



กระทรวงคมนาคม

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



สทส. HSR-CT-5001:2568

(ร่าง) มาตรฐานงานค้ำยันในการก่อสร้างอุโมงค์  
สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

- กลุ่มวิจัยและมาตรฐาน
- ทีมมาตรฐาน

## สารบัญ

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ขอบข่าย .....                                                                                                                                                                                       | 5  |
| 2. มาตรฐานอ้างอิง .....                                                                                                                                                                                | 5  |
| 3. นิยามความหมาย .....                                                                                                                                                                                 | 11 |
| 3.1 นิยาม .....                                                                                                                                                                                        | 11 |
| 4. งานค้ำยันล่วงหน้า (ADVANCE SUPPORT) .....                                                                                                                                                           | 18 |
| 4.1 การเกรตต์เบื้องต้น .....                                                                                                                                                                           | 18 |
| 4.2 ฟอร์โพลิง (FOREPOLING) .....                                                                                                                                                                       | 21 |
| 4.3 สลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า (ADVANCE ANCHOR BOLT) .....                                                                                                                                           | 23 |
| 4.4 การค้ำยันล่วงหน้าอื่น ๆ .....                                                                                                                                                                      | 24 |
| 5. งานค้ำยันขั้นต้น (PRIMARY SUPPORT) .....                                                                                                                                                            | 28 |
| 5.1 ข้อกำหนดทั่วไปของงานโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น .....                                                                                                                                                   | 28 |
| 5.2 การพ่นคอนกรีตพ่น (SHOTCRETE) .....                                                                                                                                                                 | 29 |
| 5.3 สลักเกลียวยึดหิน (ROCK BOLT) .....                                                                                                                                                                 | 37 |
| 5.4 ตะแกรงลวด (WIRE MESH) .....                                                                                                                                                                        | 40 |
| 5.5 โครงเหล็ก (STEEL RIB) .....                                                                                                                                                                        | 40 |
| 5.6 งานค้ำยันฐานอุโมงค์ชั่วคราว (TEMPORARY INVERT) .....                                                                                                                                               | 41 |
| 6. งานดาดอุโมงค์ (TUNNEL LINING หรือ SECONDARY LINING) ในอุโมงค์ดินและหิน .....                                                                                                                        | 42 |
| 6.1 ข้อกำหนดทั่วไปของดาดอุโมงค์ในอุโมงค์ดินและหิน .....                                                                                                                                                | 42 |
| 6.2 งานแบบหล่อสำหรับดาดอุโมงค์ (FORMWORK FOR SECONDARY LINING) .....                                                                                                                                   | 43 |
| 7. ข้อกำหนดด้านวัสดุ .....                                                                                                                                                                             | 52 |
| 7.1 ข้อกำหนดสำหรับคอนกรีต .....                                                                                                                                                                        | 52 |
| 7.2 ข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็ก .....                                                                                                                                                                  | 61 |
| 7.3 ข้อกำหนดสำหรับโครงเหล็กรับน้ำหนักแบบโค้ง (SUPPORT ARCHES) และคานเหล็กถัก (LATTICE GIRDER) .....                                                                                                    | 65 |
| 7.4 ข้อกำหนดวัสดุค้ำยันอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ (SPILE) ร็อกเดาเอ็ล (ROCK DOWEL) สลักเกลียวยึดหิน (ROCK BOLT) เหล็กฝังยึดหิน (ROCK ANCHOR) ฟอร์โพลิง (FOREPOLING) และแผ่นค้ำยันดิน (LAGGING BOARDS) ..... | 69 |

|     |                                        |    |
|-----|----------------------------------------|----|
| 7.5 | ข้อกำหนดวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตพื้น..... | 74 |
| 7.6 | ข้อกำหนดปูนซีเมนต์เกรด.....            | 80 |
|     | ภาคผนวก ก.....                         | 84 |
|     | ภาคผนวก ข.....                         | 96 |
|     | ภาคผนวก ค.....                         | 98 |

## สารบัญรูป

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการเชื่อมต่อของท่อสำหรับการเกราต์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                              | 19 |
| รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างงานแบบหล่อสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตในส่วนของดาตอโมงค์ .....                                                                                         | 44 |
| รูปที่ 3 แผนภาพแสดงรายละเอียดของรอยต่อก่อสร้างตามแนวยาวที่อยู่บริเวณดาตอโมงค์ ด้านข้าง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                  | 46 |
| รูปที่ 4 ภาพตัดขวางของวิธีการติดตั้งท่อเกราต์ตามแนวยาวล่วงหน้า (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                          | 49 |
| รูปที่ 5 โพรไฟล์ของวิธีการติดตั้งท่อเกราต์ตามแนวยาวล่วงหน้า (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                             | 50 |
| รูปที่ ก.1 แผนภาพขั้นตอนการเกราต์หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (ADVANCE SMALL DUCT GROUTING) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                | 85 |
| รูปที่ ก.2 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อล่วงหน้า (PIPE ROOF) โดยวิธีดันท่อ (JACK-IN METHOD) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                         | 86 |
| รูปที่ ก.3 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อล่วงหน้า (ADVANCE PIPE ROOF) โดยวิธีการเจาะแบบติดตามแนวท่อ (PIPE-FOLLOWING DRILLING METHOD) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) ..... | 87 |
| รูปที่ ก.4 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า (ADVANCE ANCHOR BOLT) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                   | 88 |
| รูปที่ ก.5 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น (PRIMARY SUPPORT) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                             | 89 |
| รูปที่ ก.6 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างการพ่นคอนกรีตพ่น (SHOTCRETE) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                         | 90 |
| รูปที่ ก.7 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึดหิน (ROCK BOLT) ด้วยปูนมอร์ตาร์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                      | 91 |
| รูปที่ ก.8 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึด (ANCHOR BOLT) กลวงแบบอัดปูนเกราต์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                   | 92 |
| รูปที่ ก.9 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึดหิน (ROCK BOLT) แบบเจาะตัวเอง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                        | 93 |
| รูปที่ ก.10 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของโครงเหล็ก (STEEL RIB) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                            | 94 |
| รูปที่ ก.11 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของดาตอโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                                                                                        | 95 |
| รูปที่ ข.1 ภาพแสดงตัวอย่างการค้ำยันในแต่ละส่วนของอุโมงค์ .....                                                                                                         | 97 |
| รูปที่ ข.2 ภาพแสดงตัวอย่างการค้ำเบี่ยงต้นสำหรับแต่ละสภาพหิน .....                                                                                                      | 97 |
| รูปที่ ค.1 แผนภาพแสดงภาพรวมของเล่มมาตรฐานงานค้ำยันสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าความเร็วสูง .....                                                              | 99 |



## สารบัญตาราง

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 1 มาตรฐานการเบี่ยงเบนของกันหลุมเจาะก่อนการเกรادتวัสดุ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .....                 | 20 |
| ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการชั่งน้ำหนักวัสดุ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”).....                     | 32 |
| ตารางที่ 3 การควบคุมสมบัติของคอนกรีตพ่นที่มา “ BS EN 14487-1 (ที่มา “BRITISH TUNNELLING SOCIETY (2010)”)..... | 34 |
| ตารางที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งจุดติดตามการเสียรูปและการหลุดตัวของฐานอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”) .          | 52 |
| ตารางที่ 5 การพัฒนาความแข็งแรงช่วงอายุน้อยของคอนกรีตพ่น (ที่มา “BRITISH TUNNELLING SOCIETY (2010)”) .....     | 79 |
| ตารางที่ 6 สัดส่วนผสมของปูนเกรตซีเมนต์ (โดยมวล) (ที่มา “BRITISH TUNNELLING SOCIETY (2010)”).....              | 81 |

สทร. HSR-CT-5001:2568

(ร่าง) มาตรฐานงานค้ำยันในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง  
(Draft) Standard for Support Works in Tunnel Construction of the High-Speed  
Railway Project

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับควบคุมการก่อสร้างค้ำยันในการก่อสร้างอุโมงค์ ในโครงการรถไฟความเร็วสูง ทั้งนี้ สำหรับระบบขนส่งทางรางอื่น ๆ เช่น รถไฟฟ้าระหว่างเมือง สามารถนำมาตรฐานฉบับนี้ไปปรับใช้ได้ตามความเหมาะสม
- 1.2 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมเฉพาะการก่อสร้างอุโมงค์ด้วย การเจาะและระเบิด (drill and blast) และการใช้วิธีทางกลหรือทางเคมีโดยไม่ใช้การเจาะและระเบิด สำหรับการก่อสร้าง (non-blast)
- 1.3 มาตรฐานฉบับนี้ไม่ครอบคลุมถึงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วย หัวเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine หรือ TBM)
- 1.4 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมเฉพาะวัสดุ และการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งระบบค้ำยันสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง ที่ผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานนี้
- 1.5 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมเฉพาะแนวทางการก่อสร้างและการติดตั้งของระบบการค้ำยันที่ใช้ภายในอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ไม่ครอบคลุมกระบวนการออกแบบระบบค้ำยันที่ใช้สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 1.6 มาตรฐานอ้างอิงที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้ ถือเป็นข้อกำหนดที่ใช้ในการก่อสร้างและทดสอบสำหรับวัสดุและอุปกรณ์ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้มาตรฐานอื่นเพิ่มเติม ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ
- 1.7 มาตรฐานอ้างอิงในมาตรฐานฉบับนี้ให้ใช้ฉบับล่าสุด แต่ทั้งนี้ต้องไม่ขัดแย้งกับมาตรฐานฉบับนี้
- 1.8 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วยตามระบบเอสไอ (SI units) เป็นหลัก
- 1.9 การปฏิบัติมาตรฐานฉบับนี้ให้เป็นไปตามแบบแปลน ข้อกำหนดในรายการประกอบแบบเฉพาะงานสัญญาผู้ว่าจ้าง หากเอกสารดังกล่าวไม่ได้ระบุในเรื่องใดไว้ก็สามารถใช้มาตรฐานฉบับนี้อ้างอิงได้

2. มาตรฐานอ้างอิง

- 2.1 กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559
- 2.2 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป
- 2.3 มอก. 15 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 2.4 มอก. 20 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กเส้นกลม
- 2.5 มอก. 24 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กข้ออ้อย
- 2.6 มอก. 213 คอนกรีตผสมเสร็จ (อ้างอิงเฉพาะใบอนุญาตโรงงาน)
- 2.7 มอก. 241 ปูนขาวสำหรับงานก่อสร้าง
- 2.8 มอก. 409 วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบคอนกรีต
- 2.9 มอก. 566 มวลรวมผสมคอนกรีต (สำหรับมวลรวมรีไซเคิล หรือส่วนที่ สทร. ไม่ครอบคลุม)
- 2.10 มอก. 733 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต
- 2.11 มอก. 737 ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต
- 2.12 มอก. 747 ลวดเหล็กกล้าดัดเย็นเสริมคอนกรีต
- 2.13 มอก. 1736 การทดสอบคอนกรีต (เล่ม 1 การชักตัวอย่าง)
- 2.14 มอก. 2135 เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต
- 2.15 มอก. 2594 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก
- 2.16 มอก. 2752 วิธีทดสอบปูนซีเมนต์
- 2.17 สทร. HSR-CT-1001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานสำรวจวิศวกรรมในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.18 สทร. HSR-CT-1002:2568 (ร่าง) มาตรฐานการป้องกันและระบบระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.19 สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 2.20 สทร. HSR-CT-2002:2568 มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.21 สทร. HSR-CT-3001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.22 สทร. HSR-CT-4001:2567 มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตสดในสนาม สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

- 2.23 สทร. HSR-CT-4002:2567 มาตรฐานการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตอัด สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.24 สทร. HSR-CT-4003:2567 มาตรฐานการทดสอบการไหลผ่านของคอนกรีตอัด สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.25 สทร. HSR-CT-4004:2567 มาตรฐานการทดสอบอุณหภูมิของคอนกรีตอัด สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.26 สทร. HSR-CT-4005:2567 มาตรฐานการทดสอบการเยิ้มของคอนกรีตอัด สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.27 สทร. HSR-CT-4006:2567 มาตรฐานการทดสอบปริมาณอากาศคอนกรีตโดยวิธีวัดความดัน สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.28 สทร. HSR-4007:2568 มาตรฐานการทดสอบความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (ทดสอบโดยแท่งทดสอบมอร์ตาร์) สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.29 สทร. HSR-CT-4012:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานตรวจวัดและติดตามในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.30 ACI 506R-16 Guide to Shotcrete
- 2.31 ASTM A820 Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete
- 2.32 ASTM A981 Standard Test Method for Evaluating Bond Strength for 0.600-in. Diameter Seven-Wire Steel Strand
- 2.33 ASTM C31 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- 2.34 ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- 2.35 ASTM C114 Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- 2.36 ASTM C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- 2.37 ASTM C157 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
- 2.38 ASTM C270 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry
- 2.39 ASTM C305 Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency

- 2.40 ASTM C307 Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing
- 2.41 ASTM C330 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- 2.42 ASTM C331 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units
- 2.43 ASTM C457 Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete
- 2.44 ASTM C531 Standard Test Method for Linear Shrinkage and Coefficient of Thermal Expansion of Chemical-Resistant Mortars
- 2.45 ASTM C579 Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars
- 2.46 ASTM C580 Standard Test Method for Flexural Strength and Modulus of Elasticity of Chemical-Resistant Mortars
- 2.47 ASTM C618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- 2.48 ASTM C642 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- 2.49 ASTM C882 Standard Test Method for Bond Strength of Bonding Systems Used With Concrete By Slant Shear
- 2.50 ASTM C979 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete
- 2.51 ASTM C989 Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars
- 2.52 ASTM C1116 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete
- 2.53 ASTM C1140 Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels
- 2.54 ASTM C1152 Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete
- 2.55 ASTM C1181 Standard Test Methods for Compressive Creep of Chemical-Resistant Polymer Machinery Grouts

- 2.56 ASTM C1218 Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete
- 2.57 ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- 2.58 ASTM C1329 Standard Specification for Mortar Cement
- 2.59 ASTM C1384 Standard Specification for Admixtures for Masonry Mortars
- 2.60 ASTM C1437 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar
- 2.61 ASTM C1550 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)
- 2.62 ASTM C1583 Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength
- 2.63 ASTM C1585 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes
- 2.64 ASTM C1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete
- 2.65 ASTM C1702 Standard Test Method for Measurement of Heat of Hydration of Hydraulic Cementitious Materials
- 2.66 ASTM D695 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics
- 2.67 ASTM D696 Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics
- 2.68 ASTM D2196 Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer
- 2.69 ASTM D2990 Standard Test Methods for Tensile, Compressive, and Flexural Creep and Creep-Rupture of Plastics
- 2.70 ASTM D3689 Standard Test Methods for Deep Foundation Elements Under Static Axial Tensile Load
- 2.71 ASTM D4435 Standard Test Method for Rock Bolt Anchor Pull Test
- 2.72 ASTM D5084 Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials
- 2.73 ASTM G109 Standard Test Methods for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion

- 2.74 AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel
- 2.75 BS 4190 ISO metric black hexagon bolts, screws and nuts. Specification
- 2.76 BS 4449 Steel for the reinforcement of concrete — Weldable reinforcing steel
- 2.77 BS 4482 Steel wire for the reinforcement of concrete products. Specification
- 2.78 BS 4483 Steel fabric for the reinforcement of concrete
- 2.79 BS 6164 Health and safety in tunnelling in the construction industry. Code of practice
- 2.80 BS 6319 Testing of resin and polymer/cement compositions for use in construction
- 2.81 BS 7979 Specification for limestone fines for use with Portland cement
- 2.82 BS 8081 Code of practice for rock anchors
- 2.83 BS 8666 Scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete. Specification
- 2.84 BS EN 480 Admixtures for concrete, mortar and grout (Test methods)
- 2.85 BS EN 1011-1 Welding. Recommendations for welding of metallic materials
- 2.86 BS EN 1537 Execution of special geotechnical work - ground anchors
- 2.87 BS EN 10025 Hot rolled products of structural steels (Series)
- 2.88 BS EN 10080 Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel
- 2.89 BS EN 12350-5 Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test
- 2.90 BS EN 12390 Testing hardened concrete (Parts 2, 7, 8)
- 2.91 BS EN 12504-1 Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens
- 2.92 BS EN 12878 Pigments for the colouring of building materials based on cement
- 2.93 BS EN 13055-1 Lightweight aggregates – Part 1: For concrete, mortar and grout
- 2.94 BS EN 13139 Aggregates for mortar
- 2.95 BS EN 1367 Tests for thermal and weathering properties of aggregates (Part 4)
- 2.96 BS EN 13791 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components
- 2.97 BS EN 14487 Sprayed concrete (Part 1 & Part 2)
- 2.98 BS EN 14488 Testing sprayed concrete (Parts 2, 4, 7)
- 2.99 BS EN 14651 Test method for metallic fibre concrete (Flexural tensile strength)
- 2.100 BS EN 14889 Fibres for concrete (Part 1: Steel, Part 2: Polymer)

- 2.101 BS EN 15167 Ground granulated blast furnace slag (GGBS) for use in concrete
- 2.102 CARES UK Certification Authority for Reinforcing Steels
- 2.103 Concrete Society Technical Report 31 Permeability of site concrete
- 2.104 ISO 1 Geometrical product specifications (GPS) - Standard reference temperature
- 2.105 ISO 1461 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles
- 2.106 ISO 9001 Quality management system-Requirement
- 2.107 ISO 10406 Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete
- 2.108 ISO 17660 Welding. Welding of reinforcing steel
- 2.109 ISRM Document 2, Part 1 Suggested methods of rockbolt testing
- 2.110 PTI Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors
- 2.111 Specification Series 1800 Structural Steelwork

### 3. นิยามความหมาย

#### 3.1 นิยาม

“การโก่งเดาะ” (buckle) หมายถึง การที่ท้องอาคารหรือโครงสร้างจะถูกรับแรงอัดจากการรับแรงเยื้องศูนย์ หรือน้ำหนักบรรทุกที่มากเกินไป จนเกิดการโก่งจนนำไปสู่การวิบัติ

“การบีบตัวของอุโมงค์” (convergence) หมายถึง การเคลื่อนตัวเข้าหากันหลังจากการขุดเจาะอุโมงค์ เกิดจากแรงดันของชั้นดินหรือหินโดยรอบ มักใช้เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวเพื่อติดตามและวิเคราะห์เสถียรภาพของอุโมงค์

“กำลังคราก” (yield strength) หมายถึง กำลังของวัสดุ ณ จุดคราก หรือจุดบนเส้นโค้งหน่วยแรง - ความเครียดที่แสดงถึงหน่วยแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรทันทีขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกเกือบคงตัว จุดนี้เป็นจุด เริ่มต้นของระยะคราก ในกรณีเหล็กกล้าละมุน จุดครากจะเกิด หลังจากรับหน่วยแรงเกิน พิกัดยืดหยุ่นเล็กน้อย โลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าแรงดึงสูง เหล็กรีดเย็น มักไม่มีจุดครากที่ชัดเจน จึงพิจารณาโดยใช้หน่วยแรงพิสูจน์แทนจุดคราก

“กำลังดึง” (tensile strength) หมายถึง หน่วยแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการดึงวัสดุให้ขาดจากกัน

“เกราด์” (grout) หมายถึง การฉีดอัดด้วยสารเกราด์ เช่น น้ำซีเมนต์ผสม เข้าเติมช่องว่าง ประโยชน์ของการฉีดอัดวัสดุเหล่านี้มีอเนกประการ ได้แก่ 1. สำหรับงานปรับปรุงดิน อาจใช้น้ำซีเมนต์เหลวอย่างเดียว หรือผสมทรายหรือเถ้าลอยก็ได้ 2. ใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่ร้าว มักใช้วิธีฉีดอัดด้วยเรซินอีพ็อกซี (epoxy resin) หรือเรซินพอลิเอสเทอร์ (polyester resin) แต่ทั้งนี้ต้องแก้ไขที่สาเหตุให้เรียบร้อยเสียก่อน 3. ใช้ในกรณีอื่น ๆ



“เกราด์แบบรูปดอกพลัม” (plum blossom-shaped grout) หมายถึง รูปแบบการฉีดเกราด์ในลักษณะการกระจายที่คล้ายกับดอกพลัมเพื่อให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและครอบคลุมในวงกว้าง

“เกราด์หนืดตัวเมื่อหยุดไหล” (thixotropic grouting) หมายถึง ลักษณะที่ปูนเกราด์จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามแรงที่กระทำ เมื่อปูนเกราด์ได้รับแรงเฉือน (shear stress) หรือถูกกวน เช่น ในระหว่างกระบวนการผสมหรือการปั๊ม ปูนเกราด์จะแสดงสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลง ทำให้สามารถไหลและอัดฉีดเข้าสู่ช่องว่าง รูเจาะ หรือรอยแตกได้อย่างง่ายดายและทั่วถึง แต่ทันทีที่แรงเฉือนนั้นหายไป หรือเมื่อปูนเกราด์หยุดการเคลื่อนที่ในช่องว่าง ปูนเกราด์จะกลับมามีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงตัวอยู่ในตำแหน่งเดิมได้ดี

“แขนค้ำยัน” (strut) หมายถึง องค์อาคารรับแรงอัด อาจทำด้วยไม้ เหล็ก หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก และไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวตั้ง มักเรียกอย่างย่อว่า ค้ำยัน

“คานเหล็กถัก” (lattice girder) หมายถึง โครงเหล็กสำเร็จรูปที่ประกอบจากเหล็กเส้นหรือเหล็กรูปพรรณเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นรูปตาข่ายน้ำหนักเบา เพื่อใช้เป็นโครงค้ำยันหรือโครงเสริมแรงในการก่อสร้างอุโมงค์หรือชิ้นส่วนคอนกรีต

“ค่าความเครียดประลัย” (ultimate strain) หมายถึง ค่าการยืดตัว หรืออัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของเทหวัตถุ เมื่อมีแรงมากระทำกับความยาวเดิมสูงสุด (การเสียรูป) ที่วัสดุสามารถทนทานได้ ก่อนที่จะเกิดการวิบัติหรือพังทลายอย่างสมบูรณ์

“ค่าคลาดเคลื่อนยินยอม” (tolerance) หมายถึง ค่าที่ยอมให้มีการผันแปรจากที่กำหนดเกี่ยวกับมิติ ปริมาณ ตำแหน่ง แนว หรือคุณภาพ

“คอร์ด” (chord) หมายถึง 1. เส้นตรงที่โยงจุดเริ่มโค้งและจุดจบโค้งในโครงสร้าง 2. ชิ้นส่วนบนและล่างซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักขององค์อาคารในโครงข้อหมุน โดยชิ้นส่วนบนเรียกว่า คอร์ดบน และชิ้นส่วนล่างเรียกว่า คอร์ดล่าง สำหรับโครงข้อหมุนแบบช่วงเดียวธรรมดา (simply-supported truss) คอร์ดบนจะรับแรงอัดทั้งหมด ส่วนคอร์ดล่างจะรับแรงดึงทั้งหมด

“คอนกรีตที่ผ่านการขัดผิวโดยใช้เครื่องมือขับเคลื่อนด้วยลมอัด” (pneumatic machine roughed concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ผ่านการทำให้ผิวหยาบโดยใช้เครื่องมือขับเคลื่อนด้วยลมอัด (pneumatic tools) เพื่อเปิดผิวคอนกรีตเดิมให้หยาบ เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (bond strength) ระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ในบริเวณรอยต่อการก่อสร้าง (construction joint)

“คอนกรีตพ่น” (shotcrete) หมายถึง คอนกรีตที่ใช้งานโดยการพ่นด้วยเครื่องอัดลมความดันสูงไปยังแบบหล่อ หรือผนัง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่นและมีกำลังสูง มักใช้ซ่อมแซมโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น แผ่นพื้น ผนังภายในท่อขนาดใหญ่หรืออุโมงค์ สิ่งก่อสร้างที่มีรูปร่างยากต่อการเทคอนกรีต

“แคปซูลเกรตเรซิน” (resin grouting capsules) หมายถึง วัสดุที่บรรจุน้ำยาเรซิน (เรซินสองส่วน เช่น พอลิเอสเทอร์ หรืออีพ็อกซี) และตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ในแคปซูลพลาสติกหรือฟิล์มบาง เพื่อใช้ในงานยึดเหนี่ยว (anchoring) โดยเฉพาะในงานเหมือง งานอุโมงค์ หรืองานโครงสร้างที่ต้องการฝังเหล็กเสริมเข้าไปในชั้นหินหรือคอนกรีตอย่างรวดเร็ว

“โครงสร้างค้ำยันขั้นต้น” (primary support) หมายถึง ระบบค้ำยันขั้นแรกที่ใช้หลังขุดทันที เช่น การคอนกรีตพ่น (shotcrete) สลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) โครงเหล็ก (steel rib) เพื่อเสริมความมั่นคงของอุโมงค์ขั้นต้น

“ดาตอุโมงค์” (tunnel lining หรือ secondary lining) หมายถึง โครงสร้างที่สร้างขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันดินที่กระทำต่ออุโมงค์ ในกรณีอุโมงค์ในดินเหนียวหรือดินทราย จะใช้ดาตอุโมงค์ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งหล่อเป็นชิ้นแล้วนำมาประกอบกันภายในอุโมงค์ หรือใช้ผนังเหล็ก แล้วเกรต หรือใช้งานแบบหล่อ (formwork) ในการหล่อผนังคอนกรีต ถ้าเป็นอุโมงค์ในหินแข็งจะใช้คอนกรีตพ่นเป็นดาตอุโมงค์

“โครงเหล็ก” (steel rib) หมายถึง เหล็กรูปพรรณหน้าตัดอักษร I หรือ H ตัดโค้ง ที่ติดตั้งในอุโมงค์ ใช้เป็นกรอบรับแรง และเสริมความมั่นคงให้ผนังอุโมงค์ช่วงก่อสร้าง

“งานแบบหล่อ” (formwork) หมายถึง งานโครงสร้างชั่วคราวที่ประกอบด้วยแบบหล่อและชุดของโครงสร้างที่ใช้รับ ยึด รักษารูป และใช้เป็นที่ยางานขณะหล่อคอนกรีต เช่น นั่งร้าน ค้ำยัน เพื่อการหล่อคอนกรีตให้ได้รูป ผิว และตำแหน่งที่กำหนด รวมทั้งงานถอดแบบหล่อและรื้อถอนโครงสร้างชั่วคราวดังกล่าวด้วยแบบหล่อ

“ชั้นความรุนแรงทางเคมีเพื่อการออกแบบ” (design chemical class) หมายถึง การจำแนกระดับความรุนแรงทางเคมีของสภาพแวดล้อมที่โครงสร้างจะสัมผัส เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบวัสดุ โดยเฉพาะการเลือกสมบัติของคอนกรีต เช่น ความหนาแน่นของคอนกรีต ค่าการซึมผ่าน ปริมาณซัลเฟต คลอไรด์ ค่าพีเอช (ph) และอื่น ๆ

“ฐานอุโมงค์” (invert) หมายถึง ตำแหน่งต่ำสุดภายในของท่อ ท่อ ระบายน้ำ อุโมงค์ เป็นต้น แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น 1.ฐานอุโมงค์ในส่วนของระดับคอนกรีตหยาบ 2.ฐานอุโมงค์ในส่วนของดาตอุโมงค์ (tunnel lining หรือ secondary lining) 3.ฐานอุโมงค์ในส่วน of ฐานรางรถไฟ

“ตะแกรงลวด” (wire mesh) หมายถึง แผงเหล็กเสริมสำเร็จรูปที่ได้จากการนำลวด หรือเหล็กเส้นเรียง 2 ทิศทาง มักตั้งฉากกัน จุดตัดเชื่อมติดกันทุกจุด

“ทรายบด” (crushed sand) หมายถึง ทรายที่ผลิตขึ้นโดยการบดหินอัคนีขนาดใหญ่ หินแกรนิต และหินชนิดอื่น ๆ โดยใช้เครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดเม็ดที่สม่ำเสมอ

“ท่อเกรต” (grouting pipe) หมายถึง ท่อสำหรับส่งซีเมนต์เกรตเพื่อนำไปเกรตในจุดที่ต้องการ

“ท่อควบคุมการไหล” (orifice pipe) หมายถึง ท่อที่มีการติดตั้งแผ่นควบคุมการไหล (orifice plate) เพื่อควบคุมการไหลหรือใช้วัดปริมาณการไหลของของเหลว

“ท่อเทคอนกรีต” (tremie) หมายถึง ท่อส่งวัสดุเกรตหรือคอนกรีตเหลวเข้าสู่รูเจาะหรือพื้นที่จำกัดในแนวเอียงขึ้นหรือลาดลง โดยใช้วิธีเติมจากก้นรูเจาะขึ้นมา เพื่อให้วัสดุไหลต่อเนื่อง ไม่เกิดช่องอากาศ และยึดเกาะกับโครงสร้างหรือหินโดยรอบอย่างสมบูรณ์

“ท่อแคนopies” (canopy tube) หมายถึง การค้ำยันเพดาน (roof support) สำหรับการปฏิบัติงานเจาะอุโมงค์ โดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้ที่ทางเข้าอุโมงค์ (tunnel portals) และทางเชื่อม (cross passages) ซึ่งสภาพธรณีวิทยา มักจะอ่อนแอ และจำเป็นต้องติดตั้งการค้ำยันเพดาน นำหน้าการเจาะอุโมงค์ในพื้นที่ที่ดินอ่อนแอ ท่อแคนopiesสามารถนำมาใช้เพื่อ ค้ำยันความยาวอุโมงค์ได้ทั้งช่วง โดยใช้การติดตั้งแบบพาดซ้อนทับกัน (overlapping fans)

“เท้าช้าง” (arch foot) หมายถึง หมายถึง ชั้นส่วนล่างหรือปลายล่างของโครงสร้างรูปโค้งที่เป็นองค์ประกอบของหลังคาอุโมงค์ที่มีลักษณะยื่นออกไปด้านข้าง เพื่อใช้ในการรับแรงจากชั้นดินหรือชั้นหินบริเวณรอบอุโมงค์

“ที่ปรึกษา” (consultant) หมายถึง ผู้ให้บริการเชิงวิชาชีพหรือวิชาการ เช่น ที่ปรึกษางานวิศวกรรม (engineering consultant) ที่ปรึกษาการออกแบบ (design consultant) ที่ปรึกษาการควบคุมงานก่อสร้าง (construction supervision consultant)

“แบบหล่อผนังกัน” (bulkhead) หมายถึง แบบหล่อที่ติดตั้งบริเวณด้านบนและด้านข้างของพื้นที่เทคอนกรีต ระหว่างแบบหล่อกับผิวอุโมงค์ โดยจะถูกติดตั้งในแนวตั้งเพื่อก่อให้เกิดรอยต่อก่อสร้างในแนวตั้ง

“ผู้รับจ้าง” (contractor) หมายถึง ผู้ประกอบการก่อสร้าง หรือผู้รับเหมาตามสัญญาจ้าง

“ผู้ออกแบบและคำนวณ” (designer) หมายถึง ผู้รับผิดชอบออกแบบหรือคำนวณออกแบบ

“ผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์” (excavation face) หมายถึง พื้นผิวของหน้าตัดชั้นดินหรือชั้นหินบริเวณพื้นที่ที่มีการขุดอุโมงค์

“แผ่นค้ำยันดิน” (lagging board) หมายถึง วัสดุประเภทแผ่นไม้ แผ่นเหล็ก หรือแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในระบบค้ำยันดินชั่วคราว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบ soldier pile and lagging

“แผ่นซึม” (shim plate) หมายถึง แผ่นวัสดุบางๆ (โดยทั่วไปเป็นโลหะ เช่น เหล็ก สแตนเลส หรือพลาสติก) ที่มีรูปทรงแบน ใช้สำหรับ เติมช่องว่างเล็กๆ ปรับระดับ จัดแนว หรือให้ระยะห่างที่แม่นยำระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในโครงสร้าง

“แผ่นรองรับแรง” (cushion plate) หมายถึง แผ่นโลหะที่ติดตั้งบริเวณหัวสลักเกลียว (bolt) เพื่อถ่ายแรงจากหัวสลักไปยังก้อนหินหรือชั้นคอนกรีตพื้นให้สม่ำเสมอ และป้องกันการแตกร้าวเฉพาะจุดของผิวหน้า

“แพ็กเกอร์” (packer) หมายถึง อุปกรณ์สำหรับสอดเข้าไปในท่อเกรตต์ ทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำปูนรอบท่อเกรตต์นั้น โดยทั่วไปใช้บล็อกยางที่พองตัวได้ในลักษณะเดียวกับยางในรถยนต์ ซึ่งจะขยายตัวเมื่อหย่อนท่อนั้นถึงระดับที่ต้องการแล้วทำการอัดฉีดน้ำปูน

“ฟอร์โพลิง” (forepoling) หมายถึง การปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณหน้าชุด (face) โดยการติดตั้งเหล็กเสริม เช่น แท่งเหล็ก ท่อ หรือเหล็กเส้น เข้าไปในแนวเฉียงกระจายตัว (splayed arch) ด้านหน้าของแนวอุโมงค์ เพื่อสร้างโครงสร้างค้ำยันล่วงหน้าคล้ายโครงหลังคา

“มวลรวมเบา” (lightweight aggregate) หมายถึง มวลรวมที่มีความหนาแน่นน้อย เช่น ดินเหนียว ดินดาน ดินชนวน เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) หินพูน แก้วภูเขาไฟ ดินเบาหรือดินไดอะตอม (diatomite) รวมทั้งวัสดุจากอุตสาหกรรม เช่น แก้วลอย มวลรวมเหล่านี้เหมาะสำหรับทำคอนกรีตเบา

“มวลรวมรีไซเคิลประเภทคอนกรีตหยาบ” (coarse recycled concrete aggregate หรือ rca) หมายถึง มวลรวมที่ได้จากการแปรรูปวัสดุคอนกรีตที่เคยใช้ในงานก่อสร้างมาก่อน ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคอนกรีตบด

“มอดุลัสสภาพยืดหยุ่น” (modulus of elasticity) หมายถึง สมบัติของวัสดุยืดหยุ่นแบบอุดมคติตามกฎหมายของฮุก หาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อความเครียดตามแนวแรงเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $E$

“ระยะคอนกรีตหุ้ม” (concrete cover) หมายถึง ระยะระหว่างผิวคอนกรีตกับผิวเหล็กเสริมในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก บางครั้งเรียกอย่างย่อว่า cover หรือ covering

“ร็อกเดาเอิล” (rock dowel) หมายถึง เหล็กเสริมแรงชนิดแท่งยาว (โดยทั่วไปยาวประมาณ 1.5–12 m) ที่ติดตั้งโดยการเจาะฝังเข้าไปในรูที่เจาะไว้ล่วงหน้ารอบแนวผนังอุโมงค์ แล้วทำการยึดตรึงด้วยปูนมอร์ตาร์ หรือเรซินพอลิเอสเทอร์ (polyester resin) เพื่อเชื่อมชั้นหินหรือมวลหินหลวมเข้าด้วยกัน ป้องกันการแยกตัว การเคลื่อนตัว หรือการหลุดร่วงของหินจากผนังหรือเพดานอุโมงค์

