www.yotathai.com

คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอด

(WORK INSTRUCTION FOR UNDERPASS CONSTRUCTION)

กันยายน 2556

SEPTEMBER 2013

สำนักก่อสร้างสะพาน

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

BUREAU OF BRIDGE CONSTRUCTION,

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT

www.yotathai.com

คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอด

(WORK INSTRUCTION FOR UNDERPASS CONSTRUCTION)

กันยายน 2556

SEPTEMBER 2013

สำนักก่อสร้างสะพาน

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

BUREAU OF BRIDGE CONSTRUCTION

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT

(เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง)

www.yotathai.com

สารจากอธิบดีกรมทางหลวง

การขยายตัวทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ก่อให้เกิดความคับคั่งในการเดินทางและส่งผลถึงปัญหาการจราจรติดขัดโดยเฉพาะบริเวณจุดตัดทางแยกสัญญาณไฟจราจร ซึ่งกรมทางหลวง ในฐานะหน่วยงานหนึ่งในสังกัดกระทรวงคมนาคม มีหน้าที่ในการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงเพื่อสนับสนุนการเดินทางของประชาชนให้มีความสะดวกและปลอดภัย

ทางลอดผ่านใต้ทางแยกเป็นแนวคิดหนึ่งในการเพิ่มพื้นผิวจราจรบริเวณจุดตัดทางแยกสัญญาณไฟจราจร ช่วยให้การบริหารจัดการจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีหน้าที่เทียบเคียงกับสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ทางลอดมีจุดเด่นด้านลดการบดบังทัศนียภาพ กรมทางหลวงได้ดำเนินการโครงการแก้ไขปัญหาการจราจรในเขตเมืองด้วยการออกแบบก่อสร้างทางลอดในหลายพื้นที่ด้วยกัน ซึ่งมีรูปแบบและขั้นตอนการก่อสร้างแตกต่างกันไป คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอดที่ได้จัดทำขึ้นโดยสำนักก่อสร้างสะพานนี้ จึงเป็นแหล่งข้อมูลหนึ่งที่จะเก็บและรวบรวมข้อมูลที่ฝังอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) อันได้แก่เทคนิคความรู้ ประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาอุปสรรคในการทำงาน ถ่ายทอดต่อบุคลากรทั้งของกรมทางหลวง หน่วยงานราชการและภาคเอกชน เป็นส่วนหนึ่งเพื่อช่วยพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านนี้ให้เจริญก้าวหน้าและทันสมัย

กรมทางหลวงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอดนี้ จะช่วยในการพัฒนาองค์ความรู้ เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และผู้มีส่วนในการผลักดันการพัฒนาทางด้านเทคนิควิธีการในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของประเทศชาติต่อไป

(นายชัชวาลย์ บุญเจริญกิจ)
อธิบดีกรมทางหลวง

www.yotathai.com

คำนำ

งานก่อสร้างทางลอดแบบ Open-Cut เป็นงานก่อสร้างอีกลักษณะหนึ่งเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดในเขตเมือง ซึ่งสำนักก่อสร้างสะพาน เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการควบคุมการก่อสร้างให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนดถูกต้องตามหลักวิชาการ

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นในหมู่ผู้ควบคุมงานของสำนักก่อสร้างสะพานต่อบุคลากรของกรมทางหลวงและสาธารณะชนทั่วไปในอนาคต สำนักก่อสร้างสะพานจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อรวบรวมข้อมูลและประมวลผล จัดทำเป็นคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอด ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์การแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้น

สำนักก่อสร้างสะพาน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอดนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ที่สนใจ และเป็นช่องทางหนึ่งในการถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อการเรียนรู้ที่ไม่สิ้นสุดต่อไป

(นายนรินทร์ ศรีสมพันธุ์)
ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน

www.yotathai.com

คำนิยม

การควบคุมงานก่อสร้างทางลอดเป็นงานที่มีลักษณะเด่นในขั้นตอนการก่อสร้างแตกต่างจากการก่อสร้างโครงสร้างสะพาน ผู้ควบคุมงานจำเป็นต้องให้ความสำคัญตั้งแต่ขั้นตอนการก่อสร้างผนัง พื้น จนกระทั่งถึงหลังคาทางลอด เพื่อให้โครงสร้างมีความแข็งแรงคงทน ให้บริการต่อประชาชนโดยทั่วไป

สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง เป็นหน่วยงานที่มีบุคคลากรที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างทางลอดอยู่จำนวนมาก องค์ความรู้และประสบการณ์จึงมีอยู่มากมาย การนำองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องต่างๆมารวบรวมและจัดทำเป็นคู่มือจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเจ้าหน้าที่กรมทางหลวงและบุคลากรที่ปฏิบัติงานทั้งด้านควบคุมงานก่อสร้างและบำรุงรักษา

คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างทางลอดนี้ มีเนื้อหาที่ครอบคลุมตั้งแต่หลักการในการออกแบบ ขั้นตอนการก่อสร้างและควบคุมงาน ตลอดจนปัญหาอุปสรรคทั้งในการก่อสร้างและบำรุงรักษา เพื่อให้ผู้ที่สนใจเข้าใจตั้งแต่หลักการทางทฤษฎี จนถึงการปฏิบัติควบคุมงาน และความจำเป็นในการบำรุงรักษา ในฐานะอดีตผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพานเห็นว่าคู่มือเล่มนี้เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งในการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านงานก่อสร้างทางลอด และจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ที่สนใจทั่วไป

(นายกมล หมั่นทำ)
ผู้อำนวยการสำนักทางหลวงที่ 12
อดีตผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน (12 ม.ค. 2553 – 8 พ.ค. 2556)

www.yotathai.com

คำสั่งสำนักก่อสร้างสะพาน
ที่ สส.1 / 27 /2553
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มืองานก่อสร้างทางลอด

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ บ.1/12/2553 ลงวันที่ 20 มกราคม 2553 คำสั่งที่ บ.1/52/2553 ลงวันที่ 2 มีนาคม 2553 และคำสั่งสำนักก่อสร้างสะพานที่ สส.1/16/2553 ลงวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2553 แต่งตั้งคณะทำงานบริหารงานก่อสร้างของสำนักก่อสร้างสะพาน นั้น

เพื่อให้การจัดทำคู่มืองานก่อสร้างทางลอด ดำเนินไปด้วยความรวดเร็ว ถูกต้อง สมบูรณ์ ครอบคลุมรูปแบบเทคนิคการก่อสร้างผนังทางลอด หลังคาทางลอด และพื้นทางลอดประเภทต่างๆ จึงแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มืองานก่อสร้างทางลอด จำนวน 8 ราย ดังนี้.-

