กระทรวงคมนาคม
สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)
Rail Technology Research and Development Agency (Public Organization)

High Speed Rail

# สทร. HSR-CT-3001:2568
# (ร่าง) มาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

- กลุ่มวิจัยและมาตรฐาน
- ทีมมาตรฐาน

# สารบัญ

# สารบัญรูป

# สารบัญตาราง

**สทร. HSR-CT-3001:2568**

**(ร่าง) มาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง**

**(Draft) Standard for Drilling and Blasting Works in Tunnel Construction of the High-Speed Railway Project**

## 1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับควบคุมการก่อสร้างงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง ทั้งนี้ สำหรับระบบขนส่งทางรางอื่น ๆ เช่น รถไฟฟ้าระหว่างเมือง สามารถนำมาตรฐานฉบับนี้ไปปรับใช้ได้ตามความเหมาะสม

1.2 มาตรฐานเล่มนี้สามารถนำมาใช้ควบคุมการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ให้เกิดการใช้ข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน การเสริมสร้างการบริหารงานก่อสร้าง และการควบคุมคุณภาพการก่อสร้าง

1.3 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมถึงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วย การเจาะและระเบิด การใช้วิธีทางกลหรือทางเคมีโดยไม่ใช้การเจาะและระเบิด สำหรับการก่อสร้าง (non-blast)

1.4 มาตรฐานฉบับนี้ไม่ครอบคลุมถึงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วย เครื่องเจาะอุโมงค์ (tunnel boring machine : TBM)

1.5 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมในการควบคุมงานเจาะและงานระเบิดสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง ในส่วนของเครื่องจักรในการก่อสร้าง วิธีการก่อสร้าง การดำเนินการก่อสร้าง และการจัดการเศษวัสดุจากการก่อสร้าง

1.6 มาตรฐานอ้างถึงที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้ ถือเป็นข้อกำหนดที่ใช้ในการก่อสร้างและทดสอบสำหรับวัสดุและอุปกรณ์ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้มาตรฐานอื่นเพิ่มเติม ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ

1.7 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วยตามระบบเอสไอ (SI units) เป็นหลัก

1.8 การปฏิบัติมาตรฐานฉบับนี้ให้เป็นไปตามแบบแปลน ข้อกำหนดในรายการประกอบแบบเฉพาะงานสัญญาผู้ว่าจ้าง หากเอกสารดังกล่าวไม่ได้ระบุในเรื่องใดไว้ก็สามารถใช้มาตรฐานฉบับนี้อ้างอิงได้

1.9 มาตรฐานฉบับนี้มีการจำแนกมวลหินตามโครงการความร่วมมือระหว่างรัฐบาลแห่งราชอาณาจักรไทยและรัฐบาลแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีนในการพัฒนาระบบ รถไฟความเร็วสูง เพื่อเชื่อมโยงภูมิภาคช่วงกรุงเทพมหานคร - หนองคาย ระยะที่ 1 ช่วงกรุงเทพมหานคร – นครราชสีมา

## 2. มาตรฐานอ้างถึง

มาตรฐานฉบับนี้อ้างอิงมาตรฐานและเอกสารทางวิศวกรรมทั้งในระดับสากลและระดับชาติ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบ การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุสำหรับงานเจาะและระเบิด สำหรับโครงสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สทร. HSR-CT-1001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานสำรวจวิศวกรรมในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

2.2 สทร. HSR-CT-5001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานค้ำยันในการก่อสร้างสำหรับอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง

2.3 สทร. HSR-CT-4012:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานตรวจวัดและติดตามในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

2.4 สทร. HSR-CT-1002:2568 (ร่าง) มาตรฐานการป้องกันน้ำและงานระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

2.5 BS 5607 Code of practice for the safe use of explosives in the construction industry

2.6 BS 6164 Health and safety in tunnelling in the construction industry – Code of practice

2.7 GB 6722 Safety regulations for blasting

2.8 GB/T 50218 Standard for Engineering Classification of Rock Mass

2.9 Q/CR 9219 Guide for emergency rescue of railway tunnel construction

2.10 Q/CR 9604 Technical specification for construction of high-speed railway tunnel engineering

2.11 TB10120 Technical Code for Railway Tunnel with Gas

## 3. นิยามความหมาย

3.1 นิยาม

**“เกราต์” (grout)** หมายถึง การฉีดอัดด้วยสารเกราต์ เช่น น้ำซีเมนต์ผสม เข้าเต็มช่องว่าง ประโยชน์ของการฉีดอัดวัสดุเหล่านี้มีอเนกประการ ได้แก่ 1. สำหรับงานปรับปรุงดิน อาจใช้น้ำซีเมนต์เหลวอย่างเดียว หรือผสมทรายหรือเถ้าลอยก็ได้ 2. ใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่ร้าว มักใช้วิธีฉีดอัดด้วยเรซินอิพ็อกซี (epoxy resin) หรือเรซินพอลิเอสเทอร์ (polyester resin) แต่ทั้งนี้ต้องแก้ไขที่สาเหตุให้เรียบร้อยเสียก่อน 3. ใช้เกราต์รอยร้าวธรรมชาติในหิน 4. ใช้ในกรณีอื่น ๆ

**“การเกราต์ด้วยความดันสูง” (jet grouting)** หมายถึง การฉีดอัดน้ำซีเมนต์ผสมด้วยความดันสูงมากกว่า 200 บาร์ เพื่อทำให้ดินเกิดการผสมกับน้ำซีเมนต์ผสม ได้เป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ หากก่อสร้างต่อเนื่องกันจะได้เป็นผนังดินซีเมนต์

**“การขุดเกินขอบเขต” (overbreak)** หมายถึง การที่วัสดุจากชั้นดินหรือหินถูกขุดออกมาเกินกว่าระยะที่กำหนด

**“การขุดเล็กกว่าขอบเขต” (underbreak)** หมายถึง การที่วัสดุจากชั้นดินหรือหินถูกขุดออกมาน้อยกว่าระยะที่กำหนด

**“การขุดหลุมฐานราก” (foundation pit excavation)** หมายถึง กระบวนการขุดหลุมหรือพื้นที่ที่เตรียมสำหรับการก่อสร้างฐานรากโครงสร้าง

**“การค้ำยันและการรองรับความลาดงานขุดด้านข้าง” (bracing and side slope support)** หมายถึง การใช้โครงสร้างในการเสริมความแข็งแรงและ การรองรับความลาดเอียงของผนังอุโมงค์ระหว่างการขุดอุโมงค์เพื่อป้องกันการทรุดตัวของดินหรือหินระหว่างการขุด

**“การเคลียร์หินหลวมหลังระเบิด” (scaling)** หมายถึง การใช้เครื่องมือในการสกัดหินบริเวณผนังอุโมงค์หลังจากการระเบิดเพื่อให้หินที่หลวมหลุดลงมาและผนังอุโมงค์มีขนาดตามที่ออกแบบไว้

**“การระเบิดแบบหน้าเรียบ” (smooth blasting)** หมายถึง เทคนิคการเจาะระเบิดที่ใช้ควบคุมแนวการแตกหักของหินหรือดินให้เรียบและตรงตามแนวผิวหน้าตัดที่ออกแบบไว้

**“การรักษาแนวอุโมงค์เดิม” (trace conservation)** หมายถึง การรักษาแนวเส้นทางในการขุดอุโมงค์

**“กำแพงดินผสมซีเมนต์” (cement-soil wall)** หมายถึง กำแพงที่สร้างจากการผสมดินกับซีเมนต์เพื่อเสริมความแข็งแรงและความมั่นคงของพื้นดินในพื้นที่ก่อสร้าง

**“คอนกรีตพ่น” (shotcrete)** หมายถึง คอนกรีตที่ใช้งานโดยการพ่นด้วยเครื่องอัดลมความดันสูงไปยังแบบหล่อ หรือผนัง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่นและมีกำลังสูง มักใช้ซ่อมแซมโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น แผ่นพื้น ผนังภายในท่อขนาด ใหญ่หรืออุโมงค์ สิ่งก่อสร้างที่มีรูปร่างยากต่อการเทคอนกรีต

**“เครื่องเจาะหินแบบจัมโบ” (drill jumbo หรือ hydraulic rock drilling jumbo)** หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะรูระเบิดสำหรับขุดอุโมงค์ โดยมีการติดตั้งหัวเจาะหลายหัวพร้อมกัน

**“เครื่องพ่นคอนกรีต” (shotcrete machine)** หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ในการพ่นคอนกรีตด้วยหัวพ่นไปยังพื้นผิวที่ต้องการ

**“โครงสร้างชั่วคราว” (falsework)** หมายถึง โครงสร้างชั่วคราวที่ใช้รองรับแบบหล่อของโครงสร้างดาดผนังอุโมงค์

**“เซกเมนต์” (segment)** หมายถึง แผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ หรือ เหล็กโค้งเป็นชิ้น ๆ โดยยึดแต่ละแผ่นด้วยสลักเกลียว

**"ที่ปรึกษา" (consultant)** หมายถึง ผู้ให้บริการเชิงวิชาชีพหรือวิชาการ เช่น ที่ปรึกษางานวิศวกรรม (engineering consultant) ที่ปรึกษาการออกแบบ (design consultant) ที่ปรึกษาการควบคุมงานก่อสร้าง (construction supervision consultant)

**“ปล่องอุโมงค์” (shaft)** หมายถึง ปล่องกลวงในแนวดิ่งที่ต่อเชื่อมจาก ผิวดินไปยังพื้นที่ปฏิบัติงานซึ่งอยู่ใต้ดิน

**“การปิดปากรู” (stemming)** หมายถึง การใช้เศษดินเศษหินหรือวัสดุปลั๊กปิดรู ที่ทำขึ้นมาโดยเฉพาะ เพื่อปิดปากรูเจาะระเบิด เพื่ออัดให้วัตถุระเบิดอยู่ในทีจำกัด บางครั้งบางกรณีก็อยู่ในรูคั่นวัตถุระเบิดแบบหลายชั้น

**“ผู้รับจ้าง” (contractor)** หมายถึง ผู้ประกอบการก่อสร้าง หรือผู้รับเหมาตามสัญญาจ้าง

**“ผู้ออกแบบ” (designer)** หมายถึง ผู้รับผิดชอบออกแบบหรือคำนวณออกแบบ ซึ่งต้องรับประกันความถูกต้องด้วย

**“รถตัก” (loader)** หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ในงานขุดดินและเคลื่อนย้ายวัสดุ

**“รูตัด” (cut hole)** หมายถึง รูที่ถูกเจาะหรือขุดขึ้นในวัสดุเพื่อทำการสร้างเป็นพื้นที่ว่าง (free face) สำหรับเทคนิคการเจาะและระเบิด

**“รูระเบิดรอบนอก” (perimeter holes)** หมายถึง รูเจาะที่จัดวางตามแนวขอบของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อ ควบคุมแนวการแตกของวัสดุ ให้เป็นไปตามรูปร่างและขนาดที่ต้องการ ลดการแตกร้าวเกินแนว (overbreak)

**“วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด” (full face method)** หมายถึง วิธีการขุดอุโมงค์ที่ทำการขุดเต็มหน้าตัดอุโมงค์ในคราวเดียว

**“วิธีขุดแบบขั้นบันได” (bench cut method)** หมายถึง วิธีการขุดอุโมงค์แบบแบ่งส่วน โดยจะทำการขุดในส่วนบนของหน้าตัดอุโมงค์ออกก่อนแล้วทำการขุดส่วนล่างตามในภายหลัง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของอุโมงค์ระหว่างการขุด

**“วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว” (central diaphragm method)** หมายถึง วิธีการขุดอุโมงค์แบบแบ่งส่วนโดยมีโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวบริเวณส่วนกลางของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของอุโมงค์ระหว่างการขุด

**“วิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้าง” (double side heading method)** หมายถึง วิธีการขุดอุโมงค์แบบแบ่งส่วนที่มีการขุดในส่วนของด้านข้างอุโมงค์ โดยเหลือส่วนตรงกลางของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์สำหรับเป็นเสาค้ำยันผนังอุโมงค์

**“วิศวกรสนาม” (site engineer)** หมายถึง วิศวกรที่อยู่ประจำหน้างาน มีหน้าที่รับผิดชอบงานด้านวิศวกรรมของโครงการตามที่ได้รับมอบหมาย

**“วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่” (mining engineer)** หมายถึง วิศวกรเหมืองแร่ ที่ได้รับใบอนุญาตจากสภาวิศวกรที่ปฏิบัติงานให้กับสถานประกอบการและหน่วยงาน

**“ผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์” (excavation face)** หมายถึง พื้นผิวของหน้าตัดชั้นดินหรือชั้นหินบริเวณพื้นที่ที่มีการขุดอุโมงค์

**“สลักยึดหิน” (rock bolt)** หมายถึง สลักเกลียวขยายตัวหรือท่อนเหล็กที่ฝังในรูที่เจาะเข้าไปในเนื้อหินเพื่อใช้เป็นสมอยึด หากเป็นท่อนเหล็กหลังจากฝังต้องเกราต์ที่ส่วนปลายท่อนเหล็กด้วย

**“เหล็กฝังยึดหิน” (rock anchor)** หมายถึง เหล็กกำลังดึงสูงหรือเคเบิลที่ฝังในรูที่เจาะลึกเข้าไปในเนื้อหินแล้วเกราต์

**“เหล็กเสริมกระจาย” (distribution bar)** หมายถึง เหล็กเสริมรองที่จัดวางเรียงเฉลี่ยเท่า ๆ กันและตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อยึดเหล็กเสริมหลักให้อยู่กับที่ขณะเทคอนกรีตและกระจายรับน้ำหนักบรรทุกเป็นจุดให้แผ่ลงบนพื้นที่กว้างขึ้น ในขณะเดียวกันใช้รับแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้วย

**“ฐานอุโมงค์” (invert)** หมายถึง ตำแหน่งต่ำสุดภายในของ ท่อระบายน้ำอุโมงค์ เป็นต้น แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น 1.ฐานอุโมงค์ในส่วนของระดับคอนกรีตหยาบ 2.ฐานอุโมงค์ในส่วนของโครงสร้างดาดผนังอุโมงค์ 3.ฐานอุโมงค์ในส่วนของฐานรางรถไฟ

3.2 สัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| *BQ* | = ค่าดัชนีคุณภาพเบื้องต้นของมวลหิน |
| *Ja* | = ค่าการผุพังของรอยแตก |
| *Jn* | = จำนวนชุดรอยแตก |
| Jr | = ค่าความขรุขระของรอยแตก |
| *Jw* | = ปัจจัยลดค่าเนื่องจากน้ำในรอยแตก |
| $J_v$ | = ปริมาตรรอยต่อของหิน |
| $K_v$ | = ค่าดัชนีความสมบูรณ์ของหิน |
| $R_c$ | = ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินเ |
| *SRF* | = ตัวคูณลดกำลัง |
| $V_p$ | = ความเร็วคลื่นยืดหยุ่นตามยาวของหินโดยรอบ |

## 4. การจำแนกมวลหินสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

ในการจำแนกชนิดหินสำหรับการออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูงในประเทศไทยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบ เช่น หน้าตัดอุโมงค์และโครงสร้างค้ำยัน เป็นต้น โดยต้องผ่านการตรวจสอบและอนุมัติจากผู้ออกแบบและที่ปรึกษาโครงการ

4.1 ข้อกำหนดทั่วไปการจำแนกมวลหินสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

4.1.1 การจำแนกมวลหินเป็นวิธีการจำแนกเพื่อใช้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบขนาดหน้าตัดอุโมงค์และโครงสร้างค้ำยัน โดยวิธีในการจำแนกมวลหินต้องได้รับการตรวจสอบและอนุมัติจากผู้ออกแบบและที่ปรึกษา

4.1.2 การจำแนกมวลหินในมาตรฐานฉบับนี้เป็นเพียงการนำเสนอการจำแนกมวลหินเบื้องต้น หากมีความจำเป็นในการใช้การจำแนกหินนอกเหนือจากเล่มมาตรฐานนี้ต้องได้รับการตรวจสอบและอนุมัติจากผู้ออกแบบ และที่ปรึกษา เพื่อให้มีความเหมาะสมในการก่อสร้างสำหรับชนิดหินในแต่ละพื้นที่ก่อสร้าง

4.1.3 การจำแนกมวลหินต้องประเมินจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของตัวอย่างหินที่ได้จากการเจาะหลุมสำรวจก่อนการก่อสร้าง

4.1.4 เมื่อทำการจำแนกมวลหินแล้วเสร็จต้องนำข้อมูลไปวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้วยวิธี Kinematic Analysis และวิเคราะห์การออกแบบระบบค้ำยันด้วยวิธี Convergence Confinement จากนั้นต้องทำการตรวจสอบซ้ำด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนการนำมาใช้ในการก่อสร้าง

4.1.5 ข้อกำหนดในการติดตั้งค้ำยันถูกอธิบายเพิ่มเติมในเล่มมาตรฐานงานค้ำยัน (support) สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

4.1.6 การจำแนกหินนอกเหนือจากการจำแนกมวลหินตามระบบ Basic Quality สามารถอ้างอิงรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ค. เรื่อง การจำแนกมวลหินสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

4.2 การจำแนกมวลหินด้วยระบบ Basic Quality (BQ)

4.2.1 องค์ประกอบการจำแนกเกรดและวิธีการจำแนกควรสอดคล้องกับข้อกำหนดดังนี้

4.2.1.1 การจำแนกเกรดหินเบื้องต้นควรจำแนกโดย 2 องค์ประกอบทั้งระดับความแข็งของหิน และระดับความสมบูรณ์ของมวลหิน

4.2.1.2 ระดับความแข็งของหินและระดับความสมบูรณ์ของมวลหินควรใช้วิธีการจำแนกเชิงคุณภาพและตัวชี้วัดเชิงปริมาณทั้งสองวิธีการ รวมกันจำแนก

4.2.2 ระดับความแข็งของหินสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 1 โดยประเภทของหินสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 2 และระดับความผุกร่อนของหิน สามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 3

**ตารางที่ 1 การแบ่งระดับความแข็งของหิน (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ประเภทหิน | | Uniaxial saturated compressive strength (MPa) | การประเมินเชิงคุณภาพ | ตัวแทนของหิน |
|---|---|---|---|---|
| หินแข็ง | หินแข็งมาก | $R_c > 60$ | เสียงเคาะกังวาน สะท้อนกลับ สะเทือนมือ เคาะแตกยาก | หินประเภท A ที่ไม่ผุกร่อน – ผุกร่อนเล็กน้อย |
| | หินแข็ง | $30 < R_c \leq 60$ | เสียงเคาะค่อนข้างกังวาน สะท้อนกลับเล็กน้อย สะเทือนมือเล็กน้อย ค่อนข้างเคาะแตกยาก โดยส่วนใหญ่ ไม่เกิดปฏิกิริยาดูดซับน้ำหลังแช่น้ำ | หินประเภท A ที่ผุกร่อนเล็กน้อย,หินประเภท B, C ที่ไม่ผุกร่อน - ผุกร่อนเล็กน้อย |
| หินอ่อน | หินค่อนข้างอ่อน | $15 < R_c \leq 30$ | เสียงเคาะไม่กังวาน ไม่สะท้อนกลับ เคาะแตกค่อนข้างง่าย ใช้เล็บขูดเป็น รอยได้หลังแช่น้ำ | หินประเภท A ที่ผุกร่อนอย่างมาก; หินประเภท B, C ที่ผุกร่อนปานกลาง; หินประเภท D ที่ไม่ผุกร่อน - ผุกร่อนเล็กน้อย |
| | หินอ่อน | $5 < R_c \leq 15$ | เสียงเคาะทึบ ไม่สะท้อนกลับ มีรอย บุบ เคาะแตกง่าย สามารถใช้มือหัก ออกได้หลังแช่น้ำ | หินประเภท A ที่ผุกร่อนอย่างมาก, หินประเภท B, C ที่ผุกร่อนปานกลาง; หินประเภท D ที่ผุกร่อนปานกลาง หินประเภท E ที่ไม่ผุกร่อน - ผุกร่อนเล็กน้อย |
| | หินอ่อนมาก | $R_c \leq 5$ | เสียงเคาะทึบ ไม่สะท้อนกลับ มีรอย บุบค่อนข้างลึก สามารถใช้มือบีบ แตก สามารถใช้มือปั้นเป็นก้อนหลัง แช่น้ำ | หินที่ผุกร่อนทั้งหมดทุกชนิดและหินที่กระบวนการก่อตัวใหม่ไม่ดี |

**ตารางที่ 2 การแบ่งประเภทหิน (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ประเภทหิน | ตัวแทนหิน |
|---|---|
| A | -หินอัคนี (Granite, Diorite, Syenite, Diabase, Andesite, Basalt, Quartz trachyte, Quartz porphyry เป็นต้น)<br>-หินแปร (Gneiss, Quartzite, Schist, Serpentine เป็นต้น)<br>-หินตะกอน (Welded tuff, Siliceous Conglomerate, Siliceous limestone เป็นต้น) |
| B | หินตะกอน (Limestone, Dolomite and other carbonates) |
| C | -หินแปร (Marble, Slate เป็นต้น)<br>-หินตะกอน (Calcareous Sandstone, Ferruginous Cementation Conglomerate, Sandstone เป็นต้น) |
| D | -ประเภทหินตะกอนยุค Tertiary (Shale, Sandstone, Conglomerate, Sandy Mudstone, Tuff เป็นต้น)<br>-หินแปร (Mica Schist, Phyllite เป็นต้น), และ Uniaxial saturated compressive strength $R_c$ > 15 MN/m$^2$ |
| E | ประเภทหินตะกอนยุค Neogene - ยุค Quaternary (Mudstone, Shale, Sandstone, Conglomerate, Tuff เป็นต้น), และ Uniaxial saturated compressive strength $R_c \leq$ 15 MN/m$^2$ |

**ตารางที่ 3 การแบ่งระดับความผุกร่อนของหิน (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ชื่อเรียก | ลักษณะการผุกร่อน |
|---|---|
| ไม่ผุกร่อน | โครงสร้างหินไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณภาพหินใหม่ |
| ผุกร่อนน้อย | โครงสร้างหิน องค์ประกอบและสีของแร่โดยพื้นฐานไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผิวรอยแตกบางส่วนมี Ferromanganese เจือปนหรือเปลี่ยนสีเล็กน้อย |
| ผุกร่อนปานกลาง | โครงสร้างหินบางส่วนถูกทำลาย องค์ประกอบและสีของแร่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัดเจน ความผุกร่อนที่ผิวรอย แตกค่อนข้างรุนแรง |
| ผุกร่อนมาก | โครงสร้างหินส่วนใหญ่ถูกทำลาย องค์ประกอบและสีของแร่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน แร่ Feldspar, Mica และแร่ Mafic ผุกร่อนและเปลี่ยนแปลง |
| ผุกร่อนทั้งหมด | โครงสร้างหินถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ แตกสลายและแยกตัวเป็นดินร่วนซุยหรือทราย แร่ธาตุเปลี่ยนสีทั้งหมด ความมันวาวหายไป แร่ธาตุส่วนใหญ่ยกเว้น quartz grains จะผุกร่อนและเปลี่ยนเป็นแร่ทุติยภูมิ |

4.2.3 ระดับความสมบูรณ์ของหินสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 4 ระดับการประสานของระนาบโครงสร้างสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 5 การแบ่งระดับความหนาของชั้นหินสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 6

**ตารางที่ 4 การแบ่งระดับความสมบูรณ์ของหิน (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ระดับความสมบูรณ์ | ระดับการพัฒนาของระนาบโครงสร้าง | | | ระดับการผสานของระนาบโครงสร้างหลัก | ชนิดของระนาบโครงสร้างหลัก | ชนิดโครงสร้างที่สอดคล้องกัน | ดัชนีความสมบูรณ์ของหิน ($K_v$) | ปริมาตรรอยต่อของหิน (เส้น/m²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | รายละเอียดเชิงคุณภาพ | จำนวนชุด | ระยะห่างเฉลี่ย (m) | | | | | |
| สมบูรณ์ | ไม่พัฒนา | 1 ถึง 2 | > 1.0 | ผสานดีหรือธรรมดา | รอยต่อ, รอยแตก, ระนาบชั้น | โครงสร้างที่เป็นชิ้นเดียวหรือชั้นหนามาก | $K_v > 0.75$ | $J_v < 3$ |
| ค่อนข้างสมบูรณ์ | | 1 ถึง 2 | > 1.0 | ผสานแย่ | รอยต่อ, รอยแตก, ระนาบชั้น | โครงสร้างที่เป็นก้อนหรือชั้นหนา | $0.75 \geq K_v > 0.55$ | $3 \leq J_v < 10$ |
| | ค่อนข้างพัฒนา | 2 ถึง 3 | 1.0 ถึง 0.4 | ผสานดีหรือธรรมดา | | โครงสร้างที่เป็นก้อน | | |
| ค่อนข้างแตก | | 2 ถึง 3 | 1.0 ถึง 0.4 | ผสานแย่ | รอยต่อ, รอยแตก,แนวแตก, ระนาบชั้น, รอยเลื่อนรอง | โครงสร้างที่เป็นก้อนแตกหักหรือชั้นหนาปานกลาง | $0.55 \geq K_v > 0.35$ | $10 \leq J_v < 20$ |
| | พัฒนา | ≥ 3 | 0.4 - 0.2 | ผสานดี | | Fragmented mosaic structure | | |
| | | | | ผสานธรรมดา | | โครงสร้างที่เป็นชั้นบาง ๆ | | |
| แตก | | ≥ 3 | 0.4 - 0.2 | ผสานแย่ | ระนาบโครงสร้างชนิดต่าง ๆ | โครงสร้างที่เป็นก้อนแตกหัก | $0.35 \geq K_v > 0.15$ | $20 \leq J_v < 35$ |
| | พัฒนามาก | ≥ 3 | ≤ 0.2 | ผสานธรรมดาหรือแย่ | | โครงสร้างบดอัด | | |
| แตกมาก | ไม่เป็นระเบียบ | | | ผสานแย่มาก | โครงสร้างหลวม | โครงสร้างแบบก้อนกลม | $K_v \leq 0.15$ | $J_v \geq 35$ |

<u>หมายเหตุ:</u> ระยะห่างเฉลี่ยคือค่าเฉลี่ยระยะห่างของโครงสร้างหลัก

**ตารางที่ 5 การแบ่งระดับการผสานของระนาบโครงสร้าง (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ระดับการผสาน | คุณสมบัติระนาบโครงสร้าง |
|---|---|
| ผสานดี | -แยกออกน้อยกว่า 1 mm, ยึดเกาะโดยซิลิคอน ธาตุเหล็กหรือแคลเซียม,หรือระนาบโครงสร้างหยาบ ไร้ฟิลเลอร์<br>-แยกออก 1 mm ถึง 3 mm, ยึดเกาะโดยซิลิคอนหรือธาตุเหล็ก<br>-แยกออกกว้างกว่า 3 mm, ระนาบโครงสร้างหยาบ ยึดเกาะโดยซิลิคอน |
| ผสานธรรมดา | -แยกออกน้อยกว่า 1 mm, ระนาบโครงสร้างเรียบตรง ยึดเกาะโดย Calcareous Argillaceous หรือไร้ฟิลเลอร์<br>-แยกออก 1 mm ถึง 3 mm, ยึดเกาะโดยซิลิคอน<br>-แยกออกกว้างกว่า 3 mm, ระนาบโครงสร้างหยาบ ยึดเกาะโดยธาตุเหล็กหรือแคลเซียม |
| ผสานแย่ | -แยกออก 1 mm ถึง 3 mm, ระนาบโครงสร้างเรียบตรง ยึดเกาะ โดยArgillaceous หรือ Calcareous Argillaceous<br>-แยกออกกว้างกว่า 3 mm, ส่วนใหญ่เติมเต็มด้วย Argillaceous หรือเศษหิน |
| ผสานแย่มาก | เติมเต็มด้วย Argillaceous หรือเติมเต็มด้วยเศษหินปน Argillaceous |

**ตารางที่ 6 การแบ่งระดับความหนาของชั้นหิน (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ระดับความหนาของชั้นหิน | ความหนาของชั้น |
|---|---|
| ชั้นหนามาก | มากกว่า 1.0 m |
| ชั้นหนา | มากกว่า 0.5 m แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.0 m |
| ชั้นหนาปานกลาง | มากกว่า 0.1 m แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 m |
| ชั้นบาง | น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 m |

4.2.4 ค่า BQ ดัชนีคุณภาพเบื้องต้นของมวลหินควรคำนวณตามค่าเมกะปาสกาลของดัชนีเชิงปริมาณ $R_c$ ของปัจจัยการจำแนกระดับความแข็งของหินและความสมบูรณ์ของหินและ$K_v$ โดยคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$BQ = 100 + 3\,R_c + 250K_v \qquad (1)$$

<u>หมายเหตุ :</u>เมื่อใช้สมการที่ 1 คำนวณควรสอดคล้องกับข้อกำหนดดังนี้

ใช้ค่า $R_c = 90\,K_v + 30$ เมื่อ $R_c > 90K_v + 30$

ใช้ค่า $Kv = 0.04R + 0.4$เมื่อ $Kv > 0.04Rc + 0.4$

4.2.5 การจำแนกเกรดหินเบื้องต้นสามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 7

4.2.6 ความสอดคล้องกันของวิธีการจำแนกมวลหินด้วยระบบ Basic Quality (BQ) และการจำแนกมวลหินโดยระบบ Rock Mass Rating Classification (RMR) เป็นดังสมการ

$$BQ = 5.6755RMR + 130 \qquad (2)$$

4.2.7 ความสอดคล้องกันของวิธีการจำแนกมวลหินด้วยระบบ Basic Quality (BQ) และ 2. การจำแนกมวลหินโดยระบบ NGI tunneling quality index (Q system) เป็นดังสมการ

$$BQ = 53.052 \ln(Q) + 283 \qquad (3)$$

**ตารางที่ 7 การจำแนกเกรดหินเบื้องต้น (ที่มา “TB 10003-2016”)**

| ระดับ | ลักษณะหิน | ลักษณะดิน | ค่า BQ ดัชนีคุณภาพเบื้องต้นของมวลหิน | ความเร็วคลื่นยืดหยุ่นตามยาวของหินโดยรอบ $V_p$ (km/s) |
|---|---|---|---|---|
| I | หินแข็งมากรูปร่างหินสมบูรณ์ | | > 550 | A : > 5.3 |
| II | -หินแข็งมาก รูปร่างหินค่อนข้างสมบูรณ์<br>-หินแข็ง รูปร่างหินสมบูรณ์ | | 550 ถึง 451 | A : 4.5 ถึง 5.3<br>B : > 5.3<br>C : > 5.0 |
| III | -หินแข็งมาก รูปร่างหินค่อนข้างแตก<br>-หินแข็งหรือการแทรกระหว่างหินอ่อน และแข็ง รูปร่างหินค่อนข้างสมบูรณ์<br>-หินค่อนข้างอ่อน รูปร่างหินสมบูรณ์ | | 450 ถึง 351 | A : 4.0 ถึง 4.5<br>B : 4.3 ถึง 5.3<br>C : 3.5 ถึง 5.0<br>D : > 4.0 |
| IV | -หินแข็งมาก รูปร่างหินแตก<br>-หินแข็ง รูปร่างหินค่อนข้างแตกหรือแตก<br>-การแทรกระหว่างหินค่อนข้างอ่อนและค่อนข้างแข็งและมีหินอ่อนเป็นหลัก รูปร่าง--หินค่อนข้างสมบูรณ์หรือค่อนข้างแตก<br>-หินอ่อน รูปร่างหินสมบูรณ์หรือค่อนข้างสมบูรณ์ | ดินประเภทดินเหนียว ทรายแป้ง หรือดินทรายที่มีการบดอัดหรือกระบวนการก่อตัวใหม่, ดินกรวดเหลี่ยมหยาบ ดินกรวดมนหยาบ เศษหิน หินกรวดแม่น้ำ หินขนาดใหญ่ที่ปกติยึดเกาะโดยซิลิคอนหรือธาตุเหล็ก ดินลมหอบ (Q1,Q2) | 350 ถึง 251 | A : 3.0 ถึง 4.0<br>B : 3.3 ถึง 4.3<br>C : 3.0 ถึง 3.5<br>D : 3.0 ถึง 4.0<br>E : 2.0 ถึง 3.0 |
| V | -หินค่อนข้างอ่อน รูปร่างหินหินแตก<br>-หินอ่อน รูปร่างหินค่อนข้างแตกถึงแตก<br>-หินอ่อนมากทั้งหมดและหินแตกมากทั้งหมด (รวมถึงบริเวณแตกหักที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากโครงสร้าง) | ดินแข็งทั่วไปยุค Quaternary ดิน Hard plastic clay, เศษหิน หินกรวดแม่น้ำ ดินกรวดมน ดินกรวดเหลี่ยม ดินผง และดินลมหอบ (Q3, Q4) ที่หนาแน่นเล็กน้อยและมากกว่า,ชิ้นเล็กน้อยหรือเปียกชิ้น | ≤ 250 | A : 2.0 ถึง 3.0<br>B : 2.0 ถึง 3.3<br>C : 2.0 ถึง 3.0<br>D : 1.5 ถึง 3.0<br>E : 1.0 ถึง 2.0 |
| VI | เขตรอยเลื่อนน้ำมากที่ปรากฏเศษหินกรวดเหลี่ยม ดินผง ดินเหนียวจากการรับผลกระทบอย่างรุนแรงจากโครงสร้าง, หิน Chlorite ที่แตกจากน้ำมากหรือหิน Carbonaceous phyllite | Soft plastic clay, ดินทรายแป้ง ดินทรายที่อิ่มตัว เป็นต้น, Aeolian sand, ดินลมหอบ (loess) ที่ยุบตัวอย่างรุนแรง | | < 1.0 (ดินสภาวะอิ่มตัว < 1.5) |

## 5. เครื่องจักรสำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

ในส่วนของงานเครื่องจักรเป็นเนื้อหาของการกำหนดแนวทางในการจัดหา การเลือกใช้งาน และการบำรุงรักษา ให้เพียงพอต่อการทำงานระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง โดยมีความครอบคลุมถึงข้อกำหนดทั่วไปในการบริหารจัดการเครื่องจักร ประเภทและคุณสมบัติเครื่องจักรที่จำเป็นในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นการขุด การขนย้ายเศษวัสดุ การติดตั้งระบบค้ำยัน รวมถึงเครื่องจักรและอุปกรณ์สนับสนุนด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

5.1 ข้อกำหนดทั่วไปเครื่องจักรสำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

5.1.1 การจัดเตรียมเครื่องจักรก่อสร้างต้องจัดทำและถูกรวบรวมไว้ในแผนการก่อสร้าง

5.1.2 การเลือกเครื่องจักรต้องมีความเพียงพอต่อปริมาณงานในโครงการ โดยการเลือกเครื่องจักรต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร จากนั้นต้องทำการเสนอให้ที่ปรึกษาโครงการทำการอนุมัติ

5.1.3 การจัดเตรียมเครื่องจักรต้องมีความยืดหยุ่นตามวิธีการก่อสร้าง เครื่องจักรที่จัดหาควรมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่วางแผนเล็กน้อย เพื่อให้มั่นใจถึงประสิทธิภาพสูงสุด และการทำงานที่ต่อเนื่อง

5.1.4 สำหรับอุโมงค์ที่มีแก๊ส การจัดเตรียมเครื่องจักรต้องเป็นไปตามมาตรฐาน TB10120 อย่างเคร่งครัด

5.1.5 เครื่องจักรที่จัดสรรต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน Q/CR9219 เพื่อรองรับสถานการณ์ฉุกเฉิน

5.1.6 การจัดส่งเครื่องจักร ต้องเป็นไปตาม แผนการเคลื่อนย้ายและกำหนดการก่อสร้าง เพื่อให้เครื่องจักรพร้อมใช้งานหน้างานได้ทันเวลา

5.1.7 การใช้งาน การจัดการ การซ่อมแซม และการบำรุงรักษาเครื่องจักร ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด เพื่อให้เครื่องจักร ทำงานได้อย่างปลอดภัย และเป็นปกติ ตลอดเวลา พร้อมทั้งป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ

5.2 เครื่องจักรสำหรับขุดอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

5.2.1 สำหรับการเจาะ และระเบิด สามารถเลือกใช้เครื่องเจาะหินแบบจัมโบ (hydraulic rock drilling jumbo) หรืออาจพิจารณาใช้ เครื่องเจาะหินแบบใช้มือถือ (pusher leg) ร่วมกับนั่งร้านที่ได้ออกแบบมาให้เหมาะสมกับขนาดหน้าตัดของอุโมงค์

5.2.2 สำหรับอุโมงค์ที่ไม่เหมาะสมกับการใช้วิธีการเจาะและระเบิด สามารถเลือกใช้เครื่องขุด (excavator) หัวเจาะอุโมงค์แบบหัวตัด (road header) หรือหัวเจาะ (milling drivers)

5.3 เครื่องจักรสำหรับขนส่งเศษวัสดุ

5.3.1 เครื่องจักรสำหรับตักขน และเครื่องจักรสำหรับขนย้ายเศษวัสดุต้องมีความสอดคล้องกัน โดยความจุของเครื่องจักรสำหรับขนย้ายต้องมีไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของความสามารถในการขุดของเครื่องขุด

5.3.2 เมื่อใช้รถบรรทุกเพื่อขนย้ายดิน ขึ้นไปหรือรถตัก (loader) ต้องใช้เครื่องจักรตามความเหมาะสมของการขุดอุโมงค์

5.3.3 เมื่อใช้การขนส่งด้วยรางในอุโมงค์ สามารถเลือกใช้รถตัก หัวรถจักรพลังงานแบตเตอรี่ (battery locomotive) รถลำเลียง (shuttle car) และรถบรรทุกแบบเทด้านข้าง (side dump car) หรือรถบรรทุกแบบเทท้าย ตามความเหมาะสม

5.3.4 สามารถเลือกใช้รถตักแบบหัวจับ (grab loader) สำหรับการตักดินในบ่อแนวตั้ง โดยใช้เครื่องยก และเครนที่มีความจุเหมาะสม รวมถึงกรง (cage) ถัง (barrel) หรือถังขนถ่ายวัสดุแบบยก (skip bucket) ตามความลึกของบ่อ และปริมาณดินที่ขุดได้

5.4 เครื่องจักรสำหรับค้ำยัน

5.4.1 การจัดเตรียมเครื่องจักรก่อสร้างสำหรับการค้ำยันล่วงหน้า (forepoling) และการเกราต์เบื้องต้น (pre grouting) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.4.1.1 สำหรับอุโมงค์ที่มีสภาพธรณีวิทยาที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ชั้นดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ หินที่อ่อน และมีรอยแตกร้าว ชั้นทรายที่มีน้ำ มีการเคลื่อนตัวมาก ต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์เจาะที่สามารถเจาะรูได้ลึก และการเกราต์ที่มีความยาวมาก

5.4.1.2 ต้องใช้เครื่องเจาะที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการทำ ค้ำยันล่วงหน้าชนิดท่อ (advance pipe roof) และการเกราต์เบื้องต้น

5.4.1.3 ต้องมีระบบเกราต์ที่มีแรงดันและอัตราการไหลสูง สำหรับการเกราต์เบื้องต้น เพื่อให้ได้คุณภาพการเกราต์ตามที่ออกแบบไว้