“รอยต่อก่อสร้าง” (construction joint) หมายถึง รอยต่อขององค์อาคารคอนกรีตที่กำหนดให้หยุดหล่อที่จุดนั้น แล้วหล่อเชื่อมภายหลังเนื่องจากไม่สามารถหล่อให้เสร็จได้ภายในครั้งเดียว หรือมีเหตุจำเป็นที่ต้องหยุดหล่อคอนกรีต รอยต่อนี้ต้องสามารถถ่ายผ่านแรงตามที่คำนวณออกแบบไว้

“รอยต่อตามยาว” (longitudinal joints) หมายถึง รอยต่อที่ขนานกับความยาวของโครงสร้างหรือผิวถนน สำหรับผิวถนน โดยทั่วไปรอยต่อตามยาวจะอยู่ที่เส้นแบ่งช่องจราจร

“รอยต่อเพื่อการเปลี่ยนรูป” (deformation joint) หมายถึง รอยต่อในโครงสร้างที่ออกแบบไว้เพื่อรองรับการเคลื่อนตัวหรือการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างอันเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น การขยายตัวหรือ

หลุดจากอุณหภูมิจากการสั่นสะเทือน แรงกระทำจากดิน แรงดันน้ำใต้ดิน หรือการทรุดตัวที่ไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง โดยรอยต่อดังกล่าวจะช่วยป้องกันการแตกร้าว การเสียรูป หรือการเสียหายของโครงสร้าง และมักติดตั้งวัสดุปิดผนึกที่มีความยืดหยุ่น เช่น วัสดุกันน้ำ แผ่นยางยืดหยุ่น หรือซิลิโคนยืดหยุ่น เพื่อควบคุมการซึมน้ำและรักษาความต่อเนื่องในการใช้งาน

**“ลวดเสริมกำลัง” (anchor tendon)** หมายถึง เป็นลวดเสริมที่ใช้ในการยึดหรือยึดติดโครงสร้างต่าง ๆ

**“วัสดุอุดรูแพ็กเกอร์” (orifice packer material)** หมายถึง วัสดุที่ใช้ปิดผนึกแพ็กเกอร์ เพื่อควบคุมการไหลของน้ำปูนในบริเวณรูฉีดอัดเกรดของเซกเมนต์ หรือโครงสร้างคอนกรีตในงานก่อสร้างอุโมงค์

**“วัสดุเสริมแรงที่ไม่ใช่โลหะ” (non-metallic reinforcement)** หมายถึง วัสดุเสริมแรงที่ไม่ใช่โลหะ เช่น ไฟเบอร์กลาส (gfrp) หรือพลาสติกเสริมแรง (frp) จะใช้แทนเหล็กเสริมในคอนกรีต เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสนิม มีน้ำหนักเบา และทนสารเคมี

**“วิธีการขุดแบบแบ่งช่วง” (stage excavating)** หมายถึง เทคนิคการขุดที่แบ่งงานขุดออกเป็นตอนหรือช่วงย่อย (stages or steps)

**“วิธีการเจาะแบบติดตามแนวท่อ” (pipe-following drilling method)** หมายถึง วิธีการเจาะนำร่องตามแนวท่อเหล็กที่ติดตั้งไว้ล่วงหน้าเพื่อควบคุมทิศทางการเจาะและสนับสนุนการติดตั้งองค์ประกอบค้ำยัน เช่น โครงเหล็กหรือวัสดุฉีดเกรด นิยมใช้ในงานเสริมความมั่นคงหน้าขุดอุโมงค์

**“วิธีการเจาะรูนำ” (lead hole jack-in method)** หมายถึง เป็นวิธีเจาะโดยกดด้วยแม่แรงโดยมีการเจาะรูนำก่อนเริ่ม

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

**“สติฟเนส” (stiffness)** หมายถึง แรงภายในโครงสร้างที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งหรือถูกกดให้หมุน 1 หน่วยขององค์อาคารหรือโครงสร้าง สติฟเนสเป็นสมบัติของหน้าตัดในการต้านทานการเปลี่ยนตำแหน่ง เช่น การโก่ง

**“สไปล์” (spiles)** หมายถึง โดยพื้นฐานแล้วเหมือนกันกับฟอร์โพลิง (forepoling) แต่อาจรวมถึงเหล็กเส้นที่ถูกเจาะนำหน้าส่วนหน้าของอุโมงค์หินด้วย

**“สลักเกลียว” (bolt)** หมายถึง แท่งเหล็กกล้าหรือแท่งเหล็กเหนียวที่มีหน้าตัดกลม โดยทั่วไปปลายหนึ่งมีหัวขยายออกเป็นรูปหกเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม ส่วนอีกปลายหนึ่งเป็นเกลียวเพื่อให้ขันนอตหมุนสวมเข้าไปได้

**“สลักเกลียวยึด” (anchor bolt)** หมายถึง สลักเกลียวที่ใช้ยึดเสา คาน หรือองค์อาคารเหล็กรูปพรรณต่าง ๆ ให้ติดแน่นกับคอนกรีตหรือวัสดุก่อสร้างอื่น และสลักเกลียวโลหะหรือหมุดโลหะ ไม่ว่าจะฝังพร้อมการหล่อคอนกรีตหรือเจาะคอนกรีตที่หล่อเสร็จแล้ว และฝังภายหลังสำหรับใช้ยึดองค์อาคารต่าง ๆ หรือ

สิ่งที่ฝังในคอนกรีต เพื่อด้านแรงเฉือน แรงดึง หรือน้ำหนัก บรรทุกที่มีความสั่นสะเทือน เช่น จากแรงลม จากเครื่องจักร

**“สลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า” (advance anchor bolt)** หมายถึง สลักเกลียวที่ติดตั้งล่วงหน้าเพื่อเสริมความมั่นคงของโครงสร้างในดินหรือหิน [ดู สลักเกลียวยึด ประกอบ]

**“สลักเกลียวยึดหิน” (rock bolt)** หมายถึง สลักเกลียวขยายตัวหรือท่อนเหล็กที่ฝังในรูที่เจาะเข้าไปในเนื้อหินเพื่อใช้เป็นสมอยึด หากเป็นท่อนเหล็กหลังจากฝังต้องเกราดที่ส่วนปลายท่อนเหล็กด้วย

**“สเลอรี่” (slurry)** หมายถึง ส่วนผสมระหว่างน้ำกับอนุภาคสารขนาดเล็กที่ไม่ละลายน้ำ เกิดเป็นสารแขวนลอย มีลักษณะคล้ายน้ำโคลน เช่น เบนโทไนด์ผสมน้ำ พอลิเมอร์ผสมน้ำ ดินเหนียวผสมน้ำ บางครั้งรวมเรียกว่า น้ำโคลน

**“สารผสมเพิ่ม” (admixture)** หมายถึง สารที่เติมลงในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์เพื่อเพิ่มสมบัติต่าง ๆ สารผสมเพิ่มมีหลายชนิด เช่น สารผสมเพิ่มเร่งก่อตัว สารกักฟองอากาศ สารผสมเพิ่มหน่วงก่อตัว สารเพิ่มความเหลวพิเศษ

**“เส้นใยเหล็ก” (steel fiber)** หมายถึง เส้นฝอยเล็ก ๆ ทำด้วยเหล็ก อาจใช้เป็นเส้นยาวหรือตัดเป็นท่อนสั้น ๆ ผสมในซีเมนต์เพสต์ หรือคอนกรีตเพื่อเป็นการเสริมกำลัง

**“หลังคาอุโมงค์” (crown)** หมายถึง ส่วนบนสุดของผิวหน้าตัดอุโมงค์เป็นตำแหน่งที่รับแรงจากหินหรือดินด้านบนมากที่สุด

**“หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า” (advance small duct roof หรือ advance small pipe roof)** หมายถึง เทคนิคการติดตั้งท่อขนาดเล็กในดินหรือหินล่วงหน้า (ก่อนการขุดเจาะหรือการก่อสร้างโครงสร้าง)

**“หลังคาท่อนล่วงหน้า” (advance pipe roof)** หมายถึง ระบบการติดตั้งท่อเหล็กกลวง ขนาดใหญ่ ล่วงหน้า (ก่อนการขุดเจาะอุโมงค์) โดยเจาะหรือดันท่อลอดเข้าไปในชั้นดินหรือหินด้านหน้าพื้นที่ขุด เพื่อสร้างหลังคาเทียม ที่ช่วยพยุงและป้องกันการพังทลายของดินด้านบนขณะทำการขุดภายในอุโมงค์

**“หลังคาท่อเหล็ก” (portal pipe roof)** หมายถึง เป็นวิธีการก่อสร้างที่ใช้ท่อเหล็กเรียงตัวเป็นแนว โครงสร้างคล้ายหลังคา เพื่อสร้างพื้นที่หรือช่องเปิดชั่วคราว

**“หัวเจาะอุโมงค์” (tunnel boring machine หรือ tbm)** หมายถึง เครื่องมือกลรูปทรงกระบอกหน้าปิด ที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์ในดิน หิน หรือทราย เช่น หัวเจาะแรงดันดินสมดุลที่ใช้เจาะอุโมงค์ในดินเหนียว หัวเจาะที่มีช่องเหลวค้ำจุนที่ใช้เจาะอุโมงค์ในดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ปัจจุบันหัวเจาะอุโมงค์มีการพัฒนาให้มีรูปทรงหลากหลายขึ้น

**“แหวนรองแบบเบ้ารูปกรวย” (conical-seated washer)** หมายถึง แหวนรองที่มีพื้นผิวรูปกรวย (conical surface) หรือมีเบ้าเป็นรูปกรวย (conical seat) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดแหวนรองที่มักใช้



ร่วมกับ แหวนรองทรงกลม (spherical washer) เพื่อทำหน้าที่ ปรับแนว (self-aligning) และ กระจายแรงกด (distribute load) ให้สม่ำเสมอ

“หยุดการไหลของปูนเกราด์” (grout-stopping) หมายถึง การใช้อุปกรณ์หรือวิธีการเพื่อหยุดการไหลของปูนซีเมนต์

“เหล็กตะแกรงเสริม” (welded-wire fabric) หมายถึง แผงเหล็กเสริมสำเร็จรูปที่ได้จากการนำลวดหรือเหล็กเส้นเรียง 2 ทิศทาง มักตั้งฉากกันจุดตัดเชื่อมติดกันทุกจุด

“เหล็กฝังยึดหิน” (rock anchor) หมายถึง เหล็กกำลังดึงสูงหรือเคเบิลที่ฝังในรูที่เจาะลึกเข้าไปในเนื้อหินแล้วเกราด์

#### 4. งานค้ำยันล่วงหน้า (advance support)

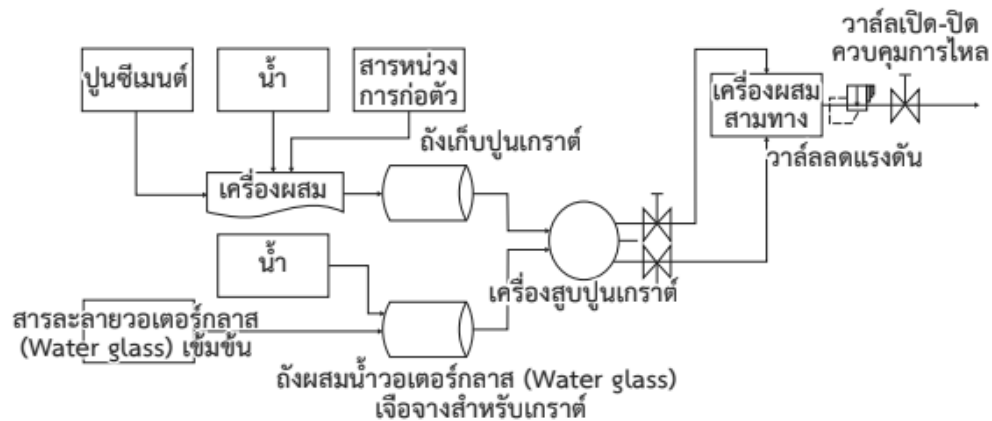
##### 4.1 การเกราด์เบื้องต้น

ข้อกำหนดนี้มีเนื้อหาที่ครอบคลุมเฉพาะการเกราด์ในรูปแบบต่อไปนี้ ได้แก่ ข้อกำหนดทั่วไปของการเกราด์เบื้องต้น การเลือกอุปกรณ์สำหรับการเกราด์ล่วงหน้า การก่อสร้างการเจาะรูเกราด์ล่วงหน้า ข้อกำหนดการเกราด์ การเกราด์ช่องว่างในดาตอุโมงค์งานแบบหล่อในที่ และการแก้ไขข้อผิดพลาดขณะทำการเกราด์

##### 4.1.1 ข้อกำหนดทั่วไปของการเกราด์เบื้องต้น

##### 4.1.1.1 การเตรียมการก่อสร้างสำหรับงานเกราด์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- (1) ในการวางผังสถานีสูบน้ำ ต้องคำนึงถึงความสะดวกในการทำงาน การระบายอากาศ และการควบคุมฝุ่น และ ต้องติดตั้งใกล้พื้นที่ดำเนินงานมากที่สุด ในกรณีที่พื้นที่แคบสามารถใช้สถานีสูบน้ำเคลื่อนที่ได้ การเชื่อมต่อท่อเกราด์สามารถทำได้โดยอ้างอิงตามรูปที่ 1
- (2) การทดสอบแรงดันน้ำสำหรับงานเกราด์ที่รอยต่อ ต้องทดสอบการดูดซึมน้ำและการซึมผ่านของชั้นหินด้วยการทดสอบแรงดันน้ำ และทำการล้างรูเจาะด้วยน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแพ็กเกอร์หยุดเกราด์ (grout-stopping packer) และความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของท่อเกราด์ (grouting pipe)



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการเชื่อมต่อน้ำของท่อสำหรับการเกราด์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

#### 4.1.1.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการอัดปูนเกราด์ล่วงหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) เครื่องเจาะสามารถใช้เป็นแบบหมุน สว่านกระแทกและอื่น ๆ โดยที่เครื่องเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของความยาวของส่วนของการเกราด์
- (2) ปืนที่ใช้ในงานเกราด์ต้องมีแรงดันสูงสุดไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของแรงดันออกแบบ และต้องเลือกใช้ชนิดให้เหมาะสมกับประเภทของงานเกราด์ดังนี้
  - (2.1) ใช้ปืนของเหลวเดี่ยว (single liquid pump) หรือปืนสลเลอรี่ (slurry pump) สำหรับงานเกราด์ซีเมนต์
  - (2.2) ใช้ปืนเฉพาะสำหรับฉีดมอร์ตาร์ (special mortar pump) สำหรับงานเกราด์มอร์ตาร์
  - (2.3) ปืนแบบไบนารี (binary slurry pump) สำหรับงานเกราด์แบบไบนารีสลเลอรี่ (binary slurry)
- (3) เลือกวัสดุท่อที่สมบัติที่สอดคล้องกับท่อเกราด์ตามข้อกำหนดการออกแบบ

#### 4.1.1.3 การเจาะรูเกราด์ล่วงหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) ลำดับการเจาะต้องจัดอย่างเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการเกราด์



- (2) ความลึกของการเกราด์ ต้องปรับอย่างเหมาะสมตามข้อกำหนดการออกแบบและเงื่อนไขทางอุทกวิทยา
- (3) เครื่องเจาะต้องติดตั้งอย่างมั่นคง และเส้นกึ่งกลางของแกนเจาะต้องตรงตามแนวเส้นกึ่งกลางของรูเกราด์ที่เจาะไว้ ทิศทางของแท่งเจาะต้องได้รับการตรวจสอบและปรับแก้ในระหว่างการเจาะอย่างสม่ำเสมอ และค่าเบี่ยงเบน (deviation) ที่ก้นหลุมเจาะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานการเบี่ยงเบนของก้นหลุมเจาะก่อนการเกราด์วัสดุ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

| ข้อกำหนด                     | หลุมเกราด์          | หลุมตรวจสอบ         | หลุมอื่น ๆ          |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ค่าความเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ | $\leq \frac{L}{40}$ | $\leq \frac{L}{80}$ | $\leq \frac{L}{60}$ |

หมายเหตุ: L คือ ความลึกของหลุม

- (4) เวลาในการติดตั้งท่อควบคุมการไหล (orifice pipe) ต้องพิจารณาจากสภาพอุทกวิทยาและธรณีวิทยา พร้อมจัดทำบันทึกแผนการก่อสร้างที่เหมาะสม ต้องติดตั้งท่อควบคุมการไหลหรือท่อเกราด์หลังจากเจาะหลุมลึกถึง 2 m โดยท่อควบคุมการไหลพร้อมวาล์วน้ำต้องติดตั้งไว้ล่วงหน้าในส่วนที่มีน้ำไหลเข้ามาและบริเวณที่มีแรงดันสูง ในกรณีที่ติดตั้งผนังหยุดการไหลของปูนเกราด์ (grout-stopping wall) ความลึกของท่อควบคุมการไหลในผนังต้องกำหนดตามแรงดันสูงสุดของการเกราด์

#### 4.1.1.4 การเกราด์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) วัสดุที่นำมาเกราด์ต้องคำนวณอย่างถูกต้องตามอัตราส่วนผสม และผสมแต่ละวัสดุอย่างเป็นลำดับ โดยที่สเลอรี่เกราด์ที่นำมาผสมต้องไม่เข้าไปในเครื่องเกราด์ก่อนถูกกรองโดยตะแกรง
- (2) ในการเกราด์ให้บันทึกกระบวนการเกราด์ ได้แก่ ตำแหน่งของรู เส้นผ่านศูนย์กลางรู ความลึกของรู อัตราส่วนผสมปูนเกราด์ ความดันในการเกราด์ ปริมาณการเกราด์ การสูญเสียปูนเกราด์ การรั่วของปูนเกราด์ และอื่น ๆ

- 4.1.2 หลังจากการเกราต์แล้ว ผลของการเกราต์ต้องได้รับการตรวจสอบและยืนยันโดยทำหลุมตรวจสอบ การสำรวจทางกายภาพ และวิธีอื่น ๆ
- 4.1.3 หากเกิดความผิดปกติระหว่างการก่อสร้างเกราต์ให้ใช้วิธีการต่อไปนี้ในการแก้ไข
  - 4.1.3.1 หากมีโคลนหรือน้ำรั่วเกิดขึ้นระหว่างการขุดเจาะ ต้องหยุดการเจาะทันทีและทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงส่วนผสมปูนเกราต์
  - 4.1.3.2 การรั่วซึมของเกราต์เฉพาะจุดหรือการสูญเสียวัสดุเกราต์สามารถแก้ไขได้โดยใช้กระสอบป่าน (gunny) สำหรับอุดรอยรั่ว การปรับสัดส่วนส่วนผสมของเกราต์ การลดระยะเวลาการก่อตัว (gel time) การอัดเกราต์ในรูตื้นเพื่อเสริมความแน่น และวิธีการอื่น ๆ โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ
  - 4.1.3.3 กรณีที่แรงดันของการฉีดเกราต์เพิ่มสูงขึ้นอย่างฉับพลัน ต้องหยุดการฉีดเกราต์ชั่วคราวเพื่อตรวจสอบว่า ท่อส่งวัสดุเกิดการอุดตัน หรือมาตรวัดแรงดันชำรุดหรือไม่
  - 4.1.3.4 หากแรงดันการเกราต์ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณการเกราต์มาก ให้เพิ่มความหนาแน่นของปูนเกราต์และลดแรงกดอัดปูนเกราต์ โดยเพิ่มวัสดุเส้นใยหรือปูนเกราต์เป็นระยะ ๆ หรือใช้วิธีการอื่นในการปรับปรุง โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ
- 4.2 ฟอว์โปลิง (forepoling)

หัวข้อนี้กำหนดแนวทางทั่วไป การติดตั้ง การเจาะรู การฉีดอัดเกราต์หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า และการเกราต์ระบบหลังคาท่อล่วงหน้า เพื่อเสริมความมั่นคงหน้าขุดอุโมงค์ โดยแผนภาพขั้นตอนการเกราต์หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (advance small duct) แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.1 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อล่วงหน้าโดยวิธีดันท่อ (jack-in method) แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.2 และแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อล่วงหน้า โดยวิธีการเจาะแบบติดตามแนวท่อ (pipe-following drilling method) แสดงในภาคผนวก ก

รูปที่ ก.3 ซึ่งใช้เสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของหน้าการขุดในอุโมงค์ โดยข้อกำหนดของหลังคาท่อล่วงหน้า มีดังต่อไปนี้

#### 4.2.1 หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (advance small duct roof)

##### 4.2.1.1 หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (advance small duct roof) ต้องติดตั้งตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) ต้องกระจายสม้ำเสมอไปตามส่วนโค้งของอุโมงค์ ระยะห่างตามแนวเส้นรอบวงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ คือ 300-500 mm และมุมเอียงด้านนอกต้องเป็น  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  (เพิ่มรูป)
- (2) หลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า ต้องสร้างขึ้นตามความยาวที่ออกแบบ โดยมีความยาว 3.5 - 5.0 m ซึ่งมากกว่าสองเท่าของความยาวรอบ ความยาวทับซ้อนต้องไม่น้อยกว่า 1.0 m
- (3) การติดตั้งหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้าต้องสร้างระบบรองรับร่วมกับโครงเหล็ก (steel rib)

##### 4.2.1.2 คุณภาพและเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ และใช้ท่อเหล็กไร้รอยต่อขนาด 42 mm โดยมีรูปทรงกรวยที่ปลายด้านหน้าและมีเกลียวเหล็กเสริมเชื่อมติดที่ปลายด้านหลัง พร้อมทั้งติดตั้งรูระบายเกรด แบบดอกพุ่ม (plum blossom-shaped grout) บนตัวท่อ

##### 4.2.1.3 การเจาะรูหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) ต้องใช้วิธีการเจาะรูนำ (lead hole jack-in method) สำหรับการติดตั้งหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า
- (2) ทิศทางหรือแนวของรูเจาะต้องอยู่ในแนวตรง
- (3) ความลึกและเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะต้องตรงกับหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า
- (4) รูเจาะต้องทำความสะอาดด้วยวิธีเป่ารู
- (5) ต้องติดตั้งวาล์วแผ่นควบคุมการไหล (flow control valve) ของรูระบายไว้ที่หัวหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า โดยมีความยาวที่โผล่พ้นจากหลังคาอุโมงค์ไม่น้อยกว่า 300 mm

##### 4.2.1.4 การเกรดหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- (1) เครื่องอัดฉีดที่ต้องใช้ในการเกรด สามารถติดตั้งตัวแบ่งปูนเกรดสำหรับการเกรดหลายท่อเพื่อเพิ่มความเร็วในการอัดฉีด

- (2) ปูนเกราด์ที่เตรียมไว้ต้องฉีดให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด และปริมาณปูนเกราด์ต้องเตรียมให้เพียงพอตามความต้องการในใช้งาน
- (3) ลำดับการเกราด์ต้องทำจากล่างขึ้นบน และให้เกราด์จากส่วนที่บางไปหาส่วนที่หนา
- (4) แรงดันในการเกราด์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ โดยต้องให้ปูนเกราด์เต็มเต็มท่อเหล็กและช่องว่างโดยรอบทั้งหมด

#### 4.2.2 หลังคาท่อล่องหน้า (advance pipe roof)

- 4.2.2.1 หลังคาท่อล่องหน้า ต้องสร้างตามวิธีการที่สอดคล้องกับข้อกำหนดของการออกแบบมุมเอียงด้านนอกอยู่ที่  $1^{\circ}$  ถึง  $5^{\circ}$  และระยะทับซ้อนกันมีความยาวไม่น้อยกว่า 3 m เว้นแต่มีการระบุไว้เป็นอย่างอื่นในแบบออกแบบ
- 4.2.2.2 เครื่องเจาะสำหรับการก่อสร้างหลังคาท่อล่องหน้าให้เลือกตามสภาพทางธรณีวิทยา สำหรับชั้นหินที่แตกหักหรือชั้นดินที่มีหินก้อนใหญ่ปนอยู่ ให้เลือกใช้เครื่องเจาะแบบกระแทกที่มีแรงบิดสูง
- 4.2.2.3 การก่อสร้างหลังคาท่อล่องหน้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - (1) ใช้วิธีการเจาะรูนำ (lead hole jack-in method) ในกรณีที่สภาพชั้นดินหรือชั้นหินไม่สามารถดันท่อได้โดยตรง หรือมีความซับซ้อน เพื่อควบคุมทิศทางการติดตั้ง และลดการรบกวนชั้นดินหรือชั้นหินโดยรอบ
  - (2) โดยทั่วไปแนวหรือกรอบของหลังคาท่อเหล็กล่องหน้า (portal pipe roof) ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ได้ฝังท่อนำทาง (guide pipe) ไว้ในส่วนโค้งของส่วนหลังคาครอบ (cover arch) โดยความยาวส่วนโค้งต้องอยู่ที่ 2 - 3 m ในการก่อสร้างส่วนโค้งดังกล่าว ท่อนำทางต้องยึดกับโครงโค้งอย่างมั่นคงและแน่นยำ จากนั้นจึงเทคอนกรีต
  - (3) หลังจากติดตั้งหลังคาท่อล่องหน้า ช่องว่างระหว่างท่อเหล็กและผนังรูเจาะต้องถูกปิดผนึก และต้องติดตั้งท่อสำหรับการฉีดอัดเกราด์
  - (4) ก่อนทำการเกราด์หลังคาท่อล่องหน้า ต้องปิดผิวหน้าดินหรือหินบริเวณผิวหน้าขุดหน้าอุโมงค์ (excavation face) ด้วยการพ่นคอนกรีตพ่น (shotcrete)
  - (5) ช่องว่างรอบท่อเหล็กต้องถูกอัดให้แน่นด้วยการเกราด์เข้าไปในหลังคาท่อล่องหน้า

#### 4.3 สลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า (advance anchor bolt)

หัวข้อนี้กำหนดแนวทางการติดตั้งสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า เพื่อเพิ่มความมั่นคงให้โครงสร้างอุโมงค์ แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.4

##### 4.3.1 การติดตั้งสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.3.1.1 สลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า ต้องดำเนินการตามความยาวของการออกแบบ หากใช้เหล็กเส้นข้ออ้อย ปลายเหล็กเส้นต้องทำเป็นรูปจอบแบน หรือรูปทรงกรวย

4.3.1.2 การติดตั้งสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า ต้องทำการเจาะรูก่อนด้วยเครื่องเจาะหิน (rock boring) หรือเครื่องจัมโบ้ (jumbo) โดยต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ระหว่างการเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของผนังรูเจาะ ตำแหน่งรูเจาะและมุมเอียงด้านนอกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ

4.3.1.3 วัสดุที่ใช้ยึดสลักเกลียวต้องเป็นปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แข็งตัวเร็ว โดยมีการยึดเกาะตลอดความยาวให้เพียงพอโดยฉิดจากปลายสุดของหลุมเจาะ

4.3.1.4 ปลายสลักเกลียวยึด (anchor bolt) ต้องเชื่อมติดกับโครงเหล็กอย่างแน่นหนา

#### 4.4 การค้ำยันล่วงหน้าอื่น ๆ

หัวข้อนี้กำหนดแนวทางการใช้ระบบค้ำยันล่วงหน้าอื่น ๆ ได้แก่ การพ่นคอนกรีตพ่นร่วมกับสลักยึดหิน เหล็กสไปล์ (spile) ร็อกเดาเอิล (rock dowel) และแผ่นค้ำยันดิน (lagging boards) ซึ่งเหมาะสำหรับการเสริมเสถียรภาพของหน้าการขุดในชั้นดินหรือหินที่ไม่มั่นคง เพื่อให้การก่อสร้างดำเนินไปอย่างปลอดภัยและต่อเนื่อง โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.4.1 หากหน้าผิวขุดของอุโมงค์มีความมั่นคงไม่เพียงพอและเสี่ยงต่อการถล่ม ให้ใช้การพ่นคอนกรีตพ่นสำหรับการเคลือบผิวร่วมกับการติดตั้งสลักยึดหิน (rock bolt) และวิธีการอื่น ๆ ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.4.1.1 การเสริมความมั่นคงของหน้าผิวขุดอุโมงค์ด้วยคอนกรีตพ่น ต้องดำเนินการพ่นคอนกรีตพ่นที่หลังการขุด โดยความหนาของคอนกรีตพ่นต้องไม่น้อยกว่า 100 mm

4.4.1.2 การติดตั้งสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) อาจติดตั้งด้วยสลักเกลียวยึดไฟเบอร์กลาส (fiberglass anchor bolt) หรือสลักเกลียวยึด (anchor bolt) อื่นที่สามารถถอดประกอบได้ง่าย

#### 4.4.2 การค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ (spiles)

- 4.4.2.1 การติดตั้งค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ เพื่อสนับสนุนการขุดไปข้างหน้า โดยค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ต้องถูกตอกลงในดินหรือวางในรูเจาะที่เจาะล่วงหน้า และอัดด้วยปูนเกราด์ ตามที่ระบุในแบบก่อสร้างหรือคำสั่งของผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ
- 4.4.2.2 ความยาวฝังตัวของค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ผู้ออกแบบและคำนวณกำหนด
- 4.4.2.3 ความแม่นยำในการติดตั้ง ต้องมีความแม่นยำ  $\pm 5^\circ$  จากแนวที่กำหนด
- 4.4.2.4 จำนวน ตำแหน่ง ระยะการซ้อนทับ และมุมของค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ต้องสอดคล้องกับสภาพพื้นดินและวิธีการที่ระบุในแบบก่อสร้างหรือคำแนะนำ โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ
- 4.4.2.5 รายละเอียดทั้งหมดต่อไปนี้ที่เกี่ยวข้องกับการค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ โดยผู้รับจ้างต้องจัดเตรียมรายละเอียดของวิธีการที่เสนอสำหรับการค้ำยันงานขุดเจาะและการขนย้ายดินหรือเศษวัสดุออกจากพื้นที่ก่อสร้างให้กับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการเพื่อพิจารณาอนุมัติ ห้ามดำเนินการขุดเจาะใด ๆ จนกว่าจะได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ รายละเอียดที่ต้องจัดเตรียมต้องรวมถึงหัวข้อต่อไปนี้
  - (1) แผนการขุดเจาะหลักที่กำหนดลำดับและทิศทางของการขุดอุโมงค์ทั้งหมด เชื่อมโยงกับแผนการก่อสร้าง เส้นทางเข้าออกของบุคลากรและเครื่องจักร รวมถึงเส้นทางสำหรับลำเลียงผู้ได้รับบาดเจ็บออกจากพื้นที่ทำงาน
  - (2) ขั้นตอนการหยุดงานอย่างปลอดภัย (safe stop) ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่เป็นเหตุให้หยุดงานโดยไม่คาดคิด
  - (3) ขั้นตอนการจัดการสิ่งกีดขวาง (รวมถึงโครงสร้างชั่วคราวเดิม) ที่พบในระหว่างการขุดเจาะ
  - (4) ขั้นตอนการจัดการวัสดุขุด และเศษวัสดุทั้งหมดภายในพื้นที่ก่อสร้าง
  - (5) ขั้นตอนควบคุมงานสำรวจ (survey control)

- (6) ขั้นตอนการจัดการน้ำ (water management)
  - (7) ขั้นตอนการระบายอากาศ (ventilation)
  - (8) มาตรการป้องกันโครงสร้างพื้นฐานที่ยังคงใช้งานจากผลกระทบของงานก่อสร้าง
  - (9) การจัดเขตห้ามเข้าของบุคลากร (personnel exclusion zones)
  - (10) การจัดเก็บวัสดุ
  - (11) แผนงานสำรวจหน้าอุโมงค์ การบันทึกข้อมูลทางธรณีวิทยา (face mapping) และระบบตรวจวัดภายในอุโมงค์
- 4.4.2.6 การติดตั้งค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ต้องทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวในแนวแรงดึงระหว่างค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ดินด้านหน้าของพื้นที่ขุด และผิวของคอนกรีตพ่นโดยทั่วไป วิธีการนี้อาจรวมถึงการฉีดอัดเกรตต์เข้าไปในรูสำหรับค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ที่เจาะล่วงหน้า หรือแบบเจาะตัวเอง หรือการตอกค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์เข้าไป
- 4.4.2.7 ต้องปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงการรบกวนพื้นดินให้น้อยที่สุด
- 4.4.2.8 ต้องดำเนินการการสำรวจชั้นดินล่วงหน้า ควบคู่กับการติดตั้งค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ เพื่อให้สามารถติดตั้งค้ำยันหน้าอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ ให้ฝังตัวอย่างเต็มที่ในตำแหน่งที่ต้องการได้
- 4.4.2.9 สามารถใช้ข้อกำหนดนี้กับ ท่อแคนอปี (canopy tubes) ได้ หากได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ
- 4.4.3 การติดตั้งร็อกเดาเอ็ล (rock dowel)
- 4.4.3.1 ร็อกเดาเอ็ลต้องถูกติดตั้งในรูเจาะที่เจาะไว้ล่วงหน้า โดยจำนวน ตำแหน่ง ความยาว และมุมเอียงต้องสอดคล้องกับสภาพพื้นดิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะต้องรองรับการติดตั้งร็อกเดาเอ็ล รวมถึงท่อสำหรับฉีดอัดเกรตต์และท่อระบายอากาศ เพื่อให้สามารถถ่ายแรงเฉือนจากหินไปสู่ร็อกเดาเอ็ลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 4.4.3.2 รูที่ใช้สำหรับการติดตั้งร็อกเดาเอ็ลต้องเจาะให้ตรง และมีความแม่นยำ  $\pm 10^\circ$  หลังการเจาะ ต้องทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษวัสดุออกก่อนติดตั้งร็อกเดาเอ็ล หากใช้การล้างด้วยน้ำ ต้องจำกัดปริมาณน้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- 4.4.3.3 การเกรตต์ประเภทปูนซีเมนต์ต้องฉีดจากจุดปลายสุดของรูเจาะ เพื่อให้ร็อกเดาเอ็ลถูกห่อหุ้มด้วยปูนซีเมนต์เกรตต์อย่างสมบูรณ์ กระบวนการเกรตต์

ต้องพิจารณาตามแนวการวางของรูเมื่อเปรียบเทียบกับแนวนอน ต้องมีการใช้ท่อระบายอากาศหรืออุปกรณ์อื่นที่เทียบเท่า ห้ามใช้เกราด์หลังจากพ้นระยะเวลาก่อตัวเริ่มแรก ในกรณีใช้เกราด์ประเภทปูนซีเมนต์ต้องเก็บตัวอย่างก่อนทดสอบซีเมนต์จำนวน 6 ก้อนในแต่ละครั้งที่มีการติดตั้งร็อกเดาเอ็ล การเก็บตัวอย่าง การเตรียม การบ่ม และการทดสอบ ต้องเป็นไปตาม มอก. 2752 ครึ่งหนึ่งของก้อนต้องทดสอบเมื่อครบ 1 วัน และอีกครึ่งหนึ่งต้องทดสอบเมื่อครบ 28 วัน โดยค่ากำลังอัดเฉลี่ยจากการทดสอบต้องมากกว่าค่ากำลังลักษณะเฉพาะ (characteristic strength) ที่ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการกำหนดไว้

4.4.3.4 สำหรับกรณีใช้แคปซูลเกราด์เรซิน (resin grouting capsules) การติดตั้งต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต

4.4.3.5 รูปแบบการติดตั้ง รายละเอียดและตำแหน่งของร็อกเดาเอ็ล ต้องได้รับการยืนยันกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการและหากมีการกำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ต้องติดตั้งร็อกเดาเอ็ลให้ตรงตามรูปแบบ ตำแหน่ง และวิธีการที่แสดงไว้