1. นายธงไชย	วีระสมัย	รก.วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	หัวหน้าคณะทำงาน
2. นายชวเลิศ	เลิศชวนะกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
3. นายอนุสรณ์	เอี่ยมวงค์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
4. นายนพรัตน์	เอี่ยมพานิช	นายช่างโยธาอาวุโส	คณะทำงาน
5. นายพรชัย	ศิลารมย์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะทำงาน
6. นายธีรพันธ์	ภูมิรัตน์ประพิณ	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะทำงาน
7. นายอลงกรณ์	พรหมศิลป์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะทำงาน
8. นายปรเมศวร์	ตันมณีวัฒนา	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงาน

<u>มีหน้าที่</u>

พิจารณา รวบรวม รูปแบบ เทคนิควิธีการก่อสร้างงานทางลอดประเภทต่างๆ รวมทั้งเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์การทำงาน การตรวจวัด ในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อจัดทำเป็นคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานทางลอด พร้อมสรุปปัญหาอุปสรรค และแนวทางป้องกันแก้ไข ในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

(นายกมล หมั่นทำ)
ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน

www.yotathai.com

คำสั่งสำนักก่อสร้างสะพาน

ที่ สส. ๑.๑/๑๓ /๒๕๕๖

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ บ.๑/๑๕๐/๒๕๕๕ ลงวันที่ ๑๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๕ และหนังสือที่ กอ. ๗/๓๙๐ ลงวันที่ ๒๔ มกราคม ๒๕๕๖ แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง ด้านที่ ๓ งานก่อสร้าง นั้น

เพื่อให้การจัดเตรียมความรู้ในองค์กรในส่วนของสำนักก่อสร้างสะพาน ในเรื่องของการก่อสร้างทางลอด ดำเนินไปด้วยความรวดเร็ว ถูกต้อง สมบูรณ์ ครอบคลุมรูปแบบเทคนิคการก่อสร้างต่างๆ จึงแต่งตั้งคณะทำงาน จำนวน ๘ ราย ดังนี้

๑.	นายธงไชย	วีระสมัย	รก.วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	หัวหน้าคณะทำงาน
๒.	นายชวเลิศ	เลิศชวนะกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๓.	นายอนุสรณ์	เอี่ยมวงค์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๔.	นายนพรัตน์	เอี่ยมพานิช	นายช่างโยธาอาวุโส	คณะทำงาน
๕.	นายพรชัย	ศิลารมย์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๖.	นายธีรพันธ์	ภูมิรัตนประพิณ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๗.	นายปรเมศวร์	ตันมณีวัฒนา	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะทำงาน
๘.	นายเจษฎา	พยงค์ศรี	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงาน
๙.	นายเฉลิมพล	ว่องเกียรติคุณ	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะทำงานและเลขานุการ

<u>มีหน้าที่</u>

พิจารณา รวบรวม รูปแบบ เทคนิควิธีการก่อสร้างงานทางลอดประเภทต่างๆ รวมทั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์การทำงาน การตรวจวัด ในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อจัดทำเป็นคู่มือควบคุมการก่อสร้างงานทางลอด พร้อมสรุปปัญหาอุปสรรค และแนวทางป้องกันแก้ไข ในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อจัดทำองค์ความรู้ในองค์กรกรมทางหลวงในส่วนของสำนักก่อสร้างสะพาน

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๖

(นายกมล หมั่นทำ)

ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน

www.yotathai.com

สารบัญ

หน้า

สารจากอธิบดีกรมทางหลวง

คำนำ

คำนิยม

คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงาน

สารบัญ

1. บทนำ **1-1**

1.1 นิยามสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก (Overpass & Underpass) 1-1
1.2 ปัจจัยการตัดสินใจในการออกแบบก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกหรือทางลอดทางแยก 1-4
1.3 การพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก 1-6
1.4 แนวคิดในการออกแบบทางลอดทางแยก (Design Concept) 1-9
1.5 รูปแบบโครงสร้างผนังกันดินของทางลอด 1-9
1.6 การพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกรูปแบบการก่อสร้างทางลอด 1-10
1.7 ขั้นตอนการก่อสร้าง 1-13
1.8 โครงการก่อสร้างทางลอดของกรมทางหลวง 1-13

2. การออกแบบทางลอด **2-1**

2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ 2-1
2.2 การออกแบบด้านวิศวกรรมธรณีและฐานราก 2-1
2.3 การออกแบบเสาเข็ม 2-4
2.4 งานออกแบบระบบระบายน้ำ และระบบป้องกันน้ำท่วม 2-6
2.5 การออกแบบระบบระบายอากาศภายในทางลอดช่วงปิด 2-12
2.6 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 2-16
2.7 การศึกษาและออกแบบเพื่อความปลอดภัย 2-21

3. งานผนังทางลอด **3-1**

3.1 รูปแบบทั่วไปของผนังทางลอด 3-1
3.2 การก่อสร้างผนังกันดินแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall) 3-11
3.3 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Diaphragm Wall (D-Wall) 3-13
3.4 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Tangent Pile 3-40
3.5 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Secant Pile Wall 3-45
3.6 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม 3-47

www.yotathai.com

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. งานพื้นทางลอด **4-1**

4.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง 4-2

4.2 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม 4-8

5. งานหลังคาทางลอด **5-1**

5.1 หลังคาทางลอดรูปแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนผนังทางลอด 5-1

5.2 หลังคาทางลอดรูปแบบคานคอนกรีตอัดแรงวางบนผนังทางลอด 5-9

5.3 หลังคาทางลอดรูปแบบพื้นคอนกรีตอัดแรง 5-11

5.4 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม 5-13

6. งานระบบของทางลอด **6-1**

6.1 ระบบระบายน้ำ 6-1

6.2 ระบบระบายอากาศ 6-9

6.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 6-10

7. การจัดการจราจรระหว่างการก่อสร้าง **7-1**

7.1 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจัดการจราจร 7-1

7.2 แนวทางการพิจารณาวางแผนจัดการจราจร 7-6

7.3 มาตรการอื่นๆในการวางแผนจัดการจราจร 7-12

8. ปัญหาอุปสรรคโดยรวมของงานก่อสร้างทางลอด **8-1**

8.1 ปัญหาสาธารณูปโภค 8-1

8.2 ปัญหาก่อสร้างกระทบต่อการจราจร 8-2

8.3 ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับแบบก่อสร้าง และเทคนิควิธีการก่อสร้าง 8-3

9. เครื่องมือวัดและติดตามพฤติกรรมของโครงสร้างทางลอด **9-1**

9.1 เครื่องมือทางธรณีเทคนิค 9-1

9.2 ข้อเสนอแนะในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด 9-9

10. การตรวจสอบและบำรุงรักษาทางลอด **10-1**

10.1 การตรวจสอบและบำรุงรักษาตามปกติ 10-1

10.2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหลัก 10-5

10.3 การตรวจสอบและบูรณะพิเศษ 10-6

10.4 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการบำรุงรักษา 10-7

เอกสารอ้างอิง

www.yotathai.com

1. บทนำ
(Introduction)

