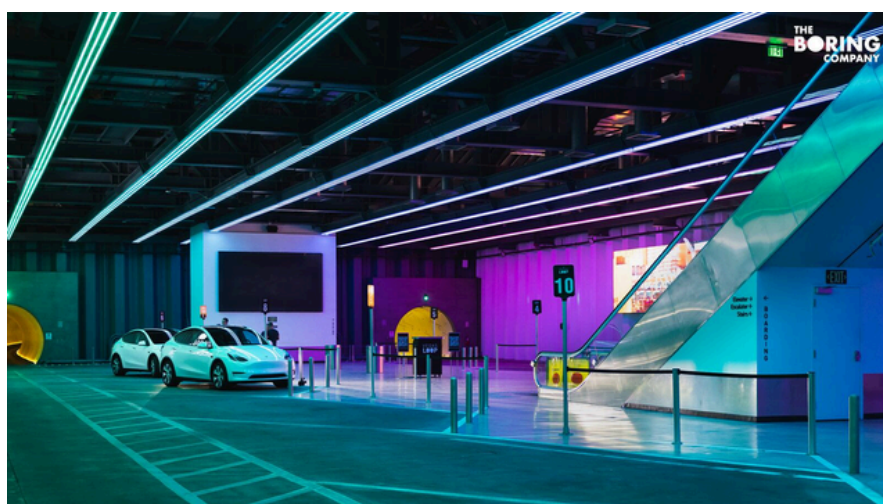
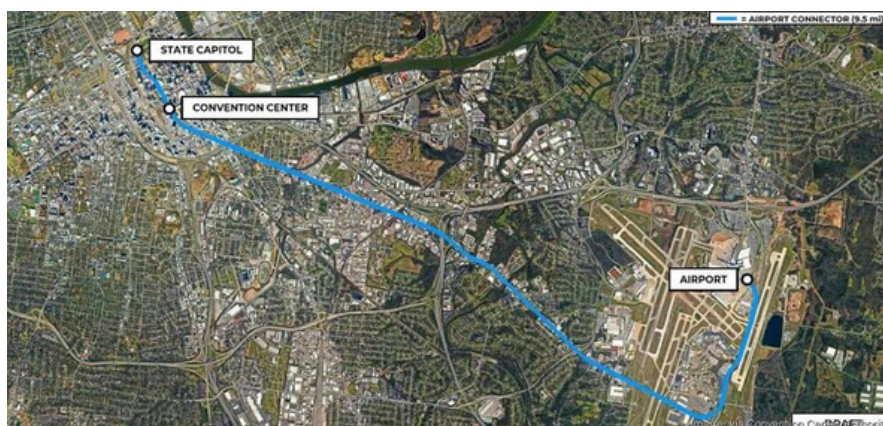


ที่มา:

Las Vegas Convention Center (LVCC) Loop, www.boringcompany.com/lvcc
Vegas Loop, www.boringcompany.com/vegas-loop

2. Music City Loop ในเมืองแนชวิลล์ รัฐเทนเนสซี

รัฐเทนเนสซีร่วมมือกับบริษัท The Boring Company เพื่อพัฒนาโครงการขนส่งเอกชนรูปแบบใหม่ ชื่อ Music City Loop ประกาศเมื่อเดือนกรกฎาคม 2025 ซึ่งเป็นระบบขนส่งใต้ดินความเร็วสูงโดยใช้รถยนต์ไฟฟ้าแบบปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ โดยมีแผนสร้างอุโมงค์ใต้ดินประมาณ 10 ไมล์ (16 กิโลเมตร) เชื่อมต่อสนามบินนานาชาติแนชวิลล์กับใจกลางเมืองโดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 8 นาที คาดว่าจะแล้วเสร็จในช่วงฤดูใบไม้ร่วงปี 2026 ด้วยมาตรฐานความปลอดภัย NFPA-130 (มาตรฐานด้านอัคคีภัยและชีวิตสำหรับระบบขนส่ง) โครงการนี้ได้รับทุนจากเอกชนทั้งหมดโดย The Boring Company และพันธมิตร จึงไม่มีการใช้เงินภาษี เป้าหมายของ Music City Loop คือการลดจำนวนรถยนต์บนถนนหลายพันคันต่อวัน ลดการจราจรติดขัดและมลพิษ ขยายอายุการใช้งานของถนนสาธารณะ สร้างงานให้กับประชาชนในพื้นที่ รองรับนักท่องเที่ยวจำนวนมากด้วยระบบขนส่งที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ สนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจและการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน โครงการนี้มีแนวโน้มขยายไปยังชุมชนอื่น ๆ และอาจเพิ่มสถานีมากกว่า 40 แห่งจากเส้นทางเริ่มต้น



ที่มา:

Nashville Selected by The Boring Company for Underground Loop Project, www.boringcompany.com/music-city-loop-initial-announcement