4.4.4 การติดตั้งแผ่นค้ำยันดิน (lagging boards)

4.4.4.1 แผ่นค้ำยันดิน (lagging boards) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน ข้อ 7.4.5 โดยแผ่นค้ำยันดินต้องตอกจากโครงค้ำยัน (supporting frame) ในแนวเอียงขึ้นเล็กน้อยตามที่ผู้ออกแบบและคำนวณกำหนด

4.4.4.2 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการขุดเจาะในแต่ละรอบ ให้ติดตั้งโครงค้ำยันชุดถัดไป โดยในระหว่างติดตั้งโครงค้ำยันนี้ ผิวหน้าดินที่ยังเปิดเผยอยู่ต้องได้รับการพ่นคอนกรีต เพื่อติดตั้งค้ำยันชั่วคราวตามความจำเป็น จากนั้นแผ่นค้ำยันดินที่ติดตั้งในรอบการขุดก่อนหน้านี้ ต้องถูกตอกหรือขันให้แน่นกับโครงค้ำยันที่เพิ่งติดตั้งใหม่

4.4.4.3 แผ่นค้ำยันดินชุดถัดไปต้องติดตั้งในตำแหน่งด้านล่างของชุดก่อนหน้านี้ และอยู่เหนือโครงค้ำยัน ในการติดตั้งทำโดยสลับกันระหว่างการถอดลิ้มของแผ่นค้ำยันดินหนึ่งแผ่น แล้วตอกแผ่นค้ำยันดินแผ่นใหม่เข้าไปในช่องว่างที่เปิดขึ้นนั้น ในกรณีที่เป็นระบบเปิด (open configuration) อาจไม่จำเป็นต้องถอดลิ้ม หากไม่สามารถตอกให้ทะลุทะลวงได้ในชั้นตอนนี้ ก็สามารถตอกแผ่นค้ำยันดิน



ให้ถึงตำแหน่งที่ต้องการในระหว่างกระบวนการขุดเจาะได้ แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อน

4.4.4.4 ต้องระมัดระวังอย่างยิ่งในการหลีกเลี่ยงการเคลื่อนตัวของแผ่นค้ำยันดินที่ด้านหน้าการขุด และโครงค้ำยันโดยรวมในระหว่างกระบวนการฟอร์โพลิง

4.4.4.5 แผ่นค้ำยันดินสามารถใช้งานได้ทั้งในแบบเปิด (open/staggered) หรือแบบปิด (closed configuration) โดยใช้ร่วมกับการพ่นคอนกรีตพ่น

4.4.4.6 โครงเหล็กและโครงโค้งที่ใช้ในการฟอร์โพลิง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน ข้อ 7.3.2

## 5. งานค้ำยันขั้นต้น (primary support)

### 5.1 ข้อกำหนดทั่วไปของงานโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น

โครงสร้างค้ำยันขั้นต้นต้องดำเนินการทันทีหลังการเจาะหรือการขุด เพื่อควบคุมการเสียรูปของหินโดยรอบและป้องกันการพังทลาย โดยแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น (primary support) แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.5 โดยข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นเพิ่มเติมเป็นดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 การเสริมกำลังและการเปลี่ยนค้ำยันต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.1.1.1 เมื่อพบสภาพค้ำยันที่ผิดปกติ ต้องดำเนินการเสริมกำลังทันที หากคาดว่าจะเกิดการเสียรูป (deformation) ต้องเตรียมเครื่องจักรและวัสดุที่จำเป็นไว้ล่วงหน้าเพื่อให้สามารถรับมือกับสถานการณ์ได้ทันเวลาที่

5.1.1.2 ในกรณีที่ไม่สามารถรักษารูปร่างหน้าตัดภายในที่กำหนดได้ เนื่องจาก การเสียรูปของค้ำยันที่มากเกินไป ต้องดำเนินการมาตรการที่เหมาะสม เช่น การเปลี่ยนค้ำยัน

5.1.1.3 สภาพที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งค้ำยันต้องได้รับการเสริมกำลังทันที โดยปกติใช้การพ่นคอนกรีตพ่นเสริมหรือสลักเกลียวยึดหิน (rock bolts) เสริมเพื่อแก้ไข อย่างไรก็ตาม ต้องเสริมกำลังโครงเหล็กหรือโครงสร้างอื่น ๆ ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ หากคาดว่าจะเกิดการเสียรูป ต้องพิจารณา มาตรการป้องกันไว้ล่วงหน้า และเตรียมเครื่องจักรและวัสดุสำหรับการเสริมกำลังไว้ให้พร้อมใช้งาน

- 5.1.1.4 ต้องจัดทำบันทึกการก่อสร้างอย่างเป็นระบบ ระหว่างการติดตั้งสลักเกลียวยึดหิน และการพ่นคอนกรีตพ่น รวมทั้งการตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่น ความหนา ความเรียบ ค่ากำลังต้านแรงยก (uplift strength) และค่าที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

ในงานค้ำยันขั้นต้นนี้ ครอบคลุมข้อกำหนดเกี่ยวกับ การพ่นคอนกรีตพ่น การติดตั้งสลักเกลียวยึดหิน ตะแกรงลวด (wire mesh) โครงเหล็ก และงานค้ำยันฐานอุโมงค์ชั่วคราว (temporary invert) โดยกำหนดให้เป็นแนวทางหลักของโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น เพื่อป้องกันการพังทลายและรองรับแรงดันในระยะเริ่มต้น ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานต้องยึดตามแนวทางดังกล่าวเป็นหลัก และสามารถปรับเสริมกำลังเพิ่มเติมได้ตามสภาพจริงของหน้างาน แต่ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ

## 5.2 การพ่นคอนกรีตพ่น (shotcrete)

### 5.2.1 ข้อกำหนดทั่วไปของการพ่นคอนกรีตพ่น

- 5.2.1.1 เทคโนโลยีการเกรตแบบเปียกต้องใช้สำหรับหินโดยรอบที่ไม่แข็งแรง และอุโมงค์ทางธรณีวิทยาที่ไม่เอื้ออำนวย การออกแบบเพิ่มเติมต้องทำภายใต้เงื่อนไขทางธรณีวิทยาพิเศษที่ไม่อนุญาตให้การพ่นคอนกรีตพ่นแบบเปียก ทั้งนี้ ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ และต้องควบคุมฝุ่นในอากาศภายในอุโมงค์ โดยต้องปฏิบัติตาม BS 6164 ข้อ 16 หรือมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง
- 5.2.1.2 การพ่นคอนกรีตพ่นต้องแนบสนิทกับผิวหิน โครงเหล็ก และตะแกรงลวด (wire mesh) โดยไม่มีช่องว่างหรือรูโหว่ ระบบค้ำยันขั้นต้นต้องสร้างการรองรับร่วมกับหินโดยรอบอย่างมั่นคง
- 5.2.1.3 การพ่นคอนกรีตพ่นต้องมีสมบัติตามที่ออกแบบ ทั้งกำลังรับแรงอัดเริ่มต้น กำลังรับแรงอัดระยะยาว ความหนา และการยึดเกาะที่เหมาะสมกับสภาพหินโดยรอบ โดยกำลังรับแรงอัดของการพ่นคอนกรีตพ่นต้องไม่น้อยกว่า 1.5 MPa ที่ 3 ชั่วโมง และไม่น้อยกว่า 10.0 MPa ที่ 24 ชั่วโมง
- 5.2.1.4 สัดส่วนการผสมคอนกรีตพ่นต้องเป็นไปตามค่ากำลังรับแรงอัดที่ออกแบบและข้อกำหนดทางเทคนิค โดยต้องกำหนดผ่านการทดสอบการพ่นจริง สำหรับระบบพ่นแบบเปียก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต้องไม่เกิน 0.5 และการใช้ซีเมนต์ (หรือวัสดุประสาน) ต้องไม่น้อยกว่า 400 kg/m<sup>3</sup>

- 5.2.2 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างการพ่นคอนกรีตพ่นแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.6
- 5.2.3 การก่อสร้างการพ่นคอนกรีตพ่นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้
  - 5.2.3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในงานพ่นคอนกรีตพ่น ต้องจัดเตรียมไว้ให้ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการตรวจสอบก่อนเริ่มการทดสอบภาคสนาม โดยหัวพ่นคอนกรีต (nozzle) และอุปกรณ์ประกอบ (ancillary equipment) ต้องมีขนาดความจุเพียงพอสำหรับปริมาณคอนกรีตที่ต้องพ่น
  - 5.2.3.2 พื้นที่ทำงานต้องมีแสงสว่างและระบบระบายอากาศที่เพียงพอ ต้องลดมลพิษจากฝุ่นให้ได้มากที่สุด โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม ร่วมกับระบบระบายอากาศเสริม การฉีดพ่นน้ำ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพดี รวมทั้งต้องปฏิบัติตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ฝุ่นที่เกิดจากการพ่นต้องควบคุมให้อยู่ภายในขีดจำกัดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งจัดหาอุปกรณ์ป้องกันร่างกายและระบบทางเดินหายใจ เช่น หน้ากากกันฝุ่น ให้แก่ทุกคนที่อยู่ในพื้นที่ในขณะพ่น
  - 5.2.3.3 ผู้รับจ้างต้องจัดทำและบังคับใช้มาตรการ “เขตห้ามเข้า (exclusion zone)” เพื่อปกป้องผู้ปฏิบัติงานจากอันตรายระหว่างการพ่นคอนกรีตพ่น
  - 5.2.3.4 การพ่นคอนกรีตพ่นต้องดำเนินการภายในเขตห้ามเข้าอย่างเคร่งครัด ซึ่งอนุญาตให้เฉพาะบุคคลที่ผ่านการฝึกอบรมและมีความชำนาญตามมาตรการเขตห้ามเข้าเท่านั้นที่สามารถเข้าไปในพื้นที่ได้
  - 5.2.3.5 การพ่นคอนกรีตพ่นชั้นแรกต้องดำเนินการทันทีหลังการขุดเจาะ โดยต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 40 mm พื้นผิวหินที่เป็นหลุมลึกต้องเติมเต็มให้เรียบก่อนที่พ่นคอนกรีตพ่น ในกรณีที่มีตะแกรงลวดและโครงเหล็ก ต้องพ่นคอนกรีตพ่นชั้นที่สองทันทีหลังจากติดตั้งตะแกรงลวดและโครงเหล็กเสร็จ หากไม่มีการใช้ตะแกรงลวดและโครงเหล็ก การพ่นคอนกรีตพ่นชั้นที่สองต้องดำเนินการให้ได้ตามความหนาที่ออกแบบไว้
  - 5.2.3.6 การดำเนินการพ่นคอนกรีตพ่นต้องทำอย่างต่อเนื่องที่ละขั้นตอนการพ่นคอนกรีตทำจากล่างขึ้นบน นั่นคือ ต้องพ่นส่วนฐานอุโมงค์ให้เสร็จสมบูรณ์

- ตามความหนาที่กำหนด และปล่อยให้แข็งตัวเพียงพอ ก่อนเริ่มพ่นส่วนโค้งด้านบนและส่วนหลังคาอุโมงค์
- 5.2.3.7 มุมการพ่นต้องตั้งฉากกับพื้นผิวที่พ่นและหัวฉีดต้องอยู่ห่างจากพื้นผิวที่พ่น 0.6 – 1.8 m
- 5.2.3.8 การดำเนินการพ่นคอนกรีตพ่นต้องกระทำโดยการเปลี่ยนมุมการพ่นของหัวฉีดและหน้าการพ่นให้ทั่ว เพื่อเติมให้เต็มบริเวณด้านหลังโครงเหล็กและตะแกรงลวด และหากมีจำเป็นต้องทำการเกราด์เพิ่มเติมหลังโครงเหล็กเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงของระบบค้ำยันขึ้นต้น
- 5.2.3.9 การพ่นคอนกรีตพ่น ขึ้นต่อไปต้องดำเนินการหลังจากชั้นก่อนแข็งตัวแล้ว หากมีการพ่นชั้นใหม่ภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากการก่อตัวสุดท้ายของชั้นก่อนต้องล้างพื้นผิวด้วยน้ำก่อน หรือในกรณีอื่นที่คอนกรีตพ่นก่อนหน้าแข็งตัวเกินกว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ต้องใช้หัวฉีดลมแรง (compressed air lance) เป่ากำจัดวัสดุที่หลุดร่อนออก หากมีคราบคอนกรีตเหลวที่แข็งตัวแล้ว ต้องกำจัดออกด้วยการเป่าด้วยลมหรือใช้น้ำร่วมด้วยก่อนเริ่มพ่นใหม่
- 5.2.3.10 ก่อนที่พ่นคอนกรีตพ่นที่ส่วนล่างของผิวของผนังด้านข้างและฐานอุโมงค์ต้องเคลียร์คอนกรีตพ่นที่กระเด็นจากการฉีดพ่นส่วนบนออก เพื่อป้องกันไม่ให้เข้าไปผสมกับชั้นพ่นด้านล่างเพราะอาจทำให้ลดความสามารถในการค้ำยัน
- 5.2.3.11 ในกรณีของการพ่นคอนกรีตพ่นตามหลังหลุมเจาะอย่างใกล้ชิด การระเบิดรอบถัดไปต้องทำหลังจากคอนกรีตพ่นแข็งตัวแล้วอย่างน้อย 3 ชั่วโมง
- 5.2.3.12 พื้นผิวคอนกรีตพ่นที่พ่นบนโครงเหล็กต้องพ่นซ้ำอีกชั้นหนึ่งด้วยปูนซีเมนต์มอร์ตาร์กำลังรับแรงอัดเท่ากัน ความหนาไม่น้อยกว่า 10 mm
- 5.2.3.13 ในกรณีที่การไหลของน้ำใต้ดินไปรบกวนการพ่นคอนกรีต หรือทำให้คุณภาพของการพ่นคอนกรีตพ่นลดลง ผู้รับจ้างต้องดำเนินการทุกวิธีที่จำเป็นเพื่อควบคุมการไหลของน้ำ ซึ่งรวมถึงการเบี่ยงเบนน้ำโดยใช้ท่อหรือร่องน้ำ เมื่อพ่นคอนกรีตเสร็จแล้ว ต้องอุดและอัดเกราด์ท่อและร่องเหล่านี้เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำในอนาคต
- 5.2.3.14 ระยะเวลาการใช้งานของคอนกรีตพ่นที่ผสมแล้ว ต้องถูกกำหนดจากการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีตพ่น ก่อนการก่อสร้าง วัสดุที่เหลือจากช่วงเวลานี้ต้องถูกกำจัดทิ้ง

- 5.2.3.15 การพ่นคอนกรีตพ่นต้องพ่นอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดการไหลย้อนหรือการหลุดร่วง (sloughing) หากมีการเคลื่อนตัวของคอนกรีตพ่นบริเวณใกล้พื้นที่ที่ย่อย วัสดุพ่นนั้นต้องถูกกำจัดออกตามคำสั่งของผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ
- 5.2.4 การชั่งตวงและผสมวัสดุต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 5.2.4.1 การชั่งตวงและผสมวัสดุต้องดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถผสมวัสดุได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถพ่นคอนกรีตได้อย่างต่อเนื่อง และต้องมีความแม่นยำตามที่กำหนดไว้ใน BS EN 14487-2
- 5.2.4.2 เครื่องมือวัดทั้งหมดต้องได้รับการดูแลให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ต้องทำการตั้งค่าเป็นค่าเริ่มต้นทุกวัน และทำการสอบเทียบ (calibrate) อย่างสม่ำเสมอ
- 5.2.4.3 ต้องเก็บบันทึกข้อมูลวัสดุผสมทั้งหมดที่ใช้ในการพ่นคอนกรีตไว้อย่างครบถ้วน และพร้อมให้ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการตรวจสอบเมื่อร้องขอ
- 5.2.4.4 ห้ามเติมวัสดุผสมด้วยมือ (hand dosing) สำหรับส่วนผสมใด ๆ ยกเว้นกรณีการทดลองผสม (trial mix) ที่ไม่สามารถใช้ระบบอัตโนมัติได้
- 5.2.4.5 ต้องมีมาตรการเพื่อป้องกันผลกระทบเชิงลบต่อคุณภาพของคอนกรีตพ่น วัสดุผสม และสารผสมเพิ่ม (admixtures) อันเนื่องมาจากสภาพอากาศที่ร้อนหรือหนาว
- 5.2.5 การผสมคอนกรีตพ่นที่ผสมเส้นใยเหล็ก (steel fiber) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 5.2.5.1 เส้นใยเหล็กต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในส่วนผสม โดยไม่มีการจับกลุ่มกันของเส้นใยเหล็กโดยต้องผสมแห้งเส้นใย เหล็ก ซีเมนต์ และมวลรวมละเอียดหยาบก่อน จากนั้นจึงผสมเปียก ผสมแห้งต้องไม่น้อยกว่า 1.5 นาที
- 5.2.5.2 ปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดต้องถูกกำหนดโดยการคำนวณตามสัดส่วนการผสม การก่อสร้างจริงและปริมาตรในการผสมครั้งเดียว ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับในการชั่งน้ำหนักสำหรับวัสดุต้องเป็นไปตามข้อบังคับในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการชั่งน้ำหนักวัสดุกรณีใช้คอนกรีตพ่นผสมเส้นใยเหล็ก (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

| ชื่อวัสดุ | เส้นใยเหล็ก | ปูนซีเมนต์<br>และวัสดุผสม | วัสดุมวลรวมหยาบ<br>และละเอียด | น้ำ | สารเติมแต่ง |
|-----------|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----|-------------|
|-----------|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----|-------------|

|                                    |    |    |    |    |    |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|
| ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้<br>(%) | ±2 | ±2 | ±3 | ±1 | ±2 |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|

5.2.5.3 เวลาในการผสมต้องพิจารณาจากการทดสอบการผสมที่หน้างาน ซึ่งต้องไม่ต่ำกว่า 3 นาที

5.2.6 คอนกรีตพ่นผสมเส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fiber shotcrete) ต้องผสมจนเส้นใยกระจายเป็นเส้นใยเดี่ยว และเวลาในการผสมต้องอยู่ที่ 4 ถึง 5 นาที

5.2.7 การทดสอบระหว่างทำการก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.2.7.1 การทดสอบต้องดำเนินการตามที่ตกลงกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ โดยใช้แกนเจาะจากคอนกรีตพ่นที่ใช้จริงในโครงการ หากสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่เชื่อถือได้ระหว่างกำลังของคอนกรีตกับพารามิเตอร์อื่นได้ การควบคุมคุณภาพระหว่างผลิตโดยอิงจากค่ากำลังอัดก็สามารถยอมรับได้ แต่ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ ตำแหน่งในการเจาะแกนต้องกระจายอย่างทั่วถึงรอบแนวผิวของคอนกรีตพ่น เช่น จากบริเวณหลังคาอุโมงค์ (crown) ด้านข้าง (spring line หรือ axis) และฐานอุโมงค์ (invert) และต้องรักษาความสมบูรณ์ของระบบกันซึมไว้ตลอดเวลา

5.2.7.2 ในกรณีที่ความหนาของคอนกรีตพ่นตามแบบน้อยกว่า 100 mm การเจาะแกนเพื่อทดสอบกำลังอัดต้องทำจากบริเวณที่ความหนาจริงมากกว่า 100 mm หรืออีกทางเลือกหนึ่งคือทำการพ่นคอนกรีตพ่นเพิ่มเติม โดยกำหนดให้ใช้ในพื้นที่ที่ตกลงกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการไว้ล่วงหน้า เพื่อใช้สำหรับการเจาะเก็บตัวอย่างทดสอบภายหลัง แต่ทั้งนี้ ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาอีกครั้งก่อนดำเนินการ

5.2.7.3 การทดสอบกำลังอัด (compressive strength tests) ต้องดำเนินการกับแกนตัวอย่างที่เตรียมไว้ ตาม BS EN 14487-1 หรือ ตามแนวทาง ACI 506R-16 และ ASTM C1140 ในการเตรียมตัวอย่าง และ BS EN 14488-2 เวลาที่เจาะแกนต้องใกล้เคียงกับเวลา 24 ชั่วโมง หลังการพ่นคอนกรีตพ่นสำหรับแกนที่ต้องใช้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ต้องเจาะพร้อมกับแกนที่ใช้ทดสอบอายุ

1 วัน และต้องเก็บรักษาตามข้อกำหนดใน BS EN 12504-1 หรือ ASTM C42 และ C39 และ BS EN 12390-2 หรือ ASTM C31 และ C192

5.2.7.4 ความถี่ในการเจาะแกนต้องเป็นไปตาม BS EN 14487-1 โดยความถี่ในการสุ่มตัวอย่างขั้นต่ำอ้างอิงตามปริมาณการผลิตหรือพื้นที่ที่ระบุใน ตารางที่ 3 สำหรับปริมาณหรือพื้นที่ที่น้อยกว่าที่ระบุในตารางดังกล่าว ต้องมีการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบ อย่างน้อย 1 ชุด เสมอ

ตารางที่ 3 การควบคุมสมบัติของคอนกรีตพ่น (ที่มา “British Tunnelling Society (2010)”)

| ลำดับ                       | ประเภทการทดสอบ                                               | วิธีการตรวจสอบ/ทดสอบ                                                                        | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างขั้นต่ำ<br>(ตามวัตถุประสงค์การเสริมกำลังของดิน) |                                       |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|                             |                                                              |                                                                                             | ชั้นที่ 1                                                               | ชั้นที่ 2                             | ชั้นที่ 3                            |
| การควบคุมคอนกรีตสด          |                                                              |                                                                                             |                                                                         |                                       |                                      |
| 1                           | อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตสด (เมื่อใช้วิธีผสมแบบเปียก) | คำนวณหรือวิธีทดสอบ                                                                          |                                                                         |                                       | รายวัน                               |
| 2                           | ปริมาณสารเร่งแข็งตัว (accelerator)                           | บันทึกปริมาณที่เติม                                                                         |                                                                         |                                       | รายวัน                               |
| 3                           | ปริมาณเส้นใย (fibre) ในคอนกรีตสด                             | BS EN 14488-7 หรือ<br>ตรวจสอบน้ำหนักเส้นใย<br>ก่อนผสม + ทดสอบ<br>flexural ตาม ASTM<br>C1609 | อย่างน้อย 1 ครั้ง                                                       | 1 ต่อ 200 m³<br>หรือ 1 ต่อ<br>1000 m² | 1 ต่อ 100 m³<br>หรือ 1 ต่อ 500<br>m² |
| การควบคุมคอนกรีตแข็งตัวแล้ว |                                                              |                                                                                             |                                                                         |                                       |                                      |
| 4                           | ทดสอบกำลังของคอนกรีตพ่นระยะเริ่มต้น                          | BS EN 14488-2                                                                               | 1 ต่อ 5000 m²<br>หรือ ทุก 2 เดือน                                       | 1 ต่อ 2500 m² หรือ ทุกเดือน           | 1 ต่อ 250 m²<br>หรือ ทุก 2<br>เดือน  |
| 5                           | กำลังรับแรงอัด (compressive strength)                        | BS EN 12504-1 หรือ<br>ASTM C42 และ C39                                                      | 1 ต่อ 1000 m³<br>หรือ 1 ต่อ 5000 m²                                     | 1 ต่อ 500 m³<br>หรือ 1 ต่อ 2500 m²    | 1 ต่อ 250 m³<br>หรือ 1 ต่อ 1250 m²   |
| 6                           | ความหนาแน่นของคอนกรีตแข็งตัว                                 | BS EN 12390-7 หรือ<br>ASTM C642                                                             | เมื่อทดสอบกำลังอัด                                                      |                                       |                                      |

| ลำดับ | ประเภทการทดสอบ                  | วิธีการตรวจสอบ/ทดสอบ             | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างขั้นต่ำ<br>(ตามวัตถุประสงค์การเสริมกำลังของดิน) |                           |                           |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|       |                                 |                                  | ชั้นที่ 1                                                               | ชั้นที่ 2                 | ชั้นที่ 3                 |
| 7     | ความต้านทานการซึมน้ำ            | BS EN 12390-8 หรือ<br>ASTM D5084 | 1 ครั้ง                                                                 | ทุก 6 เดือน               | 1 ชุด ต่อ เดือน           |
| 9     | กำลังยึดเหนี่ยว (bond strength) | BS EN 14488-4 หรือ<br>ASTM C1583 |                                                                         | 1 ต่อ 2500 m <sup>2</sup> | 1 ต่อ 1250 m <sup>2</sup> |

หมายเหตุ : ความถี่การทดสอบนำมาจาก BS EN 14487-1

### ตารางที่ 3 การควบคุมสมบัติของคอนกรีตพ่นที่มา (ที่มา “British Tunnelling Society (2010)”) (ต่อ)

| ลำดับ                                   | ประเภทการทดสอบ                                                                             | วิธีการตรวจสอบ/ทดสอบ                                                                        | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างขั้นต่ำ<br>(ตามวัตถุประสงค์การเสริมกำลังของดิน)                                            |           |           |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                         |                                                                                            |                                                                                             | ชั้นที่ 1                                                                                                          | ชั้นที่ 2 | ชั้นที่ 3 |
| การควบคุมสมบัติของคอนกรีตพ่นเสริมเส้นใย |                                                                                            |                                                                                             |                                                                                                                    |           |           |
| 10                                      | ปริมาณเส้นใยในคอนกรีต<br>แข็งตัว (สามารถใช้แทนข้อ<br>3 หากไม่สามารถวัดจาก<br>คอนกรีตสดได้) | BS EN 14488-7 หรือ<br>ตรวจสอบน้ำหนักเส้นใย<br>ก่อนผสม + ทดสอบ<br>flexural ตาม<br>ASTM C1609 | เมื่อต้องทดสอบกำลังตกค้าง (residual strength) หรือ<br>ความสามารถในการดูดซับพลังงาน (energy<br>absorption capacity) |           |           |
| 11                                      | กำลังดัดสูงสุด (ultimate<br>flexural strength)                                             | BS EN 14651 หรือ<br>ASTM C1609                                                              | เมื่อต้องทดสอบ residual strength                                                                                   |           |           |

หมายเหตุ ชั้นที่ 1 คือ งานก่อสร้างขนาดเล็ก/ชั่วคราว ความเสี่ยงต่ำ ชั้นที่ 2 คือ งานก่อสร้างถาวร/ชั่วคราว ความเสี่ยงปานกลาง  
ชั้นที่ 3 คือ งานก่อสร้างถาวร/ชั่วคราว ความเสี่ยงสูง เพิ่มเติมที่ BS EN 14487-1

**5.2.7.5** กำลังอัดของคอนกรีตพ่นซึ่งวัดจากแกนที่เจาะจากงานจริงถือว่ายอมรับได้  
หากค่ากำลังอัดที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ใน ข้อ 7.5.10 หรือเป็นไป  
ตามข้อกำหนดอื่นที่ผู้ออกแบบและคำนวณกำหนดไว้แทน แต่ต้องได้รับการ  
พิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อน  
ดำเนินการ

**5.2.7.6** ห้ามใช้เครื่องทดสอบแบบรีบาวด์ (rebound Hammer) ในการประเมินค่า  
กำลังอัดทางอ้อมของคอนกรีตพ่น



- 5.2.7.7 ผลการทดสอบระหว่างการผลิตใดที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์การประเมิน ต้องมีการตรวจสอบผลการทดสอบและขั้นตอนที่ใช้ก่อนเป็นอันดับแรก ผู้ปฏิบัติงานอาจร้องขอให้ผู้รับจ้างทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อกำหนดขอบเขตของความไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และ/หรือกำหนดสูตรผสมใหม่หรือวิธีการใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงความล้มเหลวเพิ่มเติม แต่ทั้งนี้ ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 5.2.7.8 คอนกรีตพ่นที่ไม่เป็นไปตามค่ากำลังอัดที่กำหนด ผู้รับจ้างต้องดำเนินการซ่อมแซม ซึ่งอาจรวมถึงการพ่นคอนกรีตพ่นเพิ่มเติม หรือการรื้อและแทนที่บางส่วนในบริเวณที่สามารถทำได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ ผู้รับจ้างต้องพิจารณาข้อจำกัดเกี่ยวกับ รูปหน้าตัดของอุโมงค์ ตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนด และต้องเสนอ วิธีการดำเนินงาน รายละเอียดทางเทคนิค และการคำนวณ สำหรับงานซ่อมแซม โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 5.2.7.9 ความล้มเหลวในการควบคุมคุณภาพ หากเกิดซ้ำหลายครั้ง ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการมีสิทธิ์สั่งให้ผู้รับจ้าง ปรับสูตรผสม เพื่อให้ได้ค่ากำลังที่กำหนด
- 5.2.7.10 ผู้รับจ้างต้องจัดเก็บบันทึกผลการทดสอบคอนกรีตพ่น ในรูปแบบที่ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ และเอกสารเหล่านั้นต้องเก็บไว้ ณ พื้นที่ก่อสร้าง พร้อมระบุชัดเจนว่าแต่ละผลการทดสอบสอดคล้องกับบริเวณของงานใด
- 5.2.7.11 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพ่นในช่วงอายุน้อย (young sprayed concrete) ตาม BS EN 14488-2 ต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือเฉพาะสำหรับแต่ละหน้างาน
- 5.2.7.12 สำหรับตาดูอุโมงค์สามารถใช้ แผ่นทดสอบ (test panel) ที่พ่นภายในอุโมงค์ แทนการเจาะตัวอย่างจากผิวโครงสร้างได้ โดยแผ่นทดสอบต้องพันต่อเนื่องทันทีหลังจากพ่นชั้นคอนกรีตจริง และต้องจัดให้มีตัวอย่างสำรองอย่างน้อย 1 ชิ้น จากแผ่นทดสอบ และกล่องทดสอบสำรองอย่างน้อย 1 กล่อง ต้องเตรียมไว้ใกล้หน้างานที่กำลังพ่นคอนกรีตอยู่เสมอ

5.2.7.13 รูเจาะทั้งหมดที่เกิดจากการเก็บตัวอย่างแกนคอนกรีต (core holes) ต้องอุดกลับด้วยมอร์ตาร์ชนิดไม่หดตัว (non-shrink mortar) ที่มีกำลังอัดเทียบเท่ากับวัสดุเดิม เว้นแต่มีการระบุไว้เป็นอย่างอื่นในข้อกำหนด

5.2.7.14 ในกรณีที่เก็บแกนตัวอย่างจากแผ่นทดสอบต้องเจาะอย่างน้อย 1 แกนต่อแผ่นทดสอบทุก 3 แผ่น โดยเจาะในแนวขนานกับผิวด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นทดสอบแกนตัวอย่างเหล่านี้จะถือว่า “ผ่าน” หากค่ากำลังอัดที่ได้ สอดคล้องกับข้อกำหนดในข้อ 7.5.10

### 5.3 สลักเกลียวยึดหิน (rock bolt)

หัวข้อนี้ให้แนวทางการเจาะรู การติดตั้ง และการทดสอบสลักเกลียวยึดหิน โดยแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) ด้วยปูนมอร์ตาร์แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.7 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างสลักเกลียวยึด (anchor bolt) กลวงแบบอัดปูนเกราด์แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.8 และแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) แบบเจาะตัวเองแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.9

5.3.1 การเจาะรูสำหรับการติดตั้งสลักเกลียวยึดหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.3.1.1 เครื่องเจาะต้องเลือกให้เหมาะกับชนิดของสลักเกลียวยึดหิน ข้อกำหนดและสภาพหินโดยรอบ

5.3.1.2 ตำแหน่งรูต้องเป็นไปตามการออกแบบ โดยมีข้อผิดพลาดที่อนุญาต  $\pm 150$  mm

5.3.1.3 แกนสว่านต้องตั้งตรง และตั้งฉากกับพื้นผิวโครงสร้างหลักของหินโดยรอบในตำแหน่งที่เจาะ

5.3.1.4 ความลึกและเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะต้องตรงกับตัวสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) ที่กำหนด

5.3.2 ต้องใช้สลักเกลียวยึดหินแบบเจาะตัวเอง ในบริเวณที่ยากต่อการเจาะหลุม

5.3.3 การติดตั้งสลักเกลียวยึดหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.3.3.1 สำหรับการติดตั้งสลักเกลียวยึดหินโดยใช้วิธีการเจาะรูนำ (lead hole jack-in method) ก่อนการติดตั้ง ต้องกำจัดน้ำและเศษดินออกจากหลุมสลักเกลียวยึดหิน สำหรับบริเวณที่มีน้ำต้องระบายน้ำออกจากหลุมก่อนหรือเจาะหลุมใกล้เคียงเพื่อระบาย

- 5.3.3.2 สำหรับสลักเกลียวยึด (anchor bolt) กลวงแบบอัดเกราต์ และสลักเกลียวยึดหินแบบเจาะตัวเอง ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าช่องว่างกลางของตัวสลักเกลียวยึดหินและรูระบายอากาศบริเวณดอกเจาะสามารถทะลุผ่านได้
- 5.3.3.3 การเติมปูนมอร์ตาร์ในรูสลักเกลียวยึดหินชนิดยึดติดแบบเพิ่มความยาว ต้องทำให้เต็มและหนาแน่น เมื่อใส่ตัวสลักเกลียวยึดหินเข้าไปในหลุมต้องหมุนเพื่อให้ผสมกับวัสดุยึดเกาะได้ทั่วถึง
- 5.3.3.4 การเกราต์สำหรับสลักเกลียวยึดหินต้องพิจารณาตามทิศทางการติดตั้ง ดังนี้
- (1) สลักเกลียวยึดหินแบบเอียง (inclined rock bolts)
    - (1.1) กรณีใช้เกราต์เหลว (flowing grout) สามารถทำการอัดผ่านท่อเข้าไปที่ปากรู โดยใช้วัสดุปิดปากรูเพื่อกันเกราต์ไหลออก และต้องมีท่อระบายอากาศเพื่อป้องกันฟองอากาศภายในรู
    - (1.2) กรณีใช้ปูนเกราต์หนืดตัวเมื่อหยุดไหล (thixotropic grout) ที่มีสมบัติเหนียวหนืดแต่ไหลได้เมื่อถูกกวน ให้ใส่ผ่านท่อเทคอนกรีต (tremie) ไปยังปลายรู แล้วปล่อยให้เกราต์ไหลย้อนกลับลงช่องว่างในรูรอบสลักยึดหิน
  - (2) สลักเกลียวยึดหินแบบเอียงลงด้านล่าง (declined rock bolts)
    - (2.1) กรณีใช้แท่งเหล็กสลักเกลียวยึดหินแบบตัน (solid bar) ให้ใส่เกราต์ผ่านท่อเทคอนกรีต (tremie) ไปที่ก้นรู หรือใช้สลักเกลียวยึดหินกลวงแบบเจาะตัวเอง (self-drilling hollow bar) พร้อมอัดเกราต์ไปพร้อมการเจาะ
  - (3) สลักเกลียวยึดหินแบบติดตั้งแนวนอน (horizontal rock bolts)
    - (3.1) สลักเกลียวยึดหินต้องติดตั้งที่มุม  $\pm 10^\circ$  เพื่อให้สามารถกักเก็บเกราต์ในรูได้ ทั้งโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงหรือการใช้แพ็กเกอร์ (packers) หรืออุปกรณ์ปิดผนึกสลักเกลียวยึดหินกับช่องว่างรูเอียง
- 5.3.3.5 หลังจากทีสลักเกลียวยึดหินแบบเจาะตัวเองได้เจาะถึงความลึกที่ออกแบบไว้แล้ว ต้องใช้น้ำหรืออากาศเป่าเพื่อทำความสะอาดรูและติดตั้งแพ็กเกอร์หยุดเกราต์ (grout-stopping packer) ให้ทันเวลา
- 5.3.3.6 สลักเกลียวยึดหินต้องติดตั้งทันทีหลังจากการขุดเจาะเสร็จสิ้น โดยต้องมีการสุ่มทดสอบสลักเกลียวยึดหินบางส่วนหากมีการใช้ระเบิด (blasting) เพื่อ