การแก้ไขปัญหาจราจรบริเวณทางแยก ที่มีปริมาณการจราจรสูง ส่วนใหญ่แก้ไขปัญหาโดยการก่อสร้างสะพานลอยข้ามทางแยก (Overpass) หรือก่อสร้างเป็นทางแยกต่างระดับ (Interchange) เพื่อลดจุดตัดการจราจรของแต่ละทิศทาง แต่ปัจจุบันในเมืองใหญ่ๆที่มีการจราจรคับคั่ง กรมทางหลวงได้เริ่มดำเนินการออกแบบและก่อสร้างทางลอด (Underpass) เพื่อแก้ปัญหาการจราจรบริเวณทางแยก ทั้งยังเป็นการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การบดบังทัศนียภาพ และการใช้ประโยชน์ของอาคารบริเวณทางแยก การก่อสร้างทางลอดของกรมทางหลวงในปัจจุบันใช้วิธีการแบบขุดเปิด (Open Cut) โดยมีรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างที่เป็นส่วนป้องกันดินพังหรือผนังทางลอด คือ กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กขุดเจาะหล่อในที่ เช่น Diaphragm Wall, Tangent Pile Wall และ Secant Pile Wall และบริเวณส่วนปลายทางลอดทั้งสองด้านต้องมีงานปรับระดับให้สูงขึ้นเชื่อมต่อกับถนนช่วงขึ้นลงทางลอดโดยออกแบบเป็นกำแพงกันดิน (Retaining Wall) ให้ทำหน้าที่ป้องกันดินถมบริเวณเชิงลาดทั้งสองด้าน สำหรับงานก่อสร้างทางลอดจะก่อสร้างกำแพงกันดิน(Retaining Wall) ให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างด้านปลายทางลอด โดยตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตทางลอด (Bottom Slab) งานก่อสร้างทางลอดต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์เฉพาะ ระหว่างก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ คุณภาพในการทำงานอย่างสม่ำเสมอ

1.1 นิยามสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก (Overpass & Underpass)

เป็นรูปแบบทางแยกรูปแบบหนึ่งที่เป็นทางต่างระดับ ไม่มีช่องทางเชื่อม (Grade Separation without Ramps) เพื่อให้รถสามารถผ่านทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และรักษาปริมาณรถที่ผ่านได้ตามต้องการ โดยใช้วิธีแยกระดับช่องทางจราจร ทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือหลายทิศทาง ให้ต่างระดับกันในลักษณะยกข้ามหรือลอดใต้เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการเชื่อมเข้าหากัน ทางแยกประเภทนี้จะพิจารณาออกแบบเมื่อปริมาณจราจรที่ต้องการเลี้ยวที่บริเวณทางแยกมีไม่มากเพียงพอที่จะคุ้มค่ากับการลงทุนออกแบบก่อสร้างทางลาดเชื่อม (Ramp) เช่น ในลักษณะของทางหลวงพิเศษหรือทางหลวงสายหลักตัดกับทางหลวงท้องถิ่นหรือสายทางที่เล็กกว่ามาก หรือในเขตชุมชนเมืองเพื่อลดจำนวนจุดขัดแย้งบริเวณทางแยก บางกรณีนิยมออกแบบทางแยกรูปแบบนี้ตรงบริเวณที่มีสภาพยุ่งยากต่อการก่อสร้างทางแยกต่างระดับประเภทอื่น สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

www.yotathai.com

(1) ทางแยกต่างระดับแบบยกข้าม หรือสะพานลอยข้ามทางแยก (Overpass) ดังรูปที่ 1-1

รูปที่ 1-1 สะพานลอยข้ามทางแยก (Overpass)

(2) ทางแยกต่างระดับแบบทางลอด (Underpass) ดังรูปที่ 1-2 นิยามด้วยภาษาอังกฤษได้คือ Underpass หรือ A grade separation where the subject highway passes under an intersecting highway or railroad แตกต่างจากอุโมงค์ (Tunnel) ที่เป็นการขุดเจาะใต้ดินทะลุถึงอีกด้าน โดยมิได้ลอดผ่านถนนหรือทางรถไฟเหมือนกับ Underpass

ทั้งนี้ ทางลอดที่จะได้กล่าวถึงต่อไปซึ่งเป็นงานก่อสร้างที่กรมทางหลวงเป็นผู้รับผิดชอบจะมีลักษณะเป็นทางลอดที่ก่อสร้างโดยวิธีการขุดเปิด (Open-Cut) แล้วก่อสร้างหลังคาปิดทับ

www.yotathai.com

รูปที่ 1-2 ทางลอดทางแยก (Underpass)

www.yotathai.com

1.2 ปัจจัยการตัดสินใจในการออกแบบก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกหรือทางลอดทางแยก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกที่จะก่อสร้างถนนตัดขวางเป็นทางยกข้ามทางแยกหรือทางลอดทางแยก คือ

- สภาพภูมิประเทศ
- การใช้พื้นที่ข้างเคียง
- ความลาดชันของช่องจราจรทางตรงและความลาดชันของถนนตัดขวาง รวมถึงระยะการมองเห็น และระบบระบายน้ำ
- งบประมาณก่อสร้าง
- การจัดการจราจร
- ก่อสร้างเป็นขั้นตอนและการพัฒนารูปแบบ
- ความสวยงาม
- ช่องลอดที่ต้องการ

ในบางกรณีอาจมีการพิจารณาออกแบบเพิ่มเติมเป็นกรณีพิเศษ อาทิเช่น

- เพื่อบริการถนนท้องถิ่นหรือถนนเดิม ที่ทางหลวงชั้นพิเศษตัดผ่าน
- เพื่อเชื่อมเข้าพื้นที่ ที่ทางขนานหรือทางอื่นๆ เข้าไม่ถึง
- บริเวณจุดตัดกับทางรถไฟ
- บริการสำหรับทางจักรยานหรือทางที่มีคนข้ามประจำ
- ทางเข้าสถานีโดยสาร
- ฯลฯ

รายละเอียดการศึกษาการออกแบบก่อสร้างทางแยกต่างระดับ ไม่ว่าจะเป็นกรณีทางสายหลักยกข้าม(Overpass) หรือทางลอด (Underpass) โดยพื้นฐานจะต้องพิจารณาถึงลักษณะภูมิประเทศ และชนิดของทางหลวงเป็นหลัก ซึ่งควรมีการวางแผนเบื้องต้นก่อนตัดสินใจให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปแล้วการจะเปรียบระหว่าง Overpass กับ Underpass ว่าอย่างใดจะให้ประโยชน์มากกว่ากัน จะใช้การพิจารณาร่วมกับการศึกษารายละเอียดของทางแยกต่างระดับทั้งหมดในระบบ

