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

High Speed Rail

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

- กลุ่มวิจัยและมาตรฐาน
- ทีมมาตรฐาน

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

สทร. HSR-CT-1002:2568

(ร่าง) มาตรฐานการป้องกันน้ำและงานระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

(Draft) Standard for Waterproofing and Drainage Works in Tunnel Construction of the High-Speed Railway Project

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมถึงข้อกำหนดด้านวัสดุสำหรับการติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำในงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง ซึ่งผ่านการทดสอบตามหลักการทางวิศวกรรมที่ระบุไว้

1.2 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมถึงกระบวนการติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์รถไฟความเร็วสูง

1.3 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับควบคุมการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์ ในโครงการรถไฟความเร็วสูง ทั้งนี้ สำหรับระบบขนส่งทางรางอื่น ๆ เช่น รถไฟฟ้าระหว่างเมือง รถไฟชานเมือง และรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน สามารถนำมาตรฐานฉบับนี้ไปปรับใช้ได้ตามความเหมาะสม

1.4 มาตรฐานฉบับนี้ไม่ครอบคลุมถึงรายละเอียดการออกแบบระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

1.5 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วยตามระบบเอสไอ (SI units) เป็นหลัก

1.6 การปฏิบัติมาตรฐานฉบับนี้ให้เป็นไปตามแบบแปลน ข้อกำหนดในรายการประกอบแบบเฉพาะงานสัญญาผู้ว่าจ้าง หากเอกสารดังกล่าวไม่ได้ระบุในเรื่องใดไว้ก็สามารถใช้มาตรฐานฉบับนี้อ้างอิงได้

2.มาตรฐานอ้างถึง

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

2.2 สทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

2.3 สทร. HSR-CT-2002:2568 มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

2.4 สทร. HSR-CT-3001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานเจาะและงานระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง

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

2.6 สทร. HSR-CT-5001:2568 (ร่าง) มาตรฐานงานค้ำยันในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟความเร็วสูง

2.7 ASTM C1305/C1305M Standard Test Method for Crack Bridging Ability of Liquid-Applied Waterproofing Membrane

2.8 ASTM C1583/C1583M Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)

2.9 ASTM D5261-10 Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles.

2.10 ASTM D5385/D5385M Standard Test Method for Hydrostatic Pressure Resistance of Waterproofing Membranes

2.11 BS 8102 Code of practice for protection of below ground structures against water from the ground

2.12 BS EN 1062-7 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete - Determination of crack bridging properties

2.13 BS EN 1542 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off

2.14 BS EN 1849-2 Flexible sheets for waterproofing. Determination of thickness and mass per unit area - Plastics and rubber sheets for roof waterproofing

2.15 BS EN 1928 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of watertightness

2.16 BS EN 12317-2 Flexible sheets for waterproofing. Determination of shear resistance of joints - Plastic and rubber sheets for roof waterproofing

2.17 BS EN 12390-8 Testing hardened concrete - Depth of penetration of water under pressure

2.18 BS EN 13501-1 Fire classification of construction products and building elements - Classification using data from reaction to fire tests

2.19 BS EN ISO 62 Plastics. Determination of water absorption

2.20 BS EN ISO 527-3 Plastics. Determination of tensile properties - Test conditions for films and sheets

2.21 BS EN ISO 4624 Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion

2.22 BS EN ISO 9863-1 Geosynthetics. Determination of thickness at specified pressures - Single layers

2.23 BS EN ISO 9864 Geosynthetics. Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products

2.24 BS EN ISO 11925-2 Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Single-flame source test

2.25 BS EN ISO 12236 Geosynthetics - Static puncture test (CBR test)

2.26 BS EN ISO 12958 Geotextiles and geotextile-related products. Determination of water flow capacity in their plane - Index test

2.27 PD CEN/TS 14416 Geosynthetic barriers. Test method for determining the resistance to roots

3. นิยามความหมาย

“การปรับปรุงคุณภาพผิวดิน” (ground surface treatment) หมายถึง กระบวนการปรับระดับหรือเสริมความแข็งแรงของผิวหน้าดินก่อนการติดตั้งระบบป้องกันน้ำหรือเริ่มการขุดเจาะ

“เกราต์” (grout) หมายถึง การฉีดอัดด้วยสารเกราต์ เช่น น้ำซีเมนต์ผสม เข้าเต็มช่องว่าง ประโยชน์ของการฉีดอัดวัสดุเหล่านี้มีเอนกประการ ได้แก่ 1) ใช้สำหรับงานปรับปรุงดิน อาจใช้น้ำซีเมนต์เหลวอย่างเดียวหรือผสมทรายหรือเถ้าลอยก็ได้ 2) ใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่ร้าว มักใช้วิธีฉีดอัดด้วยเรซินอิพ็อกซี (epoxy resin) หรือเรซินพอลิเอสเทอร์ (polyester resin) แต่ทั้งนี้ต้องแก้ไขที่สาเหตุให้เรียบร้อยเสียก่อน 3) ใช้ในกรณีอื่น ๆ

“คอนกรีตพ่น” (shotcrete) หมายถึง คอนกรีตที่ใช้งานโดยการพ่นด้วยเครื่องอัดลมความดันสูงไปยังแบบหล่อหรือผนัง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่นและมีกำลังสูง มักใช้ซ่อมแซมโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น แผ่นพื้น ผนังภายในท่อขนาด ใหญ่หรืออุโมงค์ สิ่งก่อสร้างที่มีรูปร่างยากต่อการเทคอนกรีต

“คอนกรีตกันซึม” (Waterproof Concrete) หมายถึง คอนกรีตโครงสร้างที่ได้รับการออกแบบส่วนผสมให้มีความทึบน้ำสูง โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ต่ำ และ/หรือใช้สารผสมเพิ่มเพื่อลดปริมาณรูพรุนและเส้นทางเดินของน้ำภายในเนื้อคอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อต้านทานการซึมผ่านของ

น้ำภายใต้สภาวะแรงดันอุทกสถิต ที่กระทำต่อโครงสร้างอุโมงค์ และเพื่อป้องกันความเสียหายต่อความคงทนของโครงสร้างในระยะยาว

"โครงสร้างค้ำยันขั้นต้น" (primary support) หมายถึง ระบบค้ำยันชั้นแรกที่ใช้หลังขุดทันที เช่น คอนกรีตพ่น (shotcrete) สลักยึดหิน (rock bolt) โครงเหล็ก (steel rib) เพื่อเสริมความมั่นคงของอุโมงค์ขั้นต้น

"ดาดอุโมงค์" (tunnel lining หรือ secondary lining) ผนังโครงสร้างที่สร้างขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันดินที่กระทำต่ออุโมงค์ ในกรณีอุโมงค์ในดินเหนียวหรือดินทราย จะใช้ดาดอุโมงค์ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งหล่อเป็นชิ้นแล้วนำมาประกอบกันภายในอุโมงค์ หรือใช้ผนังเหล็ก แล้วเกราต์ หรือใช้งานแบบหล่อ (formwork) ในการหล่อผนังคอนกรีต ถ้าเป็นอุโมงค์ในหินแข็งจะใช้คอนกรีตพ่นเป็นดาดอุโมงค์

"จีออเทกซ์ไทล์" (geotextile) หมายถึง แผ่นวัสดุใยสังเคราะห์ชนิดยอมให้น้ำซึมผ่านได้ ที่ติดตั้งเป็นชั้นรองรับระหว่างผิวโครงสร้างอุโมงค์และเมมเบรนกันน้ำ ทำหน้าที่เป็นชั้นระบายน้ำเพื่อลดแรงดันน้ำใต้ดินและเป็นชั้นป้องกันความเสียหายแก่เมมเบรนกันน้ำจากแรงกดหรือความขรุขระของผิวคอนกรีต

"ชั้นป้องกันน้ำ" (waterproof layer) หมายถึง ชั้นของเมมเบรนกันน้ำหรือชั้นของวัสดุที่ติดตั้งเพื่อทำหน้าที่กันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างหรือพื้นที่ภายในอุโมงค์ โดยวัสดุดังกล่าวต้องมีสมบัติกันน้ำและทนต่อแรงดันน้ำ

"ชั้นระบายน้ำ" (drainage layer) หมายถึง ชั้นของจีออเทกซ์ไทล์หรือชั้นของวัสดุที่ติดตั้งเพื่อระบายน้ำที่ซึมผ่านจากชั้นดินหรือชั้นหินโดยรอบ

"ฐานอุโมงค์" (invert) หมายถึง ตำแหน่งต่ำสุดภายในของท่อ ท่อ ระบายน้ำ อุโมงค์ เป็นต้น แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น 1.อินเวิร์ทในส่วนของระดับคอนกรีตหยาบ 2.อินเวิร์ทในส่วนของดาดอุโมงค์ (tunnel lining หรือ secondary lining) 3.อินเวิร์ทในส่วนของฐานรางรถไฟ

"ดาดอุโมงค์แบบเซกเมนต์" (segmental lining) หมายถึง ดาดอุโมงค์ที่ทำด้วยแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จหรือเหล็กโค้งเป็นชิ้น ๆ โดยยึดแต่ละแผ่นด้วยสลักเกลียว

"ท่อกรองน้ำ" (drainage filter pipe) หมายถึง ท่อที่มีรูพรุนหุ้มด้วยวัสดุกรอง ใช้สำหรับระบายน้ำและป้องกันการอุดตันจากดินหรือตะกอนที่มากับน้ำ

"ท่อกรองน้ำตามยาว" (longitudinal filter pipe) หมายถึง ท่อกรองน้ำที่ติดตั้งตามแนวยาวของอุโมงค์ เพื่อควบคุมและรองรับการไหลของน้ำใต้ดิน

"ท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง" (circumferential filter pipe) หมายถึง ท่อกรองน้ำที่ติดตั้งรอบแนวผนังอุโมงค์ในแนวตามขวาง เพื่อควบคุมการไหลของน้ำใต้ดิน

"ท่อเกราต์" (grouting pipe) หมายถึง ท่อสำหรับส่งคอนกรีตเพื่อนำไปเกราต์ในจุดที่ต้องการ

"ท่อเชื่อมต่อระหว่างทางระบายน้ำ" (transverse connection Pipe) หมายถึง ท่อระบายน้ำที่เชื่อมระหว่างทางระบายน้ำรองกับทางระบายน้ำหลัก ทำหน้าที่รวบรวมและลำเลียงน้ำจากทางระบายน้ำรองเข้าสู่ทางระบายน้ำหลักอย่างเป็นระบบ

“ทางระบายน้ำรอง” (side ditch) หมายถึง ร่อง ราง หรือท่อระบายน้ำที่อยู่ด้านข้างอุโมงค์ ทำหน้าที่รวบรวมน้ำที่ซึมผ่านในชั้นระบายน้ำจากภายนอกอุโมงค์ ก่อนระบายน้ำต่อไปยังทางระบายน้ำหลัก เพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่ภายในอุโมงค์อย่างเป็นระบบ

“ทางระบายน้ำหลัก” (Central Ditch) หมายถึง ร่อง ราง หรือท่อรระบายน้ำที่อยู่บริเวณตรงกลางของอุโมงค์ ทำหน้าที่รวบรวมน้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในอุโมงค์แล้วลำเลียงไปยังบ่อตรวจสอบหรือระบบสูบน้ำ เพื่อระบายน้ำออกจากอุโมงค์

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

“บ่อตรวจสอบ” (manhole) หมายถึง โครงสร้างช่องเปิดพร้อมฝาปิดในแนวดิ่งหรือแนวราบ ที่ถูกออกแบบและติดตั้งไว้ในโครงสร้างพื้นหรือผนังอุโมงค์ เพื่อเป็นช่องทางถาวรสำหรับให้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าถึงระบบสาธารณูปโภคใต้พื้นผิว (เช่น ท่อระบายน้ำ ท่อร้อยสายไฟฟ้า ท่อดับเพลิง) หรือส่วนที่ซ่อนอยู่ของโครงสร้าง เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบ การทำความสะอาด การบำรุงรักษา หรือการซ่อมแซมระบบดังกล่าว

“บ่อรวมน้ำ” (sump) หมายถึง บ่อที่รวมน้ำก่อนที่จะสูบออกด้วยเครื่องสูบน้ำ

“ปะเก็นเทอร์โมพลาสติก” (thermoplastic gasket) หมายถึง ชิ้นส่วนที่ใช้ในการปิดผนึกหรือป้องกันการรั่วซึมระหว่างพื้นผิวสองชิ้น ที่ทำจากยางหรือพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามอุณหภูมิ

“ปะเก็นโลหะ” (metal gasket) หมายถึง ชิ้นส่วนที่ใช้ในการปิดผนึกหรือป้องกันการรั่วซึมระหว่างพื้นผิวสองชิ้น ที่ทำจากโลหะหรือโลหะผสม

"ผู้รับจ้าง" (contractor) หมายถึง ผู้ประกอบการก่อสร้าง หรือผู้รับเหมาตามสัญญาจ้าง

"ผู้ออกแบบและคำนวณ" (designer) หมายถึง ผู้รับผิดชอบออกแบบหรือคำนวณออกแบบ

“แผ่นดิสก์เชื่อมด้วยความร้อน” (heat-welded disc) หมายถึง แผ่นหรือจานกลมที่ผลิตจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก (เช่น HDPE, PVC) ซึ่งเป็นเครื่องมือเฉพาะในการเชื่อมวัสดุโดยใช้ความร้อนให้หลอมละลายและติดกันเป็นเนื้อเดียว สามารถเรียกโดยย่อว่า "แผ่นดิสก์"

“แถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง” (back-sticking water stop tie) หมายถึง แถบกั้นน้ำที่ติดตั้งไว้ด้านนอกของรอยต่อคอนกรีต เพื่อป้องกันการซึมน้ำจากภายนอกเข้าสู่โครงสร้าง

“แถบกั้นน้ำชนิดฝัง” (buried water stop tie) หมายถึง แถบกั้นน้ำที่ฝังอยู่ภายในรอยต่อของคอนกรีตในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อป้องกันการซึมน้ำผ่านรอยต่อ

“แถบกั้นน้ำชนิดพองตัว” (water swelling water stop strip) หมายถึง แถบกั้นน้ำที่มีสมบัติพองตัวเมื่อสัมผัสน้ำ โดยใช้ติดตั้งในรอยต่อหรือช่องว่าง เพื่อกั้นการซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้าง

“เมมเบรนกันน้ำ” (waterproof membrane) หมายถึง แผ่นบางทึบน้ำเพื่อป้องกันน้ำซึมผ่าน

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

“รอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูป” (deformation joint) หมายถึง รอยต่อในโครงสร้างที่ออกแบบไว้เพื่อรองรับการเคลื่อนตัวหรือการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างอันเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น การขยายตัวหรือหดตัวจากอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน แรงกระทำจากดิน แรงดันน้ำใต้ดิน หรือการทรุดตัวที่ไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง โดยรอยต่อดังกล่าวจะช่วยป้องกันการแตกร้าว การเสียรูป หรือการเสียหายของโครงสร้าง และมักติดตั้งวัสดุปิดผนึกที่มีความยืดหยุ่น เช่น วัสดุกันน้ำ แผ่นยางยืดหยุ่น หรือซีลยืดหยุ่น เพื่อควบคุมการซึมน้ำและรักษาความต่อเนื่องในการใช้งาน

“ระบบป้องกันน้ำแบบแยกพื้นที่” (isolated zoning waterproofing) หมายถึง ระบบป้องกันน้ำที่แบ่งช่วงพื้นที่ติดตั้งระบบป้องกันน้ำออกเป็นช่วง เพื่อจำกัดความเสียหายกรณีเกิดรอยรั่ว

“วิธีการเชื่อมด้วยความร้อน” (hot-melt welding method) หมายถึง การเชื่อมวัสดุให้ยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องมือให้ความร้อน

"วิศวกรสนาม" (site engineer) หมายถึง วิศวกรที่อยู่ประจำหน้างาน มีหน้าที่รับผิดชอบงานด้านวิศวกรรมของโครงการตามที่ได้รับมอบหมาย

“สารยึดติด” (adhesive) หมายถึง สารที่สามารถยึดผิวของวัสดุ ๒ ชนิด ให้ติดกัน เช่น อีพอกซีเรซินสำหรับงานเสียบเหล็ก, วัสดุประสานคอนกรีต

“สารหน่วงการบวมตัว” (swelling retardant) หมายถึง สารเคมีที่ใช้ควบคุมหรือชะลอการพองตัวของวัสดุกันน้ำชนิดพองตัวเมื่อสัมผัสน้ำ

“หมุดยึด” (drive pin) หมายถึง วัสดุที่ใช้สำหรับการยึดรั้งวัสดุป้องกันน้ำกับผนังอุโมงค์

4. ข้อกำหนดทั่วไปด้านสมบัติวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำ

ระบบป้องกันน้ำภายในอุโมงค์ประกอบด้วย ชั้นป้องกันน้ำ ชั้นระบายน้ำ และทางระบายน้ำในอุโมงค์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำซึมเข้าสู่พื้นที่ใช้งานอุโมงค์และควบคุมการไหลของน้ำอย่างเป็นระบบ ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของระบบป้องกันน้ำในอุโมงค์ต้องมีสมบัติที่เหมาะสม เพื่อให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ ปลอดภัยและเป็นไปตามข้อกำหนดด้านวิศวกรรม

4.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับสมบัติของวัสดุก่อสร้างระบบป้องกันน้ำ

วัสดุหลักในระบบป้องกันน้ำภายในอุโมงค์ประกอบด้วย จีออเทกซ์ไทล์ เมมเบรนกันน้ำ และแถบกั้นน้ำ ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในด้านวัสดุ ความเหมาะสมกับโครงสร้างและความสามารถในการป้องกันน้ำดังต่อไปนี้

4.1.1 วัสดุในชั้นระบายน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

4.1.1.1 ต้องติดตั้งจีออเทกซ์ไทล์ภายในชั้นระบายน้ำก่อนวางเมมเบรนกันน้ำ เพื่อป้องกันการฉีกขาดที่อาจเกิดกับเมมเบรนกันน้ำจากวัสดุมีคม เช่น ก้อนหิน เหลี่ยมคมของผิวผนังคอนกรีตและโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น ซึ่งเป็นช่องทางระบายน้ำสำหรับน้ำที่ซึมผ่านรอบโครงสร้างอุโมงค์

4.1.1.2 พื้นผิวของชั้นระบายน้ำและชั้นป้องกันน้ำ ต้องสามารถเคลื่อนตัวได้เพื่อช่วยลดแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ และลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิและการทรุดตัวของดาดอุโมงค์ (tunnel lining หรือ secondary lining) หลังจากการติดตั้ง