5.4.2 ในการติดตั้ง สลักยึดหิน สามารถเลือกใช้เครื่องเจาะสลักยึดหิน (rock bolt machine) รวมกับ เครื่องเกราต์ที่เหมาะสม

5.4.3 ต้องมีเครื่องพ่นคอนกรีต โรงผสมปูน และรถผสมปูนสำเร็จรูปสำหรับการทำคอนกรีตพ่น

5.4.4 ในการผลิต โครงเหล็กต้องมีเครื่องดัดและขึ้นรูปเหล็ก รวมถึงต้องใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโครงเหล็ก ให้ถูกต้องและปลอดภัย

5.4.5 สำหรับการทำผนังอุโมงค์คอนกรีต ต้องมี โรงผสมปูน รถผสมปูนสำเร็จรูป เครื่องสูบขนส่งคอนกรีต และ เครื่องติดตั้งแบบหล่อ โดยทั้งหมดต้องสอดคล้องกับแผนการก่อสร้าง

5.4.6 ต้องติดตั้งมีแท่นทำงานบริเวณพื้นอุโมงค์เพื่อติดตั้งแบบหล่อสำหรับการหล่อคอนกรีตบริเวณฐานอุโมงค์ของอุโมงค์

5.5 เครื่องจักรสนับสนุนสำหรับก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

5.5.1 อุปกรณ์ระบายอากาศสำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์ ต้องออกแบบโดยพิจารณาจากปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น ความยาวของอุโมงค์ ลักษณะการขนส่งภายในอุโมงค์ ขนาดหน้าตัดอุโมงค์ และวิธีการระบายอากาศ

5.5.2 ต้องใช้พัดลมระบายอากาศแบบหลายชั้น (multistage uniaxial ventilation fan) ที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน และเสียงเบา

5.5.3 ต้องใช้ท่อระบายอากาศที่มีขนาดใหญ่ที่มีความแข็งแรงสูง และทนไฟ

5.5.4 ระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ต้องมีเครื่องตรวจจับฝุ่น เครื่องวัดเสียง และเครื่องตรวจจับก๊าซ รวมถึงก๊าซพิษเพื่อรองรับการทำงานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากก๊าซอันตราย

5.5.5 เมื่อใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อระบายน้ำในอุโมงค์ อุปกรณ์เครื่องสูบน้ำที่เลือกใช้ ต้องมีแรงดูด อัตราการไหล และสมรรถนะที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่คาดการณ์ไว้ ต้องมีการจัดเตรียมแหล่งจ่ายไฟสำรองในกรณีฉุกเฉิน

## 6. วิธีการในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

ในการเลือกและออกแบบวิธีการขุดในแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับชนิดของชั้นดินหรือชั้นหินต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์ ข้อจำกัดของเครื่องจักร ระยะเวลาในการคงตัวของผนังอุโมงค์เมื่อไม่มีการค้ำยัน และชนิดของการค้ำยันเป็นต้น โดยวิธีการที่ก่อสร้างอุโมงค์สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีคือ วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด วิธีขุดแบบขั้นบันได วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว และวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างในระหว่างการก่อสร้างต้องมีการประเมินชนิดของชั้นดินและชั้นหินอย่างต่อเนื่องก่อนที่จะทำการขุดบริเวณผิวหน้าขุดในแต่ละครั้ง และต้องทำการประเมินวิธีการขุดให้มีความเหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยาที่พบเจออยู่เสมอ เพื่อให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด

6.1 ข้อกำหนดทั่วไปวิธีการในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

6.1.1 การเลือกวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ (tunnel construction method) ต้องพิจารณาอย่างรอบด้าน โดยพิจารณาจากสภาพแวดล้อม สภาพธรณีวิทยา ความยาวอุโมงค์ ขนาดหน้าตัด สภาพอุปกรณ์ ข้อจำกัดด้านระยะเวลา สภาพหน้างาน และปัจจัยอื่น ๆ ตัวเลือกที่ใช้ ได้แก่ วิธีการเจาะและระเบิด (drilling and blasting method) และการขุดอุโมงค์แบบขุดเปิด (open-cut method) เป็นต้น

6.1.1.1 วิธีขุดและระเบิดสามารถเลือกใช้วิธีขุดแบบเต็มหน้าตัด (full face method) วิธีขุดแบบขั้นบันได (bench cut) วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว (central diaphragm method) หรือวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้าง (pilot drift method) ได้ตามชนิดชั้นหินหรือชั้นดินโดยรอบ ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ และปัจจัยอื่น ๆ

6.1.1.2 อุโมงค์ที่มีชั้นดินหรือชั้นหินทับต่ำหรือตื้นต้องขุดโดยใช้วิธีขุดเปิดตามความที่เหมาะสม ทั้งนี้ต้องมีการได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและที่ปรึกษาก่อนการก่อสร้าง

6.1.1.3 ในกรณีที่สภาพทางธรณีวิทยาของอุโมงค์มีการเปลี่ยนแปลง ต้องปรับเปลี่ยนแบบก่อสร้างและวิธีการดำเนินงานอย่างทันท่วงที รวมถึงมาตรการทางวิศวกรรมที่เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความเห็นชอบของผู้ออกแบบ

6.1.2 ความยาวของการขุดในแต่ละรอบการขุดอุโมงค์ (tunnel excavation cycle) ต้องควบคุมให้สอดคล้องกับชนิดของหินโดยรอบ และระยะเวลาในการคงสภาพของชั้นหินหรือชั้นดินหลังจากการขุดอุโมงค์ ต้องทำคอนกรีตพ่นทันทีเพื่อรักษาเสถียรภาพและติดตั้งโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นโดยเร็วที่สุด ในกรณีการขุดบางส่วน ต้องติดตั้งโครงสร้างค้ำยันและโครงเหล็กทันทีหลังการขุดฐานอุโมงค์ ห้ามปล่อยอุโมงค์อยู่โดยไม่มีการค้ำยัน

6.1.3 สำหรับอุโมงค์ที่มีหินโดยรอบอ่อนแอ สามารถใช้สลักยึดหินหรือเหล็กฝังยึดหินสำหรับเป็นโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นร่วมกับการเสริมความแข็งแรงของฐานส่วนล่างโดยการเพิ่ม เท้าช้าง (arch foot) โครงสร้างค้ำยันชั่วคราวในส่วนของฐานอุโมงค์และมาตรการอื่น ๆ เพื่อควบคุมการเสียรูปของหินโดยรอบ

6.1.4 ในกรณีที่ธรณีวิทยาของหินโดยรอบอยู่ในสภาพแย่และผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ไม่มั่นคง สามารถใช้คอนกรีตพ่นหรือการใช้สลักยึดหินเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ (excavation face)

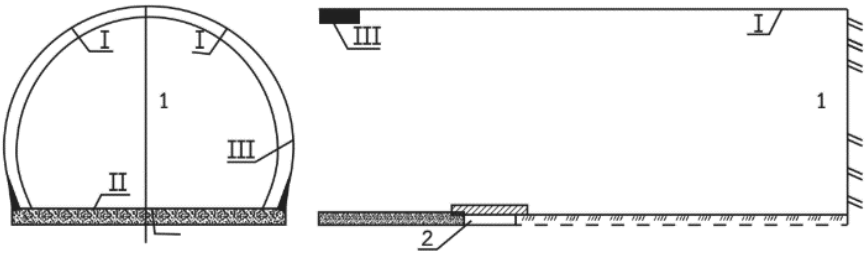
6.1.5 เมื่อใช้วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวและวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างในการก่อสร้าง การถอด โครงสร้างค้ำยันชั่วคราว ต้องดำเนินการหลังจากทำการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นและต้องได้รับการยืนยันว่าอยู่ในสภาพมั่นคง จากการตรวจวัดการเคลื่อนตัว การถอดในแต่ละครั้งต้องมีความยาวไม่เกิน 15 m และมีการตรวจวัดและการเฝ้าสังเกตอย่างเข้มงวดระหว่างการถอดโครงสร้างค้ำยันชั่วคราว

6.1.6 ต้องจัดเตรียมแท่นปฏิบัติงานพิเศษ (special operation platform) สำหรับการวางชั้นป้องกันน้ำ (waterproofing layer) ใช้เครื่องเชื่อมอัตโนมัติ (automatic climbing welder) ที่ปรับอุณหภูมิและความเร็วได้สำหรับการเชื่อมแผ่นกันซึม (waterproofing sheet) และใช้เครื่องเชื่อมแบบเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic welder) สำหรับการแก้ไขเฉพาะจุด

6.2 วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด (full face method)

6.2.1 วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัดเหมาะสมกับการขุดในชั้นดินหรือชั้นหินที่มีระยะเวลาที่อยู่ได้โดยไม่ต้องค้ำยันของผนังอุโมงค์เพียงพอสำหรับเครื่องจักรในขุดและการค้ำยันทั้งหน้าตัดในคราวเดียว

6.2.2 ลำดับการก่อสร้างแบบเต็มหน้าตัด แสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างวิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด (full face method)**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 1*

*1) การขุดเต็มหน้าตัด (1) และทำการค้ำยันชั่วคราวในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดฐานอุโมงค์ (2) และการหล่อพื้นคอนกรีตในส่วนที่ (II)*

*3) งานคอนกรีตผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (III)*

6.2.3 แผนผังลำดับการดำเนินการของวิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัดจะแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.1 หากต้องมีขั้นตอนเพิ่มเติมเพื่อเสริมความมั่นคง ต้องกำหนดแนวทางที่ชัดเจนและได้รับอนุมัติจากวิศวกรสนามและที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ

6.2.4 การขุดโดยใช้วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัดต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

6.2.4.1 ในกรณีการขุดด้วยวิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด ปริมาณวัตถุระเบิดต้องควบคุมอย่างเหมาะสม เพื่อลดผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนต่อหินโดยรอบ

6.2.4.2 สำหรับอุโมงค์ที่มีความยาว ต้องใช้เครื่องจักรก่อสร้างขนาดใหญ่ และประเภทของเครื่องจักรต้องมีความเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

6.2.4.3 สำหรับหินดีมาก และ หินดี ความยาวในการขุดแต่ละรอบต้องไม่เกิน 3.5 m และสำหรับหินปานกลาง ต้องไม่เกิน 3.0 m สำหรับหินแย่และหินแย่มาก หลังจากดำเนินการค้ำยันล่วงหน้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อรักษาเสถียรภาพของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ แล้ว ความยาวรอบการขุดต้องไม่เกิน 2 m หากใช้วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด

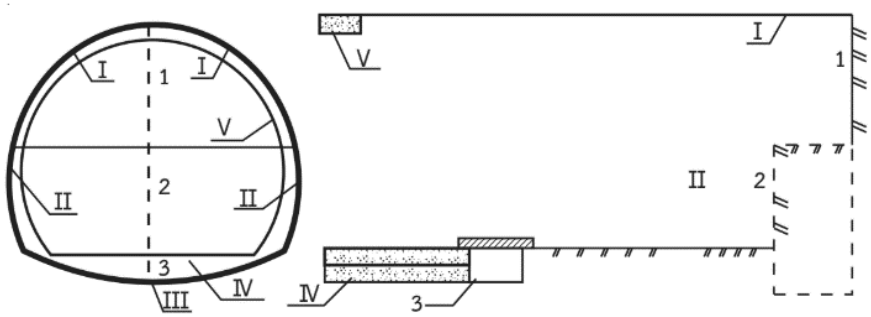
6.3 วิธีขุดแบบขั้นบันได (bench cut)

6.3.1 วิธีขุดแบบขั้นบันไดเหมาะสำหรับชั้นดินหรือชั้นหินที่ไม่สามารถคงสภาพผนังอุโมงค์ได้เพียงพอ หากขุดและค้ำยันทั้งหน้าตัดในคราวเดียว จำเป็นต้องแบ่งส่วนผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์เพื่อรักษาเสถียรภาพ โดยสามารถแบ่งเป็น วิธี Two-bench วิธี Three-bench วิธี Three-bench core-soil และอื่น ๆ ตามความเหมาะสมของสภาพทางธรณีวิทยา

6.3.2 อุโมงค์รถไฟรางเดี่ยวและอุโมงค์รถไฟรางคู่ที่มีสภาพหินดี สามารถก่อสร้างโดยวิธี Two-bench

6.3.3 อุโมงค์ที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่ สามารถใช้วิธี Three-bench ได้ หากสภาพทางธรณีวิทยาไม่ดี สามารถใช้วิธี Three-bench core-soil เพื่อเพิ่มระยะเวลาคงสภาพและความสามารถในการพยุงตัวเองของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์

6.3.4 ลำดับการก่อสร้างของวิธีขุดแบบขั้นบันไดแต่ละประเภทจะแสดงในรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 4




**รูปที่ 2 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างวิธี Two-bench (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 2*

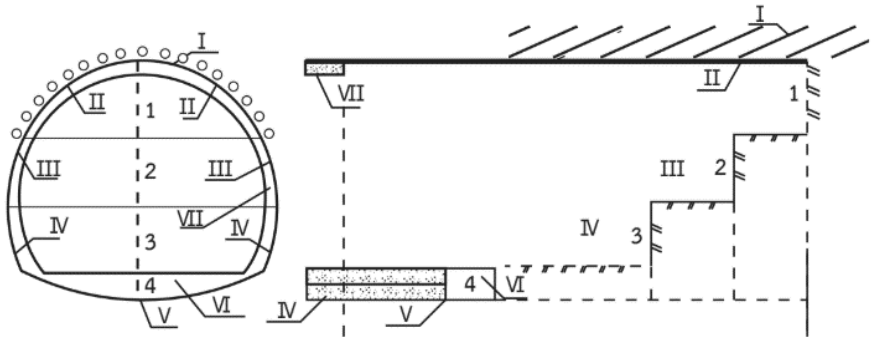
*1) การขุดส่วนบน (1) และการค้ำยันขั้นต้นของส่วนบนในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนล่าง (2) และการค้ำยันขั้นต้นของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (II)*

*3) การขุดฐานอุโมงค์ (3) และการพ่นคอนกรีตปิดผิวฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (III)*

*4) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (IV)*

*5) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (V)*




**รูปที่ 3 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างวิธี Three-bench (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 3*

*1) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (advance small duct) ในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนบน (1) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนบนในส่วนที่ (II)*

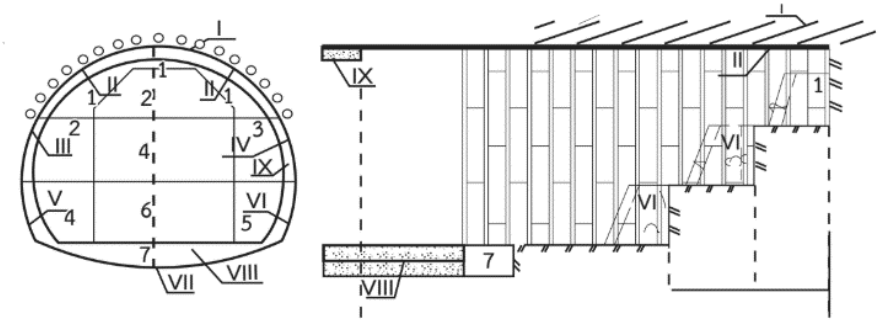
*3) การขุดส่วนกลาง (2) และการค้ำยันขั้นต้นขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (III)*

*4) การขุดส่วนล่าง (3) และการค้ำยันขั้นต้นขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (IV)*

*5) การขุดส่วนฐานอุโมงค์ (4) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (V)*

*6) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VI)*

*7) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (VII)*




**รูปที่ 4 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างวิธี Three-bench core-soil (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 4*

*1) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้าในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนบน (1) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนบนในส่วนที่ (II)*

*3) การขุดแกนดินของขั้นบันไดส่วนบนและขุดด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนกลาง (2) และการค้ำยันขั้นต้นด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (III)*

*4) การขุดด้านขวาของส่วนกลาง (3) และการค้ำยันขั้นต้นด้านขวาของส่วนกลางในส่วนที่ (IV)*

*5) การขุดแกนดินของขั้นบันไดส่วนกลางและการขุดด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่าง (4) และการค้ำยันขั้นต้นด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (V)*

*6) การขุดด้านขวาของขั้นบันไดส่วนล่าง (5) และการค้ำยันขั้นต้นด้านขวาของขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (VI)*

*7) การขุดแกนดินของขั้นบันไดส่วนล่าง (6)*

*8) การขุดส่วนฐานอุโมงค์ (7) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VII)*

*9) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VIII)*

*10) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (IX)*

6.3.5 แผนผังขั้นตอนการก่อสร้างของวิธี Two-bench วิธี Three-bench แสดงอยู่ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.2 และแผนผังขั้นตอนการก่อสร้างของวิธี Three-bench core-soil แสดงอยู่ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.3 ในกรณีที่ต้องมีขั้นตอนในการก่อสร้างเพิ่มเติมเพื่อเสริมความมั่นคงระหว่างการก่อสร้างต้องมีแนวทางในการก่อสร้างที่ชัดเจนและได้รับการอนุมัติจากวิศวกรและที่ปรึกษาโครงการ

6.3.6 การก่อสร้างวิธีขุดแบบขั้นบันไดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.3.6.1 เมื่อใช้วิธีขุดแบบขั้นบันไดสำหรับการขุดอุโมงค์ ความยาวและความสูงของขั้นบันไดต้องกำหนดขนาดอย่างเหมาะสมตามสภาพหินโดยรอบ ความยาวของขั้นบันไดต้องควบคุมให้ไม่เกิน 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

6.3.6.2 หลังจากสร้างขั้นบันไดเสร็จสิ้น การขุดและการค้ำยันของแต่ละขั้นต้องดำเนินการไปพร้อมกัน

6.3.6.3 การขุดขั้นบันไดส่วนฐานอุโมงค์ต้องดำเนินการก่อสร้างในลักษณะสลับซ้ายและขวาเพื่อช่วยกระจายแรงและรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวม

6.3.6.4 ความยาวรอบการขุดต้องกำหนดให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากสภาพทางธรณีวิทยาและระยะเวลาที่อยู่ได้โดยไม่ต้องค้ำยันของหินโดยรอบ รวมถึงระยะห่างของโครงเหล็ก

(1) สำหรับหินปานกลาง ความยาวรอบการขุดต้องไม่เกิน 3 m

(2) สำหรับหินหินแย่ ที่มีความอ่อนแอความยาวรอบการขุดขั้นบันไดส่วนบน (upper bench) ต้องไม่เกิน 2 เท่าของระยะห่างที่ออกแบบของโครงเหล็ก

(3) สำหรับหินหินแย่มากความยาวรอบการขุดขั้นบันไดส่วนบน (upper bench) ต้องไม่เกินระยะห่างที่ออกแบบของโครงเหล็ก

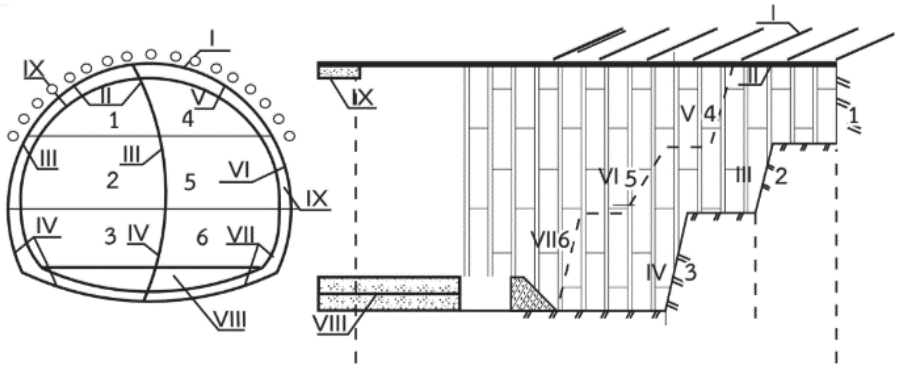
(4) สำหรับหินแย่และหินแย่มากความยาวรอบการขุดขั้นบันไดส่วนล่าง (lower bench) ต้องไม่เกิน 2 เท่าของระยะห่างที่ออกแบบของโครงเหล็ก

(5) สำหรับอุโมงค์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น และโครงเหล็กความยาวรอบการขุดฐานอุโมงค์ต้องไม่เกิน 3 m

6.4 วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว (central diaphragm method)

6.4.1 วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวเหมาะสำหรับชั้นดินหรือชั้นหินที่ไม่สามารถคงสภาพผนังอุโมงค์ได้เพียงพอ หากขุดและการค้ำยันทั้งหน้าตัดในคราวเดียว โดยออบแบบให้มีโครงสร้างค้ำยันส่วนกลางเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการคงตัว เพิ่มเสถียรภาพในการขุด และลดการรบกวนต่อผนังอุโมงค์

6.4.2 ลำดับการก่อสร้างของวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวแสดงไว้ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6




**รูปที่ 5 ลำดับการก่อสร้างวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบาย รูปที่ 5*

*1) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้าในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนบนด้านซ้าย (1) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนบนด้านซ้ายในส่วนที่ (II)*

*3) การขุดด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนกลาง (2) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (III)*

*4) การขุดด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่าง (3) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (IV)*

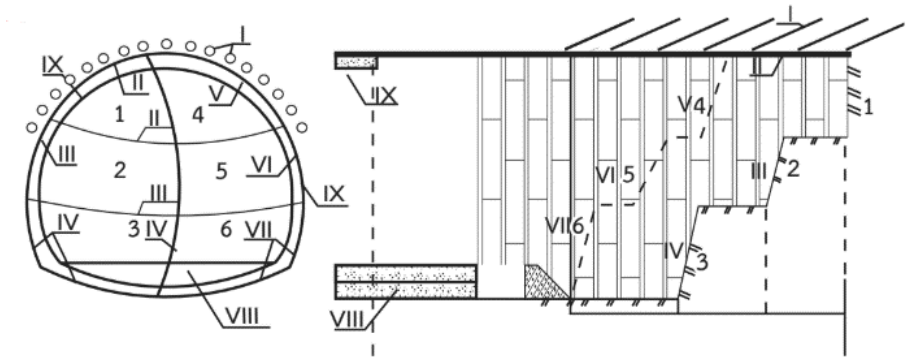
*5) การขุดส่วนบนด้านขวา (4) และการค้ำยันขั้นต้นด้านขวาของส่วนบนในส่วนที่ (V)*

*6) การขุดด้านขวาของขั้นบันไดส่วนกลาง (5) และการค้ำยันขั้นต้นด้านขวาของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (VI)*

*7) การขุดด้านขวาของขั้นบันไดส่วนล่างรวมถึงฐานอุโมงค์ (6) และการค้ำยันขั้นต้นด้านขวาของขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (VII)*

*8) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VIII)*

*9) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (IX)*




**รูปที่ 6 ลำดับการก่อสร้างวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว โดยเพิ่มโครงสร้าง การค้ำยันชั่วคราวบริเวณฐานอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 6*

*1) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้าในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนบนด้านซ้าย (1) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวส่วนบนด้านซ้ายในส่วนที่ (II)*

*3) การขุดขั้นบันไดส่วนกลางด้านซ้าย (2) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (III)*

*4) การขุดด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่างรวมถึงฐานอุโมงค์ (3) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านซ้ายของขั้นบันไดส่วนล่างในส่วนที่ (IV)*

*5) การขุดส่วนบนด้านขวา (4) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านขวาของส่วนบนในส่วนที่ (V)*

*6) การขุดด้านขวาของขั้นบันไดส่วนกลาง (5) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวด้านขวาของขั้นบันไดส่วนกลางในส่วนที่ (VI)*

*7) การขุดขั้นบันไดส่วนล่างด้านขวารวมถึงฐานอุโมงค์ (6) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวขั้นบันไดด้านขวาของส่วนล่างในส่วนที่ (VII)*

*8) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VIII)*

*9) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (IX)*

6.4.3 แผนผังขั้นตอนการก่อสร้างของวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.4 เมื่อต้องมีขั้นตอนในการก่อสร้างเพิ่มเติมเพื่อเสริมความมั่นคงระหว่างการก่อสร้างต้องได้รับการอนุมัติจากวิศวกรและที่ปรึกษาโครงการ

6.4.4 การก่อสร้างวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.4.4.1 เมื่อใช้วิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราวต้องเจาะอุโมงค์ส่วนด้านซ้ายหรือส่วนด้านขวาของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ก่อน หลังจากก่อสร้าง Central Diaphragm เสร็จสิ้น จึงสามารถเจาะอุโมงค์อีกฝั่งของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ได้ โดยโครงสร้างค้ำยันส่วนกลางของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ต้องถูกตั้งในรูปแบบทรงโค้ง (arc shape)

6.4.4.2 ในกรณีที่ติดตั้งโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวบริเวณฐานอุโมงค์ด้วยวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว โครงสร้างชั่วคราวต้องตั้งในรูปแบบทรงโค้ง (arc shape) และแต่ละส่วนต้องถูกสร้างให้เชื่อมต่อกันในลักษณะเป็นวงแหวนเพื่อเสริมความแข็งแรงโดยรวมของอุโมงค์

6.4.4.3 ระหว่างการขุดด้านซ้ายและด้านขวาที่อยู่ในระดับเดียวกันต้องเหลื่อมกันตามแนวยาวไม่น้อยกว่า 10 m โดยการขุดอุโมงค์ด้านเดียวต้องทำการขุดเป็นขั้นบันไดที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 3 m

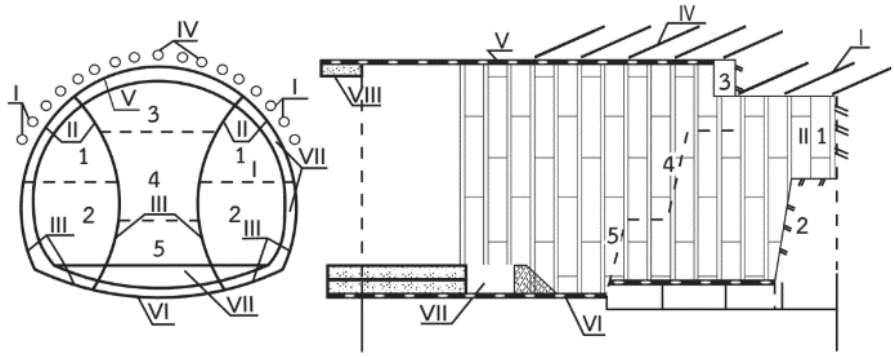
6.4.4.4 ความยาวของรอบการขุดต้องไม่เกินระยะห่างที่ออกแบบของโครงเหล็ก

6.4.4.5 การขุดด้วยเครื่องจักรในแต่ละส่วน และเส้นรอบวงของพื้นที่ขุดต้องเรียบเนียน เพื่อลดการกระจุกตัวของหน่วยแรงในชั้นหินหรือดินรอบอุโมงค์

6.5 วิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้าง (double side heading method)

6.5.1 วิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างเหมาะสำหรับชั้นดินหรือชั้นหินที่มีระยะเวลาที่อยู่ได้โดยไม่ต้องค้ำยันของผนังอุโมงค์ที่ไม่เพียงพอต่อการขุดและการค้ำยันทั้งหน้าตัดในคราวเดียว โดยมีการออกแบบให้มีการใส่โครงสร้างค้ำยันทั้งสองด้านและทำการขุดด้านข้างออก แล้วเหลือส่วนกลางไว้เป็นลักษณะของเสาค้ำผนังอุโมงค์ไว้ เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการคงตัวและเพิ่มเสถียรภาพในการขุดและลดการรบกวนต่อผนังอุโมงค์

6.5.2 ลำดับการก่อสร้างของวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างแสดงไว้ในรูปที่ 7




**รูปที่ 7 ลำดับการก่อสร้างด้วยวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้าง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

*คำอธิบายรูปที่ 7*

*1) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้าทั้งสองด้านในส่วนที่ (I)*

*2) การขุดส่วนบนทั้งด้านซ้ายและด้านขวา (1) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวส่วนบนทั้งสองด้านในส่วนที่ (II)*

*3) การขุดส่วนล่างทั้งสองด้าน (2) และการค้ำยันขั้นต้นและการค้ำยันชั่วคราวทั้งสองด้านของส่วนล่างในส่วนที่ (III)*

*4) การติดตั้งท่อขนาดเล็กล่วงหน้าสำหรับโครงสร้างโค้งในส่วนที่ (IV)*

*5) การขุดส่วนบนของเสาตรงกลาง (3) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนบนของเสาตรงกลางส่วนที่ (V)*

*6) การขุดส่วนกลางของเสาตรงกลาง (4)*

*7) การขุดส่วนล่างของเสาตรงกลาง (5) และการค้ำยันขั้นต้นส่วนล่างของเสาตรงกลาง (VI)*

*8) การหล่อคอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์ในส่วนที่ (VII)*

*9) เทคอนกรีตงานดาดผนังอุโมงค์ในส่วนที่ (VIII)*

6.5.3 แผนภาพกระบวนการก่อสร้างของวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.1 เมื่อต้องมีขั้นตอนในการก่อสร้างเพิ่มเติมเพื่อเสริมความมั่นคงระหว่างการก่อสร้างต้องได้รับการอนุมัติจากวิศวกรและที่ปรึกษาโครงการ

6.5.4 การก่อสร้างวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.5.4.1 เมื่อทำการขุดโดยใช้วิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้างให้เริ่มขุดส่วนด้านบนของทั้งสองด้านของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ก่อน และเหลือส่วนตรงกลางไว้

6.5.4.2 รูปทรงของการขุดด้านข้างต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับวงรี โดยความกว้างของ Side Heading ต้องเท่ากับ 1 ส่วน 3 ของความกว้างของอุโมงค์

6.5.4.3 การขุดการขุดด้านข้างและส่วนกลางต้องขุดขั้นบันไดมีความยาวไม่น้อยกว่า 3 m

6.5.4.4 การขุดด้านข้างต้องขุดนำส่วนตรงกลางของผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ไม่น้อยกว่า 10 m

6.5.4.5 วงรอบการขุดต้องไม่ยาวเกินระยะห่างของโครงเหล็กที่ออกแบบหลังคาอุโมงค์ผนังด้านข้าง (arch) และการขุดด้านข้างต้องตั้งอยู่ในตำแหน่งที่แม่นยำและเชื่อมต่อกันอย่างมั่นคง

## 7. การดำเนินงานก่อสร้างการขุดอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

เนื้อหาในส่วนนี้เป็นเนื้อหาการดำเนินงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง โดยเน้นการเจาะและระเบิด (drilling and blasting) โดยครอบคลุมถึงข้อกำหนดทั่วไปในการเลือกวิธีการขุด การออกแบบ การควบคุมผลกระทบจากการระเบิด ตลอดจนรายละเอียดในการใช้วัตถุระเบิดอย่างปลอดภัย รวมถึงการก่อสร้าง ทางเข้าอุโมงค์ (portal) อุโมงค์แบบขุดเปิด (open-cut) และการเจาะปล่อง (shafts)

7.1 ข้อกำหนดทั่วไปการดำเนินงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

7.1.1 การขุดอุโมงค์สามารถใช้ได้ 2 วิธีได้แก่ การเจาะและระเบิด (drill and blast) หรือใช้วิธีทางกลหรือทางเคมีโดยไม่ใช้การเจาะและระเบิด (non-blast)

7.1.2 ประเภทและขั้นตอนการขุดอุโมงค์ที่เหมาะสม ต้องพิจารณาโดยอิงตามการดำเนินงานการก่อสร้าง ได้แก่ การเจาะและระเบิด การก่อสร้างปากทางเข้าอุโมงค์ อุโมงค์แบบขุดเปิด และการเจาะปล่อง เป็นต้น เครื่องจักร สภาพธรณีวิทยาและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งกำหนดความยาวรอบการขุด (cycle length) และอัตราความเร็วในการขุดที่เหมาะสม

7.1.3 การขุดด้วยระเบิดต้องใช้ เทคนิคการระเบิดแบบควบคุม ตามมาตรฐาน GB 6722 เกี่ยวกับความปลอดภัยของการระเบิด หรือใช้วิธีทางกลหรือทางเคมีโดยไม่ใช้การเจาะและระเบิด

7.1.4 การขุดต้องดำเนินการเพื่อลดผลกระทบต่อชั้นหินโดยรอบให้น้อยที่สุด เพื่อรักษาความสามารถในการรองรับตัวเอง การเจาะและการขุดด้วยระเบิดในอุโมงค์หิน ต้องใช้เทคโนโลยีการระเบิดแบบหน้าเรียบ และควบคุมระยะรอบการขุดและปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้ในแต่ละครั้ง สำหรับอุโมงค์ที่อยู่ในชั้นหินหรือดินที่อ่อน ต้องใช้วิธีการขุดด้วยเครื่องจักร

7.1.5 ขนาดหน้าตัดการขุดอุโมงค์ในการก่อสร้างต้องเป็นไปตามการออกแบบอย่างเคร่งครัด และการขุดต้องเป็นไปตามแนวเส้นรอบวงตามที่ได้ออกแบบไว้ ให้การเคลื่อนตัวของอุโมงค์เป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจและข้อผิดพลาดจากการก่อสร้าง

7.1.6 แนวขอบเขตการขุดต้องควบคุมโดยการใช้วิธีการสำรวจที่มีประสิทธิภาพ โดยตำแหน่งของเส้นขอบเขตและตำแหน่งหลุมระเบิดต้องทำการสำรวจด้วยเครื่องมือกำหนดแนวด้วยเลเซอร์ (laser orientation) เครื่องตรวจวัดแนวหน้าตัดด้วยเลเซอร์ (laser profiler) กล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม (total station) และอื่น ๆ

7.1.7 การดำเนินการระเบิดต้องไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างค้ำยัน เครื่องจักร หรือผู้ปฏิบัติงาน โดยการเจาะและการใส่วัตถุระเบิดต้องแบ่งโซนการทำงานและกำหนดให้มีผู้ดูแลเฉพาะ หลังการระเบิดต้องกำจัดหินที่เป็นอันตรายทันที และการกำจัดหินต้องดำเนินการด้วยเครื่องจักร

7.1.8 ก่อนการเจาะทะลุอุโมงค์ หากระยะทางระหว่างสองหน้าขุดมีระยะน้อยกว่า 40 m ต้องเพิ่มระบบการสื่อสารและมีการทำงานที่สอดคล้องกัน หากระยะทางระหว่างสองหน้าขุดมีระยะ 15 m ต้องทำการขุดให้ทะลุเพียงฝั่งเดียว

7.1.9 สำหรับการขุดผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์คู่ที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกัน ต้องมีระยะตามยาวที่เหลื่อมกันระหว่างผิวขุดของทั้งสองอุโมงค์ไม่น้อยกว่า 30 m หากระยะห่างระหว่างอุโมงค์ใกล้เกินไป ต้องดำเนินการเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอุโมงค์ที่ขุดก่อนหน้า

7.1.10 ต้องมีการขออนุญาตต่อทางราชการในการใช้วัตถุระเบิด ตามพระราชบัญญัติ อาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืนฉบับที่บังคับใช้ล่าสุด ต่อนายทะเบียนท้องที่ กระทรวงมหาดไทย ในการการขนส่ง การเก็บรักษา การตรวจสอบ การประมวลผล การใช้งาน การส่งไปยังที่จัดเก็บ และการทำลายวัตถุระเบิด ต้องเป็นไปตามกฎหมายของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่นกระทรวงกลาโหม กระทรวงมหาดไทย และกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เป็นต้น

7.2 วัตถุระเบิด

วัตถุระเบิดเป็นสิ่งที่ต้องการการควบคุมตั้งแต่การออกแบบ การขนส่ง การเก็บรักษา การใช้งาน ไปจนถึงการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยมี กฎหมาย ข้อบังคับด้านความปลอดภัย และกระบวนการอนุมัติจากหน่วยงานรัฐครอบคลุมในด้านความปลอดภัย ความรับผิดชอบของผู้เกี่ยวข้อง เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ การสั่นสะเทือนเกินมาตรฐาน และผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานหรือชุมชนโดยรอบ

7.2.1 ข้อกำหนดทั่วไปของวัตถุระเบิด

7.2.1.1 ผู้รับจ้างสามารถใช้วัตถุระเบิดได้เฉพาะเมื่อมั่นใจในความปลอดภัยสูงสุด โดยต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของบุคคล ทรัพย์สิน และความปลอดภัยของงานก่อสร้าง ผู้รับจ้างสามารถแต่งตั้งผู้รับผิดชอบที่มีความเชี่ยวชาญด้านวัตถุระเบิดเพื่อดำเนินการตามความเห็นชอบของวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

7.2.1.2 การปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิดต้องเป็นไปตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องของกระทรวงกลาโหม กระทรวงมหาดไทย และกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ในการขอใบอนุญาตในการซื้อ ครอบคองและใช้วัตถุระเบิด พร้อมจัดหาสถานที่เก็บรักษาวัตถุระเบิดและอุปกรณ์ให้ปลอดภัย

7.2.1.3 วัตถุระเบิดต้องได้รับการจัดการและใช้งานโดยผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับอนุญาตจากผู้รับจ้างเท่านั้นรายชื่อและคุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงานดังกล่าวต้องส่งให้วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่พิจารณาล่วงหน้าก่อนมีการใช้วัตถุระเบิด

7.2.1.4 การดำเนินการใด ๆ เกี่ยวกับวัตถุระเบิด ผู้ปฏิบัติงานต้องดูแลความปลอดภัยและการทำงานต้องอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของวิศวกรวิชาชีพตามพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542

7.2.2 การวางแผนและการควบคุมการระเบิด

7.2.2.1 ในระยะเริ่มต้นก่อนดำเนินการใช้วัตถุระเบิด ผู้รับจ้างและวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ต้องแจ้งกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ใน

พื้นที่รับผิดชอบและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับลักษณะทั่วไปของการดำเนินการ

(1) รูปแบบการเจาะและระเบิดต้องออกแบบโดยวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ที่มีความเชี่ยวชาญ โดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านการสั่นสะเทือนและแรงดันอากาศเกินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างภายในโครงการหรือโครงสร้างของอาคารบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ก่อสร้าง

(2) วิธีการระเบิดต้องออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อหินรอบข้างให้น้อยที่สุดและได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

(3) ผลลัพธ์จากการระเบิดรวมถึงการตรวจสอบการสั่นสะเทือนและแรงดันอากาศต้องได้รับการประเมินหลังการระเบิดในแต่ละครั้ง และรูปแบบการระเบิดและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระเบิดต้องปรับปรุงไปตามผลที่ได้จากการระเบิดในแต่ละครั้ง เมื่อมีแก้ไขการระเบิดต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ทุกครั้ง

7.2.2.2 เทคนิคการระเบิดแบบควบคุม

(1) การระเบิดต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังโดยใช้เทคนิคการระเบิดที่ควบคุมได้ เช่น การระเบิดแบบแยกชั้น (pre-splitting) การเจาะเป็นแนวเส้น (line drilling) และการระเบิดแบบหน้าเรียบ เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้หินหลุดหรือแตกเกินแนวที่กำหนดไว้สำหรับการขุด และหินหลวมหรือแตกที่ไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ขุดต้องถูกกำจัดออกโดยการเคลียร์หินหลวมหลังระเบิด ก่อนที่ผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับอนุญาตให้กลับมาปฏิบัติงานหลังการระเบิด