การออกแบบที่ดีควรออกแบบให้รัดกุมเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศจริงให้มากที่สุด และมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างและบำรุงรักษา ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการออกแบบ แต่ในกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศไม่มีอิทธิพลต่อการออกแบบ เช่นกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบ ซึ่งในกรณีนี้ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องจะได้แก่

www.yotathai.com

- ทางข้ามโดยทั่วไปแล้วจะมีข้อได้เปรียบในการเข้าระบบชุมทางต่างระดับ (Interchange) เนื่องจากเป็นการง่ายต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ (จะเห็นโครงสร้างที่ตัดข้ามชัดเจนในระดับบนของสายตาในเวลาขับขี่)
- ด้านความสวยงาม และมุมมองของผู้ขับขี่รถทางตรง (Through Traffic) โดยโครงสร้างที่เป็น Overpass จะให้มุมมองที่ดีกว่า เนื่องจากจะมีมุมมองที่กว้างกว่าและไม่ทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกอึดอัดคับแคบ
- ในกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นเนิน ซึ่งโดยหลักแล้วจะไม่มีลักษณะเด่นในการเลือกทำเป็น Overpass หรือ Underpass ในการออกแบบจะให้ความสำคัญกับระยะการมองเห็น (Sight Distance) ของรถในทางหลักเป็นสำคัญ
- ในการก่อสร้าง Overpass จะคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการก่อสร้างเป็นลำดับ (Stage construction) มากกว่า ด้วยเงินลงทุนที่น้อยกว่า ทั้งด้านงานถนนและงานโครงสร้าง กล่าวคือ ในภายหลังสามารถก่อสร้างโดยแยกงานทางและงานโครงสร้างเพิ่มเติมได้ โดยไม่กระทบกับโครงสร้างพื้นฐานที่สร้างไปเมื่อแรกเริ่ม
- ปัญหาด้านการระบายน้ำสามารถลดได้ โดยการยกทางหลักให้เป็น Overpass ซึ่งในบางกรณีปัญหาการระบายน้ำอาจเป็นเหตุผลเดียวที่เพียงพอในการตัดสินใจได้ว่าจะก่อสร้างเป็น Overpass ดีกว่า Underpass
- ราคาของการก่อสร้างสะพานจะเป็นข้อกำหนดทางสายหลักว่าจะเป็น Overpass หรือ Underpass ที่สามารถอำนวยความสะดวกได้ดี การวิเคราะห์เรื่องราคาขึ้นอยู่กับรูปแบบของสะพาน ความยาวของสะพาน รูปตัดของทาง ลักษณะมุมตัดของถนน รวมถึงคุณสมบัติดิน
- Underpass จะมีข้อได้เปรียบมากกว่า เนื่องจากสามารถสร้างให้ระดับใกล้เคียงกับระดับดินเดิมมากที่สุด เพราะว่าจะมีความยาวสะพานข้ามที่สั้นและสามารถประหยัดปริมาณงานดินได้ เนื่องจากทางสายรองที่สร้างอยู่เหนือทางสายหลักจะสร้างด้วยมาตรฐานที่ต่ำกว่า
- บ่อยครั้งจะเลือกการก่อสร้างเป็น Underpass โดยไม่ได้คำนึงถึงข้อพิจารณาด้านพื้นที่ตั้ง แต่ใช้การพิจารณาระบบทางหลวงโดยรวม ยกตัวอย่างเช่นการก่อสร้างทางต่างระดับในย่านชุมชนเมือง ซึ่งอาจต้องพิจารณาแยกเป็นกรณีไปในแต่ละแห่งควบคู่ไปกับการพัฒนาของเมืองนั้นๆ
- ในพื้นที่ซึ่งมีทางหลวงตัดผ่านถนนเดิมที่มีปริมาณจราจรสูง การก่อสร้างโดยยกทางหลวงข้ามถนนเดิมจะส่งผลกระทบต่อถนนเดิมน้อยกว่า

www.yotathai.com

- โครงสร้างที่ข้ามจะไม่มีข้อจำกัดทางด้านระยะห่างแนวดิ่ง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญในกรณีที่ต้องการให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เป็นพิเศษ ซึ่งขออนุญาตเดินบนทางหลวงสายหลักหรือบนถนนธรรมดา
- ถนนที่มีปริมาณจราจรสูงมากควรจะต้องมีจำนวนสะพานน้อยที่สุด เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการขับรถที่ดีกว่าและมีอุปสรรคน้อยกว่าเมื่อมีการซ่อมแซมหรือเมื่อต้องการก่อสร้างใหม่
- ในบางกรณีเพื่อเป็นการลดผลกระทบด้านเสียง ควรพิจารณาให้ทางที่มีเสียงดังรบกวนมากกว่าลดระดับและลอดใต้ถนนที่มีเสียงดังน้อยกว่า
- ในบางกรณี อาจพิจารณาให้ถนนสายรองสร้างเป็นทางข้าม หากนั่นทำให้เกิดข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์

1.3 การพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก

การปรับปรุงทางแยกระดับราบเดิม ให้เพิ่มความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางแยกได้ สามารถออกแบบเป็นสะพานลอยยกระดับ หรือทางลอดทางแยก ซึ่งในการตัดสินใจเลือกรูปแบบก่อสร้างนั้น จะต้องพิจารณาเลือกรูปแบบการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยมีหัวข้อในการพิจารณารวมทั้งข้อดี และข้อเสียของแต่ละรูปแบบได้ดังนี้

1.3.1 ด้านวิศวกรรม

การพิจารณาเปรียบเทียบด้านวิศวกรรมระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก แสดงดังตารางที่ 1-1

1.3.2 ด้านการก่อสร้าง การเวนคืน และการบำรุงรักษา

การพิจารณาเปรียบเทียบด้านการก่อสร้าง การเวนคืนที่ดิน และการบำรุงรักษา แสดงดังตารางที่ 1-2 และรูปที่ 1-3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบอัตราส่วนราคาก่อสร้าง (Cost Ratio) ตามรูปแบบต่างๆ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของโครงสร้างและงานดินของทางต่างระดับซึ่งแสดงด้านบน

www.yotathai.com

ตารางที่ 1-1 การพิจารณาเปรียบเทียบด้านวิศวกรรม
ระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก

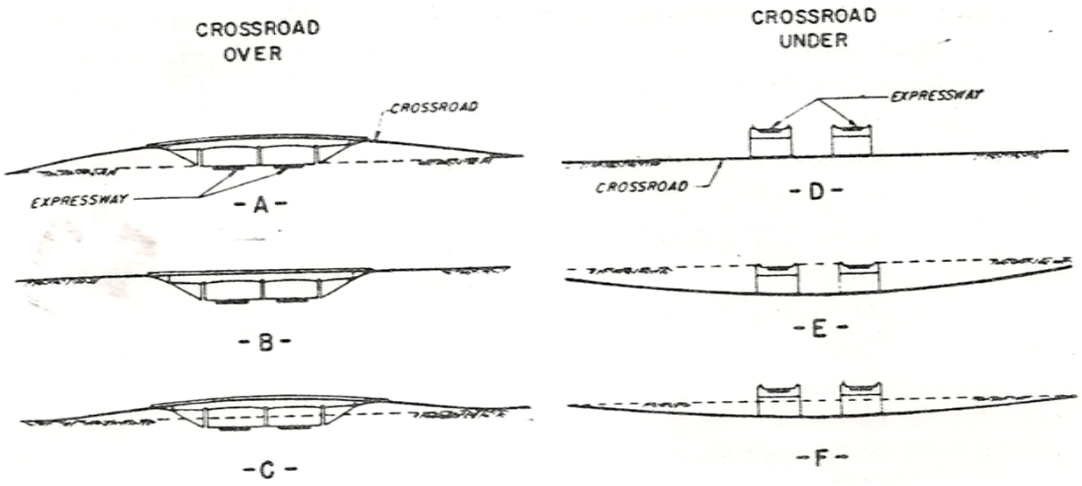
หัวข้อพิจารณา	ทางลอดทางแยก	สะพานข้ามทางแยก
ช่องจราจรระดับพื้น	เหลือพื้นที่น้อยกว่า เกิดข้อจำกัดที่มากกว่า	เหลือพื้นที่มากกว่า เกิดข้อจำกัดน้อยกว่า
ระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน	ต้องทำการรื้อย้ายเป็นส่วนมาก	ไม่ต้องทำการรื้อย้าย สามารถจัดเสาตอม่อให้หลบเลี่ยงได้
ก่อสร้างเป็นขั้นตอนและการพัฒนารูปแบบ (Stage Development)	ยากกว่า	ง่ายกว่า
ระยะมองเห็น (Sight Distance)	มีข้อจำกัดมากกว่าเนื่องจากกำแพงกันดินด้านข้างอยู่ชิดผิวจราจรโดยเฉพาะถ้าเป็นโค้งราบ	มากกว่า
แนวทางตั้ง (Vertical Alignment)	ด้อยกว่า เนื่องจากต้องออกแบบโค้งตั้งก่อนลงทางลอดเพื่อกันน้ำไหลลงทางลอด	ดีกว่า
การระบายน้ำ	ต้องออกแบบติดตั้งอุปกรณ์เพื่อระบายน้ำมากกว่า	ปกติ

ตารางที่ 1-2 การเปรียบเทียบด้านการก่อสร้าง การเวนคืนที่ดิน และการบำรุงรักษา
ระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก

หัวข้อพิจารณา	ทางลอดทางแยก	สะพานข้ามทางแยก
รูปแบบโครงสร้าง อุปกรณ์ และวิธีการก่อสร้าง	ยุ่งยากกว่า	ปกติ ไม่ยุ่งยาก
ค่าก่อสร้างโดยประมาณ	มากกว่า	น้อยกว่า
ระยะเวลาในการก่อสร้าง	ยาวกว่า *	สั้นกว่า *
พื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้าง	มากกว่า *	น้อยกว่า
ผลกระทบต่อการจราจรระหว่างการก่อสร้าง	มีผลกระทบมากกว่า *	มีผลกระทบ
ค่าใช้จ่ายของระบบการใช้งานและค่าบำรุงรักษา	สูงกว่า (ไฟฟ้าแสงสว่างตลอด 24 ชม. / สูบน้ำเพื่อระบายน้ำฝนและน้ำใต้ดิน)	ต่ำกว่า
การจัดการเรื่องอุบัติเหตุและการกู้ภัย	ต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์พิเศษ เช่น เครื่องดับเพลิง รถลาก และเจ้าหน้าที่ประจำ มีความยากในการกู้ภัยมากกว่า	ปกติ

หมายเหตุ * ขึ้นอยู่กับความยาวของทางลอด / โครงสร้าง และเทคนิควิธีการก่อสร้าง และสภาพแวดล้อม

www.yotathai.com



Scheme	Crossroad	Expressway	Cost Ratio
A	Over Raised full height	At ground level	1.0
B	Over At ground level	Lowered fully	1.7
C	Over Raised partially	Lowered partially	1.1
D	Under At ground level	Raised fully	2.0
E	Under Lowered fully	At ground level	1.4
F	Under Lowered partially	Raised partially	1.4

รูปที่ 1-3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบอัตราส่วนราคาก่อสร้าง (Cost Ratio)

1.3.3 ด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การพิจารณาเปรียบเทียบด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมระหว่างสะพานข้ามทางแยกและทางลอดทางแยก แสดงดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ข้อพิจารณาด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

หัวข้อพิจารณา	ทางลอดทางแยก	สะพานข้ามทางแยก
ผลกระทบต่อทัศนียภาพโดยรวม	น้อยกว่า	มากกว่า
มลภาวะในบริเวณพื้นที่ (อากาศและเสียงรบกวน)	น้อยกว่า	มากกว่า *
มลภาวะในช่องทางจราจร	ภายในทางลอด ถึงแม้จะมีระบบระบายอากาศ แต่ยังมีปัญหาต่อผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์และรถโดยสารที่ไม่มีระบบปรับอากาศอยู่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรติดขัด	ปกติ
สังคมและชุมชน	ไม่สะดวก ข้ามถนนได้เฉพาะช่วงกลางทางแยกที่ปิดทางลอด	สะดวก ข้ามถนนได้ตามจุดที่กำหนดใต้สะพาน

หมายเหตุ * ขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทาง และระยะห่างของอาคารข้างเคียงกับโครงสร้าง

www.yotathai.com

1.4 แนวคิดในการออกแบบทางลอดทางแยก (Design Concept)

ในการกำหนดรูปแบบโครงสร้างของทางลอดสามารถทำได้หลายรูปแบบ ซึ่งต้องศึกษาหารูปแบบที่เหมาะสมของทางลอดโดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่โครงการ
- สภาพชั้นดินในพื้นที่โครงการ
- สภาพการจราจรในปัจจุบันและผลกระทบต่อการจราจรในช่วงก่อสร้าง
- เทคนิควิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม
- ข้อจำกัดทางกายภาพต่างๆ
- ค่าใช้จ่ายและงบประมาณในการก่อสร้าง
- ระยะเวลาการก่อสร้าง
- ผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง

1.5 รูปแบบโครงสร้างผนังทางลอด

1.5.1 มาตรฐานในการออกแบบ

การออกแบบโครงสร้างทางลอดใช้มาตรฐานในการออกแบบตามที่ระบุไว้ในเอกสารมาตรฐานสากลต่างๆ ดังนี้

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2007
- Standard Specifications for Highways Bridges, AASHTO 1996 with 1997 and 1998 Interims
- American Concrete Institute, Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-97)
- Prestressed Concrete Institute, PCI Design Handbook
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)
- มาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ทางเลือกของรูปแบบโครงสร้างผนังของทางลอด

ทางลอดเป็นรูปแบบของทางลดระดับเพื่อลอดทางแยกระดับพื้นราบที่บริเวณทางแยก ทางลอดจะต้องมีช่องลอด (Vertical Clearance) สูงไม่น้อยกว่า 5.5 เมตร รูปแบบโครงสร้างผนังกันดินของทางลอดมีหลายประเภท แต่ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1) รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)
2) รูปแบบ Diaphragm Wall (D-Wall)
3) รูปแบบ Secant Pile Wall

www.yotathai.com

4) รูปแบบ Tangent Pile Wall

รายละเอียดของรูปแบบโครงสร้างผนังกันดินของทางลอดประเภทต่างๆ และขั้นตอนการก่อสร้าง จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