ชุดเจาะอุโมงค์และในขณะเดียวกันมีสลักเกลียวยึดหินอยู่ภายในระยะ 3 m จากหน้าการขุด ต้องทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง หากสลักเกลียวยึดหินตัวใดไม่ผ่านการทดสอบ ต้องปรับค่าเพื่อให้กลับมารับแรงได้ตามค่าที่กำหนด หรือเปลี่ยนใหม่ตามความเหมาะสม

- 5.3.3.7 ผู้รับจ้างต้องทำการทดสอบภาคสนาม (in-situ test) ตามที่ตกลงกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ หรือโดยทั่วไปการทดสอบต้องเป็นไปตามแนวทางในเอกสาร ISRM Document 2, Part I – Suggested Methods of Rock bolt Testing หากไม่มีการกำหนดเป็นอย่างอื่น
- 5.3.3.8 เว้นแต่มีการกำหนดไว้เป็นอย่างอื่นในสัญญา สลักเกลียวยึดหินที่ติดตั้งจำนวนอย่างน้อย 5% แรกของ 100 ตัวแรก ต้องถูกทดสอบและหลังจากนั้น 2.5% ของสลักเกลียวยึดหินที่ติดตั้งเพิ่มเติมต้องถูกทดสอบด้วย หากมีสลักเกลียวยึดหินใดล้มเหลวในการทดสอบ การดำเนินการแก้ไขต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ
- 5.3.3.9 ต้องติดตั้งสลักเกลียวยึดหินพร้อมแผ่นรองรับแรง (cushion plate) หลังจากกำลังรับแรงอัดของปูนถึง 10 MPa ต้องขันแผ่นกันกระแทกให้แน่นด้วยนอตให้แนบชิดกับพื้นผิวพื้น และปลายแผ่นที่ยังไม่ได้สัมผัสต้องถูกหนีบให้แน่น
- 5.3.3.10 มอร์ตาร์ต้องผสมอย่างสม่ำเสมอและใช้งานทันทีที่ผสมเสร็จ ห้ามใช้มอร์ตาร์ที่เลยระยะเวลาก่อตัวแล้ว
- 5.3.3.11 หลังจากติดตั้งสลักเกลียวยึดหินแล้ว ไม่อนุญาตให้กระแทก และต้องห้ามแขวนปลายด้วยของหนักก่อนที่มอร์ตาร์ที่เติมช่องว่างแข็งตัวเต็มที่
- 5.3.3.12 ความยาวของสลักเกลียวยึดหิน ความสมบูรณ์ของวัสดุที่ยึดเกาะและอื่น ๆ ต้องได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบแบบไม่ทำลาย สำหรับสลักเกลียวยึดหินที่ปลายต้องใช้ยึด ให้ทำการทดสอบแรงบิดและความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดตามข้อกำหนด และต้องใช้แรงบิดที่ระบุในการขันนอตให้แน่น
- 5.3.4 การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก (load testing) ของสลักเกลียวยึดหิน
  - 5.3.4.1 ก่อนติดตั้ง ต้องทำโปรแกรมการทดสอบเพื่อยืนยันว่าระบบสลักเกลียวยึดหินสามารถรองรับแรงได้ตามการออกแบบ
  - 5.3.4.2 การทดสอบความเหมาะสมในการรับแรงและการทดสอบเพื่อยอมรับการใช้งาน (acceptance load testing) สำหรับสลักเกลียวยึดหินต้องดำเนินการ

ตามแผนควบคุมคุณภาพที่ได้ตกลงไว้ และต้องเป็นไปตามรายละเอียดในแบบก่อสร้าง หรือข้อกำหนดเฉพาะ (particular specification)

5.3.4.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักนี้สามารถใช้กับร็อกเดาเอ็ล (rock dowel) ได้เช่นกัน

#### 5.4 ตะแกรงลวด (wire mesh)

5.4.1 การก่อสร้างตะแกรงลวดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.4.1.1 แผ่นตะแกรงลวดต้องผลิตจากแหล่งเดียวกัน และตามขนาดตารางที่ออกแบบ โดยขนาดตะแกรงลวดต้องสะดวกในการขนย้ายและติดตั้ง

5.4.1.2 ตะแกรงลวดต้องติดตั้งหลังจากคอนกรีตเริ่มก่อตัวในเบื้องต้น เพื่อให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีตพื้นได้

5.4.1.3 เมื่อใช้ตะแกรงลวดสองชั้น ต้องวางตะแกรงลวดชั้นที่สองหลังจากที่ชั้นแรกถูกพันทับด้วยคอนกรีตพื้น และความหนาของคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 30 mm

5.4.1.4 ความยาวระยะเหลื่อมตะแกรงลวดต้องเป็น 1 - 2 กริด และต้องเชื่อมต่ออย่างแน่นหนาด้วยสลักเกลียว (bolt) หรืออุปกรณ์ยึดอื่น ๆ

5.4.1.5 ระยะคอนกรีตหุ้ม (concrete cover) ต้องไม่น้อยกว่า 20 mm

#### 5.5 โครงเหล็ก (steel rib)

หัวข้อนี้ครอบคลุมการติดตั้งโครงเหล็กรูปค้ำและคานเหล็กถัก (lattice girder) เพื่อค้ำยันอุโมงค์ โดยแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างโครงเหล็กแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.10

5.5.1 ข้อกำหนดทั่วไปของการติดตั้งโครงเหล็ก

5.5.1.1 ต้องติดตั้งโครงเหล็กรับน้ำหนักแบบค้ำหรือคานเหล็กถักเพื่อรักษารูปร่างของช่องเปิดให้เป็นไปตามแบบที่กำหนด และค้ำยันในทันทีในบริเวณหน้าการขุดเจาะล่าสุด นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการสูญเสียเนื้อดิน และช่วยกระจายแรงที่เกิดขึ้นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย

5.5.2 การติดตั้งโครงเหล็กต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.5.2.1 ผู้รับจ้างต้องจัดทำ วิธีการทำงานสำหรับการติดตั้งโครงเหล็กค้ำ (arches) เสนอต่อผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาอนุมัติก่อนดำเนินการ วัสดุที่ใช้ทำโครงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน ข้อ 7.3

5.5.2.2 โครงเหล็กต้องถูกติดตั้งในเวลาที่เหมาะสมหลังจากการทำการพันคอนกรีตพื้นชั้นแรก โดยโครงเหล็กต้องมีระยะห่างจากผิวหน้าขุดอุโมงค์ และเว้นระยะการพันคอนกรีตพื้นที่ออกแบบไว้

- 5.5.2.3 ก่อนการติดตั้งโครงเหล็ก ต้องกำจัดสิ่งสกปรกและดินหรือหินที่หลวมออก
  - 5.5.2.4 ในระหว่างการติดตั้ง แผ่นเชื่อมต่อซีโครงเหล็กแต่ละส่วนต้องเชื่อมต่ออย่างแน่นหนาและยึดแน่นด้วยสกรู ตามขอบด้านนอกของโครงเหล็ก ต้องใช้ลิ้มเหล็กหรือบล็อกคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อขันยึดให้แน่นควบคู่กับการพ่นคอนกรีตชั้นแรก (initial shotcreting) เพื่อให้โครงสร้างแน่นและมั่นคงก่อนพ่นคอนกรีต โดยให้เว้นระยะห่างทุก ๆ 2 m
  - 5.5.2.5 โครงเหล็กต้องเชื่อมอย่างแน่นหนาด้วยสลักเกลียว (bolt) และต้องมีการเชื่อมต่อตามยาวระหว่างโครงเหล็ก
  - 5.5.2.6 ช่องว่างด้านหลังโครงเหล็กต้องอัดแน่นด้วยคอนกรีตพ่น โดยพ่นคอนกรีตพ่นบริเวณระหว่างโครงเหล็กกับผิวชุดเจาะอุโมงค์ก่อน แล้วคอนกรีตพ่นระหว่างโครงเหล็กต้องพ่นที่หลัง ยกเว้นรอยต่อของโครงเหล็กที่เป็นโครงแบบอนุญาตให้ขยับได้ ส่วนอื่น ๆ ของโครงเหล็กต้องหุ้มด้วยคอนกรีตพ่นจนหมด
  - 5.5.2.7 เมื่อใช้วิธีการขุดแบบแบ่งช่วง (stage excavating) การติดตั้งเท้าช้าง (arch foot) ของโครงเหล็กต้องทำร่วมกับสลักเกลียว (bolt) และหลังจากขุดครึ่งล่างแล้ว โครงเหล็กต้องติดตั้งด้านล่างเพื่อคงเสถียรภาพ
  - 5.5.2.8 เมื่อส่วนของฐานอุโมงค์มีการติดตั้งโครงเหล็ก ต้องติดตั้งเต็มความกว้างหนึ่งครั้งและปิดด้วยคอนกรีตพ่นเพื่อปิดให้เร็วที่สุดเท่าเพื่อสร้างค้ำยันแบบวงแหวนรอบอุโมงค์
  - 5.5.2.9 ในกรณีที่มีการขุดเจาะหินโดยรอบหรืออุโมงค์ในชั้นดินหลวมที่อ่อนแอและมีรอยร้าวของดินหรือหินต้องขยายเท้าช้างของโครงเหล็กให้ใหญ่ขึ้น
- 5.6 งานค้ำยันฐานอุโมงค์ชั่วคราว (temporary invert)
- หัวข้อนี้ได้กล่าวถึงหลักเกณฑ์การติดตั้งฐานอุโมงค์ชั่วคราวในอุโมงค์ที่มีชั้นหินอ่อนแอหรือสภาพธรณีวิทยาไม่เอื้ออำนวย โดยครอบคลุมการติดตั้งเมื่อใช้การขุดเจาะอุโมงค์แบบขั้นบันได (bench cut method) และการขุดอุโมงค์ตามลำดับ (sequential excavation) หากต้องการเพิ่มเติมข้อกำหนด หรือปรับใช้ตามหน้างานต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ

- 5.6.1 เมื่อใช้วิธีขุดเจาะแบบชั้นบันได (bench cut method) สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟทางคู่ในหินระดับ V (หินแย่มาก) หรือที่มีหินโดยรอบที่อ่อนแอหรือทางธรณีวิทยาที่ไม่เอื้ออำนวย ต้องจัดให้มีส่วนค้ำยันตามขวางชั่วคราว (transverse support) หรือฐานอุโมงค์ชั่วคราว โครงค้ำยันชั่วคราวต้องทำจากเหล็กรูปพรรณ (shaped steel) และในแนวยาวของอุโมงค์ ต้องติดตั้งค้ำยันชั่วคราว 1 ตำแหน่งต่อโครงเหล็กหลัก (steel arch) ทุก 2 โครง
- 5.6.2 เมื่อจำเป็นต้องมีการค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวในการขุดอุโมงค์ตามลำดับ (sequential excavation) การก่อสร้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 5.6.2.1 การค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวสามารถสร้างโดยใช้โครงเหล็กรูปพรรณหรือคานเหล็กถ่วงร่วมกับการพันคอนกรีตพันหรือวิธีการอื่น
- 5.6.2.2 เมื่อต้องรับแรงในแนวนอน การค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวต้องเป็นแบบเส้นตรงแนวนอนเป็นกรณีพิเศษ หากใช้ค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวเป็นการรองรับเส้นทางขนส่งในอุโมงค์ การค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวต้องออกแบบให้เป็นรูปทรงโค้งลง (downward arch shape) และต้องมีการเชื่อมต่อในแนวยาว (longitudinal connections)
- 5.6.2.3 การค้ำยันที่ฐานอุโมงค์ชั่วคราวต้องสามารถเชื่อมต่อเป็นวงแหวนรับแรงร่วมกับโครงรับแรงหลักของส่วนโค้งและผนังด้านข้างโดยเร็วที่สุด และโครงเหล็กในแต่ละส่วนต้องเชื่อมต่อกันอย่างมั่นคง

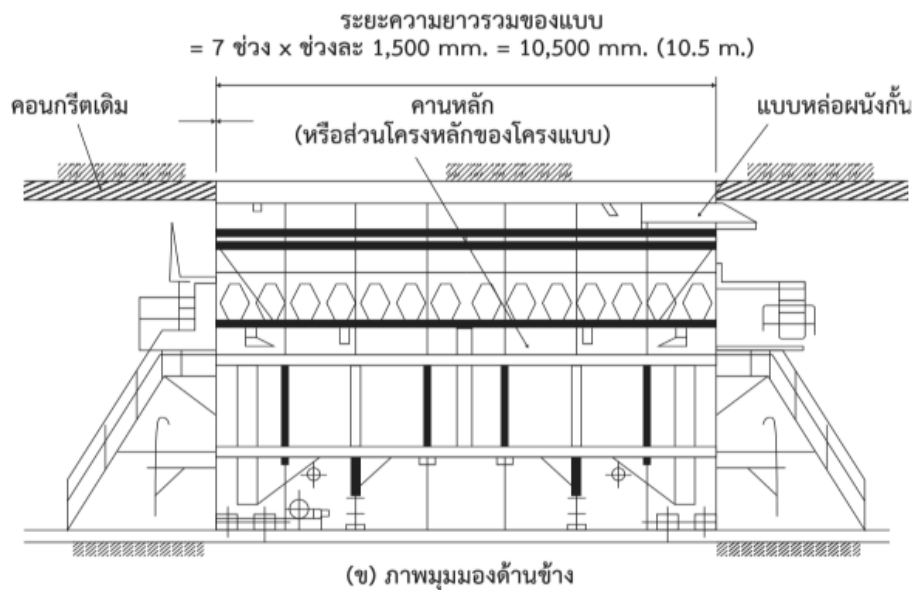
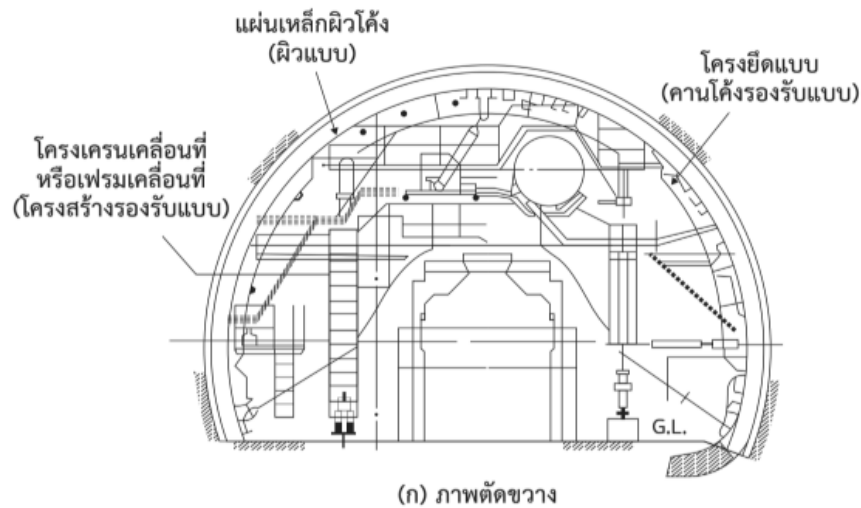
## 6. งานดาตอุโมงค์ (tunnel lining หรือ secondary lining) ในอุโมงค์ดินและหิน

งานนี้ได้กำหนดข้อกำหนดและแนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างดาตอุโมงค์ ครอบคลุมข้อกำหนดทั่วไป การติดตั้งงานแบบหล่อ การใช้งานแบบหล่อ การหล่อและการอัดคอนกรีต รายละเอียดของรอยต่อ การบ่มคอนกรีต การถอดงานแบบหล่อ การติดตั้งเหล็กเสริม งานฐานอุโมงค์และพื้น การเกรตหลังก่อสร้าง รวมถึงการติดตามผลหลังการติดตั้ง

- 6.1 ข้อกำหนดทั่วไปของดาตอุโมงค์ในอุโมงค์ดินและหิน
- 6.1.1 การทำดาตอุโมงค์ตามปกติจะดำเนินการหลังจากการเสีรูปของหินโดยรอบมีเสถียรภาพแล้ว ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาว่าการเสีรูปมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะเสถียรต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 6.1.1.1 อัตราการเสีรูปโดยรวมของอุโมงค์ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีแนวโน้มที่คงที่

- 6.1.1.2 การบีบตัวของอุโมงค์ในแนวนอน (horizontal convergence) เฉลี่ยที่ 7 วัน บริเวณเท้าช้าง ต้องน้อยกว่า 0.2 mm/วัน และอัตราการทรุดตัวของเท้าช้าง ต้องน้อยกว่า 0.15 mm/วัน
- 6.1.1.3 การทรุดตัวสะสมก่อนการก่อสร้างคาดอุโมงค์ต้องมากกว่า 80% ของค่าการทรุดตัวสูงสุดที่คาดการณ์ไว้
- 6.1.2 ในกรณีที่อุโมงค์อยู่ในสภาพธรณีวิทยาที่ไม่เหมาะสม เช่น หินโดยรอบอ่อน แรงกดทับสูง หินบวม และอื่น ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสียรูปขนาดใหญ่ และไม่สามารถเข้าสู่สภาวะเสถียรในระยะยาวได้ การก่อสร้างคาดอุโมงค์สามารถดำเนินการล่วงหน้าได้ โดยต้องมั่นใจว่าคาดอุโมงค์ที่สร้างขึ้นมี กำลังรับแรงอัดและความแข็งแรงเพียงพอ
- 6.1.3 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างคาดอุโมงค์ แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก.11
- 6.2 งานแบบหล่อสำหรับคาดอุโมงค์ (formwork for secondary lining)
  - 6.2.1 งานแบบหล่อ (formwork) ต้องถูกนำมาใช้สำหรับการก่อสร้างคอนกรีตในส่วนของคาดอุโมงค์ โดยต้องทำการหล่อส่วนโค้งและผนังเป็นชั้นเดียวกันในครั้งเดียว แสดงภาพตัวอย่างงานแบบหล่อสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตในส่วนของคาดอุโมงค์ รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างงานแบบหล่อสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตในส่วนของคาดอุโมงค์
  - 6.2.2 เงื่อนไขในการหล่อคาดอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้
    - 6.2.2.1 ก่อนการหล่อคอนกรีต ต้องทำความสะอาดงานแบบหล่อและเหล็กเสริมให้ปราศจากสิ่งแปลกปลอม คราบน้ำมัน เศษวัสดุผสม และต้องอุดรอยร้าวหรือโพรงบนงานแบบหล่อให้เรียบร้อย
    - 6.2.2.2 โรงผสม สายพานลำเลียง เครื่องสูบลำเลียง เครื่องจักรบดอัด และอื่น ๆ ต้องอยู่ในสภาพการทำงานปกติ และต้องมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการของการหล่อคอนกรีตคาดอุโมงค์
    - 6.2.2.3 แสงสว่าง แหล่งจ่ายไฟ น้ำประปา ระบบระบายน้ำในส่วนการดำเนินการก่อสร้างคาดอุโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการก่อสร้างปกติของงานก่อสร้าง และสภาพการระบายอากาศในอุโมงค์ต้องดี





รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างงานแบบหล่อสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตในส่วนของคาอูโมงค์

- 6.2.3 การติดตั้งและความมั่นคงของงานแบบหล่อ (formwork) ค้ำยัน โครงเหล็กเสริม ตัวเว้นระยะเหล็กเสริม ขึ้นส่วนฝังใน และองค์ประกอบอื่น ๆ ต้องได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอทั้งก่อนการเทคอนกรีตและระหว่างการเทคอนกรีต หากพบปัญหาต้องดำเนินการแก้ไขทันที พร้อมจัดทำบันทึกข้อมูลที่เหมาะสมไว้เป็นหลักฐาน
- 6.2.4 การใช้งานแบบหล่อ (formwork) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - 6.2.4.1 งานแบบหล่อต้องมีความแข็งแรงที่รับน้ำหนักบรรทุกพลวัต (dynamic load) เพียงพอ โดยค่าปัจจัยด้านความปลอดภัยต้องมากกว่า 1.6 เท่า ของน้ำหนัก

บรรทุกพลวัต ระบบเคลื่อนที่ของรถต้องมีแรงดึงที่เพียงพอและมีโครงสร้างที่มั่นคง

**6.2.4.2** งานแบบหล่อสำหรับอุโมงค์โค้ง (curved tunnel carriage) ต้องถูกจัดวางโดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงการเหลื่อมซ้ายและขวา ที่เกิดจากความแตกต่างของความยาวเส้นโค้งด้านในและด้านนอก เพื่อให้ส่วนโค้งมีความกลมและเรียบ รวมถึงลดปัญหาการเกิดรอยต่อที่ไม่เรียบ

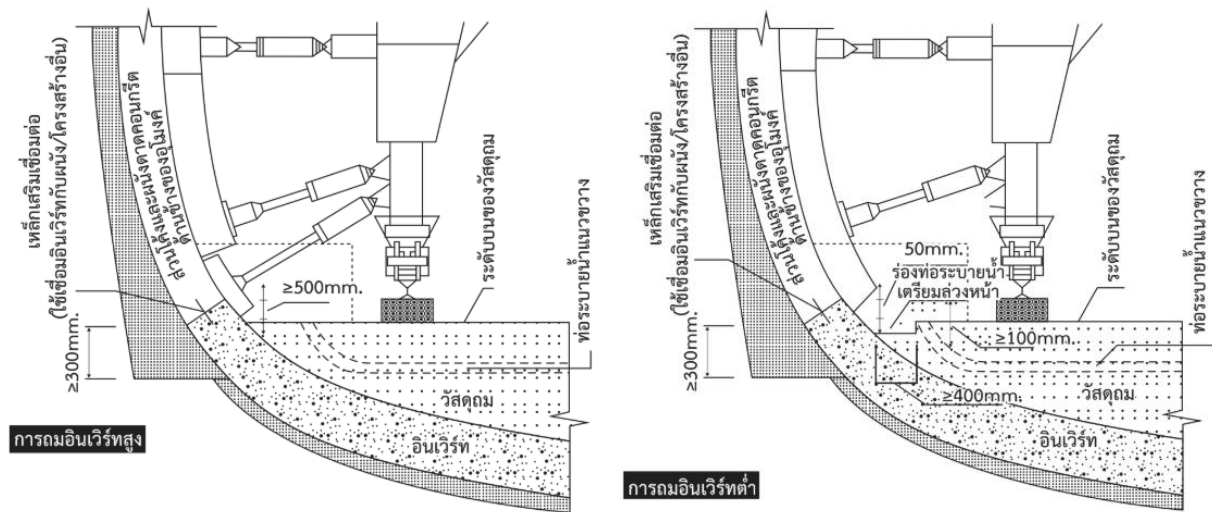
**6.2.4.3** ความยาวในช่วงทับซ้อนของงานแบบหล่อด้วยคอนกรีตต้องมากกว่า 100 mm ความสมบูรณ์และการขยับของการเชื่อมต่อข้อต่อแต่ละครั้งของการขนส่งต้องได้รับการตรวจสอบหลังการติดตั้งและการจัดวางตำแหน่ง และต้องตรวจสอบงานแบบหล่อว่ามีการบิดเบี้ยวหรือบิดงอหรือไม่ ตำแหน่งนั้นถูกต้องหรือไม่

**6.2.5** ดาดอุโมงค์ต้องอัดให้แน่นในระหว่างการเท โดยเทเป็นชั้น ๆ อย่างสมมาตร ความสูงของการเทแต่ละครั้งต้องไม่เกิน 2 m ความต่างระดับของคอนกรีตด้านหน้า-ด้านหลังของรถแบบต้องไม่เกิน 0.6 m และด้านซ้าย-ขวาไม่เกิน 0.5 m การเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องสั่นภายในต้อง ดึงออกในแนวตั้งอย่างช้า ๆ ห้ามลากในแนวราบ และต้องไม่กระทบต่องานแบบหล่อเหล็กเสริม และชิ้นส่วนฝังใน

**6.2.6** การก่อสร้างรอยต่อดาดอุโมงค์ (lining construction joint) และรอยต่อเพื่อการเปลี่ยนรูป (deformation joint) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

**6.2.6.1** การก่อสร้างคอนกรีตในส่วนโค้งและดาดอุโมงค์ด้านข้างต้องทำให้เสร็จในคราวเดียวต่อเนื่อง

**6.2.6.2** รอยต่อก่อสร้างตามแนวยาวของตัวดาดอุโมงค์ ต้องกำหนดตามรูปที่ 3 และไม่ต้องตั้งไว้ที่ตำแหน่งแรงเฉือนและโมเมนต์สูงสุด หรือรอยต่อของพื้นและดาดอุโมงค์ด้านข้าง ต้องติดตั้งไว้เหนือพื้นด้านบนไม่ต่ำกว่า 300 mm และในดาดอุโมงค์ด้านล่างต้องอยู่ต่ำกว่าขอบล่างของฟารางระบายน้ำ พร้อมจัดรอยต่อเชื่อมให้เหมาะสม



รูปที่ 3 รายละเอียดของรอยต่อก่อสร้างตามแนวยาวที่อยู่บริเวณดาตอโมงค์ ด้านข้าง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

- 6.2.6.3 รอยต่อก่อสร้าง (construction joint shall) ต้องห่างจากขอบช่องเจาะล่วงหน้าบนผนังอย่างน้อย 300 mm และความหนาคอนกรีตในบริเวณรอยต่อเพื่อการเปลี่ยนรูปต้องไม่น้อยกว่า 300 mm โดยมุมโค้งต้องอัดให้แน่น
- 6.2.6.4 ปลายงานแบบหล่อ หรือแบบหล่อผนังกัน (bulkhead) ที่มีถูกลมกันรั่ว ต้องใช้เพื่อเชื่อมต่อบริเวณรอยต่อของงานเทคอนกรีตแต่ละช่วง เพื่อป้องกันการรั่วของคอนกรีต
- 6.2.6.5 รอยต่อก่อสร้างและรอยต่อเพื่อการเปลี่ยนรูปต้อง เรียบ สะอาด และต้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำคอนกรีตจากทั้งสองด้าน
- 6.2.6.6 ในกรณีรอยต่อก่อสร้างแนวดิ่ง (vertical construction joint) ต้องทาหน้าคอนกรีตเดิมด้วยซีเมนต์เพสต์ (cement paste) ก่อนเทคอนกรีตใหม่ ส่วนในกรณี รอยต่อแนวยาวในแนวนอน (horizontal longitudinal construction joint) หน้าคอนกรีตเดิม ต้องปูด้วยชั้นมอร์ตาร์หนาน้อยกว่า 30 mm หรือคอนกรีตหนาน้อยกว่า 300 mm ก่อนเทคอนกรีตใหม่
- 6.2.6.7 พื้นผิวคอนกรีตต้อง สกัดและขัดให้หยาบ (roughing) เพื่อให้เปิดพื้นที่คอนกรีตใหม่ไม่น้อยกว่า 75% ค่าแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ผ่านการสกัดด้วยมือต้องไม่น้อยกว่า 2.5 MPa และหากใช้คอนกรีตที่ผ่านการขัดผิวโดยใช้

เครื่องมือขับเคลื่อนด้วยลมอัด (pneumatic machine roughed concrete)  
ต้องได้ค่าแรงยึดเหนี่ยวไม่น้อยกว่า 10 MPa

6.2.7 การหล่อคอนกรีตสำหรับระบบดาตอโมงค์แบบมีคีย์บล็อก (key block lining) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

6.2.7.1 การเพิ่มค่าการยุบตัวของคอนกรีต (slump) ต้องเพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสม

6.2.7.2 ระยะห่างของหลุมหล่อคอนกรีตที่หลังคาอุโมงค์ต้องไม่เกิน 3 m และทุกหลุมต้องหล่อให้เต็ม และการหล่อคอนกรีตต้องหล่อขึ้นตามแนวลาด เพื่อให้คอนกรีตด้านบนแน่นและไม่เกิดโพรงอากาศ หลังจากหล่อเสร็จ ต้องปิดรูหล่อให้แน่นหนา

6.2.7.3 ในระหว่างการหล่อคอนกรีตบล็อกกุญแจ (key block) ความเร็วการสูบลมและแรงดันของเครื่องฉีดต้องถูกลดลงอย่างเหมาะสม โดยต้องตรวจสอบ ช่องระบายอากาศและการรั่วซึมของน้ำคอนกรีตอย่างใกล้ชิด

6.2.7.4 ต้องมีช่องระบายอากาศที่ส่วนบนของโค้ง (arch Top) ของงานแบบหล่อ ปลายด้านที่อยู่ทางลาดชัน เมื่อคอนกรีตเกรตไ้ไหลออกจากช่องระบายอากาศ และลักษณะของน้ำปูนเปลี่ยนจากเหลวเป็นข้น ถือว่าการหล่อดาตอโมงค์เสร็จสมบูรณ์

6.2.8 การบ่มคอนกรีตต้องทำหลังการหล่อดาตอโมงค์โดยอิงกับสภาพอากาศในขณะนั้น และต้องให้ได้ค่ากำลังอัดตามข้อกำหนด ห้ามใช้การพ่นน้ำเพื่อบ่มเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C

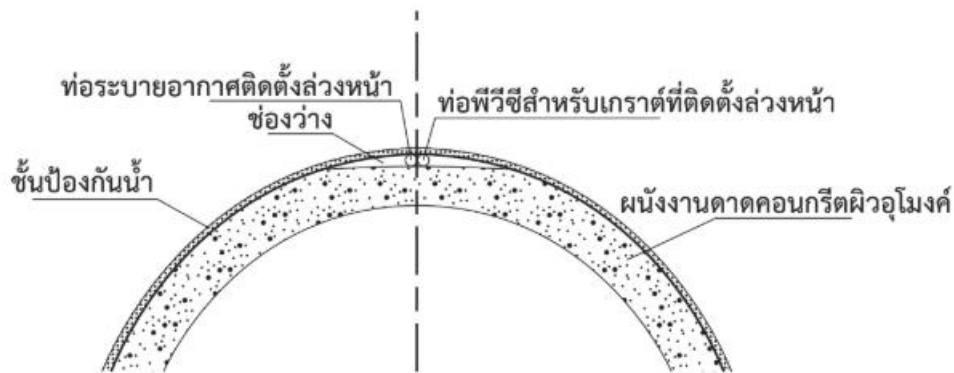
6.2.9 การถอดงานแบบหล่อดาตอโมงค์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.2.9.1 กำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีต (lining concrete strength) ก่อนถอดงานแบบหล่อต้องไม่น้อยกว่า 8 MPa ในกรณีที่การทำผนังคอนกรีตถูกสร้างขึ้นหลังจากการเสีรูปของการค้ำยันขั้นต้น (primary support) มีความมั่นคง แต่ในกรณีที่มีการทำผนังคอนกรีตก่อนที่การเสีรูปของการค้ำยันขั้นต้นคงที่ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต้องถึงกำลังรับแรงอัดของการออกแบบ 100% เมื่อถอดงานแบบหล่อออก

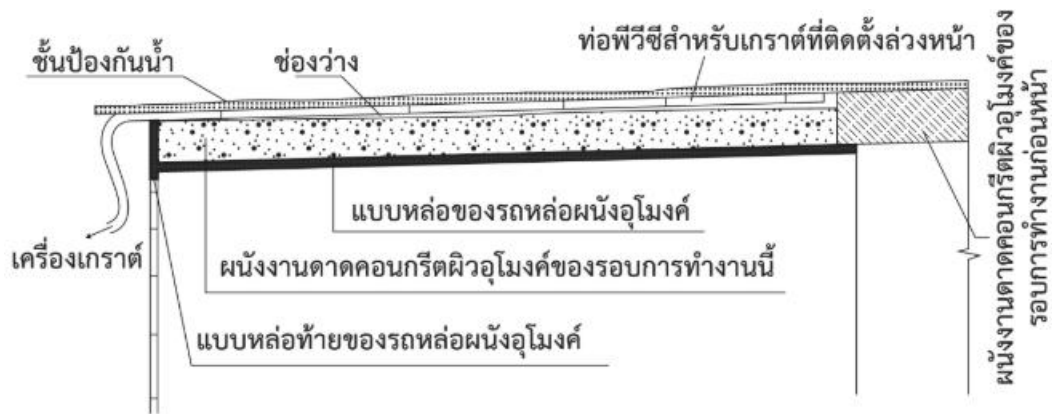
6.2.9.2 ในการถอดงานแบบหล่อ ความแตกต่างของอุณหภูมิผนังคอนกรีตระหว่างด้านในกับพื้นผิวด้านนอก และพื้นผิวด้านในกับสภาพแวดล้อมด้านนอก ต้องไม่เกิน 20 °C และระหว่างผิวภายในและภายนอกของโครงสร้างอุโมงค์มีพื้นผิวต่างกันไม่เกิน 15 °C ห้ามถอดงานแบบหล่อก่อนที่อุณหภูมิคอนกรีตจะเริ่มลดลง

- 6.2.10 การก่อสร้างดาตอโมงค์คอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete lining) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 6.2.10.1 เหล็กเสริมที่ขดมาจากม้วน (coil) หรือมีความโค้งงอจากการขนส่งต้องถูกตัดให้ตรงก่อนแปรรูป และต้องไม่มีความเสียหายใด ๆ ที่ทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมอ่อนตัวลง
- 6.2.10.2 การจัดเก็บ การขนส่ง การแปรรูป และการติดตั้งเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการก่อสร้างคอนกรีตให้มีความทนทานและเป็นไปตามการออกแบบกำหนด
- 6.2.10.3 เมื่อทำการติดตั้ง ตำแหน่งของเหล็กเสริมและระยะคอนกรีตหุ้ม (concrete cover) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ หากไม่ได้ระบุไว้ใน การออกแบบระยะคอนกรีตหุ้มต้องไม่ต่ำกว่า 30 mm
- 6.2.10.4 การติดตั้งเหล็กเสริมดาตอโมงค์ควรใช้เครื่องมือเฉพาะสำหรับติดตั้งเหล็กเสริม
- 6.2.11 การผสมคอนกรีตเสริมเส้นใย ต้องใช้วิธีการผสมแบบล่วงหน้า โดยต้องผสมวัสดุมวลรวม หยาบ วัสดุมวลรวมละเอียด และเส้นใยให้เข้ากันก่อน เมื่อเส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแล้ว จึงเติมปูนซีเมนต์และน้ำแล้วผสมต่อ โดยใช้เวลาในการผสมไม่น้อยกว่า 3 นาที
- 6.2.12 การก่อสร้างฐานอุโมงค์และพื้นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 6.2.12.1 การตัดฐานรากต้องมีลักษณะโค้งมน เรียบ และเสมอกัน และห้ามมีการขูดเกินกำหนด ส่วนที่ขูดเกินต้องถมกลับด้วยคอนกรีตกำลังเดียวกันกับของเดิม
- 6.2.12.2 สิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น เศษดิน เศษวัสดุ น้ำขัง และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ บนฐานราก ต้องถูกทำความสะอาดให้เรียบร้อยก่อนเริ่มหล่อพื้นและฐานอุโมงค์
- 6.2.12.3 การก่อสร้างฐานอุโมงค์ต้องทำการหล่อคอนกรีตของผนังโค้งและผนังด้านข้าง โดยต้องเว้นระยะก่อสร้างล่วงหน้า (advance distance) อย่างน้อย 3 เท่าของความยาวรอบการดำเนินงาน (cycle operation length) ของการหล่อดาตอโมงค์แต่ละรอบ
- 6.2.12.4 ส่วนฐานอุโมงค์แต่ละส่วนต้องหล่อเป็นรูปทรงในคราวเดียว ห้ามหล่อเป็นช่วงหรือแบ่งหล่อ การใช้สะพานชั่วคราวต้องทำเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการขนส่งในอุโมงค์ระหว่างก่อสร้าง
- 6.2.12.5 การถมดินส่วนฐานอุโมงค์ต้องดำเนินการหลังจากคอนกรีตฐานอุโมงค์แข็งตัวแล้ว