(2) ผู้รับจ้างต้องส่งข้อมูลต่อไปนี้ให้วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่พิจารณาและอนุมัติก่อนเริ่มแต่ละขั้นตอนของการระเบิด ได้แก่

(2.1) ตำแหน่งของรูระเบิด

(2.2) แบบแสดงรายละเอียดการขุด จำนวนและความลึกของหลุมระเบิด

(2.3) น้ำหนักและประเภทของวัตถุระเบิด

(2.4) วิธีการบรรจุวัตถุระเบิดในแต่ละหลุม

(2.5) ปริมาณวัตถุระเบิดรวมทั้งหมด

(2.6) จำนวนและประเภทของเชื้อปะทุ (detonators)

(2.7) การออกแบบวงจรการระเบิด

(2.8) ปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้ในแต่ละช่วงจังหวะเวลา - MIC (maximum instantaneous charge)

(2.9) ปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาตรของหินที่ขุดออก (powder factor)

7.2.3 การสื่อสารและความปลอดภัยหน้างาน

7.2.3.1 ต้องมีการติดประกาศแจ้งเตือนการดำเนินการระเบิดในพื้นที่ก่อสร้าง ก่อนการระเบิดทุกครั้ง ผู้รับจ้างต้องให้สัญญาณเสียง เตรียมพื้นที่ และดำเนินมาตรการเพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลภายนอกเข้าสู่พื้นที่อันตราย

7.2.3.2 ผู้รับจ้างต้องติดตามผลของการระเบิดอย่างใกล้ชิด และในกรณีที่เหมาะสมต้องเสนอการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการระเบิดตามความเห็นชอบของวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

7.2.3.3 ห้ามติดตั้งวัตถุระเบิดใด ๆ จนกว่าจะเสร็จสิ้นการเจาะทั้งหมดในบริเวณดังกล่าว

7.2.3.4 หลังจากการระเบิดในแต่ละครั้ง พื้นที่ขุดต้องได้รับการระบายอากาศเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นอันตราย และต้องมีการตรวจสอบสภาพบรรยากาศอย่างละเอียดก่อนที่ผู้ปฏิบัติงานจะเข้าไปในพื้นที่ขุด

7.2.4 การตรวจสอบและการจัดการการทำงาน

7.2.4.1 วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ที่มีความเชี่ยวชาญต้องตรวจสอบพื้นที่ระเบิดหลังการระบายอากาศเพื่อยืนยันว่าไม่มีระเบิดด้าน (misfire) หรือไม่มีความเสี่ยงจากวัตถุระเบิดตกค้างในพื้นที่ และพื้นที่นั้นปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานครั้งต่อไป กรณีมีการระเบิดด้านต้องดำเนินการแก้ไขตามข้อกำหนดของมาตรฐาน BS 5607

7.2.4.2 ห้ามผู้ปฏิบัติงานเข้าใกล้บริเวณหน้าอุโมงค์หรือพื้นที่ขุดจนกว่าจะได้รับอนุญาตจากวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

7.2.4.3 ภายหลังจากการระเบิดต้องทำการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันที่จำเป็นทันทีเพื่อรักษาความปลอดภัยของการขุดและผู้ปฏิบัติงาน

7.2.4.4 วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ต้องเก็บบันทึกจำนวน เวลาที่ดำเนินการ ชนิดและประเภทของวัตถุระเบิดที่ใช้ รวมถึงจำนวนและชนิดของตัวจุดระเบิดที่ใช้ พร้อมทั้งบันทึกสถานการณ์หลังการระเบิดในแต่ละพื้นที่

7.2.4.5 สำเนาบันทึกดังกล่าวต้องจัดส่งให้วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ตรวจสอบเมื่อสิ้นสุดกะทำงานทุกครั้งที่มีการระเบิด

7.2.5 การจัดเก็บเอกสารและข้อควรระวังในการจัดการวัตถุระเบิด

7.2.5.1 ผู้รับจ้างต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทั้งหมดในการจัดเก็บเอกสารเกี่ยวกับ การจัดการ การขนส่ง และการใช้วัตถุระเบิด

7.2.5.2 วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ต้องเลือกสถานที่จัดเก็บวัตถุระเบิดตามกฎหมายของกระทรวงมหาดไทยและกระทรวงกลาโหม

7.2.5.3 ผู้รับจ้างต้องติดประกาศ ณ สถานที่ก่อสร้างและประกาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระเบิด ประกาศดังกล่าวต้องมีหลายภาษาให้ครอบคลุมต่อสัญชาติของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ก่อสร้าง

7.2.5.4 การระเบิดที่ใช้วิธีการทางไฟฟ้าต้องไม่ดำเนินการในช่วงที่มีพายุฝนฟ้าคะนองตามข้อกำหนดมาตรฐาน GB 6722

7.3 การเจาะและระเบิด (drilling and blasting operation)

กระบวนการเจาะและระเบิดเป็นขั้นตอนหลักในงานขุดอุโมงค์ในการออกแบบและควบคุมการเจาะและระเบิดจึงจำเป็นต้องดำเนินการโดยอาศัยข้อมูลธรณีวิทยา ขนาดและรูปร่างของอุโมงค์ อุปกรณ์ที่ใช้ วัตถุระเบิด ตลอดจนข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย โดยหัวข้อในการกำหนดประกอบไปด้วยกระบวนการออกแบบ การเลือกประเภทวัตถุระเบิด ขั้นตอนการทำความสะอาดรูเจาะ การบรรจุวัตถุระเบิด และการจุดระเบิดอย่างปลอดภัย

7.3.1 การออกแบบการเจาะและระเบิด

7.3.1.1 ต้องออกแบบการเจาะและระเบิดโดยใช้ข้อมูลทางธรณีวิทยา ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ รูปร่างของอุโมงค์ วิธีการขุด ความยาวในแต่ละรอบการขุด อุปกรณ์เจาะ วัตถุระเบิด ข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ประกอบในการออกแบบ พารามิเตอร์ของการระเบิดต้องปรับเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องตามผลกระทบที่เกิดจากการระเบิด

7.3.1.2 แผนภาพการขุดโดยใช้การเจาะและการระเบิดแสดงอยู่ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.2

7.3.1.3 ข้อกำหนดในการออกแบบการเจาะและระเบิดต้องครอบคลุมถึงการจัดวางระดับความลึก ความชัน จำนวนรูเจาะระเบิด วัตถุระเบิด ปริมาณวัตถุระเบิดและรูปแบบโครงสร้างของวัตถุระเบิด ลำดับการระเบิด การเลือกเครื่องมือเจาะ และข้อกำหนดการเจาะ

7.3.2 การเลือกรูปแบบการขุดและการจัดวางรูปเจาะระเบิด

7.3.2.1 การขุดแบบทรงกระบอก (cylinder cut) หรือการขุดแบบลิ่ม (wedge cut) ต้องเลือกให้เหมาะสมกับเครื่องมือเจาะ ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์ ความยาวรอบการขุด ชนิดของชั้นหินโดยรอบ แรงสั่นสะเทือนจากการระเบิด และข้อกำหนดอื่น ๆ

7.3.2.2 การกำหนดการเจาะสำหรับการระเบิดแบบหน้าเรียบในอุโมงค์หิน ความยาวการขุดต่อรอบต้องไม่เกิน 3.5 m และพารามิเตอร์ของการเจาะและระเบิดต้องกำหนดจากการระเบิดทดสอบ หากไม่มีเงื่อนไขสำหรับการทดสอบ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเลือกโดยอ้างอิงจากตารางที่ 8

**ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการระเบิดแบบหน้าเรียบบริเวณหลังคาอุโมงค์ (ที่มา "Q/CR 9604-2015")**

| ชนิดของหิน | ระยะห่างระหว่างรูระเบิดรอบนอก E (mm) | ระยะห่างระหว่างรูระเบิดถึงหน้าอิสระ (burden) W (mm) | ระยะห่างสัมพันธ์ E/W | ปริมาณวัตถุระเบิดต่อหน่วยความยาวของรูเจาะ q (kg/m) |
|---|---|---|---|---|
| หินแข็งมาก | 500 ถึง 600 | 550 ถึง 750 | 0.8 ถึง 0.85 | 0.25 ถึง 0.40 |
| หินแข็ง | 400 ถึง 550 | 500 ถึง 600 | 0.8 ถึง 0.85 | 0.15 ถึง 0.25 |
| หินอ่อน | 300 ถึง 450 | 450 ถึง 600 | 0.75 ถึง 0.8 | 0.04 ถึง 0.15 |

<u>หมายเหตุ:</u>

1. พารามิเตอร์ที่แสดงในตารางใช้ได้กับความลึกของรูเจาะ 1.0 ถึง 3.5 m เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ 40 ถึง 50 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางตลับระเบิด (explosive cartridge) 20 ถึง 35 mm
2. ในกรณีที่มีหน้าตัดเล็กหรือหินโดยรอบอ่อนแอ มีรอยแตก หรือจำกัดในการขุดให้ได้ตามรูปทรงที่ออกแบบไว้ให้ใช้ค่าที่น้อยสุดเป็นระยะห่างระหว่างรูระเบิดรอบนอก (E)
3. ระยะห่างระหว่างรูระเบิดถึงหน้าอิสระ (burden) (W) ต้องมากกว่าระยะห่างระหว่างรูระเบิดรอบนอก (E) หากใช้ค่าระยะห่างระหว่างรูระเบิดรอบนอกน้อยสำหรับหินที่อ่อนแอ ให้ใช้ค่า W เพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสม ระยะห่างสัมพันธ์ให้ใช้ค่าที่น้อยสำหรับหินที่อ่อนแอ และค่าที่มากสำหรับหินแข็งที่มีขนาดอุโมงค์เล็ก
4. ปริมาณวัตถุระเบิดต่อหน่วยความยาวของรูเจาะ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของระเบิดด้วยวิธีแบบเชิงเส้นและความยาวระเบิด และต้องกำหนดตามประเภทของวัตถุระเบิดและผลการทดสอบการระเบิดระหว่างการก่อสร้าง

7.3.2.3 การจัดวางรูเจาะระเบิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) รูระเบิดรอบนอก (perimeter hole) ของการระเบิดแบบเรียบต้องอยู่ตามแนวเส้นขอบรอบนอกอุโมงค์ ต้องจัดวางตามรูปทรงหน้าตัดของอุโมงค์ และระยะห่างระหว่างรูระเบิดถึงหน้าอิสระ (burden) ต้องสอดคล้องกับแรงระเบิดจากรูระเบิดรอบนอก

(2) ต้องจัดวางอย่าง สม่ำเสมอและสลับกัน ระหว่างรูสำหรับการระเบิดแบบเรียบด้านใน และบริเวณรูตัด (cut hole) โดยระยะห่างของรูเจาะต้องขึ้นอยู่กับ ขนาดของก้อนหินที่ต้องการหลังจากการระเบิด

(3) ตำแหน่งด้านล่างของรูระเบิดและการเจาะรูระเบิด (driving holes) ต้องอยู่ในระดับแนวดิ่งเดียวกัน และบริเวณรูตัดต้องถูกเจาะลึกกว่ารูเจาะระเบิดอีก 100 ถึง 200 mm

7.3.3 การเลือกประเภทวัตถุระเบิด

7.3.3.1 สำหรับการระเบิดอุโมงค์ ต้องเลือกประเภทและรูปแบบของวัตถุระเบิดให้เหมาะสมตามสภาพธรณีวิทยา น้ำใต้ดิน และข้อกำหนดการป้องกันสิ่งแวดล้อม

7.3.3.2 สำหรับบริเวณรูตัดต้องใช้วัตถุระเบิดแรงสูงที่มีคุณภาพสูง

7.3.3.3 สำหรับรูระเบิดที่อยู่ตามแนวเส้นรอบนอกของอุโมงค์ ต้องใช้วัตถุระเบิดที่มีความหนาแน่นต่ำ อัตราการระเบิดต่ำ และมีกำลังระเบิดต้องปรับให้เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเห็นของวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

7.3.4 การเลือกใช้ระบบจุดระเบิด

7.3.4.1 สายชนวนระเบิดและเชื้อปะทุหรือแก๊ปที่ไม่ใช้ไฟฟ้าชนิดถ่วงเวลาแบบมิลลิวินาที ต้องใช้สำหรับการจุดระเบิดเริ่มต้นแบบเครือข่าย (initiation network) การเลือกใช้เชื้อปะทุต้องให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานและการออกแบบการเจาะและระเบิดสามารถใช้เชื้อปะทุแบบแก๊ปไฟฟ้าชนิดถ่วงเวลา

7.3.4.2 สามารถใช้เครื่องจุดระเบิดแบบไฟฟ้า ในการเริ่มต้นจุดระเบิดได้หากจำเป็นเพื่อความแม่นยำในการควบคุมการระเบิด

7.3.4.3 การก่อสร้างอุโมงค์ที่มีแก๊สต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน TB 10120 สำหรับพื้นที่ที่มีแก๊ส ต้องใช้วัตถุระเบิดที่ได้รับอนุญาตสำหรับงานเหมือง และต้องใช้ตัวจุดระเบิดแบบไฟฟ้าสำหรับงานเหมืองในการจุดระเบิด

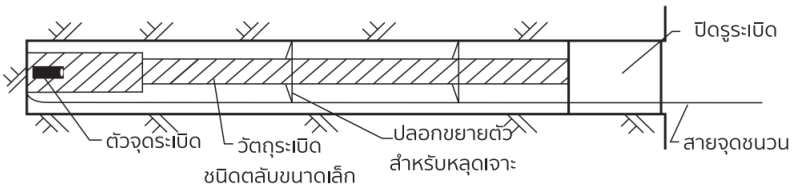
7.3.5 การเลือกโครงสร้างการบรรจุวัตถุระเบิด

7.3.5.1 โครงสร้างการบรรจุวัตถุระเบิดในรูระเบิดบริเวณรูระเบิดตามแนวเส้นขอบรอบนอกอุโมงค์จะแสดงใน รูปที่ 8 ถึง รูปที่ 11 ต้องเลือกโครงสร้างการบรรจุระเบิดแบบต่อเนื่องขนาดเล็กหรือแบบไม่ต่อเนื่องให้เหมาะสมกับสภาพของหิน

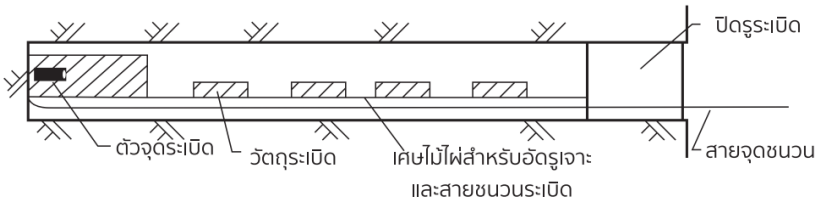
7.3.5.2 ในกรณีหินอ่อนแอ (weak rock) ต้องใช้โครงสร้างบรรจุแบบสายชนวนระเบิด

7.3.5.3 หากความลึกของรูเจาะน้อยกว่า 2 m ต้องใช้ Reverse Charging Structure ในการบรรจุระเบิด เช่น ANFO แต่ในรูที่ลึกกว่า 2m สามารถใช้เครื่องบรรจุวัตถุระเบิดแบบใช้แรงดันลม (air cylinder charging structure) เพื่อเพิ่มพลังงานและประสิทธิภาพของการระเบิด

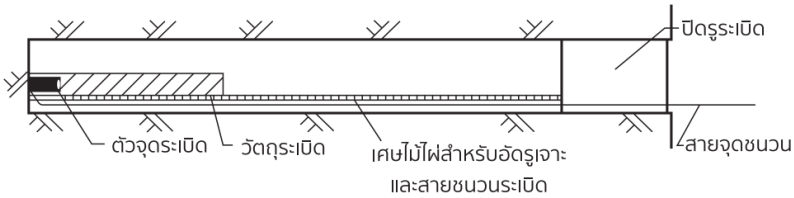
7.3.5.4 สำหรับพื้นที่ขุดที่มีความเสี่ยงจากแก๊สหรือของรอยต่อถ่านหินที่สามารถระเบิดได้ ต้องใช้โครงสร้างบรรจุวัตถุระเบิดแบบ Forward Charging Structure เพื่อความปลอดภัย



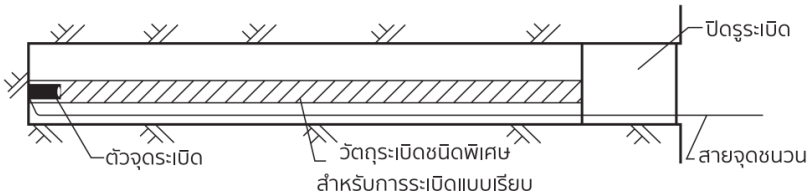

**รูปที่ 8 โครงสร้างการบรรจุระเบิดแบบต่อเนื่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ 9 โครงสร้างการบรรจุระเบิดไม่ต่อเนื่อง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ 10 โครงสร้างการบรรจุระเบิดด้วยสายจุดระเบิด (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ 11 โครงสร้างบรรจุระเบิดของการระเบิดแบบหน้าเรียบแบบพิเศษ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

7.3.6 การควบคุมการระเบิดในพื้นที่พิเศษ

7.3.6.1 สำหรับการระเบิดในพื้นที่พิเศษ เช่น บริเวณที่ตื้น ใกล้กับหินที่อ่อนแอหรือมีรอยแตกร้าว อยู่ใกล้กับโครงสร้างอาคารหรือโครงสร้างใต้ดิน ต้องมีการตรวจสอบดังนี้

(1) ต้องตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการระเบิดต่อโครงสร้างของโครงสร้างอาคาร พื้นผิวอุโมงค์ที่ตื้น และโครงสร้างอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ปากอุโมงค์

(2) ความเร็วการสั่นสะเทือนจากการระเบิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน GB 6722

(3) หากความเร็วการสั่นสะเทือนเกินกว่าที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของมาตรฐาน GB 6722 ต้องปรับพารามิเตอร์ในการออกแบบการระเบิด

(4) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่พิเศษต้องมีการเฝ้าระวังและควบคุมเสียงรบกวนจากการระเบิด มลพิษทางอากาศ รวมไปถึงฝุ่นที่เกิดขึ้น

7.3.7 การเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

7.3.7.1 ปริมาณ ตำแหน่ง ความลึก และความชันของรูเจาะสำหรับการระเบิด ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ

(1) ระยะห่างระหว่างรูเจาะและระยะห่างจากด้านล่างถึงบริเวณรูตัดต้องกำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 50 mm

(2) ระยะห่างของรูเจาะสำหรับการเจาะรูระเบิดต้องกำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 100 mm

(3) รูเจาะด้านล่างต้องไม่ยื่นออกมาเกินจากขอบของหน้าตัดอุโมงค์ที่ได้ออกแบบไว้มากกว่า 150 mm

(4) หากความสูงในการเจาะเกิน 2.0 m ต้องมีการติดตั้งนั่งร้านเมื่อมีการใช้เครื่องเจาะหินแบบใช้มือถือเพื่อปรับให้เหมาะสมกับหน้าตัดของการขุด

7.3.7.2 ในกรณีที่ผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์มีลักษณะโค้งเว้า ปริมาณและความลึกของการเจาะต้องถูกปรับตามเงื่อนไขเฉพาะ เพื่อให้รูเจาะรอบนอกและรูหลักอยู่ในระนาบเดียวกัน

7.3.7.3 หลังจากการเจาะเสร็จสิ้น ต้องมีการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลตามแบบแผนของรูเจาะ หากรูเจาะไม่ผ่านการตรวจสอบต้องเจาะใหม่ การบรรจุวัตถุระเบิดจะไม่สามารถทำได้จนกว่าการตรวจสอบรูเจาะจะเสร็จสิ้น

7.3.7.4 ต้องใช้เครื่องเจาะหินขนาดใหญ่ให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเจาะและการระเบิด

7.3.8 ข้อกำหนดสำหรับการบรรจุวัตถุระเบิด (charging operation)

7.3.8.1 ห้ามดำเนินการบรรจุวัตถุระเบิด บริเวณผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ที่ดำเนินการเจาะรูระเบิดในเวลาเดียวกัน

7.3.8.2 ต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยในพื้นที่ใกล้เคียงกับหน้าระเบิด และหากมีปัญหาต้องแก้ไขปัญหาที่พบโดยทันที ก่อนการบรรจุวัตถุระเบิด

7.3.8.3 ต้องทำความสะอาดรูระเบิดก่อนการบรรจุ เพื่อนำเศษวัสดุ และน้ำที่อยู่ในรูระเบิดออก หากใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยลมอัด ต้องป้องกันการเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานจากเศษฝุ่นหรือวัตถุที่กระเด็นออกจากรูระเบิด

7.3.8.4 ต้องตรวจสอบสภาพรูระเบิดก่อนการบรรจุ เช่น ความลึก มุม ทิศทาง หากพบว่ารูระเบิดไม่ได้มาตรฐาน เช่น รูยุบหรือแตกร้าว ต้องดำเนินการแก้ไข ห้ามดำเนินการบรรจุวัตถุระเบิดในรูที่ไม่ได้มาตรฐาน

7.3.8.5 วิธีการบรรจุวัตถุระเบิดต้องดำเนินการด้วยเครื่องบรรจุวัตถุระเบิด

(1) การบรรจุแบบ Forward Charging ต้องใส่วัตถุระเบิดที่บรรจุเชื้อปะทุซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจุดระเบิด (detonating cartridge) เป็นลำดับสุดท้าย พลังงานของตัวจุดระเบิดและวัตถุระเบิดทั้งหมดต้องหันไปทางปลายรูระเบิด

(2) การบรรจุแบบ Reverse Charging ต้องใส่วัตถุระเบิดที่บรรจุเชื้อปะทุซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจุดระเบิดก่อน พลังงานของตัวจุดระเบิดและวัตถุระเบิดทั้งหมดต้องหันไปทางด้านนอกของรูระเบิด

7.3.8.6 การปิดปากรูระเบิด (stemming) ที่บรรจุวัตถุระเบิดแล้ว (charged blasting hole)

(1) ต้องมีการปิดปากรูระเบิดตามความเหมาะสมและตามจุดประสงค์ในการควบคุมแรงระเบิดซึ่งกำหนดและควบคุมโดยวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่

7.3.8.7 ความลึกในการปิดปากรูระเบิด

(1) ความลึกในการปิดปากรูระเบิดของการระเบิดแบบหน้าเรียบต้องไม่ต่ำกว่า 300 mm สำรับการปิดปากรูระเบิดในรูระเบิดอื่น ๆ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1.1) สำหรับรูระเบิด ที่มีความลึกต่ำกว่า 1 m ความลึกในการอุดต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกรู

(1.2) สำหรับรูระเบิดที่มีความลึกตั้งแต่ 1 m ถึง 2.5 m ความลึกในการอุดต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 m

(1.3) สำหรับรูระเบิดที่มีความลึกมากกว่า 2.5 m ความลึกในการอุดต้องไม่ต่ำกว่า 1 m

7.3.9 เชื้อปะทุสำหรับการจุดระเบิด

7.3.9.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจุดระเบิดต้องมีดังนี้ เชื้อปะทุที่ไม่ใช้ไฟฟ้าชนิดถ่วงเวลา (non-electric detonator) สายช็อคทิวบ์ (shock tube) หรือระบบสายชนวนระเบิด (detonating cord system)

7.3.9.2 ข้อปฏิบัติในการจุดระเบิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ก่อนการจุดระเบิดทุกครั้ง วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ต้องตรวจสอบเครือข่ายการจุดระเบิดอย่างละเอียด

(2) ในหน้าตัดการขุดเดียวกัน ลำดับการจุดระเบิดแบบเรียบต้องเริ่มระเบิดจากด้านในไปด้านนอกตามลำดับชั้น

(3) การหน่วงเวลาการจุดระเบิดต้องถูกควบคุมจากเชื้อปะทุภายในรูระเบิด

(4) วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ต้องเป็นคนสุดท้ายที่ออกจากพื้นที่จุดระเบิด และต้องจุดระเบิดในสถานที่ปลอดภัยที่มีการป้องกันจากการระเบิด

(5) ก่อนการระเบิดต้องตรวจสอบจำนวนคนและยืนยันความถูกต้อง ก่อนอนุญาตให้ดำเนินการจุดระเบิดได้ เมื่อวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ได้รับคำสั่งจุดระเบิด ต้องให้สัญญาณเตือนการระเบิดก่อนและเริ่มจุดระเบิดหลังจากการให้สัญญาณเตือน 5 s

(6) การจัดการความผิดพลาดในการระเบิดต้องดำเนินการภายใต้คำแนะนำโดยตรงของวิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ และต้องเสร็จสิ้นในกะการทำงานเดียวกัน หากไม่สามารถดำเนินการได้ต้องส่งมอบต่อให้วิศวกรวิชาชีพวิศวกรรมเหมืองแร่ในกะการทำงานถัดไป

7.3.10 มาตรการความปลอดภัยระหว่างระเบิดและผลลัพธ์การระเบิด

7.3.10.1 เมื่อดำเนินการระเบิดผู้ปฏิบัติงานทุกคนต้องอพยพไปยังพื้นที่ปลอดภัยที่ไม่มีแก๊สอันตราย การสั่นสะเทือน และเศษหินที่กระเด็นจากการระเบิด ระยะของพื้นที่ปลอดภัยจากผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ ต้องกำหนดตามวิธีการระเบิดและการคำนวณปริมาณวัตถุระเบิด และต้องไม่ต่ำกว่า 200 m

7.3.10.2 ผลการระเบิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(1) ภายหลังจากการจุดระเบิดในบริเวณที่ทำการระเบิดต้องไม่มีหินที่ร่อนออกมาเป็นเศษเล็ก ๆ หรือพังทลาย

(2) รูปทรงของการขุดต้องสอดคล้องกับรูปทรงของอุโมงค์จากการออกแบบ และหน้าผิวขุดต้องเรียบ

(3) การเหลื่อมกันจากการระเบิดทั้งสองครั้งในอุโมงค์ต้องไม่เกิน 150 mm เมื่อใช้เครื่องเจาะหินแบบใช้มือ (rock boring machine) และ 250 mm เมื่อใช้เครื่องเจาะหินแบบจัมโบเพื่อเจาะรู (rock boring jumbo)

(4) ระยะการขุดต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดการออกแบบการระเบิดและขนาดของวัสดุจากการระเบิดต้องได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ก่อนการระเบิด

(5) อัตราของการรักษาแนวอุโมงค์เดิม บริเวณเส้นรอบวงของการระเบิดต้องไม่น้อยกว่า 80% สำหรับหินแข็ง และ 60% สำหรับหินแข็งปานกลาง และร่องรอยต้องกระจายอย่างเท่ากันตลอดแนวของการขุด

7.3.11 มาตรการเสริมประสิทธิภาพการระเบิดแบบเรียบ

7.3.11.1 เพื่อให้การระเบิดแบบเรียบ มีประสิทธิภาพ สามารถดำเนินมาตรการทางเทคนิคดังต่อไปนี้

(1) การกำหนดเส้นรอบวงและรูระเบิดต้องดำเนินการโดยใช้เครื่องตรวจวัดรูปแนวหน้าตัดด้วยเลเซอร์ (laser profiler) สำหรับอุโมงค์หรือเครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเส้นรอบวง ± 20 mm

(2) ตำแหน่งการเจาะรูระเบิดต้องปรับให้เหมาะสมกับความแข็งของหินรอบข้าง

(2.1) ในชั้นหินแข็งรูระเบิดต้องอยู่บริเวณเส้นรอบวงของอุโมงค์

(2.2) ในชั้นหินที่อ่อนแอรูระเบิดต้องอยู่ห่างจากเส้นรอบวงของอุโมงค์ด้านในระหว่าง 50 ถึง 100 mm

(3) การลดมุมเอียงออกด้านนอกของรูระเบิด

(3.1) รูที่มีความลึกน้อยกว่า 3 m มุมเอียงออกด้านนอกที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน ± 5% ของความลึกรู

(3.2) รูที่มีความลึกมากกว่า 3 m มุมเอียงออกด้านนอกที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน ± 3% ของความลึกรู

(3.3) ทิศทางของมุมเอียงออกด้านนอกต้องตั้งฉากกับเส้นรอบวงของผนังอุโมงค์ในบริเวณนั้น

7.4 การควบคุมการแตกร้าวเกิดขอบเขตและน้อยกว่าขอบเขตในการขุดอุโมงค์

การควบคุมการแตกร้าวเป็นการควบคุมปริมาณการขุดที่ไม่สอดคล้องกับแนวออกแบบ เพื่อรักษาแนวอุโมงค์ให้แม่นยำ ป้องกันการเสียรูปของโครงสร้าง ลดการใช้วัสดุค้ำยันอย่างสิ้นเปลือง และควบคุมต้นทุนงานก่อสร้าง โดยกำหนดให้การขุดที่มีความคลาดเคลื่อนจากขอบเขตต้องอยู่ภายในพิกัดที่ยอมรับได้ประกอบไปด้วย การแตกร้าวเกิดขอบเขตและน้อยกว่าขอบเขต

7.4.1 การแตกร้าวที่อนุญาตของอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 9 ทั้งนี้การตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานสทร. HSR-CT-4012:2568 มาตรฐานงานตรวจวัดและติดตามในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูงเป็นหลัก

**ตารางที่ 9 การขุดเกินขอบเขตที่ยอมให้ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| ตำแหน่งการขุด \ ระดับของหิน | | เกรดของหิน | | |
|---|---|---|---|---|
| | | I | II ถึง IV | V และ VI |
| หลังคาอุโมงค์ ผนังด้านข้าง | ค่าเฉลี่ยของการขุดเกินขอบเขต (mm) | 100 | 150 | 100 |
| | การขุดเกินขอบเขตสูงสุด (mm) | 200 | 250 | 150 |
| ค่าเฉลี่ยของการขุดเกินขอบเขตของเส้นตรงของผนังด้านข้าง (mm) | | 100 | 100 | 100 |
| ฐานอุโมงค์ | ค่าเฉลี่ยของการขุดเกินขอบเขต (mm) | 100 | | |
| | การขุดเกินขอบเขตสูงสุด (mm) | 250 | | |

7.4.2 การขุดเล็กกว่าขอบเขตต้องถูกควบคุมอย่างเข้มงวด โดยส่วนของหินที่ยื่นออกมาในพื้นที่ 0.1 m² ต่อพื้นที่ผิวอุโมงค์ 1 m² ต้องไม่เกิน 50 mm

7.4.3 การขุดเกินขอบเขต และ การขุดเล็กกว่าขอบเขต ต้องถูกวัดตามวิธีที่กำหนดในตารางที่ 10

**ตารางที่ 10 วิธีการตรวจวัดการขุดเกินขอบเขตและการขุดเล็กกว่าขอบเขตสำหรับอุโมงค์ (ที่มา "Q/CR 9604-2015")**

| วิธีการตรวจวัดและอุปกรณ์ | คำอธิบายวิธีการ |
|---|---|
| การวัดโดยใช้ลำแสงเลเซอร์ | ใช้เครื่องมือวัดทิศทางแบบเลเซอร์หรือกล้องสำรวจแบบเลเซอร์ใช้สำหรับวัดค่าเชิงเส้นของการขุดเกินขอบเขต และ การขุดเล็กกว่าขอบเขตในตำแหน่งเฉพาะ |
| การวัดด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม | ติดแผ่นสะท้อนแสงบนจุดที่จะวัด และใช้กล้องสำรวจแบบประมวลผลรวมเพื่อวัดพิกัดสามมิติของแต่ละจุด จากนั้นคำนวณเพื่อวาดหน้าตัดการขุด และเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ออกแบบไว้ |
| การวัดด้วยเครื่องเลเซอร์สำรวจระยะห่าง | ประกอบด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม แบบไม่มีตัวสะท้อนแสง และวัดพื้นผิวการขุด (หน้าตัดของการออกแบบและส่วนหน้าตัดจริง) โดยมีการระบุการขุดเกินขอบเขต และ การขุดเล็กกว่าขอบเขตของจุดที่ตั้งไว้ล่วงหน้า |

7.5 การระบายอากาศและการควบคุมฝุ่นระหว่างการก่อสร้าง (ventilation and dust control during construction)

7.5.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการระบายอากาศและควบคุมฝุ่นระหว่างการก่อสร้าง

7.5.1.1 เมื่อขุดอุโมงค์ทางเดียวที่มีความยาวมากกว่า 150 m ต้องมีการใช้ระบบระบายอากาศ หากมีความยาวมากกว่า 1000 m ต้องมีการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะของโครงการ

7.5.1.2 การระบายอากาศของการก่อสร้างอุโมงค์ต้องถูกรวมไว้ในแผนบริหารการก่อสร้าง และต้องจัดทีมงานในบริหารและจัดการระบบ

7.5.1.3 สภาพแวดล้อมการทำงานภายในอุโมงค์ต้องเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และการดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศ พ.ศ. 2562 และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดนี้

(1) ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ต้องไม่ต่ำกว่า 20% ต่อปริมาตร

(2) ฝุ่นที่มีปริมาณซิลิกาอิสระ (free silicon dioxide) มากกว่า 10% ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ยอมให้ต้องไม่เกิน 2 $mg/m^3$ และสำหรับฝุ่นแร่ที่มีซิลิกาอิสระน้อยกว่า 10% ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ยอมให้ต้องไม่เกิน 4 $mg/m^3$

(3) ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายทั่วไปในอากาศ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(3.1) ค่าความเข้มข้นของ คาร์บอนมอนอกไซด์ ต้องไม่เกิน 30 $mg/m^3$ ในบริเวณหน้าผิวขุดหน้าอุโมงค์ค่าความ

เข้มข้นของ คาร์บอนมอนอกไซด์ ต้องไม่เกิน 100 mg/m$^3$ โดยที่การทำงานของเครื่องจักรต้องไม่เกิน 30 min

(3.2) ค่าความเข้มข้นของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไม่เกิน 0.5% ต่อปริมาตร

(3.3) ค่าความเข้มข้นของ ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อแปลงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องไม่เกิน 5 mg/m$^3$

(3.4) ค่าความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องไม่เกิน 10 mg/m$^3$

7.5.1.4 การระบายอากาศระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีการพบก๊าซธรรมชาติ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน TB10120

7.5.1.5 ต้องจัดให้มีปริมาตรอากาศขั้นต่ำสำหรับการทำงานในอุโมงค์แต่ละประเภทอย่างเพียงพอโดยต้องจัดให้อากาศบริสุทธิ์แก่คนงานไม่น้อยกว่า 3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อคน

7.5.1.6 ความเร็วลมของการระบายอากาศระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ต้องไม่ต่ำกว่า 0.15 m/s สำหรับวิธีการขุดเต็มหน้าตัด (full face method) สำหรับวิธีการขุดบางส่วน (partial excavation method) ความเร็วลมของการระบายอากาศต้องไม่ต่ำกว่า 0.25 m/s แต่ความเร็วลมของการระบายอากาศต้องไม่เกิน 6 m/s

7.5.1.7 สำหรับอุโมงค์ที่มีก๊าซ (gas-bearing tunnel) ความเร็วลมของการระบายอากาศระหว่างก่อสร้างต้องไม่น้อยกว่า 1 m/s

7.5.1.8 เมื่อคำนวณปริมาตรอากาศที่ต้องการสำหรับการระบายอากาศในอุโมงค์ที่มีก๊าซโดยอ้างอิงจากอัตราการปล่อยก๊าซ (absolute gas emission)ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) ในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของก๊าซต่ำ (low gas concentration) ให้ควบคุมความเข้มข้นของก๊าซในทุกบริเวณของอุโมงค์ไม่ให้เกิน 0.5%

(2) สำหรับการขุดอุโมงค์เพียงฝั่งเดียวที่ยาว ในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของก๊าซสูงหรือมีแนวโน้มที่จะเกิดการระเบิดของก๊าซให้ควบคุมความเข้มข้นของก๊าซที่บริเวณหน้าขุดไม่ให้เกิน 0.5%

7.5.2 การระบายอากาศระหว่างการก่อสร้าง (ventilation during construction)

7.5.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดประเภทและการออกแบบของระบบระบายอากาศพิจารณาจาก ความยาวของอุโมงค์ ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ วิธีการก่อสร้าง สภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ รวมถึงเงื่อนไขอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

7.5.2.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ระบายอากาศที่เหมาะสม ให้พิจารณาโดยการคำนวณตามสภาพแวดล้อมของอุโมงค์จำนวนแรงงานและเครื่องจักรที่ต้องใช้ ระยะความยาวของอุโมงค์ขุดทางเดียว (single head tunneling) ประเภทของ

การขนย้ายวัสดุ (muck loading and transport type) ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ (cross-section size) ประเภทของระบบระบายอากาศ (ventilation type) และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการก่อสร้าง

7.5.2.3 การออกแบบระบบระบายอากาศในการก่อสร้าง ต้องมีการคำนวณปริมาตรอากาศ โดยให้พิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่ ปริมาตรควันระเบิด จำนวนแรงงานสูงสุดที่ทำงานภายในอุโมงค์ในเวลาเดียวกัน ความเร็วลมขั้นต่ำที่ต้องการ ปริมาณการปล่อยก๊าซ การเจือจางและการระบายของไอเสียจากเครื่องจักรที่มีการเผาไหม้ภายใน

7.5.2.4 การติดตั้งและการใช้งานพัดลมระบายอากาศ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) การติดตั้ง พัดลมหลัก (main fan) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบระบบระบายอากาศ พัดลมหลักของระบบระบายอากาศต้องติดตั้งบนแท่นรองรับที่มีความสูงที่เหมาะสม และอยู่ห่างจากปากอุโมงค์ไม่น้อยกว่า 30 m

(2) ต้องควบคุมให้พัดลมหลักทำงานอย่างต่อเนื่องในสภาวะปกติหากมีความจำเป็นต้องหยุดการทำงานชั่วคราว ต้องหยุดการทำงานบริเวณหน้าขุดที่ได้รับผลกระทบจากการหยุดจ่ายอากาศทันที

(3) พื้นที่ด้านหน้าและด้านหลังของพัดลม ในระยะไม่เกิน 5 m ห้ามวางสิ่งของหรือวัสดุใด ๆ ขวางทางลม ที่ช่องดูดอากาศของพัดลมต้องติดตั้ง ตะแกรงเหล็ก และพัดลมต้องติดตั้งอุปกรณ์นิรภัย ในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้อง ระบบต้องสามารถหยุดการทำงานของพัดลมโดยอัตโนมัติได้

(4) สำหรับอุโมงค์ที่มีความยาวมากให้จัดเตรียม พัดลมฉุกเฉิน และระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินไว้รองรับการทำงานฉุกเฉิน

(5) หากความเร็วลมภายในอุโมงค์ต่ำกว่าค่าความเร็วขั้นต่ำที่ออกแบบไว้ ให้ติดตั้ง พัดลมเสริม เพื่อช่วยเร่งความเร็วลมและเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของอากาศภายในอุโมงค์

7.5.2.5 การติดตั้งท่อลมระบายอากาศ (installation of ventilation duct) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) วัสดุของท่อลมระบายอากาศให้ใช้ท่อลมชนิดยืดหยุ่นที่มีความแข็งแรงสูง ความต้านทานต่ำ และสามารถทนไฟได้

(2) ระยะจากปลายท่อลมถึงหน้าขุด (excavation face distance) ให้กำหนดตามสภาพการทำงานจริง โดยระยะจากปลายท่อลมของระบบระบายอากาศ ถึงหน้าผิวขุดต้องไม่เกิน 4 ถึง 5 เท่า ของพื้นที่หน้าผิวขุดอุโมงค์