3. Dubai Loop

หน่วยงาน Roads and Transport Authority (RTA) ของดูไบและบริษัท The Boring Company ได้ลงนามในบันทึกความเข้าใจ (MoU) เพื่อเริ่มต้นโครงการนำระบบ Loop มาสู่ดูไบในชื่อ Dubai Loop โดยในพิธีลงนาม จัดขึ้นในงาน World Government Summit โดยมีบุคคลสำคัญเข้าร่วม ได้แก่ มกุฎราชกุมารแห่งดูไบ ตัวแทนจาก The Boring Company ตัวแทนจาก RTA และรัฐบาลดูไบ Dubai Loop เฟสแรกเป็นโครงการนำร่องระยะทาง 17 กิโลเมตร 11 สถานี โดยสามารถรองรับผู้โดยสารได้มากกว่า 20,000 คนต่อชั่วโมง จุดเด่นของระบบ Dubai Loop ได้แก่ การใช้ความเร็วสูงสุดได้ถึง 100 ไมล์ต่อชั่วโมง ทำให้การเดินทางระหว่างจุดสำคัญใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที การรองรับผู้โดยสารจำนวนมากในระบบขนส่งเมือง และการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในสภาพแวดล้อมควบคุมเพื่อลดการปล่อยมลพิษ โครงการนี้มีเป้าหมายระยะยาวคือการขยายระบบให้ครอบคลุมทั่วทั้งนครดูไบ รองรับผู้โดยสารได้มากกว่า 100,000 คนต่อชั่วโมง ใช้เทคโนโลยีที่ยั่งยืนและนวัตกรรมใหม่ในการขนส่งผู้โดยสารอย่างปลอดภัย อีกทั้งยังสนับสนุนเป้าหมายด้านพลังงานสะอาดของดูไบภายใต้ยุทธศาสตร์ Dubai Clean Energy Strategy 2050

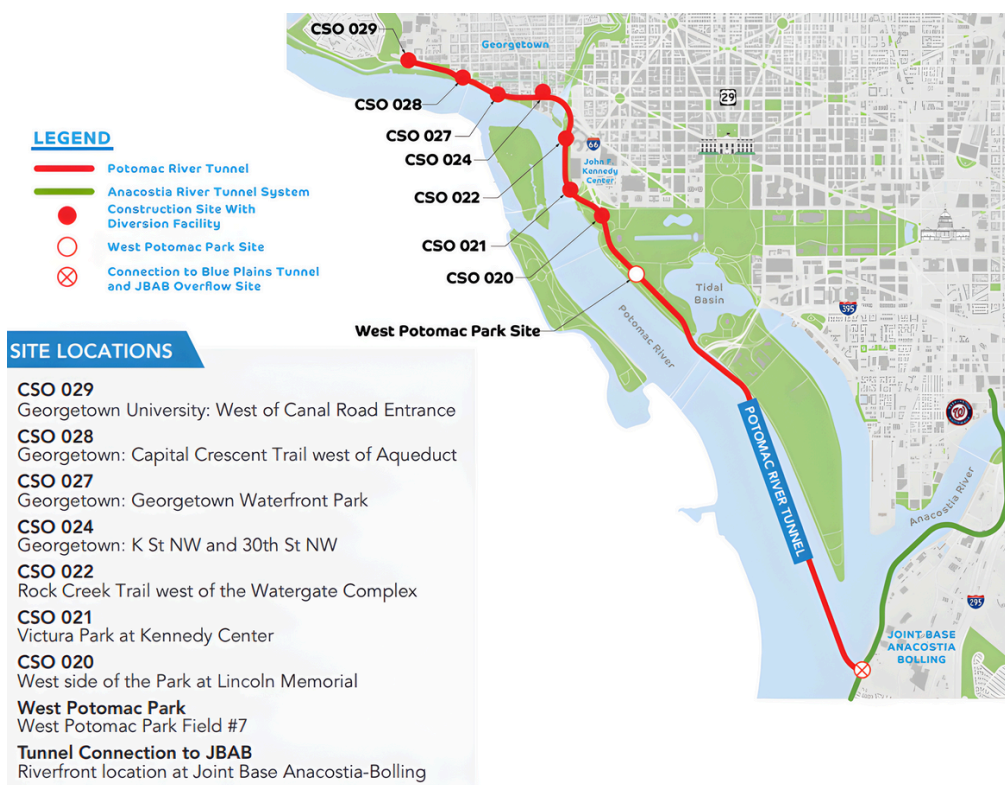


ที่มา:

The Boring Company Announces Dubai Loop, www.boringcompany.com/dubai

โครงการขนาดใหญ่ของบริษัทด้านการเจาะอุโมงค์อื่นๆ ของสหรัฐ ในปี 2025

โครงการอุโมงค์แม่น้ำโปโตแมค ในกรุงวอชิงตัน ดีซี บริษัท Drill Tech Drilling and Shoring, Inc. (สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ เมือง Antioch รัฐแคลิฟอร์เนีย) เป็นผู้รับเหมาหลัก เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ DC Water Clean Rivers Project ของบริษัท DC Water บริษัทสาธารณูปโภคที่ให้บริการน้ำประปาและการจัดการน้ำเสีย โดยมีกำหนดเริ่มการก่อสร้างในปี 2025 และคาดว่าจะแล้วเสร็จประมาณปี 2030 ระยะเวลาดังกล่าวสอดคล้องกับแผนระยะยาวของ DC Water ในการลดปัญหาการระบายน้ำเสียรวม (Combined Sewer Overflows – CSOs) ลงสู่แม่น้ำโปโตแมค โครงการนี้ประกอบด้วยอุโมงค์ความยาว 5.5 ไมล์ พร้อมโครงสร้างสนับสนุนอื่น ๆ โดยบริษัท Drill Tech มีบทบาทสำคัญในงานขุดปล่องอุโมงค์และโครงสร้างรองรับภายใน