- 6.2.12.6 รอยต่อของการก่อสร้างฐานอุโมงค์และรอยต่อการเปลี่ยนรูปต้องได้รับการป้องกันการรั่วซึม
- 6.2.12.7 ความลาดเอียงของพื้นต้องตรงเพื่อให้ระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 6.2.12.8 สำหรับอุโมงค์ที่ใช้รางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง (ballastless track) พื้นอุโมงค์ต้องสร้างพร้อมกับฐานรางรถไฟ
- 6.2.12.9 การเปิดทางสำหรับการเดินเท้าสามารถทำได้หลังจากที่คอนกรีตส่วนฐานอุโมงค์หรือพื้น มีกำลังรับแรงอัดถึง 5 MPa และเปิดให้สามารถใช้งานทางรถยนต์ได้เมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดถึง 50% ของกำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ โดยต้องไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น
- 6.2.13 การเกรตส่วนที่เหลือบริเวณหลังคาอุโมงค์ ต้องอัดให้แน่นและเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- 6.2.13.1 การอัดฉีดส่วนที่เหลือให้ทำด้วยวิธีเกรตผ่านท่อที่ตั้งไว้ล่วงหน้าตามยาว ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 ภาพตัดขวางของวิธีการติดตั้งท่อเกรตตามแนวยาวล่วงหน้า (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



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

6.2.13.2 ท่อเกรตต์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าให้เป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ถึง 30 mm และมีรูระบายน้ำปูนแบบดอกพุ่ม (plum blossom-shaped grout) บนตัวท่อ ในส่วนท่อระบายอากาศต้องไม่มีรู ซึ่งต้องจัดให้มีตามข้อกำหนดการระบายอากาศ

6.2.13.3 ใช้ปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีการขยายตัวเล็กน้อยสำหรับการเกรตต์เติม สำหรับส่วนที่มีความต้องการพิเศษ เช่น ต้องการกำลังสูง หรือต้องการการไหลที่ดี สามารถใช้ปูนซีเมนต์ชนิดกำลังสูง และชนิดไหลตัวดีแบบปรับระดับตัวเองได้ (self-leveling cement mortar)

6.2.13.4 การอัดฉีดเกรตต์ส่วนที่เหลือ ต้องดำเนินการหลังจากที่วัสดุอุดรูแพ็กเกอร์ (orifice packer materials) มีกำลังรับแรงอัดตามที่กำหนด

6.2.13.5 เมื่อแรงดันเกรตต์ถึง 0.2 MPa หรือช่องระบายอากาศมีน้ำปูนล้น สามารถหยุดการเกรตต์ได้

6.2.13.6 ข้อกำหนดอื่น ๆ เพิ่มเติมเป็นไปตามข้อ 4.1.2 ในมาตรฐานฉบับนี้

6.2.14 การเกรตต์ช่องว่างในโครงสร้างหล่อในที่

6.2.14.1 ผู้รับจ้างต้องดำเนินการเกรตต์ในช่องว่างหรือโพรงที่เหลืออยู่นอกโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ การเกรตต์ในแต่ละส่วนของตาดอุโมงค์ไม่อนุญาตให้ดำเนินการ จนกว่าโครงสร้างในส่วนนั้นจะมีกำลังรับแรงอัดตามที่กำหนด

6.2.14.2 กระบวนการเกรตต์ในตาดอุโมงค์หรือปล่องที่มีการใช้เมมเบรนกันน้ำ (waterproofing membrane) ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ



- 6.2.14.3 วัสดุเกรادتต้องเป็นไปตามข้อกำหนด 7.6 เว้นแต่ได้รับความเห็นชอบให้ใช้วิธีอื่น โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการก่อนดำเนินการ หากจำเป็น ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการสามารถกำหนดให้ใช้วัสดุอื่นเติมในช่องว่างขนาดใหญ่ วัสดุในการเกรادتต้องมีความหนืดพอเหมาะ เพื่อให้สามารถไหลเข้าไปเติมเต็มช่องว่างภายใต้แรงดันต่ำ (น้อยกว่า 0.1 MPa) โดยใช้ท่อหรือรูที่จัดเตรียมไว้สำหรับการเกรادت
- 6.2.14.4 ต้องจัดให้มีจุดฉีดเกรادتสำหรับการอัดเกรادتโพรง (cavity grouting) โดยเฉลี่ยอย่างน้อย 1 จุดต่อระยะทาง 2.5 m ตามแนวยาวของอุโมงค์ และควรเพิ่มความถี่ในบริเวณที่เกิดการขุดเกิน (overbreak) อย่างรุนแรง ต้องติดตั้งท่อระบายอากาศ (vent pipe) ให้ขยายไปยังตำแหน่งที่สูงที่สุดของโพรงสำหรับหลังคาโค้งของอุโมงค์จุดฉีดเกรادتต้องอยู่ภายในระยะ 500 mm จากจุดหลังคาอุโมงค์ของโครงสร้าง เว้นแต่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการให้เป็นตำแหน่งอื่น
- 6.2.14.5 ในการติดตั้งท่อสำหรับฉีดเกรادت ผู้รับจ้างต้องเสนอแผนการติดตั้งท่อฉีดเกรادتให้ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการพิจารณาและอนุมัติ ท่อสำหรับฉีดเกรادتและรูฉีดเกรادتต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอย่างน้อย 40 mm
- 6.2.14.6 แรงดันสำหรับการฉีดเกรادتต้องไม่ทำให้โครงสร้างหรือทรัพย์สินอื่น ๆ เสียหาย
- 6.2.14.7 ข้อกำหนดเกี่ยวกับท่อฉีดเกรادت ท่อฉีดเกรادتต้องไม่อยู่ใกล้กับผิวคอนกรีตภายในที่เสร็จแล้ว โดยระยะห่างต้องไม่น้อยกว่า 25 mm เมื่อไม่ต้องการใช้งานท่อฉีดเกรادت ต้องอุดรูฉีดเกรادتในโครงสร้างคอนกรีตด้วยมอร์ตาร์แห้ง (dry pack mortar) โดยต้องอุดจนเหลือระยะห่างไม่เกิน 25 mm จากผิวคอนกรีตที่เสร็จแล้ว และดำเนินการเก็บงาน ตกแต่งผิวให้เรียบร้อย
- 6.2.15 หลังจากเสร็จสิ้นการทำดาตอุโมงค์ ต้องติดตามและตรวจวัดการเสียรูปและการทรุดตัวของฐานรากอุโมงค์ โดยต้องติดตั้งจุดสำรวจการทรุดตัวเป็นคู่ ตามตารางที่ 4 โดยต้องมีการสำรวจสัปดาห์ละหนึ่งครั้ง



#### ตารางที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งจุดติดตามการเสียรูปและการหลุดตัวของฐานอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

| ระดับของหิน                | ตำแหน่งการติดตั้งจุดสำรวจการหลุดตัว |
|----------------------------|-------------------------------------|
| ระดับ III (หินแข็งปานกลาง) | ทุก ๆ 400 m                         |
| ระดับ VI (หินแข็ง)         | ทุก ๆ 300 m                         |
| ระดับ V (หินแข็งมาก)       | ทุก ๆ 200 m                         |

หมายเหตุ: โดยแต่ละระดับของหินในที่นี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง

### 7. ข้อกำหนดด้านวัสดุ

มาตรฐานฉบับนี้กำหนดข้อกำหนดด้านวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ครอบคลุมวัสดุหลัก ได้แก่ คอนกรีตที่ใช้ในงานค้ำยันอุโมงค์ การเสริมเหล็กในงานค้ำยันอุโมงค์ โครงเหล็กรับน้ำหนักแบบโค้ง (support arches) คานเหล็กถักและวัสดุค้ำยันอุโมงค์ล่องหน้าประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กสไปล์ ร็อกเดาเอ็ล สลักเกลียวยึดหิน เหล็กฝังยึดหิน และแผ่นค้ำยันดิน (lagging boards)

นอกจากนี้ยังรวมถึงวัสดุผสมสำหรับ คอนกรีตพ่น และ ปูนซีเมนต์เกรด ทั้งหมด ซึ่งวัสดุทั้งหมดต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ American Society for Testing and Materials (ASTM) British Standard (BS) British Standard European Standard (BS EN) American Concrete Institute (ACI) American Institute of Steel Construction (AISC) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือ มาตรฐานของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน) ตามที่ระบุไว้ในเอกสารนี้

หากมาตรฐานดังกล่าวไม่ครอบคลุม หรือไม่สามารนำมาใช้ได้โดยตรง ต้องใช้มาตรฐานที่เทียบเท่า โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนนำมาใช้ เพื่อให้การควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของวัสดุและการก่อสร้างเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงาน

#### 7.1 ข้อกำหนดสำหรับคอนกรีต

ข้อกำหนดนี้มีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวกับข้อกำหนดทั่วไปของวัสดุคอนกรีต วัสดุองค์ประกอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มวลรวม น้ำ สารผสมเพิ่ม เส้นใย และวัสดุเติม นอกจากนี้ยังครอบคลุมถึงข้อกำหนดส่วนผสมคอนกรีต คอนกรีตผสมเสร็จ การผสมคอนกรีต และการควบคุมคุณภาพ

##### 7.1.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับวัสดุคอนกรีต

7.1.1.1 คอนกรีตทุกชนิดต้องผลิตและตรวจรับตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสม

คอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงหรือเทียบเท่า เว้นแต่จะระบุเป็นอย่างอื่นในสัญญา

7.1.1.2 หากต้องเทคอนกรีตในพื้นที่ที่มี ดินหรือน้ำใต้ดินที่มีสมบัติทางเคมีเป็นอันตราย (aggressive ground) ต้องทำการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ก่อน

7.1.2 วัสดุองค์ประกอบ – ปูนซีเมนต์

7.1.2.1 ผู้รับจ้างต้องส่งใบรับรองของผู้ผลิตปูนซีเมนต์และวัสดุปูนซีเมนต์ตาม มาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง รายละเอียด ทั้งหมดเกี่ยวกับปูนซีเมนต์และวัสดุปูนซีเมนต์ รวมถึงแหล่งผลิตสำรอง ต้อง นำเสนอเพื่อแสดงว่าปริมาณและคุณภาพสามารถรองรับได้ตลอดระยะเวลา ก่อสร้าง

7.1.2.2 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (portland cement หรือ CEM I) ต้องเป็นไปตาม มาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะ ของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

7.1.2.3 หากต้องการความทนทานต่อซัลเฟต (sulphate) ปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้ต้อง เหมาะสมกับ ชั้นความรุนแรงทางเคมีเพื่อการออกแบบ (Design Chemical class) ที่กำหนด หรืออ้างอิงตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตใน งานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

7.1.2.4 วัสดุปูนซีเมนต์ต้องมีปริมาณแอลคาไล (alkali) ที่เกิดปฏิกิริยาไม่เกิน 0.6% โดยน้ำหนัก และ/หรือปริมาณรวมของแอลคาไลที่เกิดปฏิกิริยาในส่วนผสม ต้องถูกคำนวณและควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสม คอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง โดยต้องมีใบรับรองจากผู้ผลิต

7.1.2.5 ปูนซีเมนต์ผสมและวัสดุปูนซีเมนต์ผสมที่กระตุ้นด้วยด่าง (alkali-activated cementitious materials) ที่มีอัตราส่วนผสมอยู่นอกขอบเขตที่กำหนดใน มาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะ ของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง ต้องผ่าน การทดสอบเพื่อยืนยันสมบัติให้ตรงตามข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพ และต้อง

ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา  
ก่อนดำเนินการ

7.1.2.6 วัสดุปูนซีเมนต์ต้องถูกจัดส่งในถุงปิดสนิทหรือในถุงที่ปิดสนิทและมีการทำ  
เครื่องหมายอย่างชัดเจน และต้องได้รับการป้องกันจากสภาพอากาศ โดย  
ระบบขนส่งที่ปิดสนิทหรือวิธีป้องกันอื่น ๆ ที่ได้รับการอนุมัติ ปูนซีเมนต์  
ที่หมดอายุการใช้งานตามที่ผู้ผลิตกำหนดจะไม่สามารถใช้งานได้ และต้อง  
จัดการกำจัดหรือส่งคืนผู้ผลิตอย่างเหมาะสม

7.1.2.7 ต้องเก็บตัวอย่างของปูนซีเมนต์แต่ละประเภทที่ใช้ เพื่อใช้สำหรับวิธีทดสอบ  
ระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์ไฮดรอลิกเพสต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต ตาม มอก.  
2752 เล่ม 9 หากมีการผสมคอนกรีตในโรงงาน แต่ถ้าหากผสมคอนกรีตจาก  
ที่อื่น ต้องเก็บบันทึกจากผู้จัดหาให้ชัดเจนและสามารถส่งให้ผู้ออกแบบและ  
คำนวณและ/หรือที่ปรึกษาตรวจสอบได้

#### 7.1.3 วัสดุองค์ประกอบ – มวลรวม

7.1.3.1 มวลรวมต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนด  
รายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้าง  
รถไฟความเร็วสูง ผู้รับจ้างต้องได้รับการยินยอมจากผู้ออกแบบและคำนวณ  
และ/หรือที่ปรึกษาสำหรับแหล่งที่มาของวัสดุมวลรวมและสัดส่วนที่ใช้ และ  
ต้องยืนยันความเหมาะสมด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการอย่างน้อยเดือนละ  
หนึ่งครั้ง

- (1) มวลรวมปกติและมวลรวมหนักต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-  
2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็น  
ส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- (2) มวลรวมเบา (lightweight aggregate) ต้องเป็นไปตาม BS EN 13055-1  
หรือ ASTM C330 หากมาตรฐานหลักไม่ครอบคลุม ให้ใช้อ้างอิง ASTM  
C331 C1761 และ C322 ได้เพิ่มเติม
- (3) มวลรวมรีไซเคิลประเภทคอนกรีตหยาบ (coarse recycled concrete  
aggregate หรือ RCA) ต้องเป็นไปตาม มอก. 566

7.1.3.2 มวลรวมต้องปราศจากดิน ดินเหนียว ดินร่วน ดินโคลน หินดินดาน หิน  
ที่เสื่อมสภาพ วัสดุอินทรีย์ สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ โดยมวลรวมต้องมีลักษณะ  
แข็งและแน่น

- 7.1.3.3 มวลรวมต้องไม่มีสิ่งใดที่ส่งผลต่อความทนทานของคอนกรีตในระยะยาว โดยสามารถอ้างอิงตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง เพื่อลดความเสี่ยงของปฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา (alkali-silica reaction) ที่เกิดขึ้น
- 7.1.3.4 การทดสอบต้องดำเนินการตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และผลการทดสอบต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานเหล่านั้นหรือเป็นไปตามข้อกำหนดอื่นที่ระบุไว้ โดยมาตรฐานการทดสอบต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 และ สทร. HSR-4007:2568 และมาตรฐานการทดสอบอื่น ๆ ที่น่าเชื่อถือ พร้อมส่งผลการทดสอบให้ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาตรวจสอบอย่างน้อยเดือนละหนึ่งครั้งเพื่อยืนยันความเหมาะสมของมวลรวม
- 7.1.3.5 ทรายบด (crushed sand) สามารถผสมกับทรายธรรมชาติในสัดส่วนที่ได้รับอนุมัติเพื่อให้ได้การกระจายตัวตามที่กำหนด และต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 7.1.3.6 ทรายสำหรับปูนและมอร์ตาร์ต้องเป็นไปตาม BS EN 13139 หรืออ้างอิงตาม ASTM C1329
- 7.1.3.7 มวลรวมหยาบต้องเป็นไปตามนิยามในมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 7.1.3.8 มวลรวมหยาบต้องผ่านการทดสอบการหดตัวจากการอบแห้งตาม BS EN 1367-4 โดยค่าการหดตัวต้องไม่เกิน 0.075% หรือใช้การทดสอบทางอ้อมตาม ASTM C157 ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีตแทน
- 7.1.3.9 ระดับซัลเฟตที่ละลายในกรด ( $\text{SO}_3$ ) ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 7.1.3.10 ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรด ( $\text{Cl}^-$ ) รวมกันทั้งหมดในส่วนผสมคอนกรีตต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนด

รายการคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน

- 7.1.3.11 ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$ ) รวมในส่วนผสมต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน
- 7.1.3.12 สมบัติด้านความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอของมวลรวมต้องสอดคล้องกับมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 7.1.3.13 ค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกินค่าที่กำหนดใน สทร. HSR-CT-2001:2568
- 7.1.3.14 หากส่วนผสมต้องการสมบัติทางความร้อนเฉพาะ มวลรวมต้องได้รับการคัดเลือกและทดสอบตาม BS EN 1367
- 7.1.3.15 มวลรวมแต่ละขนาดต้องจัดเก็บแยกกันในภาชนะที่มีพื้นคอนกรีตระบายน้ำได้หรือบนพื้นยกระดับเพื่อป้องกันการปนเปื้อนและสิ่งแปลกปลอม
- 7.1.3.16 ห้ามใช้มวลรวมที่ได้จากเถ้าหลังการเผาขยะ (incinerator bottom ash aggregate หรือ IBAA) ในคอนกรีตโพน
- 7.1.4 วัสดุองค์ประกอบ – น้ำ
  - 7.1.4.1 น้ำที่ใช้สำหรับผสมและบ่มคอนกรีตหรือปูนมอร์ตาร์ต้องสะอาด ปราศจากตะกอนหรือสิ่งเจือปนที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพหรือการก่อตัว ความทนทาน หรือคุณภาพโดยรวมของคอนกรีต โดยต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
  - 7.1.4.2 อนุญาตให้น้ำรีไซเคิลได้ หากมีการควบคุมและตรวจสอบให้เป็นตาม สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- 7.1.5 วัสดุองค์ประกอบ – สารผสมเพิ่ม (admixtures)
  - 7.1.5.1 สารผสมเพิ่มต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

7.1.5.2 การใช้สารผสมเพิ่มประเภทหน่วงการก่อตัว หรือเพิ่มการลดน้ำต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ

7.1.5.3 ผู้รับจ้างต้องประเมินสมบัติที่เป็นอันตรายของสารผสมเพิ่ม และจัดให้มีมาตรการด้านสุขภาพและความปลอดภัยที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บและใช้งาน

7.1.6 วัสดุองค์ประกอบ – เส้นใย

7.1.6.1 เส้นใยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 5.2.5 ของมาตรฐานนี้

7.1.7 วัสดุองค์ประกอบ – วัสดุเติม (additions)

7.1.7.1 ความเหมาะสมทั่วไปของวัสดุเติมประเภทที่ 2 ซึ่งคือวัสดุเติมที่มีสมบัติพอซโซลานิก (pozzolanic) หรือไฮดรอลิกแฝง (latent hydraulic) ตาม BS EN 206 ได้ระบุไว้ดังต่อไปนี้

- (1) เถ้าลอย (fly ash) ตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- (2) ซิลิกาฟุ้ง (silica fume) ตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- (3) ตะกรันเหล็กบดละเอียด (ground granulated blast furnace slag (GGBS)) ตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง
- (4) เมทาเคโอลิน (metakaolin) ตาม ASTM C618

7.1.7.2 ความเหมาะสมทั่วไปของวัสดุเติมประเภทที่ 1 ซึ่งก็คือ วัสดุที่เติมลงไปในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ (เช่น ความสามารถในการทำงาน ความแน่นทึบ) หรือให้สีสันทามระบุใน BS EN 206 เป็นดังต่อไปนี้

- (1) วัสดุเติมมวลรวมละเอียด (filler aggregate) ตาม มอก. 566 หรือตาม ASTM C330 ในกรณีที่มาตรฐานหลักไม่ครอบคลุม ให้ใช้อ้างอิงเพิ่มเติมจาก ASTM C331 C1761 และ C322 เพิ่มเติมได้
- (2) เม็ดสี (pigment) ตาม BS EN 12878 หรืออ้างอิงตาม ASTM C979

7.1.7.3 ความเหมาะสมทั่วไปของหินปูนบดละเอียด (limestone fines) ที่เป็นไปตาม มอก. 241 ได้รับการยอมรับให้สามารถใช้ร่วมกันกับวัสดุอื่นได้ตามข้อกำหนด ของ มอก. 15

#### 7.1.8 ส่วนผสมคอนกรีต

7.1.8.1 สมบัติและระดับความแข็งแรงของคอนกรีตที่ใช้ในแต่ละส่วนของงานต้อง เป็นไปตามที่ระบุในแบบหรือข้อกำหนดเฉพาะ และต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง และมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตใน งานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน

7.1.8.2 การเลือกออกแบบส่วนผสมและการควบคุมคุณภาพของส่วนผสมต้อง ดำเนินการโดยผู้รับจ้างหรือในนามของผู้ผลิต

7.1.8.3 หากต้องการให้ผิวคอนกรีตมีคุณภาพตามมาตรฐานควบคุมหรือคุณภาพสูง ต้องทำแผ่นคอนกรีตตัวอย่างทดสอบขึ้นก่อนล่วงหน้าอย่างน้อย 35 วัน ก่อนที่จะเริ่มงาน และต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและ คำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการแผ่นคอนกรีตตัวอย่างทดสอบจะถูก เก็บรักษาไว้ระหว่างการทำงานเพื่อใช้เป็นมาตรการเปรียบเทียบสำหรับการ ทำงานจริง

7.1.8.4 หากไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุหรือสมบัติของส่วนผสมคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบ ไว้ก่อนหน้า ต้องดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อสร้าง ส่วนผสมที่ตรงตามข้อกำหนดด้วยวัสดุที่มีอยู่ โดยการทดสอบต้องทำใน ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง หรือมีระบบคุณภาพที่ต้องได้รับการ พิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อน ดำเนินการ

7.1.8.5 ส่วนผสมทดลองในห้องปฏิบัติการต้องผ่านการทดสอบเพื่อยืนยันความ สอดคล้องกับมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการ คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟ ความเร็วสูง และมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนดรายการ คุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับ การรับน้ำหนักและความคงทน สำหรับสมบัติที่ต้องการทั้งหมดของการผสม



- 7.1.8.6 หากไม่มีการตกลงเป็นอย่างอื่นกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ต้องทำการทดสอบส่วนผสมในสภาพจริง และผ่านการทดสอบคอนกรีตสด ตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-4001 ถึง 4006 ที่หน้างานล่วงหน้าอย่างน้อย 35 วันก่อนเริ่มงาน และทดสอบคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วตามมอก. 409
- 7.1.8.7 ส่วนผสมของการทดลองภาคสนามต้องได้รับการทดสอบเพื่อกำหนดความ สอดคล้องภายใต้การประเมินทางสถิติตามที่กำหนดในมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็น ส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง และมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตในงาน ก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน โดย ต้องกำหนดค่าที่ยอมรับได้สำหรับขีดจำกัดของสมบัติที่ต้องการในระหว่างการ ทดลอง ซึ่งต้องนำไปใช้ในการตรวจสอบการควบคุมคุณภาพของส่วนผสมและ กำหนดค่ามาตรฐานในการตรวจสอบความสอดคล้องในระยะยาว
- 7.1.9 คอนกรีตผสมเสร็จ
- 7.1.9.1 การใช้คอนกรีตผสมเสร็จและแหล่งที่มาของคอนกรีตต้องได้รับการพิจารณา และอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.1.9.2 ห้ามเติมน้ำเข้าไปในคอนกรีตหลังจากผสมของรถขนส่งนอกโรงงานผสม ยกเว้นได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ ปรึกษาก่อนดำเนินการ และต้องดำเนินการภายใต้การควบคุมของผู้แทนผู้ผลิต หรือผู้จัดส่ง ณ สถานที่จัดส่ง
- 7.1.9.3 ระยะเวลาในการขนส่งและเทคอนกรีตต้องถูกประเมินอย่างละเอียด ต้องรวม ระยะทางการเดินทาง ความเสี่ยงของการจราจรล่าช้า โดยคอนกรีตต้องถูกเท ภายใน 2 ชั่วโมงหลังเติมน้ำ และช่วงเวลาระหว่างการเทคอนกรีตแต่ละรอบ ต้องไม่เกิน 30 นาที
- 7.1.9.4 ผู้รับจ้างต้องจัดเตรียมใบรับรองเพื่อแสดงว่าส่วนประกอบแต่ละส่วนของ ส่วนผสมเป็นไปตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ใบส่งมอบสินค้าสำหรับแต่ละชุด ต้องระบุชื่อส่วนผสมคอนกรีต ประเภทของซีเมนต์และปริมาณซีเมนต์ขั้นต่ำ ขนาดมวลรวมสูงสุด ระดับการใช้งานของส่วนผสม ระดับการสัมผัสสารเคมี ของคอนกรีต สารผสมที่ใช้ เวลาที่ผสมคอนกรีต และน้ำหนักของส่วนประกอบ ของส่วนผสมแต่ละส่วน รวมถึงข้อกำหนดอื่น ๆ ที่ระบุไว้



- 7.1.9.5 อุณหภูมิคอนกรีตก่อนเท เมื่อวัดตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-4004:2567 ต้องไม่เกิน  $35^{\circ}\text{C}$  หรือค่าที่วิศวกรกำหนดโดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.1.10 การผสมคอนกรีต
- 7.1.10.1 การควบคุมการผลิตคอนกรีตต้องสอดคล้องกับ มอก. 213
- 7.1.10.2 ส่วนประกอบทุกชนิดต้องมีการชั่งหรือตวงในขอบเขตที่กำหนดตาม มอก. 213
- 7.1.10.3 ใช้เฉพาะอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อจุดประสงค์เฉพาะและมีการปรับเทียบอย่างถูกต้องเท่านั้น ในกรณีที่อุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้ และได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาแล้ว สามารถใช้วิธีการกำหนดปริมาณอื่น ๆ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตได้ โดยต้องควบคุมคุณภาพเทียบเท่ามาตรฐานเดิม
- 7.1.10.4 ห้ามเติมน้ำหลังการผสม เว้นแต่ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.1.10.5 วัสดุต้องไม่ผ่านความร้อน เว้นแต่ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.1.10.6 การเสริมใยในส่วนผสมคอนกรีตต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะที่ออกแบบมา
- 7.1.11 การควบคุมคุณภาพ
- 7.1.11.1 ผู้รับจ้างต้องจัดทำแผนการจัดการคุณภาพคอนกรีตโดยการตรวจสอบและทดสอบ โดยที่ระดับของการตรวจสอบและทดสอบวัสดุที่จัดส่งต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา
- 7.1.11.2 การควบคุมความสอดคล้องของค่ากำลังรับแรงต้องดำเนินการตาม มอก. 213 และ มอก. 409 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบเพื่อแสดงความสอดคล้อง จะเป็นก้อนลูกบาศก์ ทรงกระบอก หรือปริซึม แต่ให้เหมาะสมกับมาตรฐานการทดสอบและตาม มอก. 213 และ มอก. 409
- 7.1.11.3 ตัวอย่างสำหรับทดสอบต้องได้รับการเตรียม บ่ม เก็บ ขนส่ง และทดสอบตาม มอก. 1736 และ มอก. 409 ห้ามใช้ตัวอย่างเฉพาะจุดหรือพื้นที่สำหรับการทดสอบค่ากำลังของคอนกรีต เพื่อลดความเสี่ยงในการวิเคราะห์ผิดพลาดจากตัวอย่างที่ได้ไม่ใช้ตัวแทนของกลุ่ม
- 7.1.11.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของลูกบาศก์จะยอมรับได้หากการวิเคราะห์เชิงสถิติตรงตามข้อกำหนดใน มอก. 409

- 7.1.11.5 คอนกรีตต้องผ่านการทดสอบสมบัติด้านความทนทานด้วยวิธีการดูซึมน้ำและการดูซึมน้ำผ่านรูพรุน โดยวิธีทดสอบที่เหมาะสม ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.1.11.6 ต้องดำเนินการทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว การยุบตัว การไหล หรือความสามารถในการเทคอนกรีต (workability) รวมถึงการทดสอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-(4001-4006):2567 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า โดยต้องดำเนินการตามความเหมาะสมระหว่างการผลิตคอนกรีตของงานโครงสร้างถาวรทั้งที่สถานีผสมและที่หน้างาน โดยระดับความสามารถในการเทต้องเป็นไปตามที่กำหนดหรือที่ได้จากการทดลองผสมคอนกรีตก่อนหน้า ค่าความคลาดเคลื่อนที่อนุญาตต้องเป็นไปตาม BS EN 206 ตัวอย่างที่ทดสอบเป็น ตัวอย่างแบบจุด หรือ ตัวอย่างแบบรวม ตามที่กำหนดใน มอก. 1736 เล่ม 1 และค่าความคลาดเคลื่อนจะถูกนำมาพิจารณาตามแต่ละกรณี
- 7.1.11.7 ต้องเก็บบันทึกข้อมูลวัสดุทั้งหมดทุกชนิดอย่างครบถ้วน และผู้รับจ้างต้องจัดเตรียมให้ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา
- 7.1.11.8 กรณีที่ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการควบคุมความสอดคล้องของพารามิเตอร์ทางกลเฉพาะของคอนกรีต มาตรฐานแผนการจัดการคุณภาพของผู้รับจ้างต้องมีข้อกำหนดเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของพารามิเตอร์เฉพาะเหล่านี้เป็นไปตามข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพตามที่ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาพึงพอใจ
- 7.1.11.9 ผู้รับจ้างต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพก่อนการผลิตและการผลิตที่ผู้ออกแบบและคำนวณกำหนด
- 7.2 ข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็ก
- ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับวัสดุเสริมแรง ได้แก่ เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กตะแกรงเสริม เส้นใย และวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ
- 7.2.1 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (steel bar reinforcement)
- 7.2.1.1 เหล็กเสริมสำหรับใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กต้องเป็นไปตาม มอก. 24, มอก. 20, มอก. 747, มอก. 737 ตามความเหมาะสม
- 7.2.1.2 เหล็กเสริมต้องมาจากผู้จัดจำหน่ายที่ได้รับการรับรองจากหน่วยรับรองคุณภาพเหล็กเสริม (Certification Authority for Reinforcing Steels) หรือ

หน่วยงานที่เชื่อถือได้ โดยผู้รับจ้างต้องจัดเตรียมสำเนาใบรับรองผลการทดสอบจากผู้ผลิต

7.2.1.3 เหล็กเสริมต้องเก็บในพื้นที่สะอาด แห้ง มีหลังคาคลุม และจัดวางบนชั้นหรือโครงรองรับเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม

7.2.1.4 การตัดและดัดเหล็กเสริมต้องเป็นไปตาม BS 8666

7.2.1.5 เลือกวิธีการผูกเหล็กที่ลดการใช้งานคีมแบบซ้ำ ๆ โดยลวดผูก (tying wire) ต้องเป็นลวดเหล็กอ่อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm และลวดที่ผูกต้องไม่ยื่นเข้าไปในพื้นที่ระยะคอนกรีตหุ้ม หากมีการเชื่อมเหล็กเสริมต้องดำเนินการตาม ISO 17660

7.2.1.6 หากสัญญาระบุ ผู้รับจ้างต้องจัดทำตารางดัดเหล็กตาม BS 8666

7.2.1.7 โครงเหล็กต้องเสริมความแข็งแรงเพิ่มเติมตามความจำเป็นเพื่อให้สามารถยกเคลื่อนย้ายได้

7.2.1.8 เหล็กเสริมที่ติดตั้งในรูจะบนคอนกรีตต้องยึดด้วยวัสดุเรซินชนิดแข็งตัวเร็วที่ผลิตโดยผู้ผลิตที่ได้รับการรับรอง และต้องดำเนินการตามแบบก่อสร้างและคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด ห้ามใช้เรซินชนิดพอลิเอสเตอ์ (polyester) และไฮบริดพอลิเอสเตอ์ (hybrid polyester) ในพื้นที่เปียกชื้นหรืองานใต้ดิน การเชื่อมต่อระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตดังกล่าวจะต้องผ่านการทดสอบ ณ สถานที่ติดตั้งจริง (in situ) เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของการยึดเหนี่ยว และต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการจริง

7.2.2 เหล็กตะแกรงเสริม (welded-wire fabric)

7.2.2.1 เหล็กตะแกรงเสริมต้องผลิตจากลวดเหล็กดัดแข็งตาม มอก. 747 และ มอก. 737 และต้องติดตั้งให้มั่นคงด้วยวิธีที่ตกลงร่วมกันไว้ ส่วนการต่อชนระหว่างแผ่นตะแกรงเหล็กเสริมเชื่อมแต่ละแผ่น ต้องมีระยะซ้อนทับกันอย่างน้อย 2 ช่องตาราง

7.2.3 การเสริมกำลังด้วยเส้นใย (fiber reinforcement)

7.2.3.1 เส้นใยเสริมต้องมาจากผู้จัดจำหน่ายที่ได้รับการรับรองตาม ISO 9001 และต้องมีการรับรองตาม CE ของประเทศอังกฤษตามระบบการตรวจสอบและยืนยันความคงที่ ของสมรรถนะ (Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP)) ระบบที่ 1 หรือตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

- 7.2.3.2 เส้นใยสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตที่เป็นไปตามมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง และมาตรฐาน สทร. HSR-CT-2002:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทนได้
- 7.2.3.3 คอนกรีตเสริมใยต้องผ่านการทดลองและทดสอบเพื่อยืนยันว่าตรงตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบและคำนวณก่อนนำไปใช้งาน การทดสอบความสามารถของคอนกรีตเสริมใยต้องสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบที่ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษากำหนด ข้อมูลประวัติของเส้นใยชนิดเดียวกันและปริมาณที่เคยใช้อาจใช้แทนการทดสอบได้ แต่ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.2.3.4 เส้นใยเหล็กต้องเป็นเหล็กเส้นที่ผ่านการขึ้นรูป (deformed steel fiber) ตาม BS EN 14889-1 กลุ่ม 1 (เหล็กดัดเย็น) หรืออ้างอิง ASTM C1116 และ ASTM A820
- 7.2.3.5 เส้นใยสังเคราะห์ขนาดใหญ่ (macro-synthetic fibre) ต้องเป็นไปตาม BS EN 14889-2 หรือ ASTM C1116
- 7.2.3.6 เส้นใยขนาดเล็ก (micro fiber) และเส้นใยอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับงานที่ไม่ใช่โครงสร้าง ต้องได้รับการรับรองตาม CE ของประเทศอังกฤษตามระบบการตรวจสอบและยืนยันความคงที่ ของสมรรถนะ (Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP)) ระบบ 3 หรือ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- 7.2.3.7 สามารถใช้เส้นใยชนิดอื่นแทนได้ หากผ่านการทดสอบพิสูจน์ประสิทธิภาพจนเป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพและต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ

- 7.2.3.8 การเก็บรักษา ขนส่ง การผสม และการใช้งาน ต้องดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยทั่วไป เส้นใยต้องเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่แห้งจนกว่าจะพร้อมใช้งาน และปราศจากสนิม น้ำมัน ไขมัน คลอไรด์ และวัสดุที่เป็นอันตราย ที่อาจส่งผลให้สมรรถนะของเส้นใยลดลง เช่น การกระจายตัว การพ่น หรือการยึดเกาะกับคอนกรีต
- 7.2.3.9 การเลือกวัสดุเส้นใย ประเภท และปริมาณของเส้นใยที่ใช้ ต้องเลือกให้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านสมรรถนะที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้างหรือข้อกำหนดเฉพาะ (specification) โดยต้องพิสูจน์ผ่านการทดลองในห้องปฏิบัติการ และต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.2.3.10 ชนิดและปริมาณของเส้นใยต้องเลือกโดยพิจารณาถึงการใช้งานจริงที่หน้างาน ประสิทธิภาพในการผสม และสมบัติของคอนกรีตตามที่พิสูจน์แล้วจากการทดลองหน้างาน (site trial)
- 7.2.3.11 การเติมและผสมเส้นใยต้องทำอย่างเหมาะสมเพื่อให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต โดยการทดสอบคอนกรีตต้องยืนยันว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอย่างสมบูรณ์ในส่วนผสม
- 7.2.4 วัสดุเสริมแรงที่ไม่ใช่โลหะ
- 7.2.4.1 เหล็กเสริมที่ไม่ใช่โลหะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ISO 10406
- 7.2.4.2 ต้องจัดซื้อจากผู้ผลิตที่ได้รับการรับรองตาม ISO 9001 หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า
- 7.2.4.3 ผู้ผลิตต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับ
- (1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง
  - (2) วัสดุของเส้นใย และวัสดุเมทริกซ์ (matrix) ที่คือวัสดุพื้นหลักที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มและยึดประสานเส้นใย ไว้ด้วยกันในระบบวัสดุคอมโพสิต (composite Material)
  - (3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความกว้าง และความหนา
  - (4) กำลังดึงลักษณะเฉพาะ (tensile strength) โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และค่าความเครียดประลัย (ultimate strain) ในทิศทางของเส้นใย
  - (5) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนสถานะของวัสดุ

## (6) สมบัติการยึดเกาะ (bond characteristics)

7.2.4.4 การเก็บรักษาและใช้งานต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยทั่วไปต้องเก็บในพื้นที่สะอาด แห้ง อยู่ภายใต้หลังคา และจัดเรียงบนชั้นวางตามความจำเป็น เพื่อป้องกันการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย

7.3 ข้อกำหนดสำหรับโครงเหล็กรับน้ำหนักแบบโค้ง (support arches) และคานเหล็กถัก (lattice girder)

ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับข้อกำหนดทั่วไป โครงเหล็กโค้ง และคานเหล็กถัก

7.3.1 ข้อกำหนดทั่วไปของโครงเหล็กสำหรับค้ำยันขั้นต้นต้องผลิตจากโรงงาน และต้องได้รับการตรวจสอบก่อนออกจากโรงงาน การผลิตโครงเหล็กต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

7.3.1.1 โครงเหล็กทำจากเหล็กเส้น เหล็กรูปพรรณ และอื่น ๆ ตามที่การออกแบบกำหนด ในกรณีของคานเหล็กถักให้ใช้คานเหล็กถักที่มีปมรูป "8"

7.3.1.2 โครงคานเหล็กถักต้องขึ้นรูปโดยการดัดแบบเย็น โดยเชื่อมเข้ากับแบบฟอร์มที่มีแบบวาดอ้างอิงในสัดส่วน 1:1 เพื่อควบคุมขนาด

7.3.1.3 โครงเหล็กต้องถูกแบ่งส่วนตามการออกแบบ และต้องทำการประกอบทดลองและระบุหมายเลขแต่ละชิ้น จำนวนของข้อต่อต้องลดให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

7.3.1.4 การเชื่อมโครงเหล็กต้องปราศจากรอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ และพื้นผิวรอยเชื่อมต้องปราศจากรอยแตกร้าว การเหลื่อมกันหรือซ้อนทับ และข้อบกพร่องอื่น ๆ

7.3.2 โครงเหล็กโค้ง (arch)

7.3.2.1 โครงเหล็กโค้ง แผ่นฐาน (base plates) เหล็กปล็อก (tie) และชิ้นส่วนเชื่อมต่อทั้งหมด ต้องผลิตจากเหล็กที่เป็นไปตาม BS EN 10025 โดยโครงเหล็กโค้งต้องรีดให้ตรงตามข้อกำหนดด้านขนาดที่ระบุในสัญญา และการเชื่อมต่อต้องสอดคล้องกับ BS EN 1011-1 หรือ AWS D1.1 การเจาะรูสำหรับเหล็กปล็อก แขนค้ำยัน (strut) และการเชื่อมด้วยสลักเกลียว (bolt) ต้องดำเนินการโดยการเจาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ตัดด้วยไฟหรือลนด้วยความร้อนสำหรับทั้งชิ้นงานชั่วคราวและถาวร

7.3.2.2 เหล็กปล็อกและค้ำยันแบบเกลียว (threaded tie rods and struts) ต้องมีความยาวเพียงพอเพื่อรองรับระยะระหว่างโครงเหล็กโค้ง และอนุญาตให้ยื่นเกินจากปลายนอตไม่เกิน 25 mm ที่แต่ละด้านที่ยื่นของนอต

- 7.3.2.3 สลักเกลียว (bolt) ที่ใช้สำหรับการต่อแบบใช้สลักเกลียว ต้องเป็นสลักเกลียว ชนิด “แบล็กโบลต์” (black bolt) ที่เป็นสลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม (hexagon bolt) ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบธรรมชาติ ไม่มีการเคลือบป้องกัน ตาม BS 4190 หรือตามความเหมาะสมของการเลือกใช้ชนิดของสลักเกลียว ทั้งนี้ต้อง ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ
- 7.3.2.4 ในกรณีที่ผู้รับจ้างเป็นผู้จัดหาโครงค้ำเหล็กเพื่อใช้ในการค้ำยันตามข้อกำหนด ของสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดเตรียมรายละเอียดขนาดของโครง รายงานคำนวณ แรงที่กระทำ และข้อมูลอื่น ๆ ตามที่ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ร้องขออย่างสมเหตุสมผล
- 7.3.2.5 โครงเหล็กชูปักลวดไนซ์ หากมีการระบุให้ใช้ต้องดำเนินการชูปตาม ISO 1461 โดยส่วนประกอบทั้งหมด รวมถึง ร็อด (rods) แผ่นประสาน (fish plates) น็อต (nuts) และสลักเกลียว (bolts) ต้องชูปักลวดไนซ์
- 7.3.2.6 เมื่อใช้โครงเหล็กโค้ง (arches) และโครงซี่เหล็ก (ribs) ใช้เพื่อรองรับแผ่นค้ำ ยันดิน (lagging boards) โครงต้องเป็นโครงเหล็กสำเร็จรูป โดยรูปร่างของ หน้าตัดต้องเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบและคำนวณกำหนด เหล็กที่ใช้ในโครงค้ำ ต้องเป็นชนิด S355JO ตาม BS EN 10025-2 หรือเหล็กที่มีสมบัติทางกลไม่ต่ำ กว่า และต้องมีค่ากำลังดึง (tensile strength) ไม่น้อยกว่า 550 MPa
- 7.3.3 คานเหล็กถัก (lattice girder)
- 7.3.3.1 คานเหล็กถักต้องประกอบด้วยเหล็กเส้นหลัก (primary bars) ที่เชื่อมต่อกัน ด้วยชิ้นส่วนเสริมสติฟเนส (stiffening elements) หรือการวางเหล็กเส้นใน แนวเฉียงหรือขวางระหว่างเหล็กหลัก ตามแบบของผู้ผลิตหรือแบบที่แสดงใน แบบก่อสร้าง
- 7.3.3.2 ชิ้นส่วนเสริมสติฟเนสแรง ต้องให้โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia) อย่างน้อย 5% ของโมเมนต์ความเฉื่อยรวมของคานเหล็กถัก โดยค่านี้เป็น ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงความยาวเดิมของตะแกรง เพื่อให้โครงมีเสถียรภาพต่อการ โกงเดาะ (buckling) ระยะห่างระหว่างชิ้นส่วนเสริมแต่ละตัวต้องไม่เกิน 3 เท่า ของความสูงหน้าตัดของคาน
- 7.3.3.3 ขนาดและค่าความคลาดเคลื่อนของคานเหล็กถัก ต้องผลิตให้ตรงตามระยะ และค่าความคลาดเคลื่อนขั้นต่ำที่กำหนด โดยพิจารณาจาก ความแม่นยำใน

การติดตั้ง ค่าความคลาดเคลื่อนในการผลิต และการเสียรูปของคานเหล็กกล้า ภายหลังการติดตั้ง ก่อนการติดตั้ง โครงคานแต่ละชุดต้องได้รับการตรวจสอบตามที่ระบุในข้อ 7.3.3.4 ด้านล่าง และบันทึกค่าการวัดพร้อมกับข้อคิดเห็นที่เกี่ยวข้อง การเปลี่ยนแปลงความถี่ในการตรวจสอบต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา หลังจากพิจารณาผลการตรวจสอบครั้งที่ผ่านมา

**7.3.3.4 เกณฑ์การตรวจสอบคานเหล็กกล้าแต่ละชุดการตรวจสอบ และแต่ละชุดต้องตรวจสอบตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้**

- (1) โครงคานเหล็กกล้าต้องมีการระบุประเภทและรหัสอ้างอิงที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างชัดเจน
- (2) ความยาวของคานเหล็กกล้า สามารถคลาดเคลื่อนได้  $\pm 25$  mm และความสูงของโครงคานสามารถคลาดเคลื่อนได้  $\pm 15$  mm ต้องเป็นไปตามแบบก่อสร้างและอยู่ภายในค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้
- (3) ตำแหน่งที่ต่อกัน เช่น เหล็กเส้นตรงหรือเหล็กโค้ง สไปเดอร์ (spiders) หรือองค์ประกอบเหล็กเสริมรูปตัว “แมงมุม” และไซน์ซอยด์ (sinusoidals) หรือองค์ประกอบเหล็กเสริมที่มีรูปร่างเป็นลักษณะคลื่นไซน์ (sine wave) ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและมีการเชื่อมที่มั่นคง
- (4) ประเภทและขนาดของเหล็กเสริมและแผ่นเหล็ก ต้องตรงตามที่ระบุไว้ในแบบ

**7.3.3.5 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม โดยการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมต้องปฏิบัติตามเกณฑ์ดังนี้**

- (1) แนวเชื่อมต้องปราศจากรอยกัดเซาะใต้แนวเชื่อม (undercut) ที่ลึกเกินกว่า 1 mm
- (2) เนื้อโลหะที่เชื่อมต้องมีลักษณะสม่ำเสมอ เรียบเนียน และเชื่อมเข้ากับเหล็กเส้นได้อย่างกลมกลืน
- (3) แนวเชื่อมต้องปราศจากรอยร้าว (crack) และฟองอากาศ (porosity)

**7.3.3.6 การตรวจสอบความยาวของคอร์ด (chord) โดยวัดระยะจากขอบนอกของแผ่นเชื่อมที่ปลายด้านหนึ่งไปยังตำแหน่งที่สอดคล้องกันบนแผ่นเชื่อมอีกปลายหนึ่ง การวัดต้องมีความแม่นยำถึงระดับมิลลิเมตร**



- 7.3.3.7 การตรวจสอบความสูงของคอร์ต ความสูงของแกนคานให้วัดจากขอบด้านในของเหล็กเส้นหลักช่วงบริเวณหลังคาอุโมงค์ ไปยังแกนที่ลากเชื่อมระหว่างขอบด้านนอกของแผ่นปลายทั้งสองด้าน และวัดให้ละเอียดถึงระดับมิลลิเมตร ในกรณีที่ตะแกรงประกอบด้วยรัศมีโค้งสองช่วง (double radius) ให้วัดตามแนวขอบนอกของแผ่นต่อถึงจุดที่รัศมีเปลี่ยนแปลง
- 7.3.3.8 ค่าคลาดเคลื่อนยินยอมของคานเหล็กถัก ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้
- (1) คานเหล็กถักที่ติดตั้งแล้วต้องไม่เบี่ยงเบนจากรูปทรงและตำแหน่งตามแบบมากกว่า -0 mm และ +50 mm
  - (2) การผลิตคานเหล็กถักต้องมีการเผื่อค่าการการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปของมวลดินหรือหินโดยรอบอุโมงค์ที่เพิงขุดเจาะออกไป 10 mm
- 7.3.3.9 ข้อกำหนดการผลิตเหล็กเส้นหลัก (primary bars) ของแต่ละชิ้นส่วนคานเหล็กถักต้องทำจากเหล็กเส้นกลมเรียบ (plain round profile) หรือเหล็กข้ออ้อยกำลังสูง (deformed high-yield steel) ตาม มอก. 20 และมอก. 24 (โดยมีเกรดขั้นต่ำคือ 500 ตาม BS 4449) โดยต้องเป็นเหล็กเส้นเดียวต่อหนึ่งชิ้นงาน ส่วนเหล็กเส้นรอง (secondary bars) ก็ต้องเป็นเหล็กประเภทเดียวกัน ทั้งนี้เหล็กทั้งหมดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน Specification Series 1800: Structural Steelwork
- 7.3.3.10 ชิ้นส่วนเชื่อมต่อที่ปลายของแต่ละชิ้นส่วนคานเหล็กถัก ต้องทำจากเหล็กแผ่นเรียบหรือเหล็กฉากตาม BS EN 10025 เกรด S275JR ห้ามเชื่อมต่อแต่ละชิ้นต้องใช้สลักเกลียวตามแบบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เชื่อมแต่ละชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน ส่วนสลักเกลียวและนอตที่ใช้ต้องเป็นเกรด 8.8 หรือสูงกว่า หรือต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติเกี่ยวกับการเลือกใช้จากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ
- 7.3.3.11 การเชื่อมทั้งหมดต้องดำเนินการตาม BS EN 1011-1 ตาม AWS D1.1 ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมและสถานประกอบการต้องได้รับการรับรองจาก UK Certification Authority for Reinforcing Steels (CARES) หรือหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ

- 7.4 ข้อกำหนดวัสดุค้ำยันอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ (spile) ร็อกเดาเอ็ล (rock dowel) สลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) เหล็กฝังยึดหิน (rock anchor) ฟอว์โพลิง (forepoling) และแผ่นค้ำยันดิน (lagging boards)
- 7.4.1 ข้อกำหนดการค้ำยันอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์และท่อแคนอปี (canopy tube)
- 7.4.1.1 ข้อกำหนดของเหล็กค้ำยันอุโมงค์ด้วยเหล็กสไปล์ต้องเป็นวัสดุประเภทใดประเภทหนึ่ง ดังต่อไปนี้
- (1) เหล็กเส้นหรือเหล็กท่อที่มีความหนาของผนังไม่น้อยกว่าที่กำหนดในแบบก่อสร้าง และผลิตจากเหล็กตาม BS 4449 หรือตาม มอก. 20 และ มอก. 24
  - (2) แท่งหรือท่อที่ผลิตจากวัสดุไฟเบอร์กลาสเสริมแรง (glass reinforced plastic หรือ GRP) ซึ่งมีความหนาของผนังท่อไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในแบบก่อสร้าง
- 7.4.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กสไปล์ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุในแบบก่อสร้าง
- 7.4.1.3 เหล็กสไปล์ทั้งแบบเจาะล่วงหน้าและเจาะด้วยตนเองต้องมีการเกรดท์ หากใช้ปูนเกรดท์สำหรับการติดตั้งเหล็กสไปล์ ปูนเกรดท์ดังกล่าวต้องเหมาะสมกับสภาพดินและมุมเอียงของเหล็กสไปล์
- 7.4.1.4 หากมีการใช้ปูนเกรดท์ ข้อกำหนดเกี่ยวกับสมบัติและวิธีการต้องเป็นไปตามที่ระบุในหัวข้อนี้ข้อที่ 7.6
- 7.4.2 ข้อกำหนดร็อกเดาเอ็ล (rock dowel)
- 7.4.2.1 ร็อกเดาเอ็ลต้องเป็นวัสดุประเภทใดประเภทหนึ่ง ดังนี้
- (1) เหล็กเส้นแบบไม่ตึงแรง (untensioned) ที่มีเกลียวที่ปลายด้านหนึ่ง พร้อมแผ่นหน้ารับ (face plate) แผ่นชิม (shim plates) และแหวนรองแบบเบ้ารูปกรวย (conical-seated washer) กับนอต (nut)
  - (2) ท่อเหล็กแบบผ่า (split) หรือท่อเหล็กข้ออ้อย (deformed)
  - (3) แท่งเรซินเสริมใยแก้ว
- 7.4.2.2 เหล็กเส้นต้องเป็นเหล็กเกรด SD50 ชนิดเหล็กข้ออ้อย ซึ่งเป็นไปตาม BS 4449 หรือตาม มอก. 24 ส่วนปลายเหล็กที่มีเกลียว (threaded parts of bars) นอต (nuts) และตัวรองรับ (seatings) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ BS 4190 แผ่นรองรับ (face plates) ต้องมีลักษณะเป็นจานเว้า (dish shape)

ทำจากเหล็กตามมาตรฐานที่เหมาะสม และต้องมีบาร์รองรับทรงครึ่งวงกลม พร้อมช่องตรงกลาง เพื่อให้เข้ากันได้กับขนาดของเหล็กกร็อกเดาเอ็ล

7.4.2.3 ในกรณีที่ต้องการการป้องกันการกัดกร่อน (corrosion protection) เหล็กเส้น และชิ้นส่วนประกอบต้องได้รับการป้องกันสนิม และปลายที่มีเกลียวต้องมี ฝาปิด (end cap)

7.4.2.4 น้ำปูนซีเมนต์สำหรับการเกราดินเหล็กกร็อกเดาเอ็ล ต้องเป็นไปตาม มอก. 15 และในกรณีที่มีวัสดุผสมอื่น ต้องอ้างอิงตาม มอก. 2135 สำหรับถาลอย มอก. 241 สำหรับปูนขาว และ ASTM C989 สำหรับตะกรันเหล็กบด โดย เลือกตามความเหมาะสมกับสถานการณ์และสภาพแวดล้อม ปูนซีเมนต์ต้องมี อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น เกราด์หนืด ตัวเมื่อหยุดไหล (thixotropic grouting) หรือการเกราดินที่สามารถสูบได้ และ ต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดลักษณะเฉพาะตามที่ระบุใน 4.4.3 ห้ามใช้สารผสม เพิ่มที่มีส่วนผสมของคลอไรด์ สารผสมเพิ่มชนิดอื่น เช่น สารเพิ่มความเหลว (plasticiser) หรือสารขยายตัว (expanding agents) ตาม BS EN 480 หรือ อ้างอิงสารผสมเพิ่มในปูนมอร์ตาร์ตาม ASTM ที่เทียบเท่า เช่น ASTM C403 C232 C1585 C566 C1702 C457 C1152 C1218 C114 C270 C305 C1384 และ G109 อนุญาตให้ใช้ได้ โดยต้องได้รับการอนุมัติจากผู้ออกแบบและ คำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนการใช้งาน

7.4.2.5 ในกรณีใช้ปูนเรซิน (resin-based grouts) ต้องจัดทำรายละเอียดทั้งหมด เกี่ยวกับเรซิน รวมถึง ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และต้องได้รับการพิจารณาและ อนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ โดยปูนเร ซินต้องผ่านการทดสอบตาม BS 6319 หรืออ้างอิงตาม ASTM C579 C580 C307 C882 C1181 C531 D696 D2990 และ D695

7.4.3 ข้อกำหนดสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt)

7.4.3.1 สลักเกลียวยึดหิน โดยทั่วไปมักติดตั้งในลักษณะแบบไม่มีการดึงแรงล่วงหน้า (passive installation) อย่างไรก็ตาม ในกรณีเฉพาะทางหรือพิเศษ อาจ จำเป็นต้องใช้แบบมีดึงแรง (active installation) ซึ่งมีการดึงแรงก่อนใช้งาน (prestressed) พร้อมส่วนยาวที่ยึดติด (debonded free length) เพื่อให้ การรับแรงเกิดขึ้นทันทีและป้องกันการวิบัติของชั้นหินเพิ่มเติม ทั้งนี้ต้องได้รับ

การพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ โดยวัสดุที่ใช้ในการผลิตสลักเกลียวยึดหินต้องประกอบไปด้วย

- (1) เหล็กเส้นตันแบบเป็นข้ออ้อยตาม มอก. 24 หรือเหล็กแท่งเกลียวที่มีเกรดความแข็งแรง 500/600 MPa หรือ 670/800 MPa
- (2) เหล็กกลวงแบบเจาะด้วยตัวเอง (self-drilling hollow steel bar) ที่มีเกรดความแข็งแรง 500/600 MPa
- (3) ท่อเหล็กแบบมีรอยบากพร้อมปลายเรียว หรือท่อเหล็กพับที่สามารถขยายตัวได้ด้วยการฉีดน้ำแรงดันสูงระหว่างการติดตั้ง
- (4) แท่งเรซินไฟเบอร์กลาสเสริมแรง (glass-fibre-reinforced resin rods) ทั้งชนิดตันและกลวง

หมายเหตุ: วัสดุประเภท (1) เท่านั้นที่สามารถทำให้เป็นแบบไม่ยึดติด (debonded) ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานในลักษณะการรองรับแบบมีแรงดึง (active support) วัสดุอื่นนอกเหนือจากนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ

7.4.3.2 วัสดุและส่วนประกอบของสลักเกลียวยึดหิน ต้องมีการเคลือบป้องกันการกัดกร่อน และส่วนปลายที่มีเกลียวต้องปิดด้วยฝาปิด (end cap) เพื่อป้องกันการเกิดสนิม

7.4.3.3 แผ่นรองหน้าของสลักเกลียวยึดหิน ต้องเป็นเหล็กที่มีลักษณะเว้าแบบจาน (dish shape) ตามมาตรฐานที่เหมาะสม และต้องมีฐานรองรับแบบทรงครึ่งกลม (hemispherical seating) ร่องกลาง (centralised slot) ที่ตรงตามขนาดของสลักเกลียวยึดหินที่ใช้งาน

7.4.3.4 ปูนซีเมนต์สำหรับเกรตต์ที่ใช้กับสลักเกลียวยึดหิน ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด 7.4.2.4

7.4.3.5 รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้เกรตต์ชนิดเรซิน ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด 7.4.2.5

7.4.4 ข้อกำหนดเหล็กฝังยึดหิน (rock anchor)

7.4.4.1 เหล็กฝังยึดหินเป็นระบบที่ติดตั้งในสถานการณ์เฉพาะ โดยทั่วไปมักใช้ในพื้นที่ที่ต้องรับน้ำหนักสูง หรือบริเวณที่ต้องการการยึดเหนี่ยว เช่น การยึดเพื่อเสถียรภาพของลิมหิน (rock wedge)

- 7.4.4.2 เหล็กฝังกียึดหินในหินประกอบ โดยแบ่งออกเป็นช่วงยึดติดซึ่งฝังอยู่ในโซนที่มั่นคง และในช่วงที่ไม่มีการยึดติด โดยทั่วไปเหล็กฝังกียึดหินจะรับน้ำหนักมาก และมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 10 – 30 m
- 7.4.4.3 วัสดุของลวดเสริมกำลัง (anchor tendon) ต้องประกอบด้วยวัสดุต่อไปนี้
- (1) เหล็กเส้นชนิดแท่ง (steel bar) ที่มีเกรดความแข็งแรง 950/1050 MPa (สำหรับเหล็กอัดแรงล่วงหน้า) 670/800 MPa (สำหรับเหล็กเส้นกำลังสูง) หรือ 500/600 MPa (สำหรับเหล็กเส้นมาตรฐาน)
  - (2) ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง (steel strand) ที่มีเกรด 1770/1500 MPa 1820/1545 MPa หรือ 1860/1600 MPa
- 7.4.4.4 การป้องกันการกัดกร่อนสำหรับเหล็กฝังกียึดหิน การป้องกันการกัดกร่อนต้องพิจารณาจากอายุการใช้งานและระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปหากอายุการออกแบบไม่เกิน 5 ปี จะถือว่าเป็นการใช้งานชั่วคราว สำหรับเหล็กฝังกียึด (anchor) ประเภทชั่วคราวนี้ ต้องมีการประเมินความทนทานตามขั้นตอนที่ระบุไว้ใน BS EN 1537 หรือตาม ASTM A981 D3689 และ D4435 หรือ PTI Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors และหากผลการประเมินระบุว่าเกิดการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นไม่ทำให้เหล็กฝังกียึดขาดหรือเสียหาย การป้องกันการกัดกร่อนอาจไม่จำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา
- 7.4.4.5 หากอายุการออกแบบมากกว่า 5 ปี หรือสภาพแวดล้อมของดินที่มีสมบัติทางเคมีเป็นอันตรายและเสี่ยงสูงต่อความล้มเหลว ต้องมีการจัดให้มีระบบป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสมตามข้อกำหนด
- 7.4.4.6 มาตรการป้องกันการกัดกร่อน ต้องสามารถสร้างแนวกันทางกายภาพครอบคลุมทุกส่วนของเหล็กฝังกียึดหินที่รับแรงดึง รวมถึงบริเวณหัวเหล็กฝังกียึด และบริเวณที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมในดิน โดยแนวกันนี้ต้องยังคงมีสภาพสมบูรณ์แม้หลังจากติดตั้งแล้ว โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างของแผ่นรองรับแรง (bearing plate) ซึ่งเป็นจุดที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนมากที่สุด
- 7.4.4.7 รูปแบบการป้องกันการกัดกร่อนที่สามารถเลือกใช้ ได้แก่

- (1) การป้องกันการกัดกร่อนสองชั้นตาม BS 8081 หรือ PTI Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors เหมาะสำหรับงานถาวร
- (2) การป้องกันการกัดกร่อนชั้นเดียวเหมาะสำหรับงานชั่วคราว แต่ในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมกัดกร่อนรุนแรง การป้องกันชนิดนี้อาจไม่มีประสิทธิภาพมากพอ แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มเติม
- (3) การเคลือบอีพ็อกซี (epoxy coating) ซึ่งให้การป้องกันที่มีประสิทธิภาพสูงหากเคลือบได้สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ผิวเคลือบนี้อ่อนแอต่อความเสียหาย ดังนั้นเหล็กฝังยึดที่เคลือบอีพ็อกซีต้องได้รับการขนย้ายและติดตั้งอย่างระมัดระวังอย่างยิ่ง

**7.4.4.8** การซุบกลวไนซ์และการใช้วัสดุเพื่อความหนาเพื่อการกัดกร่อน (sacrificial corrosion allowance) ให้การป้องกันเพียงระยะเวลาจำกัดเท่านั้น นอกจากนี้การอัดปูนเกรตในรูเจาะ แม้มีประโยชน์ในบริเวณที่มีการหุ้มแขนค้ำยัน (strut) อยู่ แต่ไม่สามารถเชื่อถือได้ว่าเป็นกลไกการป้องกันการกัดกร่อนที่ครอบคลุมครบถ้วน เนื่องจากไม่สามารถรับประกันความสมบูรณ์และระดับการห่อหุ้มของมันได้

**7.4.4.9** สมอบก (ground anchor) ต้องได้รับการประเมินและทดสอบทั้งในระยะต้นแบบและหลังการติดตั้ง โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ โดยใช้ขั้นตอนและคำแนะนำตาม BS EN 1537 หรือตาม ASTM A981 D3689 และ D4435 หรือ PTI Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors

**7.4.5** ข้อกำหนดฟอร์โพลิง (forepoling) และแผ่นค้ำยันดิน (lagging boards)

**7.4.5.1** ฟอร์โพลิงและแผ่นค้ำยันดินที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ ต้องเป็นแผ่นเหล็กทรงชุด (steel trench sheets) หรือแผ่นฟอร์โพลิงแบบพิเศษ รูปร่างและน้ำหนักของแผ่นเหล่านี้ต้องเพียงพอต่อการป้องกันไม่ให้เกิดการโก่งงอหรือบิดเบี้ยวระหว่างการติดตั้ง ต้องสามารถให้แรงรองรับที่เพียงพอต่อหน้าดินที่รองรับอยู่ และแผ่นเหล่านี้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะติดตั้งได้โดยไม่ต้องมีการเจาะนำมาก่อน

7.4.5.2 ในกรณีที่มีการคาดการณ์ว่าต้องใช้ฟอร์โพลิงและแผ่นค้ำยันดิน ผู้รับจ้างต้องตกลงกับผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา เกี่ยวกับลำดับขั้นตอนการก่อสร้างโดยละเอียดและวัสดุทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

7.4.5.3 ห้ามใช้ฟอร์โพลิงและแผ่นค้ำยันดินเป็นวิธีรองรับดินเพียงวิธีเดียว

หมายเหตุ: โดยข้อกำหนดสมบัติทางกลของเหล็กในด้านการรับแรง ถูกกำหนดด้วย กำลังดึงสูงสุด (tensile strength) ต่อกำลังคราก (yield strength) เช่น 1860/1600 MPa คือ กำลังดึงสูงสุด 1860 MPa ต่อกำลังคราก 1600 MPa

7.5 ข้อกำหนดวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตพ่น

ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมเนื้อหาข้อกำหนดทั่วไป ข้อกำหนดวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตพ่น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และตะกรันเตาถลุงบดละเอียด ซิลิกาฟูม วัสดุประสานและวัสดุเติม มวลรวม น้ำ สารผสมเพิ่ม ความสม่ำเสมอ กำลังและคุณภาพ เส้นใย และชั้นปรับระดับหรือชั้นปรับพื้นผิว

7.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

7.5.1.1 ข้อกำหนดที่ระบุในส่วนนี้ครอบคลุมถึงการใช้งานคอนกรีตพ่นทั้งแบบชั่วคราวและถาวร

7.5.1.2 มาตรฐานนี้กำหนดสำหรับการใช้คอนกรีตพ่นแบบผสมเปียก อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจอนุญาตให้ใช้คอนกรีตพ่นแบบผสมแห้งได้ หากสามารถควบคุมการปล่อยฝุ่นละอองได้อย่างเหมาะสม

7.5.1.3 คอนกรีตพ่นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 7.1 ของมาตรฐานฉบับนี้

7.5.1.4 การลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองต้องพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม และต้องแสดงให้เห็นถึงการควบคุมฝุ่นที่มีประสิทธิภาพในระหว่างการทดลองพ่น

7.5.1.5 โดยการควบคุมฝุ่นต้องมีแผนระบายอากาศเฉพาะงานพ่นและ/หรืองานดักฝุ่น และตรวจวัดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matters หรือ PM) ระหว่างการทดลองพ่นหรือการทำงานพ่นคอนกรีตพ่น

7.5.2 ปูนซีเมนต์

7.5.2.1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ สทร. HSR-CT-2001:2568 หรือหากใช้เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (hydraulic cement) ต้องอ้างอิงตาม มอก. 2594 หรือมาตรฐานสากลและต้องเหมาะสมกับการใช้งานในคอนกรีตพ่น

### 7.5.3 เถ้าลอย และตะกอนเตาถลุงบดละเอียด

7.5.3.1 เถ้าลอยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ และตะกอนเตาถลุงบดละเอียดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ สทร. HSR-CT-2001:2568 และวัสดุดังกล่าวสามารถใช้เป็นส่วนผสมร่วมในคอนกรีตพ่นได้โดยไม่ขัดต่อข้อกำหนด

### 7.5.4 ซิลิกาฟุ่ม

7.5.4.1 ซิลิกาฟุ่มต้องได้รับการรับรองตาม BS EN 13263 หรืออ้างอิงตาม ASTM C1240

7.5.4.2 สมบัติทางเทคนิคของซิลิกาฟุ่มต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- (1) ปริมาณซิลิกา (silicon dioxide หรือ silica ( $\text{SiO}_2$ )) โดยน้ำหนักแห้ง ต้องไม่น้อยกว่า 85%
- (2) ปริมาณซิลิกาในรูปธาตุต้องไม่เกิน 0.4% (โดยน้ำหนักแห้ง) และต้องไม่มีวัสดุที่เป็นอันตราย เช่น ควอตซ์ สนิม หรือเส้นใยเซลลูโลส
- (3) พื้นที่ผิวจำเพาะต้องไม่น้อยกว่า  $15,000 \text{ m}^2/\text{kg}$
- (4) ปริมาณคาร์บอนต้องไม่เกิน 2% และปริมาณต่างรวมในรูปโซเดียมออกไซด์ (sodium oxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ )) ต้องไม่เกิน 2%
- (5) ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (sulfur trioxide ( $\text{SO}_3$ )) โดยน้ำหนักแห้ง ต้องน้อยกว่า 2%
- (6) ค่าพีเอช (potential of hydrogen (pH)) ต้องอยู่ระหว่าง  $5.5 \pm 1.0$
- (7) ความหนืดต้องอยู่ที่ 20 วินาที วัดด้วยถ้วยวัดความหนืดขนาด 4 mm ตามใบรับรองผลิตภัณฑ์ (Agrément Certificate) ที่ออกโดย British Board of Agrément (BBA) โดย ใบรับรอง BBA 85/1568 เป็นใบรับรองเฉพาะที่ออกให้กับผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า Sika Ltd. Sikacrete L Slurry หรือตาม ASTM D2196 และความหนาแน่นสัมพัทธ์ต้องอยู่ระหว่าง 1.3 ถึง 1.4
- (8) ค่าดัชนีความสามารถในการทำปฏิกิริยา (activity index) หรือดัชนีที่ใช้วัดความสามารถของเถ้าลอยหรือวัสดุปอซโซลานในการเพิ่มกำลังอัดของมอร์ตาร์ เมื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ต้องไม่น้อยกว่า 100% หลังจาก 28 วัน

7.5.4.3 การทดสอบเพื่อยืนยันการเป็นไปตามข้อ 7.5.4.2 ต้องดำเนินการทดสอบอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง



- 7.5.4.4 การจัดเก็บและการจัดการซิลิกาฟุ้งในรูปแบบสลอร์รี่ (slurry) ต้องมีการกวนอย่างสม่ำเสมอด้วยปั๊มก่อนการใช้งาน เพื่อป้องกันการตกตะกอน
- 7.5.4.5 ความเข้ากันได้ของซิลิกาฟุ้งและสารผสมเหลวต้องได้รับการยืนยันด้วยการทดสอบการเสื่อมสภาพแบบเร่ง (accelerated testing) โดยวิธีการทดสอบต้องได้รับการยอมรับจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา
- 7.5.5 วัสดุประสานและวัสดุเติมอื่น ๆ
  - 7.5.5.1 วัสดุประสานและวัสดุเติมชนิดอื่นสามารถนำมาใช้ได้ ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องผ่านการทดสอบอย่างเหมาะสมและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ
- 7.5.6 มวลรวม
  - 7.5.6.1 มวลรวมสำหรับคอนกรีตพื้นต้องเป็นไปตามข้อกำหนด สทร. HSR-CT-2001:2568 และข้อ 7.1 ของมาตรฐานนี้
  - 7.5.6.2 ขนาดเม็ดมวลรวมน้อยที่สุด (maximum nominal particle size) ต้องไม่เกิน 10 mm เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา การจัดส่วนละมวลรวม (combined grading) ต้องตรวจสอบด้วยการทดลองสูบและพ่น (pumping and spraying trial)
  - 7.5.6.3 มวลรวมต้องได้รับการตรวจสอบปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาระหว่างต่างและมวลรวมกับสารประสาน และสารผสม โดยเฉพาะสารเร่ง มวลรวมต้องผ่านการตรวจสอบเพื่อป้องกันปฏิกิริยาเคมีตามมาตรฐาน สทร. HSR-4007:2568 มาตรฐานการทดสอบความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (ทดสอบโดยแท่งทดสอบมอร์ตาร์) สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูงหรือมาตรฐานอื่นที่ครอบคลุมโดยทั้งนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาโครงการ เช่น ปฏิกิริยาแอลคาไล-มวลรวม (alkali-aggregate reaction (AAR)) โดยเฉพาะเมื่อใช้งานร่วมกับวัสดุประสานชนิดไฮดรอลิกแฝง (latent hydraulic binders) และสารผสมเร่งการก่อตัว
  - 7.5.6.4 ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้น (moisture probe) เพื่อติดตามความชื้นของมวลรวมแต่ละส่วนอย่างต่อเนื่อง
- 7.5.7 น้ำ
  - 7.5.7.1 น้ำที่ใช้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 7.1.4 ของมาตรฐานเล่มนี้