(3) หลังจากติดตั้งระบบท่อลมแล้ว ต้องปรับแนวทางลมให้ราบเรียบ ไม่บิดงอหรือย่น เพื่อให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

7.5.3 การควบคุมฝุ่นระหว่างการก่อสร้าง (dust control during construction)

7.5.3.1 ให้ดำเนินมาตรการควบคุมฝุ่นในงานก่อสร้างอุโมงค์อย่างครอบคลุม โดยต้องตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น และความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายในอากาศบริเวณหน้าขุดในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ไม่น้อยกว่าหนึ่งครั้งต่อเดือน

7.5.3.2 การเจาะหินต้องใช้ วิธีเจาะแบบเปียก (wet rock drilling) เท่านั้น ห้ามใช้การเจาะแบบแห้ง (dry rock drilling) โดยเด็ดขาดการพ่นคอนกรีต (shotcrete) สามารถใช้วิธีพ่นแบบเปียก (wet spraying process) และเครื่องจักรที่มีการเผาไหม้ภายใน (internal combustion machinery) ต้องติดตั้ง อุปกรณ์กรองและทำความสะอาดไอเสีย (exhaust purification device)

7.5.3.3 การเจาะหิน การขนย้ายหิน (muck loading) และการขนส่งวัสดุ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) เมื่อใช้เครื่องเจาะแบบลมอัด (pneumatic drilling machine) ต้องจ่ายน้ำร่วมกับลมอัดในขณะทำการเจาะ

(2) หลังการระเบิด ให้ทำการฉีดพ่นน้ำหรือรดน้ำบริเวณหน้าขุดเพื่อควบคุมฝุ่น

(3) ก่อนทำการขนย้ายวัสดุ (mucking) ต้องทำการพรมน้ำบริเวณกองวัสดุและผนังหินโดยรอบ

(4) พนักงานก่อสร้างทุกคนต้องสวม หน้ากากป้องกันฝุ่น (dustproof mask) ตลอดระยะเวลาการทำงาน

7.5.3.4 ในกรณีที่กระแสลมอากาศบริสุทธิ์ (fresh air flow) ไหลผ่านบริเวณทำงานหลายจุดติดต่อกันหากค่าความเข้มข้นของฝุ่นระหว่างบริเวณหน้าขุดสองจุดหรือภายในช่วงระยะซ้อนของท่อลมระบายอากาศของระบบระบายอากาศแบบผสม (mixed ventilation system) เกินค่าที่กำหนด ให้ดำเนินมาตรการควบคุมหรือกำจัดฝุ่นโดยทันที

7.5.3.5 สำหรับถนนขนส่งวัสดุในอุโมงค์ที่มีความยาวมาก หรืออุโมงค์ระยะยาวพิเศษ (long and extra-long tunnels) ให้ดำเนินการ ฉีดพ่นน้ำควบคุมฝุ่น (dust suppressing) หรือ ติดตั้งระบบกำจัดฝุ่น (dust removing system) ตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

## 7.6 งานปากทางเข้าอุโมงค์ (portal)

บริเวณปากทางเข้าอุโมงค์เป็นส่วนที่มีความสำคัญทางโครงสร้างและการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างโครงสร้างพื้นผิวกับโครงสร้างใต้ดินทำให้จำเป็นต้องวางมาตรการควบคุมพิเศษและใช้เทคนิคทางวิศวกรรมที่เหมาะสม

### 7.6.1 ข้อกำหนดทั่วไปของงานปากทางเข้าอุโมงค์

7.6.1.1 แนวทางการก่อสร้างปากอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ต้องหลีกเลี่ยงการก่อสร้างในฤดูฝนและฤดูหนาว

(2) ความกว้างและความแตกต่างของระดับระหว่างอุโมงค์และส่วนชั้นดินเดิมที่อยู่ใกล้เคียงต้องปรับตามขอบเขตของชั้นดินเดิม

(3) งานสะพาน ท่อระบายน้ำ และการป้องกันชั้นดินเดิมใกล้ปากอุโมงค์ต้องทำเสร็จให้เร็วที่สุด

(4) การก่อสร้างบริเวณปากอุโมงค์ต้องดำเนินการโดยลดความสูงการขุดบริเวณลาดงานขุดด้านหน้าปากอุโมงค์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพและความเสียหายต่อพืชพรรณ

(5) การก่อสร้างบริเวณปากอุโมงค์ต้องใช้การระเบิดควบคุมด้วยแรงสั่นสะเทือนต่ำ (micro vibration controlled blasting) หากมีโครงสร้างอาคารอยู่ใกล้พื้นที่การก่อสร้าง ต้องเฝ้าติดตามการทรุดตัว รอยแตกร้าว และแรงสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคาร ที่เกิดจากการเจาะระเบิด

(6) หากการก่อสร้างอุโมงค์อยู่ใกล้ถนนทางหลวง ต้องมีมาตรการป้องกันและเสริมความแข็งแรงเพื่อความปลอดภัยในเรื่องการทรุดตัวของถนน และต้องเฝ้าติดตามการทรุดตัวของถนนทางหลวง

7.6.1.2 การทำทางเข้าพื้นที่ทำงานและการปรับระดับพื้นที่ก่อสร้างต้องลดความเสียหายต่อสภาพภูมิประเทศเดิมและผลกระทบต่อความมั่นคงของหินปากอุโมงค์ให้มากที่สุด

7.6.1.3 การระบายน้ำภายนอกอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ระบบระบายน้ำบริเวณปากอุโมงค์ต้องทำร่วมกับระบบระบายน้ำถาวรและอุโมงค์บริการ (service gallery) เพื่อให้น้ำระบายเข้าสู่คูน้ำและหุบเขาธรรมชาติในระยะสั้น

(2) ต้องหลีกเลี่ยงบริเวณธรณีวิทยาที่มีความเสี่ยง ซึ่งไม่เอื้ออำนวยและไม่มั่นคง หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องมีมาตรการจัดการล่วงหน้าเพื่อลดความเสี่ยง

(3) ระบบระบายน้ำภายนอกอุโมงค์ต้องหลีกเลี่ยงการสร้างผลกระทบการกัดเซาะ การพังทลาย ความชื้น และผลกระทบอื่น ๆ ต่อพื้นที่และฐานรากที่อยู่ใกล้เคียง หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ต้องมีการจัดการด้วยมาตรการในการจัดการ

(4) ในการออกแบบรางระบายน้ำป้องกันตะกอนและการกัดเซาะ รางระบายน้ำต้องมีความลาดเอียงที่สามารถป้องกันการตกตะกอนในคูน้ำและคลองระบายน้ำที่อยู่นอกอุโมงค์ และต้องหลีกเลี่ยงความเร็วของกระแสน้ำที่มากเกินไปเพื่อป้องกันความเสียหายต่อคูน้ำและคลอง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างต้องมีความสามารถในการต้านทานการกัดเซาะ และหากจำเป็นต้องจัดให้มีอาคารสลายพลังงาน

7.6.2 การขุดและการป้องกันเสถียรภาพลาดงานขุดด้านข้างและด้านหน้า

7.6.2.1 ผังกระบวนการก่อสร้างสำหรับการขุดและการป้องกันลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้าของปากอุโมงค์แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.7

7.6.2.2 การจัดการน้ำก่อนการขุดลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้า งานดักน้ำและระบายน้ำต้องก่อสร้างแล้วเสร็จ การจัดการน้ำผิวดินด้านบนอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ร่องดักน้ำและร่องระบายน้ำของลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้าต้องเชื่อมต่อกับระบบระบายน้ำในชั้นดินเดิมภายนอกอุโมงค์ได้

(2) ในกรณีที่ลาดเอียงความชัน ต้องทำการปรับลาดให้มีความชันน้อยลงและเสริมความแข็งแรง เช่น การเสริมฐานร่องน้ำ และต้องใช้มาตรการป้องกันการกัดเซาะ เช่น การห่อหุ้มบริเวณทางเข้าของร่องน้ำ

(3) สำหรับน้ำผิวดิน แอ่งน้ำ กรวย น้ำซึม รอยแตก และอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและการก่อสร้างอุโมงค์ ต้องดำเนินการ เช่น การป้องกันน้ำ การระบายน้ำ และการดักน้ำ เป็นต้น

(4) ในกรณีของร่องน้ำธรรมชาติบริเวณปากอุโมงค์และทางน้ำที่ข้ามด้านบนปากอุโมงค์ ต้องจัดให้มีท่อระบายน้ำ

7.6.2.3 ดินผิวดินและหินแตกที่อยู่เหนือลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้าซึ่งตกลงมาหรือมีความเสี่ยงที่จะตกลงมาในพื้นที่ทำงาน ต้องถูกกำจัดออกให้หมดเพื่อลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

7.6.2.4 ลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้าบริเวณปากอุโมงค์ต้องขุดและเสริมกำลังเป็นลำดับขั้น โดยเริ่มทำการก่อสร้างจากด้านบนลงด้านล่าง และงานเสริมความมั่นคง การป้องกัน การกันน้ำ และการระบายน้ำต้องเสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนด

7.6.3 อุโมงค์แบบเปิด (open-cut tunnel)

7.6.3.1 หลักการและวิธีการก่อสร้างอุโมงค์แบบเปิดสำหรับงานปากอุโมงค์

(1) อุโมงค์แบบเปิดต้องก่อสร้างด้วยวิธีขุดและถมกลับ (cut-and-cover method) ผังกระบวนการก่อสร้างของอุโมงค์แบบเปิดแสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.8

(2) สำหรับอุโมงค์แบบเปิดที่ตั้งอยู่บนลาดชันหรือพื้นที่ที่มีการแตกของหินและพื้นดินอ่อน ต้องก่อสร้างโครงสร้างค้ำยันโดยใช้หลังคาอุโมงค์ผนังด้านข้าง (arch) จากนั้นจึงดำเนินการขุดดินภายใต้การป้องกัน กำแพงกันดินด้านข้างต้องได้รับการค้ำยันอย่างเหมาะสม การหล่อแนวโครงสร้างภายในของอุโมงค์แบบเปิดต้องดำเนินการตามวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน

(3) ผังกระบวนการก่อสร้างของอุโมงค์แบบเปิดด้วยวิธีขุดใต้ดินแสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.9

(4) อุโมงค์แบบเปิดต้องดำเนินการก่อสร้างโดยเร็วที่สุด และต้องทำการหล่อฐานของอุโมงค์ก่อนการก่อสร้างส่วนโครงสร้างผนังด้านข้างและโครงเหล็กในการค้ำยัน

(5) เมื่ออุโมงค์ถูกขุดด้วยวิธีการระเบิด อุโมงค์แบบเปิดต้องก่อสร้างหลังจากการขุดอุโมงค์ด้วยการระเบิดเข้าไปบางส่วนแล้ว

(6) หากอุโมงค์ไม่ได้ขุดด้วยวิธีการระเบิด ปากอุโมงค์ต้องก่อสร้างก่อนเริ่มขุดตัวอุโมงค์

(7) ฐานรากของอุโมงค์แบบเปิดต้องอยู่บนพื้นฐานที่มั่นคง หากฐานรากของผนังด้านข้างอ่อนแอหรือมีความแข็งแรงไม่เท่ากัน ต้องดำเนินมาตรการแก้ไขเพื่อป้องกันการทรุดตัวที่ไม่สม่ำเสมอของฐานราก

7.6.3.2 ข้อกำหนดการก่อสร้างโครงสร้างภายในของอุโมงค์แบบเปิดต้องเป็นไปดังนี้

(1) โครงสร้างภายในของอุโมงค์แบบเปิดต้องไม่ยื่นออกมานอกแนวจากการออกแบบ ก่อนการหล่อคอนกรีต ต้องทำการตรวจวัดแนวศูนย์กลาง ระดับความสูง และขนาดโครงร่างด้านนอกของแบบหล่อใหม่

(2) ต้องจัดให้มีแผ่นปิดพื้น แบบหล่อภายนอก และโครงสร้างแบบหล่อชั่วคราวสำหรับการหล่อคอนกรีตของอุโมงค์แบบเปิด

(3) สำหรับอุโมงค์แบบเปิดที่ต้องถมกลับในเวลาที่เหมาะสม แบบหล่อภายในต้องไม่ถอดออกจนกว่าการถมกลับจะถึงระดับฐานโครงสร้างค้ำยันโครงเหล็ก และความแข็งแรงของคอนกรีตถึง 70% ของความแข็งแรงตามการออกแบบ

(4) การก่อสร้างระบบกันน้ำและการระบายน้ำของอุโมงค์แบบเปิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(4.1) หลังจากถอดแบบหล่อภายนอกของอุโมงค์แบบเปิดแล้ว ต้องก่อสร้างชั้นกันน้ำและท่อระบายน้ำในเวลาที่เหมาะสม และต้องเชื่อมต่อกับชั้นกันน้ำและท่อระบายน้ำของตัวอุโมงค์

(4.2) การก่อสร้างระบบกันน้ำและการระบายน้ำของอุโมงค์แบบเปิดต้องจัดให้สอดคล้องกับการก่อสร้างทางออกของร่องระบายน้ำด้านข้างและร่องระบายน้ำกลางของตัวอุโมงค์ รวมถึงอุปกรณ์ดักน้ำและระบายน้ำเหนืออุโมงค์

(4.3) การก่อสร้างงานถมกลับต้องไม่เริ่มต้นจนกว่าท่อกรองน้ำระบายที่อยู่นอกอุโมงค์แบบเปิดจะถูกติดตั้งเสร็จสิ้นเพื่อให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างราบรื่น

7.6.3.3 ข้อกำหนดการถมกลับของอุโมงค์แบบเปิดต้องเป็นไปดังนี้

(1) ระหว่างการถมกลับ ต้องเสริมความแข็งแรงให้กับชั้นกันน้ำและระบบระบายน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหาย

(2) การถมกลับด้านหลังของผนังอุโมงค์ด้านข้างต้องดำเนินการอย่างสมมาตร สำหรับชั้นหิน

(3) หากมีช่องว่างระหว่างพื้นผิวหินและผนังมีขนาดเล็ก ต้องทำการเติมด้วยคอนกรีตที่มีเกรดเดียวกันกับตัวผนังอุโมงค์ อย่างแน่นหนา

(4) เมื่อการถมกลับถึงระดับของหลังคาอุโมงค์ต้องดำเนินการถมกลับเต็มความกว้างเป็นชั้น ๆ จนกว่าจะถึงระดับการออกแบบ

(5) การถมกลับเหนือโครงสร้างชั่วคราวของอุโมงค์ต้องดำเนินการเป็นชั้น ๆ โดยใช้เครื่องจักรขนาดเล็ก

(6) แต่ละชั้นที่ถมกลับ ต้องมีความหนาไม่เกิน 0.3 m และระดับความสูงของดินที่ถมกลับทั้งสองด้านต้องไม่ต่างกันเกิน 0.5 m

(7) เมื่อระดับความสูงของดินที่ถมกลับเกินโครงสร้างค้ำยันมากกว่า 1.0 m จึงจะสามารถใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการถมกลับได้

(8) หากจำเป็นต้องมีชั้นป้องกันน้ำสำหรับชั้นดินผิวหน้า ชั้นป้องกันน้ำต้องเชื่อมต่อกับลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้า เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำผิวดิน

7.6.4 การก่อสร้างส่วนปากอุโมงค์

7.6.4.1 ต้องเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมตามสภาพธรณีวิทยา ผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารบนผิวดิน และความปลอดภัยในการก่อสร้าง ห้ามใช้วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัดและหากใช้วิธีการขุดแบบขั้นบันได ห้ามใช้ระยะของขั้นบันไดที่ยาวเกินกำหนด

7.6.4.2 ข้อกำหนดการก่อสร้างส่วนปากอุโมงค์ต้องเป็นไปตามดังนี้

(1) ก่อนการขุดอุโมงค์ต้องสร้างโครงสร้างค้ำยันล่วงหน้าตามการออกแบบ

(2) ในส่วนปากอุโมงค์ต้องเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น และต้องสร้างวงแหวนโครงสร้างค้ำยันปิดให้เร็วที่สุด

(3) ต้องมีการตรวจวัดและตรวจสอบส่วนปากอุโมงค์อย่างสม่ำเสมอและมีความถี่ในการตรวจวัดมากขึ้น

7.6.4.3 หากส่วนปากอุโมงค์อยู่ภายใต้แรงกดดันที่ไม่สมดุล ก่อนการขุด โครงสร้างส่วนปากอุโมงค์และการถมกลับต้องเสร็จสิ้นตามการออกแบบ

7.6.4.4 ต้องใช้สลักเกลียวยึดพื้นผิว (surface anchor bolts) หากส่วนปากอุโมงค์ตั้งอยู่ใต้ชั้นดินตื้นที่มีความลาดชันเล็กน้อยการก่อสร้างสลักเกลียวยึดพื้นผิวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ก่อนการก่อสร้าง ต้องเคลียร์พืชพรรณ ปรับระดับดินผิวหน้า และทำการจัดการหินที่จะเป็นอันตรายจากการร่วงหล่น

(2) ตำแหน่งของรูสลักเกลียวยึดต้องวางตามข้อกำหนดของการออกแบบ และต้องเจาะลงในแนวดิ่ง

(3) หลังจากการเจาะรูเสร็จสิ้นต้องดำเนินการเกราต์ทันที โดยใส่ท่ออัดฉีดลงไปถึงปลายรูเจาะ

(4) ต้องดำเนินการกำจัดสนิมและปรับตั้งแนวให้ตรงกับสลักเกลียวยึดก่อนการติดตั้ง ความลึกของสลักเกลียวยึดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ

7.6.4.5 การทำคอนกรีตพ่น การเกราต์ด้วยความดันสูง การติดตั้งค้ำยันล่วงหน้าชนิดท่อ (10 ถึง 40 m) และวิธีค้ำยันแบบอื่น ๆ สามารถนำมาใช้กับการเสริมความมั่นคงของหินรอบบริเวณส่วนปากอุโมงค์และพื้นที่ที่ไม่สมดุล

7.6.5 ปากอุโมงค์ (portal)

7.6.5.1 ผังกระบวนการก่อสร้างปากอุโมงค์ชนิด End wall แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.10

7.6.5.2 ผังกระบวนการก่อสร้างปากอุโมงค์แบบตัดส่วนบนแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.11

7.6.5.3 การก่อสร้างปากอุโมงค์ให้แล้วเสร็จต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) อุปกรณ์ดักน้ำและระบบระบายน้ำของปากอุโมงค์ต้องก่อสร้างพร้อมกับปากอุโมงค์ หากมีการวางร่องน้ำบนส่วนถมกลับ ต้องอัดดินถมกลับให้แน่นและปูพื้นผิวหากจำเป็น

(2) ผนังปากอุโมงค์แบบ End wall กำแพงปีก กำแพงกันดิน ท่อระบายน้ำ และรอยต่อป้องกันการเสียรูปต้องเป็นไปตามการออกแบบ และท่อระบายน้ำต้องสามารถระบายน้ำได้มีประสิทธิภาพ

(3) โครงค้ำยันปากอุโมงค์และผนังด้านข้าง ต้องก่อสร้างเชื่อมต่อเป็นส่วนเดียวกันกับโครงค้ำยันภายในอุโมงค์

(4) การกำหนดตำแหน่งงานก่อสร้างต้องแม่นยำ และพื้นผิวผนังต้องเรียบ ห้ามมีการรั่วซึม ห้ามเคลื่อนย้ายแบบหล่อขณะเทคอนกรีต

(5) ฐานรากต้องปราศจากดินเลน สิ่งแปลกปลอม แอ่งน้ำ และชั้นดินที่อ่อน ความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ

(6) ในส่วนที่มีการขุดลึกเกินกว่าที่ออกแบบต้องถมกลับด้วยคอนกรีตที่มีเกรดเดียวกับที่ใช้ในฐานรากและดำเนินการพร้อมกับการหล่อฐานราก

(7) แบบหล่อและโครงสร้างค้ำยัน ต้องออกแบบตามประเภทโครงสร้างของปากอุโมงค์ น้ำหนักบรรทุก ประเภทดินฐานราก อุปกรณ์ก่อสร้าง กระบวนการก่อสร้าง และปัจจัยอื่น ๆ ส่วนภายในและภายนอกของแบบหล่อ และแผ่นปลายต้องออกแบบและผลิตขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

(8) หากปากอุโมงค์เป็นแบบ End wall การหล่อและการถมกลับต้องดำเนินการทั้งสองด้านอย่างสมมาตร ห้ามมีแรงกดอัดเบี่ยงเบนต่อโครงสร้างภายใน หลังจากคอนกรีตของปากอุโมงค์แบบ Truncated Portal มีความแข็งแรงตามการออกแบบแล้ว ส่วนที่ขุดเกินของลาดงานขุดด้านข้างและลาดงานขุดด้านหน้าต้องถมกลับในเวลาที่เหมาะสมเพื่อคืนสภาพภูมิประเทศและลาดให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ

7.6.6 โครงสร้างกันกระแทก (buffer structure)

7.6.6.1 ผังกระบวนการก่อสร้างของโครงสร้างกันกระแทกคล้ายกับการสร้างอุโมงค์แบบเปิด (open-cut tunnel) ตามที่แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.8

7.6.6.2 หลุมฐานรากของโครงสร้างกันกระแทกต้องขุดพร้อมกับฐานรากปากอุโมงค์ โดยมีการค้ำยันชั่วคราวและการระบายน้ำที่เหมาะสม และหลุมฐานรากและลาดงานขุดด้านข้างต้องคงความมั่นคงและไม่รบกวนชั้นดินรองรับที่ฐานผนัง ฐานรากต้องไม่ให้มีน้ำฝนขังได้

7.6.6.3 ส่วนที่ขุดเกินของหลุมฐานรากต้องเทคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเดียวกันในครั้งเดียว

7.6.6.4 คอนกรีตเสริมเหล็กของโครงสร้างกันกระแทกต้องเป็นคอนกรีตแบบต่อเนื่อง และเริ่มการบ่มด้วยความชื้นภายใน 12 ชั่วโมง ห้ามทำการบ่มด้วยการฉีดพ่นน้ำเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5 °Cขนาดของโครงสร้างและรูที่กำหนดไว้ล่วงหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ

7.7 อุโมงค์แบบขุดเปิด (open-cut)

การก่อสร้างอุโมงค์แบบขุดเปิดเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมในกรณีที่ความลึกของอุโมงค์ไม่มาก และสภาพแวดล้อมรอบข้างเอื้อต่อการขุดเปิด

7.7.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูงด้วยการขุดอุโมงค์แบบขุดเปิด

7.7.1.1 ตามขอบเขตของงานและสภาพทางธรณีวิทยา อุทกวิทยา อุตุนิยมวิทยา และสิ่งแวดล้อม การจัดการความเสี่ยงของหลุมฐานรากสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์แบบเปิดต้องมีการวางแผน จัดทำมาตรการป้องกันและควบคุม

พร้อมทั้งแผนฉุกเฉินสำหรับการเสริมความมั่นคงของหลุมฐานราก ความปลอดภัยของท่อใต้ดิน ความปลอดภัยของโครงสร้างอาคารรอบข้าง และการควบคุมน้ำท่วมในหลุมฐานราก

7.7.1.2 ขั้นตอนการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างป้องกันดิน การเสริมความแข็งแรงของฐานราก การขุด และการค้ำยัน ต้องกำหนดอย่างเหมาะสมตามสภาพภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยา ประเภทของโครงสร้างป้องกันดิน และประเภทของโครงสร้างค้ำยัน

7.7.1.3 ในการปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์แบบขุดเปิด สมารถเลือกใช้การก่อสร้างโครงสร้างฐานรากในการรองรับโครงสร้างอุโมงค์ ได้แก่ การใช้เสาเข็ม กำแพงพืด (diaphragm wall) กำแพงดินผสมซีเมนต์ (cement-soil wall) และวิธีการก่อสร้างแบบอื่น ๆ ต้องมีการพิจารณาในการเลือกใช้ด้วยความเห็นชอบของผู้ออกแบบ

7.7.1.4 การก่อสร้างอุโมงค์แบบเปิดในเขตเมืองต้องมีแผนการจัดการการจราจร โครงสร้างปิดล้อมพื้นที่ทำงานและป้ายเตือนความปลอดภัย

7.7.1.5 ก่อนการก่อสร้างต้องดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างอาคารและท่อใต้ดิน ในบริเวณใกล้กับพื้นที่ก่อสร้าง

7.7.1.6 การควบคุมน้ำใต้ดินต้องกำหนดตามสภาพทางธรณี อุทกธรณีวิทยา และสภาพแวดล้อม รวมถึงการใช้โครงสร้างป้องกัน โครงสร้างค้ำยัน และอื่น ๆ เช่น บ่อพักน้ำ ทางระบายน้ำแบบเปิด การสูบน้ำ การกั้นน้ำ การเติมน้ำใต้ดิน และอื่น ๆ

7.7.1.7 การขุดหินต้องดำเนินการด้วยการระเบิดแบบขั้นบันไดขนาดเล็ก และห้ามใช้การระเบิดแบบใช้วัตถุระเบิดจำนวนมาก (chamber blasting) ลาดงานขุดด้านข้างต้องมีการปรับโดยใช้เทคโนโลยีการระเบิดแบบเรียบ

7.7.1.8 ฐานรากของอุโมงค์ต้องอยู่บนพื้นแข็งแรง เมื่อผนังด้านข้างของหลุมฐานรากทั้งสองด้านอ่อนหรือมีความแข็งไม่เท่ากัน ต้องดำเนินการเสริมความมั่นคงเพื่อป้องกันการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน

7.7.1.9 คอนกรีตของโครงสร้างผนังงานดาดต้องมีความหนาแน่น พื้นผิวต้องเรียบ ความแข็งแรงเป็นไปตามที่ออกแบบ ป้องกันน้ำ และมีความทนทาน

7.7.2 การลดระดับน้ำด้วยวิธีขุดบ่อน้ำ (well point dewatering)

7.7.2.1 การออกแบบระบบลดระดับน้ำด้วยวิธีขุดบ่อน้ำต้องดำเนินการตามสภาพพื้นที่ ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของชั้นดินโดยรอบ ความลึกของการสูบน้ำออก และสภาพของอุปกรณ์ แผนการสูบน้ำออกต้องระบุอุปกรณ์สูบน้ำ ผังการติดตั้ง บ่อน้ำ ความลึกของบ่อ ตำแหน่งบ่อดักตะกอน การจัดวางท่อ และมาตรการป้องกันที่เกี่ยวข้อง

7.7.2.2 วิธีการสูบน้ำที่เหมาะสมสามารถเลือกได้จากตารางที่ 11

**ตารางที่ 11 ขอบเขตการใช้งานของระบบ Well Point แบบต่าง ๆ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| ประเภทระบบระบายน้ำ | ชั้นดินที่เหมาะสม | ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน (m/day) | ระดับความลึกของการลดระดับน้ำ (m) |
|---|---|---|---|
| บ่อน้ำแบบชั้นเดียว | ดินทรายปนทรายแป้ง (silty sand) และดินทรายแป้ง | 0.1 ถึง 50 | 3 ถึง 6 |
| บ่อน้ำแบบหลายชั้น | | 0.1 ถึง 50 | 6 ถึง 12 (ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของ บ่อน้ำ) |
| บ่อน้ำแบบใช้ระบบไฟฟ้า | ดินเหนียว | < 0.1 | ขึ้นอยู่กับระดับของบ่อน้ำ |
| บ่อน้ำแบบใช้ท่อ | ดินทราย กรวด | 20 ถึง 200 | 3 ถึง 5 |
| บ่อน้ำแบบพ่นน้ำ | ดินเหนียวปนทรายแป้ง ดินทรายปนทรายแป้ง | 0.1 ถึง 50 | 8 ถึง 30 |
| บ่อน้ำแบบลึก | ดินทราย กรวด | 10 ถึง 250 | > 15 |

7.7.2.3 ความลึกของบ่อสำหรับสูบน้ำต้องกำหนดตามความลึกของการลดระดับน้ำที่ออกแบบ การกระจายของชั้นน้ำ และความสามารถในการระบายน้ำของบ่อน้ำ การสูบน้ำต้องคงระดับน้ำใต้ดินไว้ที่ 0.5 m ใต้พื้นผิวอุโมงค์ เมื่อจะหยุดการสูบน้ำ ต้องตรวจสอบการไหลเข้าของน้ำพร้อมกับความมั่นคงของโครงสร้างดาดผนังอุโมงค์ระหว่างการก่อสร้าง หากไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ห้ามหยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ และต้องดำเนินการแก้ไข

7.7.2.4 ระหว่างการสูบน้ำต้องเสริมการตรวจสอบและดำเนินมาตรการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการทรุดตัวของพื้นผิวและการทรุดตัวของโครงสร้างและโครงสร้างอาคารโดยรอบ หากการสูบน้ำเป็นมีผลต่อความปลอดภัยของหลุมฐานรากและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ต้องดำเนินมาตรการกั้นน้ำหรือการเติมน้ำใต้ดิน

7.7.2.5 หากต้องการเติมน้ำใต้ดินต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนทำการเติมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน เมื่อปริมาณน้ำและแรงดันน้ำในหลุมฐานรากเพิ่มขึ้นหลังการกั้นน้ำ ต้องใช้วิธีการสูบน้ำภายในหลุมฐานรากหรือการทำการสูบน้ำร่วมกันระหว่างการสูบน้ำทั้งภายในและภายนอกหลุมฐานราก

7.7.2.6 ตำแหน่งการวางของระบบของบ่อน้ำต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ตำแหน่งของบ่อน้ำต้องไม่ต่ำกว่า 1.5 m จากขอบหลุมฐานรากและต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 m จากโครงสร้างดาดผนังอุโมงค์ ของอุโมงค์แบบเปิด

(2) บ่อน้ำต้องถูกวางเรียงไปตามแนวอุโมงค์ โดยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของระบบสูบน้ำต้องอยู่ไกลออกไปจากผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์อย่างน้อย 1 เท่าของความกว้างของการขุด

(3) ระยะห่างระหว่างบ่อน้ำต้องกำหนดตามการคำนวณ และต้องไม่ต่ำกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่อน้ำ หากความลึกของการสูบน้ำที่ต้องการไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากความกว้างของ

หลุมฐานรากมีขนาดใหญ่ ต้องมีการจัดเรียงบ่อน้ำในหลุมฐานรากใหม่

7.7.2.7 การก่อสร้างบ่อน้ำสำหรับการสูบน้ำต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) หัวรูเจาะต้องติดตั้งปลอก (casing) เส้นผ่านศูนย์กลางของรูต้องอยู่ระหว่าง 200 ถึง 300 mm โดยต้องมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และมีความยาว 500 ถึง 1000 mm

(2) ท่อในบ่อน้ำที่ติดตั้งแบบส่วนย่อยต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอ ท่อกรองต้องเป็นท่อเหล็กเจาะรู โดยมีอัตราส่วนการเจาะรูไม่น้อยกว่า 25% ของพื้นที่ และต้องมีชั้นกรองที่ผนังด้านนอก ท่อคอนกรีตต้องมีอัตราส่วนการเจาะรูไม่น้อยกว่า 20% ของพื้นที่ และต้องติดตั้งชั้นกรองที่ผนังด้านนอก

(3) ส่วนของท่อในบ่อน้ำต้องเชื่อมต่อกันแน่นหนา และต้องวางตำแหน่งอยู่ในแนวเส้นรอบวงของวงกลมเดียวกันรอบหลุมฐานราก ท่อกรองต้องวางในชั้นน้ำ และช่องเปิดท่อกรองต้องอยู่ระหว่าง 300 ถึง 500 mm เหนือพื้นดิน ท่อในบ่อน้ำที่ติดตั้งแล้วต้องมีการปิดรูชั่วคราว

(4) วัสดุกรองรอบท่อในบ่อน้ำต้องสะอาดและมีขนาดระหว่าง 5 ถึง 10 เท่าของขนาดตะกอนในชั้นน้ำ อัตราส่วนการเข้าของวัสดุกรองต้องไม่ต่ำกว่า 95% ของปริมาตรของท่อในบ่อน้ำที่คำนวณไว้ เมื่อระดับน้ำถึงปลายช่องเปิดของบ่อน้ำในระยะ 1 m ใต้ช่องเปิดของบ่อน้ำต้องเติมดินเหนียวและทำการอัดให้แน่น

(5) เครื่องสูบน้ำสำหรับระบบบ่อน้ำต้องติดตั้งอุปกรณ์กันฝน

(6) หลังจากติดตั้งระบบบ่อน้ำสำหรับสูบน้ำ ต้องตรวจสอบคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ และดำเนินการทดสอบการสูบน้ำ

7.7.2.8 การจัดการการสูบน้ำต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) ระบบบ่อน้ำสำหรับลดระดับน้ำต้องใช้แหล่งจ่ายไฟแบบวงจรคู่

(2) การสูบน้ำต้องติดตั้งร่วมกับรูสำรวจระดับน้ำ จัดวางในแนวตั้งเป็นแถวจากศูนย์กลางหลุมฐานรากไปยังทั้งสองด้าน และต้องขยายออกไป 2 ถึง 3 เท่าของความลึกในการสูบน้ำเหนือหลุมฐานราก หากอยู่ใกล้โครงสร้างอาคารหรือโครงสร้าง ต้องเพิ่มจุดสังเกต

(3) ในระหว่างการสูบน้ำ ต้องตรวจสอบปริมาณทรายในน้ำที่สูบ ระดับน้ำใต้ดิน อัตราการไหลและการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

(4) ต้องดำเนินการสำรวจระดับน้ำเพื่อวัดระดับน้ำเริ่มต้นก่อนการสูบน้ำ และตรวจวัดอย่างสม่ำเสมอระหว่างการสูบน้ำ โดยเฉพาะในฤดูฝนต้องเพิ่มความถี่ในการสำรวจ

7.7.2.9 ระหว่างการลดระดับน้ำ ต้องมีการบำรุงรักษา และตรวจสอบระบบบ่อน้ำสำหรับลดระดับน้ำเพื่อป้องกันการหยุดทำงาน หากต้องการถอดระบบบ่อ

น้ำแบบหลายชั้น ต้องดำเนินการจากด้านล่างของระบบขึ้นสู่ด้านบนตามลำดับ และต้องให้ระบบบ่อน้ำของชั้นบนทำงานต่อเนื่องขณะถอดระบบของชั้นล่าง

7.7.2.10 การเติมน้ำกลับ (recharge) ต้องดำเนินการโดยใช้บ่อน้ำแบบใช้ทราย และอื่น ๆ การก่อสร้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ระยะห่างของบ่อเติมน้ำกลับต้องกำหนดตามระยะห่างของบ่อน้ำ ระยะห่างของบ่อเติมน้ำกลับต้องไม่น้อยกว่า 6 m จากบ่อน้ำที่ใช้สำหรับสูบน้ำ

(2) บ่อเติมน้ำกลับต้องอยู่ที่ระดับ 1 m ต่ำกว่าระดับน้ำที่เสถียร และตั้งอยู่ในชั้นดินที่มีการซึมผ่านได้ดี ความยาวของท่อกรองต้องยาวกว่าท่อกรองของบ่อน้ำที่ใช้สำหรับสูบน้ำ

(3) ปริมาณน้ำเติมกลับต้องถูกควบคุมและปรับตามการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในรูสำรวจระดับน้ำ และต้องไม่เกินระดับน้ำเดิม ความสูงของถังน้ำเติมกลับจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เติม

(4) ปริมาตรของทรายที่เติมกลับเข้าไปในบ่อต้องเท่ากับ 95% ของปริมาตรของบ่อ และวัสดุเติมต้องเป็นทรายหยาบปานกลาง โดยมีดินเม็ดละเอียดไม่เกิน 3%

(5) บ่อเติมน้ำกลับต้องทำงานร่วมกับระบบสูบน้ำ และน้ำที่เติมต้องสะอาด

7.7.3 การค้ำยันและการรองรับความลาดงานขุดด้านข้าง (bracing and side slope support)

7.7.3.1 แผนการค้ำยันของหลุมฐานรากต้องถูกกำหนดตามข้อกำหนดการออกแบบ สามารถใช้เหล็กรูปพรรณค้ำยัน คอนกรีตเสริมเหล็ก การยึดด้วยเส้นลวดหรือสลิง เป็นต้น สำหรับหลุมฐานรากที่มีการขุดลึกพร้อมกับทางลาดงานขุดด้านข้าง ใช้การยึดด้วยสลักยึดหิน การใช้ตะแกรงลวด การฉีดพ่นคอนกรีต และวิธีการค้ำยันอื่น ๆ

7.7.3.2 การติดตั้งโครงสร้างค้ำยันต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ลำดับการติดตั้งและรื้อถอนของโครงสร้างค้ำยันต้องสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในแบบโครงสร้างค้ำยันของหลุมฐานราก และต้องไม่ดำเนินการขุดเกินกว่ากำหนดก่อนที่การค้ำยันจะเสร็จสมบูรณ์

(2) สำหรับการค้ำยันแบบไขว้ ต้องใช้วิธีการค้ำยันด้วยไม้พยุงอย่างแน่นหนากับโครงสร้างค้ำยัน และต้องเชื่อมต่อกับจุดค้ำยันไม้ไขว้ที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

(3) ห้ามวางวัสดุหรือวัตถุหนักอื่น ๆ บนโครงค้ำยันแบบไขว้ หากพบการเสียรูปของระบบรองรับ การคลายตัวของลิ่ม หรือความผิดพลาดของระบบรองรับ ต้องดำเนินการแก้ไขทันที

(4) โครงสร้างค้ำยันแบบคอนกรีต ต้องถูกหล่อในแผ่นเดียวกันในครั้งเดียวหลังจากการขุดถึงตำแหน่งที่กำหนด ความคลาดเคลื่อนของระดับในการค้ำยันต้องไม่เกิน 50 mm และความคลาดเคลื่อนในแนวนอนต้องไม่เกิน 100 mm

(5) โครงเหล็กต้องติดตั้งทันทีหลังจากการขุดถึงตำแหน่งที่กำหนด และต้องติดตั้งล่วงหน้าตามข้อกำหนดของการออกแบบ ก่อนการติดตั้งต้องทำการประกอบก่อน จุดศูนย์กลางของทั้งสองจุดรองรับไม่ต้องเยื้องเกิน 20 mm และหลังการติดตั้งการเยื้องทั้งหมดต้องไม่เกิน 50 mm

(6) คุณภาพการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันแบบเหล็กรับต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(6.1) ความคลาดเคลื่อนของเส้นแนวตั้งและแนวนอนต้องไม่เกิน ± 30 mm

(6.2) ความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างปลายทั้งสองต้องไม่เกิน ± 20 mm

(6.3) ความคลาดเคลื่อนของระนาบแนวนอนต้องน้อยกว่า 1/600 ของความยาวรองรับ

(6.4) ความคลาดเคลื่อนของเสาและเป้าสะท้อนต้องไม่เกิน ± 50 mm โดยการเคลื่อนตัวของโครงรองรับต้องไม่เกิน 1/1000