4.1.1.3 ชั้นป้องกันน้ำและชั้นระบายน้ำ ต้องสามารถต้านทานแรงกระทำทางกลและการกัดกร่อนจากสารเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการก่อสร้าง การหล่อและการบ่มคอนกรีต ที่ส่งผลต่อสมบัติของชั้นป้องกันน้ำและชั้นระบายน้ำ

4.1.1.4 ชั้นระบายน้ำ ต้องได้รับการออกแบบที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ซึมเข้ามาภายในอุโมงค์

4.1.1.5 ชั้นป้องกันน้ำและชั้นระบายน้ำต้องทำงานประสานกัน เพื่อระบายน้ำเข้าสู่ทางระบายน้ำรอง โดยน้ำที่ระบายเข้าสู่ทางระบายน้ำภายในอุโมงค์ต้องมีแรงดันน้ำต่ำและไม่กระทบต่อดาดอุโมงค์ หากไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำที่ซึมเข้ามาได้ ต้องติดตั้งระบบระบายน้ำที่ผิวดินเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำ

4.1.2 วัสดุเมมเบรนกันน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

4.1.2.1 เมมเบรนกันน้ำ ต้องผลิตจากวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) โพลีไวนิลคลอไรด์อ่อน (PVC)

(2) โพลีโอเลฟินยืดหยุ่น (FPO/TPO)

(3) เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (EVA)

4.1.2.2 เมมเบรนกันน้ำที่จัดหามา ต้องมีขนาดและรูปทรงที่ช่วยให้เกิดการเชื่อมต่อรอยต่อระหว่างแผ่นน้อยที่สุด

4.1.2.3 หากต้องมีการเทคอนกรีตทับบนเมมเบรนกันน้ำ ต้องมีการป้องกันและการตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่าเมมเบรนกันน้ำจะไม่เกิดความเสียหาย ทั้งนี้ วิธีการดังกล่าวต้องไม่ส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อมและสมบัติการกันน้ำของเมมเบรนกันน้ำ

4.1.2.4 ห้ามใช้เมมเบรนกันน้ำเพื่อการรับแรง

4.1.2.5 เมมเบรนกันน้ำ ต้องสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของดาดอุโมงค์ที่อาจเกิดขึ้นโดยไม่เกิดความเสียหายต่อเมมเบรนกันน้ำ

4.1.2.6 วัสดุที่เลือกใช้ต้องมีความเหมาะสมต่อความเค้นที่คาดว่าจะเกิดขึ้นต่อเมมเบรนกันน้ำ

4.1.3 วัสดุสำหรับยึดเมมเบรนกันน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

4.1.3.1 ชั้นป้องกันน้ำและชั้นระบายน้ำ ต้องถูกยึดเข้ากับพื้นผิวด้วยแผ่นดิสก์ โดยแผ่นดิสก์จะยึดติดกับจีออเทกซ์ไทล์ในชั้นระบายน้ำด้วยตะปูยิง (shot-fired nail)

4.1.3.2 แผ่นดิสก์ ต้องทำมาจากวัสดุที่เชื่อมด้วยความร้อนกับเมมเบรนกันน้ำได้และเชื่อมติดกับพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์

4.1.3.3 เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดึงหรือแรงเฉือนจากดาดอุโมงค์ที่ส่งถ่ายไปยังเมมเบรนกันน้ำ ค่าความต้านทานแรงเฉือนของตะปูและแผ่นดิสก์ต้องน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงเฉือนของเมมเบรนกันน้ำ

4.1.4 วัสดุและอุปกรณ์เสริมในระบบป้องกันน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

4.1.4.1 ระบบป้องกันน้ำต้องแบ่งออกเป็นช่วง ในแต่ละช่วงรอยต่อของโครงสร้างให้ติดตั้งแถบกั้นน้ำ (waterstop) ที่ทำจากวัสดุที่สามารถเชื่อมติดกับเมมเบรนกันน้ำ โดยเมมเบรนกันน้ำในแต่ละช่วง ต้องมีความยาวไม่เกิน 12 m หรือตามความยาวช่วงของแบบหล่อคอนกรีต

4.1.4.2 การเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำของชั้นระบายน้ำ สามารถทำได้โดยเพิ่มการติดตั้งเมมเบรนกันน้ำชนิดมีปุ่ม (studded drainage membrane) ที่ทำจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก โดยติดไว้หลังจากการติดตั้งจีออเทกซ์ไทล์

4.1.4.3 ท่อฉีดกลับชนิดปลอกคู่ (double-sleeved re-injectable hoses) ที่มีช่องเปิดหรือช่องฉีดเยื้อง สามารถใช้สำหรับการอัดฉีดเพื่อปิดรอยต่อและเติมเต็มช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการหล่อคอนกรีตสำหรับดาดอุโมงค์ สายท่อสำหรับการอัดฉีดต้องทำจากวัสดุที่เข้ากันได้กับเมมเบรนกันน้ำ

4.1.4.4 วัสดุชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำ ต้องเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับเมมเบรนกันน้ำและต้องไม่ส่งผลเสียต่อสมบัติของเมมเบรนกันน้ำ เช่น ความยืดหยุ่น ความทนทาน หรือสมบัติกันน้ำ โดยทางผู้ผลิตเมมเบรนกันน้ำและชิ้นส่วนนั้น ๆ ต้องรับรองความเข้ากันได้ของวัสดุอื่นต่อเมมเบรนกันน้ำ

ตารางที่ 1 รายการวัสดุสำหรับงานระบบป้องกันน้ำ

วัสดุ	สมบัติของวัสดุ
เมมเบรนกันน้ำ (waterproof membrane)	ให้เป็นไปตาม ภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1 “สมบัติของเมมเบรนกันน้ำ (performance requirements of waterproof membrane)”
จีออเทกซ์ไทล์ (geotextile)	ให้เป็นไปตาม ภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.2 “สมบัติของจีออเทกซ์ไทล์ (performance requirements for geotextile)”
แถบกั้นน้ำ (waterstop)	ให้เป็นไปตาม ภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.3 “สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแถบกั้นน้ำ (waterstop)”
คอนกรีตกันซึม (waterproof concrete)	ให้เป็นไปตาม “ข้อกำหนดด้านเทคนิคของคอนกรีตกันซึม” ในหัวข้อ 4.2

4.2 ข้อกำหนดทั่วไปทางเทคนิคของคอนกรีตกันซึม

คอนกรีตกันซึมเป็นวัสดุที่ออกแบบขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่โครงสร้าง มักใช้ในงานก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดินที่อาจสัมผัสกับน้ำโดยตรง คอนกรีตประเภทนี้มีสมบัติ

ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น ทั้งนี้ สมบัติการกันน้ำของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความต้องการในการป้องกันน้ำของโครงสร้าง ระดับน้ำใต้ดิน และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านส่วนผสม วิธีการผลิต และสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

4.2.1 วัสดุผสมสำหรับคอนกรีตกันซึม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ สารผสมเพิ่ม เถ้าลอย และสมบัติลักษณะทางเคมีในคอนกรีต ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานสทร. HSR-CT-2001:2568 ข้อกำหนดรายการคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

4.2.2 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ ต้องควบคุมให้ได้สัดส่วนของน้ำและปูนที่เหมาะสม เพื่อความคงทนและมีความสอดคล้องกับอายุการใช้งานของโครงสร้างในระยะยาว สามารถดำเนินการตามมาตรฐานสทร. HSR-CT-2002:2568 มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับการรับน้ำหนักและความคงทน สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

4.2.3 การป้องกันการซึมของคอนกรีตกันซึม ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ทั้งนี้ ต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการป้องกันการซึมตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่เกี่ยวข้องตามความเห็นจากผู้ออกแบบและคำนวณก่อนนำมาใช้งาน

4.3 ข้อกำหนดการเลือกใช้วัสดุ

วัสดุและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ทั้งหมด ต้องผ่านการทดสอบคุณภาพและสมบัติให้เป็นไปตามรายการประกอบแบบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ การเลือกใช้วัสดุและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเฉพาะในท้องถิ่น ต้องมีการแจ้งและได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและคำนวณก่อนนำมาใช้งาน

5. การติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำ

ระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำมีความสำคัญในการควบคุมการไหลซึมและการสะสมของน้ำใต้ดิน การติดตั้งระบบป้องกันน้ำ ต้องสอดคล้องกับสภาพทางวิศวกรรมของโครงสร้างและพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อรักษาเสถียรภาพของอุโมงค์ตลอดอายุการใช้งาน

5.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำ

แผนงานโครงการ การออกแบบโครงสร้าง ต้องพิจารณาตามระดับความสามารถและความต้องการในการป้องกันน้ำของโครงสร้าง สภาพธรณีวิทยา สภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้เคียง อันเนื่องมาจากการก่อสร้างอุโมงค์ ทั้งนี้ ระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำในอุโมงค์ทางรถไฟความเร็วสูง ต้องใช้มาตรการควบคุมการก่อสร้างซึ่งครอบคลุมในส่วนของ การป้องกันน้ำ การกั้นทางน้ำ การดักน้ำและการระบายน้ำ ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านวิศวกรรมการก่อสร้างและข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม

5.1.1 การป้องกันน้ำของอุโมงค์ประกอบด้วย การปรับปรุงคุณภาพผิวดิน การป้องกันน้ำซึมในชั้นหินหรือชั้นดินโดยรอบ ระบบระบายน้ำ ระบบป้องกันน้ำภายในอุโมงค์ และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงตัวอย่างในรูปที่ 1

5.1.2 ห้ามใช้วัสดุที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำ เนื่องจากน้ำที่ปล่อยออกมาระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์สามารถส่งผลให้เกิดมลพิษต่อน้ำใต้ดิน เกิดการซึมผ่านและปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ

5.1.3 ต้องดำเนินการก่อสร้างระบบระบายน้ำ โดยให้มีการเชื่อมต่อระบบระบายน้ำบริเวณทางเข้าอุโมงค์ (portal) และระบบระบายน้ำภายนอกอุโมงค์โดยเร็วที่สุด ต้องทำการสร้างหรือติดตั้งบ่อรวมน้ำพร้อมระบบบำบัดน้ำ เพื่อให้มีการระบายน้ำอย่างเพียงพอ

5.1.4 การติดตั้งระบบระบายน้ำต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบและต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายน้ำ

5.1.5 วัสดุสำหรับระบบระบายน้ำ คุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการระบายน้ำสำหรับมาตรฐานฉบับนี้ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบและดำเนินการตรวจสอบตามที่กำหนด

5.1.6 ระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ ต้องมีองค์ประกอบหลักดังนี้

5.1.6.1 ทางระบายน้ำหลัก (central ditch)

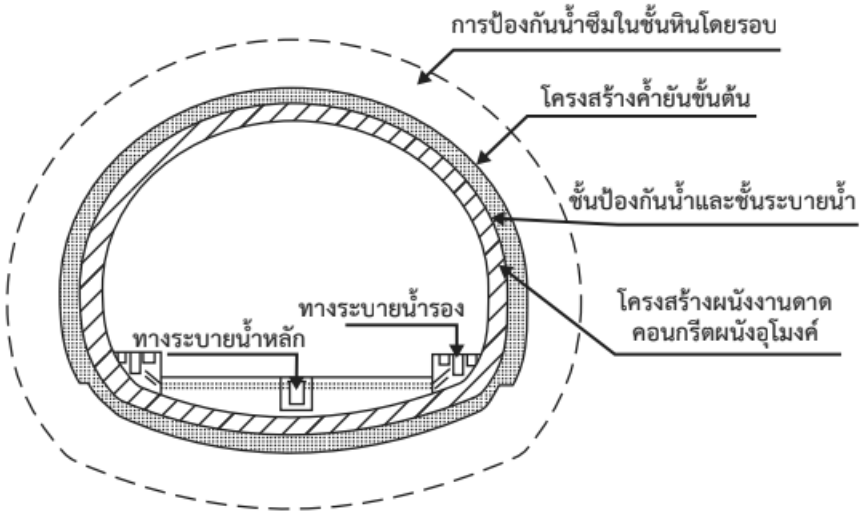
5.1.6.2 ทางระบายน้ำรอง (side ditch)

5.1.6.3 ท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง (circumferential filter ditch)

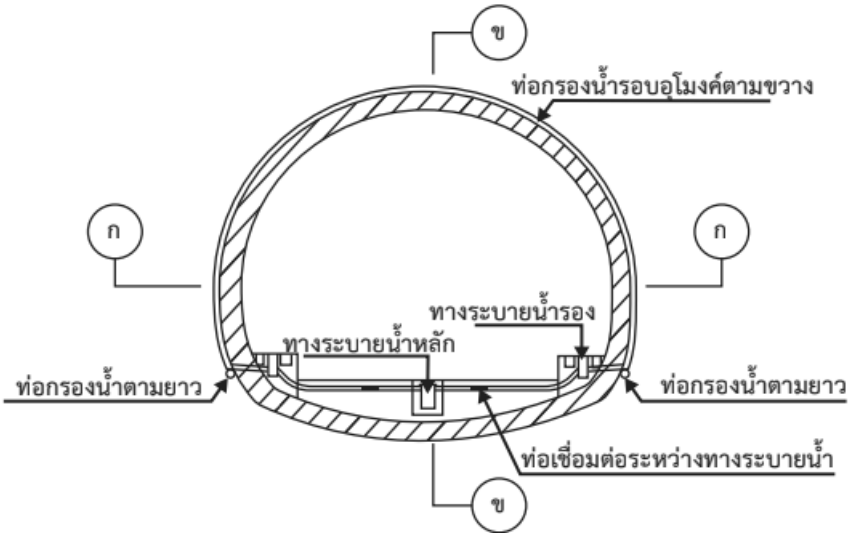
5.1.6.4 ท่อกรองน้ำตามแนวยาว (longitudinal filter ditch)

5.1.6.5 ท่อเชื่อมต่อระหว่างทางระบายน้ำ (transverse connection ditch)

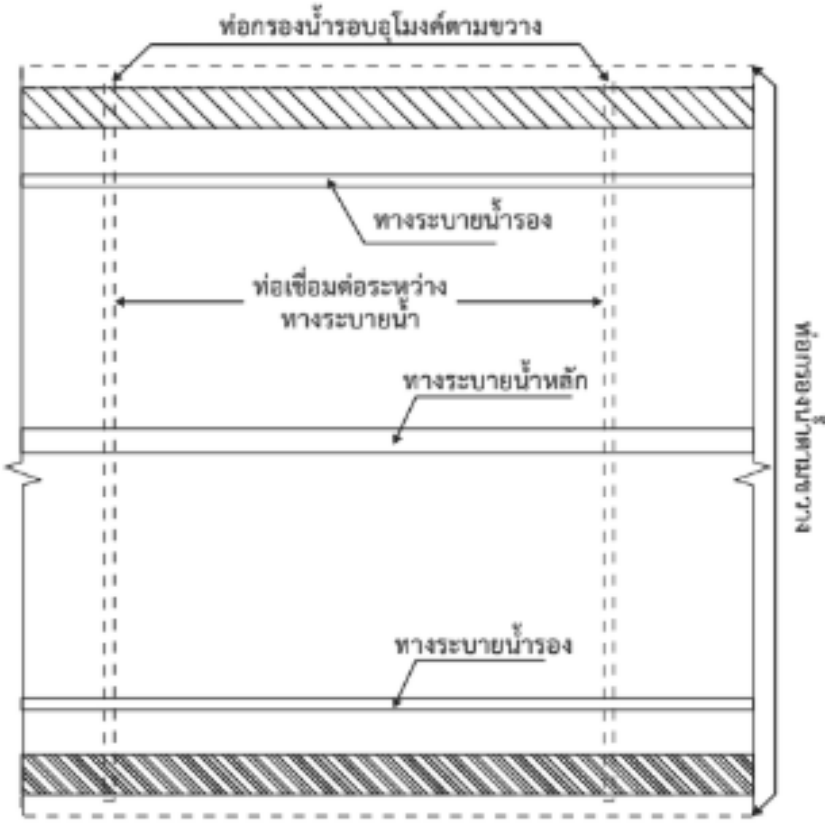
โดยระบบระบายน้ำต้องมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีและไม่อุดตัน เพื่อให้น้ำสามารถระบายออกจากอุโมงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์แสดงในรูปที่ 2



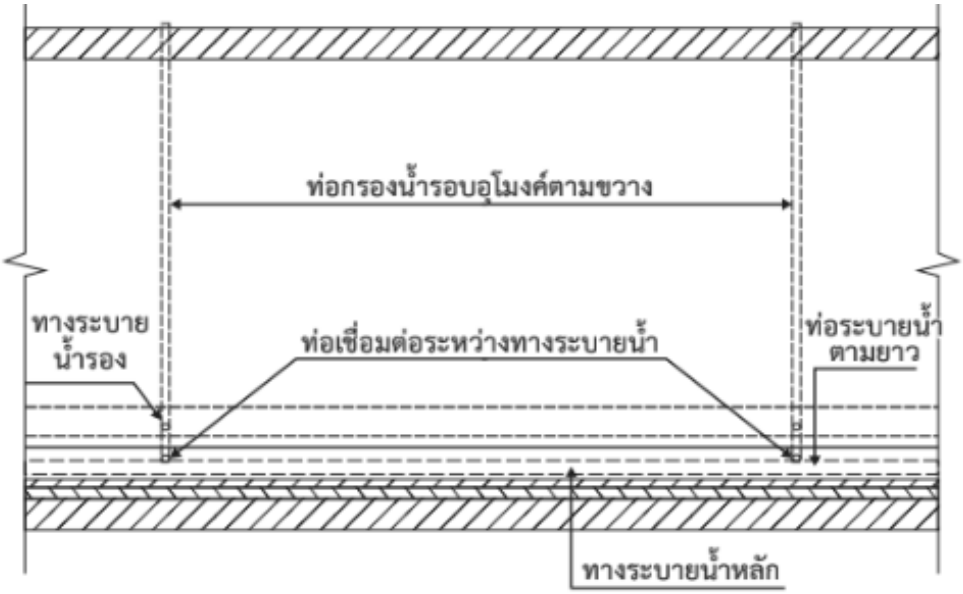
รูปที่ 1 ตำแหน่งของระบบป้องกันและระบายน้ำภายในอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



(ก)


ท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง
ทางระบายน้ำรอง
ท่อเชื่อมต่อระหว่าง
ทางระบายน้ำ
ทางระบายน้ำหลัก
ทางระบายน้ำรอง

(ข)