## 7.5.8 สารผสมเพิ่ม

- 7.5.8.1 สารผสมสามารถใช้ในคอนกรีตพ่นได้ โดยต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ และการลดอันตรายของสารผสมเพิ่มให้เหลือน้อยที่สุด ต้องเป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์ในการคัดเลือกสารผสมเพิ่มนั้นๆ
- 7.5.8.2 สารผสมเพิ่มต้องปราศจากคลอไรด์ โดยปริมาณคลอไรด์ต้องไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนักของสารผสมเพิ่ม
- 7.5.8.3 ค่าคุณลักษณะที่ต้องการและความสม่ำเสมอในการจัดส่งไปยังหน้างานต้องทำเป็นลายลักษณ์อักษร ระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้งานก่อนเริ่มงานพ่นคอนกรีต การเก็บรักษาและวิธีการใช้งานสารผสมเพิ่มต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- 7.5.8.4 ต้องมีเอกสารยืนยันเกี่ยวกับความเข้ากันได้ของสารผสมเพิ่มกับน้ำผสมที่ใช้ ก่อนเริ่มการทดลองในหน้างาน
- 7.5.8.5 ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (sulfur trioxide ( $\text{SO}_3$ )) ต้องไม่เกิน 4.8% โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทั้งหมด
- 7.5.8.6 สำหรับสารเร่งการก่อตัวต้องเป็นแบบของเหลวเท่านั้น ยกเว้นในกรณีของส่วนผสมแบบแห้งสำเร็จรูปที่บรรจุถุง ซึ่งมีสารเร่งในรูปผงผสมอยู่แล้ว
- 7.5.8.7 ใช้เฉพาะสารเร่งที่ปราศจากด่างโดยมีค่าพีเอช ระหว่าง 2.0–8.0 และปริมาณด่างน้อยกว่า 1% โดยน้ำหนักในรูปโซเดียมออกไซด์ (sodium oxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ ))
- 7.5.8.8 การใช้สารเร่งการก่อตัวในงานคอนกรีตพ่นต้องใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น โดยปริมาณต้องผ่านการทดลองในหน้างานและต้องไม่เกิน 8% โดยน้ำหนักของวัสดุซีเมนต์ทั้งหมด หากจำเป็นต้องใช้ปริมาณสารเร่งการก่อตัวเกินกว่านี้ ต้องมีการประเมินผลกระทบต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดในระยะกลางและระยะยาวของคอนกรีตพ่นหล่อในที่ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่นที่ใช้สารเร่งการก่อตัวต้องไม่ต่ำกว่า 0.7 เท่าของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่นที่ไม่ได้ใช้สารเร่งการก่อตัว
- 7.5.8.9 ต้องมีการทดสอบสารเร่งการก่อตัวและส่วนผสมพื้นฐานเพื่อประเมินการเร่งการก่อตัว การพัฒนากำลังรับแรงอัดในระยะแรก และการลดลงของกำลังรับแรงอัดในอายุ 28 วัน ก่อนเริ่มการพ่นคอนกรีตพ่นจริง
- 7.5.8.10 ต้องทดสอบสารเร่งการก่อตัวที่เลือกใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อัตราส่วนปริมาณตามคำแนะนำของผู้ผลิต เพื่อประเมินความแปรปรวนของสมบัติต่าง

ๆ ของสารเร่งที่มีความแปรปรวนสูงเกินไปเมื่อเปลี่ยนปริมาณจะไม่ได้รับการอนุมัติ

7.5.8.11 สารเร่งการก่อตัวต้องถูกเลือกให้เหมาะสม เพื่อให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่นในอายุ 28 วันเป็นไปตามที่กำหนด และต้องแสดงให้เห็นในขั้นตอนการทดลองหน้างาน

7.5.8.12 สารเร่งการก่อตัวที่จัดส่งมายังหน้างานต้องได้รับการทดสอบ อย่างน้อยทุก 2 เดือน เพื่อดูปฏิกิริยากับวัสดุปูนซีเมนต์โดยเน้นพฤติกรรมการก่อตัว และการลดกำลังรับแรงอัดหลัง 28 วัน ต้องมีการตรวจสอบเสถียรภาพของสารเร่งการก่อตัวในช่วงเวลาที่กำหนด ระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต และต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของผู้ผลิต

7.5.8.13 สารเพิ่มความเหลว (plasticisers) และสารหน่วงการก่อตัว (retarders) ที่เป็นไปตาม มอก. 733 สามารถนำมาใช้เพื่อช่วยลดปริมาณน้ำและเพิ่มความสามารถในการสูบของคอนกรีต (pumpability) โดยต้องผ่านการทดลองหน้างานเพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสม

7.5.8.14 ต้องตรวจสอบผลกระทบของสารลดน้ำและสารหน่วงการก่อตัวในส่วนผสมคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ต้องตรวจสอบผลกระทบของสารเหล่านี้ต่อระยะเวลาการก่อตัว การลดน้ำที่ใช้ผสม และการพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างสม่ำเสมอ โดยผลลัพธ์ต้องเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองก่อนเริ่มโครงการ

7.5.8.15 ต้องตรวจสอบความเข้ากันได้ของสารควบคุมการไฮเดรชัน (hydration control admixtures) สารลดน้ำ และสารหน่วงการก่อตัวกับวัสดุซีเมนต์และสารเร่งการก่อตัว ผ่านการสังเกตและการทดลองหน้างาน

7.5.8.16 สามารถใช้สารควบคุมการไฮเดรชันได้เพื่อเร่งการก่อสร้างและลดของเสียจากคอนกรีต โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมต้องกำหนดผ่านการทดลองหน้างาน

7.5.8.17 การใช้งานสารควบคุมการไฮเดรชัน ต้องใช้งานตามคำแนะนำของผู้ผลิตเท่านั้น

#### 7.5.9 ความสม่ำเสมอ

7.5.9.1 การวัดค่าการไหล (flow) ของคอนกรีตพ่นต้องเป็นไปตาม BS EN 12350-5 หรืออ้างอิง ASTM C1437 ช่วงค่าการไหลต้องกำหนดให้ประสิทธิภาพการลำเลียงวัสดุด้วยเครื่องปั๊มมากกว่า 80% ตลอดเวลา โดยช่วงค่าการไหล

สำหรับส่วนผสมแต่ละชนิดต้องได้รับการกำหนดในระหว่างการพัฒนาสูตรผสมในการทดลอง โดยทั่วไปค่าการไหลที่อยู่ระหว่าง 500 mm ถึง 680 mm จะให้ประสิทธิภาพที่ยอมรับได้

- 7.5.9.2 อุณหภูมิของคอนกรีตในสภาวะพลาสติกหรือขณะที่คอนกรีตยังเปียกต้องอยู่ระหว่าง 10 °C ถึง 35 °C ตามการทดสอบของมาตรฐาน สทร. HSR-CT-4004:2567 ตลอดเวลาในกระบวนการผสม ขนส่ง และการใช้งาน ช่วงอุณหภูมิอาจขยายออกไปได้ หากมีการพิสูจน์จากการทดลองหน้างาน และต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ

#### 7.5.10 กำลังและคุณภาพ

- 7.5.10.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่นทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต้องได้รับการกำหนดโดยผู้ออกแบบและคำนวณ กำลังรับแรงอัดในช่วงอายุยังน้อยมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อรองรับดินที่ไม่มั่นคงหรือเพื่อลดการเคลื่อนตัวของดิน ต้องกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงอายุน้อยให้สูงขึ้น
- 7.5.10.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพ่นที่อายุ 28 วัน ต้องเป็นไปตาม มอก. 409 หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า
- 7.5.10.3 การพัฒนาความแข็งแรงในช่วงอายุยังน้อยต้องเป็นไปตามข้อมูลในตารางที่ 5 เว้นแต่จะมีการกำหนดโดยผู้ออกแบบและคำนวณและหรือที่ปรึกษา ไว้เป็นอย่างอื่น

ตารางที่ 5 การพัฒนาความแข็งแรงช่วงอายุยังน้อยของคอนกรีตพ่น (ที่มา “British Tunnelling Society (2010)”) )

| อายุ (age) | ความแข็งแรงของคอนกรีต ณ หน้างาน (MPa) (In situ strength) |
|------------|----------------------------------------------------------|
| 1 ชั่วโมง  | 0.5                                                      |
| 3 ชั่วโมง  | 1.0                                                      |
| 9 ชั่วโมง  | 2.0                                                      |
| 12 ชั่วโมง | 2.5                                                      |
| 24 ชั่วโมง | 5.0                                                      |
| 28 วัน     | 27.2*                                                    |

หมายเหตุ: \*สำหรับส่วนผสม C32/40 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ลดทอน 0.85 สำหรับการทดสอบแกนตัวอย่างจากคอนกรีตหน้างาน ตาม BS EN 13791 ตารางที่ 1

7.5.10.4 สำหรับคอนกรีตพื้นแบบถาวร ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต้องน้อยกว่า  $1 \times 10^{-11}$  m/sec ที่อายุ 28 วัน ตามวิธีทดสอบที่ระบุในรายงานเทคนิค Concrete Society Technical Report 31 เรื่อง Permeability of site concrete ที่รวบรวมและนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ วิธีการทดสอบการซึมผ่าน (permeability) ของคอนกรีตที่หล่อในสถานที่จริง (site concrete) หรือ ความลึกการซึมต้องน้อยกว่า 50 mm ที่อายุ 28 วัน ตาม BS EN 12390-8 หรือ ASTM C1585 และ C642 เว้นแต่จะกำหนดโดยผู้ออกแบบและคำนวณ หรือต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ

#### 7.5.11 เส้นใย

7.5.11.1 ประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างที่ต้องการของคอนกรีตพื้นที่เสริมด้วยเส้นใยต้องกำหนดโดยผู้ออกแบบและคำนวณ โดยผู้ออกแบบและคำนวณต้องกำหนดการทดสอบที่จำเป็นเพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าสามารถตอบสนองเกณฑ์การออกแบบได้ โดยการเสริมเส้นใยต้องเป็นไปตาม ข้อกำหนด 7.2.3 ในมาตรฐานนี้

#### 7.5.12 ชั้นปรับระดับ หรือ ชั้นปรับพื้นผิว

7.5.12.1 หากใช้ชั้นปรับระดับ ต้องเป็นคอนกรีตพื้นที่มีขนาดเม็ดวัสดุไม่เกิน 4 mm

7.5.12.2 ชั้นปรับระดับที่ใช้ก่อนการติดตั้งวัสดุกันซึมแบบแผ่น ต้องเป็นไปตาม ข้อกำหนดของระบบกันซึมตามมาตรฐานงานป้องกันน้ำ (waterproof)

7.5.12.3 ชั้นปรับระดับที่ใช้เป็นผิวสุดท้ายสำหรับคอนกรีตพื้นตาอุโมงค์ ต้องกลบปิด เส้นใยทั้งหมดและสร้างพื้นผิวที่ปิดที่จะไม่ซังน้ำเมื่อทำความสะอาด

#### 7.6 ข้อกำหนดปูนซีเมนต์เกรด

##### 7.6.1 ข้อกำหนดทั่วไปของปูนซีเมนต์เกรด

7.6.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวและกำลังรับแรงของเกรดต้องเสนอโดยผู้รับจ้างเพื่อให้ ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาพิจารณาอนุมัติ หรือเป็นไปตามที่ ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง

- 7.6.1.2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการเกรตสำหรับใช้งานทั่วไปต้องผสมตามสัดส่วนที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 6 โดยปริมาณน้ำที่ใช้ต้องใช้เท่าที่จำเป็นเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่ชื้นไหลและสามารถเทได้ดี

ตารางที่ 6 สัดส่วนผสมของปูนเกรตซีเมนต์ (โดยมวล) (ที่มา “British Tunnelling Society (2010)”)

| ประเภท (Class) | ซีเมนต์ (Cement) | ทราย (Sand) | เถ้าลอย (PFA) |
|----------------|------------------|-------------|---------------|
| G1             | 1                | –           | –             |
| G2             | 1                | 3           | –             |
| G3             | 1                | 10          | –             |
| G4             | 1                | –           | 10            |
| G5             | 1                | –           | 4             |
| G6             | 1                | –           | 0.5           |

หมายเหตุ: การเลือกใช้ประเภทของสัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์เกรตแต่ละประเภท ให้พิจารณาตามวัตถุประสงค์ของงาน และสมบัติที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนผสม ได้แก่ ซีเมนต์ ทราย และเถ้าลอย ทั้งนี้ การเลือกใช้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา และต้องดำเนินการทดลองก่อนการใช้งานจริง เพื่อพิสูจน์เวลาการก่อตัวและกำลังรับแรงตามที่กำหนด

- 7.6.1.3 ห้ามใช้เถ้าลอยเป็นส่วนประกอบในปูนเกรตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทต้านทานซัลเฟต
- 7.6.1.4 ปูนเกรตต้องถูกใช้งานภายใน 1 ชั่วโมงหลังการผสม เว้นแต่มีการทดสอบเฉพาะเพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานที่อายุสูงกว่านั้นได้ และต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อน
- 7.6.1.5 ชนิดของปูนเกรตที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการเกรตเติมเต็มช่องว่างที่อาจเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวด้านนอกของดาตอโมงค์ที่เป็นคอนกรีตหล่อในที่ พื้นผิวของมวลดินหรือหินที่ทำการขุดเจาะหรือติดกับชั้นค้ำยันชั้นต้นที่อยู่ด้านหลังต้องเป็นปูนเกรตชนิดไม่หดตัว (non-shrink grout) เหมาะสำหรับการเติมเต็มช่องว่างอย่างสมบูรณ์ และต้องมีกำลังอัดลักษณะเฉพาะเมื่อแข็งตัวเต็มที่แล้วไม่น้อยกว่ากำลังอัดลักษณะเฉพาะที่ 28 วันของคอนกรีตโครงสร้างหลัก
- 7.6.1.6 ระยะเวลาก่อตัวและกำลังรับแรงของปูนเกรตต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนดำเนินการ

- 7.6.1.7 รายละเอียดของสารผสมเพิ่ม เช่น สารเร่งก่อตัวหรือสารหน่วงการก่อตัว ที่เสนอจะนำมาใช้ในส่วนผสมปูนเกราด์ รวมถึงเอกสารข้อมูลความปลอดภัย ต้องเสนอเพื่อขออนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อน
- 7.6.1.8 การทดลองผสมปูนเกราด์ก่อนการก่อสร้างต้องดำเนินการเพื่อแสดงให้เห็นว่า สามารถบรรลุค่าระยะเวลาก่อตัว และ กำลังรับแรงที่ต้องการได้ โดยรายละเอียดและผลการทดลองต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจาก ผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนดำเนินการ
- 7.6.1.9 ต้องจัดเก็บบันทึกการผสมปูนเกราด์และการสอบเทียบเครื่องผสม (batcher calibration) เพื่อแสดงว่าการผสมปูนเกราด์เป็นไปตามส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้อาจใช้ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนเกราด์เป็นทางเลือกในการ แสดงความสอดคล้องกับการออกแบบได้เช่นกัน แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการ พิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษา ก่อนนำไปใช้
- 7.6.1.10 ผู้รับจ้างต้องแสดงให้เห็นว่าผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาเห็นว่า ส่วนผสมปูนเกราด์มีความทนทาน (robustness) ซึ่งหมายถึง การที่ปูนเกราด์ ยังคงมีคุณภาพดีแม้ว่าจะมีข้อผิดพลาดเล็กน้อยในการผสม โดยต้องทำการ ทดลองเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความหนาแน่นของปูนเกราด์ให้ แตกต่างไปจากสูตรปกติ  $\pm 10\%$  หรือค่าที่ตกลงร่วมกันกับผู้ออกแบบและ คำนวณและ/หรือที่ปรึกษา และรวมถึงการปรับปริมาณสารผสมเพิ่ม ให้เป็นไป ตามค่าความแม่นยำที่ระบุไว้ของอุปกรณ์จ่ายสารผสม
- 7.6.1.11 การนำปูนเกราด์ที่ผสมแล้วกลับมาใช้ใหม่ หรือการนำปูนเกราด์ใหม่มาผสมกับ ปูนเกราด์ที่ผลิตไว้ก่อนต้องไม่เกินอัตราส่วน 10:1 (ใหม่:เก่า) เว้นแต่มีการ ทดสอบแสดงความเหมาะสมให้เป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ออกแบบและคำนวณและ/ หรือที่ปรึกษา

## เอกสารอ้างอิง

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.

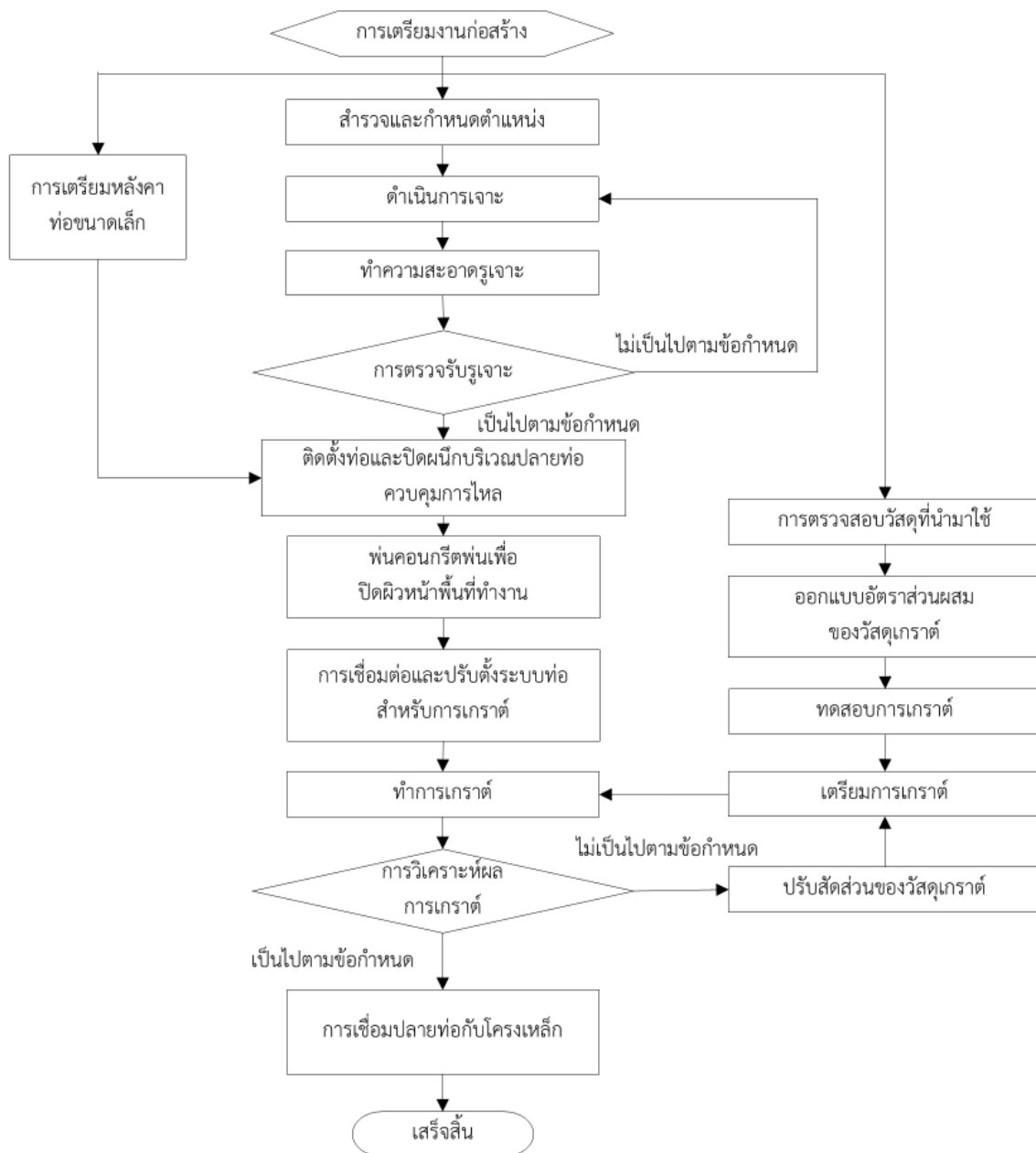
การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2566). งานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง อุโมงค์มวกเหล็กและลำตะคอง สัญญาที่ 3-2 [รูปภาพ].

Forbes, B., Vlachopoulos, N., & Hyett, A. J. (2018). The application of distributed optical strain sensing to measure the strain distribution of ground support members. *Facets*, 3(1), 195-226.

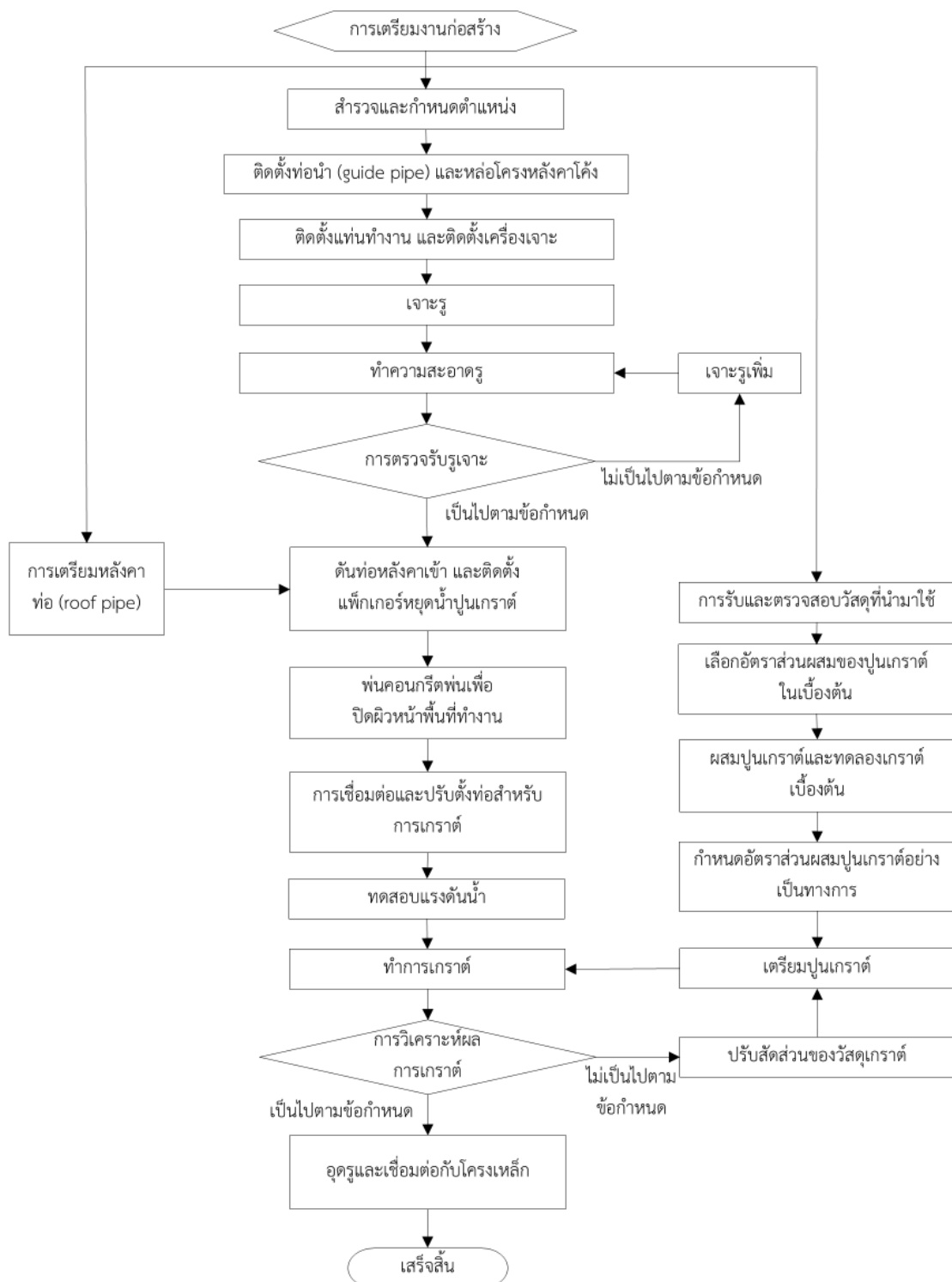


### ภาคผนวก ก.

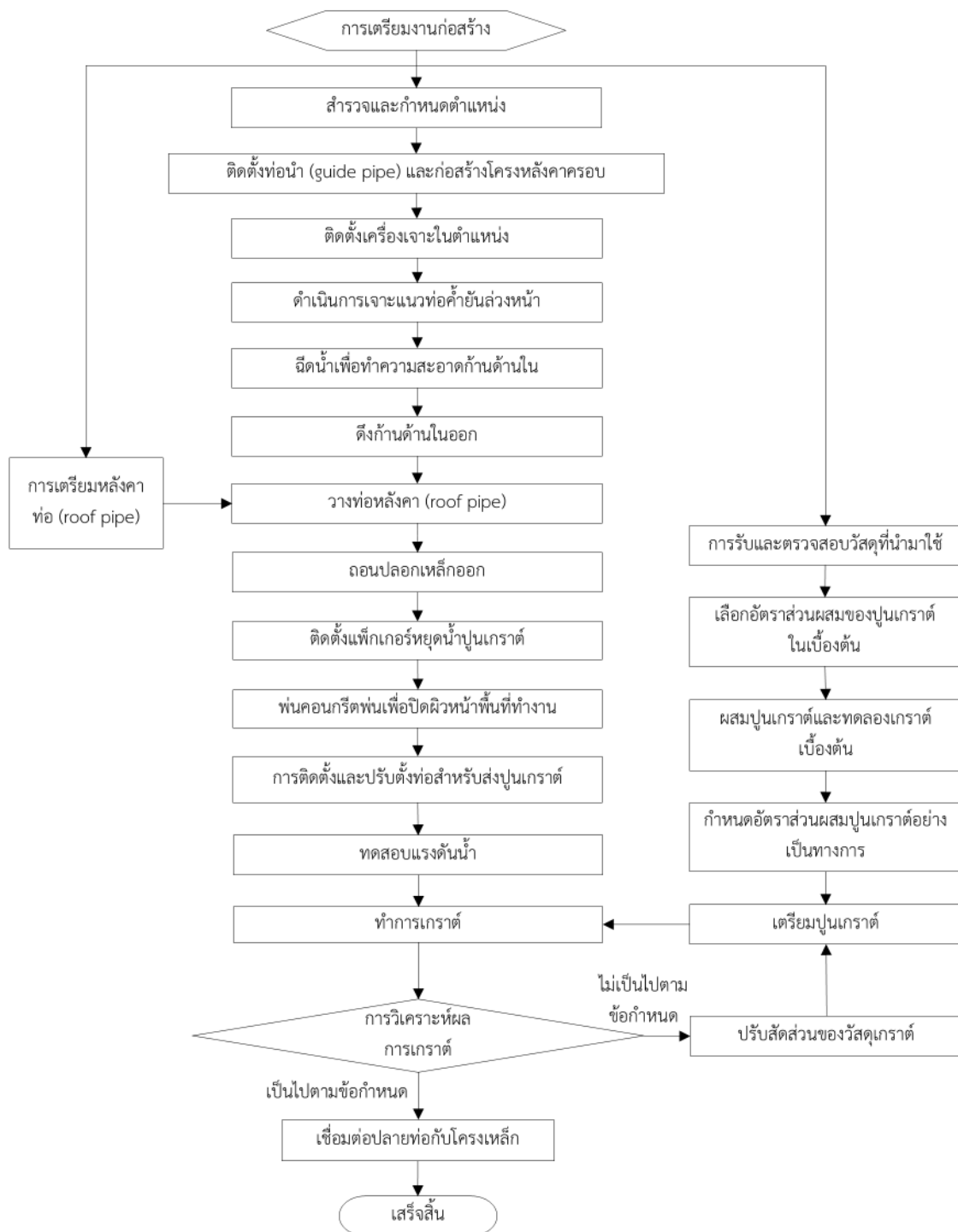
## แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างงานติดตั้งค้ำยัน ในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าความเร็วสูง



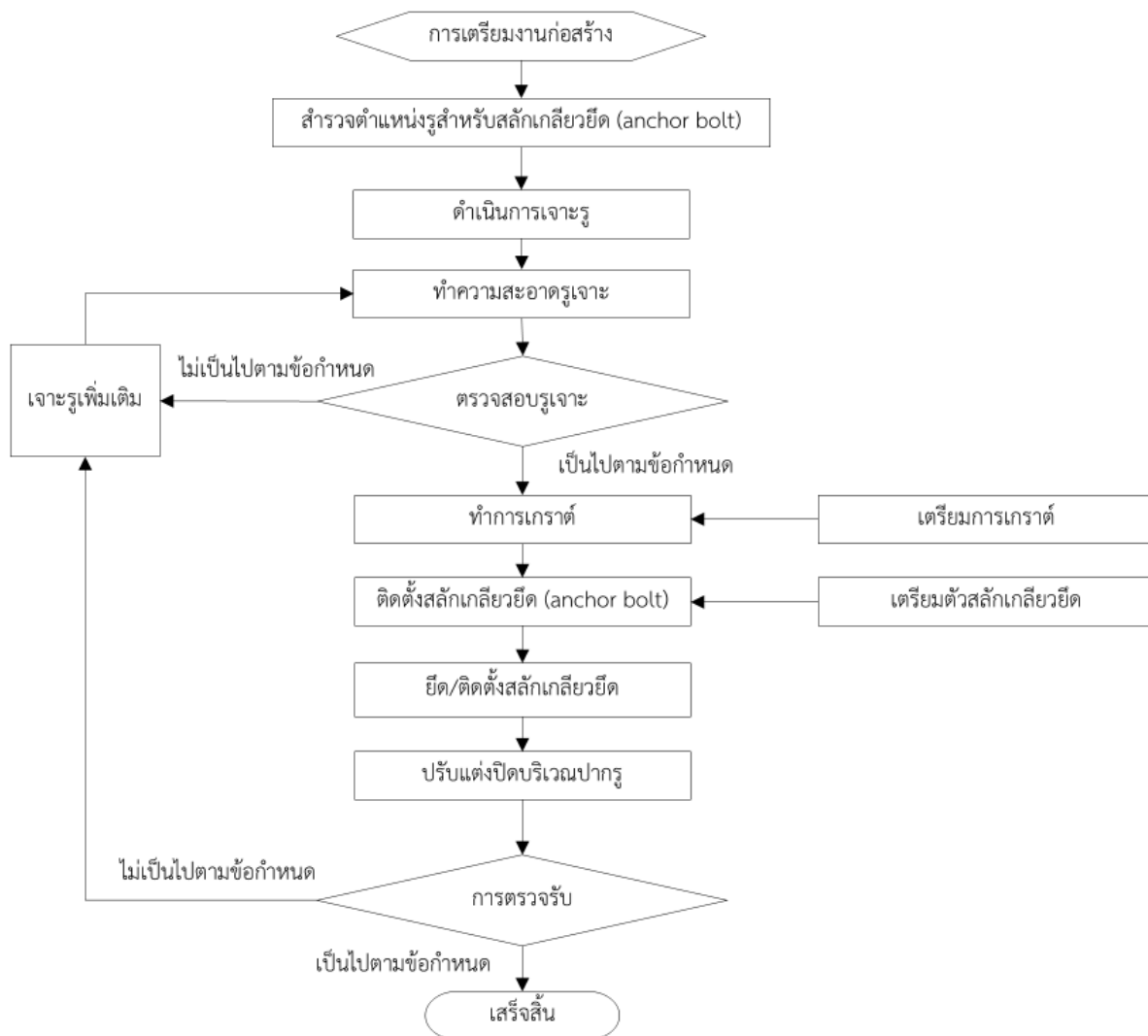
รูปที่ ก.1 แผนภาพขั้นตอนการเกรตหลังคาท่อขนาดเล็กล่วงหน้า (advance small duct grouting) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



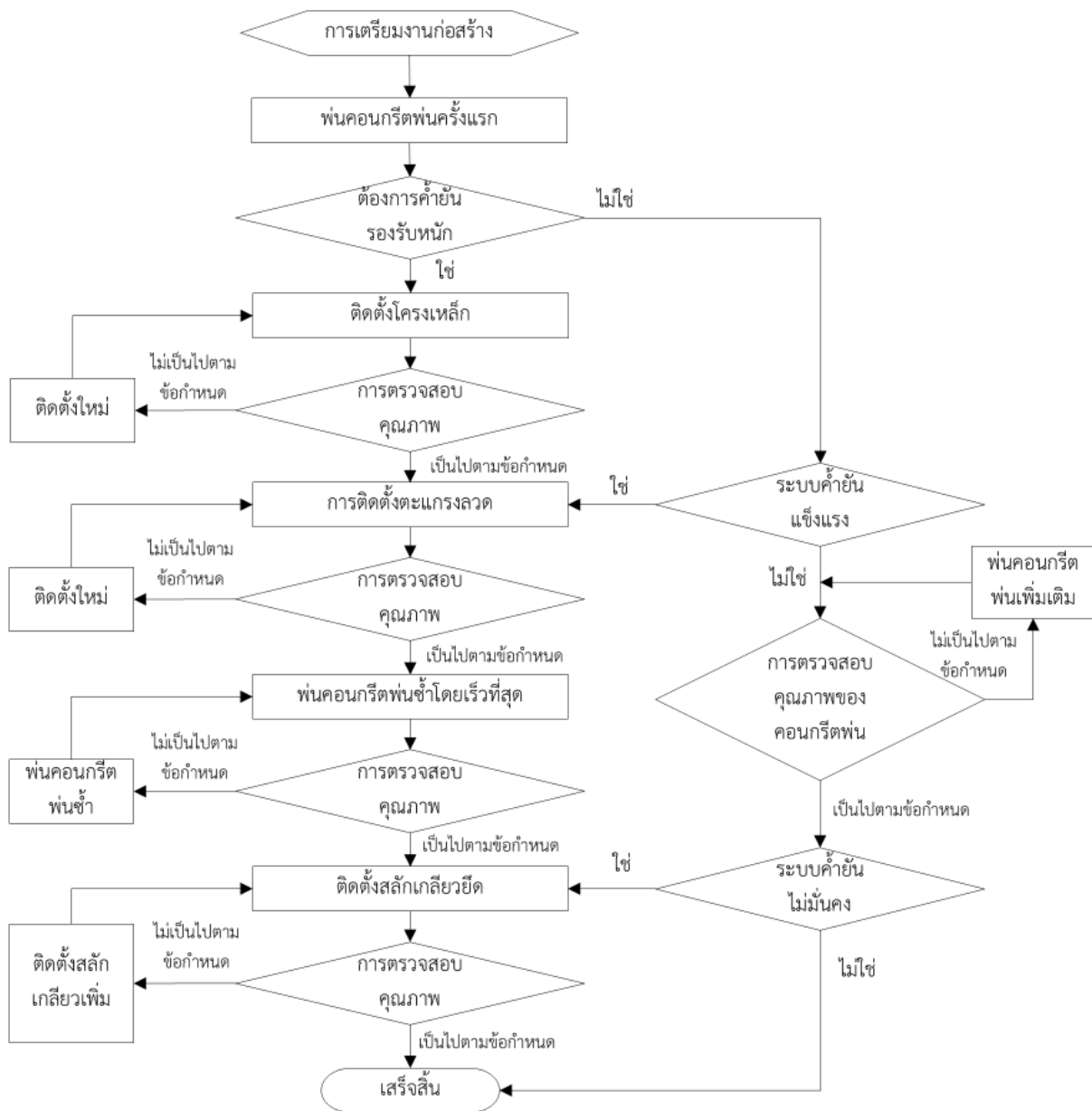
รูปที่ ก.2 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อล่องหน้า (pipe roof) โดยวิธีดันท่อ (jack-in method) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