(7) การเชื่อมต่อระหว่างปลายโครงเหล็กกับคานหรือ คานคาดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(7.1) ปลายโครงรองรับต้องมีแผ่นปิดปลายเหล็กที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 10 mm และต้องเชื่อมต่อด้วยการเชื่อมอย่างสมบูรณ์กับแผ่นรองรับ ความหนา และความยาวของการเชื่อมต้องสามารถรองรับแรงจากโครงสร้างรองรับหรือแรงเดียวกับโครงรองรับได้ หากจำเป็นให้เพิ่ม Stiffening Rib จำนวนและขนาดต้องสอดคล้องกับข้อกำหนด Local Stability รวมไปถึงข้อกำหนดการส่งผ่านแรงรองรับ

(7.2) ในกรณีของการรองรับที่ตั้งฉากกับเส้นแกนหลัก ให้เพิ่มปลายเหล็กหรือส่วนเชื่อมเข้ากับโครงสร้างรองรับที่กำหนดไว้ในแบบโครงสร้าง

(7.3) การดึงแรงของโครงเหล็กล่วงหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

- หลังจากติดตั้งโครงส่วนค้ำยันแล้ว ต้องตรวจสอบการเชื่อมต่อที่จุดต่อทันที หากผ่านการตรวจสอบ

สามารถดำเนินการดึงแรงได้ และต้องดำเนินการแบบพร้อมกันและสมมาตรทั้งสองด้านของโครงรองรับ

- การดึงแรงล่วงหน้าต้องดำเนินการทีละขั้นตอนซ้ำ ๆ โดยทำการดึงจนกว่าถึงค่าที่ออกแบบไว้ เมื่อมีการเพิ่มแรงดึงจนถึงค่าที่ออกแบบแล้ว ต้องตรวจสอบทุกจุดและล็อคไว้หลังจากแรงดึงคงที่ที่ระดับแรงดันที่กำหนด

7.7.3.3 การก่อสร้างสลักยึดหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) เครื่องมือเจาะรูต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยา ความคลาดเคลื่อนของระดับความสูงของรูเจาะต้องไม่เกิน 50 mm ความคลาดเคลื่อนของระยะห่างในแนวนอนต้องไม่เกิน 100 mm และความลึกของรูเจาะต้องไม่เกินข้อกำหนดการออกแบบโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 100 mm

(2) สมอต้องติดตั้งทันทีหลังจากขุดถึงตำแหน่งที่กำหนด ตัวสมอต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดการออกแบบ และเป็นเห ต้องติดตั้งอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งสมอโดยมีระยะห่างไม่เกิน 2 m สำหรับส่วนสมอ และ 2 ถึง 3 m สำหรับส่วนที่ไม่ใช่สมอ ส่วนสมอต้องอยู่ในชั้นดินที่มั่นคง 1 m ห่างจากชั้นดินที่ถูกรบกวน ส่วนสมอและส่วนที่ไม่ใช่สมอต้องมีขอบเขตที่ชัดเจน สำหรับสมอที่ใช้ร่วมกับคานคาดหัวสมอต้องไม่ติดตั้งก่อนที่ Waling จะเชื่อมต่อกับตัวสมอในแนวนอนอย่างแน่นหนา

(3) การอัดฉีดปูนซีเมนต์ต้องดำเนินการตามแบบที่กำหนด โดยการอัดฉีดครั้งแรกต้องใช้ปูนซีเมนต์มอร์ทาร์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย 1:1 ถึง 1:2 และอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์อยู่ที่ 0.40 ถึง 0.45 หรือน้ำปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์สุทธิอยู่ที่ 0.40 ถึง 0.50 สำหรับการฉีดครั้งที่สอง ต้องใช้ปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์สุทธิอยู่ที่ 0.45 ถึง 0.55

(4) การฉีดน้ำปูนซีเมนต์ในส่วนสมอต้องแน่นและเต็ม โดยใช้การฉีดแรงดันสองครั้ง แรงดันการฉีดครั้งแรกต้องอยู่ที่ 0.4 ถึง 0.6 MN/m²และแรงดันการฉีดครั้งที่สองที่เป็นแรงดันสูงต้องอยู่ที่ 2.5 ถึง 5.0 MN/m² ระยะเวลาการฉีดต้องถูกกำหนดตามผลการทดสอบกระบวนการฉีด หรือการฉีดครั้งที่สองสามารถเริ่มต้นได้หลังจากที่แรงของปูนซีเมนต์จากการฉีดครั้งแรกถึง 5.0 MN/m² สำหรับสมอที่อยู่ใกล้พื้นผิวหรือโครงสร้างใต้ดินและท่อ แรงดันการฉีดต้องควบคุมอย่างเหมาะสม โดยวิศวกรสนาม

(5) การดึงและล็อคแรงไม่ต้องเริ่มต้นก่อนที่สมอจะมีแรงยึดเกาะเพียงพอจนถึงระดับความแข็งแรงตามแบบที่กำหนด โดยค่าแรงดึงต้องอยู่ที่ 75% ถึง 80% ของน้ำหนักที่ทำการออกแบบ

7.7.3.4 การก่อสร้างสมอและพ่นคอนกรีตเสริมกำลังสำหรับลาดข้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) การก่อสร้างระบบการยึดสมอและพ่นคอนกรีตต้องดำเนินการเป็นส่วน ๆ และเป็นชั้น ๆ จากด้านบนลงด้านล่างตามข้อกำหนดการออกแบบ พื้นผิวลาดต้องถูกตัดแต่งให้เรียบร้อย และพื้นผิวลาดต้องถูกทำความสะอาดก่อนการพ่นคอนกรีต

(2) การขุดและก่อสร้างสมอในชั้นล่างต้องเริ่มต้นหลังจากที่สมอและการพ่นคอนกรีตในชั้นบนมีความแข็งแรงถึง 70% ของค่าที่ออกแบบ

(3) ในการก่อสร้างสมอ ต้องมีการควบคุมคุณภาพของรูเจาะ และข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้สำหรับรูเจาะคือ ± 50 mm สำหรับความลึกของรูเจาะ ± 5 mm สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ ± 100 mm สำหรับระยะห่างระหว่างรูเจาะ และ 5% สำหรับความเอียง

(4) การพ่นคอนกรีตต้องก่อสร้างโดยเร็วที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีของหน้าผิวขุดโดยแบ่งเป็นส่วน ๆ จากด้านล่างขึ้นด้านบน วัสดุเสริมลวดตาข่ายต้องติดตั้งหลังจากพ่นคอนกรีตชั้นแรกเสร็จสิ้น หากใช้วัสดุเสริมสองชั้น ชั้นที่สองต้องติดตั้งหลังจากที่คอนกรีตชั้นแรกได้รับการเคลือบแล้ว และลวดตาข่ายต้องเชื่อมต่อกับสมออย่างแน่นหนา

(5) วัสดุสำหรับการอัดฉีดสมอต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์สำหรับการอัดฉีดคือ 0.5 อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายสำหรับการผสมคือ 1:1 ถึง 1:2 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์คือ 0.38 ถึง 0.45

7.7.4 การขุดหลุมฐานรากสำหรับเริ่มก่อสร้างอุโมงค์เปิด (foundation pit excavation)

7.7.4.1 แผนการขุดหลุมฐานรากต้องจัดทำตามสภาพธรณีวิทยา และสิ่งแวดล้อมสำหรับหลุมฐานรากของอุโมงค์ ระดับน้ำใต้ดินต้องรักษาให้ต่ำกว่าระดับฐานราก 0.5 m เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้วัตถุระเบิด ต้องจัดทำแผนการระเบิดส่งให้หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง

7.7.4.2 ที่พื้นผิวรอบ ๆ หลุมฐานรากต้องจัดทำระบบป้องกันน้ำ และรางระบายน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลเข้าสู่หลุมฐานราก สำหรับการขุดบริเวณทางลาดเอียง ต้องจัดการป้องกันน้ำและการระบายน้ำบริเวณส่วนยอด ส่วนลาดและส่วนฐานของพื้นที่ลาดเอียง

7.7.4.3 สำหรับการระบายน้ำในหลุมฐานราก ความจุของอุปกรณ์สูบน้ำ หลุมรองรับน้ำ และส่วนของรางระบายน้ำต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดการระบายน้ำ หลุมรองรับน้ำต้องมีการจัดวางระยะห่างที่ 30 ถึง 40 m และก้นหลุมรางระบายน้ำต้องต่ำกว่าระดับพื้นการขุด 400 ถึง 500 mm ก้นหลุมรองรับน้ำต้องต่ำกว่าพื้นที่ขุดอย่างน้อย 1 m สำหรับหลุมฐานรากที่มีการซึมน้ำตามชั้น ต้องจัดทำระบบระบายน้ำแบบเปิดด้วยการติดตั้งท่อและรางในระดับต่างกัน หากเกิดการซึมน้ำมากที่ผนังหลุมหรือไม่สามารถระบายน้ำแบบเปิดตามชั้นได้ ต้องใช้วิธีการระบายน้ำแบบส่งผ่าน

7.7.4.4 จุดเก็บดินต้องไม่ตั้งอยู่ใกล้กับโครงสร้างอาคาร ท่อส่งใต้ดิน หรือสายส่งที่ยกระดับ ในระยะ 10 m จากทั้งสองด้านของหลุมฐานรากต้องไม่อนุญาตให้เก็บดิน เมื่อมีการเก็บดินไว้บนส่วนของอุโมงค์ที่ถมกลับแล้ว ต้องตรวจสอบการทรุดตัวของพื้นดินเพื่อกำหนดความเสถียรของโครงสร้าง

7.7.4.5 ความกว้างของการขุดหลุมฐานรากและขอบของฐานรากที่ลาดเอียงต้องไม่น้อยกว่า 0.5 m จากขอบโครงสร้างอุโมงค์ เมื่อมีการจัดทำรางระบายน้ำ หลุมรองรับน้ำ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ

7.7.4.6 ความลาดเอียงของฐานรากต้องกำหนดตามการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน สภาพธรณีวิทยา ความลึกของฐานราก และการดำเนินการร่วมกับมาตรการเสริมความแข็งแรง

7.7.4.7 การขุดหลุมฐานรากต้องแบ่งออกเป็นส่วนและขุดทีละชั้นจากบนลงล่างตามข้อกำหนดของการออกแบบ ห้ามดำเนินการขุดส่วนล่างสุดก่อน การขุดหลุมฐานรากที่มีโครงสร้างกันดิน แต่ละส่วนของการขุดต้องแบ่งออกเป็นชั้นย่อยและส่วนย่อย แต่ละส่วนต้องดำเนินการขุดและการเสริมความแข็งแรงให้เสร็จสิ้นในระยะเวลาที่กำหนด

7.7.4.8 ความยาวของส่วนย่อยต้องไม่เกิน 25 m ความยาวของส่วนย่อยต้องกำหนดตามระยะห่างของการค้ำยันที่เหมาะสม ระยะห่างระหว่างชั้นย่อยต้องอยู่ที่ 3 ถึง 6 m และเวลาการค้ำยันหลังการขุดในแต่ละส่วนย่อยต้องถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 8 ถึง 24 ชั่วโมง

7.7.4.9 สำหรับหลุมฐานรากที่ขุดโดยไม่มีการป้องกันใด ๆ การปรับแต่งความลาดชันและการเสริมความแข็งแรงต้องดำเนินการพร้อมกับการขุดหลุมฐานราก และลาดงานขุดด้านข้างต้องเรียบและสอดคล้องกับข้อกำหนดการออกแบบ

7.7.4.10 สำหรับหลุมฐานรากที่มีโครงสร้างกันดินการป้องกันผนังต้องดำเนินการพร้อมกับการขุดหลุมฐานราก สำหรับหลุมฐานรากที่มีโครงสร้างกันดิน เช่น ผนังคอนกรีตหล่อในที่ โครงสร้างดินซีเมนต์ หรือกำแพงกันดินแบบพิเศษ ห้ามเริ่มการขุดจนกว่าคอนกรีต ดินซีเมนต์ หรือสมอจะมีความแข็งแรงเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

7.7.4.11 สำหรับหลุมฐานรากที่มีโครงสร้างเสริมแรง ต้องดำเนินการเสริมความแข็งแรงหรือการติดตั้งสมอทันทีเมื่อการขุดดินถึงตำแหน่งการออกแบบของโครงสร้างเสริมแรง

7.7.4.12 เมื่อฐานรากอยู่ใกล้กับฐานรากคอนกรีตในระยะ 200 mm ต้องมีการดำเนินการเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดเกินหรือรบกวนดินฐานราก ดินฐานรากต้องถูกปรับระดับและบดอัดให้แน่น หลังจากตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสม ต้องดำเนินการปูชั้นรองคอนกรีตให้เสร็จสิ้นทันที

7.7.4.13 หากหลุมฐานรากมีชั้นน้ำใต้ดินและมีน้ำกักขังอยู่ที่ส่วนล่าง หรือในกรณีที่หลุมฐานรากมีการขุดเกิน การรบกวน การซึมน้ำ หรือพบดินที่ผสมสิ่งแปลกปลอม ตะกอน ดินอ่อนและความไม่สม่ำเสมอในของชั้นดิน ต้องมีมาตรการจัดการปัญหา

7.7.4.14 ก่อนการขุดหลุมฐานราก ต้องมีการวางแผนการติดตามตรวจสอบและการวัดผลสำหรับการขุดหลุมฐานรากตามข้อกำหนดการออกแบบ รวมถึงประเภทของหลุมฐานราก ขั้นตอนการขุด และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แผนการติดตามและวัดผลต้องประกอบด้วยเป้าหมายการติดตาม รายการที่ต้องตรวจสอบ ค่าจำกัด วิธีการ และความต้องการความแม่นยำ การจัดวางจุดวัด ความถี่ในการติดตาม และการจัดการข้อมูล เป็นต้น

7.7.4.15 การติดตามและวัดผลสำหรับหลุมฐานรากต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดการออกแบบ สามารถเลือกได้จากภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1

7.7.4.16 การจัดวางจุดติดตามและการวัดผลต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดการติดตามหินโดยรอบและระบบกำแพง เสาเข็มรองรับของหลุมฐานราก รวมถึงโครงสร้าง และท่อที่ต้องการการป้องกันในระยะ 1 ถึง 2 เท่าของความลึกการขุดเกินขอบหลุมฐานราก ต้องถูกนำมาเป็นเป้าหมายสำหรับการติดตาม การจัดวางจุดติดตามและความถี่ของการวัดสำหรับหลุมฐานรากต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดการออกแบบ ต้องสอดคล้องกับภาคผนวก ข ตารางที่ ข.2 และภาคผนวก ข ตารางที่ ข.3

7.7.4.17 การติดตามและตรวจสอบการขุดหลุมฐานรากต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(1) จำนวนจุดอ้างอิงต้องไม่น้อยกว่า 2 จุด สำหรับการวัดการเคลื่อนที่และต้องจัดให้อยู่เกินขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการขุด

(2) ก่อนการขุดหลุมฐานราก ค่าพื้นฐานเริ่มต้นต้องถูกวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง สำหรับบันทึกรายละเอียดการติดตาม

(3) ระยะเวลาติดตามสำหรับแต่ละรายการต้องกำหนดตามช่วงเวลาก่อสร้าง หากการเปลี่ยนรูปทรงเกินมาตรฐานควบคุม หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตรวจสอบมีค่าสูง ต้องเพิ่มความถี่ใน

การตรวจสอบ และรายงานให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทราบ พร้อมดำเนินมาตรการฉุกเฉิน

(4) ในระหว่างการติดตามและการวัดผล รายงานผลการตรวจสอบตามช่วงระยะเวลาต้องถูกส่งตามข้อกำหนดของการออกแบบ เมื่อสิ้นสุดโครงการ ต้องจัดทำรายงานการติดตามและวัดผลฉบับสมบูรณ์ รายงานต้องประกอบด้วย

(4.1) สรุปโครงการ

(4.2) รายการติดตามและจุดติดตาม

(4.3) แผนภาพการวางตำแหน่ง

(4.4) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

(4.5) วิธีการและข้อมูลการวัดที่ดำเนินการ

(4.6) วิธีการประเมินผลการตรวจวัด

7.7.5 โครงสร้างงานดาดผนังอุโมงค์

7.7.5.1 ผู้ออกแบบต้องพิจารณาการทรุดตัวของโครงสร้างผนังใช้งานอุโมงค์ และต้องกำหนดให้แนวของโครงสร้างดาดผนังอุโมงค์ด้านในอย่างเหมาะสมตามข้อกำหนดการออกแบบ ผู้ดำเนินงานต้องกำหนดลำดับการก่อสร้างให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของหลุมฐานรากที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ และต้องก่อสร้างฐานอุโมงค์ก่อนการก่อสร้างผนังด้านข้างและโครงสร้างโค้ง

7.7.5.2 ผู้รับจ้างต้องลำเลียงเหล็กเสริมมายังหน้างานเพื่อทำการติดตั้ง และหลังจากติดตั้งแล้ว ผู้รับจ้างต้องตรวจสอบให้เหล็กเสริมมีความมั่นคงที่จุดต่อและปลายเหล็กเสริมหลัก รวมทั้งต้องจัดให้เหล็กเสริมรองไม่สัมผัสกับแผ่นยึดรอยต่อกันน้ำหรือแผ่นปิด และต้องยึดส่วนที่ฝังให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง

7.7.5.3 เมื่อผู้ออกแบบหรือผู้ดำเนินงานเลือกใช้กำแพงพืดใต้ดินเป็นโครงสร้างหลักหรือเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างหลัก ผู้ดำเนินงานต้องเสริมความแข็งแรงและทำความสะอาดกำแพงด้านใน รวมทั้งต้องติดตั้งและตรวจสอบตัวเชื่อมต่อกำแพงพืดตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด

7.7.6 การติดโครงสร้างกันซึม (structural waterproofing)

7.7.6.1 สำหรับการก่อสร้างการกันซึมอุโมงค์ ต้องเลือกกระบวนการก่อสร้างที่เหมาะสมตามข้อกำหนดการออกแบบ

7.7.6.2 วัสดุป้องกันน้ำแบบแผ่นต้องถูกติดตั้งหลังจากการตรวจสอบโครงสร้างผิวผนังอุโมงค์ หลังจากติดตั้งวัสดุป้องกันน้ำแบบแผ่นและผ่านการตรวจสอบต้องก่อสร้างชั้นป้องกันวางทับวัสดุป้องกันน้ำแบบแผ่นทันที

7.7.6.3 พื้นผิวสำหรับการติดตั้งวัสดุป้องกันน้ำแบบแผ่นต้องสะอาด เรียบ แห้ง และมีความชื้นไม่เกิน 9% ที่ฐานต้องเคลือบด้วยสารประสาน หลังจากแห้งแล้วจึงปูชั้นป้องกันเพิ่มได้ หลังจากวางแนวพื้นฐานเรียบร้อยแล้ว สามารถติดตั้งวัสดุป้องกันการซึมแบบแผ่นได้

7.7.6.4 สำหรับพื้นโครงสร้าง ชั้นป้องกันน้ำแบบแผ่นต้องติดตั้งในแนวระดับก่อน และต้องซ้อนทับที่จุดเชื่อมต่ออย่างเหมาะสม ก่อนติดตั้งชั้นป้องกันน้ำแบบแผ่นบนผนังใช้งานอุโมงค์ แต่ละชั้นของวัสดุป้องกันการซึมที่จุดเชื่อมต่อต้องถูกทำความสะอาดและปูอย่างเรียบร้อย วัสดุป้องกันน้ำแบบแผ่นต้องซ้อนกันในลักษณะการสลับแนว ก่อนเริ่มทำการหล่อคอนกรีต

7.7.6.5 ฐานสำหรับชั้นป้องกันการซึมแบบเคลือบต้องมีความแข็งแรง เรียบ และสะอาด ไม่มีการซึมน้ำ การหลุดร่วงของวัสดุป้องกันน้ำ หรือข้อบกพร่องอื่น ๆ

7.7.7 การถมกลับ (backfilling)

7.7.7.1 ต้องถมหลุมฐานรากหลังจากการก่อสร้างอุโมงค์ทันที และโครงสร้างท่อใต้ดินมีกำลังเท่ากับที่ออกแบบ ก่อนการถมหลุมฐานราก ต้องเคลียร์พื้นที่และบดอัดดินให้แน่น

7.7.7.2 การถมหลุมฐานรากต้องดำเนินการเป็นชั้น โดยทั้งสองด้านของโครงสร้างอุโมงค์ การถมต้องทำอย่างสมมาตร และความต่างของระดับพื้นผิวถมระหว่างทั้งสองด้านต้องไม่เกิน 500 mm ในกรณีที่ระดับการถมหลุมฐานรากแตกต่างกัน การถมและการบดอัดต้องเริ่มจากระดับต่ำกว่า

7.7.7.3 สำหรับหลุมฐานรากที่มีการถมแบบแบ่งส่วน ต้องมีการสร้างชั้นขั้นบันได โดยชั้นขั้นบันไดต้องกว้างไม่น้อยกว่า 1 m และสูงไม่เกิน 0.5 m

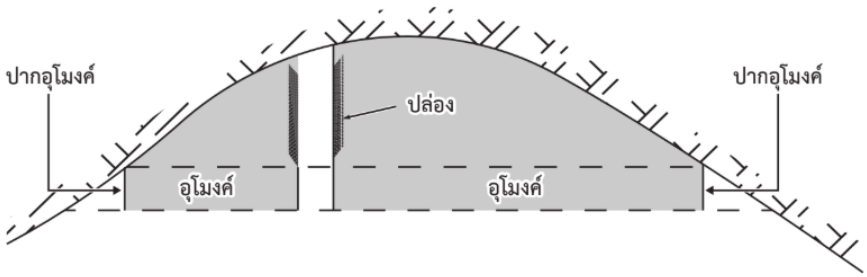
7.7.7.4 ในระหว่างการถมหลุมฐานราก เครื่องจักรหรือเครื่องมือต้องไม่กระทบกับชั้นป้องกันการซึมของอุโมงค์ ต้องใช้เครื่องจักรขนาดเล็กทั้งสองด้านของโครงสร้างอุโมงค์และภายในระยะ 1 m จากส่วนบนและรอบท่อใต้ดิน

7.7.7.5 การถมหลุมฐานรากต้องดำเนินการโดยเครื่องจักร โดยระยะทับซ้อนของการบดอัดต้องกว้างไม่น้อยกว่า 200 mm และความกว้างของการบดอัดด้วยเครื่องจักรขนาดเล็กไม่ต้องน้อยกว่า 1/3 ของความกว้างการบดอัดทั้งหมด

7.7.7.6 สำหรับการถมในฤดูฝนต้องก่อสร้างอย่างระมัดระวัง โดยต้องมีแผนการก่อสร้างสำรองสำหรับ การขนส่ง การจัดการ และการบดอัด ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยการบดอัดแต่ละชั้นต้องเสร็จสิ้นจากระดับความลาดของทางน้ำก่อนฤดูฝน

7.8 การเจาะปล่อง (shafts)

การเจาะปล่องเป็นการขุดอุโมงค์ในแนวดิ่ง เพื่อใช้เป็นช่องทางเข้าถึงแนวการขุด การติดตั้งระบบช่วยชีวิต การระบายอากาศ การขนส่งวัสดุการออกแบบและดำเนินการเจาะปล่องจึงต้องอาศัยมาตรฐานที่รัดกุม ครอบคลุมทั้งด้านวิศวกรรม ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมหน้างาน




**รูปที่ 12 การเจาะปล่อง (shafts)**

7.8.1 ข้อกำหนดทั่วไปของการเจาะปล่อง

7.8.1.1 การขุดด้วยวิธีการจมปล่อง (shaft sinking) ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องของมาตรฐาน BS 6164

7.8.1.2 การเจาะปล่องด้วยวิธีการเจาะและระเบิดต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องของมาตรฐาน Q/CR 9604

7.8.1.3 ก่อนการขุดต้องตรวจสอบพื้นที่ปล่องอย่างละเอียดว่ามี ท่อ สายไฟ หรือโครงสร้างเดิม อยู่หรือไม่ และดำเนินมาตรการที่เหมาะสมโดยได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรสนาม

7.8.2 ความปลอดภัย (safety)

7.8.2.1 ปล่องต้องติดตั้งราวกั้น (guard rails) และ Toe boards หรือวงแหวนอย่างน้อย 1.2 m เหนือระดับพื้นดินโดยรอบ

7.8.2.2 ปล่องต้องมีช่องทางในการเข้า-ออกที่ปลอดภัยทั้งทางหลักและทางรองอยู่เสมอ

7.8.2.3 หากมีการวางเครื่องจักรหนักหรือการวางน้ำหนักใกล้กับปล่อง ผู้รับจ้างต้องพิจารณาผลกระทบที่จะส่งผลต่อโครงสร้างของปล่อง

7.8.2.4 ผู้รับจ้างต้องป้องกันการบิดเบี้ยว (distortion) ของผนังปล่องระหว่างการก่อสร้าง รวมถึงความเสี่ยงของการทรุดตัวหรือการยกตัวของปล่องในช่วงกลางของการก่อสร้าง

7.8.3 ปล่องชั่วคราว (temporary shafts)

7.8.3.1 รายละเอียดทั้งหมดของปล่องชั่วคราวที่จำเป็นตามวิธีการทำงานของผู้รับจ้าง ต้องส่งมอบให้วิศวกรผู้ควบคุมงานเพื่อขออนุมัติก่อนเริ่มงาน ปล่อง

เหล่านี้ต้องมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานที่จำเป็นเพื่อดำเนินงานให้เสร็จสมบูรณ์

7.8.3.2 การถมกลับ (backfill) สำหรับปล่องชั่วคราวต้องใช้วัสดุตามความเหมาะสมที่ได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงาน

7.8.3.3 ในกรณีที่ผู้รับจ้างมีความประสงค์จะรื้อถอนผนังปล่องชั่วคราวโครงสร้างต้องถูกรื้อถอนเป็นขั้นตอนอย่างปลอดภัยในระหว่างการถมกลับ โดยต้องดูแลให้มั่นใจในความปลอดภัยและความสมบูรณ์ของโครงสร้างผนังที่เหลืออยู่ งานชั่วคราวส่วนต่าง ๆ ต้องไม่ถูกทิ้งไว้ในพื้นดินภายในระยะ 2 m จากระดับพื้นผิวสุดท้ายที่ออกแบบไว้

7.8.4 การก่อสร้างด้วยการจมปล่อง

7.8.4.1 การจมปล่อง (shaft sinking) ต้องดำเนินการด้วยวิธีที่เหมาะสมกับสถานการณ์เฉพาะของหน้างาน รวมถึงพารามิเตอร์ของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ความลึก และวัตถุประสงค์

7.8.4.2 การรองรับฐานราก (underpinning) ต้องขุดเฉพาะดินที่สามารถขุดได้อย่างปลอดภัยสำหรับการติดตั้งแหวนรองรับหนึ่งวงหรือหน่วยรองรับหนึ่งหน่วยเท่านั้น จนกว่าระดับความลึกนั้นจะได้รับการเสริมความมั่นคงด้วยผนังปล่องถาวรหรือชั่วคราว หากไม่มีการเสริมความมั่นคงต้องไม่มีการขุดเพิ่มเติม

7.8.4.3 หากเป็นแหวนสำเร็จรูป (pre-formed rings) ต้องเสริมความมั่นคงด้วยการเกราต์

7.8.4.4 หากใช้วิธีปล่องแบบวงแหวน (caisson operation) ต้องติดตั้งใบมีดตัด (cutting edge) ที่วงแหวนตัวนำ (leading ring) รายละเอียดการยึดแหวนปล่อง (caisson rings) ต้องหลีกเลี่ยงการทำงานในที่สูง ใบมีดตัดต้องรักษาระดับให้สม่ำเสมอรอบปล่องระหว่างการจมปล่อง อุปกรณ์ในการดันหรืออุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก (jacking arrangements หรือ kentledge) ต้องเหมาะสมกับการปฏิบัติงาน และมั่นคง พื้นที่สำหรับสารหล่อลื่นต้องเติมเต็มรอบเส้นรอบวงของปล่องระหว่างการขุด เมื่อขุดเสร็จต้องแทนที่สารหล่อลื่นด้วยวัสดุเกราต์

7.8.4.5 กำแพงคอนกรีตที่ติดตั้งโดยใช้เทคนิคร่องสเลอร์รีหรือ Secant Piling ต้องสอดคล้องกับวิธีปฏิบัติตามการออกแบบ ข้อเสนอต่าง ๆ ของผู้รับจ้างต้องส่งมอบให้วิศวกรเพื่อขออนุมัติ

7.8.4.6 หากใช้ระบบอัดอากาศแรงดันต่ำ (low-pressure compressed air) เพื่อช่วยในการก่อสร้างปล่อง ช่องอากาศและห้องปรับสมดุลแรงดันอากาศต้องได้รับการออกแบบโดยผู้ออกแบบ เพื่อให้มีขอบเขตความปลอดภัยที่เหมาะสมต่อแรงดันอากาศที่ใช้ในปล่อง ข้อเสนอต่าง ๆ ต้องส่งมอบให้วิศวกรผู้ควบคุมงาน

7.8.4.7 หากมีการใช้งานวัตถุระเบิดในการเจาะปล่อง ต้องติดตั้งแผ่นปิดปล่องแบบเต็มความกว้าง (full-width shaft covers) และแผ่นคลุมระเบิด (blasting mats) ในระหว่างการระเบิด

7.8.4.8 ปล่องแบบเซกเมนต์ (segmental shafts) ต้องถูกสร้างขึ้นตามข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของปล่องแบบเซกเมนต์ (segmental shafts) ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับรถไฟความเร็วสูงตามมาตรฐาน Specification for Tunnelling ของ The British Tunnelling Society ในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงการ

7.8.4.9 วัสดุยึดรอยต่อ (packing materials) ในปล่องแบบเซกเมนต์ต้องสอดคล้องมาตรฐาน Specification for Tunnelling ของ The British Tunnelling Society การอุดรอยต่อ (caulking) และการชี้แนวรอยต่อ (pointing) และเมื่อต้องการปะเก็นสำหรับเซกเมนต์ (segment gaskets) ต้องสอดคล้องตามข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของปะเก็นสำหรับเซกเมนต์ (segment gaskets) ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับรถไฟความเร็วสูงตามมาตรฐาน Specification for Tunnelling ของ The British Tunnelling Society ในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงการ

7.8.4.10 รายละเอียดทั้งหมดของปล่องชั่วคราวที่จำเป็นตามวิธีการทำงานของผู้รับจ้าง สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์หรือช่องดันท่อในซับในปล่อง ต้องส่งมอบให้วิศวกรเพื่อขออนุมัติก่อนเริ่มงาน

7.8.4.11 ฐานปล่อง (shaft bases) ต้องเทคอนกรีตตามแบบ (drawings) ในกรณีปล่องชั่วคราว ผู้รับจ้างต้องส่งข้อเสนอสำหรับโครงสร้างฐานปล่อง ซึ่งรวมถึงการคำนึงถึงแรงดันดินและน้ำใต้ดิน รวมถึงการปิดผนึกปล่องเพื่อป้องกันการซึมของน้ำ ต้องห้ามให้แรงดันน้ำสะสมจนกว่าฐานปล่องจะมีความต้านทานที่เพียงพอเพื่อป้องกันการลอยตัว ลำดับการก่อสร้างที่แสดงในแบบต้องปฏิบัติตาม เว้นแต่จะได้รับการอนุมัติจากวิศวกรสนาม

7.8.4.12 หากมีการสูบน้ำ (dewatering) หรือเกราต์ปรับปรุงพื้นดิน (ground treatment) ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน Specification for Tunnelling ของ The British Tunnelling Society ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ต้องมีการได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรสนาม

7.8.5 การก่อสร้างปล่องด้วยการเจาะระเบิด

7.8.5.1 ส่วนหัวปล่อง (shaft head) ให้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฝน และต้องก่อสร้างวงแหวนล็อคทางเข้าปล่องให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มการเจาะปล่องหลัก การก่อสร้างวงแหวนล็อคต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(2) อยู่สูงเหนือพื้นดินไม่น้อยกว่า 0.5 m หรือเทคอนกรีตเป็นวงแหวนรอบผนังดินถม และต้องมีระบบระบายน้ำที่บริเวณหัวปล่องอย่างเหมาะสม

(3) ให้เชื่อมต่อกับส่วนคอปล่อง ผนังปล่อง และโครงสร้างปล่องโดยต้องเป็นเนื้อเดียวกัน

7.8.5.2 ระบบขนส่งในแนวดิ่งต้องได้รับการออกแบบและคำนวณเพื่อการตรวจสอบ โดยให้ทำการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างปล่องแนวดิ่งดังต่อไปนี้

(1) น้ำหนักบรรทุกปกติ (normal load) ประกอบด้วยน้ำหนักของโครงสร้างปล่องแนวดิ่ง น้ำหนักของอุปกรณ์ช่วยยก และน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากการยกและชักรอกลวดสลิงเหล็ก

(2) น้ำหนักบรรทุกพิเศษ (special load) ประกอบด้วยแรงดึงสูงสุดของลวดสลิงเหล็กที่ใช้ยก คำนวณเป็นสองเท่าของแรงดึงเมื่อใช้งาน และพิจารณาแรงลมคิดเป็น 50% ของน้ำหนักบรรทุก

7.8.5.3 การเจาะปล่องแนวดิ่งด้วยวิธีการเจาะและระเบิด ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

(1) การขุดตัวปล่อง ให้ใช้รูปแบบการเจาะระเบิดแบบทรงกระบอก (cylinder cut method) ในกรณีที่พบชั้นน้ำใต้ดิน ให้ดำเนินการขุดขยายฐานปล่องในแนวดิ่งล่วงหน้า เพื่อป้องกันปัญหาน้ำรั่วซึมเข้าสู่บริเวณขุด

(2) ก่อนการเจาะ ให้เก็บกวาดเศษวัสดุบริเวณหน้าขุดพร้อมระบายน้ำออกจากพื้นที่หลังจากเจาะรูระเบิดเสร็จ ให้ทำการปิดรูชั่วคราวเพื่อป้องกันการรั่วซึมหรือการพังทลายของดินหรือหิน

(3) หลังจากการระเบิดแต่ละครั้ง ให้ตรวจสอบหน้าตัดการขุด และต้องไม่ให้เกิดการขุดน้อยกว่าขอบเขต และตรวจสอบแนวศูนย์กลางทุกระยะ 5 ถึง 10 เมตร เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนของแนวปล่อง

7.8.5.4 สามารถใช้เครื่องมือขุดร่วมกับถังยกหรือกระเช้าสำหรับขนเศษวัสดุออกจากปล่อง เพื่อความปลอดภัยให้ติดตั้งเชือกยึดหรืออุปกรณ์เสริมด้านความปลอดภัยเพิ่มเติม

7.8.5.5 ต้องมีการระบายอากาศ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตราย และระบบระบายอากาศต้องเป็นไปตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และการดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศ พ.ศ. 2562

7.8.5.6 การปฏิบัติการยกในปล่องแนวดิ่ง (vertical shaft lifting operation) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) เครื่องจักรที่ใช้ในการยก ต้องไม่บรรทุกเกินพิกัดและต้องติดตั้งอุปกรณ์แสดงระดับความลึก อุปกรณ์ป้องกันการหมุนเกินระยะ อุปกรณ์ป้องกันความเร็วเกิน อุปกรณ์จำกัดความเร็ว รวมถึงสัญญาณเตือนการหย่อนของลวดสลิงและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับความปลอดภัย

(2) เมื่อต้องใช้ระบบยกแบบกระเช้า (cage lifting) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(2.1) กระเช้าต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการตกที่มั่นคงและปลอดภัย สำหรับกระเช้าที่ใช้ร่วมกับการขนส่งคนงานต้องติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยเพิ่มเติมให้เหมาะสม

(2.2) ความเร่งของกระเช้าต้องไม่เกิน 0.75 $m/s^2$ สำหรับการยกคนงาน และต้องไม่เกิน 1 $m/s^2$ สำหรับการยกวัสดุ ความเร็วสูงสุดของการยกคนต้องไม่เกิน 12 m/s

(3) อุปกรณ์ตะขอยกที่ใช้ยกต้องอยู่ในสภาพมั่นคง ต้องไม่มีระบบการปลดตะขออัตโนมัติ และต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดความเร็วในการหมุน

(4) ความเร่งสูงสุดของการยกและลดระดับของถังบรรทุกเศษวัสดุ (skip) ตามแนวลวดสลิงที่มีการยึดตรึง ต้องไม่เกิน 0.5 $m/s^2$ และในส่วนที่ลวดสลิงไม่ถูกยึดตรึง ต้องไม่เกิน 0.3 $m/s^2$

(5) น้ำหนักบรรทุกของถังบรรทุกเศษวัสดุต้องไม่เกินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักตามที่ออกแบบไว้

(6) ลวดสลิงเหล็กสำหรับยก และอุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับการแขวนต้องมีค่าความปลอดภัยตามที่กำหนด โดยก่อนการใช้งานต้องผ่านการทดสอบแรงดึงและระหว่างการใช้งานต้องมีการตรวจสอบบำรุงรักษา และเปลี่ยนอุปกรณ์ตามความเหมาะสม

(7) ต้องติดตั้ง รั้วนิรภัยและ ประตูนิรภัย ล้อมรอบบริเวณปากปล่องเพื่อป้องกันอุบัติเหตุระหว่างการยก

## 8. การขนย้ายและจัดการเศษวัสดุจากการระเบิด

การขนย้ายและจัดการเศษวัสดุจากการระเบิดเป็นกระบวนการสำคัญที่เชื่อมโยงโดยตรงกับประสิทธิภาพของการขุดอุโมงค์ หากไม่มีการวางแผนและบริหารจัดการอย่างรัดกุม อาจทำให้เกิดความล่าช้า เพิ่มความเสี่ยงด้านความปลอดภัย และส่งผลต่อความต่อเนื่องของงานก่อสร้างโดยรวม โดยในส่วนนี้จึงได้กำหนดข้อกำหนดทั่วไป ตลอดจนแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการขนย้ายเศษวัสดุด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การขนส่งทางถนน การขนส่งด้วยราง และการลำเลียงด้วยสายพาน

8.1 ข้อกำหนดทั่วไปของการขนย้ายและจัดการเศษวัสดุจากการระเบิด

8.1.1 หลังการระเบิด เศษวัสดุที่ผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ต้องถูกจัดการออกจากหน้าผิวขุดอุโมงค์ในเวลาที่เหมาะสม การขนย้ายเศษวัสดุสามารถใช้วิธีการขนส่งตามความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ การเลือกใช้เทคนิคในการจัดการ และ สภาพของเศษวัสดุ

8.1.2 ประเภทของการขนย้ายเศษวัสดุในการก่อสร้างอุโมงค์ต้องพิจารณาอย่างรอบด้าน โดยพิจารณาจากขนาดของหน้าตัด วิธีการก่อสร้าง เครื่องจักร และความต้องการความคืบหน้าของงาน สามารถเลือกใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุก รางขนส่ง หรือสายพานลำเลียง

8.1.3 ระบบจัดการการขนย้ายเศษวัสดุต้องถูกติดตั้งภายในอุโมงค์ แผนการขนย้ายต้องถูกจัดเตรียมตามความคืบหน้าของงานก่อสร้าง และดำเนินการให้สอดคล้องกันและมีคำสั่งที่เป็นระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

8.1.4 ต้องมีป้ายเตือนและสัญญาณเสียงหรือแสงสำหรับการขนย้ายเศษวัสดุในอุโมงค์

8.1.5 ระหว่างการก่อสร้าง การถมพื้นด้านล่างหรือการหล่อคอนกรีตพื้นผิวต้องดำเนินการหลังจากการขุดผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์เสร็จในเวลาที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสภาพการขนย้ายภายในอุโมงค์