1.6 การพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกรูปแบบการก่อสร้างทางลอด

ได้ทำการเปรียบเทียบทางเลือกรูปแบบก่อสร้างทางลอดในประเด็นดังต่อไปนี้

- ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้าง
- ความต้องการโครงสร้างผนังกันดินชั่วคราว
- สภาพชั้นดินที่เหมาะสมในการเลือกใช้
- ปัญหาระหว่างการก่อสร้าง
- ปัญหาการซึมของน้ำใต้ดินระหว่างการก่อสร้างและการใช้งาน
- ความต้องการ Wall Finishing
- ผู้รับจ้างก่อสร้างงานกำแพงกันดิน หรือผนังกันดินของทางลอด
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในตารางที่ 1-4 โดยรูปแบบที่เหมาะสมกับแต่ละโครงการยังคงต้องศึกษาเปรียบเทียบในรายละเอียด โดยอาศัยผลการสำรวจสภาพทางแยก ผลการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินฐานราก และรูปแบบทางเรขาคณิตของทางลอด เป็นต้น

www.yotathai.com

ตารางที่ 1-4 การเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างผนังทางลอด

ลำดับ	ประเด็นที่พิจารณา	RC. Retaining Wall	D - Wall	Secant Pile Wall	Tangent Pile Wall
1	ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้าง	มากกว่า D - Wall	สามารถจำกัดพื้นที่การก่อสร้างได้	ใกล้เคียงกับ D - Wall	ใกล้เคียงกับ D - Wall
2	ความต้องการโครงสร้างกันดินชั่วคราว	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ
3	สภาพชั้นดินที่เหมาะสมในการเลือกใช้	ทุกสภาพชั้นดิน	ทุกสภาพชั้นดิน	ทุกสภาพชั้นดิน แต่เหมาะสมกับชั้นดินเหนียวมากกว่า	เหมาะสมสำหรับชั้นดินเหนียว
4	ปัญหาระหว่างการก่อสร้าง	หากระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงจะมีปัญหาเรื่องการซึมของน้ำใต้ดินระหว่างขุดซึ่งจะต้องทำ Dewatering	ปัญหาระหว่างการก่อสร้างมีค่อนข้างน้อย	ปัญหาระหว่างการก่อสร้างมีค่อนข้างน้อย แต่คงมีปัญหาการซึมของน้ำใต้ดินผ่านกำแพงบ้าง	ปัญหาระหว่างการก่อสร้างมีค่อนข้างน้อย แต่คงมีปัญหาการซึมของน้ำใต้ดินผ่านกำแพงบ้าง โดยเฉพาะกรณีที่เป็นชั้นดินทราย ดังนั้นในกรณีที่งานขุดอยู่ในชั้นดินทรายจะต้องทำเสาเข็ม Plastic Concrete หรือทำการ Grouting หลัง Tangent Pile Wall เป็นต้น
5	ปัญหาการซึมของน้ำใต้ดินระหว่างการใช้งานภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ	สามารถออกแบบป้องกันได้ โดยติดตั้งระบบ Water Stop หรือระบบกันซึม	สามารถออกแบบป้องกันได้ โดยติดตั้งระบบ Water Stop ในแผ่นผนัง D - Wall	แม้ว่ากำแพงจะมีการยึดเกี่ยวกัน แต่ก็จะมีจุดอ่อนที่ทำให้เกิดการซึมของน้ำได้ ดังนั้นในการทำ Wall Finishing จึงต้องออกแบบติดตั้ง Water Stop และติดตั้งระบบกันซึม	กำแพงไม่มีการยึดเกี่ยวกัน ดังนั้นในการทำ Wall Finishing จึงต้องออกแบบติดตั้ง Water Stop และระบบกันซึม

www.yotathai.com

ตารางที่ 1-4 การเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างผนังทางลอด (ต่อ)

ลำดับ	ประเด็นที่พิจารณา	RC. Retaining Wall	D - Wall	Secant Pile Wall	Tangent Pile Wall
6	ความต้องการ Wall Finishing	ไม่ต้องการ	ต้องการเพื่อทำให้ผิวหน้าสวยงาม	ต้องการเพื่อทำให้ผิวหน้าสวยงาม อีกทั้งใช้เป็นแผงป้องกันการซึมของน้ำใต้ดินผ่านกำแพง	ต้องการเพื่อทำให้ผิวหน้าสวยงาม อีกทั้งใช้เป็นแผงป้องกันการซึมของน้ำใต้ดินผ่านกำแพง
7	ผู้รับจ้างงานก่อสร้างกำแพงกันดิน	มีอยู่ทั่วไป แต่ผู้ชำนาญงาน Dewatering มีอยู่ไม่มากนัก	มีอยู่ทั่วไป แต่ปัจจุบันเครื่องมือก่อสร้าง D-Wall ผ่านชั้นหินไม่มีในประเทศไทย	มีผู้รับจ้างน้อยรายและปัจจุบันไม่มีเครื่องมืออยู่ในประเทศไทย	มีอยู่ทั่วไป
8	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	ถูกกว่าการใช้ D - Wall อย่างไรก็ตาม หากเลือกใช้ในสภาพชั้นดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ค่าใช้จ่ายสำหรับการทำ Dewatering และค่าทำผนังกันดินชั่วคราวอาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกกว่า D - Wall ไม่มากนัก	ราคาพอสมควร	ราคาถูกกว่า D - wall ไม่มาก	ราคาถูกกว่า Secant Pile Wall ไม่มาก

www.yotathai.com

1.7 ขั้นตอนการก่อสร้าง

ภาพรวมขั้นตอนการทำงานในโครงการก่อสร้างทางลอด ประกอบด้วย

1) การสำรวจและวางแนว
2) การสำรวจและวางแผนรื้อย้ายสาธารณูปโภค
3) การวางแผนจัดการจราจร และประชาสัมพันธ์
4) การก่อสร้างขยายช่องจราจรด้านข้างทางลอด รวมงานระบบที่เกี่ยวข้อง
5) การก่อสร้างโครงสร้างผนังทางลอด
6) การก่อสร้างโครงสร้างพื้นทางลอด
7) การก่อสร้างโครงสร้างหลังคาทางลอด
8) งานระบบของทางลอด
9) งานอำนวยความปลอดภัย
10) การทดสอบระบบ

คู่มือฉบับนี้ จะได้กล่าวถึงเน้นเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การก่อสร้างโครงสร้างผนังทางลอด พื้นทางลอด หลังคาทางลอด งานระบบ และปัญหาอุปสรรคต่างๆรวมถึงวิธีการแก้ไข ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ และขั้นตอนการก่อสร้างทั่วไปได้มีการกล่าวไว้ในคู่มือการควบคุมงานและเอกสารอื่นๆของกรมทางหลวงแล้ว