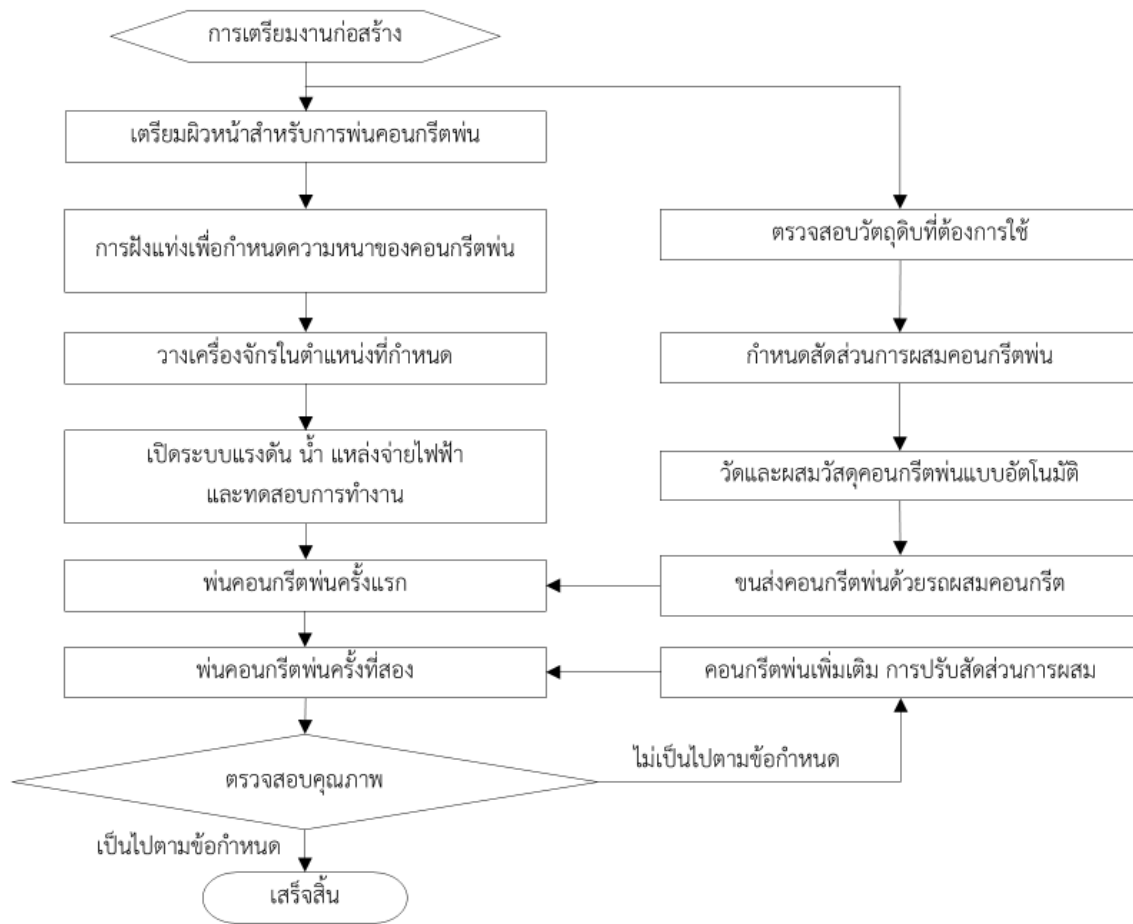
รูปที่ ก.3 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างหลังคาท่อน้ำล่วงหน้า (advance pipe roof) โดยวิธีการเจาะแบบติดตามแนวท่อ (pipe-following drilling method) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



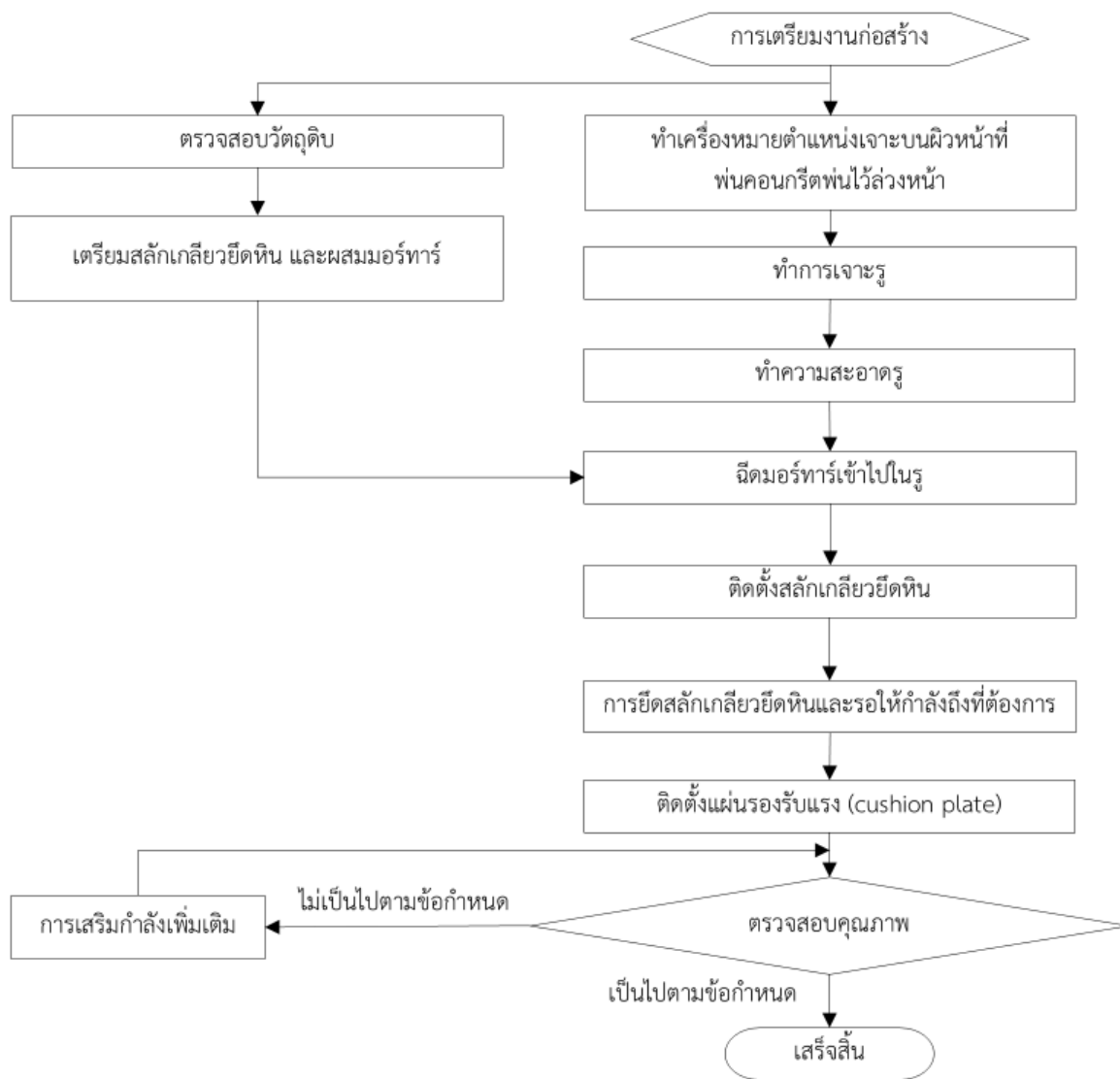
รูปที่ ก.4 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างสลักเกลียวยึดติดตั้งล่วงหน้า (advance anchor bolt)  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ ก.5 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น (primary support)  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

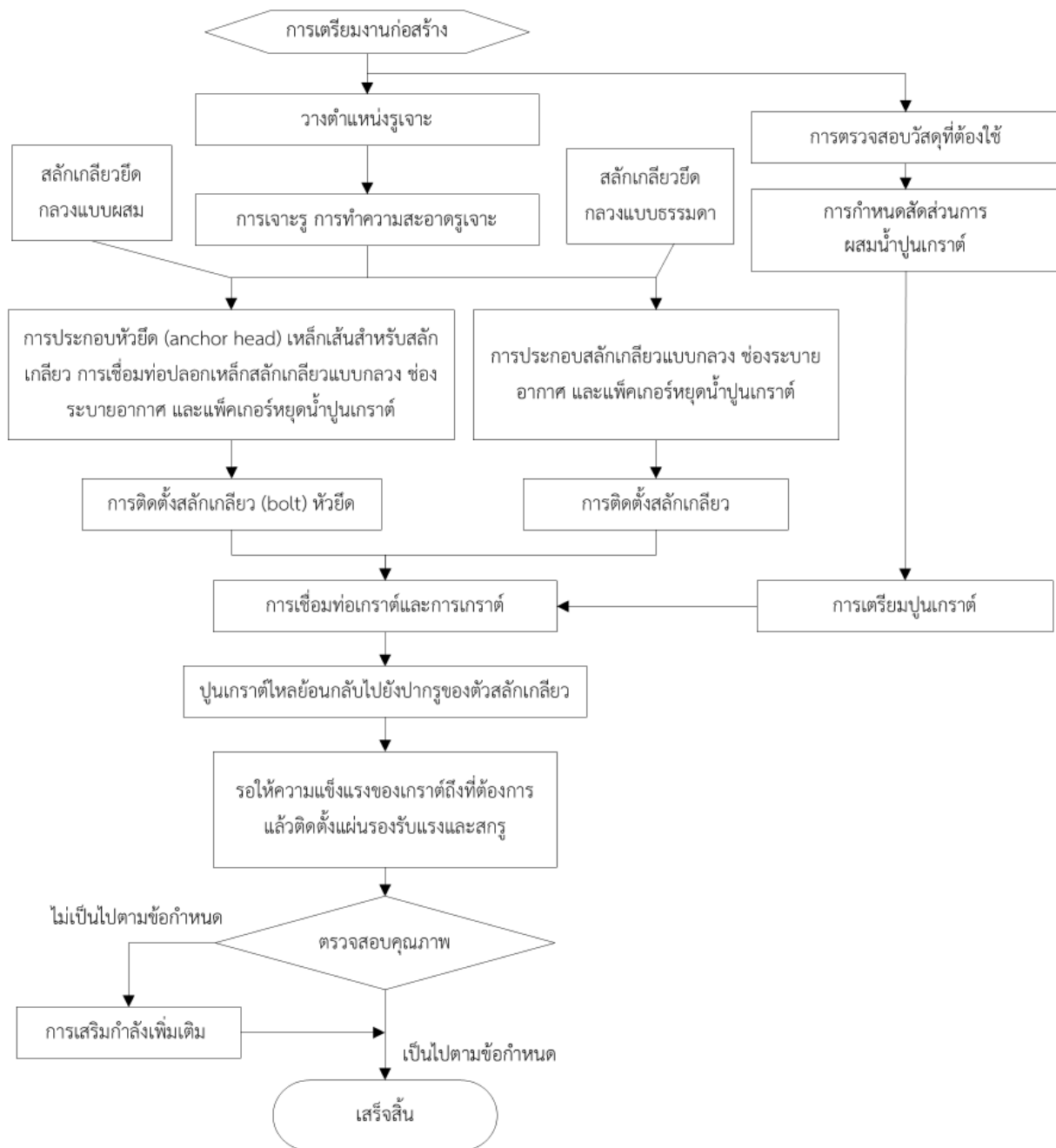


รูปที่ ก.6 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างการพ่นคอนกรีตพ่น (shotcrete)  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

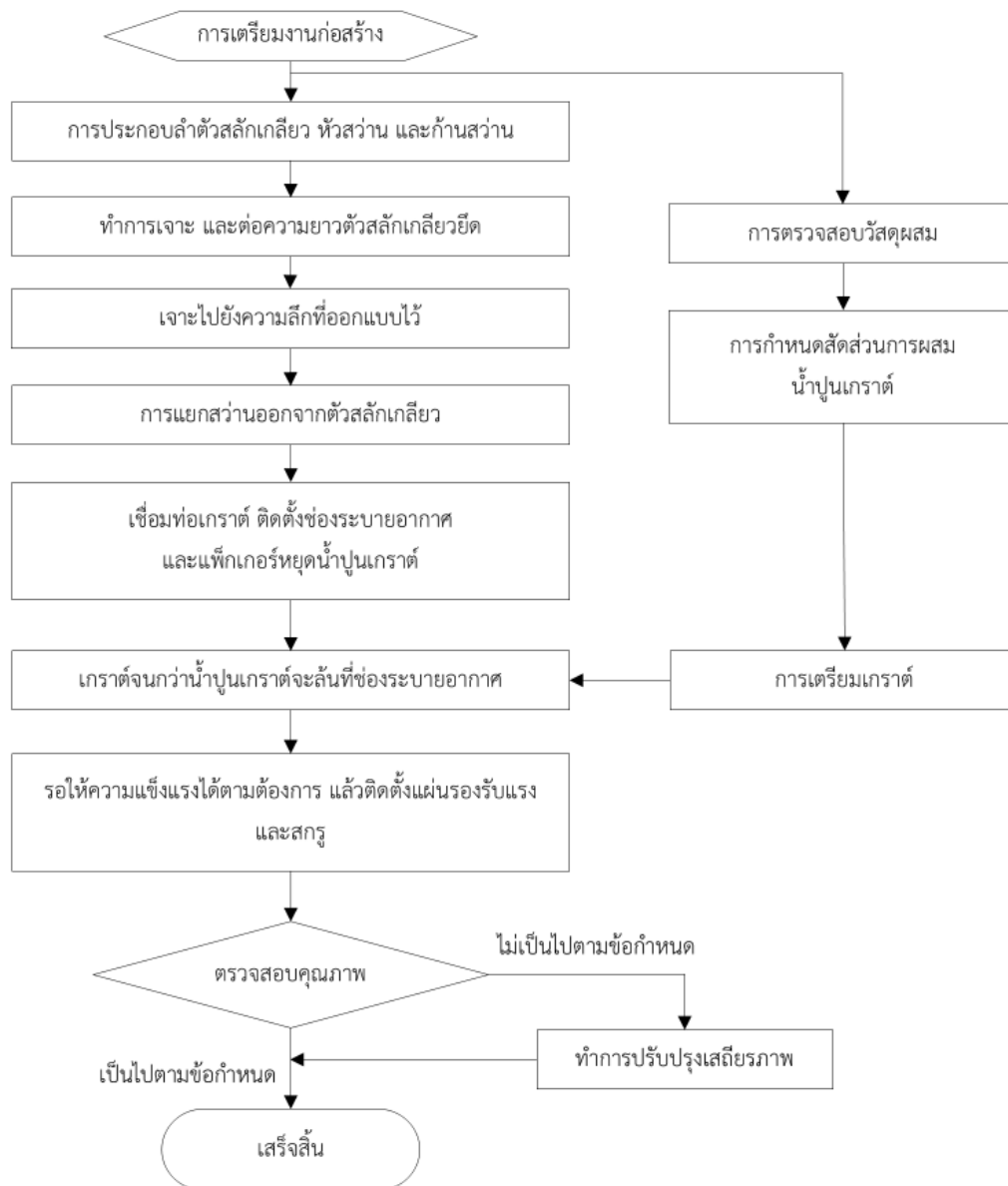


รูปที่ ก.7 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึดหิน (rock bolt) ด้วยปูนมอร์ตาร์  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

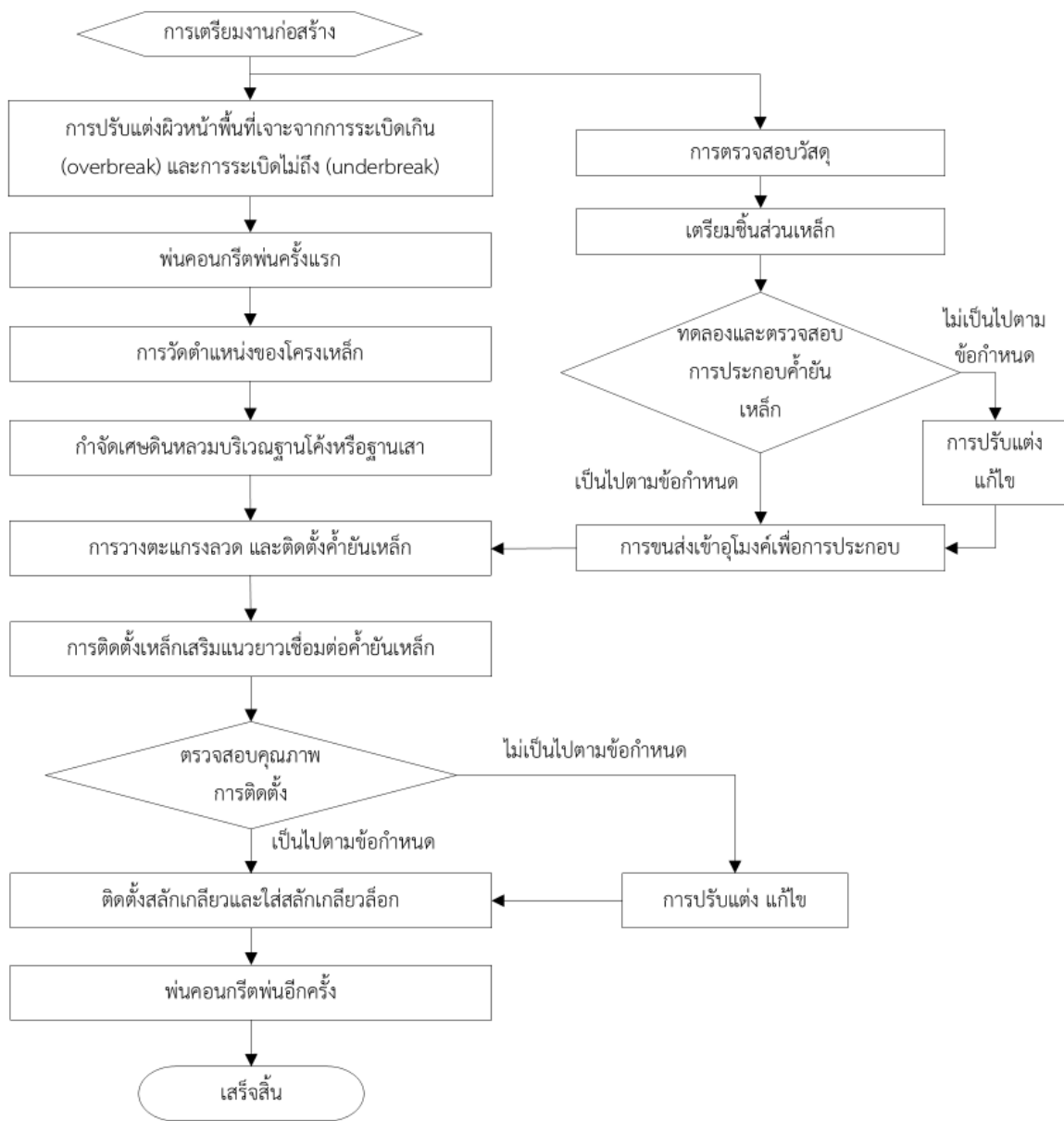




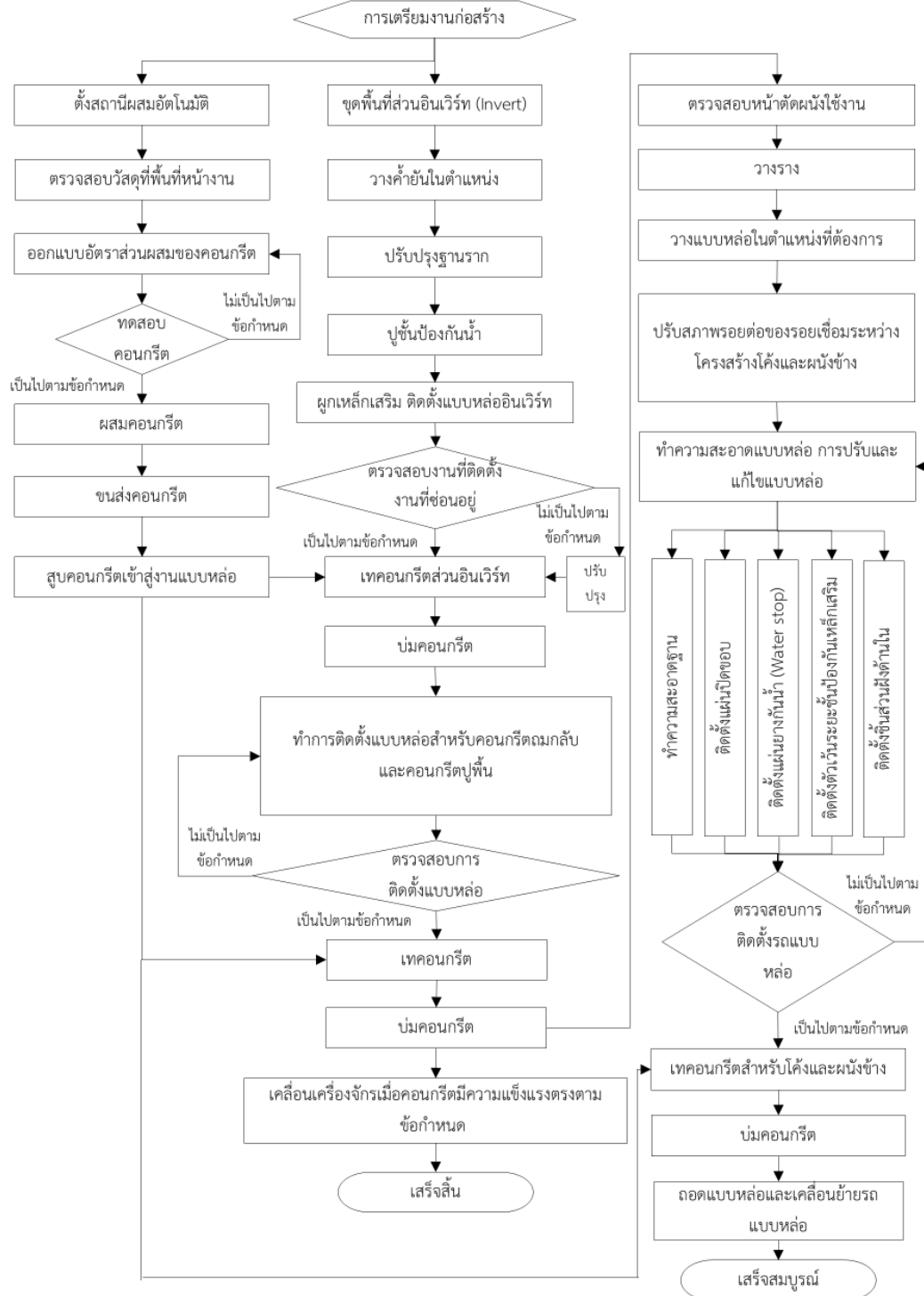
รูปที่ ก.8 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยึด (anchor bolt) กลวงแบบอัดปูนเกรต (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ ก.9 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของสลักเกลียวยัดหิน (rock bolt) แบบเจาะตัวเอง  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

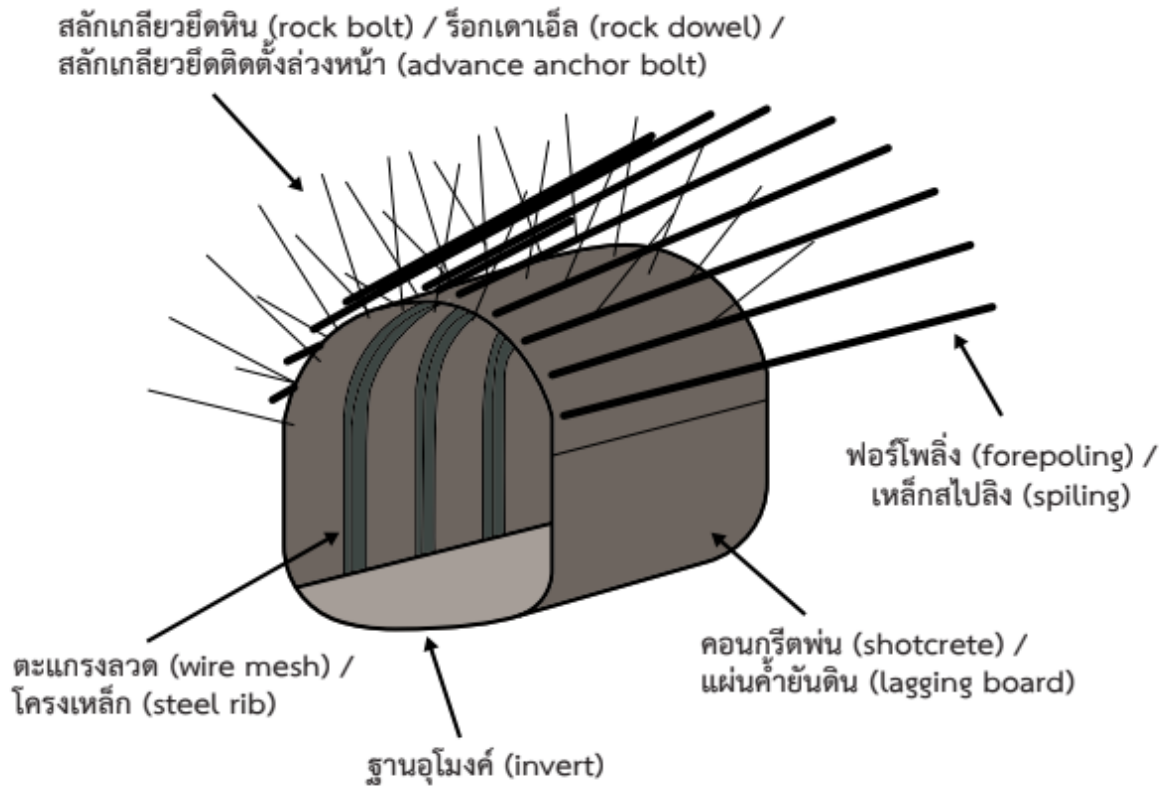


รูปที่ ก.10 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของโครงเหล็ก (steel rib) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

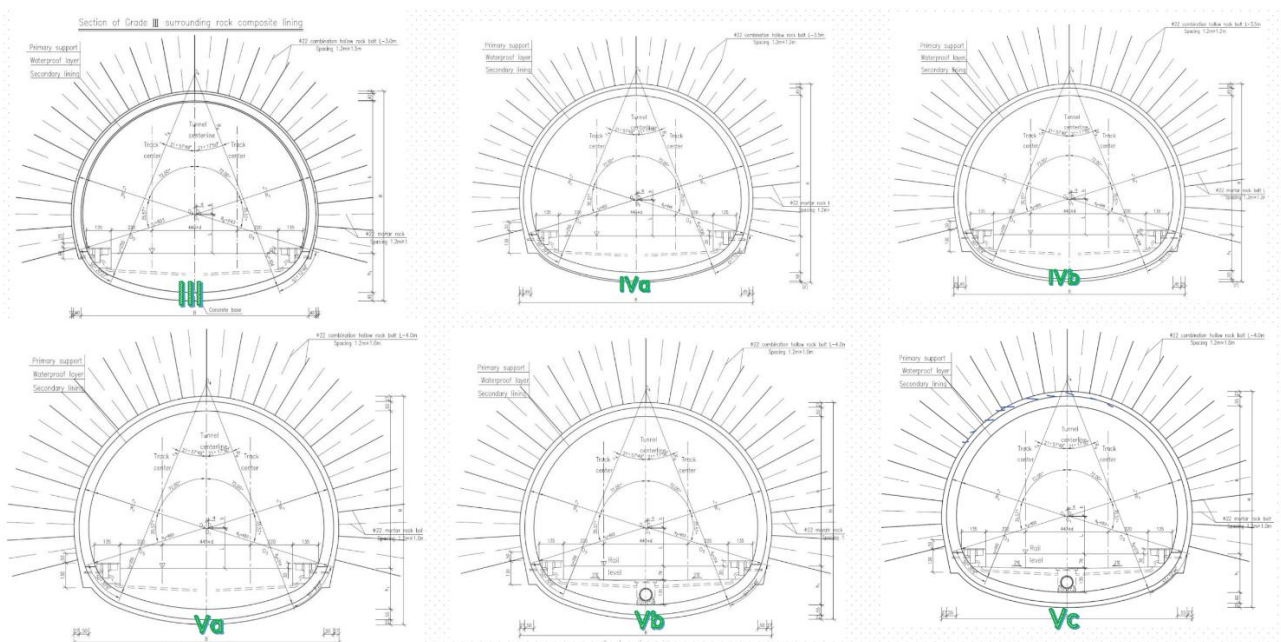


รูปที่ ก.11 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างของดาอุโมงค์  
(ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

ภาคผนวก ข.  
รูปภาพตัวอย่างแสดงการติดตั้งค้ำยัน



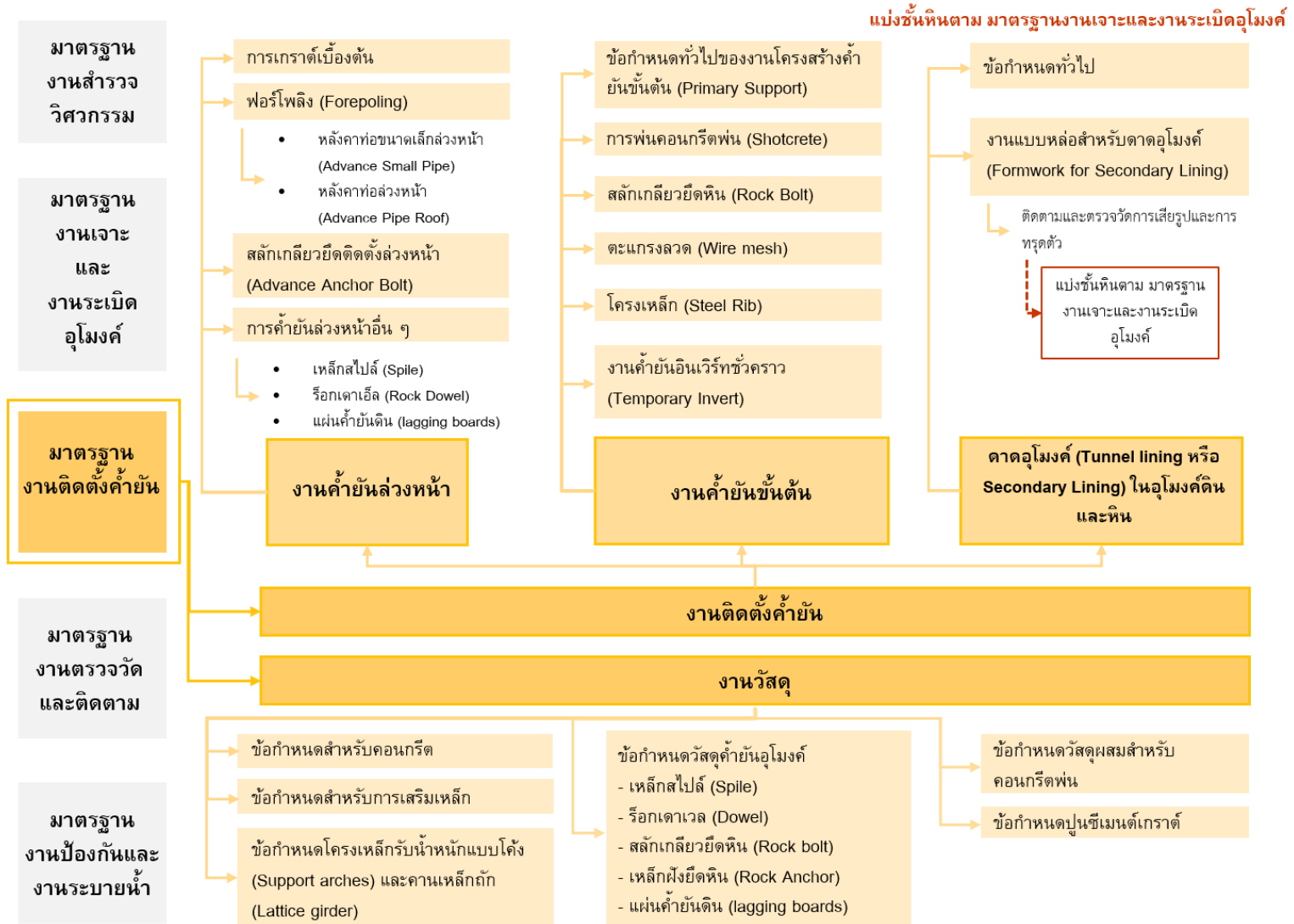
รูปที่ ข.1 ตัวอย่างการค้ำยันในแต่ละส่วนของอุโมงค์ (ที่มา “Forbes, Vlachopoulos, & Hyett, 2018”)



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างการค้ำเบี่ยงตันสำหรับแต่ละสภาพหิน (ที่มา “การรถไฟแห่งประเทศไทย (2566)”)

ภาคผนวก ค.  
แผนภาพแสดงภาพรวมของ  
มาตรฐานงานค้ำยันสำหรับการก่อสร้าง  
อุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าความเร็วสูง

มาตรฐานสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในแผนก่อสร้างรถไฟฟ้าความเร็วสูง



หมายเหตุ: เส้นทึบ (—) แสดงถึง รายละเอียดเนื้อหาในเล่มร่าง และ เส้นประ (- -) แสดงถึง การอ้างอิงมาตรฐานเล่มอื่น

รูปที่ ค.3 แผนภาพแสดงภาพรวมของเล่มมาตรฐานงานค้ำยันสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าความเร็วสูง





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

 [www.rtrda.or.th](http://www.rtrda.or.th)  [info@rtrda.or.th](mailto:info@rtrda.or.th)  [rtrda.thailand](https://www.facebook.com/rtrda.thailand)  [@RTRDA\\_Th](https://twitter.com/RTRDA_Th)  
 [@rtrdathailand](https://www.youtube.com/@rtrdathailand)  [rtrda.thailand](https://www.tiktok.com/rtrda.thailand)  [Rail Technology Research and Development Agency](https://www.linkedin.com/company/Rail%20Technology%20Research%20and%20Development%20Agency)