ท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง
ทางระบาย
น้ำรอง
ท่อเชื่อมต่อระหว่างทางระบายน้ำ
ท่อระบายน้ำ
ตามยาว
ทางระบายน้ำหลัก

(ค)

รูปที่ 2 ระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ โดยที่ภาพ (ก) แสดงระบบภาพรวมการระบายน้ำของอุโมงค์ ภาพ (ข) ภาพตัดตามขวางของอุโมงค์แสดงระบบระบายน้ำ (ภาพตัด ก-ก) และภาพ (ค) ภาพตัดตามยาวของอุโมงค์แสดงระบบระบายน้ำ (ภาพตัด ข-ข) (ที่มา "Q/CR 9604-2015")

5.2 การติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำระหว่างการก่อสร้าง

ระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ ต้องมีระบบป้องกันน้ำชั่วคราวและระบบระบายน้ำที่สามารถรับมือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินและแรงดันน้ำ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อเสถียรภาพของการขุดเจาะ ก่อนการก่อสร้างอุโมงค์ ต้องทำการวิเคราะห์และศึกษาสภาพน้ำใต้ดินจากข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีวิทยาที่ระบุไว้ในการออกแบบประกอบกับข้อมูลสภาพพื้นที่จริง เพื่อคาดการณ์ความเป็นไปได้ของสภาพน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเข้าอุโมงค์ จากนั้นจึงจัดทำระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำ

5.2.1 หากชั้นคอนกรีตโดยรอบของอุโมงค์มีความหนาไม่เพียงพอหรือน้ำจากผิวดินสามารถไหลซึมเข้าสู่ภายในอุโมงค์ได้และเกิดเป็นแอ่งน้ำ หลุม และรอยเว้าบนพื้นผิวดิน ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพก่อนการก่อสร้างอุโมงค์ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.2.1.1 พื้นผิวดินเหนืออุโมงค์ บริเวณทางเข้าอุโมงค์และบริเวณอุโมงค์ตื้น (shallow tunnel) ต้องปรับระดับความลาดชันเพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมตัวของน้ำและป้องกันมิให้น้ำไหลเข้าอุโมงค์

5.2.1.2 พื้นผิวดินที่เกิดหลุมเว้า หลุมเจาะและโพรงบนพื้นผิวดิน ต้องถูกถมกลับด้วยดินที่มีสมบัติกันน้ำและซึมผ่านได้ยากโดยการบดอัดทีละชั้น

5.2.1.3 หากมีทางน้ำที่ไหลบนพื้นผิวดินเหนืออุโมงค์ ต้องทำการขุดร่องน้ำเพิ่มเพื่อเป็นช่องทางในการไหลของน้ำหรือทำการออกแบบช่องทางการไหลของน้ำสำหรับรองรับปริมาณน้ำที่มีโอกาสที่ไหลซึมเข้าสู่ภายในอุโมงค์

5.2.1.4 หากมีบ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ และแม่น้ำ อยู่บนพื้นผิวดินเหนืออุโมงค์ต้องทำการปรับปรุงและทำการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำซึมผ่านสำหรับบ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำเพิ่มเติมและทำช่องระบายน้ำล้นหากจำเป็น

5.2.1.5 หากบริเวณรอบอุโมงค์ตื้น มีชั้นหินที่หลวม พบรอยแตกร้าวและมีระดับน้ำใต้ดินสูง ต้องทำการเกราต์รอยแตกของพื้นผิวโดยรอบ โดยคำนึงถึงเทคนิคการก่อสร้างและต้นทุนในการก่อสร้างร่วมด้วย

5.2.2 ต้องก่อสร้างร่องกั้นน้ำบริเวณทางลาดเหนือทางเข้าอุโมงค์ก่อนเริ่มงานขุดหน้าตัด ทั้งนี้ต้องติดตั้งบ่อรวมน้ำอย่างน้อยหนึ่งบ่อบริเวณทางลาดด้านข้างทางเข้าอุโมงค์ และมีบ่อตรวจสอบ (manhole) ห่างจากทางเข้าอุโมงค์ 2 m น้ำภายในอุโมงค์จะถูกระบายไปยังบ่อรวมน้ำด้านนอกอุโมงค์ ด้วยท่อคอนกรีตเสริมเหล็กเชื่อมต่อระหว่างบ่อตรวจสอบกับบ่อรวมน้ำ

5.2.3 ระหว่างการก่อสร้างระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ การดำเนินงานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.2.3.1 หน้าตัดและความลาดชันของทางระบายน้ำ ต้องเพียงพอต่อการระบายน้ำในระหว่างการก่อสร้างและต้องมีการทำความสะอาดทางระบายน้ำเป็นประจำ

5.2.3.2 กรณีที่ความลาดชันของทางระบายน้ำมีความลาดชันต่ำและน้ำในทางระบายน้ำสามารถไหลกลับเข้าสู่ภายในอุโมงค์ ต้องติดตั้งบ่อรวมน้ำและใช้เครื่องสูบน้ำที่มีอัตราการสูบน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำที่ต้องระบายออก

5.2.3.3 ต้องติดตั้งท่อกรองน้ำ (drainage filter pipe) รอบอุโมงค์ตามขวางและท่อกรองน้ำตามยาว (longitudinal filter pipe) เพื่อระบายน้ำบนพื้นอุโมงค์ลงสู่ทางระบายน้ำรอง

5.2.4 เมื่อน้ำภายในอุโมงค์ถูกระบายออกสู่ทางระบายน้ำสาธารณะ ทางระบายน้ำสาธารณะต้องสามารถระบายน้ำที่มาจากภายในอุโมงค์ได้

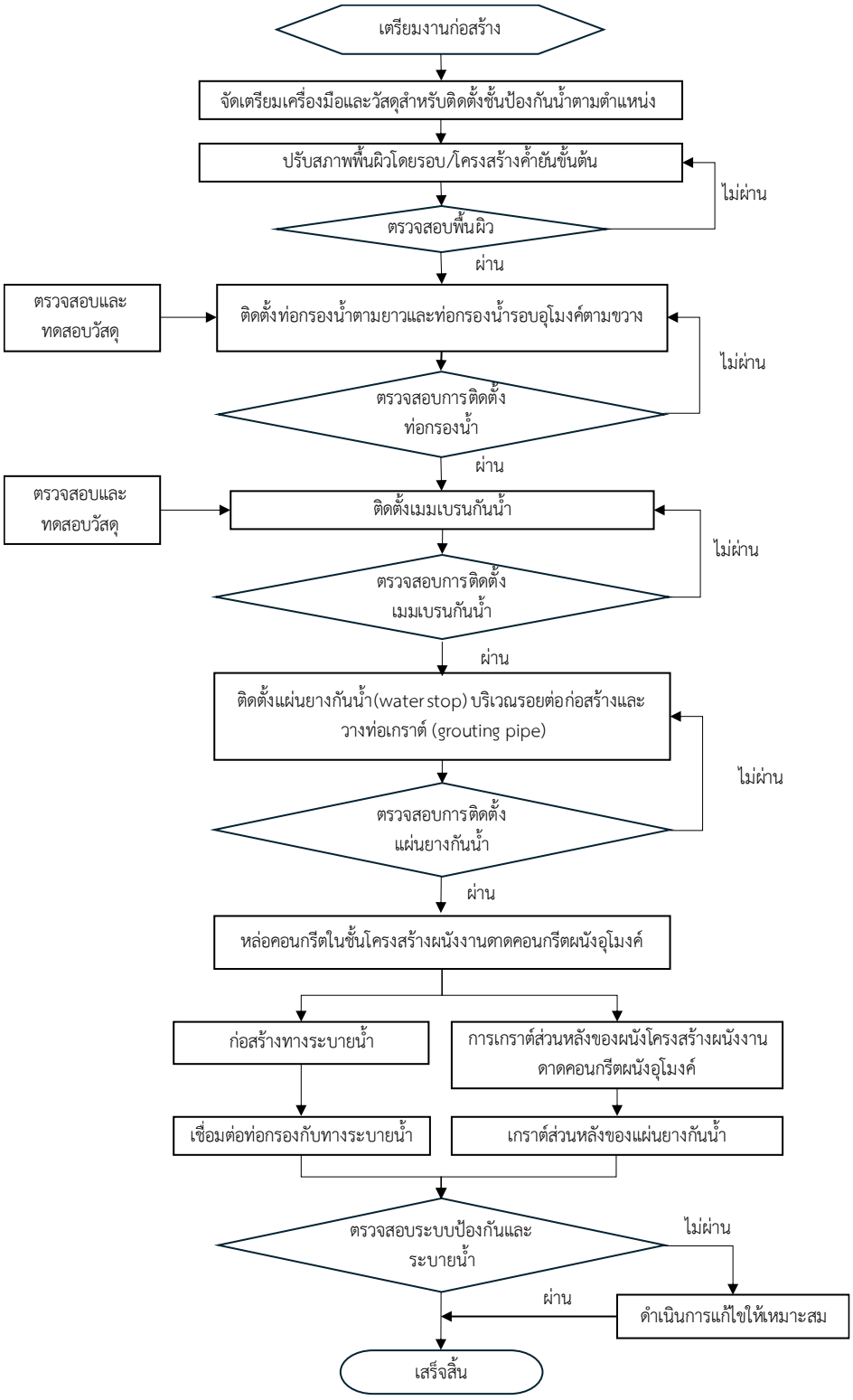
5.2.5 หากมีการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านชั้นดินหรือชั้นหิน ซึ่งมีปริมาณน้ำบริเวณนั้นมากเกินขีดจำกัดการระบายน้ำที่ออกแบบไว้ ต้องใช้มาตรการอื่น เช่น การปิดผิวอุโมงค์ที่มีน้ำเข้ามาหรือการเพิ่มระบบป้องกันน้ำ เพื่อให้ระบายน้ำได้เพียงพอ

5.2.6 สำหรับอุโมงค์ตื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงและสภาพชั้นหินหรือดินโดยรอบไม่เสถียร สามารถใช้วิธีการลดระดับน้ำใต้ดิน (dewatering) เพื่อปรับปรุงความมั่นคงของชั้นหินหรือดิน

5.3 การติดตั้งระบบป้องกันน้ำภายในอุโมงค์

การใช้แถบกั้นน้ำเป็นวิธีในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่อุโมงค์ สำหรับงานก่อสร้างระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำบริเวณจุดรอยต่อโครงสร้าง เป็นจุดที่ต้องควบคุมคุณภาพเป็นพิเศษ คุณภาพของการป้องกันการรั่วซึมผ่านรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ

5.3.1 ลำดับขั้นตอนการติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบระบายน้ำภายในอุโมงค์ ต้องเป็นไปตามรายละเอียดในรูปที่ 3



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

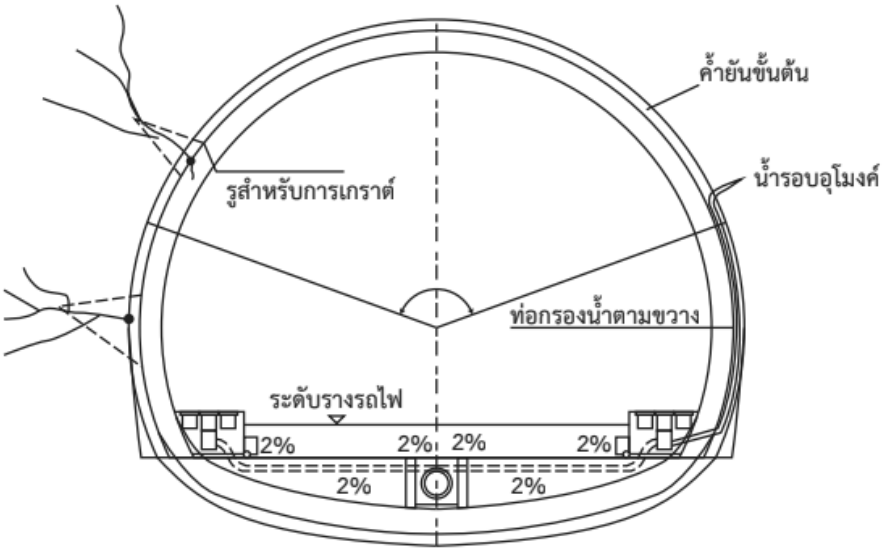
5.3.2 ก่อนการติดตั้งท่อระบายน้ำและเมมเบรนกันน้ำ ต้องตรวจสอบพื้นผิวและตรวจสอบบริเวณจุดรั่วซึมของโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น สามารถดำเนินการตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.3.2.1 พื้นผิวของโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นต้องเรียบเสมอกันปราศจากรูพรุน ผิวโป่งพอง รอยนูน (heaving) รอยร้าว (cracks) พื้นผิวที่เปราะแตกได้ง่าย (crispness) และหลุดร่อน (looseness) โดยใช้วิธีการพ่นหรือฉาบปิดผิวเพื่อปรับแต่งพื้นผิวให้ได้ระดับ

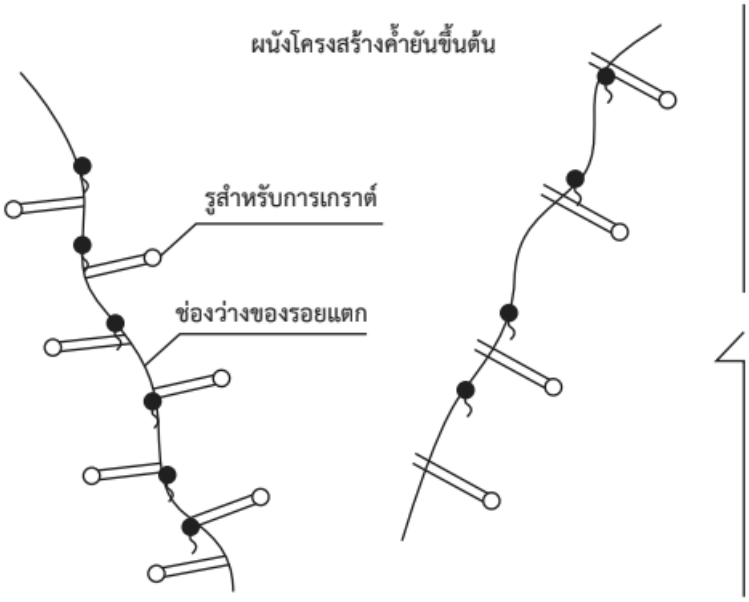
5.3.2.2 ส่วนที่ยื่นออกมา เช่น ปลายตะแกรงลวดเหล็ก (wire mesh) ปลายท่อเกราต์ ปลายสลักเกลียวยึด (anchor bolt) และอื่น ๆ จำเป็นต้องตัดออก ปิดทับ หรือสกัดออกก่อนที่ทำการแต่งผิวด้วยคอนกรีตพ่นหรือฉาบปิดผิว

5.3.2.3 ก่อนการติดตั้งเมมเบรนกันน้ำ ต้องดำเนินการปรับแต่งผิวผนังโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นให้มีความเรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้เมมเบรนสามารถติดตั้งได้อย่างแนบสนิทและลดการเกิดหลุมหรือแอ่งน้ำบริเวณผิวผนังโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น

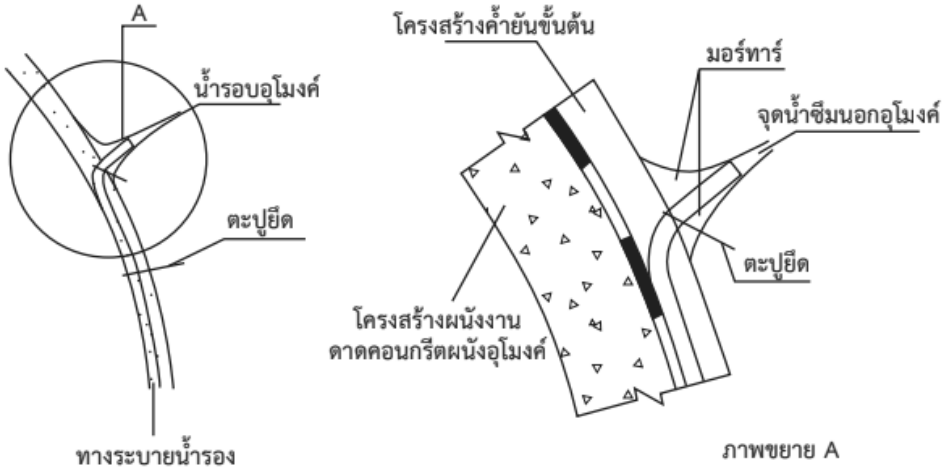
5.3.3 กรณีที่มีน้ำไหลซึมผ่านหน้าผิวของโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น ต้องทำการอุดรอยรั่วหรือการเกราต์เฉพาะจุดกั้นน้ำ (interception grouting) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมผ่าน สำหรับน้ำที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากการอุดรอยรั่วสามารถระบายออกสู่ทางระบายน้ำภายในอุโมงค์ได้โดยผ่านชั้นระบายน้ำ ดังรูปที่ 4 การจัดการรอยรั่วซึมของน้ำบริเวณผนังอุโมงค์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4 การจัดการรอยรั่วซึมของน้ำบริเวณผนังอุโมงค์ โดยที่ภาพ (ก) แสดงภาพรวมของระบบจัดการรอยรั่วซึมของน้ำบริเวณผนังอุโมงค์ ภาพ (ข) แสดงตำแหน่งรูเกราต์ และภาพ (ค) แสดงลักษณะการติดตั้งท่อเพื่อระบายน้ำรอบอุโมงค์ (การรถไฟแห่งประเทศไทย (2566))

5.3.4 ระบบระบายน้ำระหว่างผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นและดาดอุโมงค์ประกอบด้วย ท่อกรองน้ำ และวัสดุอื่น ๆ ต้องเป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดดังแผนผังการติดตั้งท่อกรองน้ำในรูปที่ 5