แนวอุโมงค์ใต้ดินของโครงการ DC Water Clean Rivers Project ตามแนวแม่น้ำโปโตแมค
(ที่มา: www.gzconsultants.com/projects/potomac-river-tunnel/)

ที่มา:

DC Water's Potomac River Tunnel Project to begin controlled underground blasting, www.dcwater.com/about-dc-water/media/news/dc-waters-potomac-river-tunnel-project-begin-controlled-underground

โครงการอุโมงค์ Lower Meramec ในเมืองเซนต์หลุยส์ รัฐมิสซูรี เป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงการ Project Clear ภายใต้การดำเนินงานของ Metropolitan St. Louis Sewer District (MSD) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและลดปัญหาน้ำเสียล้นระบบ โดยบริษัท SAK Construction LLC ของสหรัฐฯ (สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ เมือง O'Fallon, รัฐมิสซูรี) ดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์ความยาว 6.8 ไมล์ ลึกจากผิวดินประมาณ 200 ถึง 286 ฟุต โดยเจาะผ่านชั้นหินปูนและหินดินดานด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ อุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ฟุตนี้จะใช้ลำเลียงน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสีย Fenton ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม ไปยังโรงบำบัดน้ำเสีย Lower Meramec ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ ใกล้จุดบรรจบของแม่น้ำ Meramec และแม่น้ำ Mississippi โครงการใช้งบประมาณ 175 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เริ่มก่อสร้างในปี 2020 และคาดว่าจะแล้วเสร็จภายในปี 2025 โครงการนี้ถือเป็นอุโมงค์ที่ยาวที่สุดในประวัติศาสตร์ของรัฐมิสซูรี และเป็นหมุดหมายสำคัญของการบริหารจัดการน้ำในภูมิภาค



เครื่องเจาะอุโมงค์ในโครงการ Lower meramec tunnel phase 2
(ที่มา: www.affholder.com/projects/lower-meramec-tunnel-phase-2)

ที่มา:

Lower Meramec Tunnel Phase 2, <https://msdprojectclear.org/projects/tunnels/lower-meramec-tunnel-phase-2/>

Southerly Tunnel and Integrated Systems และ Big Creek Storage Tunnel (BCT) ในเมืองคลีฟแลนด์ รัฐโอไฮโอ เป็นโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำเสียขนาดใหญ่ ดำเนินงานโดยบริษัท McNally Tunneling Corp. ซึ่งเป็นบริษัทในเครือของบริษัท McNally International Inc. ที่มีต้นกำเนิดในประเทศแคนาดาในชื่อ McNally Tunneling Corp. โดยบริษัท McNally International Inc. ดำเนินงานเจาะอุโมงค์ในสหรัฐฯ โดยเฉพาะ ซึ่งรวมถึงโครงการ Project Clean Lake ของ Northeast Ohio Regional Sewer District (NEORS) เป็นแผนบริหารจัดการน้ำเสียระยะยาว 25 ปีที่มุ่งแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำ โดยควบคุมการระบายน้ำเสียรวมทั้งที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำธรรมชาติหลายแห่ง มีเป้าหมายหลักเพื่อลดมลพิษที่ไหลลงสู่ทะเลสาบอีรี (Lake Erie) มากกว่า 280 ล้านแกลลอนต่อปี และช่วยบรรเทาปัญหาน้ำท่วม อุโมงค์ BCT จะเป็นอุโมงค์ขนาดใหญ่ลำดับที่ 7 จากทั้งหมด 7 แห่งโครงการ Project Clean Lake มีความยาว 22,440 ฟุต และเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ฟุต การออกแบบเริ่มต้นในปี 2024 โดยมีกำหนดเริ่มการก่อสร้างในไตรมาสที่ 3 ของปี 2029 และคาดว่าจะแล้วเสร็จในไตรมาสที่ 3 ของปี 2034 งบประมาณในการก่อสร้างอยู่ที่ประมาณ 215 ล้านดอลลาร์สหรัฐ



Big Creek Storage Tunnel

(ที่มา: www.neorsd.org/community/about-the-project-clean-lake-program/projects-big-creek-storage-tunnel-bct/)

ที่มา:

PROJECTS: Big Creek Storage Tunnel (BCT), www.neorsd.org/community/about-the-project-clean-lake-program/projects-big-creek-storage-tunnel-bct/