1.8 โครงการก่อสร้างทางลอดของกรมทางหลวง

โครงการก่อสร้างทางลอดที่ได้ทำการรวบรวมและประมวลผลในเอกสารฉบับนี้ครอบคลุมเฉพาะงานก่อสร้างทางลอดที่กรมทางหลวงได้ดำเนินการ ณ ช่วงเวลาที่จัดทำคู่มือฯเท่านั้น ประกอบด้วย (เรียงลำดับตามเวลาก่อนหลัง)

1) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
2) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกศาลเด็ก จ.เชียงใหม่
3) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกข่วงสิงห์ จ.เชียงใหม่
4) โครงการก่อสร้างทางลอดที่ปากเกร็ด จ.นนทบุรี
5) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกปอยหลวง จ.เชียงใหม่
6) โครงการก่อสร้างทางหลวงที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 กับทางหลวงหมายเลข 12 จ.ขอนแก่น

www.yotathai.com

7) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับ 4020 (แยกดาราสมุทร) จ.ภูเก็ต
8) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับถนนเยาวราช (แยกสามกอง) จ.ภูเก็ต

โดยมีรายละเอียดภาพรวมของแต่ละโครงการฯพอสังเขปดังนี้

1) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์
สัญญาที่ : สพ. 5/2547
เริ่มต้นสัญญา : วันที่ 24 กันยายน 2547
ลักษณะโครงการฯ : ทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์ เป็นทางลอดแบบ Open Cut จำนวน 4 ช่องจราจร ความกว้างของทางลอด 18.8 เมตร ความยาวตลอดทางลอด 625 เมตร ความสูงทางลอด 5.10 เมตร ระบบผนังกันดินเป็นแบบ Tangent Pile Wall ชั้นพื้นทางคอนกรีต (Base Slab) หนา 0.80 เมตร และมีโครงสร้างเสาเข็มรับแรงดึง (Tension Pile) ใต้พื้นเพื่อป้องกันการอูดตัวขึ้น บริเวณส่วนปลายทางลอดทั้งสองด้านมีงานปรับระดับ (Transition unit) เพื่อเชื่อมกับถนนช่วงขึ้นลงทางลอดโดยออกแบบเป็นกำแพงกันดิน (Retaining Wall)
มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค) 299,600,000 บาท
ผู้รับจ้าง บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)
ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง
ผู้ออกแบบ บริษัทที่ปรึกษา คอนซัลเทนท์ ออฟเทคโนโลยี จำกัด ร่วมกับ บริษัท เอพซิลอน จำกัด

www.yotathai.com

2) โครงการก่อสร้างทางลอดที่ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดที่ปากเกร็ดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 306 (ถนนติวานนท์) กับทางหลวงหมายเลข 304 (ถนนแจ้งวัฒนะ)

สัญญาที่ : สพ.5/2548 ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2548

เริ่มต้นสัญญา : 20 กรกฎาคม 2548

สิ้นสุดสัญญา : 4 กุมภาพันธ์ 2551

ระยะเวลาทำการ : 930 วัน (ขยายอายุสัญญาเพิ่มเติม)

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข: 306 (ติวานนท์) ระหว่าง กม. 13+044.23 - กม. 13+854.30

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข : 304 (แจ้งวัฒนะ) ที่ กม. 10+690

ลักษณะโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดที่ปากเกร็ดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 306 (ถนนติวานนท์) กับทางหลวงหมายเลข 304 (ถนนแจ้งวัฒนะ) ก่อสร้างเป็นทางลอดลดระดับในแนวทางหลวงหมายเลข 306 ผิวจราจรความยาว 606 เมตร ความกว้าง 18 เมตร 2 ทิศทาง รวม 5 ช่องจราจร ตรงกลางทางแยกก่อสร้างเป็นทางลดระดับแบบปิดด้วยโครงสร้างพื้นสะพานคอนกรีตระดับราบรวมทางกว้าง 56 เมตร ระหว่าง กม.0+275 ถึง กม.0+331 สำหรับให้รถวิ่งทางตรง รถเลี้ยวขวาและรถเลี้ยวซ้าย ด้านข้างทางลอดจะก่อสร้างพื้นระดับราบผิวคอนกรีตข้างละ 2 ช่องจราจร พร้อมทางเท้าและท่อระบายน้ำใหม่ และสิ่งก่อสร้างองค์ประกอบต่างๆของทางแยกครบถ้วน เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง ป้ายจราจร สีตีเส้น ระบบระบายน้ำทิ้งในทางลอด และผิวจราจร ตลอดจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ และองค์ประกอบต่างๆ

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค) 386,698,000.00 บาท

ค่าปรับวันละ 1,047,871.22 บาท

ผู้รับจ้าง บริษัท ซิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ Consultants of Technology Co.,Ltd. และ Epsilon Co.,Ltd.

www.yotathai.com

3) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกข่วงสิงห์ จ.เชียงใหม่

ชื่อโครงการฯ: โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 107 (แยกข่วงสิงห์)

สัญญาที่: สพ. 7/2546 ลงวันที่ 25 กันยายน 2546

เริ่มต้นสัญญา: วันที่ 24 ตุลาคม 2546

สิ้นสุดสัญญา: วันที่ 10 สิงหาคม 2549

ระยะเวลาทำการ: 900 วัน

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข: 11 ระหว่าง กม. 96+600.000-กม. 98+350.000

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข: 107 ที่ กม.

ลักษณะโครงการฯ: ทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 107 (สี่แยกข่วงสิงห์) ก่อสร้างเป็นทางลดระดับในแนวทางหลวงหมายเลข 11 ผิวทางคอนกรีตขนาด 6 ช่องจราจร ไป-กลับ ข้างละ 3 ช่องจราจร พร้อมไหล่ทางข้างละ 2.50 เมตร ความยาว 570 เมตร ระหว่างกม. 96+600.000 – กม. 98+350.000 ตรงกลางทางแยกก่อสร้างเป็นทางลดระดับแบบปิด โดยโครงสร้างเป็นพื้นสะพานคอนกรีตระดับราบรวมทางเท้ากว้าง 40 เมตร สำหรับให้รถทางตรงรถเลี้ยวขวา รถเลี้ยวซ้าย และรถเลี้ยวกลับ (U-TURN) พร้อมไฟสัญญาณจราจรควบคุมด้านข้างทางลดละดับจะก่อสร้างพื้นระดับราบผิวคอนกรีตข้างละ 4 ช่องจราจร พร้อมทางเท้าและท่อระบายน้ำใหม่ และก่อสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของทางแยกครบถ้วน เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง ป้ายจราจร สีตีเส้น ระบบระบายน้ำทิ้งในทางลดระดับและบนผิวจราจร ตลอดจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ และอาคารประกอบต่างๆ

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค): 243,289,721.00 บาท

ค่าปรับวันละ: 72,986.92 บาท

ผู้รับจ้าง: หจก. จิระเทพ

ผู้ควบคุมงาน: สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ: บริษัท พีระมิด ดีเวลล็อปเม้นท์ อินเตอร์เนชั่นแนล คอร์ปอเรชั่น จำกัด

www.yotathai.com

4) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกศาลเด็ก จ.เชียงใหม่

ชื่อโครงการฯ: โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 118 (แยกศาลเด็ก)