5.3.5 การติดตั้งท่อกรองน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

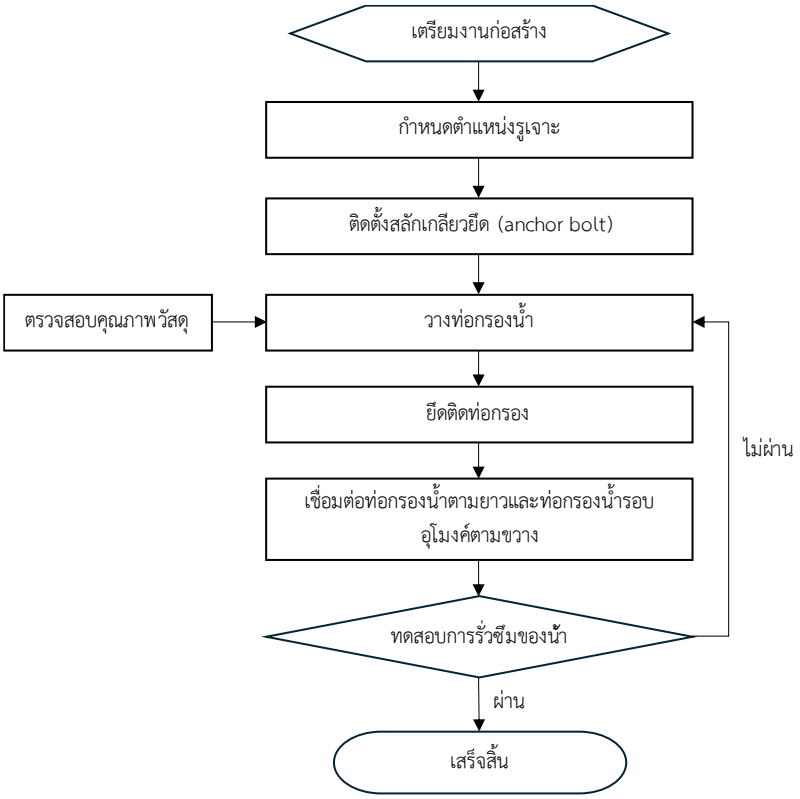
5.3.5.1 ท่อกรองน้ำตามยาว ท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง ต้องติดตั้งบริเวณด้านหลังของดาดอุโมงค์และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบ โดยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของท่อกรองน้ำได้ตามปริมาณน้ำซึมระหว่างการก่อสร้างตามความเหมาะสม แต่ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนการดำเนินงาน

5.3.5.2 ท่อกรองน้ำต้องยึดติดให้แน่นด้วยตัวยึดท่อ (pipe clips)

5.3.5.3 ในระหว่างการติดตั้งทางระบายน้ำรองบริเวณด้านข้างอุโมงค์ ต้องมีมาตรการป้องกันเศษวัสดุต่าง ๆ เข้าไปอุดตันทางระบายน้ำ

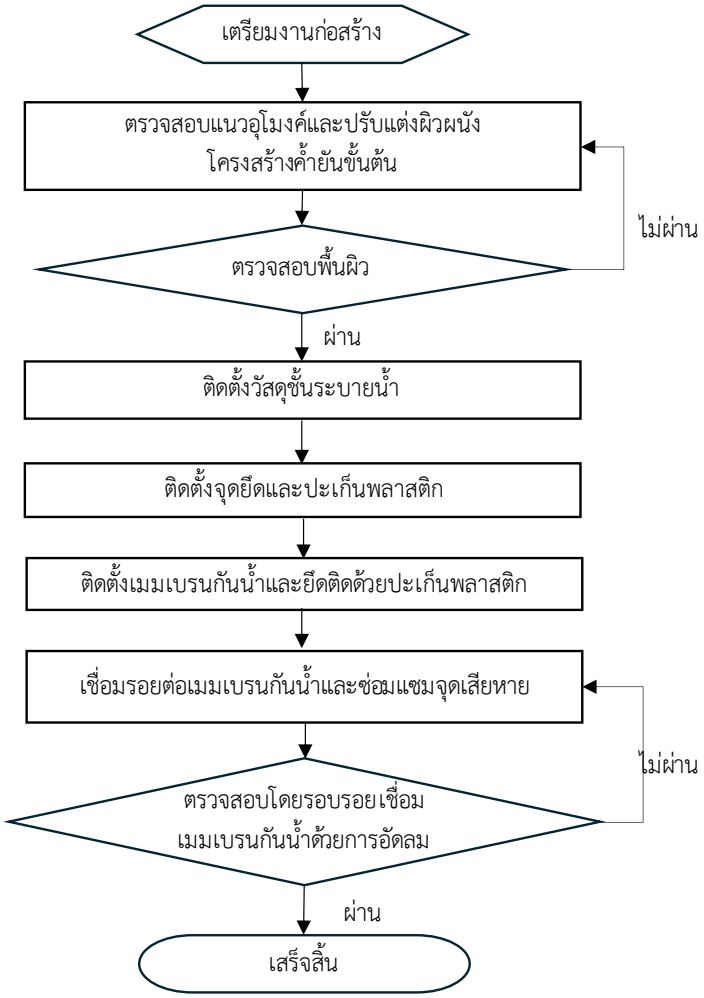
5.3.5.4 ท่อกรองน้ำตามยาวและท่อกรองน้ำรอบอุโมงค์ตามขวาง ต้องมีการเชื่อมต่อกันและต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบ เพื่อให้ได้ระบบระบายน้ำที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ สามารถปรับเปลี่ยนการเลือกใช้ข้อต่อได้ตามความเหมาะสมระหว่างการก่อสร้าง แต่ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนการดำเนินงาน

5.3.5.5 ต้องทำการทดสอบการรั่วซึมของระบบระบายน้ำหลังการติดตั้งทุกครั้ง



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

5.3.6 เมมเบรนกันน้ำของอุโมงค์ ประกอบด้วยชั้นระบายน้ำและเมมเบรนกันน้ำ ขั้นตอนการติดตั้งชั้นป้องกันน้ำแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการติดตั้งชั้นป้องกันน้ำ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

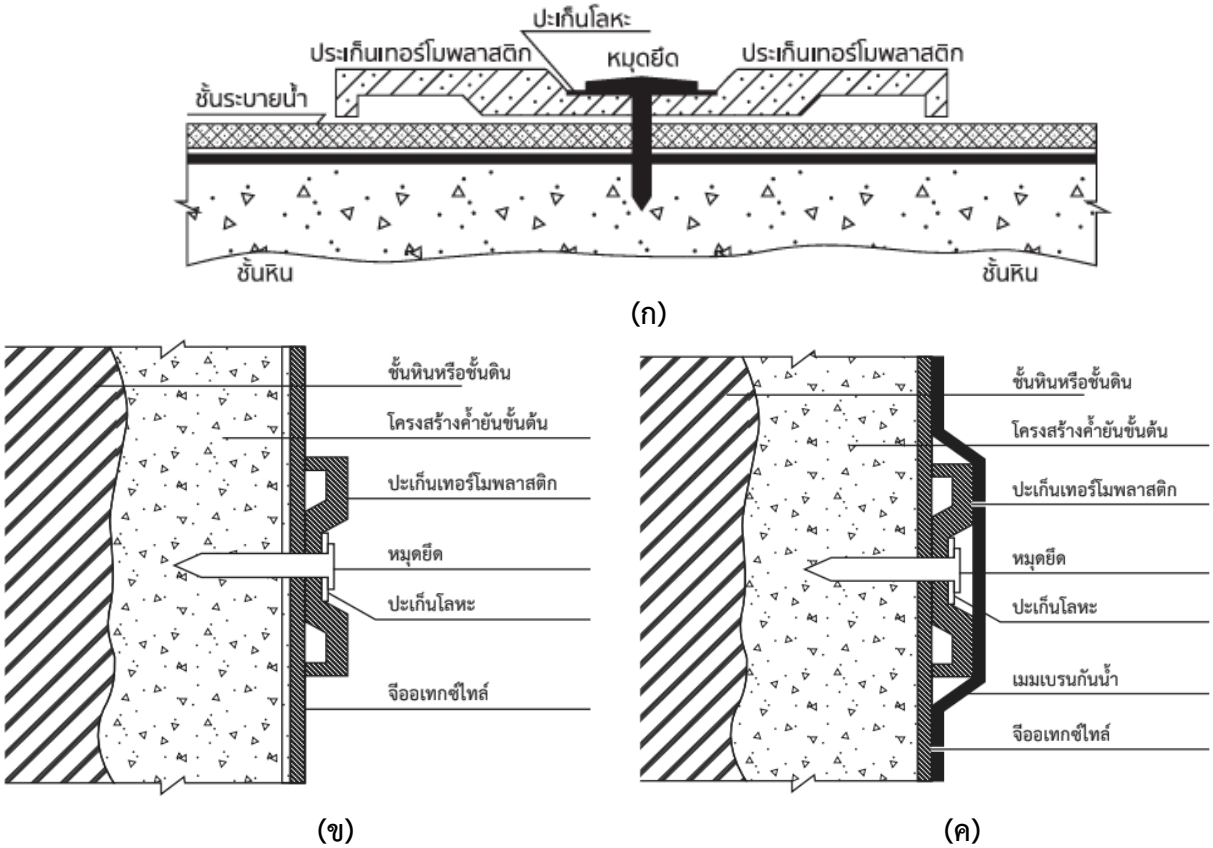
5.3.7 การติดตั้งเมมเบรนกันน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.3.7.1 การติดตั้งเมมเบรนกันน้ำ ต้องดำเนินการก่อนการหล่อผนังดาดอุโมงค์และเว้นระยะห่างที่ปลอดภัยระหว่างเมมเบรนกันน้ำกับหน้าดินขุด (excavation face)

5.3.7.2 ต้องตรวจสอบคุณภาพวัสดุเมมเบรนกันน้ำและวัสดุสำหรับชั้นระบายน้ำบริเวณภายนอกอุโมงค์ก่อนการติดตั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายต่อเมมเบรนกันน้ำ

5.3.7.3 การติดตั้งชั้นระบายน้ำ ต้องใช้หมุดหรือสลักสำหรับยึดปะเก็นเทอร์โมพลาสติกและชั้นระบายน้ำบนพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น ต้องมีลักษณะดังรูปที่ 7 โดยระยะห่างของหมุดยึดถูกกำหนดตามพื้นผิวความเรียบและตามตำแหน่งที่

ทำการติดตั้ง ในส่วนของผนังส่วนโค้งด้านบนอยู่ที่ 0.5 m ถึง 0.8 m ในส่วนของผนังด้านข้าง 0.8 m ถึง 1.0 m และสำหรับบนพื้นอุโมงค์ 1.0 m ถึง 1.5 m หมุดยึดต้องวางในลักษณะการกระจายตัวสม่ำเสมอตามพื้นผิว สำหรับพื้นผิวที่มีความไม่สม่ำเสมอ ต้องทำการติดตั้งหมุดยึดเพิ่มเติมตามความเหมาะสม เพื่อให้ชั้นระบายน้ำแนบชิดกับพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น ในส่วนที่ทับซ้อนของรอยต่อชั้นระบายน้ำต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 50 mm

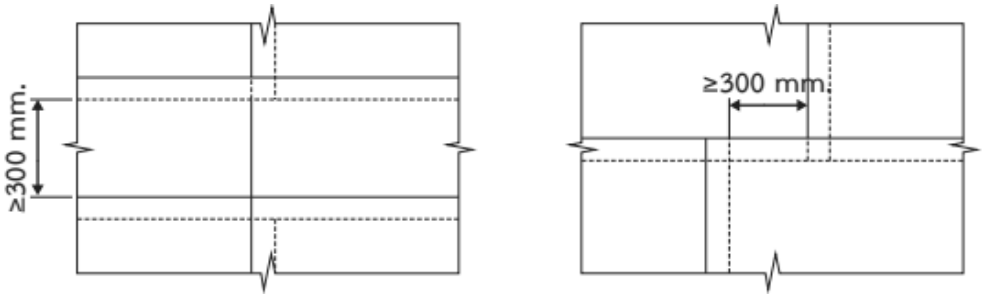


รูปที่ 7 การติดตั้งชั้นระบายน้ำด้วยหมุดและปะเก็น (ก) แสดงภาพรวมของชั้นระบายน้ำด้วยหมุดและปะเก็น ภาพ (ข) ภาพแสดงการติดตั้งชั้นระบายน้ำด้วยหมุดและปะเก็นแบบไม่มีเมมเบรนกันน้ำ และภาพ (ค) ภาพแสดงการติดตั้งชั้นระบายน้ำด้วยหมุดและปะเก็นแบบมีเมมเบรนกันน้ำ (ที่มา “Q/CR 9604-2015” และ “(การรถไฟแห่งประเทศไทย (2566)”)

5.3.7.4 เมมเบรนกันน้ำ ต้องเริ่มติดตั้งจากส่วนโค้งของยอดอุโมงค์ไปยังผนังด้านข้างทั้งสองด้านโดยรอยต่อของเมมเบรนกันน้ำ ต้องเชื่อมติดกับแผ่นยางเทอร์โมพลาสติกด้วยการเชื่อมด้วยความร้อน การยึดเมมเบรนกันน้ำต้อง

พิจารณาให้มีแรงดึงในวัสดุที่เหมาะสม และเว้นระยะขอบที่เหมาะสมตามความเรียบของพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น

5.3.7.5 เมมเบรนกันน้ำที่ถูกติดตั้งส่วนด้านล่าง ต้องติดตั้งทับบนเมมเบรนกันน้ำที่ติดตั้งส่วนด้านบน โดยบริเวณรอยต่อตามยาวและรอยต่อรอบอุโมงค์ตามขวางของเมมเบรนกันน้ำ ต้องมีการใช้รอยต่อแบบตัวที ดังรูปที่ 8 นอกจากการติดตั้งเมมเบรนกันน้ำตามปกติ บริเวณรอยต่อจำเป็นต้องวางทับด้วยเมมเบรนกันน้ำอีกหนึ่งชั้น โดยใช้เมมเบรนกันน้ำชนิดเดียวกันและเชื่อมรอยต่อด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความร้อน



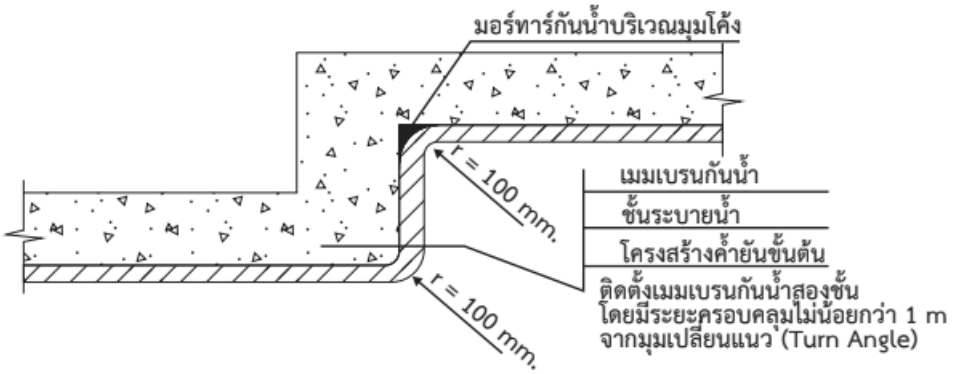
รูปที่ 8 การติดตั้งเมมเบรนกันน้ำแบบตัวที (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.3.7.6 ความกว้างของรอยต่อของเมมเบรนกันน้ำต้องไม่น้อยกว่า 150 mm และขอบของเมมเบรนกันน้ำที่วางซ้อนกันเป็นช่วง ๆ ต้องมีความยาวในการซ้อนทับอย่างน้อย 600 mm สำหรับรอยเชื่อมคู่ ต้องใช้วิธีการเชื่อมด้วยความร้อนดังรูปที่ 9 ความกว้างของรอยเชื่อมเดี่ยวต้องไม่น้อยกว่า 15 mm และห้ามมีรอยไหม้หรือทะลุจากการเชื่อมด้วยความร้อน โดยการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมประสานและรอยต่อสามารถทำการเป่าลม (air inflation method) เข้าไปในรอยเชื่อม หากพบรูรั่วซึมของอากาศต้องรีบทำการซ่อมแซมก่อนการก่อสร้างในขั้นตอนถัดไป รอยต่อของเมมเบรนกันน้ำ ต้องเว้นระยะห่างจากรอยต่อก่อสร้างประมาณ 1 m ถึง 2 m

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

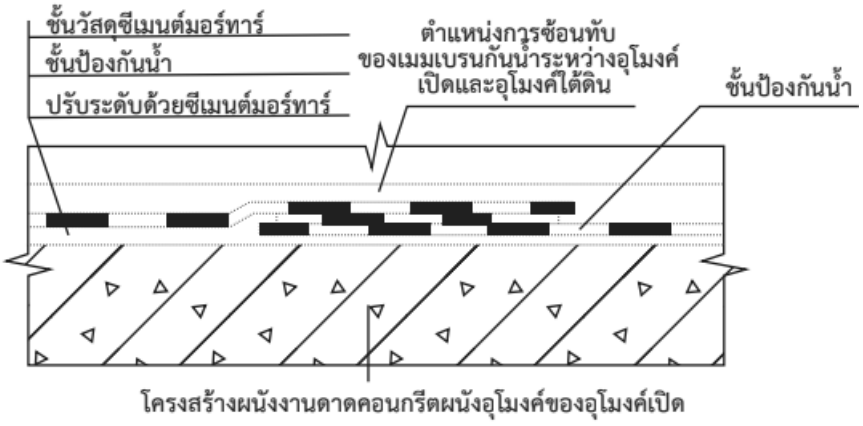
5.3.7.7 ระหว่างการเตรียมเหล็กเสริมและการหล่อผนังดาดอุโมงค์ ต้องมีการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อเมมเบรนกันน้ำ

5.3.7.8 เมมเบรนกันน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างอุโมงค์หลักกับห้องเสริม (auxiliary chamber) บริเวณด้านข้างแนวอุโมงค์หลัก ต้องติดตั้งดังรูปที่ 10 เพื่อป้องกันการเกิดแอ่งน้ำและน้ำขังบริเวณรอยต่อ



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

5.3.7.9 ส่วนต่อระหว่างชั้นป้องกันน้ำของอุโมงค์แบบเปิด (open-cut tunnel) กับชั้นป้องกันน้ำของอุโมงค์ใต้ดิน (underground tunnel) ต้องให้เมมเบรนกันน้ำของอุโมงค์ใต้ดินซ้อนทับกับอุโมงค์แบบเปิด เพื่อให้เกิดการซ้อนทับระหว่างชั้นป้องกันน้ำทั้งสองส่วนดังแสดงในรูปที่ 11



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

5.3.7.10 หากเมมเบรนกันน้ำเกิดความเสียหาย ต้องทำการซ่อมแซมโดยทันทีด้วยการนำเมมเบรนกันน้ำขนาดเล็กมาตัดเป็นมุมมน จากนั้นกำจัดฝุ่นออก

จากเมมเบรนกันน้ำเดิมทั้งสองแผ่น แล้ววางแผ่นใหม่ลงที่ตำแหน่งที่เสียหาย จากนั้นเชื่อมเมมเบรนกันน้ำด้วยความร้อน คุณภาพของรอยเชื่อมจะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจจับสุญญากาศ หากไม่ผ่านเกณฑ์ต้องทำการซ่อมแซมใหม่