8.1.6 อุปกรณ์ก่อสร้างสำหรับพื้นอุโมงค์ แผ่นกันน้ำ หลังคาอุโมงค์ผนังด้านข้าง และผนังด้านข้างต้องเหมาะสมกับการขนย้ายเศษวัสดุ และต้องมีสัญญาณและป้ายเตือนเพื่อความปลอดภัย

8.1.7 ในการเลือกพื้นที่ในการกองเก็บและการขนย้ายเศษวัสดุ ต้องมีการทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (environmental impact assessment : EIA) ก่อนเริ่มการก่อสร้าง เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบของโครงการ

8.2 การขนย้ายเศษดิน

8.2.1 แผนการขนย้ายเศษดิน

8.2.1.1 แผนการขนย้ายเศษดินต้องเหมาะสมกับสภาพพื้นดิน สภาพสถานที่ ขนาดของหน้าตัดอุโมงค์ ความยาวของอุโมงค์ ความลาดเอียง วิธีการขุดระบบการขับเคลื่อนอุโมงค์ ลักษณะของเศษดิน เป็นต้น แผนดังกล่าวต้องเหมาะสมกับระยะทางในการขนส่งไปยังพื้นที่ทิ้งเศษดิน สภาพเส้นทาง และระบบรับเศษดินที่จุดทิ้งเศษดิน

8.2.1.2 หากคาดว่าเศษดินมีส่วนผสมของโลหะหนัก จำเป็นต้องพิจารณามาตรการในการจัดการ

8.2.1.3 โดยทั่วไปจะใช้การขนย้ายทางถนนและทางราง แต่ในบางกรณีใช้ระบบสายพานลำเลียง ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.5

8.2.2 เครื่องจักรสำหรับขนย้ายเศษดิน

8.2.2.1 เครื่องจักรขนย้ายเศษดิน ปัจจุบันมีการใช้เครื่องจักรขนย้ายเศษดินที่ขับเคลื่อนด้วยดีเซลหรือไฟฟ้าจำนวนมาก หากใช้เครื่องจักรที่ขับเคลื่อนด้วยดีเซล จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์กรองไอเสีย มีวิธีการขนย้าย 3 แบบ ได้แก่ การขนย้ายทางถนน การขนย้ายด้วยสายพาน และการขนย้ายทางราง นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้การขนส่งด้วยราง ใช้เครื่องตัก รถไฟหรือสายพานลำเลียงเป็นอุปกรณ์เสริมในการขนย้ายเศษดิน โดยความแตกต่างในการขนส่งเศษดินและวิธีการขนส่งเศษวัสดุแสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.4

8.2.2.2 การขนย้ายทางถนนใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ การขนย้ายทางรางใช้รถขนเศษดินแบบ Shuttle Car นอกจากนี้ยังมีการขนย้ายด้วยวิธีการอื่น ๆ เช่น การใช้ตู้คอนเทนเนอร์ สายพานลำเลียง และแคปซูล รวมถึงในกรณีที่เป็นอุโมงค์ยาว ใช้สายพานลำเลียง

8.2.2.3 ลานพักเศษดินชั่วคราว ความจุของลานพักเศษดินชั่วคราวต้องวางแผนให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงปริมาณเศษดินที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง ระบบการขนย้าย สภาพการจราจรทางถนน และองค์กรที่รับเศษดิน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาระหว่างการขุดอุโมงค์

8.3 การขนส่งทางถนน

8.3.1 ระบบเบรก ระบบเลี้ยว และอุปกรณ์ความปลอดภัยของรถบรรทุกต้องได้รับการตรวจสอบเป็นประจำ ต้องติดตั้งสัญลักษณ์หรือป้ายแสดงขนาดบนรถบรรทุกขนาดใหญ่

8.3.2 ต้องจัดให้มีสิ่งอำนวยความปลอดภัยฉุกเฉินสำหรับระบบขนส่งบนทางลาดระยะไกลในตำแหน่งที่เหมาะสม

8.3.3 การขนของรถบรรทุกที่ผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังนี้

8.3.3.1 รถบรรทุกที่รอเข้าสู่ตำแหน่งขนวัสดุต้องหยุดอยู่ภายนอกระยะรัศมีของแขนขุด

8.3.3.2 รถบรรทุกที่กำลังขนวัสดุต้องมีการเบรก และคนขับต้องไม่ยื่นส่วนใดของร่างกายออกนอกตัวถังรถ และห้ามบุคคลอื่นขึ้น ลง ตรวจสอบ หรือซ่อมแซมรถ

8.3.3.3 รถบรรทุกขนส่งต้องไม่เข้าหรือออกจากจุดขนวัสดุก่อนที่เครื่องจักรตักจะส่งสัญญาณ

8.3.3.4 ขณะรอการขนวัสดุ รถบรรทุกต้องจอดอยู่ในระยะที่ปลอดภัยต่อกัน

8.3.3.5 การขนส่งด้วยรถบรรทุกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

(1) ความเร็วของรถในเขตก่อสร้างต้องไม่เกิน 15 km/h และต้องไม่เกิน 25 km/h ในเขตก่อสร้างอุโมงค์ที่เสร็จแล้ว

(2) อุโมงค์ทางเดี่ยวต้องจัดให้มีจุดกลับรถบรรทุกในระยะห่าง 150 ถึง 300 m

(3) ห้ามเทเศษวัสดุในพื้นที่ลาดชัน พื้นที่อ่อน หรือพื้นลาดเอียงอย่างเด็ดขาด หลังการหล่อ กระบะบรรทุกต้องปรับตั้งใหม่ทันที ห้ามขับขี่ขณะที่กระบะบรรทุกยังยกอยู่

8.4 การขนส่งทางราง

8.4.1 สำหรับการขนส่งทางราง ระบบรางสำหรับการจอด การรวมกลุ่ม การขนถ่ายวัสดุ การขนส่งวัสดุก่อสร้าง การบำรุงรักษาอุปกรณ์ และอื่นๆ ต้องจัดเตรียมไว้ภายนอกอุโมงค์ตามความจำเป็น การวางรางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

8.4.1.1 ระยะห่างระหว่างหมอนรองรางต้องไม่เกิน 0.7 m

8.4.1.2 ความหนาของฐานรองรางต้องไม่น้อยกว่า 200 mm

8.4.1.3 ในกรณีที่ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่บนราง มาตรฐานการวางรางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิคและคุณสมบัติของเครื่องจักร

8.4.1.4 สำหรับการขนส่งด้วยราง หากใช้ทางเดี่ยว ต้องจัดให้มีชุดสับเปลี่ยนรางในระยะห่างทุก ๆ 300 m

8.4.1.5 ระหว่างการขนถ่ายด้วยเครื่องจักรเดินทางบนราง เส้นทางรางต้องเชื่อมต่อกับผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ และต้องเคลื่อนรางสำหรับการขนถ่ายล่วงหน้า

8.4.2 รางขนส่งต้องได้รับการบำรุงรักษาและซ่อมแซมโดยผู้ปฏิบัติงานเฉพาะทาง และเศษวัสดุหรือสิ่งสกปรกบนสองข้างรางต้องได้รับการขนย้าย

8.4.3 ความเร็วของยานพาหนะขนส่งต้องไม่เกิน 10 km/h ในพื้นที่ก่อสร้างอุโมงค์ เช่น ทางโค้งที่มองไม่เห็น ชุดสับเปลี่ยนราง หรือทางผ่านหน้าอุโมงค์ และต้องไม่เกิน 20 km/h ในพื้นที่อื่นที่มีมาตรการความปลอดภัย

8.4.4 สำหรับรางขนส่ง การขนย้ายเศษวัสดุและอุปกรณ์ต้องจัดให้เหมาะสมตามสภาพภูมิประเทศของจุดขนย้ายเศษวัสดุ และระบบการจัดการเศษวัสดุ

8.4.5 การขนส่งด้วยรางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยดังต่อไปนี้

8.4.5.1 ความสูงของการบรรทุกบนยานพาหนะต้องไม่สูงเกิน 500 mm เหนือความสูงของตัวรถ และความกว้างต้องไม่เกินความกว้างของตัวรถ

8.4.5.2 รถไฟต้องเชื่อมต่อกันอย่างแน่นหนา ต้องมีมาตรการป้องกันการลื่นไถลเมื่อหัวรถจักรถูกเลื่อน เชื่อมต่อ หรือหยุดหลังจากถอดรถพ่วงออก

8.4.5.3 ระยะห่างระหว่างรถไฟสองขบวนที่วิ่งในทิศทางเดียวกันต้องไม่น้อยกว่า 100 m

8.4.5.4 ระยะห่างระหว่างวัสดุที่จัดเก็บชั่วคราวข้างรางกับขอบด้านนอกของรางเหล็กต้องไม่น้อยกว่า 800 mm และความสูงของวัสดุต้องไม่เกิน 1 m เหนือพื้น

8.4.5.5 ลานเทเศษวัสดุต้องมีเส้นความปลอดภัยและลาดเอียง 1% ถึง 3% ขึ้นไปตามราง พื้นที่เทเศษวัสดุต้องถูกก่อสร้างอย่างมั่นคง และต้องติดตั้งตะขอราวกั้น และอุปกรณ์หยุดเพื่อป้องกันรถไฟลื่นไถล

8.4.5.6 ต้องมีการเป่านกหวีดและแจ้งเตือนเมื่อรถไฟวิ่งในอุโมงค์ ห้ามบุคคลที่ไม่มีความชำนาญขับหรือเลื่อนรถไฟ และทำการควบคุมขณะรถไฟกำลังวิ่ง

8.4.5.7 ต้องจัดทำมาตรการความปลอดภัยเฉพาะสำหรับการปฏิบัติงานที่มีบุคคลควบคุม

8.5 การลำเลียงด้วยสายพาน

8.5.1 แผนการดำเนินงานสำหรับการลำเลียงด้วยสายพาน รวมถึงการเลือกสายพานลำเลียง การกำหนดตำแหน่งจุดลำเลียงเศษวัสดุ การจัดวางโครงสร้างสนับสนุน และอื่น ๆ ต้องได้รับการวางแผนตามวิธีการก่อสร้าง ความยาวของอุโมงค์ ขนาดหน้าตัด อุปกรณ์ตักและขนย้าย ความคืบหน้าของการก่อสร้างและตามปัจจัยอื่น ๆ

8.5.2 หากมีการใช้ระบบสายพานลำเลียงเพื่อขนเศษวัสดุออกจากอุโมงค์ ต้องมีการเตรียมแผนการขนสำหรับวัสดุก่อสร้างที่จะลำเลียงเข้าสู่อุโมงค์

8.5.3 การติดตั้งสายพานลำเลียงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

8.5.3.1 การติดตั้งโครงสร้างต้องมั่นคงและเชื่อถือได้

8.5.3.2 ลูกกลิ้งและลูกลำเลียงทั้งหมดต้องทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง

8.5.3.3 ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันการลื่นไถลของสายพานลำเลียง การลื่นของลูกกลิ้ง การฉีกขาดตามยาว การอุดตันของราง และอื่น ๆ สายพานลำเลียงที่เคลื่อนขึ้นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันการย้อนกลับของสายพาน และสายพานลำเลียงที่เคลื่อนลงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันความเร็วเกิน

8.5.3.4 ต้องติดตั้งอุปกรณ์หยุดฉุกเฉินแบบเชื่อมต่อกันตามแนวสายพานลำเลียง

8.5.3.5 ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันที่ส่วนที่หมุน เช่น ส่วนขับเคลื่อน การส่งกำลัง และอุปกรณ์ปรับความตึงอัตโนมัติ

8.5.3.6 ต้องมีแผงกั้นหรือรั้วป้องกันทั้งสองข้างของสายพาน

8.5.3.7 ต้องจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยในบริเวณใต้สายพานลำเลียง

8.5.3.8 ทางเดินข้างสายพานลำเลียงที่เอียงต้องไม่ลื่นและต้องมีราวจับ

8.5.4 การใช้งานสายพานลำเลียงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

8.5.4.1 ปล่อยสัญญาณเตือนด้วยเสียงและแสงก่อนเริ่มใช้งานสายพานลำเลียง

8.5.4.2 รักษาความสะอาดของสายพานลำเลียงและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ

8.5.4.3 ตรวจสอบการเบี่ยงของสายพานและปรับแก้โดยผู้ปฏิบัติงานเฉพาะทาง

8.5.4.4 ปิดแหล่งจ่ายไฟหลังจากหยุดเครื่อง

8.5.4.5 ห้ามใช้สายพานในการลำเลียงขนส่งอุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุ และผู้ปฏิบัติงาน

8.5.4.6 ห้ามวางสิ่งของเช่นแผ่นไม้หรือเศษวัสดุที่สามารถพันเกี่ยวระหว่างสายพานลำเลียงและลูกกลิ้ง

8.5.4.7 ต้องติดตั้งสายพานลำเลียงที่เชื่อถือได้และตึงแน่นด้วยตัวยึด

8.5.4.8 ห้ามบุคคลอยู่ใต้สายพานลำเลียงระหว่างการใช้งาน

8.5.5 การบำรุงรักษาสายพานลำเลียงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

8.5.5.1 การตรวจสอบ บำรุงรักษา และซ่อมแซมมอเตอร์ของสายพานลำเลียง ส่วนประกอบทางกล และระบบไฮดรอลิกของสายพานลำเลียงต้องดำเนินการตามข้อกำหนดการใช้งานและการบำรุงรักษา

8.5.5.2 ระหว่างการบำรุงรักษา เครื่องจักรต้องหยุดการทำงานและล็อคไว้ พร้อมกับมีการตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงานเฉพาะทาง ห้ามมิให้ซ่อมแซมหรือปรับแต่งสายพานลำเลียงขณะเครื่องกำลังทำงาน

8.5.5.3 ต้องมีมาตรการความปลอดภัยเมื่อใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า การเชื่อมด้วยแก๊สหรือการเชื่อมด้วยคบเพลิงในการซ่อมสายพานลำเลียง

8.5.5.4 เมื่อทำความสะอาดลูกกลิ้งหรือส่วนลำเลียงอื่น ๆ สายพานลำเลียงต้องหยุดการทำงานและล็อคไว้ โดยมีการตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงานเฉพาะทาง หลังจากทำความสะอาดเสร็จ ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องต้องได้รับแจ้งเพื่อปลดล็อคและเปิดเครื่องหลังการยืนยัน

## เอกสารอ้างอิง

อัมรินทร์ บุญตัน. (2557). อุโมงค์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6(4), 189–236. https://doi.org/10.1007/BF01239496

Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1993). Application of the Q-system in design decisions related to support and reinforcement of underground rock excavations. Norwegian Geotechnical Institute.

Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley.

British Tunnelling Society. (2023). Specification for tunnelling (4th ed.). London: Institution of Civil Engineers.

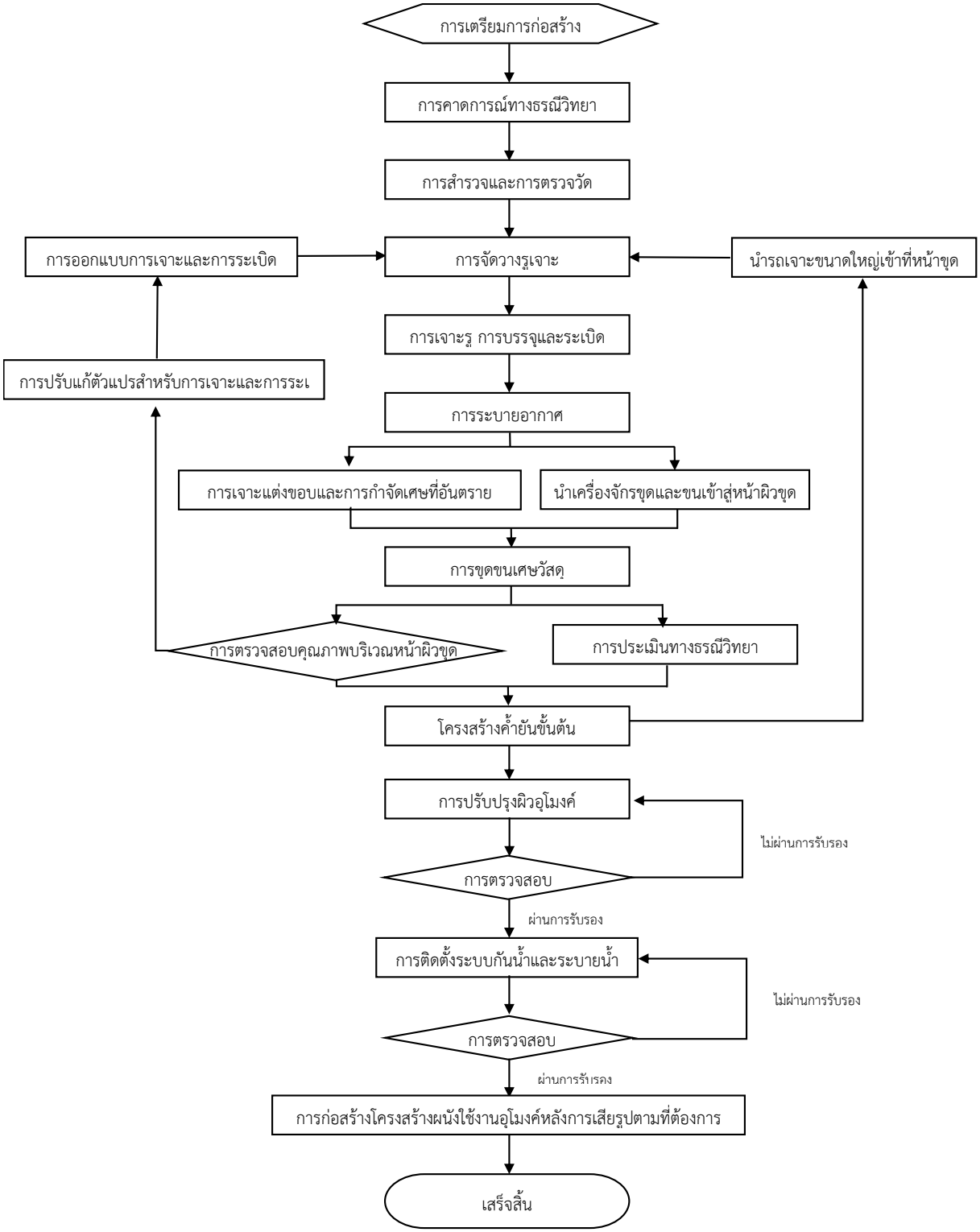
China Railway Corporation. (2015). Technical specification for construction of high-speed railway tunnel (Q/CR 9604-2015).

Japan Society of Civil Engineers. (2016). Standard specifications for tunneling – Mountain tunnels. Tokyo: JSCE.

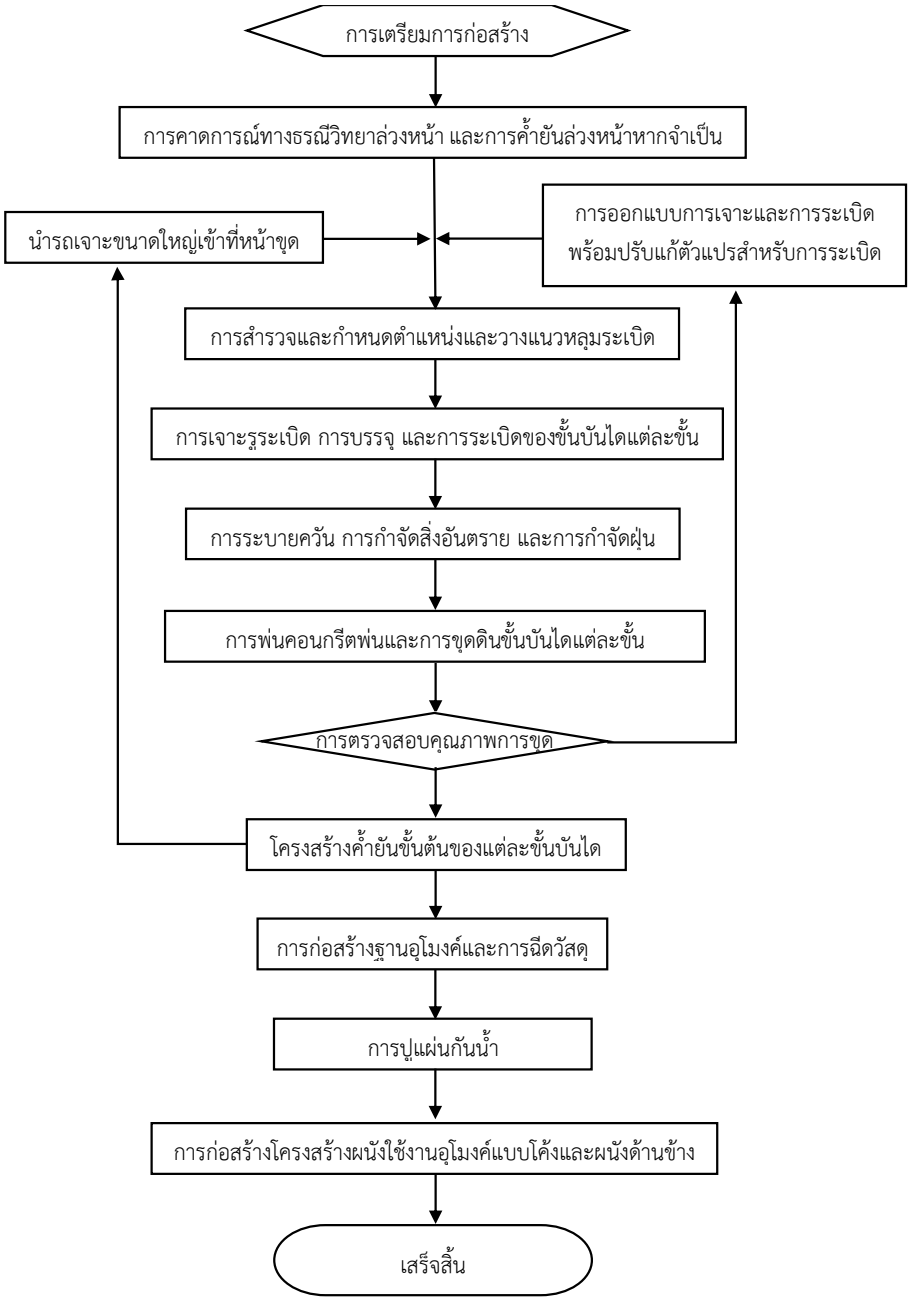
Wu, A., Zhao, W., Zhang, Y., & Fu, X. (2023). *A detailed study of the CHN-BQ rock mass classification method and its correlations with RMR and Q system and Hoek-Brown criterion*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 162*, Article 105290. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2022.105290

# ภาคผนวก ก.

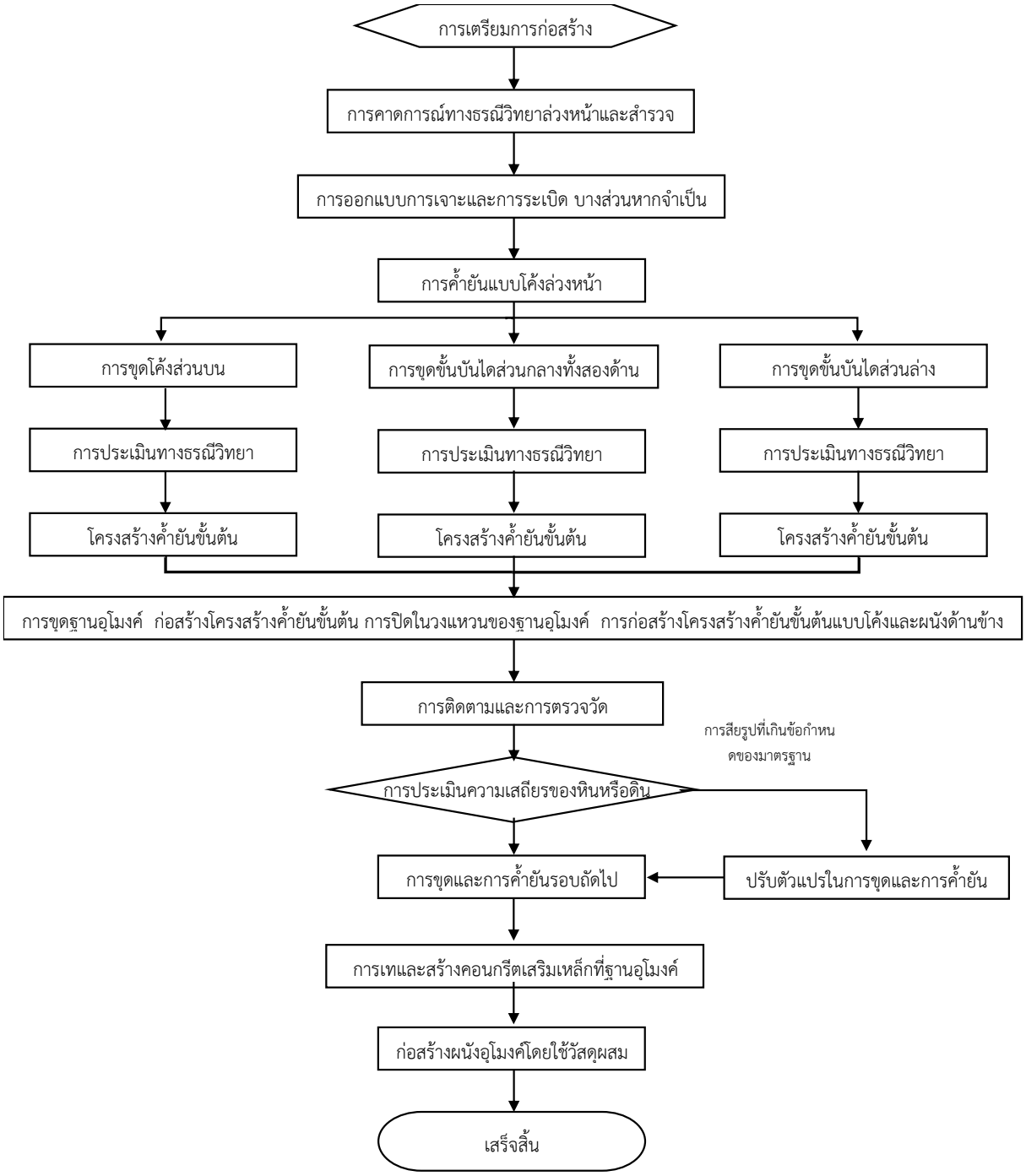
# แผนภาพลำดับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง



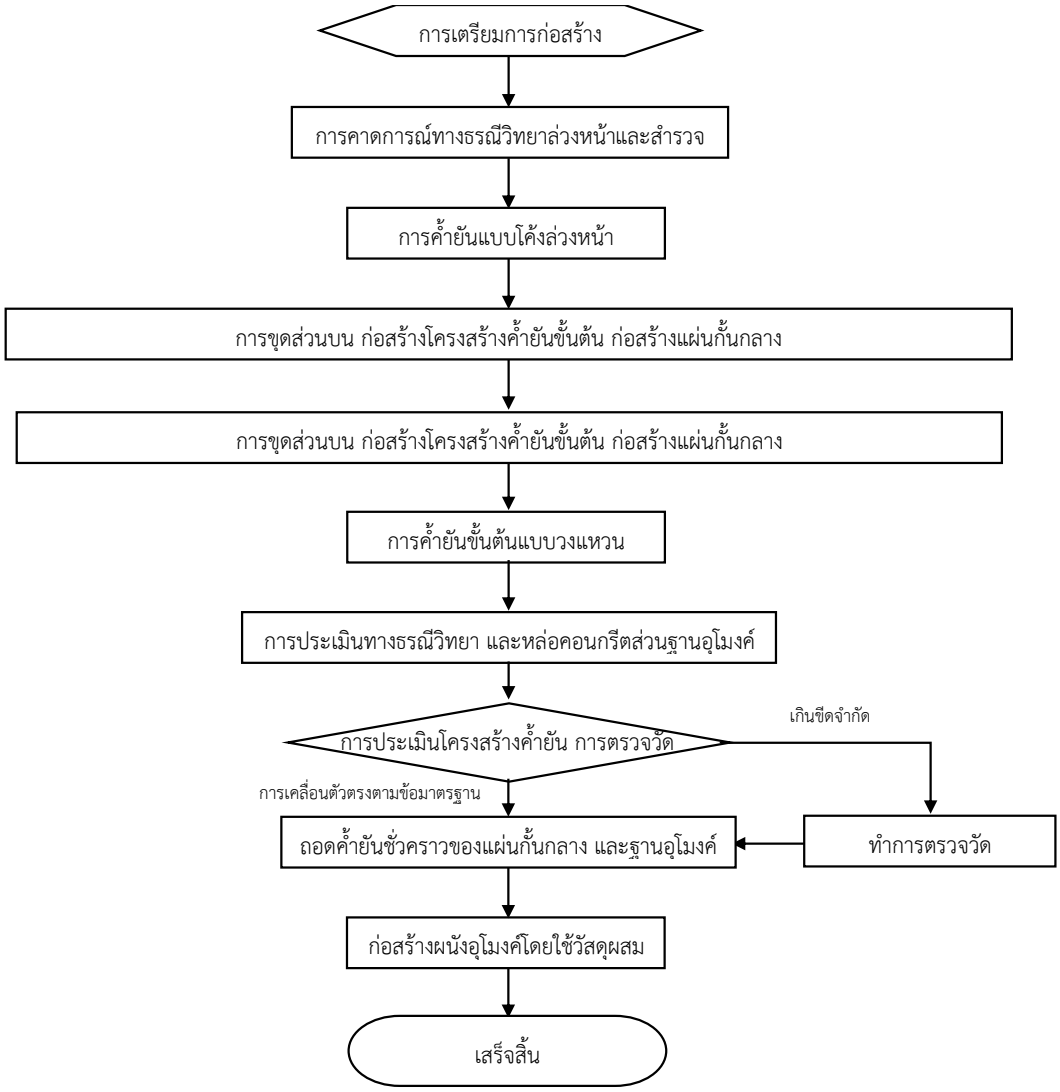

**รูปที่ ก.1 แผนผังการก่อสร้างวิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัด (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**



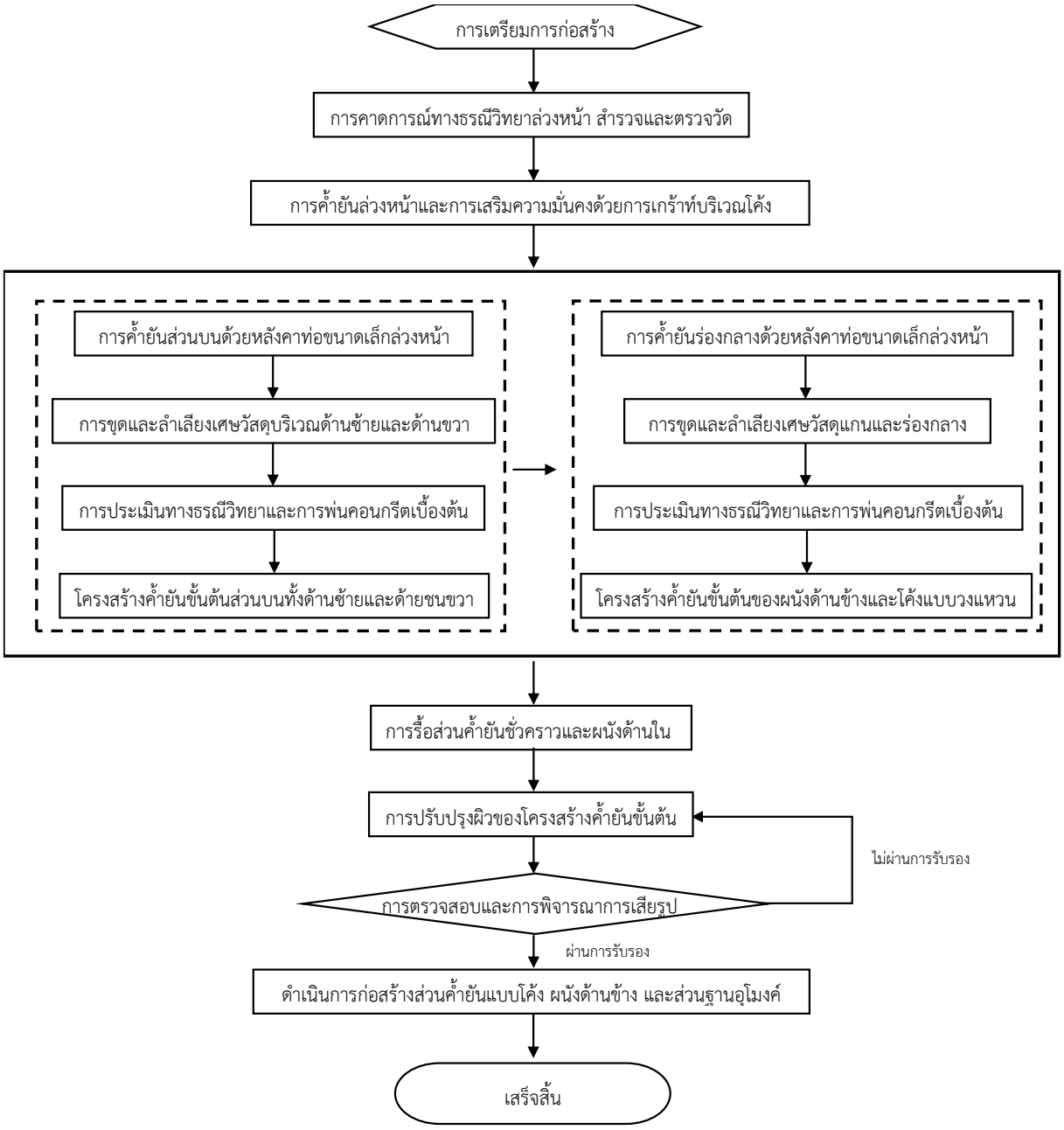

**รูปที่ ก.2 แผนผังการก่อสร้างวิธี Two-bench method และวิธี Three-bench method (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ ก.3 แผนภาพการก่อสร้างวิธี Three-bench core-soil method**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

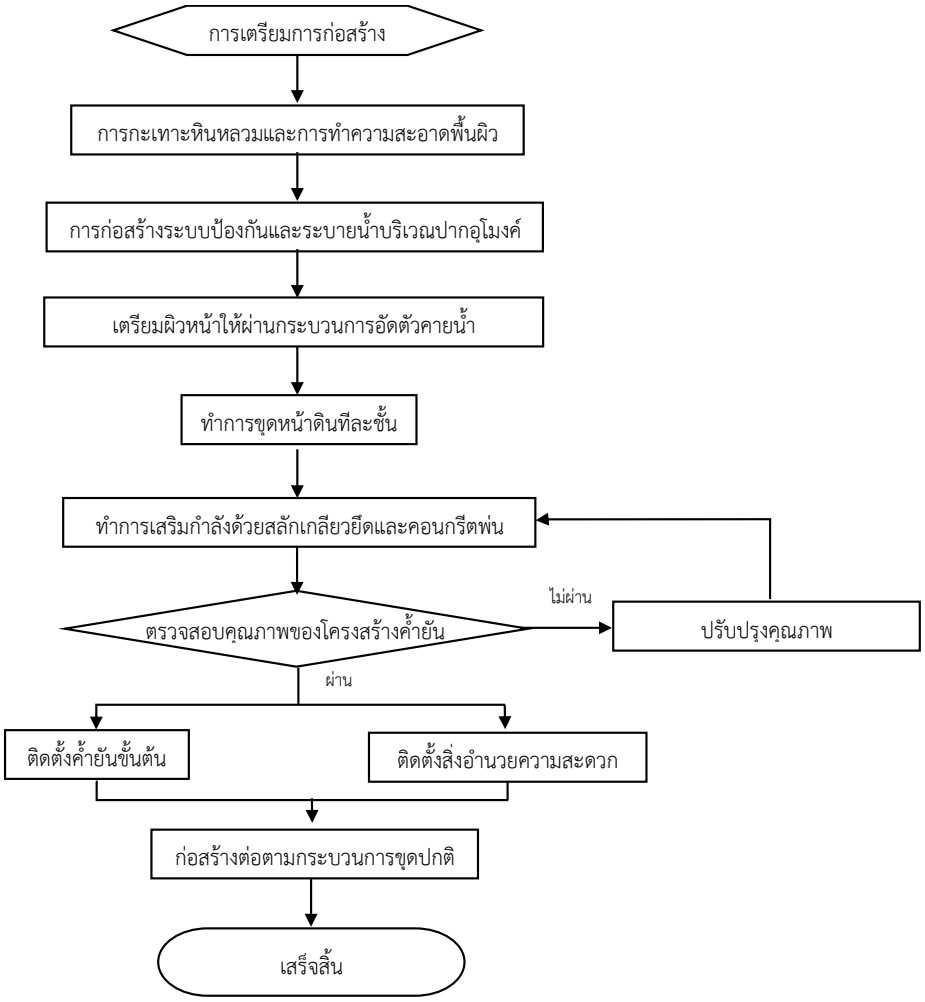



**รูปที่ ก.4 แผนผังการก่อสร้างวิธีการขุดแบบมีส่วนกลางของอุโมงค์เป็นค้ำยันชั่วคราว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