โครงการ Lower Olentangy Tunnel ใกล้เมืองโคลัมบัส รัฐโอไฮโอ มีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณน้ำเสียในระบบลงสู่แม่น้ำ Olentangy และปรับปรุงคุณภาพน้ำในภูมิภาค ดำเนินงานโดยบริษัท Granite Construction (สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ เมือง Watsonville รัฐแคลิฟอร์เนีย) ซึ่งเป็นบริษัทสัญชาติอเมริกันอีกบริษัทหนึ่ง โครงการนี้ใช้งบประมาณ 250 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ประกอบด้วยการขุดอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ฟุต ความยาวประมาณ 17,000 ฟุตโดยใช้เครื่องเจาะอุโมงค์แบบ Earth Pressure Balance (EPB) ของบริษัท Herrenknecht อุโมงค์นี้มีระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 50 ฟุต และเจาะผ่านชั้นดินหลากหลายประเภท เช่น ตะกอนธารน้ำแข็ง (glacial deposits) หินกรวด (cobbles) กรวด ตะกอนทรายละเอียด (silt) ดินเหนียว (clay) และ หินปูนคาสต์ (karstic limestone) โครงการเริ่มต้นในปี 2021 และคาดว่าจะแล้วเสร็จภายในช่วงปลายปี 2026 อุโมงค์นี้จะช่วยบรรเทาภาระของระบบท่อระบายน้ำหลักหลายสาย และลดการปล่อยน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดในช่วงที่เกิดฝนตกหนัก



Lower Olentangy Tunnel

(ที่มา: www.graniteconstruction.com/newsroom/progress-continues-250m-columbus-lot-project)

ที่มา:

Progress Continues On \$250M Columbus LOT Project, www.graniteconstruction.com/newsroom/progress-continues-250m-columbus-lot-project

โครงการขยายอุโมงค์สะพาน Hampton Roads (HRBT) ในรัฐเวอร์จิเนีย เป็นโครงการก่อสร้างทางหลวงที่ใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ของเวอร์จิเนีย ใช้งบประมาณ 3,900 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ดำเนินการโดยกลุ่มพันธมิตร Hampton Roads Connector Partners หนึ่งในนั้นประกอบด้วยบริษัท Flatiron-Dragados ซึ่งเป็น U.S.-based company ที่เกิดจากการควบรวมกิจการของสองบริษัทในอเมริกาเหนือ ได้แก่ Flatiron และ Dragados แต่บริษัทนี้มีผู้ถือหุ้นใหญ่เป็นบริษัทแม่จากยุโรปและมีสำนักงานใหญ่อยู่ ณ เมือง Broomfield รัฐโคโลราโด โครงการ HRBT มีเป้าหมายเพื่อขยายทางหลวง Interstate 64 ระยะทาง 9.9 ไมล์ จาก 4 ช่องจราจรเป็น 6 ช่องจราจรบนพื้นดิน และเพิ่มอุโมงค์คู่ได้นำสำหรับรถยนต์สองช่องทางในแต่ละทิศทาง เพื่อทดแทนอุโมงค์แบบจมใต้น้ำ (immersed tubes) ที่มีอยู่เดิม หัวใจของโครงการคือเครื่องเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่ชื่อว่า “Mary” ซึ่งเป็นหนึ่งในเครื่องเจาะอุโมงค์ที่ใหญ่ที่สุดในทวีปอเมริกาเหนือ ผลิตโดยบริษัท Herrenknecht ในประเทศเยอรมนีด้วยงบประมาณ 70 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เครื่อง Mary เริ่มการเจาะอุโมงค์แรกจากเกาะ South Island (ฝั่งเมือง Norfolk) ในเดือนเมษายน 2023 ผ่านชั้นดินลึกประมาณ 50 ฟุต ได้นำอุโมงค์เดิม กระบวนการเจาะจะสร้างอุโมงค์รูปวงกลมที่เสริมความแข็งแรงด้วยวงแหวนคอนกรีตกำลังสูงมากกว่า 1,190 วง อุโมงค์แรกจาก Norfolk ไปยัง Hampton เสร็จสมบูรณ์แล้ว และขณะนี้เครื่อง Mary กำลังอยู่ในตำแหน่งเพื่อเริ่มการเจาะอุโมงค์ที่สอง โดยคาดว่าจะแล้วเสร็จในเดือนกุมภาพันธ์ 2027 หลังจากเสร็จสิ้น เครื่อง Mary จะถูกถอดประกอบ และชิ้นส่วนบางส่วนจะถูกนำไปรีไซเคิลเพื่อใช้ในอนาคต ถือเป็นหมุดหมายสำคัญของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในรัฐเวอร์จิเนีย



The Hampton Roads Bridge-Tunnel project
(ที่มา: <https://virginiabusiness.com/hampton-roads-bridge-tunnel-expansion-2027/>)

ที่มา:

Hampton Roads Bridge and Tunnel, www.fdcorp.com/en/projects/tunneling/hampton-roads-bridge-and-tunnel
Tunnel Boring, <https://hrbtexpansion.vdot.virginia.gov/tunnel-boring/>



บริษัทอเมริกันอื่นๆ ที่ประกอบธุรกิจด้านการเจาะอุโมงค์ที่น่าสนใจ

- **JW Fowler Co.** สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในเมือง Dallas รัฐโอเรกอน เชี่ยวชาญในงานโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ ครอบคลุมการก่อสร้างอุโมงค์ ระบบน้ำ และโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำเสียมีประสบการณ์กว่า 50 ปี มีผลงานหลากหลายในรัฐแถบชายฝั่งตะวันตกของสหรัฐฯ เช่น โครงการ microtunnel และอุโมงค์ลึกที่ซับซ้อน เช่น โครงการ Santa Ana River Interceptor Mainline ที่เป็นโครงการเจาะอุโมงค์โค้งซับซ้อนครั้งแรกของสหรัฐฯ