5.3.7.11 คุณภาพของรอยเชื่อมของเมมเบรนกันน้ำ สามารถตรวจสอบด้วยวิธีการวัดแรงดัน (sealing check) โดยใช้เข็มเสียบเข้าไปในเกจวัดแรงดันและเติมลมตามแรงดันที่กำหนดไว้ที่ 0.25 MPa แล้วหยุดเติมแรงดัน หากความดันลดลงน้อยกว่าร้อยละ 10 ในระยะเวลา 10 นาที ถือว่าผ่านเกณฑ์ หากความดันลดลงต่ำกว่านี้ ให้ใช้ของเหลว เช่น สบู่หรือน้ำยาเฉพาะเพื่อตรวจหาจุดรั่วแล้วทำการแก้ไขและซ่อมแซมจนไม่มีการรั่ว

5.3.8 การป้องกันน้ำบริเวณรอยต่อก่อสร้าง ต้องพิจารณาให้มีการเลือกใช้แถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง (back-sticking waterstop) แถบกั้นน้ำชนิดพองน้ำ (water swelling waterstop) และแถบกั้นน้ำชนิดฝัง (buried waterstop) การป้องกันน้ำบริเวณรอยต่อก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.3.8.1 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างรอยต่อก่อสร้าง ในบริเวณที่มีน้ำใต้ดิน

5.3.8.2 ก่อนทำการหล่อคอนกรีต ต้องเตรียมพื้นผิวของรอยต่อก่อสร้างโดยการสกัดให้หยาบและล้างให้สะอาด จากนั้นทำการทาด้วยน้ำยาเชื่อมประสานเนื้อคอนกรีต (concrete bound agent) ให้มีความหนา 25 mm ถึง 30 mm และติดตั้งแถบกั้นน้ำ

5.3.8.3 ต้องเตรียมผิวเป็นร่องไว้ล่วงหน้าสำหรับติดตั้งแถบกั้นน้ำบริเวณรอยต่อก่อสร้าง ร่องเหล่านี้ต้องมีความเรียบ ตรงและกว้างกว่าแถบกั้นน้ำ 1 mm ถึง 2 mm ความลึกของร่องต้องเท่ากับ 0.5 เท่าของความหนาของแถบกั้นน้ำ พื้นผิวคอนกรีตในร่องต้องสะอาด

5.3.8.4 เมื่อใช้แถบกั้นน้ำชนิดฝังสำหรับรอยต่อก่อสร้าง ต้องติดตั้งอย่างแม่นยำตามตำแหน่งที่ระบุไว้

5.3.8.5 การพิจารณาเลือกใช้แถบกั้นน้ำสำหรับรอยต่อก่อสร้างบริเวณตำแหน่งต่าง ๆ สามารถเลือกใช้ตามรายละเอียดมาตรการป้องกันน้ำรั่วซึม ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก. 1

5.3.9 การป้องกันน้ำซึมบริเวณรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูป ต้องพิจารณาให้มีการเลือกใช้วัสดุป้องกันการซึมน้ำบริเวณรอยต่อดังต่อไปนี้

5.3.9.1 แถบกั้นน้ำชนิดฝัง

5.3.9.2 แถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง

5.3.9.3 แถบกั้นน้ำชนิดพองตัว

5.3.9.4 วัสดุซีลกันน้ำ (waterproof sealing materials)

5.3.10 การนำวัสดุสำหรับป้องกันน้ำมาใช้ในรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูป ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

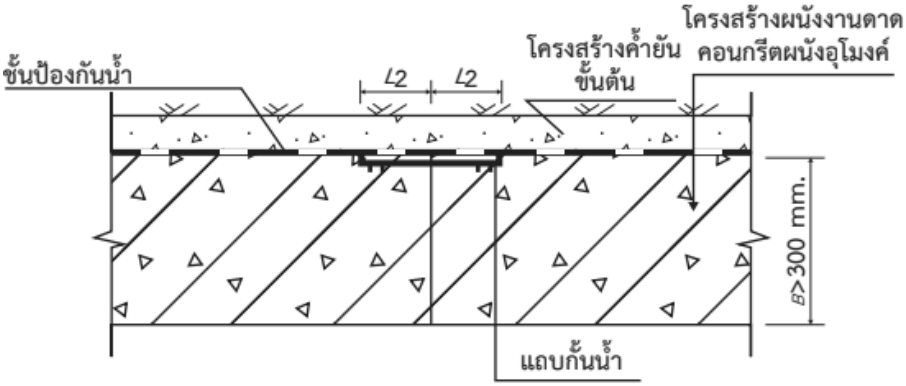
5.3.10.1 รอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูปต้องมีตำแหน่ง ขนาด และรูปแบบตรงตามแบบก่อสร้าง

5.3.10.2 พื้นผิวบริเวณทั้งสองด้านของรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูปต้องเรียบ สะอาด และไม่มีน้ำรั่วซึม

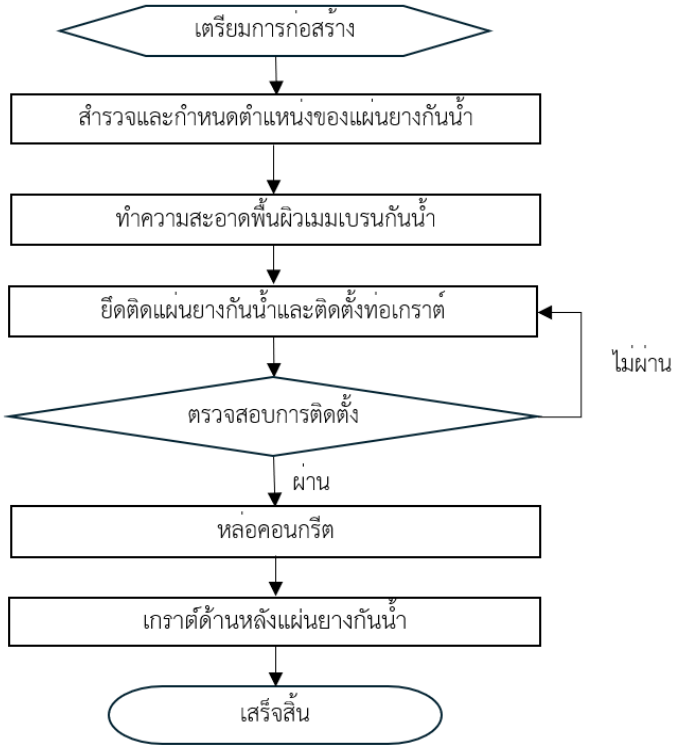
5.3.10.3 วัสดุทดแทนที่ไม่มีสมบัติในการยึดเกาะกับวัสดุอุดรอยรั่วหรือแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว ต้องติดตั้งไว้ที่ด้านล่างของรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูป

5.3.10.4 วัสดุซีลกันน้ำต้องมีความหนาแน่นเพียงพอต่อการป้องกันน้ำ

5.3.11 ตำแหน่งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังต้องดำเนินการดังรูปที่ 12 และต้องดำเนินการตามขั้นตอนการก่อสร้างของแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังในรูปที่ 13



รูปที่ 12 การติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ 13 ขั้นตอนการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.3.12 การติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

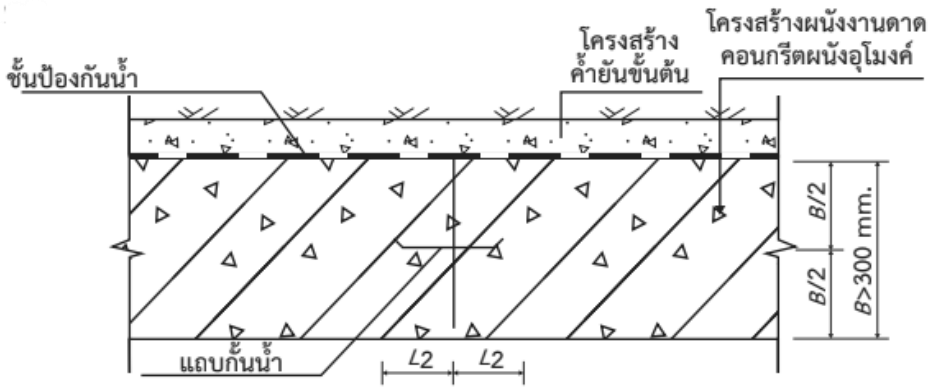
5.3.12.1 การวางแถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง ต้องทำการติดตั้งตามตำแหน่งโดยกึ่งกลางต้องตรงกับรอยต่อก่อสร้าง

5.3.12.2 ตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังอย่างสม่ำเสมอ โดยแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังต้องเชื่อมติดกับเมมเบรนกันน้ำ และก่อนการเชื่อมต้องมีการทำความสะอาดพื้นผิวให้เรียบร้อย

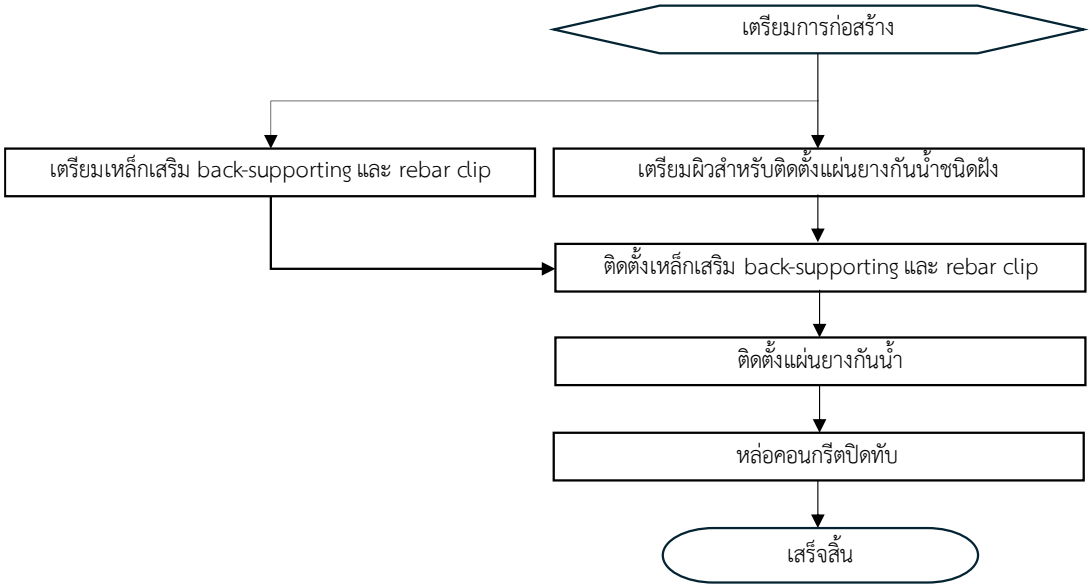
5.3.12.3 ความยาวของแถบกั้นน้ำชนิดติดหลัง ต้องจัดเตรียมล่วงหน้าจากโรงงานเพื่อหลีกเลี่ยงรอยต่อให้ได้มากที่สุด หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มรอยต่อได้ ให้ทำการซ้อนแถบกั้นน้ำในบริเวณที่แรงเค้นในโครงสร้างของคอนกรีตต่ำ ก่อนทำการซ้อนของแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังให้ทำความสะอาดและแต่งหยาบพื้นผิว

5.3.12.4 ระมัดระวังไม่ให้แถบกั้นน้ำชนิดติดหลังเสียหายขณะหล่อคอนกรีตและทำการไล่อากาศในเนื้อคอนกรีตออก เพื่อให้คอนกรีตยึดติดกับแถบกั้นน้ำได้อย่างแนบสนิท

5.3.13 แถบกั้นน้ำชนิดฝังต้องดำเนินการติดตั้งดังรูปที่ 14 และต้องดำเนินการตามขั้นตอนการก่อสร้างของแถบกั้นน้ำชนิดฝังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 14 การติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดฝัง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ 15 ขั้นตอนการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดฝัง (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.3.14 ต้องดำเนินการตามขั้นตอนการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวแสดงในรูปที่ 16

5.3.15 แถบกั้นน้ำชนิดพองตัว ต้องติดตั้งในร่องที่เตรียมไว้ล่วงหน้าตามที่แสดงในรูปที่ 17 โดยการติดตั้งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.3.15.1 ก่อนการติดตั้ง ต้องทำการตรวจสอบความกว้างและความหนาของแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบและข้อแนะนำการติดตั้ง

5.3.15.2 นำแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว ติดตั้งบนร่องที่เตรียมไว้ด้วยสารยึดติด และยึดด้วยตะปูคอนกรีต (cement nail) โดยเว้นระยะห่างน้อยกว่า 600 mm

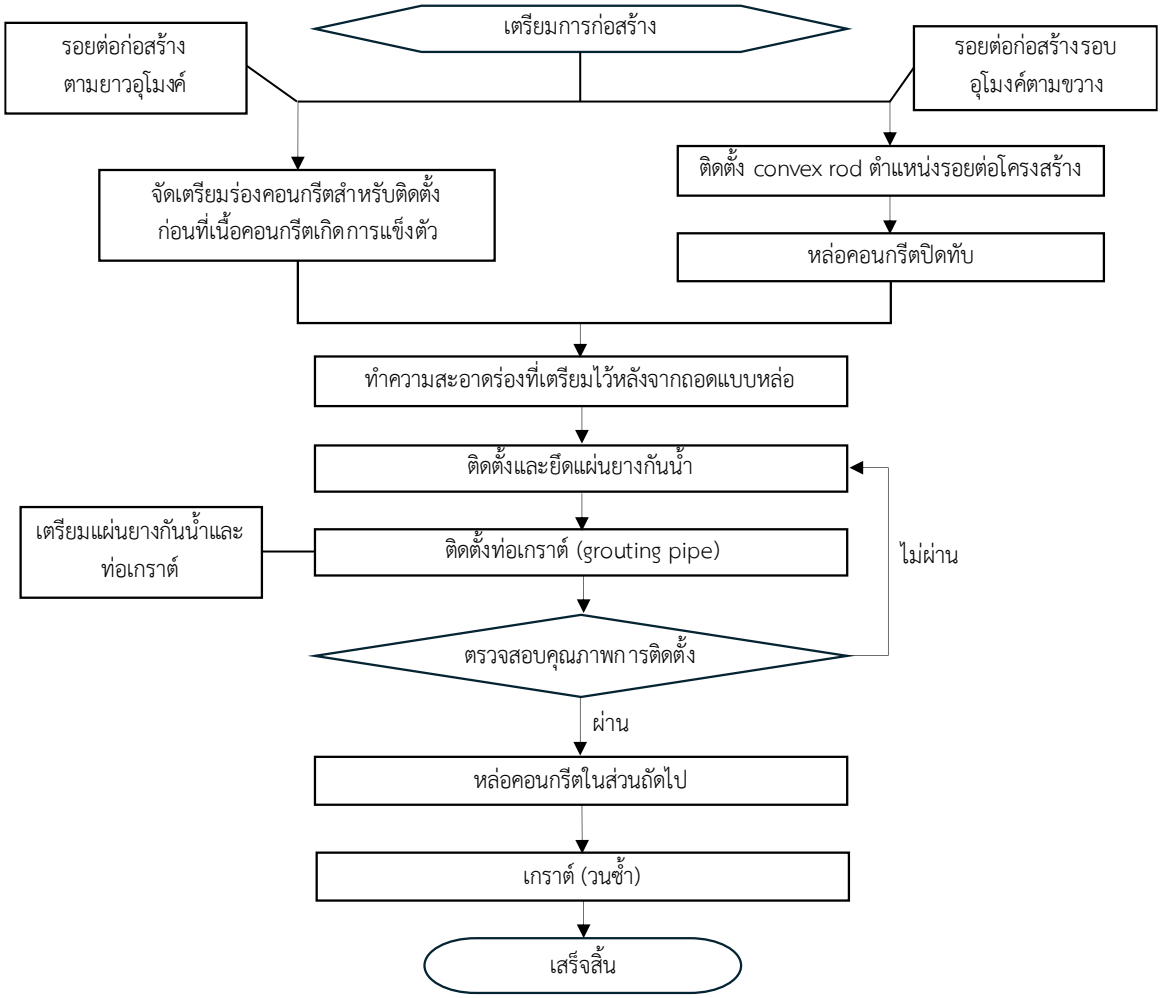
5.3.15.3 แถบกั้นน้ำชนิดพองตัว ต้องติดตั้งให้มีความตึงและยึดติดเข้ากับพื้นร่องให้แนบสนิทกับพื้นผิว

5.3.15.4 หลังจากติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวไว้ตามตำแหน่ง ให้ติดตั้งสารหน่วงการบวมตัว เพื่อป้องกันการขยายตัวเร็วเกินไปเมื่อสัมผัสน้ำในระหว่างการก่อสร้าง

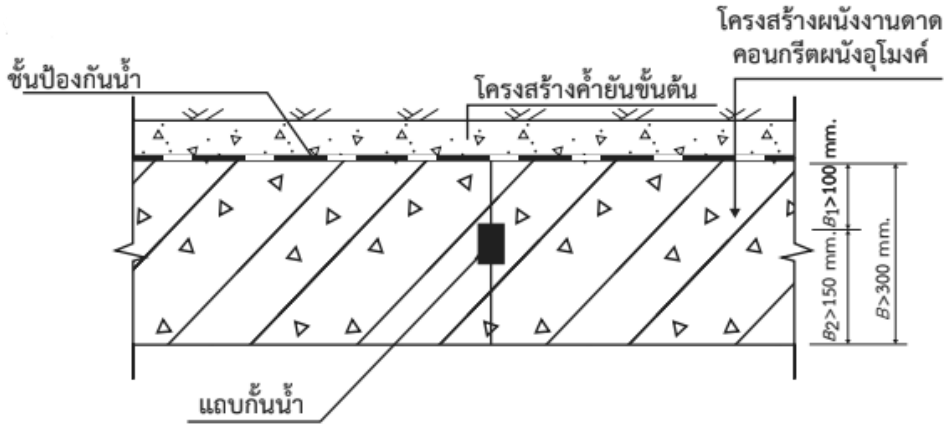
5.3.15.5 รอยต่อของแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวต้องทับซ้อนกัน ดังรูปที่ 18 ก่อนเติมสารยึดติดและยึดด้วยตะปูคอนกรีต โดยระยะทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 50 mm

5.3.15.6 ระมัดระวังการใช้งานเครื่องสั่นคอนกรีต ไม่ให้สัมผัสโดนแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวหรือทำให้เกิดการเคลื่อนตัวจากตำแหน่งติดตั้งที่กำหนด