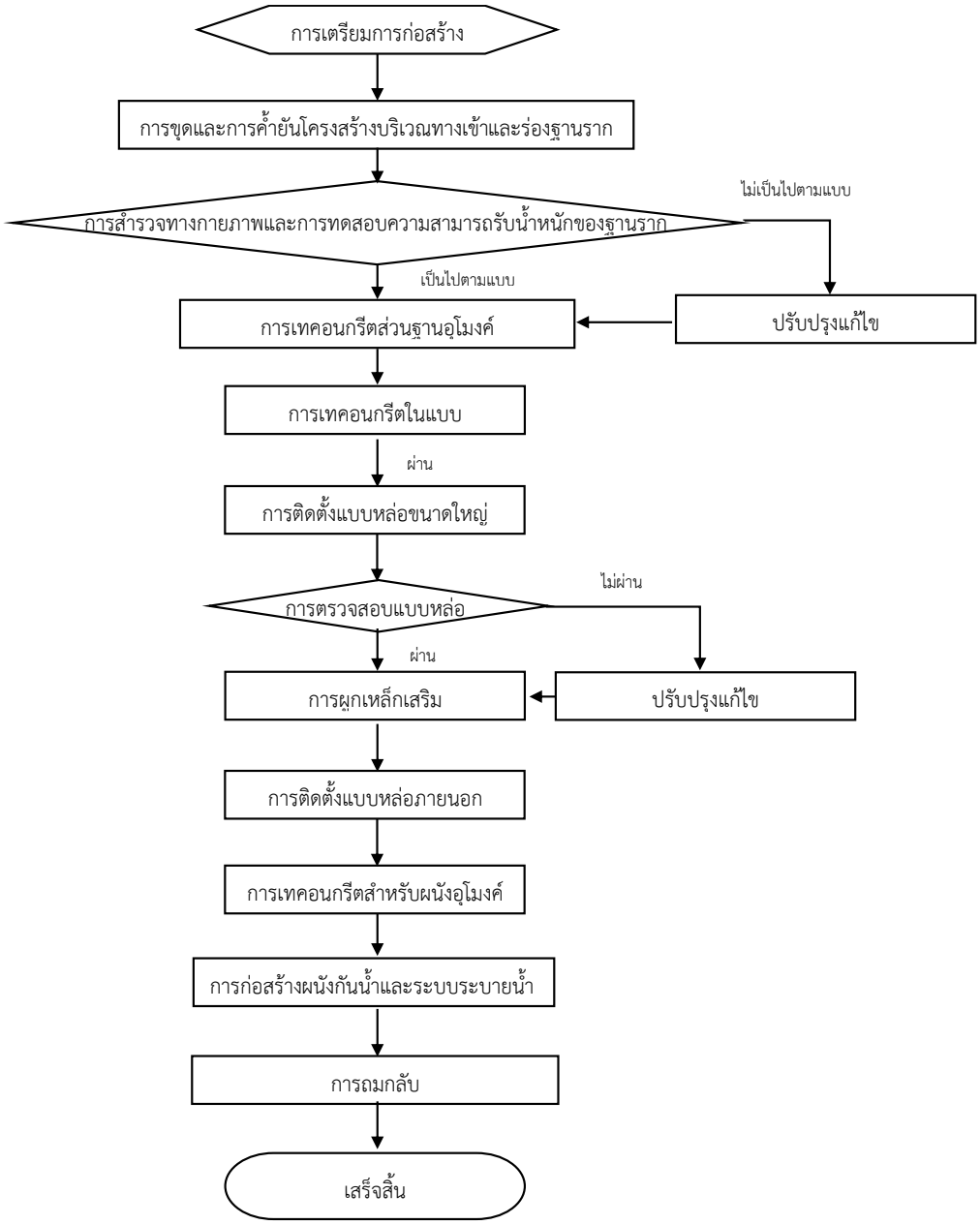



**รูปที่ ก.5 แผนผังการก่อสร้างวิธีการขุดแบบขุดนำด้านข้าง**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

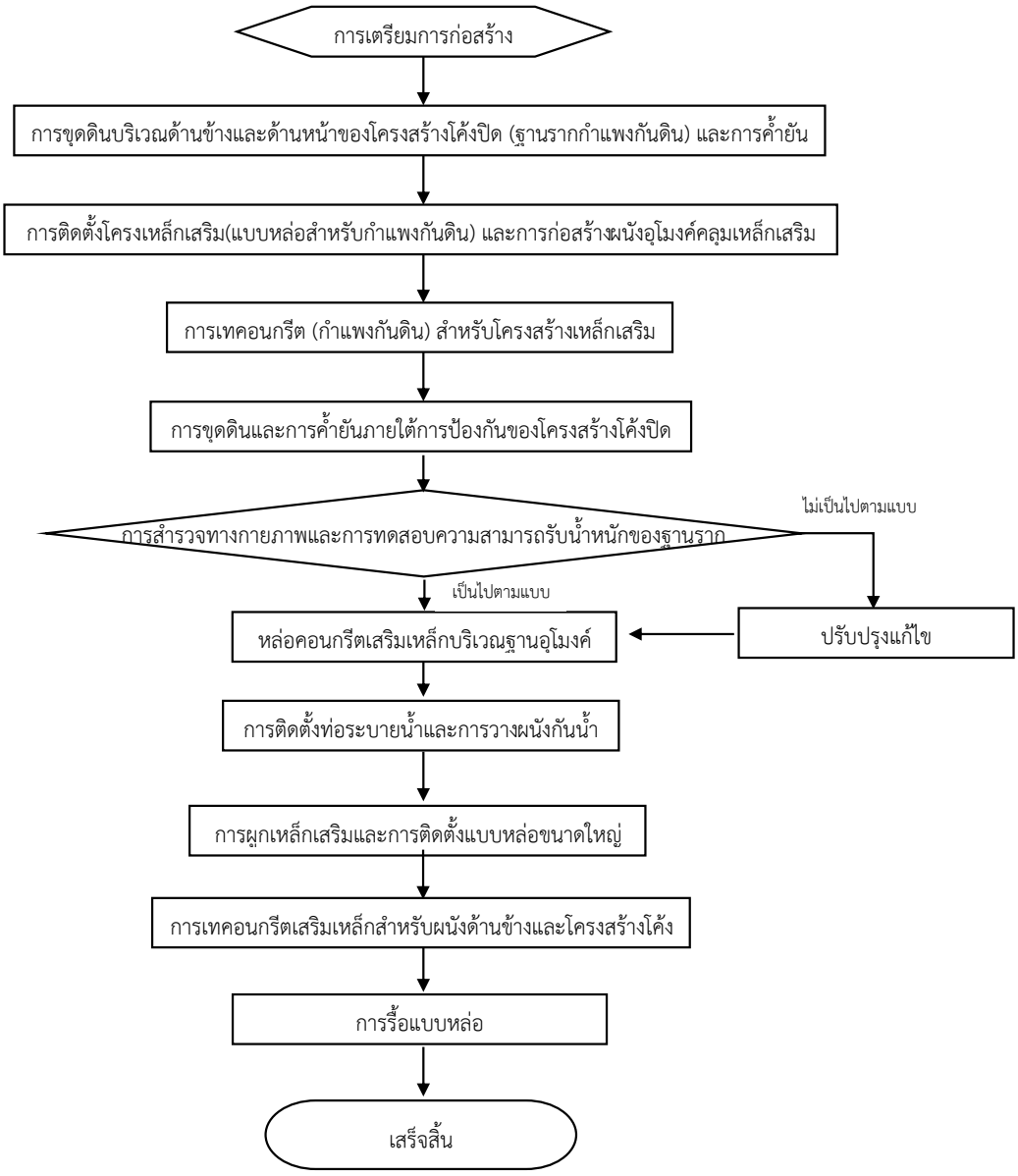

**รูปที่ ก.6 แผนผังการเจาะและการระเบิด (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**



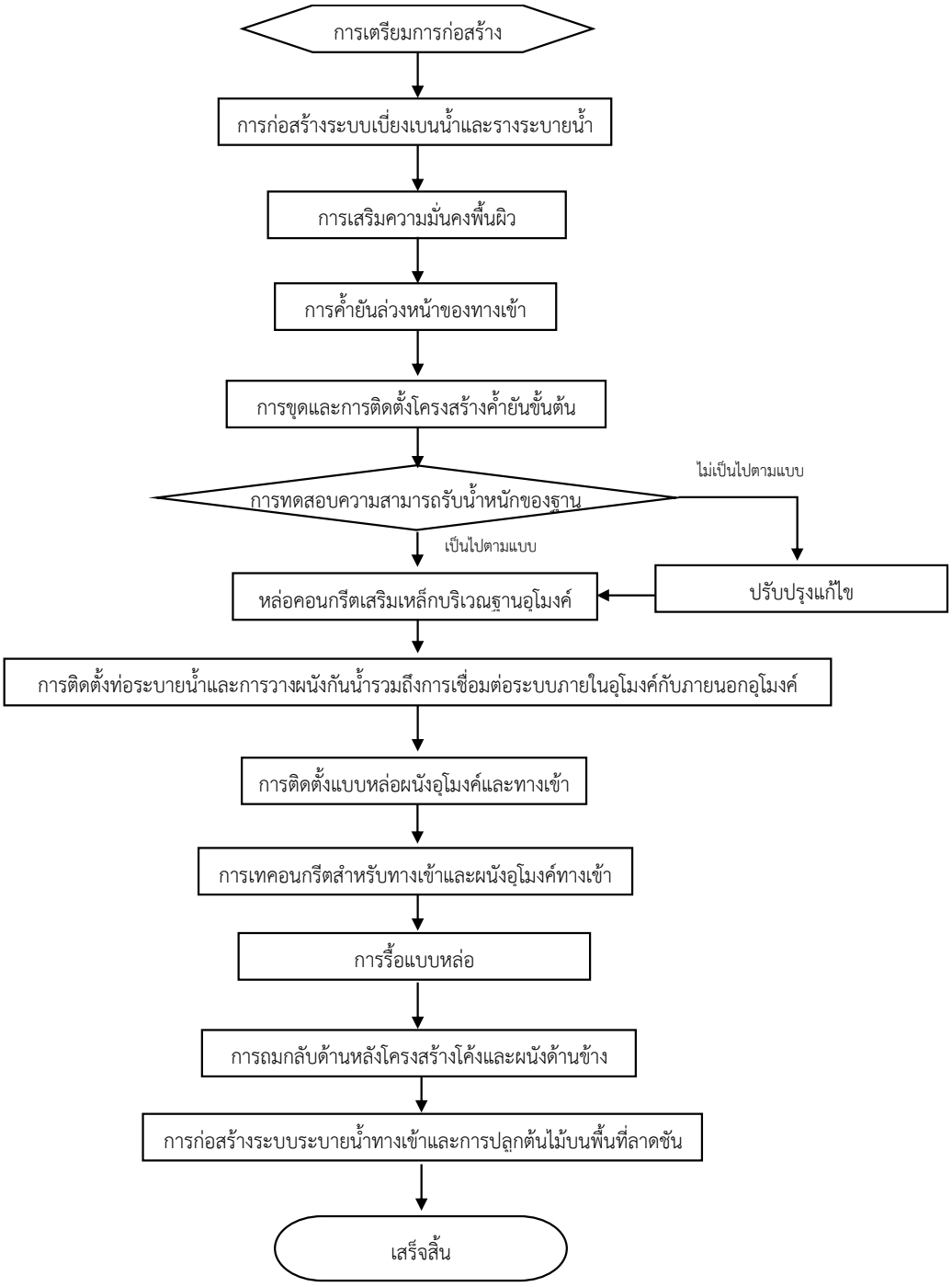

**รูปที่ ก.7 แผนผังการก่อสร้างงานขุดและรักษาเสถียรภาพทางลาดบริเวณปากอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**



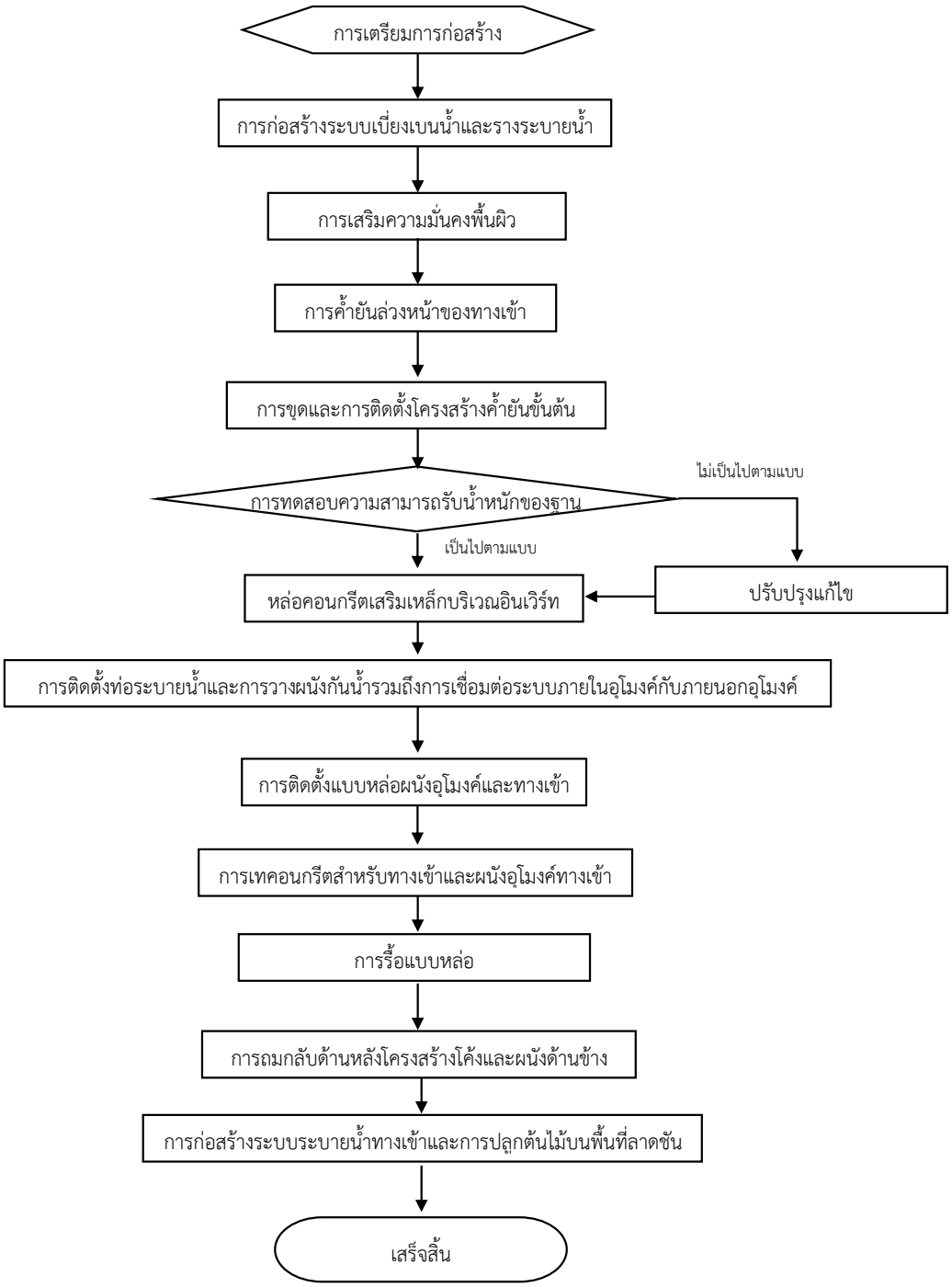

**รูปที่ ก.8 แผนผังการก่อสร้างอุโมงค์แบบเปิด (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ ก.9 แผนผังการก่อสร้างของอุโมงค์แบบเปิดด้วยวิธีขุดใต้ดิน**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ ก.10 แผนผังการก่อสร้างปากอุโมงค์ชนิด End wall**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**




**รูปที่ ก.11 แผนผังการก่อสร้างปากอุโมงค์แบบตัดส่วนบน**
**(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

# ภาคผนวก ข.

# ตารางเพิ่มเติมจากการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

**ตารางที่ ข.1 รายการตรวจสอบหลุมฐานราก (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| รายการตรวจสอบ | ประเภทหลุมฐานราก | | | วิธีการและเครื่องมือ | ความแม่นยำในการวัด |
|---|---|---|---|---|---|
| | ประเภทที่ 1 | ประเภทที่ 2 | ประเภทที่ 3 | | |
| การตรวจสอบภายในและภายนอกหลุม | ★ | ★ | ★ | การตรวจสอบด้วยสายตา | - |
| การทรุดตัวของพื้นผิวทั้งสองข้างของหลุม | ★ | ★ | ★ | กล้องระดับ | 1.0 mm |
| การทรุดตัวของโครงสร้างอาคารโดยรอบ | ★ | ★ | ★ | กล้องระดับ | 1.0 mm |
| การเอียงของโครงสร้างอาคารโดยรอบ | ★ | ★ | ★ | กล้องวัดมุม (theodolite) | 1.0 mm |
| การทรุดตัวของท่อใต้ดินโดยรอบ | ★ | ★ | ★ | กล้องระดับ | 1.0 mm |
| การเคลื่อนตัวของโครงสร้างค้ำยัน | ★ | ★ | ★ | เครื่องวัดมุม, ท่อวัดมุม | 1.0 mm |
| การเคลื่อนตัวแนวนอนของมวลดิน | ★ | ★ | ★ | เครื่องวัดมุม, ท่อวัดมุม | 1.0 mm |
| ระดับน้ำใต้ดิน | ★ | ★ | ☆ | ท่อวัดระดับน้ำ เครื่องวัดระดับน้ำ | 5.0 mm |
| แรงตามแนวแกนของการค้ำยัน | ★ | ★ | ☆ | เครื่องวัดแรงตามแนวแกน | 0.5% F.S |
| การเคลื่อนตัวของยอดลาด | ★ | ☆ | ☆ | กล้องวัดมุม, กล้องระดับ | 1.0 mm |
| การเคลื่อนตัวของส่วนบนของโครงสร้างค้ำยัน | ★ | ☆ | ☆ | กล้องวัดมุม, กล้องระดับ | 1.0 mm |

**ตารางที่ ข.1 รายการตรวจสอบหลุมฐานราก (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) (ต่อ)**

| รายการตรวจสอบ | ประเภทหลุมฐานราก | | | วิธีการและเครื่องมือ | ความแม่นยำในการวัด |
|---|---|---|---|---|---|
| | ประเภทที่ 1 | ประเภทที่ 2 | ประเภทที่ 3 | | |
| การทรุดตัวของเสาแนวตั้ง | ★ | ☆ | ☆ | กล้องระดับ | 1.0 mm |
| การคืนตัวของก้นหลุม | ☆ | ☆ | ☆ | กล้องระดับ | 1.0 mm |
| แรงดันน้ำ | ☆ | ☆ | ☆ | เครื่องวัดแรงดันน้ำ | 0.5% F.S |
| แรงดันดิน | ☆ | ☆ | ☆ | เครื่องวัดแรงดันดิน | 0.5% F.S |
| การทรุดตัวของชั้นดิน | ☆ | ☆ | ☆ | เครื่องวัดการทรุดตัว | 1.0 mm |

<u>หมายเหตุ:</u> ★ คือรายการที่จำเป็น ☆ คือรายการที่เลือกได้ F.S. คืออุปกรณ์แบบเต็มรูปแบบ

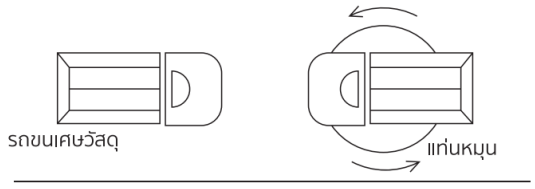
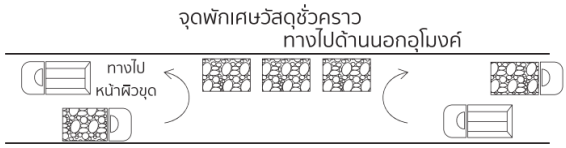
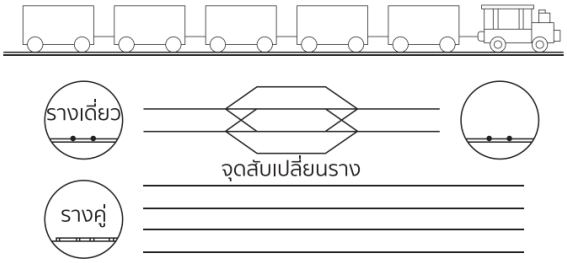
**ตารางที่ ข.2 ขอบเขตการจัดวางจุดตรวจสอบ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| รายการตรวจสอบ | ขอบเขตการจัดวาง |
|---|---|
| การทรุดตัวของพื้นผิวทั้งสองข้าง | ระยะห่างแนวนอนไม่ต้องน้อยกว่า 2 เท่าของความลึกการขุดหลุมฐานราก และระยะห่างตามแนวยาวต้องอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 m |
| การเคลื่อนตัวของมวลดินหรือโครงสร้างค้ำยัน | ระยะห่างตามแนวยาวต้องอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 m |
| การทรุดตัวและการเอียงของโครงสร้างอาคาร | ต้องมีการป้องกันโครงสร้างอาคาร |
| การทรุดตัวของท่อส่ง | ต้องมีการป้องกันท่อส่ง |
| แรงตามแนวแกนของการค้ำยัน | ระยะห่างตามแนวยาวไม่ต้องมากกว่า 50 m ในกรณีที่มีความต้องการทางสิ่งแวดล้อมสูง สามารถเพิ่มความหนาแน่นของจุดตรวจได้ตามความเหมาะสม |
| ระดับน้ำใต้ดิน | ระยะห่างตามแนวยาวไม่ต้องมากกว่า 50 m ในกรณีที่มีความต้องการทางสิ่งแวดล้อมสูง สามารถเพิ่มความหนาแน่นของจุดตรวจได้ตามความเหมาะสม |
| การเคลื่อนตัวของส่วนบนหรือส่วนบนของโครงสร้างค้ำยัน | ระยะห่างตามแนวยาวต้องอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 m |
| การทรุดตัวของเสาแนวตั้ง | ระยะห่างตามแนวยาวต้องอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 m |
| การเด้งกลับของก้นหลุม | ระยะห่างตามแนวยาวไม่ต้องมากกว่า 50 m |

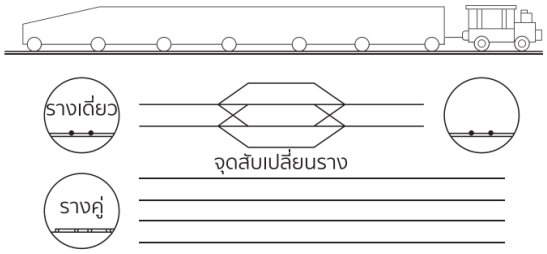
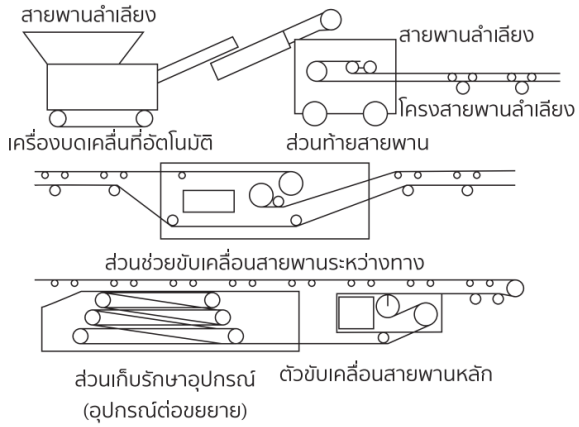
**ตารางที่ ข.3 ความถี่ในการวัด (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| สภาพการก่อสร้างหรือชนิดของหลุมฐานราก | ชนิด 1 | ชนิด 2 | ชนิด 3 |
|---|---|---|---|
| ก่อนการก่อสร้าง | วัดค่าตั้งต้นอย่างน้อยสองครั้ง | วัดค่าตั้งต้นอย่างน้อยสองครั้ง | วัดค่าตั้งต้นอย่างน้อยสองครั้ง |
| การก่อสร้างเสาเข็ม | 3 วัน | 7 วัน | 7 วัน |
| การก่อสร้างกำแพงกันดิน | 1 วัน | 2 วัน | 7 วัน |
| การอัดตัวคายน้ำและการระบายน้ำของฐานราก | 3 วัน | 7 วัน | 7 วัน |
| การขุดลึก 0 m ถึง 5 m | 1 วัน | 2 วัน | 2 วัน |
| การขุดลึก 5 m ถึง 15 m | 1 วัน | 1 วัน | 1 วัน |
| การขุดลึกมากกว่า 15 m ถึงชั้นรองรับการหล่อคอนกรีต | 0.5 วัน | 0.5 วัน | 1 วัน |
| การหล่อจากชั้นรองรับถึงพื้นหล่อ | 1 วัน | 2 วัน | 3 วัน |
| 7 วันหลังจากการหล่อพื้นคอนกรีต | 1 วัน | 2 วัน | 3 วัน |
| 7 วันถึง 30 วันหลังจากการหล่อพื้นคอนกรีต | 2 วัน | 7 วัน | 15 วัน |
| 30 วันถึง 180 วันหลังจากการหล่อพื้นคอนกรีต | 7 วัน | 15 วัน | - |

**ตารางที่ ข.4 การเปรียบเทียบวิธีการขนย้ายเศษดินแบบต่าง ๆ ในอุโมงค์**
**(ที่มา “Japan Society of Civil Engineers, 2016”)**

| ระบบ | | ภาพรวม | ความสะดวกในการทำงาน | สภาพแวดล้อมในอุโมงค์ | อุปกรณ์ |
|---|---|---|---|---|---|
| การขนส่งทางถนน | การขนย้ายด้วยรถบรรทุก |  <br>เศษดินหรือหินถูกโหลดขึ้นรถบรรทุกโดยใช้รถตักล้อ (wheel loader) ฯลฯ เพื่อนำออกไปนอกอุโมงค์ | การบรรทุกเศษดินจะหยุดชะงักเมื่อรถบรรทุกต้องรอ | เนื่องจากใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอในอุโมงค์ | โต๊ะหมุน (turntable) จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนทิศทางของรถบรรทุก |
| | ประเภทคอนเทนเนอร์ |  <br>แทนการใช้รถบรรทุก จะใช้คอนเทนเนอร์แบบถอดได้ ซึ่งวางไว้ชั่วคราวในอุโมงค์เพื่อลดเวลาในการจัดการที่หน้าขุด | เศษดินถูกวางชั่วคราวหลังพื้นที่หน้าเจาะเพื่อลดเวลาในการขนย้าย | เนื่องจากใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอในอุโมงค์ | โต๊ะหมุน (turntable) จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนทิศทาง |
| การขนส่งทางราง | รถรางขนย้าย |  <br>เศษดินหรือหินถูกโหลดบนรถรางขนย้ายแบบมีเพลา (shaft) และนำออกไปนอกอุโมงค์ | การขนวัสดุจะหยุดเมื่อรถต้องรอการสลับรางและเมื่อต้องใช้หลายตู้จำเป็นต้องจัดการการทำงานอย่างเหมาะสม | การใช้เครื่องยนต์พลังงานแบตเตอรี่ช่วยในการรักษาสิ่งแวดล้อมในอุโมงค์ | -อุปกรณ์ราง<br>-เมื่อเป็นรางเดี่ยว ต้องมีจุดสับราง |

**ตารางที่ ข.4 การเปรียบเทียบวิธีการขนย้ายเศษดินแบบต่าง ๆ ในอุโมงค์ (ที่มา “Japan Society of Civil Engineers, 2016”) (ต่อ)**

| ระบบ | | ภาพรวม | ความสะดวกในการทำงาน | สภาพแวดล้อมในอุโมงค์ | อุปกรณ์ |
|---|---|---|---|---|---|
| การขนส่งทางราง | Shuttle car |  <br>ใช้ Shuttle car แทนรถรางขนย้าย เศษดินหรือหินถูกโหลดที่ปลาย Shuttle car และขนส่งไปด้านหลังโดยสายพาน | เช่นเดียวกับข้างต้น แต่การโหลดมักไม่หยุดชะงักเนื่องจาก Shuttle car ความจุมากกว่า | การใช้เครื่องยนต์พลังงานแบตเตอรี่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในอุโมงค์ | -อุปกรณ์ราง<br>-เมื่อเป็นรางเดี่ยว ต้องมีจุดสับราง |
| | ประเภทคอนเทนเนอร์ |  <br>แทนการใช้รถบรรทุก จะใช้คอนเทนเนอร์แบบถอดได้ ซึ่งวางไว้ชั่วคราวในอุโมงค์เพื่อลดเวลาในการจัดการที่หน้าขุด | เศษดินถูกวางชั่วคราวหลังพื้นที่หน้าเจาะเพื่อลดเวลาในการขนย้าย | เนื่องจากใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอในอุโมงค์ | โต๊ะหมุน (turntable) จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนทิศทาง |
| สายพานลำเลียง | |  <br>หลังจากที่เศษดินหรือหินถูกล้เลียงไปยังตำแหน่งที่กำหนดหลังพื้นที่หน้าผิวเจาะ จะถูกขนส่งไปนอกอุโมงค์อย่างต่อเนื่องโดยใช้สายพานยืดหยุ่น | ควบคู่ไปกับการขุดหน้าเจาะ จำเป็นต้องเพิ่มโครงสายพานและตัวกระตุ้น (Booster) เพิ่มเติม | เนื่องจากไม่มีการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถรักษาความสะอาดภายในอุโมงค์ได้ | -สายพานลำเลียง<br>-โครงสายพาน -มอเตอร์ขับเคลื่อน<br>-อุปกรณ์ขยาย<br>-สายพานบด |

**ตารางที่ ข.5 การเปรียบเทียบระหว่างการขนย้ายทางถนนและการขนย้ายทางราง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)**

| รายการ | การขนย้ายทางถนน | การขนย้ายทางราง |
|---|---|---|
| อุปกรณ์ก่อสร้างภายนอก | ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ก่อสร้างพิเศษ | ต้องการอุปกรณ์ก่อสร้างพิเศษและสภาพสถานที่ที่เหมาะสม |
| พื้นผิวถนนหรือรางรถไฟ | ต้องบำรุงรักษาพื้นผิวถนนอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในสภาพพื้นดินอ่อนหรือเมื่อมีน้ำไหลเข้าสูง | พื้นถนนไม่เสียหาย สามารถใช้กับทุกสภาพพื้นดินทั้งอ่อนและแข็ง แต่ต้องมีการบำรุงรักษารางอย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันการตกราง |
| ข้อจำกัดความลาดเอียง | มีข้อจำกัดน้อย ปกติได้ถึง 15 ° | มีข้อจำกัด โดยปกติได้ถึง 5 ° |
| ข้อจำกัดของหน้าตัด | ไม่เหมาะสมสำหรับอุโมงค์หน้าตัดเล็ก | เมื่อเปรียบเทียบกับการขนย้ายทางถนน สามารถใช้กับอุโมงค์หน้าตัดเล็กได้ |
| การระบายอากาศ | แม้จะมียานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์กำจัดไอเสีย แต่ก็ต้องมีระบบระบายอากาศที่ค่อนข้างใหญ่ | ในกรณีของรถไฟฟ้าแบตเตอรี่ ขนาดของอุปกรณ์ที่ต้องการจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการขนย้ายทางถนน |

# ภาคผนวก ค.

# การจำแนกมวลหินสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

## 1. การจำแนกมวลหินโดยระบบ Rock Mass Rating Classification (RMR)

1.1 การจำแนกมวลหินโดยระบบ Rock Mass Rating Classification (RMR) เป็นการจำแนกมวลหินด้วยการใช้พารามิเตอร์ที่สามารถวัดได้ในสนามเป็นหลัก โดยสามารถประเมินจากพารามิเตอร์ดังนี้

1.1.1 ความแข็งแรงของหินเนื้อแน่น (strength of intact rock material)

1.1.2 คุณภาพแท่งหิน (rock quality designation (ROD))

1.1.3 ระยะห่างของรอยแตกหรือแนวไม่ต่อเนื่อง (spacing of discontinuities)

1.1.4 สภาพของรอยแตกหรือแนวไม่ต่อเนื่อง (condition of discontinuities)

1.1.5 สภาวะของน้ำใต้ดิน (groundwater conditions)

1.2 ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนกมวลหินแสดงในตารางที่ ค.1

1.3 พารามิเตอร์สำหรับลักษณะรอยแตก (condition of discontinuities) ของตารางที่ ค.1 หากมีข้อมูลครบถ้วนในส่วนของ ความยาว (length) ช่องว่างหรือความกว้างของรอยแตก (separation) ความขรุขระ (roughness) การมีดินหรือวัสดุละเอียดแทรกในรอยแตก (infilling) และการผุพัง (weathering) สามารถใช้แนวทางในการจำแนกสภาพรอยแตกดังแสดงในตารางที่ ค.5 แทน คะแนนที่ประเมินจากทิศทางของรอยแตกและมุมเทดังแสดงในตารางที่ ค.2 และต้องนำพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับทิศทางการวางตัวของรอยแตกหรือแนวความไม่ต่อเนื่องกับทิศทางการเดินหน้าของอุโมงค์ในตารางที่ ค.6 มาพิจารณาด้วย

1.4 จากรูปที่ ค.1 ได้แสดงข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ระบบการจำแนกมวลหินโดยระบบ Rock Mass Rating Classification (RMR) ในการประเมินช่วงเพดานของอุโมงค์ (roof span) ที่ต้องการขุดและระยะเวลาที่อยู่ได้โดยไม่ต้องค้ำยัน ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการก่อสร้างของงานอุโมงค์ทั่วไปและงานเหมืองใต้ดิน พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการขุดและการค้ำยันดังแสดงในตารางที่ ค.7

## ตารางที่ ค.1 พารามิเตอร์และค่าคะแนนสำหรับ RMR (ที่มา “Bieniawski (1989)”)

| พารามิเตอร์ | | | ช่วงค่า | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างหิน (strength of intact rock material) | ดัชนีค่าความแข็งแรงกดแบบจุด (point load strength index) | > 10 MN/m² | 4 ถึง 10 MN/m² | 2 ถึง 4 MN/m² | 1 ถึง 2 MN/m² | สำหรับการทดสอบความแข็งแรงอัดแกนเดียวช่วงต่ำกว่าที่นิยมใช้ | | |
| | | ความแข็งแรงอัดแกนเดียว (uniaxial compressive strength) | > 250 MN/m² | 100 ถึง 250 MN/m² | 50 ถึง 100 MN/m² | 25 ถึง 50 MN/m² | 5 ถึง 25 MN/m² | 1 ถึง 5 MN/m² | < 1 MN/m² |
| | คะแนน | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | คุณภาพแกนเจาะ RQD (drill core quality) | | 90% ถึง 100% | 75% ถึง 90% | 50% ถึง 75% | 25% ถึง 50% | < 25% | | |
| | คะแนน | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | ระยะห่างของรอยแตก (spacing of discontinuities) | | > 2 m | 0.6 ถึง 2 m | 200 ถึง 600 mm | 60 ถึง 200 mm | < 60 mm | | |
| | คะแนน | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | ลักษณะรอยแตก (condition of discontinuities) | | - ผิวมีความหยาบ – รอยแตกไม่ต่อเนื่อง - ไม่มีช่องว่าง - ผนังหินไม่ผุพัง | - ผิวค่อนข้างมีความหยาบ - รอยแตกมีขนาด < 1 mm - ผนังหินผุเล็กน้อย | - ผิวค่อนข้างมีความหยาบ - รอยแตกมีขนาด < 1 mm - ผนังหินผุพัง | - ผิวสามารถเซาะเป็นร่องได้ หรือรอยเซาะ < 5 mm - รอยแตกมีความต่อเนื่อง 1 ถึง 5 mm | - ผิวสามารถเซาะเป็นร่องได้ >5 mm - รอยแตกมีความต่อเนื่อง > 5 mm | | |
| | คะแนน | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | สภาพน้ำใต้ดิน (groundwater) | ปริมาณน้ำไหลเข้าต่อ 10 m ของความยาวอุโมงค์ | แห้งสนิท | < 10 ลิตรต่อนาที | 10 ถึง 25 ลิตรต่อนาที | 25 ถึง 125 ลิตรต่อนาที | > 125 ลิตรต่อนาที | | |
| | | อัตราส่วนระหว่าง $\frac{\text{แรงดันน้ำของรอยต่อ}}{\text{หน่วยเรงหลัก}}$ | 0 | 0.1 | 0.1 ถึง 2 | 0.2 ถึง 0.5 | > 0.5 | | |
| | | เงื่อนไขทั่วไป | แห้ง | ชื้น | เปียก | น้ำหยด | น้ำไหล | | |
| | คะแนน | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

## ตารางที่ ค.2 ค่าปรับแก้คะแนนสำหรับทิศทางการวางตัวของรอยแตก (ที่มา “Bieniawski (1989)”)

| ทิศทางรอยแตกและมุมเท | | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | ไม่ดี | ไม่ดีมาก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| คะแนน | อุโมงค์ | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | ฐานราก | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | ลาดดิน | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

<u>หมายเหตุ:</u> การประเมินรอยแตกใช้ตารางที่ ค.6 ประกอบการประเมิน

**ตารางที่ ค.3 การจำแนกชนิดหินจากคะแนนรวม (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

| **คะแนน** | **100 ถึง 81** | **80 ถึง 61** | **60 ถึง 41** | **40 ถึง 21** | **< 20** |
|---|---|---|---|---|---|
| ชั้นหิน (class number) | I | II | III | IV | V |
| รายละเอียด | หินดีมาก | หินดี | หินปานกลาง | หินแย่ | หินแย่มาก |

**ตารางที่ ค.4 การจำแนกชนิดหินจากคะแนนรวม (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

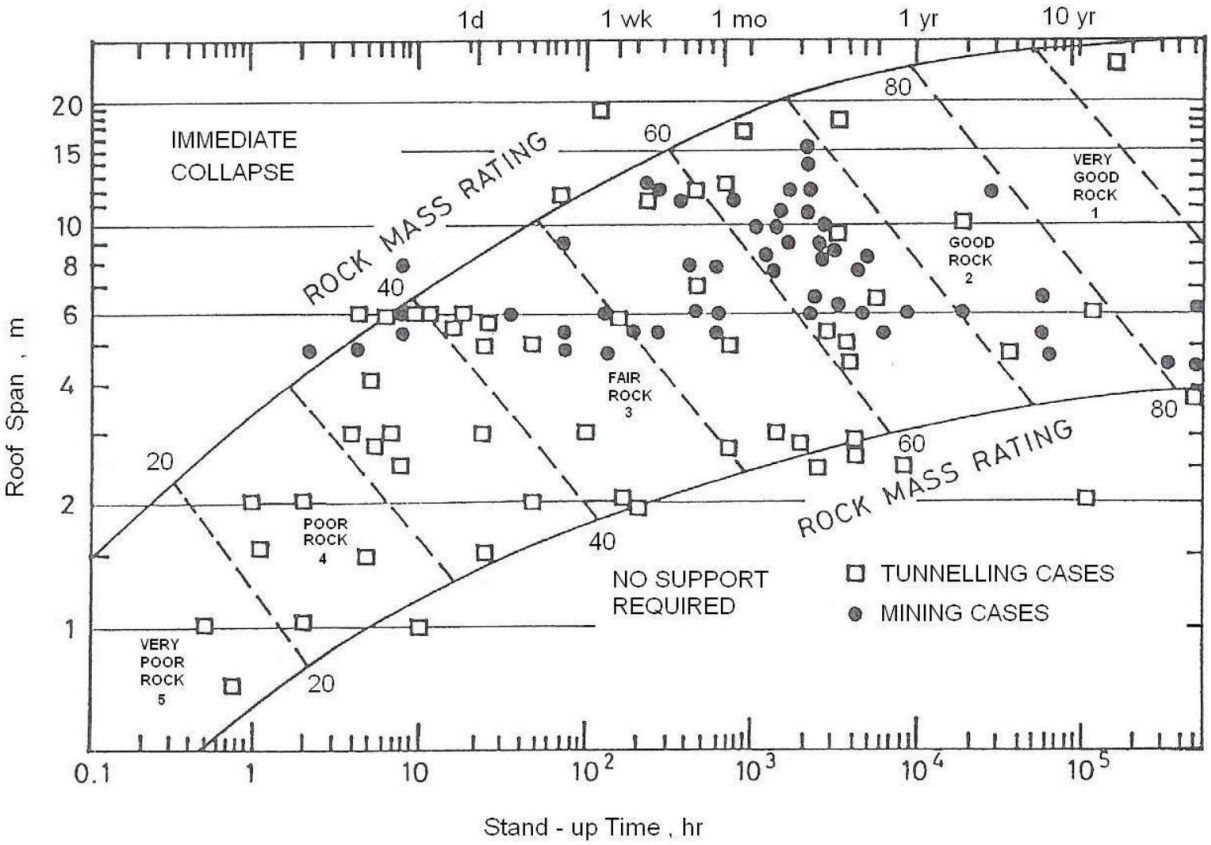
| **ชั้นหิน (class number)** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** |
|---|---|---|---|---|---|
| ระยะเวลาในการคงสภาพของชั้นหิน | 10 ปี สำหรับช่วงอุโมงค์ 5 m | 6 เดือน สำหรับช่วงอุโมงค์ 4 m | 1 อาทิตย์ สำหรับช่วงอุโมงค์ 1.5 m | 5 ชั่วโมง สำหรับช่วงอุโมงค์ 1.5 m | 10 นาที สำหรับช่วงอุโมงค์ 0.5 m |
| กำลังยึดเกาะของมวลหิน | > 300 kPa | 200 ถึง 300 kPa | 150 ถึง 200 kPa | 100 ถึง 150 kPa | < 100 kPa |
| มุมเสียดทานของมวลหิน | > 45° | 40° ถึง 45° | 35° ถึง 40° | 30° ถึง 35° | < 30° |