ที่มา: www.jwfowler.com/about/

- **Bradshaw Construction Corp.** สำนักงานใหญ่อยู่ที่เมือง Eldersburg รัฐแมริแลนด์ ที่เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในงานก่อสร้างโครงการอุโมงค์ที่ซับซ้อนและท้าทายกว่า 60 ปี โดยใช้เทคนิคหลากหลาย เช่น microtunneling hand tunneling และการก่อสร้างปล่องอุโมงค์

ที่มา: www.bradshawcc.com/index.php

- **Super Excavators Inc.** สำนักงานใหญ่อยู่ที่เมือง Menomonee Falls รัฐวิสคอนซินเป็นบริษัทก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในสหรัฐที่มีประสบการณ์กว่า 70 ปี มีความชำนาญในการใช้เทคโนโลยีเจาะอุโมงค์ด้วยระบบควบคุมระยะไกล เช่น หุ่นยนต์เจาะอุโมงค์ microtunneling รวมถึงเครื่องมือและเทคนิคหลากหลาย ตั้งแต่การเจาะด้วยเครื่อง TBM ขนาดใหญ่ ไปจนถึง microtunneling สำหรับเส้นทางศูนย์กลางตั้งแต่ 24 ถึง 120 นิ้วในพื้นที่ที่มีสภาพดินซับซ้อน บริษัท Super Excavators ยังดำเนินโครงการเจาะอุโมงค์ที่มีความโค้งหรือแบบซับซ้อนซึ่งลดผลกระทบต่อชุมชนและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระยะยาว เช่น โครงการ Dugway West Interceptor Relief Sewer ในเมืองคลีฟแลนด์ รัฐโอไฮโอ โดยมีการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เช่น laser guidance, gyroscope และการตรวจสอบด้วยกล้อง เป็นต้น ช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างแม่นยำและปลอดภัย

ที่มา: <https://superexcavators.com/about/>

บริษัทอเมริกันด้านการตรวจสอบอุโมงค์

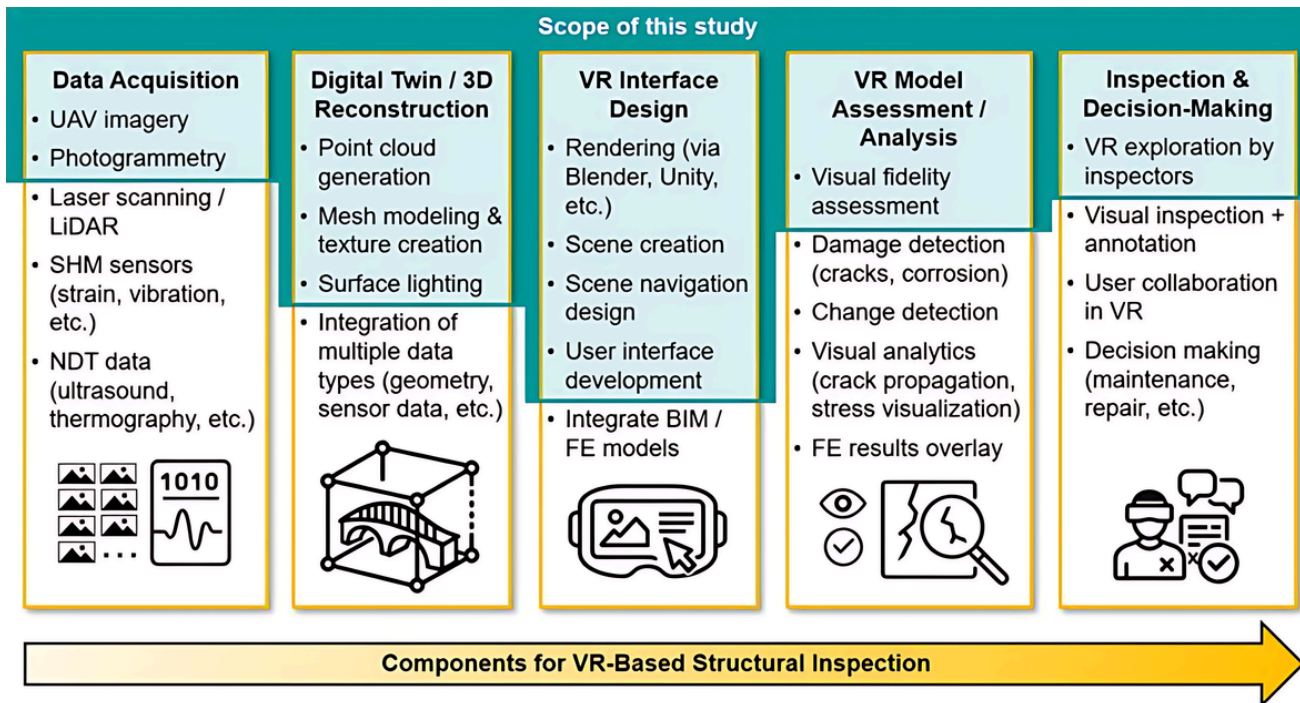
- บริษัท Anvil Labs สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่เมือง Miami รัฐฟลอริดา เป็นบริษัทเชี่ยวชาญด้านการให้บริการด้วยโดรนสำหรับการตรวจสอบติดตามวางแผน และ บริหารจัดการพื้นที่อุตสาหกรรม รวมถึงการตรวจสอบอุโมงค์โดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายสามมิติจากโดรน (drone photogrammetry) ร่วมกับ Virtual Reality (VR) ซึ่งกำลังกลายเป็นทางเลือกเทคโนโลยีสำหรับการตรวจสอบอุโมงค์ในปัจจุบัน ช่วยเพิ่มความปลอดภัย โดยลดความจำเป็นที่เจ้าหน้าที่ต้องเข้าไปในพื้นที่อันตรายหรือคับแคบ และยังช่วยลดเวลาและต้นทุนในการตรวจสอบ โดรนที่ติดตั้งเซนเซอร์ขั้นสูง เช่น LiDAR เป็นกล้องถ่ายภาพความร้อน และกล้องความละเอียดสูง สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่มีความแม่นยำในระดับเซนติเมตร แม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสัญญาณ GPS เช่น ภายในอุโมงค์ใต้ดินโดยใช้ระบบ Ultra-Wideband (UWB) เทคโนโลยี Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) ช่วยให้สามารถนำทางและทำแผนที่ได้อย่างแม่นยำระหว่างการตรวจสอบ AI และการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ช่วยให้สามารถตรวจพบและวิเคราะห์ความเสียหายของอุโมงค์ได้รวดเร็วขึ้น คาดการณ์ความล้มเหลว และตัดสินใจด้านการบำรุงรักษาโดยอัตโนมัติ และเมื่อผสมผสานกับเทคโนโลยี 5G และ edge computing โดรนสามารถส่งและประมวลผลข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านโครงสร้างได้ทันที โดยไม่ต้องพึ่งพาเซิร์ฟเวอร์ระยะไกล โดยบริษัท Anvil Labs ทำหน้าที่ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บมา เพื่อสร้างข้อมูลเชิงลึกที่นำไปใช้ได้จริง รวมถึงแบบจำลองดิจิทัล (digital twins) ที่ช่วยให้สามารถบำรุงรักษาเชิงรุกและตัดสินใจแบบเรียลไทม์ได้