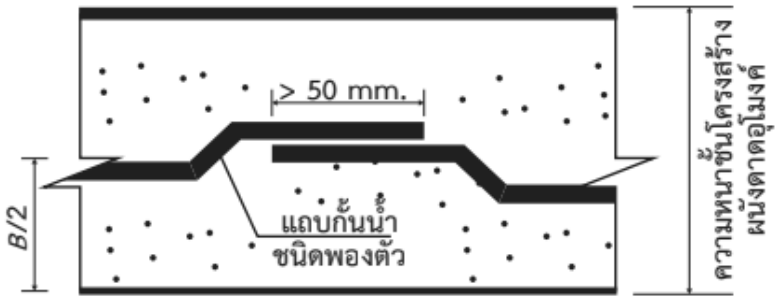
5.3.15.7 เมื่อแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวที่มีรูเกราต์ถูกวางทับซ้อนกัน ต้องติดตั้งท่อเชื่อมต่อตามรูปที่ 19 และจัดเตรียมนำท่อเชื่อมสำหรับการเกราต์ไว้ในฝั่งโครงสร้างคอนกรีตชั้นใน



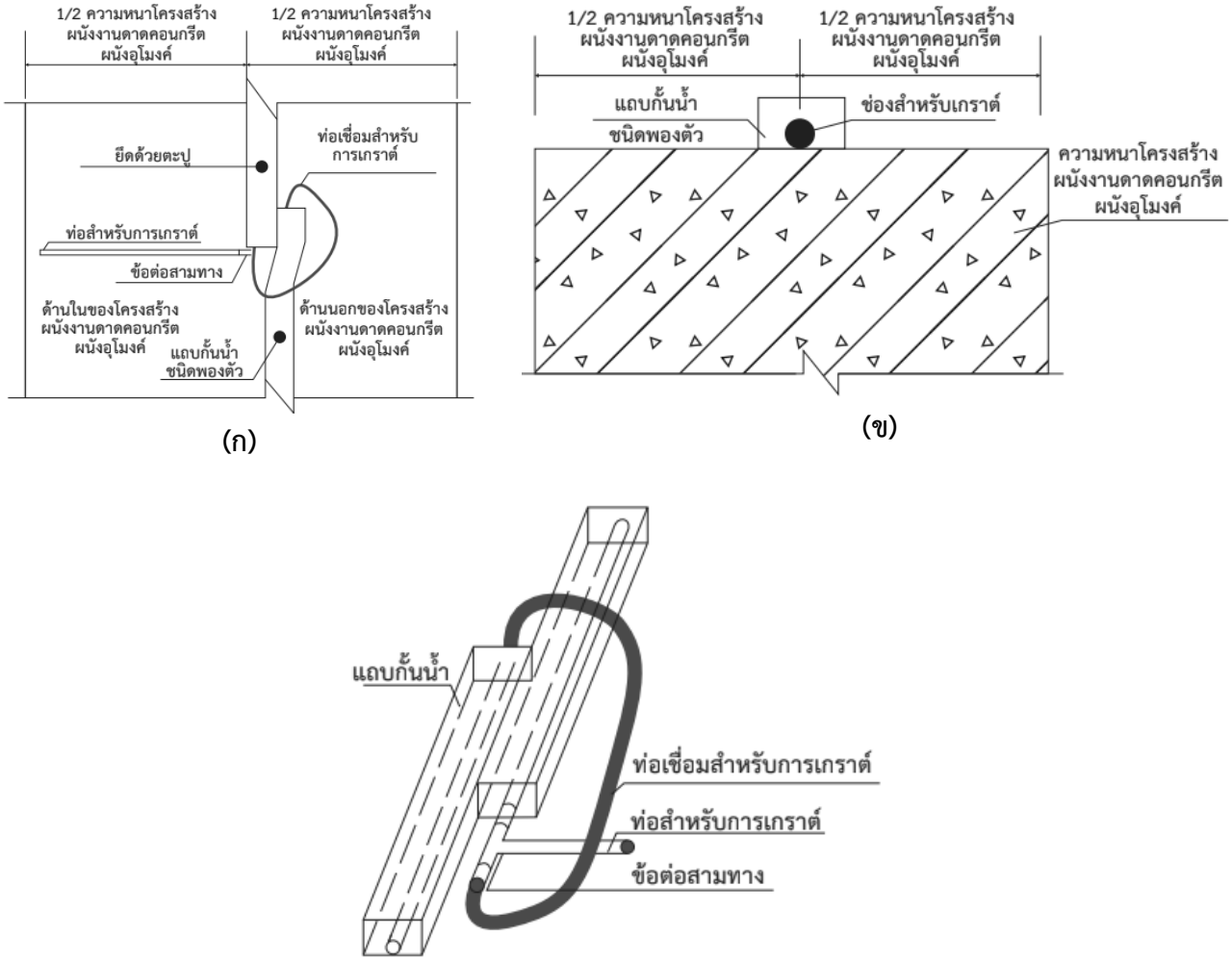
รูปที่ 16 ขั้นตอนการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ 17 ตำแหน่งการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

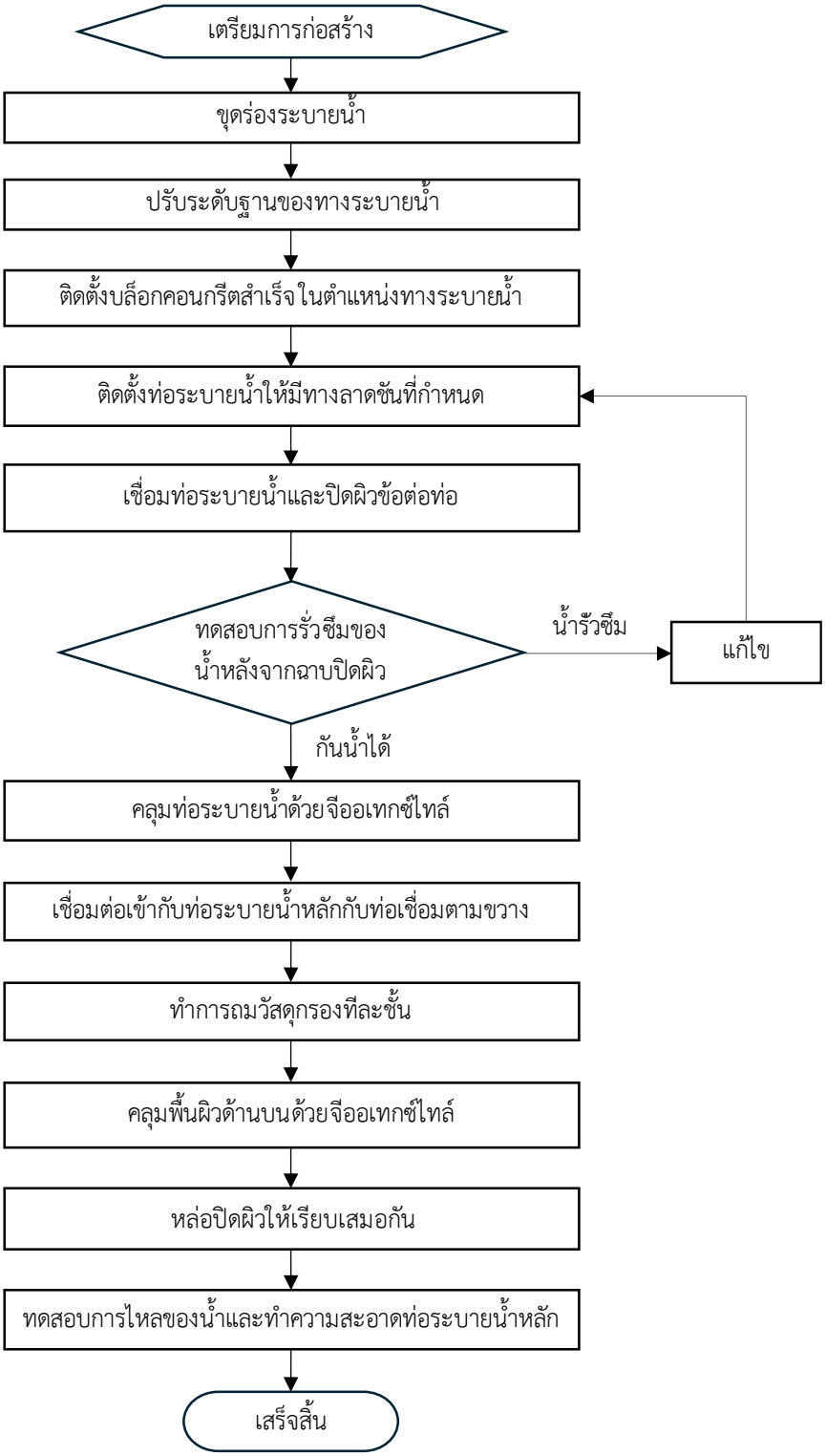


รูปที่ 18 ระยะการซ้อนทับของแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)



รูปที่ 19 รายละเอียดการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวที่ทับซ้อนกัน โดยที่ภาพ (ก) แสดงภาพมุมมองด้านบน ภาพ (ข) แสดงภาพตัดตามขวาง และภาพ (ค) แสดงมุมมองสามมิติของการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.3.16 ต้องดำเนินการตามขั้นตอนการก่อสร้างทางระบายน้ำหลักในอุโมงค์ที่ไม่มีการก่อสร้างส่วนฐานอุโมงค์ แสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 ขั้นตอนการติดตั้งทางระบายน้ำหลักโดยปราศจากส่วนฐานอุโมงค์ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.3.17 การติดตั้งทางระบายน้ำหลัก ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

5.3.17.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายน้ำ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบ วัสดุต้องปราศจากการเสียรูปและรอยแตกร้าว ช่องระบายน้ำบริเวณส่วนบนต้องสามารถระบายน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ห้ามเจาะหรือทำให้วัสดุปิดผิวทางระบายน้ำแตกร้าวโดยเด็ดขาด

5.3.17.2 ความลาดเอียงของฐานรองรับทางระบายน้ำ ต้องมีความสม่ำเสมอ ราบเรียบตลอดแนวและเป็นไปตามแบบก่อสร้าง โดยต้องมีความลาดเอียงเท่ากับร้อยละ 2 เพื่อช่วยให้สามารถระบายน้ำโดยที่ไม่มีน้ำขังในทางระบายน้ำ

5.3.17.3 การขุดทางระบายน้ำหลัก ต้องดำเนินการไปพร้อมกับการขุดตัวอุโมงค์

5.3.17.4 อุโมงค์ที่มีส่วนฐานอุโมงค์ ทางระบายน้ำหลักต้องติดตั้งฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต สำหรับอุโมงค์ที่ไม่มีส่วนฐานอุโมงค์ ทางระบายน้ำหลักต้องติดตั้งบนฐานรองรับคอนกรีต

5.3.17.5 ต้องทำการก่อสร้างบ่อตรวจสอบอย่างน้อยทุกระยะ 50 m ตามจุดตัด ทางโค้ง และจุดเปลี่ยนความลาดชัน โดยด้านล่างของบ่อตรวจสอบ ต้องมีตะแกรงดักทรายและปิดทับช่องเปิดให้เรียบร้อย

5.3.17.6 ต้องทำการทดสอบจุดรั่วซึมน้ำ หลังจากติดตั้งท่อเสร็จเรียบร้อย หากพบจุดรั่วซึมหรือจุดน้ำขังต้องรีบดำเนินการแก้ไขทันที

5.3.18 ระบบป้องกันน้ำของอุโมงค์รถไฟที่ใช้การดาดอุโมงค์แบบเซกเมนต์ ต้องเน้นการป้องกันน้ำซึมที่รอยต่อแผ่น รูสลักเกลียว และบริเวณเกราต์ พร้อมเพิ่มมาตรการป้องกันน้ำในจุดสำคัญ เพื่อสร้างระบบป้องกันน้ำที่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีแรงดันน้ำใต้ดินสูง ต้องจัดให้มีระบบป้องกันน้ำเพิ่มเติมภายในโครงสร้าง

5.3.19 การก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินหรือชั้นหินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน สามารถใช้ระบบป้องกันน้ำแบบแยกพื้นที่แสดงในรูปที่ 21 โดยต้องทำการตรวจสอบการก่อสร้างตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.3.19.1 ต้องเกราต์โดยรอบทั้งหมดบริเวณรอยต่อดาดอุโมงค์ควบคู่ไปกับการติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัวด้วยน้ำที่มีรูสำหรับการเกราต์ สำหรับกรณีที่มีน้ำรั่วซึมสามารถใช้วิธีการเกราต์เพื่อหยุดน้ำได้

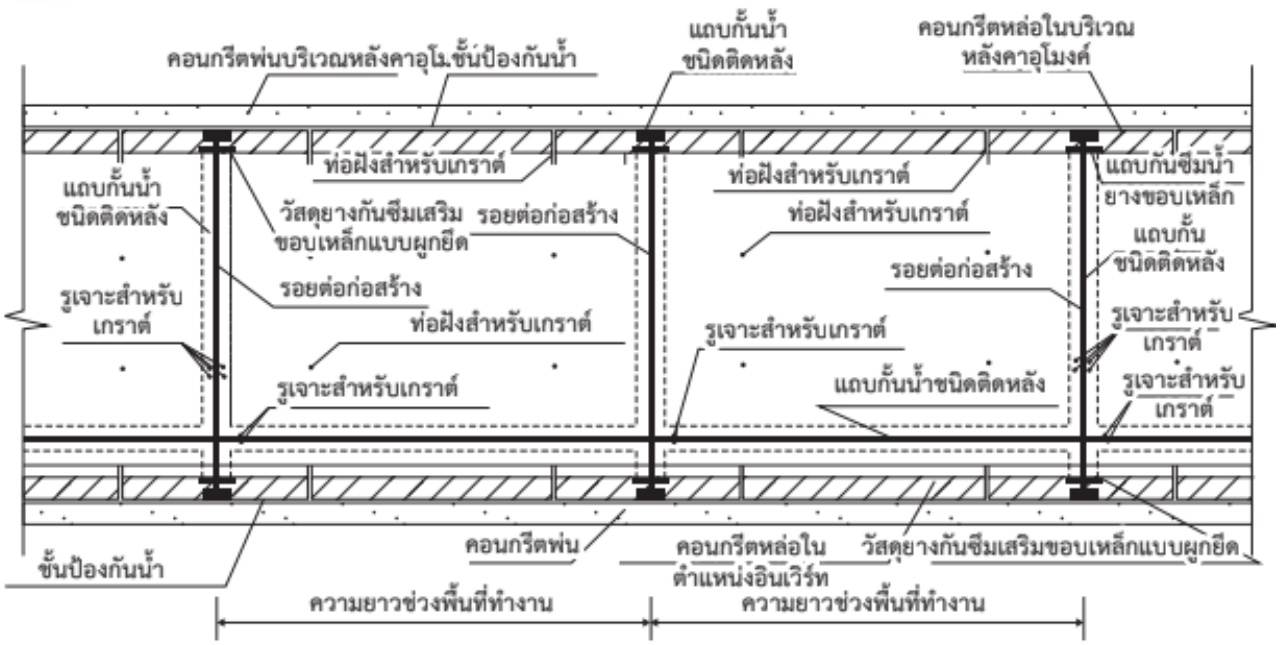
5.3.19.2 แถบกั้นน้ำชนิดติดหลังต้องถูกเชื่อมหรือยึดติดกับเมมเบรนกันน้ำ

5.3.20 การติดตั้งระบบป้องกันน้ำและระบบป้องกันน้ำแบบแยกพื้นที่ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.3.20.1 ในแต่ละช่วงของระบบป้องกันน้ำ แผ่นดิสก์และท่อเกราต์ต้องถูกฝังตามวิธีการดังนี้ แผ่นดิสก์ต้องถูกเชื่อมแบบร้อนลงบนเมมเบรนกันน้ำและปิดรอยต่อโดยรอบ เพื่อป้องกันไม่ให้ท่อเกราต์อุดตันจากการหล่อคอนกรีตดาดอุโมงค์ ปลายด้านหนึ่งของท่อต้องเชื่อมต่อกับปากท่อ และปลายอีกด้านต้องเชื่อมกับส่วนกลางของช่วงการหล่อคอนกรีตภายในของโครงสร้างและต้องจัดลำดับเก

ราต์ กรณีหากเกิดน้ำรั่วบริเวณด้านหลังชั้นดาดอุโมงค์ต้องมีการเกราต์ตามลำดับ เพื่อหยุดการรั่วซึมของน้ำ

5.3.20.2 การเกราต์ในส่วนของระบบป้องกันน้ำแบบแยกพื้นที่ ต้องเป็นตามลำดับ โดยจุดแรกต้องดำเนินการเกราต์บริเวณส่วนผิวผนังชั้นบนให้เต็มก่อน จึงเกราต์แถบกั้นน้ำชนิดติดด้านหลังให้เต็ม



รูปที่ 21 ตำแหน่งการติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบแยกพื้นที่ (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

5.4 การติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่นภายในอุโมงค์

ระบบป้องกันน้ำแบบพ่นภายในอุโมงค์ถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านความรวดเร็วในการติดตั้งและความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ซับซ้อน โดยต้องควบคุมคุณภาพของวัสดุและวิธีการฉีดพ่นอย่างเคร่งครัด

5.4.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับระบบป้องกันน้ำแบบพ่นภายในอุโมงค์

5.4.1.1 ระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ได้แก่ เมมเบรนกันน้ำที่สามารถฉีดพ่น ขึ้นรูปและบ่มในสถานที่

5.4.1.2 ระบบป้องกันน้ำแบบพ่นที่เลือกใช้ ต้องปลอดภัยต่อดาดอุโมงค์และไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการป้องกันน้ำ

5.4.2 วัสดุสำหรับการก่อสร้างระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.4.2.1 วัสดุต้องถูกจัดเตรียมตามคำแนะนำการใช้งานของวัสดุ ห้ามทำการเปลี่ยนแปลงจากคำแนะนำการใช้งานของวัสดุโดยไม่ได้รับการยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากที่ปรึกษา ผู้ออกแบบและคำนวณ และ\หรือ ผู้ผลิตเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น

5.4.2.2 สภาพการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต

5.4.2.3 ผู้ผลิตต้องสาธิตความทนทานของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการใช้งานของโครงการ

5.4.2.4 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้ง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านสมบัติ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดด้านสมบัติของเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น (ที่มา “British Tunnelling Society, 2023”)

สมบัติ	ข้อกำหนด
การยึดเกาะกับวัสดุพื้นผิว	วัสดุต้องมีค่ายึดเกาะกับพื้นผิวผนัง ไม่น้อยกว่า 0.5 MPa
การซึมผ่าน	ไม่มีการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวกันน้ำ
การปกปิดรอยแตกบนพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น	สามารถปกปิดรอยแตกที่มีขนาดความกว้าง 2 mm โดยไม่สูญเสียความสามารถในการป้องกันน้ำ