**ตารางที่ ค.5 แนวทางการจำแนกสภาพรอยแตก (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ความต่อเนื่องของความยาวของรอยแตก | < 1 m | 1 ถึง 3 m | 3 ถึง 10 m | 10 ถึง 20 m | > 20 m |
| คะแนน | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| ความกว้างของช่องว่าง | None | < 0.1 mm | 0.1 ถึง 1 mm | 1 ถึง 5 mm | > 5 mm |
| คะแนน | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| ความขรุขระ | ขรุขระมาก | ขรุขระ | ขรุขระเล็กน้อย | เรียบ | สลิคเคนไซด์ |
| คะแนน | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| วัสดุอุด (gouge) | ไม่มี | วัสดุอุดแข็ง < 5 mm | วัสดุอุดแข็ง > 5 mm | วัสดุอุดอ่อน < 5 mm | วัสดุอุดอ่อน > 5 mm |
| คะแนน | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| ระดับการผุพัง | ไม่ผุพัง | ผุพังเล็กน้อย | ผุพังปานกลาง | ผุพังสูง | ผุพังสูงมาก |
| คะแนน | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

**ตารางที่ ค.6 ผลกระทบของทิศทางรอยแตกในงานอุโมงค์ (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

| ทิศทางรอยแตกตั้งฉากกับแนวอุโมงค์ | | | | ทิศทางรอยแตกขนานกับแนวอุโมงค์ | | มุมเท 0° ถึง 20° ไม่ขึ้นกับทิศทางรอยแตก |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ขุดตามแนวเท | | ขุดสวนแนวเท | | | | |
| มุมเท 45° ถึง 90° | มุมเท 20° ถึง 45° | มุมเท 45° ถึง 90° | มุมเท 20° ถึง 45° | มุมเท 45° ถึง 90° | มุมเท 20° ถึง 45° | |
| ดีมาก | ดี | ปานกลาง | ไม่ดี | ไม่ดีมาก | ปานกลาง | ปานกลาง |




**รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMR ช่วงเพดาน (roof span) ของอุโมงค์และระยะเวลาที่อยู่ได้โดยไม่ต้องค้ำยัน (stand-up time) (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

**ตารางที่ ค.7 แนวทางในการขุดและค้ำยันอุโมงค์ที่เสนอแนะโดย Bieniawski (1989) สำหรับอุโมงค์รูปเกือกม้า ขนาดกว้าง 10 m มีการขุดด้วยวิธีการเจาะและระเบิดที่มีหน่วยแรงกดแนวดิ่งน้อยกว่า 25 MN/m² ด้วยวิธีการจำแนกชนิดหิน RMR (ที่มา “Bieniawski (1989)”)**

| ชนิดของมวลหิน | การขุด | สลักยึดหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm และการเกราต์แบบสมบูรณ์ | คอนกรีตพ่น | โครงเหล็ก |
|---|---|---|---|---|
| I - หินดีมาก<br>RMR : 81 ถึง 100 | การเจาะแบบเต็มหน้าตัดโดยใช้ช่วงการขุด 3 m | ไม่ต้องการการค้ำยัน ยกเว้นจะมีการติดตั้งสลักเกลียวเฉพาะจุด | | |
| II - หินดี<br>RMR : 61 ถึง 80 | - วิธีการเจาะแบบเต็มหน้าตัดโดยใช้ช่วงการขุด 1 ถึง 1.5 m<br>- การค้ำยันเต็มรูปแบบโดยห่างหน้าผิวหน้าขุด 20 m | ติดตั้งสลักยึดหินเฉพาะจุดบริเวณหลังคาอุโมงค์ ยาว 3 m ทุกระยะ 2.5 m พร้อมติดตั้ง ตะแกรงลวดบริเวณด้านข้างและหลังคาอุโมงค์ | 50 mm ในหลังคาอุโมงค์เมื่อจำเป็น | ไม่จำเป็น |
| III - หินปานกลาง<br>RMR : 41 ถึง 60 | ระยะในการขุดส่วนบนและขั้นบันได 1.5 ถึง 3 m<br>- การค้ำยันทุกการเจาะระเบิด<br>- การค้ำยันเต็มรูปแบบโดยห่างหน้าผิวหน้าขุด 10 m | ติดตั้งสลักยึดหินบริเวณหลังคาอุโมงค์ ยาว 4 m ทุกระยะ 1.5 ถึง 2 m พร้อมติดตั้งตะแกรงลวดบริเวณด้านข้างและหลังคาอุโมงค์ เป็นครั้งคราว | - 50 ถึง 100 mm บริเวณหลังคาอุโมงค์<br>- 30 mm ด้านข้าง | ไม่จำเป็น |
| IV - หินแย่<br>RMR : 21 ถึง 40 | - ระยะในการขุดส่วนบนและขั้นบันได 1.0 ถึง 1.5 m - ติดตั้งการค้ำยันโดยห่างหน้าผิวหน้าขุด 10 m | ติดตั้งสลักยึดหินบริเวณหลังคาอุโมงค์ยาว 4 ถึง 5 m ทุกระยะ 1ถึง1.5 m พร้อมติดตั้งตะแกรงลวด | 100 ถึง 150 mm บริเวณหลังคาอุโมงค์<br>- 100 mm ด้านข้าง | โครงเหล็กน้ำหนักเบาถึงปานกลาง ระยะห่างทุก 1.5 m ตามความจำเป็น |
| V - หินแย่มาก<br>RMR : < 20 | - การขุดเจาะหลายส่วน 0.5 ถึง 1.5 m โดยเริ่มขุดเจาะส่วนบน<br>- การติดตั้งการค้ำยันทันทีหลังจากการขุด<br>- พ่นคอนกรีตทันทีหลังการระเบิด | ติดตั้งสลักยึดหินบริเวณหลังคาอุโมงค์ ยาว 5 ถึง 6 m ทุกระยะ 1 ถึง1.5 m and walls พร้อมติดตั้งตะแกรงลวด และสลักยึดหินบริเวณฐานอุโมงค์ | - 150 ถึง 200 mm บริเวณหลังคาอุโมงค์<br>- 150 mm ด้านข้าง<br>- 50 mm บนหน้าผิวขุด | - โครงเหล็กน้ำหนักปานกลางถึงหนัก ระยะห่างทุก 0.75 m พร้อมการค้ำยันล่วงหน้า หากจำเป็นติดตั้งบริเวณฐานอุโมงค์ |

## 2. การจำแนกมวลหินโดยระบบ NGI tunneling quality index (Q system)

2.1 การจำแนกมวลหินด้วยระบบ Q เกิดจากการรวบรวมประสบการณ์ในการทำงานด้านอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดินมาพัฒนาวิธีการจำแนกมวลหินจากสถาบัน Norwegian Geotechnical Institute (NGI) โดยระบบ Q เป็นการจำแนกมวลหินเชิงประมาณและช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบโครงสร้างค้ำยันอุโมงค์ การจำแนกมวลหินด้วยระบบ Q ใช้พารามิเตอร์ 6 ตัวในการประเมินดังนี้

2.1.1 คุณภาพแท่งหิน (rock quality designation (RQD))

2.1.2 จำนวนชุดรอยแตก (joint set number (Jn))

2.1.3 ความขรุขระรอยแตก (joint roughness number (Jr))

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงรอยแตก (joint alteration number (Ja))

2.1.5 ค่าลดแรงดันน้ำ (joint water number (Jw))

2.1.6 ตัวคูณลดกำลัง(stress reduction factor (SRF))

2.2 ในการนำข้อมูลเชิงคุณภาพของแต่ละพารามิเตอร์ในสนามที่ถูกนำมาคิดคะแนน ดังที่แสดงในตารางที่ ค.9 ถึงตารางที่ ค.13 โดยค่า RQD สามารถใช้ค่าที่ตรวจวัดได้เลย ซึ่งคะแนนที่ได้นำมาคิดคำนวณเป็นค่า Q ด้วยสมการที่ ค.1 ค่าของ Q จะอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 1,000

$$Q=\frac{RQD.}{Jn}\times\frac{Jr}{Ja}\times\frac{Jw}{SRF} \qquad \textbf{(ค.1)}$$

2.3 สัดส่วน ROD./Jn นั้นเป็นตัวแทนของการประเมินโครงสร้างของหินโดยจะประเมินของบล็อคหรือขนาดย่อยของหิน โดยสัดส่วนของตัวเลขสูงสุดของค่า ROD ต่อค่าต่ำสุดของ Jn ตามตารางที่ ค.9 คือ 100/0.5 และค่า RQD ต่ำสุดต่อค่าสูงสุดของ Jn คือ 10/20 ซึ่งได้ค่าเป็น 200 และ 0.5 ตามลำดับ โดยที่ในความเป็นจริงขนาดของหินอาจใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าค่าดังกล่าวได้

2.4 สัดส่วน Jr/Ja เป็นตัวแทนของค่าความแข็งแรงระหว่างบล็อคโดยประเมินจากค่าความขรุขระของผนังรอยแตกและลักษณะสมบัติของดินหรือวัสดุที่อยู่ในรอยแตกนั้น ซึ่งในกรณีที่ผนังของรอยแตกอยู่ชิดกันไม่มีช่องว่างที่มีวัสดุหรือดินไปแทรกอยู่ก็จะได้ค่าที่สูงและคาดหวังได้ว่ามวลหินค่อนข้างทนต่อแรงเฉือน และในกรณีที่มีดินอ่อนหรือวัสดุเข้าไปแทรกในรอยแตกสามารถคาดการณ์ได้ว่าอาจมีปัญหาเมื่อได้รับแรงกระทำโดยอาจเกิดการเคลื่อนที่ผ่านรอยแตกนั้นและถ้าเป็นดินที่มีการบวมเมื่อถูกน้ำก็จะเป็นอีกกรณีหนึ่งที่จะทำให้ได้รู้ว่าจะเกิดปัญหาเมื่อรับแรงกระทำเช่นกัน

2.5 สัดส่วน JW/SRF เป็นสัดส่วนที่เป็นตัวแทนค่าหน่วยแรง (stress) ที่กระทำ โดยใช้พารามิเตอร์แรงดันน้ำ (Jw) และหน่วยแรงกระทำ (SRF) ซึ่งแรงดันน้ำจะไปลดค่าความแข็งแรงเฉือนของมวลหิน โดยจะไปลดค่าแรงกดตั้งฉากที่กดหินไว้ ส่วนค่า SRF จะเป็นหน่วยแรงที่ประเมินจาก 3 กรณีที่เป็นโซนของมวลหินที่มีการแตกหักมาก กรณีที่เกี่ยวข้องกับมวลหินที่ค่อนข้างแข็งแรง และในกรณีที่เกี่ยวข้องกับแรงกดอัดที่อยู่ในหินที่มีสมบัติคล้ายพลาสติกหรือกึ่งพลาสติกและในหินที่บวมเมื่อถูกน้ำ

**ตารางที่ ค.8 การกำหนดคุณภาพแท่งหิน (RQD) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| Rock Quality Designation | RQD |
|---|---|
| A. หินแย่มาก | 0 ถึง 25 |
| B. หินแย่ | 25 ถึง 50 |
| C. หินปานกลาง | 50 ถึง 75 |
| D. หินดี | 75 ถึง 90 |
| E. หินดีมาก | 90 ถึง 100 |

<u>หมายเหตุ:</u>

1 ในกรณีที่ RQD ตรวจวัดได้ ≤ 10 (รวมถึงค่า RQD = 0) ให้ใช้ค่า RQD เป็น 10 ในการคำนวณ Q

2 ช่วง RQD ที่ 5 เช่น 100, 95, 90 เป็นต้น ถือว่ามีความแม่นยำเพียงพอ

**ตารางที่ ค.9 จำนวนชุดรอยแตก (Jn) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| **จำนวนชุดรอยแตก (Joint Set Number)** | Jn |
|---|---|
| A. หินมวลมาก ไม่มีรอยแตก หรือมีน้อย (massive, no or few joints) | 0.5 ถึง 1 |
| B. หนึ่งชุดรอยแตก (one joint set) | 2 |
| C. หนึ่งชุดรอยแตกพร้อมรอยแตกสุ่ม (one joint set plus random joints) | 3 |
| D. สองชุดรอยแตก (two joint set) | 4 |
| E. สองชุดรอยแตกพร้อมรอยแตกสุ่ม (two joint set plus random joints) | 6 |
| F. สามชุดรอยแตก (three joint set) | 9 |
| G. สามชุดรอยแตกพร้อมรอยแตกสุ่ม (three joint set plus random joints) | 12 |
| H. สี่ชุดรอยแตกขึ้นไป มีรอยแตกมาก (four or more joint sets, heavily jointed) | 15 |
| J. หินบดและมีลักษณะคล้ายดิน (crushed rock, earthlike) | 20 |

<u>หมายเหตุ:</u> สำหรับทางแยก (intersections) ให้ใช้ (3.0×Jn) 2 สำหรับปากอุโมงค์ (portals) ให้ใช้ (2.0×Jn)

**ตารางที่ ค.10 ค่าความขรุขระของรอยแตก (Jr) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| ค่าความขรุขระของรอยแตก (joint roughness number) | Jr |
|---|---|
| (a) Rock-wall contact, and (b) Rock wall contact before 100 mm shear | |
| A. รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (discontinuous joints) | 4 |
| B. มีความหยาบหรือขรุขระ มีลักษณะเป็นคลื่น (rough or irregular, undulating) | 3 |
| C. เรียบ มีลักษณะเป็นคลื่น (smooth, undulating) | 2 |
| D. ผิวเป็นรอยครูด มีลักษณะเป็นคลื่น (slickensided, undulating) | 1.5 |
| E. หยาบหรือขรุขระ มีลักษณะเป็นระนาบ (rough or irregular, planar) | 1.5 |
| F. เรียบ มีลักษณะเป็นระนาบ (smooth, planar) | 1.0 |
| G. ผิวเป็นรอยครูด มีลักษณะเป็นระนาบ (slickensided, planar) | 0.5 |
| (c) ไม่มีการสัมผัสผนังหินเมื่อถูกเฉือน (no rock-wall contact when sheared) | |
| H. โซนที่มีแร่ดินเหนียวหนาพอที่จะป้องกันการสัมผัสผนังหิน (zone containing clay minerals thick enough to prevent rock-wall contact) | 1.0 |
| J. โซนทราย, กรวด หรือหินบด หนาพอที่จะป้องกันการสัมผัสผนังหิน (sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock-wall contact) | 1.0 |

<u>หมายเหตุ:</u>

1 คำอธิบายอ้างถึงลักษณะขนาดเล็กและขนาดกลางตามลำดับ

2 เพิ่มค่าความขรุขระของรอยแตก 1.0 หากระยะห่างเฉลี่ยของชุดรอยแตก ≥ 3 m

3 Jr = 0.5 สามารถใช้สำหรับรอยแตกระนาบที่มีลักษณะรอยขีดข่วน (slickensided joints) ที่มีแนวเส้น (lineations) โดยที่แนวเส้นมีการวางตัวในทิศทางที่ให้กำลังต่ำสุด

**ตารางที่ ค.11 ค่าการผุพังของรอยแตก (Ja) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| ค่าการผุพังของรอยแตก (joint alteration number) | $\phi_r$ (ค่าประมาณ) | Ja |
|---|---|---|
| (a) การสัมผัสผนังหิน ไม่มีวัสดุอุดแร่ มีแต่การเคลือบ | | |
| A. อุดแน่น แข็ง ไม่นิ่ม วัสดุอุดไม่ซึมน้ำ เช่น ควอตซ์หรือเอพิโดต | 25° ถึง 30° | 0.72 |
| B. ผนังรอยแตกไม่ผุพัง มีเพียงรอยเปื้อนที่ผิว | 25° ถึง 30° | 1.0 |
| C. ผนังรอยแตกผุพังเล็กน้อย การเคลือบแร่ไม่นิ่ม อนุภาคทราย หินที่แตกตัวไม่มีดินเหนียว เป็นต้น | 25° ถึง 30° | 2.0 |
| D. การเคลือบดินเหนียวปนทรายหรือดินทรายแป้ง สัดส่วนดินเหนียวเล็กน้อย | 20° ถึง 25° | 3.0 |
| E. การเคลือบแร่ที่นิ่มหรือมีแรงเสียดทานต่ำ เช่น แร่เคาลินหรือไมกา รวมถึงคลอไรต์ ทัลก์ ยิปซัม กราไฟต์ เป็นต้น และมีดินเหนียวบวมน้ำจำนวนเล็กน้อย | 8° ถึง 16° | 4.0 |
| (b) การสัมผัสผนังหินก่อนการเฉือน 10 ซm มีวัสดุอุดแร่บางๆ | | |
| F. อนุภาคทราย หินที่แตกตัวไม่มีดินเหนียว เป็นต้น | 25° ถึง 30° | 4.0 |
| G. วัสดุอุดแร่ดินเหนียวที่ไม่นิ่มและบดอัดสูง (ต่อเนื่อง, แต่หนา < 5 mm) | 16° ถึง 24° | 6.0 |
| H. วัสดุอุดแร่ดินเหนียวนิ่มที่บดอัดปานกลางหรือต่ำ (ต่อเนื่อง, แต่หนา < 5 mm) | 12° ถึง 16° | 8.0 |
| J. วัสดุอุดดินเหนียวบวมน้ำ เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ (ต่อเนื่อง แต่หนา < 5 mm) ค่า Ja ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินเหนียวบวมน้ำ และการเข้าถึงน้ำ เป็นต้น | 6° ถึง 12° | 8 ถึง 12 |
| (c) ไม่มีการสัมผัสผนังหินเมื่อถูกเฉือน (วัสดุอุดแร่หนา) | | |
| K, L, M. โซนหรือแถบของหินที่แตกตัวหรือบดและดินเหนียว (ดู G, H, J สำหรับรายละเอียดสภาพดินเหนียว) | 6° ถึง 24° | 6, 8, หรือ 8 ถึง 12 |
| N. โซนหรือแถบของดินเหนียวปนทรายหรือดินร่วนปนทราย, สัดส่วนดินเหนียวเล็กน้อย (ไม่นิ่ม) | – | 5 |
| O, P, R. โซนหรือแถบดินเหนียวหนาและต่อเนื่อง (ดู G, H, J สำหรับรายละเอียดสภาพดินเหนียว) | 6° ถึง 24° | 10, 13, หรือ 13 ถึง 20 |

## ตารางที่ ค.12 ปัจจัยลดค่าเนื่องจากน้ำในรอยแตก (Jw) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)

| ปัจจัยลดค่าเนื่องจากน้ำในรอยแตก (joint water reduction factor) | แรงดันน้ำ (MN/m²) | Jw |
|---|---|---|
| A. การขุดเจาะแห้งหรือมีน้ำไหลเข้าน้อย, เช่น < 5 ลิตรต่อนาที เฉพาะจุด | < 0.098 | 1.0 |
| B. มีน้ำไหลเข้าหรือแรงดันปานกลาง บางครั้งมีวัสดุอุดรอยแตกถูกชะล้างออกไป | 0.098 ถึง 0.245 | 0.66 |
| C. มีน้ำไหลเข้ามากหรือแรงดันสูงในหินแข็งแรงที่มีรอยแตกไม่มีวัสดุอุด | 0.245 ถึง 0.981 | 0.5 |
| D. มีน้ำไหลเข้ามากหรือแรงดันสูง มีวัสดุอุดรอยแตกถูกชะล้างออกไปเป็นจำนวนมาก | 0.245 ถึง 0.981 | 0.33 |
| E. มีน้ำไหลเข้าสูงมากผิดปกติหรือแรงดันน้ำสูงมากขณะระเบิด ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป | > 0.981 | 0.2 ถึง 0.1 |
| F. มีน้ำไหลเข้าสูงมากผิดปกติหรือแรงดันน้ำสูงมากต่อเนื่องโดยไม่มีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด | > 0.981 | 0.1 ถึง 0.05 |

<u>หมายเหตุ:</u>

1 ปัจจัย C ถึง F เป็นค่าประมาณ เพิ่มค่า Jw หากมีการติดตั้งระบบระบายน้ำ

2 ไม่พิจารณาปัญหาพิเศษที่เกิดจากการก่อตัวของน้ำแข็ง

## ตารางที่ ค.13 ตัวคูณลดกำลัง (SRF) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)

| ตัวคูณลดกำลัง | SRF |
|---|---|
| (a) เขตอ่อนแอที่ตัดผ่านส่วนที่ขุดเจาะ ซึ่งอาจทำให้มวลหินคลายตัวเมื่อมีการขุดอุโมงค์ | |
| A. เขตอ่อนแอเกิดขึ้นหลายจุด ซึ่งมีดินเหนียวหรือหินที่ผุพังทางเคมีอยู่ด้วย และหินรอบข้างหลวมมาก (ทุกระดับความลึก) | 10 |
| B. เขตอ่อนแอจุดเดียว ซึ่งมีดินเหนียวหรือหินที่ผุพังทางเคมี (ความลึกของการขุดเจาะ ≤ 50 m) | 5 |
| C. เขตอ่อนแอจุดเดียว ซึ่งมีดินเหนียวหรือหินที่ผุพังทางเคมี (ความลึกของการขุดเจาะ > 50 m) | 2.5 |
| D. โซนเฉือนหลายโซนในหินที่แข็งแรง (ไม่มีดินเหนียว) (ความลึกของการขุดเจาะ ≤ 50 m) | 7.5 |
| E. โซนเฉือนเดียวในหินที่แข็งแรง (ไม่มีดินเหนียว) (ความลึกของการขุดเจาะ ≤ 50 m) | 2 |
| F. โซนเฉือนเดียวในหินที่แข็งแรง (ไม่มีดินเหนียว) (ความลึกของการขุดเจาะ > 50 m) | 2.5 |
| G. รอยแตกหลวม, เปิด, มีรอยแตกมาก (ทุกระดับความลึก) | 5 |

<u>หมายเหตุ:</u> ควรลดค่า SRF ลง 25 ถึง 50% หากโซนเฉือนที่เกี่ยวข้องมีผลกระทบแต่ไม่ตัดผ่านส่วนที่ขุดเจาะ

**ตารางที่ ค.13 ตัวคูณลดกำลัง (SRF) (ต่อ) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| (b) หินแข็งแรงที่ปัญหาหน่วยแรงในหิน | $\sigma_c/\sigma_1$ | $\sigma_t$ / $\sigma_c$ | SRF |
|---|---|---|---|
| H. หน่วยแรงต่ำแล้วใกล้ผิวดิน | > 200 | > 13 | 2.5 |
| J. หน่วยแรงปานกลาง | 200 ถึง 10 | 13 ถึง 0.66 | 1.0 |
| K. หน่วยแรงสูง โครงสร้างแน่นมาก โดยปกติเป็นผลดีต่อเสถียรภาพ แต่อาจเป็นผลเสียต่อเสถียรภาพผนังอุโมงค์ | 10 ถึง 5 | 0.66 ถึง 0.33 | 0.5 ถึง 2 |
| L. การระเบิดของหินเล็กน้อย (หินมวลมาก) | 5 ถึง 2.5 | 0.33 ถึง 0.16 | 5 ถึง 10 |
| M. การระเบิดของหินรุนแรง (หินมวลมาก) | < 2.5 | < 0.16 | 10 ถึง 20 |

<u>หมายเหตุ:</u> สำหรับบริเวณที่มีสนามหน่วยแรงตั้งเดิมไม่เป็นไอโซทรอปิกอย่างรุนแรง (หากมีการวัดค่า): เมื่อ 5 ≤ $\sigma_1/\sigma_3$ ≤ 10, ให้ลดค่า $\sigma_c$ และ $\sigma_t$ ลงเหลือ 0.8$\sigma_c$ และ 0.8$\sigma_t$ ตามลำดับ เมื่อ $\sigma_1/\sigma_3$ > 10, ให้ลดค่า $\sigma_c$ และ $\sigma_t$ ลงเหลือ 0.6$\sigma_c$ และ 0.6$\sigma_t$ ตามลำดับ โดยที่ $\sigma_c$ คือ กำลังรับแรงอัดแบบไม่มีข้อจำกัด (unconfined compressive strength) และ $\sigma_t$ คือ กำลังรับแรงดึง (tensile strength) (point load) และ $\sigma_1$ และ $\sigma_3$ คือ หน่วยแรงหลักสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ

**ตารางที่ ค.13 ตัวคูณลดกำลัง (SRF) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)(ต่อ)**

| (c) หินบีบ (squeezing rock): การไหลพลาสติกในหินที่อ่อนตัวภายใต้อิทธิพลของแรงดันหินสูง | SRF |
|---|---|
| N. แรงดันหินบีบเล็กน้อย | 5 ถึง 10 |
| O. แรงดันหินบีบมาก | 5 ถึง 20 |

มีบันทึกกรณีศึกษาน้อยมากที่ความลึกของส่วนโค้งอุโมงค์ต่ำกว่าความกว้างของช่วง แนะนำให้เพิ่ม SRF จาก 2.5 เป็น 5 สำหรับกรณีดังกล่าว (ดูข้อ H)

**ตารางที่ ค.13 ตัวคูณลดกำลัง (SRF) (ที่มา “Barton et al. (1974)”)(ต่อ)**

| (d) หินบวม (swelling rock): กิจกรรมการบวมทางเคมีขึ้นอยู่กับการมีน้ำ | SRF |
|---|---|
| P. แรงดันหินบวมเล็กน้อย | 5 ถึง 10 |
| R. แรงดันหินบวมมาก | 10 ถึง 15 |

2.6 หมายเหตุเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ตารางเหล่านี้ในการประเมินคุณภาพมวลหินควรปฏิบัติตามแนวทางเพิ่มเติมดังต่อไปนี้ นอกเหนือจากหมายเหตุที่ระบุในตาราง

2.6.1 กรณีไม่มีตัวอย่างแกนเจาะ (borehole core): สามารถประมาณค่า RQD ได้จากจำนวนรอยแตกต่อหน่วยปริมาตร โดยนำจำนวนรอยแตกต่อเมตรสำหรับรอยแตกแต่ละชุดมารวมกัน สามารถใช้ความสัมพันธ์อย่างง่ายในการแปลงจำนวนนี้เป็น RQD สำหรับกรณีที่ไม่มีดินเหนียวในมวลหิน RQD=115−3.3Jv (โดยประมาณ) โดยที่ Jv คือ จำนวนรอยแตกทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตร (0 < RQD < 100 สำหรับ 35 > Jv > 4.5)

2.6.2 พารามิเตอร์ Jn ที่แสดงถึงจำนวนชุดรอยแตก: มักจะได้รับผลกระทบจากการเรียงตัวของแร่ (foliation), ความเป็นหินชนวน (schistosity) รอยแตกแบบรอยเลื่อนหินชนวน (slaty cleavage) หรือการวางชั้น (bedding) เป็นต้น หากมีการพัฒนาที่แข็งแรง รอยแตก 'แนวขนาน' เหล่านี้ควรนับเป็นชุดรอยแตกที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากมีรอยแตก 'ที่มองเห็นได้' น้อย หรือมีการแตกของแกนเจาะเป็นครั้งคราว เนื่องจากลักษณะเหล่านี้ จะเหมาะสมกว่าที่จะนับเป็นรอยแตก 'สุ่ม' เมื่อประเมิน Jn

2.6.3 พารามิเตอร์ Jr และ Ja ควรเกี่ยวข้องกับชุดรอยแตกที่อ่อนแอที่สุดหรือรอยต่อเนื่องที่มีดินเหนียวบรรจุอยู่ภายในโซนที่กำหนด อย่างไรก็ตาม หากชุดรอยแตกหรือรอยต่อเนื่องที่มีค่า Jr/Ja ต่ำสุดมีทิศทางที่เอื้อต่อเสถียรภาพ ชุดรอยแตกหรือรอยต่อเนื่องชุดที่สองที่มีทิศทางไม่เอื้ออำนวยเท่า อาจมีความสำคัญมากกว่า และควรใช้ค่า Jr/Ja ที่สูงกว่าในการประเมิน Q ค่า Jr/Ja ควรเกี่ยวข้องกับพื้นผิวที่น่าจะเกิดความเสียหายได้ง่ายที่สุด

2.6.4 เมื่อมวลหินมีดินเหนียว: ควรประเมินค่า SRF ที่เหมาะสมกับน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการคลายตัว ในกรณีดังกล่าว กำลังของหินเนื้อแน่นมีความสำคัญน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อรอยแตกมีน้อยและไม่มีดินเหนียวเลย กำลังของหินเนื้อแน่นอาจกลายเป็นจุดอ่อนที่สุด และเสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนหน่วยแรงในหินต่อกำลังของหินสนามหน่วยแรงที่ไม่เป็นไอโซทรอปิกอย่างรุนแรงเป็นผลเสียต่อเสถียรภาพและมีการคำนึงถึงโดยประมาณตามหมายเหตุ 2 ในตารางสำหรับการประเมินค่าของตัวคูณลดกำลัง

2.6.5 กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของหินเนื้อแน่น ($\sigma_c$ และ $\sigma_t$) ควรประเมินในสภาพอิ่มตัวหากเหมาะสมกับสภาพปัจจุบันและอนาคตในแหล่งกำเนิด ควรทำการประมาณกำลังอย่างอนุรักษนิยมสำหรับหินที่เสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสกับสภาพชื้นหรืออิ่มตัว

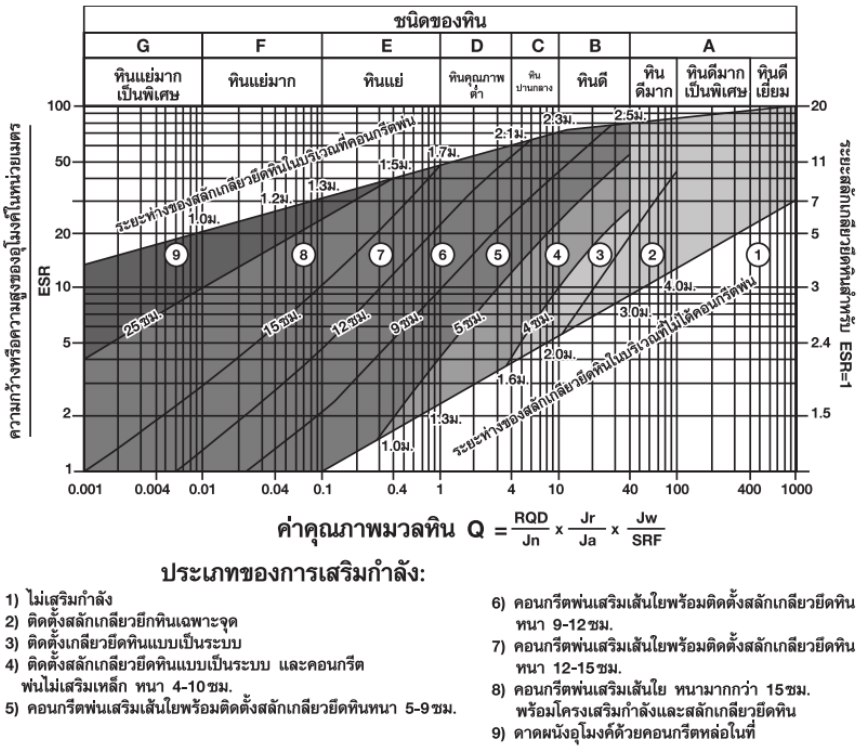
2.7 ระบบการจำแนกมวลหินด้วยวิธีนี้นิยมได้รับการยอมรับและใช้อย่างแพร่หลาย โดยที่ค่า Q ที่คำนวณได้นั้นได้นำมาเป็นองค์ประกอบในการพิจารณาการค้ำยันในอุโมงค์ โดยมีการเพิ่มพารามิเตอร์อีกหนึ่งตัวคือค่า equivalent dimension (De) ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการหารช่วงขนาดความกว้างหรือความสูงของอุโมงค์ ในช่วงที่ถูกขุด ด้วยค่าสัดส่วนการค้ำยันในการขุด (excavation support ratio, ESR) ดังสมการที่ ค.3

De = Span or height / ESR **(ค.4)**

**ตารางที่ ค.14 Values of Excavation Support Ratio, ESR (ที่มา “Barton et al. (1974)”)**

| หมวดหมู่การขุดเจาะ | ESR |
|---|---|
| A. การขุดอุโมงค์ทำเหมืองชั่วคราว | 3 ถึง 5 |
| B. การขุดอุโมงค์ทำเหมืองถาวร อุโมงค์น้ำสำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (ไม่รวมท่อส่งน้ำแรงดันสูง) อุโมงค์นำร่อง ดริฟต์ และส่วนหน้าของการขุดขนาดใหญ่ | 2.5 |
| C. ห้องเก็บของ โรงบำบัดน้ำเสีย อุโมงค์ถนนและรถไฟขนาดเล็กห้องควบคุมการไหล อุโมงค์ทางเข้า | 2.0 |
| D. โรงไฟฟ้า อุโมงค์ถนนและรถไฟสายหลัก ห้องป้องกันภัยพลเรือน จุดตัดทางเข้าอุโมงค์ | 1.6 |
| E. โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ใต้ดินและสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะ โรงงาน สถานีรถไฟ สนามกีฬา | 1.3 |

2.8 เมื่อคำนวณค่า Q และ De ได้แล้วจึงนำมาพิจารณาเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบการยันในอุโมงค์ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากระบบการค้ำยันรูปแบบเดิม โดยได้ปรับให้สามารถใช้กับการค้ำยันด้วย สลักยึดหิน (rock bolt) คอนกรีตพ่นเสริมไฟเบอร์ (fibre reinforced shotcrete) และคอนกรีต ซึ่งเสนอโดย Grimstad and Barton (1993) ดังรูปที่ ค.1




**รูปที่ ค.2 ข้อเสนอแนะการเลือกรูปแบบการค้ำยันจากผลการประเมินค่า Q (ที่มา “Barton et al. (1993)”)**

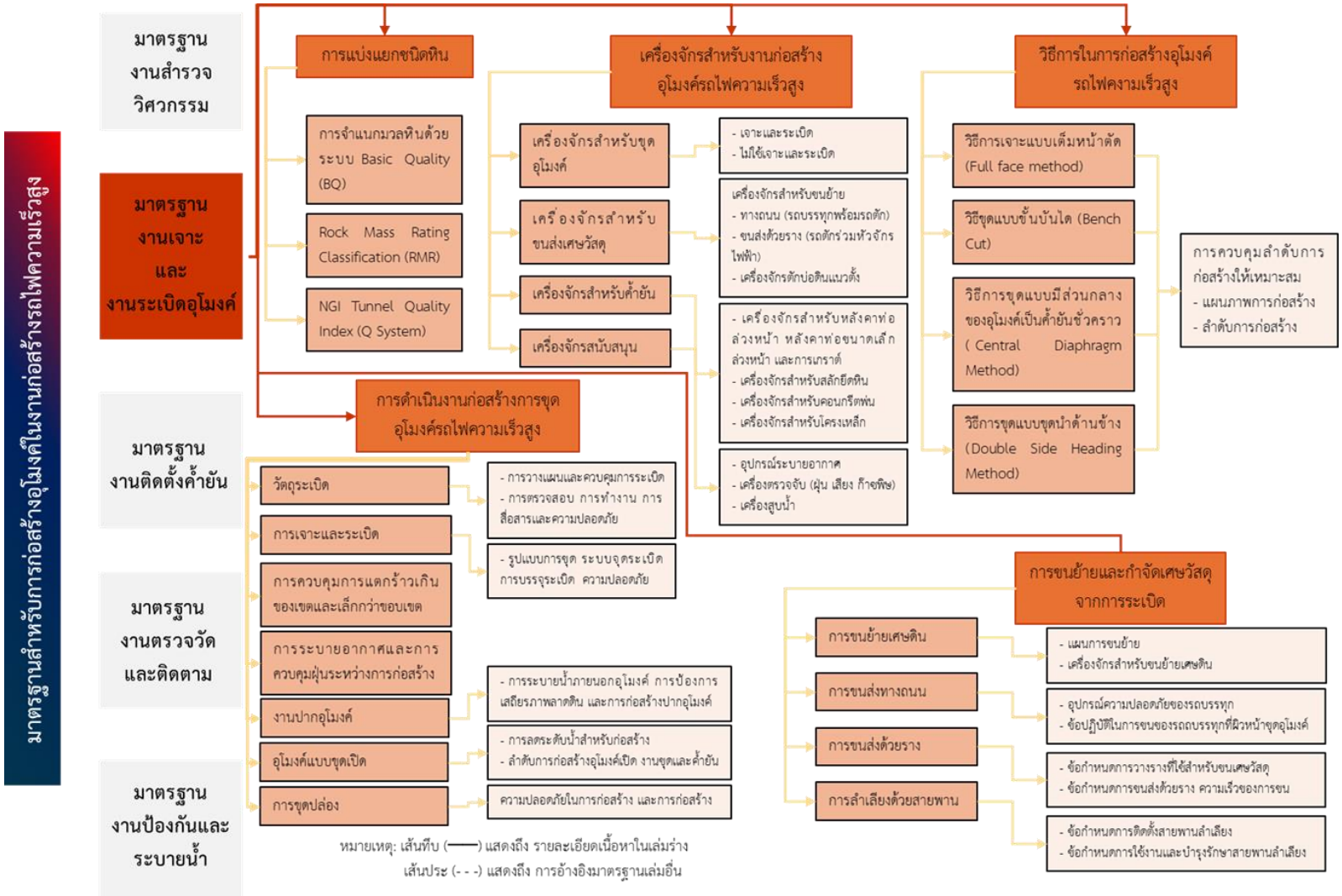
2.9 สำหรับระบบ Q และระบบ RMR ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางซึ่ง Bieniawski (1976) ได้เสนอสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของระบบ Q และ RMR คือ

$$RMR = 9 \log_e Q+44 \qquad \textbf{(ค.3)}$$

2.10 Palmstrom and Broch (2006) ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าระบบนี้จะใช้ได้ดีในกรณีที่ค่าQ มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 40 อุโมงค์มีขนาดกว้างหรือสูงอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 40 m และควรมีการใช้อย่างระมัดระวังในกรณีที่หินค่อนข้างอ่อนหรือในโซนที่หินมีคุณภาพไม่ดี หรือหินชนิดบวม (swell rod) เมื่อถูกน้ำ หรือกรณีที่มีแรงกดสูงต้องระวังเรื่องการระเบิดหรือแตกอย่างรุนแรงของหินแข็ง หรือกรณีเป็นหินชนิดเคลื่อนไหล (squeezing rock) เมื่อมีแรงกดสูง

# ภาคผนวก ง.

## แผนภาพแสดงภาพรวมของเล่มมาตรฐาน
## มาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง




**รูปที่ ง.1 แผนภาพแสดงภาพรวม (ร่าง) มาตรฐานมาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง**

สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)
Rail Technology Research and Development Agency (Public Organization)

www.rtrda.or.th info@rtrda.or.th rtrda.thailand @RTRDA_Th
@rtrdathailand rtrda.thailand Rail Technology Research and Development Agency