ที่มา:

Drone-Based Tunnel Monitoring: Feasibility Guide, <https://anvil.so/post/drone-based-tunnel-monitoring-feasibility-guide>

งานวิจัยด้าน Drone-based photogrammetry และ VR

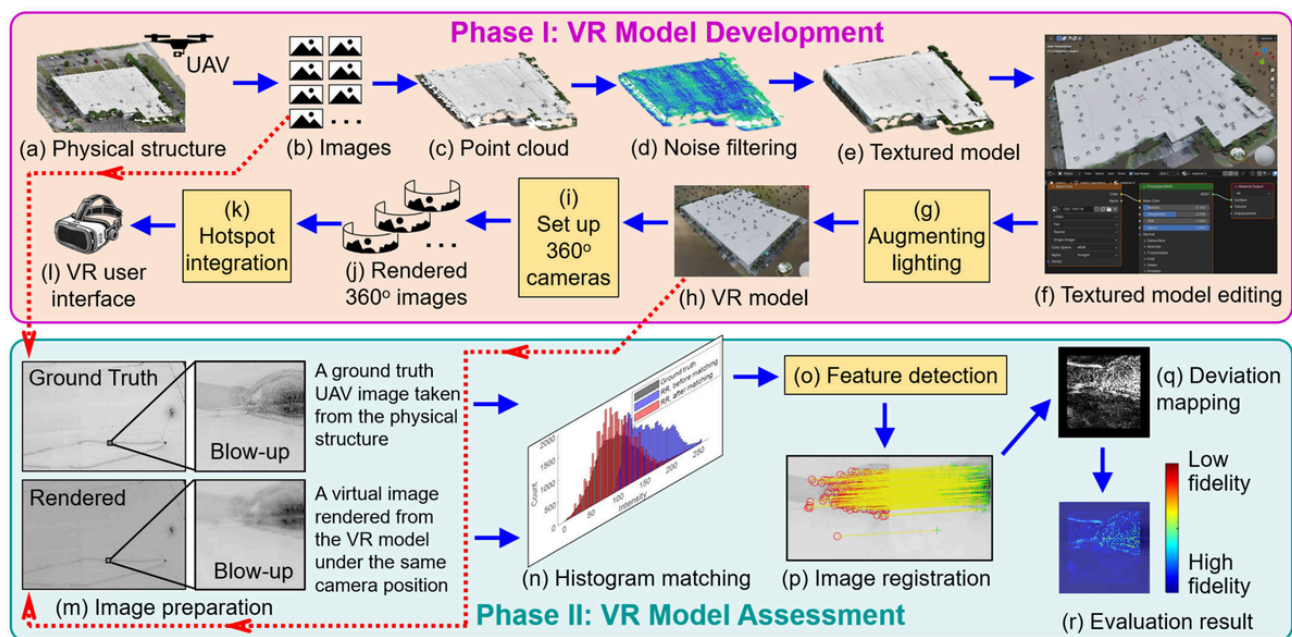


องค์ประกอบของขั้นตอนการทำงานในการตรวจสอบโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธาด้วยเทคโนโลยี VR
(VR-based structural inspection)
(ที่มา: www.mdpi.com/1424-8220/25/14/4296)