5.4.3 การพิจารณาเลือกใช้ระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.4.3.1 ความสามารถของอุปกรณ์ ฝีมือ วัสดุและวิธีการใช้งานภายใต้สภาพการใช้งานจริง สามารถพิสูจน์โดยประวัติการใช้งานและประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องก่อนหน้าในสภาพที่คล้ายคลึงกันสำหรับโครงการที่มีเกณฑ์การยอมรับที่เท่าเทียมกันและการทดลองที่เหมาะสม

5.4.3.2 เกณฑ์สำหรับการรับรองประสิทธิภาพของระบบป้องกันน้ำแบบพ่นที่ใช้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานฉบับล่าสุดของ BS 8102 Code of practice for protection of below ground structures against water from the ground หรือมาตรฐานเทียบเท่า

5.4.3.3 กระบวนการทดสอบ ต้องเริ่มต้นก่อนการติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่นเพื่อให้สามารถตรวจสอบยืนยันได้ว่าสามารถป้องกันน้ำตามที่ต้องการได้และอนุญาตให้ทำการทดลองซ้ำได้ การทดสอบทั้งหมดต้องเสร็จสิ้นก่อนการเริ่มการติดตั้ง

5.4.3.4 ต้องมีหลักฐานเพื่อรับรองความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุของระบบป้องกันน้ำแบบพ่น เพื่อแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นที่ถูกเคลือบด้วยสารป้องกันน้ำสามารถนำไปใช้ภายในอุโมงค์ได้

5.4.4 การรับรองคุณภาพและข้อกำหนดระหว่างการทดสอบ ต้องดำเนินการตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.4.4.1 การทดสอบเพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลก่อนการติดตั้ง ต้องดำเนินการเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบป้องกันน้ำแบบพ่นภายใต้ทุกสภาวะที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงานและเพื่อประเมินรอบการฉีดพ่นที่ได้ความหนาที่เหมาะสม โดยรวมถึง

(1) พื้นที่แห้ง
(2) พื้นที่ชื้น
(3) พื้นที่ที่มีน้ำใต้ดินผุด

5.4.4.2 ระบบป้องกันน้ำและมาตรการจัดการน้ำแบบบูรณาการตามความเหมาะสม โดยรวมถึง

(1) ระบบการเกราต์เฉพาะจุด
(2) สารผสมเพิ่มเร่งการบ่มตัว
(3) ระบบระบายน้ำเพิ่มเติม

5.4.4.3 ต้องมีการทดสอบในอุโมงค์จริง โดยพื้นที่สำหรับการทดสอบต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่แสดงผลการทดสอบ เพื่อประเมินว่าต้องใช้การพ่นกี่ชั้นจึงจะได้ความหนาของฟิล์มแห้งระหว่างชั้นที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 300 mm

5.4.4.4 ในระหว่างการทดสอบระบบป้องกันน้ำ ต้องใช้อุปกรณ์ วิธีการ และบุคลากรที่ได้รับการรับรองและอนุมัติเหมือนกับที่ใช้ในการดำเนินงานก่อสร้าง

5.4.4.5 การทดสอบต้องกำหนดขอบเขตและปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ประสบความสำเร็จซึ่งรวมถึง

(1) จำนวนชั้นของการเคลือบที่จำเป็นเพื่อให้ได้ความหนาฟิล์มแห้งตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด
(2) ความยาวในการพ่นทับซ้อนกันระหว่างชั้น
(3) การใช้สีย้อมต่างสี เพื่อแยกแต่ละชั้น
(4) การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อควบคุมคุณภาพ
(5) เวลาในการบ่มเทียบกับความหนาของชั้นในการบ่งบอกถึงความแข็งที่ต้องการก่อนทำการพ่นคอนกรีต
(6) วิธีการซ่อมแซมข้อบกพร่อง

5.4.4.6 ผู้ผลิตต้องจัดทำข้อมูลรายละเอียดหลังการใช้งาน โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาวะแห้งเพื่อระบุความสมบูรณ์ชั้นวัสดุเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น โดยการทดสอบดังกล่าว ต้องดำเนินการตามที่ผู้ผลิตระบุไว้ หากพบว่าชั้นวัสดุมีความสมบูรณ์ไม่เพียงพอต้องดำเนินการซ่อมแซมก่อนดำเนินการก่อสร้างขั้นต่อไป

5.4.4.7 ระหว่างการใช้งานเต็มรูปแบบ ต้องทำการประเมินและบันทึกปริมาณของเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นที่ใช้เพื่อให้ได้ความหนาต่อตารางเมตรตามการออกแบบ

5.4.4.8 การทดสอบสมบัติของระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องนำตัวอย่างทดสอบมาจากจุดการทดสอบหรือพื้นที่ทดสอบตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนด เพื่อแสดงสมบัติของเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3

5.4.4.9 การทดสอบต้องรวมถึงการวัดการปนเปื้อนในอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฉีดพ่น รูปแบบของการปนเปื้อนแบบก๊าซ เพื่อสร้างระบบการทำงานที่ปลอดภัยระหว่างกระบวนการฉีดพ่น เพื่อให้ผู้ที่ได้รับผลกระทบจากกระบวนการฉีดพ่นได้รับการปนเปื้อนไม่เกินในขีดจำกัดของการสัมผัส โดยห้ามมิให้บุคคลอื่นนอกจากผู้ปฏิบัติงานฉีดพ่นที่ทำการสวมอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจอยู่โดยรอบบริเวณเมื่อกำลังทำการปฏิบัติหน้าที่

ตารางที่ 3 เกณฑ์การทดสอบสมบัติของเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น (ที่มา “British Tunnelling Society, 2023”)

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ข้อกำหนด
การยึดเกาะกับวัสดุพื้นผิว	BS EN ISO 4624 หรือ BS EN 1542 หรือ ASTM C1583/C1583M-20 หรือมาตฐานเทียบเท่า	วัสดุต้องมีค่ายึดเกาะกับพื้นผิวผนังไม่น้อยกว่า 0.5 MPa หลังจากติดตั้งครบ 28 วัน
การซึมผ่าน	BS EN 12390-8 หรือ ASTM D5385/D5385M-20 หรือมาตฐานเทียบเท่า	ต้องไม่มีน้ำซึมผ่าน
การปกปิดรอยแตกบนพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น	BS EN 1062-7 หรือ ASTM C1305/ C1305M-16 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	สามารถปกปิดรอยแตกที่มีขนาดความกว้าง 2 mm โดยไม่สูญเสียความสามารถในการป้องกันน้ำ

5.4.5 การตรวจสอบรับรองคุณภาพและการควบคุมโดยการทดสอบ

5.4.5.1 ต้องดำเนินการตรวจสอบระบบป้องกันน้ำแบบพ่นเบื้องต้นด้วยสายตาและผู้ผลิตต้องให้รายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบความสมบูรณ์ของชั้นเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น โดยการทดสอบต้องดำเนินการตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 บริเวณที่ยังคงมองเห็นพื้นผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้น ชั้นวัสดุยังไม่ทึบแสงเพียงพอหรือพบความไม่สมบูรณ์ของชั้นเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น ต้องทำเครื่องหมายไว้บนเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นและทำการฉีดพ่นซ้อนทับพื้นที่โดยรอบไม่น้อยกว่า 200 mm

5.4.5.2 การตรวจสอบความหนาของวัสดุป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องดำเนินการตามที่ระบุในตารางที่ 4 ด้วยเครื่องมือวัดความลึกอย่างง่าย อุปกรณ์ที่ใช้ต้องได้รับการอนุมัติจากวิศวกรและบันทึกความหนาและตำแหน่งของการทดสอบความหนาที่ใช้อย่างเหมาะสม โดยอ้างอิงกับปริมาณต่อตารางเมตรที่ระบุระหว่างการทดสอบก่อนใช้งาน

5.4.5.3 ตำแหน่งของการทดสอบความหนาและความยึดติดของวัสดุต้องกำหนดให้มีการกระจายตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอโดยรอบผิวผนังทั้งหมด

ตารางที่ 4 การทดสอบงานก่อสร้างสำหรับเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น (ที่มา “British Tunnelling Society, 2023”)

รายการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	ความถี่	เกณฑ์การตรวจสอบ
การปกคลุมและความต่อเนื่องของแผ่นป้องกันน้ำแบบพ่น	การตรวจสอบด้วยสายตา (visual)	ตรวจสอบอย่างต่อเนื่องในระหว่างการฉีดพ่น	ต้องปกคลุม 100% และชั้นแผ่นป้องกันน้ำแบบพ่นต้องทึบแสง 100%
ความหนาของแผ่นป้องกันน้ำแบบพ่น	การวัดความหนาฟิล์มเปียก (wet film thickness depth gauge)	ตรวจสอบตามข้อกำหนดที่ระบุในการออกแบบ แต่ไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง ต่อพื้นที่ 100 m^2	ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตภายใต้สภาวะการใช้งานในแต่ละพื้นที่
ปริมาณการฉีดพ่น	การวัดปริมาณการใช้งานจริง	ตรวจสอบต่อชุดการผสม (per batch)	ปริมาณการใช้งาน (kg/m^2) ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณขั้นต่ำที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม
การทดสอบการชำรุดของแผ่นป้องกันน้ำแบบพ่น	การทดสอบเฉพาะจุด (patch test)	ตรวจสอบตามข้อกำหนดที่ระบุในการออกแบบ แต่ไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อพื้นที่ 200 m^2	ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตภายใต้สภาวะการใช้งานในแต่ละพื้นที่

5.4.6 การจัดเตรียมพื้นผิวก่อนทำการฉีดพ่น

5.4.6.1 การเลือกใช้งานระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ก่อนการใช้งานต้องสำรวจผิวโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นเพื่อยืนยันว่าพื้นผิวอยู่ในตำแหน่งและระยะตามแบบก่อสร้าง ซึ่งอาจส่งผลต่อความปลอดภัยและสุขภาพของบุคลากร หากพบปัญหาใด ๆ ของผิวโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวต้องดำเนินการปรึกษากับวิศวกรสนาม

5.4.6.2 พื้นผิวต้องเตรียมให้เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต

5.4.6.3 ต้องดำเนินการทดสอบภาคสนาม เพื่อกำหนดวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการให้ได้มาซึ่งสมบัติตามที่กำหนด และให้ระบุระดับของการปนเปื้อนในบรรยากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการใช้งาน

5.4.6.4 ก่อนทำการฉีดพ่นต้องทำความสะอาดพื้นผิวคอนกรีตและชำระล้างสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวทั้งหมด เช่น ฝุ่น น้ำมัน

5.4.6.5 พื้นผิวของวัสดุรองพื้นต้องเรียบเพียงพอ เพื่อให้สามารถฉีดพ่นได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอโดยมีความหนาอย่างน้อย 3 mm ในกรณีที่พื้นผิวมีความหยาบมากจนทำให้ไม่สามารถเคลือบผิวได้อย่างสมบูรณ์และการใช้ระบบป้องกันน้ำแบบพ่นไม่คุ้มค่าต่อการก่อสร้าง ต้องมีการติดตั้งชั้นพิเศษกับพื้นผิว โดยคอนกรีตพ่นในชั้นพิเศษต้องประกอบด้วย คอนกรีตพ่นหนา 5 mm ถึง 10 mm และใช้ทรายละเอียดโดยมีการปรับเกรด 0 mm ถึง 4 mm ชั้นพิเศษต้องไม่ล้ำเข้าไปในตำแหน่งขอบนอกของชั้นดาดอุโมงค์ที่ออกแบบไว้

5.4.6.6 หากมีการซึมผ่านของน้ำใต้ ดินต้องมีการเกราต์ล่วงหน้าหรือจัดการโดยระบบระบายน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดการไหลซึมผ่านพื้นผิววัสดุระหว่างการฉีดพ่น ระบบระบายน้ำต้องได้รับการตรวจสอบตลอดการติดตั้งชั้นเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น และลดแรงดันน้ำส่วนเกินให้ไม่สามารถเกิดขึ้นด้านหลังชั้นเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นได้

5.4.7 การใช้งานระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องดำเนินการดังนี้

5.4.7.1 เมื่อติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องไม่มีการทำงานอื่นใดในบริเวณการติดตั้งเพื่อไม่ให้มีบุคลากรสามารถสัมผัสกับผิวเคลือบก่อนการแข็งตัว

5.4.7.2 ระหว่างการติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่น สภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการฉีดพ่นต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น และค่าการปนเปื้อนในบริเวณที่ทำการฉีดพ่น ต้องน้อยกว่าค่าที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมที่กำหนด โดยการระบายอากาศภายในบริเวณนั้น ต้องมีความเร็วไม่น้อยกว่า 0.5 m/s เพื่อให้เหมาะสมต่อการฉีดพ่นและการบ่มวัสดุ

5.4.8 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่น

5.4.8.1 วัสดุเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นสามารถใช้เครื่องจักรในการติดตั้งได้ โดยการใช้งานเครื่องจักต้องได้รับการอนุมัติจากผู้ผลิตเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น

5.4.8.2 การใช้เมมเบรนกันน้ำแบบพ่น ต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเมมเบรนกันน้ำแบบพ่น

5.4.8.3 ระหว่างการใช้งาน ต้องมีการตรวจสอบปริมาณสารพิษจากการใช้งานระบบป้องกันน้ำแบบพ่นโดยรอบบริเวณ

5.4.9 รอยต่อก่อสร้างสำหรับระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

5.4.9.1 ในกรณีที่เมมเบรนกันน้ำแบบพ่นถูกฉีดพ่นสลับช่องหรือมีการหยุดชะงักในการฉีดพ่นนานเกินกว่า 6 ชั่วโมง ต้องทำการฉีดพ่นทับกับแนวที่มีการฉีดพ่นก่อนหน้าไม่น้อยกว่า 200 mm และต้องทำความสะอาดพื้นผิวก่อนการฉีดพ่น

5.4.9.2 ข้อกำหนดในการทำความสะอาดรอยต่อก่อสร้าง ต้องได้รับการอนุมัติตามการทดสอบในสถานที่ซึ่งได้รับการรับรองโดยการทดสอบกำลังยึดเกาะ

5.4.10 หากพบบริเวณที่เมมเบรนกันน้ำแบบพ่นไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ ต้องดำเนินการดังนี้

5.4.10.1 บริเวณเมมเบรนกันน้ำแบบพ่นที่ฉีดพ่นไม่สม่ำเสมอ มีการเคลือบหลายชั้นหรือเกิดรอยแตกร้าว สูญเสียสมบัติในการยึดเกาะ สูญเสียสมบัติในการป้องกันน้ำและความแน่นหนาของวัสดุเคลือบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดด้านกำลังและความเหนียวตามที่ระบุไว้ ต้องรื้อบริเวณที่ชำรุดออกและต้องทำการฉีดพ่นใหม่โดยฉีดพ่นทับกับบริเวณใกล้เคียงจากการชำรุด ไม่น้อยกว่า 200 mm

5.4.11 การจัดเก็บวัสดุในการติดตั้งระบบป้องกันน้ำแบบพ่น ต้องถูกจัดเก็บไว้ในที่ปลอดภัยตลอดเวลาและติดป้ายคำเตือนเกี่ยวกับอันตรายทั้งหมดจากข้อมูลที่ทางผู้ผลิตแจ้งโดยต้องแสดงไว้อย่างชัดเจน

5.5 การป้องกันน้ำด้วยวิธีการเกราต์

การป้องกันน้ำด้วยการเกราต์เป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่ออุดช่องว่างและลดการซึมผ่านของน้ำจากพื้นผิวดินหรือรอยต่อโครงสร้าง การเกราต์และการเลือกใช้วัสดุต้องสอดคล้องกับลักษณะของดินและแรงดันน้ำในพื้นที่

5.5.1 หากสภาพแวดล้อมและข้อจำกัดทางด้านธรณีวิทยาใต้ดิน และสภาพการขุดเจาะไม่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินงานก่อสร้าง สามารถเลือกทำการเกราต์ได้ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

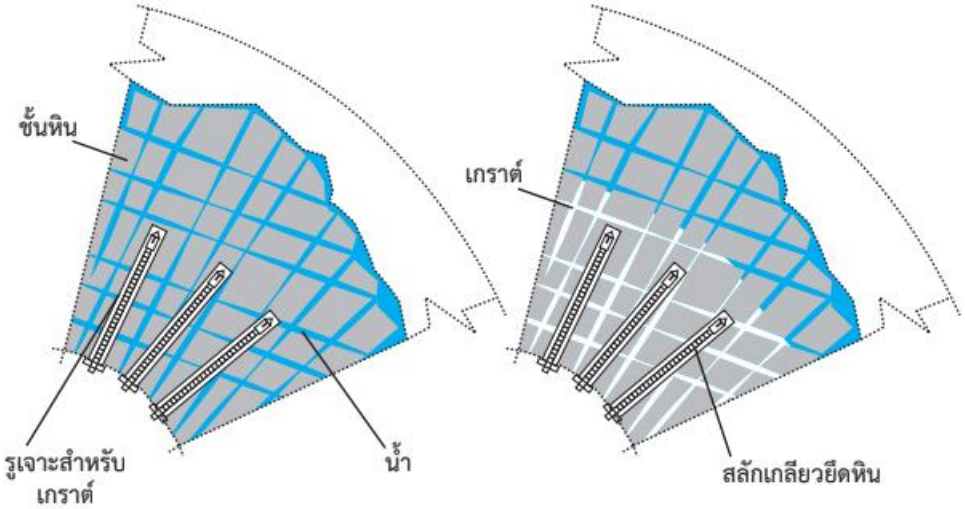
5.5.1.1 กรณีพบแหล่งน้ำที่มีแรงดันน้ำสูงบริเวณหน้าหน้าตัดอุโมงค์ซึ่งมีโอกาสเกิดน้ำทะลักและไหลเข้าสู่ตัวอุโมงค์ในปริมาณมาก หากชั้นดินหรือชั้นหินโดยรอบไม่เสถียรและมีความแข็งแรงต่ำ ทำให้หน้าตัดที่ทำการขุดมีโอกาสเกิดการสูญเสียความมั่นคงหลังการขุดและการเกิดดินพองตัวหรือโคลนผุดได้

5.5.1.2 กรณีที่ชั้นดินหรือชั้นหินโดยรอบบริเวณด้านหน้าของหน้าตัดการขุดเจาะมีความมั่นคงแต่พบบริเวณน้ำซึมอยู่บางจุด โดยการขุดเจาะมีโอกาสเกิดการซึมน้ำหรือรั่วไหลที่หน้าตัดการขุดเจาะในปริมาณมากและไม่สามารถติดตั้งระบบโครงสร้างค้ำยันขั้นต้นได้ สามารถดำเนินการเกราต์ล่วงหน้าเฉพาะจุดได้