โครงสร้างทางวิศวกรรมโยธาต้องรองรับน้ำหนักใช้งานจำนวนมากเป็นระยะเวลานาน และมีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพจากปัจจัยธรรมชาติต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้ว การตรวจสอบโครงสร้างเหล่านี้จะดำเนินการในสถานที่จริงโดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูง เสี่ยง ใช้เวลานาน และมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดงาน วิจัยด้านการผสมผสานเทคโนโลยี photogrammetry เข้ากับ VR ที่สามารถสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนที่สมจริงสำหรับการประเมินจากระยะไกลจึงสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าว ทำให้วิศวกรสามารถตรวจสอบอุโมงค์ วิเคราะห์สภาพโครงสร้างบันทึกตำแหน่งความเสียหาย และติดตามการเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร Tunnelling and Underground Space Technology เมื่อเดือนกันยายน 2025 โดยนักวิจัยด้วยวิศวกรรมโยธาจาก Universidade de São Paulo ประเทศบราซิลได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการตรวจสอบอุโมงค์ โดยเน้นประสิทธิภาพของการตรวจสอบผ่านเทคโนโลยี VR ที่ใช้แบบจำลองภาพถ่ายสามมิติจากโดรน (drone-based photogrammetry) เทียบกับวิธีการตรวจสอบด้วยสายตาแบบดั้งเดิม (Traditional Visual Inspection – TVI)

จากการทดลองดำเนินในอุโมงค์ถนนคอนกรีตที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ความยาว 750 เมตร ในเมืองเซาเปาโล ประเทศบราซิล โดยนักวิจัยได้ติดตั้งตัวชี้วัดจำนวน 139 จุดภายในอุโมงค์ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินและนำแบบจำลองภาพถ่ายมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเลเซอร์ 3 มิติจากระบบ Sacannig Terrestrial Laser หรือ Terrestrial Laser Scanning (TLS) เพื่อประเมินคุณภาพเชิงเรขาคณิตพบว่า TVI มีความแม่นยำเพียง 18% และความถูกต้อง 63% ซึ่งสะท้อนถึงความคลาดเคลื่อนและความไม่สม่ำเสมอในการตรวจสอบด้วยสายตา ขณะที่วิธี VR มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเป็น 73% และความถูกต้องถึง 98% พร้อมลดอัตราการตรวจพบผิดพลาดจาก 32% เหลือเพียง 1% นอกจากนี้การตรวจสอบด้วยโดรนใช้เวลาเพียง ประมาณ 35 นาที ซึ่งลดเวลาการตรวจสอบลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ 2 ชั่วโมง ที่ใช้ใน TVI แบบดั้งเดิมนอกจากนี้ วิธี photogrammetry ยังมีข้อได้เปรียบเหนือ TLS ในด้านการลดปัญหาการบดบัง (occlusion) และความสมจริงในการแสดงผล แม้ว่า TLS จะยังคงมีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผลข้อมูลและความแม่นยำ