5.5.1.3 กรณีที่ชั้นดินโดยรอบมีกำลังรับน้ำหนักตัวเองได้ในระดับหนึ่ง แต่ปริมาณน้ำที่ไหลซึมเข้ามามีไม่น้อยกว่าอัตราการระบายน้ำที่ทำการออกแบบไว้

5.5.1.4 กรณีที่การขุดเจาะอุโมงค์พบการซึมน้ำเข้าสู่ภายในอุโมงค์ในปริมาณมากและการระบายน้ำเฉพาะจุดอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณผิวดิน

จนเกิดความเสียหาย สามารถใช้การเกราต์เฉพาะจุดเพื่อทำการปิดกั้นเส้นทางการไหลของน้ำได้ ดังรูปที่ 22 การเกราต์รอบอุโมงค์เพื่อป้องกันน้ำเข้ามาภายในอุโมงค์



รูปที่ 22 การเกราต์รอบอุโมงค์เพื่อป้องกันน้ำเข้ามาภายในอุโมงค์ (Zhang, Fang, & Lou, 2014)

5.5.2 วัสดุสำหรับการเกราต์สามารถเลือกใช้ตามสภาพทางด้านวิศวกรรมธรณีวิทยาและชลศาสตร์ โดยคำนึงถึง เทคนิคการเกราต์ เครื่องมือที่ใช้ ความสามารถในการทำงาน ความเสถียร และต้นทุนก่อสร้าง

5.5.3 ระหว่างการเกราต์ต้องเฝ้าสังเกตอุโมงค์ทั้งภายในและภายนอก หากพบการรั่วไหลหรือความผิดปกติของสภาพโดยรอบ โครงสร้างค้ำยัน พื้นผิวดิน ฯลฯ สามารถปรับเปลี่ยนเทคนิคและกระบวนการสำหรับการเกราต์ได้

5.5.4 ขั้นตอนการเกราต์รอบอุโมงค์ในแนวรัศมี ต้องเป็นไปตามขั้นตอนในรูปที่ 23

5.5.5 การเกราต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.5.5.1 ต้องพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ สำหรับการกำหนดปริมาณ รูปแบบและมุมเจาะรูเกราต์ร่วมกัน เช่น สภาพน้ำใต้ดิน ขอบเขตของงานป้องกันน้ำ ประสิทธิภาพของเครื่องมือ รัศมีการกระจายตัวของเนื้อวัสดุต้องเป็นไปตามการออกแบบ

5.5.5.2 เมื่อเลือกใช้การเกราต์แบบเต็มหน้าตัด ต้องพิจารณาเทคนิคและวิธีการสำหรับการเกราต์ โดยในการเกราต์ครั้งแรกถูกกำหนดตามแรงดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ จากนั้นใช้ตามความดันที่ออกแบบไว้

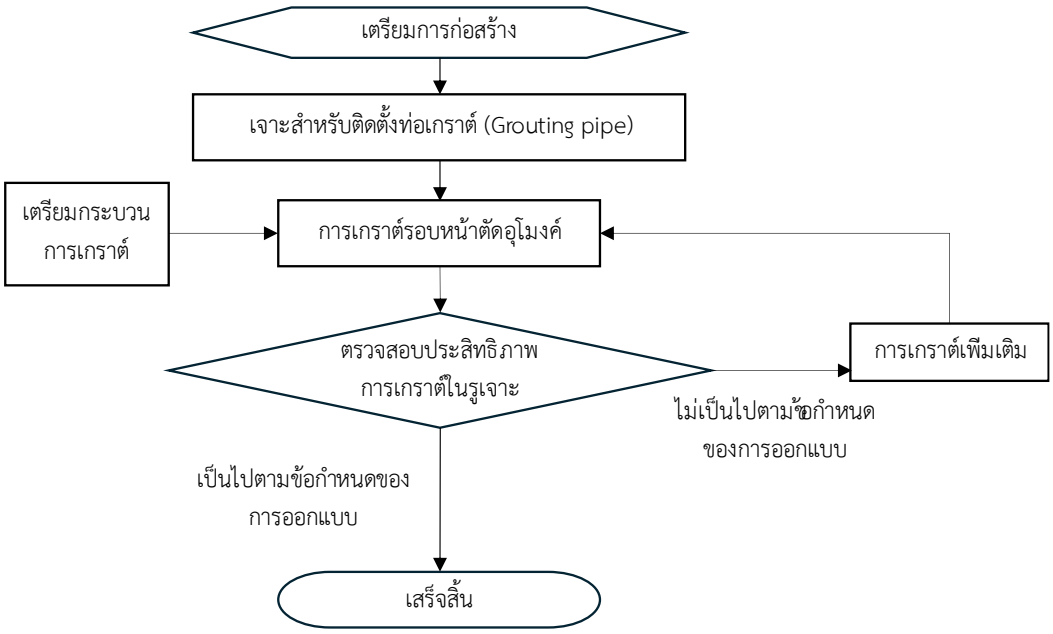
5.5.5.3 ข้อกำหนดความยาวของงานการเกราต์ล่วงหน้า ต้องพิจารณาตามสภาพสถานการณ์โดยระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์ ต้องมีการรักษาชั้นหินกันน้ำให้มีความหนาเพียงพอต่อการป้องกันน้ำและเสถียรภาพภายในอุโมงค์

5.5.5.4 แรงดันในการเกราต์ ต้องพิจารณาตามสภาพชั้นดินโดยพิจารณาให้มีค่าไม่น้อยกว่าแรงดันน้ำ 0.5 MPa ถึง 1.5 MPa

5.5.5.5 ต้องทำการทดสอบแรงดันน้ำ เพื่อตรวจสอบแรงดันน้ำภายในชั้นหินหรือชั้นดินก่อนการเกราต์ หากแรงดันน้ำไม่เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบ สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันในการเกราต์ตามความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ทั้งนี้ต้องได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากผู้ออกแบบและคำนวณและ/หรือที่ปรึกษาก่อนการดำเนินงาน

5.5.5.6 งานเจาะและการเกราต์ ต้องดำเนินการจากด้านล่างขึ้นบนและจากจุดที่มีน้ำน้อยไปยังจุดที่มีน้ำมากโดยทำการเจาะเว้นทีละรู

5.5.5.7 ต้องตรวจสอบปริมาณของน้ำจากการรั่วซึมจากรูเจาะก่อนเริ่มทำการเกราต์และปริมาณน้ำที่ซึมผ่าน ต้องมีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามที่ออกแบบไว้และห้ามมิให้เริ่มงานขุดจนกว่าวัสดุสำหรับการเกราต์จะแข็งตัวและมีกำลังตามที่ออกแบบไว้ หลังจากการเกราต์รอบอุโมงค์ตามแนวรัศมีแล้วต้องควบคุมให้ปริมาณการรั่วซึมไม่เกินค่าที่กำหนดตามที่ระบุไว้ในการออกแบบ



รูปที่ 23 ขั้นตอนการเกราต์รอบอุโมงค์ในแนวรัศมี (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

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.

National Railway Administration of the People's Republic of China. (2015). Code for design of high-speed railway (TB 10621-2014).

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

Zhang, D., Fang, Q., & Lou, H. C. (2014). Grouting techniques for the unfavorable geological conditions of Xiang’an subsea tunnel in China. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6(5), 438–446. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.07.005

ภาคผนวก ก.
ตารางเพิ่มเติมมาตรฐานการป้องกันและระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์ (Waterproofing and Drainage) สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง

ตารางที่ ก. 1 สมบัติของเมมเบรนกันน้ำ (performance requirements of waterproof membrane)/ (ที่มา "British Tunnelling Society, 2023")

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ข้อกำหนด
ความหนาของเมมเบรนกันน้ำ (membrane thickness)	BS EN 1849-2 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	2.0 mm ± 10% ของความหนา
กำลังดึงของเมมเบรนกันน้ำ (tensile strength)	BS EN ISO 527-3 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	16 MPa
การยืดตัวของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง (elongation test)	BS EN ISO 527-3 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	ต้องไม่น้อยกว่า 300%
ความต้านทานแรงดันน้ำ (resistance under water pressure)	BS EN 1928 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	500 kN/m^2 ที่ 1 ชั่วโมง
ความต้านทานการเจาะทะลุของรากพืช (root resistance)	PD CEN/TS 14416 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	ต้องไม่มีการเจาะทะลุผ่าน
กำลังดึงของรอยเชื่อม (tensile strength of welded seam)	BS EN 12317-2 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	ต้องเกิดการแตกหรือฉีกขาดบริเวณข้างรอยเชื่อม
การดูดซึมน้ำ (water absorption)	BS EN ISO 62 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	น้อยกว่า 4%
ความทนไฟ (fire rating)	BS EN ISO 11925-2 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	Class E โดยการลามของเปลวไฟต้องน้อยกว่า 150 mm ภายใน 20 s หลังจากได้รับการเผาไฟเป็นเวลา 15 s

ตารางที่ ก. 2 สมบัติของจีออเทกซ์ไทล์ (performance requirements for geotextile) (ที่มา “British Tunnelling Society, 2023”)

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ข้อกำหนด
น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่	BS EN ISO 9864 หรือ ASTM D5261-10 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	สำหรับจีออเทกซ์ไทล์ของส่วนฐานอุโมงค์ ต้องไม่น้อยกว่า 800 g/m² สำหรับตำแหน่งอื่น ๆ ต้องไม่น้อยกว่า 500 g/m²
ความหนาของจีออเทกซ์ไทล์ที่ความดัน 2 kN/m^2	BS EN ISO 9863-1 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	ตามที่ผู้ผลิตระบุ
ความหนาของจีออเทกซ์ไทล์ที่ความดัน 200 kN/m^2		สำหรับจีออเทกซ์ไทล์ที่มีน้ำหนัก 800 g/m² ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 3.4 mm และสำหรับจีออเทกซ์ไทล์ที่มีน้ำหนัก 500 g/m² ต้องมีความหนาไม่น้อย 1.7 mm
การต้านไฟ (fire rating)	BS EN 13501-1 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	Class E มีความสามารถในการทนไฟในระดับจำกัดจากการทดสอบการติดไฟตามมาฐานทดสอบ EN ISO 11925-2 Ignitability test โดยการลามของเปลวไฟต้องน้อยกว่า 150 mm ภายใน 20 s หลังจากได้รับการเผาไฟเป็นเวลา 15 s
การต้านทานการเจาะแบบสถิต (Static puncture)	BS EN ISO 12236 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	สำหรับจีออเทกซ์ไทล์ที่มีน้ำหนัก 800 g/m² ต้องสามารถต้านทางแรงไม่น้อยกว่า 9000 N และสำหรับจีออเทกซ์ไทล์ที่มีน้ำหนัก 500 g/m² ต้องสามารถต้านทางแรงได้ไม่น้อยกว่า 5500 N
การซึมผ่านน้ำในระนาบจีออเทกซ์ไทล์ที่ความดัน 200 kN/m^2	BS EN ISO 12958 หรือมาตรฐานเทียบเท่า	ต้องมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 0.003 l/m·s

ตารางที่ ก. 3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแถบกั้นน้ำ (waterstop) (ที่มา “Q/CR 9604-2015”)

ลำดับ	สมบัติวัสดุ		เกณฑ์	
			ประเภท B	ประเภท S
1	ข้อกำหนดผลิตภัณฑ์		350×10	350 x 8
2	ความยาว (mm)		350	350
3	ความหนา (mm)		10	8
4	ความแข็ง (hardness) (Shore A)		60±5	60±5
5	กำลังดึงของแถบกั้นน้ำ (MPa)		≥15	≥12
6	การยืดตัวของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง (%)		≥450	≥450
7	กำลังต้านทานต่อแรงฉีกขาด (kN/m)		≥30	≥25
8	อุณหภูมิเปราะ (°C)		≤ -45	≤ -45
9	การเสื่อมสภาพจากความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใน 168 ชั่วโมง	ความแข็ง (Shore A)	≤ 6	≤ 6
		กำลังดึงของแถบกั้นน้ำ (MPa)	≥12	≥10
		การยืดตัวของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง (%)	≥400	≥400
10	การเสียรูปถาวรจากแรงอัด (%)	70 °C ภายใน 24 ชั่วโมง	≤30	≤30
		23 °C ภายใน 168 ชั่วโมง	≤20	≤20
11	ความต้านทานต่อด่าง (สารละลายอิ่มตัวแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide ($Ca(OH)_2$)) ที่อุณหภูมิ 23 °C ภายใน 168 ชั่วโมง)	ความแข็ง (Shore A)	≤ 6	≤ 6
		ความต้านทานแรงดึง (MPa)	≥12	≥10
		การยืดตัวของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง (%)	≥400	≥400

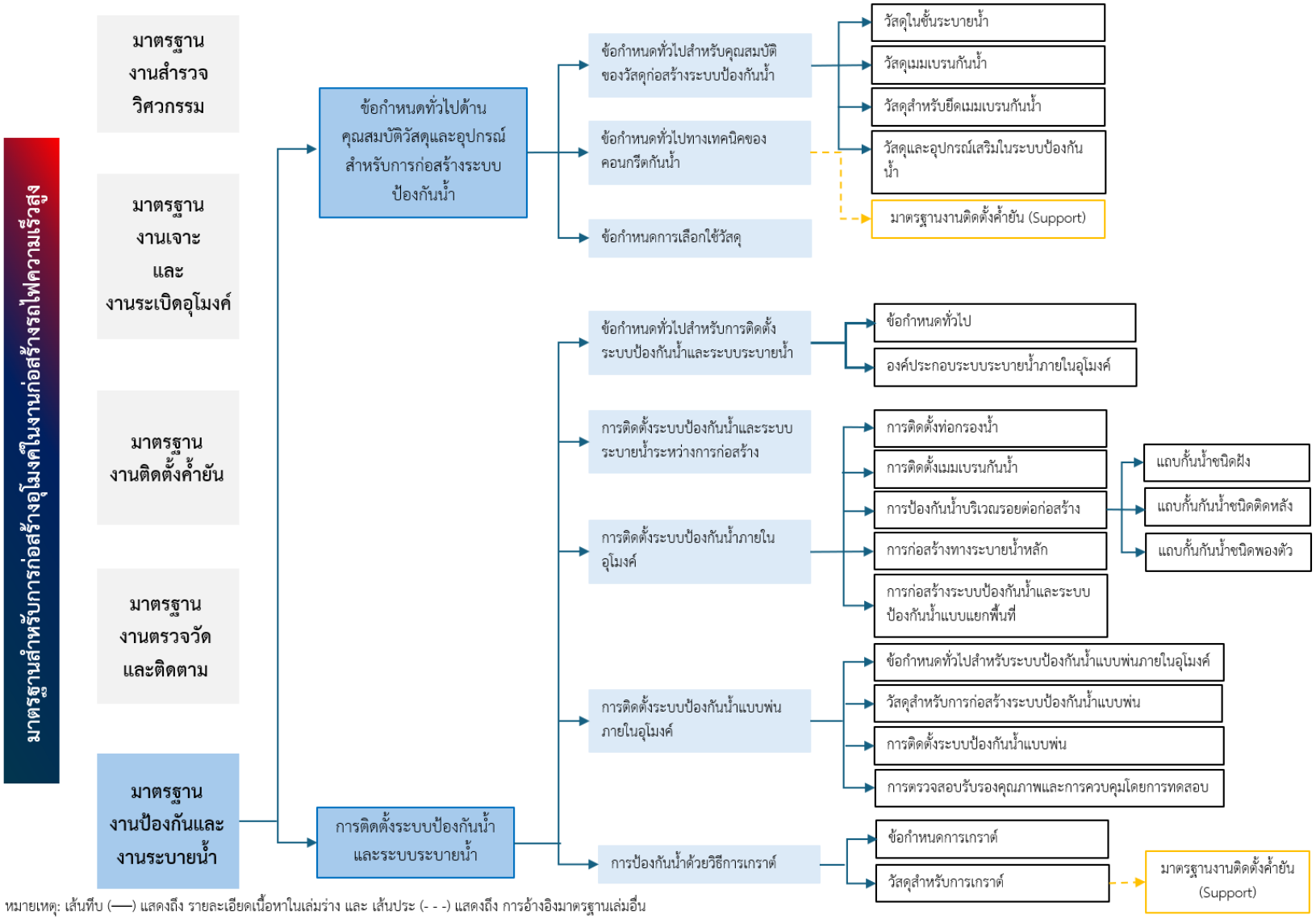
หมายเหตุ: ประเภท B เหมาะสำหรับรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูปที่มีแถบกั้นน้ำ ส่วนประเภท S เหมาะสำหรับรอยต่อก่อสร้างที่มีแผ่นกันน้ำ

ตารางที่ ก. 4 มาตรการป้องกันน้ำรั่วซึมบริเวณรอยต่อก่อสร้างและรอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูป (ที่มา "Q/CR 9604-2015")

ลำดับ	ประเภท	มาตรการป้องกันน้ำ
1	รอยต่อก่อสร้างรอบอุโมงค์ตามขวาง	ติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดติดหลังและแถบกั้นน้ำชนิดฝัง
2	รอยต่อก่อสร้างบริเวณฐานอุโมงค์	ติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดฝังและแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว
3	รอยต่อก่อสร้างบริเวณอุโมงค์แบบเปิด	ติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดฝังและแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว
4	รอยต่อก่อสร้างรอบอุโมงค์ตามขวางบริเวณทางระบายน้ำรอง	ติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดพองตัว
5	รอยต่อก่อสร้างตามยาวบริเวณทางระบายน้ำรอง	ติดตั้งวัสดุกันซึมแบบตกผลึก (Cementitious Capillary Crystalline Waterproof Paint (CCCW)) 2 ชั้น
6	รอยต่อเผื่อการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างอุโมงค์แบบเปิด	ติดตั้งแถบกั้นน้ำชนิดฝัง แถบกั้นน้ำชนิดพองตัว และสารผนึก (sealant)

หมายเหตุ: หากผู้ออกแบบและคำนวณไม่ได้ระบุตำแหน่งและชนิดของวัสดุป้องกันน้ำ ให้พิจารณาเลือกใช้งานตามตารางที่ ก.4

ภาคผนวก ข.
แผนภาพแสดงภาพรวมของเล่มมาตรฐานการป้องกันน้ำและงานระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง



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

รูปที่ ข. 1 แผนภาพแสดงภาพรวมของเล่มมาตรฐานการป้องกันน้ำและงานระบายน้ำในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง

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

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