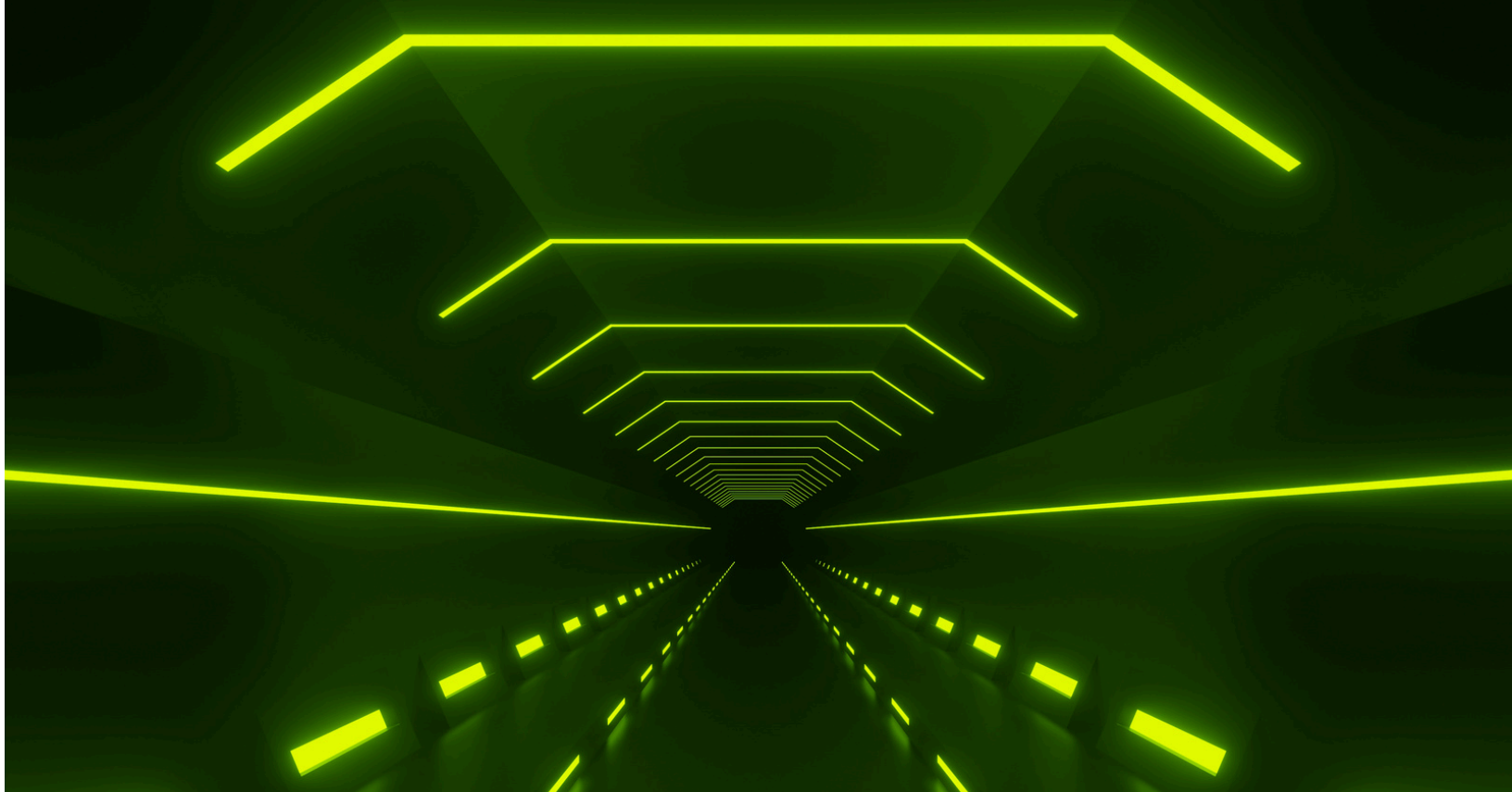


ภาพรวมวิธีการวิจัย: ระยะที่ 1 — การพัฒนาแบบจำลอง VR และระยะที่ 2 — การประเมินแบบจำลอง VR
(ที่มา: www.mdpi.com/1424-8220/25/14/4296)

ที่มา:

Drone-based photogrammetry and virtual reality: technological alternatives for tunnel inspection,
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779825007321

From Photogrammetry to Virtual Reality: A Framework for Assessing Visual Fidelity in Structural Inspections,
www.mdpi.com/1424-8220/25/14/4296



เทคโนโลยีด้านการสร้างอุโมงค์ในปี 2025

- เครื่องเจาะอุโมงค์แบบความหนาแน่นแปรผัน (Variable Density TBMs) ที่สามารถสลับการทำงานระหว่าง โหมดสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance) และโหมดสารละลาย (Slurry Mode) เพื่อรับมือกับ สภาพพื้นดินที่หลากหลาย
- ระบบการเจาะแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous tunneling systems) สามารถติดตั้งส่วนประกอบของ อุโมงค์โดยไม่ต้องหยุดการขุดอย่างสมบูรณ์ เพิ่มอัตราการขุดให้เร็วขึ้น
- ระบบช่วยผู้ควบคุมอัจฉริยะ (Smart operator-assist systems) ที่ให้การบังคับเลี้ยวแบบปรับตัวได้ การ หล่อลื่นอัตโนมัติ และการนำทางแบบเรียลไทม์
- การจัดการส่วนประกอบอุโมงค์แบบอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ (Automated segment handling) ทำหน้าที่ขน ถ้าย ตรวจสอบ และประกอบวงแหวน เพื่อความปลอดภัยและความรวดเร็ว
- ระบบติดตั้งบริการภายในอุโมงค์ด้วยหุ่นยนต์ที่ทำงานโดยอัตโนมัติ (Robotic fit-out systems) ลดการใช้ แรงงานคนในพื้นที่แคบ
- การตรวจสอบธรณีเทคนิคด้วย IoT (IoT-based geotechnical monitoring) โดยใช้เซ็นเซอร์ไร้สายและ ไฟเบอร์ออปติก เพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับพฤติกรรมของพื้นดินและโครงสร้างผนังอุโมงค์

- ระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ (Adaptive feedback controls) ช่วยให้ TBM ปรับพารามิเตอร์การขุดโดยอัตโนมัติตามข้อมูลจากเซ็นเซอร์
- แบบจำลองดิจิทัลเชิงปฏิบัติการ (Operational Digital Twins) โมเดล 3 มิติแบบเรียลไทม์ ผสานข้อมูลจาก TBM และสภาพธรณีเพื่อการจำลองล่วงหน้าและการบริหารสินทรัพย์
- การวิเคราะห์ด้วย AI (AI-enhanced analytics) เพื่อคาดการณ์อัตราการขุด การสึกหรอของหัวตัด และความผิดปกติของพื้นดิน
- ข้อมูลแบบบูรณาการ (Integrated data environments) ที่รวมข้อมูลจาก TBM การตรวจสอบ และระบบ BIM เพื่อการตัดสินใจที่รวดเร็วและขับเคลื่อนด้วยข้อมูล



Automated Tunnel Robotic Installation System (ATRIS)

(ที่มา: www.thecivilengineer.org/news/ai-enabled-tunnel-installations-ensuring-safety-and-efficiency-with-data-is)

ที่มา:

Autonomous Tunnel Boring Machines: Artificial Intelligence Progress of 2025, www.saalg.com/post/autonomous-tunnel-boring-machines-artificial-intelligence-progress-of-2025