สัญญาที่: สพ. 6/2546 ลงวันที่ 25 กันยายน 2546

เริ่มต้นสัญญา: วันที่ 24 ตุลาคม 2546

สิ้นสุดสัญญา: วันที่ 10 สิงหาคม 2549

ระยะเวลาทำการ: 900 วัน

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข:11 ระหว่าง กม. 93+090.000-กม. 94+100.000

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข: 118 ที่ กม. 0+000 – กม. 0+062.426

ลักษณะโครงการฯ: ทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 118 (สี่แยกศาลเด็ก) ก่อสร้างเป็นทางลดระดับในแนวทางหลวงหมายเลข 11 ผิวทางคอนกรีตขนาด 6 ช่องจราจร ไป-กลับ ข้างละ 3 ช่องจราจร พร้อมไหล่ทางข้างละ 2.50 เมตร ความยาว 650 เมตร ระหว่างกม. 93+090.000 – กม. 94+100.000 ตรงกลางทางแยกก่อสร้างเป็นทางลดระดับแบบปิด โดยโครงสร้างเป็นพื้นสะพานคอนกรีตระดับราบรวมทางเท้ากว้าง 62.42 เมตร สำหรับให้รถทางตรงรถเลี้ยวขวา รถเลี้ยวซ้าย และรถเลี้ยวกลับ (U-TURN) พร้อมไฟสัญญาณจราจรควบคุมด้านข้างทางลดละดับจะก่อสร้างพื้นระดับราบผิวคอนกรีตข้างละ 4 ช่องจราจร พร้อมทางเท้าและท่อระบายน้ำใหม่ และก่อสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของทางแยกครบถ้วน เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง ป้ายจราจร สีตีเส้น ระบบระบายน้ำทิ้ง ในทางลดระดับและบนผิวจราจร ตลอดจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ และอาคารประกอบต่างๆ

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค): 268,823,714.00บาท

ค่าปรับวันละ: 80,647.11 บาท

ผู้รับจ้าง: หจก. จิระเทพ

ผู้ควบคุมงาน: สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ: สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง

ทางลอดแยกศาลเด็ก
SAN DEK UNDERPASS

www.yotathai.com

5) โครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกปอยหลวง จ.เชียงใหม่

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 1006 (แยกปอยหลวง)

สัญญาที่ : สพ.1/2549 ลงวันที่ 2 พฤศจิกายน 2548

เริ่มต้นสัญญา : วันที่ 3 พฤศจิกายน 2548

สิ้นสุดสัญญา : วันที่ 25 มิถุนายน 2550
(ได้รับการขยายอายุสัญญาถึง 15 มกราคม 2551)

ระยะเวลาทำการ : 804 วัน

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข : 11 ระหว่าง กม. 89+700.000 - กม. 92+510.000

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข : 1006 ที่ แยกปอยหลวง

ลักษณะโครงการฯ : บริเวณสี่แยกปอยหลวงออกแบบเป็นแบบทางลอดตามความต้องการของจังหวัดและประชาชนจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้รูปแบบทางลอดเดิมที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ก่อสร้างเป็นทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 1006 (สี่แยกปอยหลวง) เป็นทางลดระดับในแนวทางหลวงหมายเลข 11 ผิวทางคอนกรีตขนาด 6 ช่องจราจร ไป – กลับ ข้างละ 3 ช่องจราจร พร้อมไหล่ทางข้างละ 2.50 เมตร ความยาว 452.29 เมตร 2 ทิศทาง ระหว่าง กม.89+700.000 – กม.92+510.000 ตรงกลางทางแยกก่อสร้างเป็นทางลดระดับแบบปิด โดยโครงสร้างเป็นพื้นสะพานคอนกรีตระดับราบรวมทางเท้ากว้าง 52.80 เมตร สำหรับให้รถทางตรง รถเลี้ยวขวา รถเลี้ยวซ้าย และรถเลี้ยวกลับ (U-Turn) พร้อมไฟสัญญาณควบคุมการจราจร ด้านข้างทางลดระดับจะก่อสร้างทางคู่ขนานระดับราบผิวคอนกรีตข้างละ 4 ช่องจราจร พร้อมทางเท้าและท่อระบายน้ำใหม่ และก่อสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของทางแยก เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง ป้ายจราจร สีตีเส้น ระบบระบายน้ำทิ้ง ตลอดจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำและอาคารประกอบต่างๆ เมื่องานก่อสร้างโครงการฯ แล้วเสร็จ จะช่วยลดปัญหาความหนาแน่นของปริมาณการจราจรได้ระดับหนึ่ง และช่วยเพิ่มความสะดวก ความปลอดภัยให้ผู้ใช้ทางมากยิ่งขึ้น

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค) 379,615,000.00 บาท

ค่าปรับวันละ 949,037.50 บาท (ค่าปรับใช้อัตราร้อยละ 0.25)

ผู้รับจ้าง บริษัท เชียงใหม่คอนสตรัคชั่น จำกัด

ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ THAI DCI COMPANY LIMITED

www.yotathai.com

6) โครงการก่อสร้างทางหลวงที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 กับทางหลวงหมายเลข 12 จ.ขอนแก่น

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 2 ตอน ทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 กับ ทางหลวงหมายเลข 12 (จ.ขอนแก่น)

สัญญาที่ : สพ.6/2550 ลงวันที่ 17 พฤษภาคม 2550

เริ่มต้นสัญญา : 18 พฤษภาคม 2550

สิ้นสุดสัญญา : 27 มีนาคม 2553

ระยะเวลาทำการ : 1,044 วัน (ขยายอายุสัญญาเพิ่มเติม)

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข : 2 (ถนนมิตรภาพ) ระหว่าง กม. 43+350 - กม. 44+825

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข : 12 (ถนนมะลิวัลย์) ที่ กม. 1+600

ลักษณะโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 2 ตอน ทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 กับ ทางหลวงหมายเลข 12 (จ.ขอนแก่น) ก่อสร้างเป็นทางลอดลดระดับในแนวทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ความยาวทางลอด 1,035 เมตร ความกว้างทางลอด 22.60 เมตร แบ่งการจราจรออกเป็น 2 ทิศทางรวม 4 ช่องจราจร (ไป-กลับ) ตรงกลางบริเวณทางแยก (สี่แยกสามเหลี่ยม) ก่อสร้างเป็นทางลดระดับแบบปิดที่มีโครงสร้างเป็นพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในระดับราบความยาวสะพาน 22.60 เมตร ระยะทางช่วงปิดของทางลอด 195.00 เมตร อยู่ระหว่าง กม. 44+038.500 ถึง กม. 44+233.500 สำหรับให้รถวิ่งทางตรง รถเลี้ยวขวาและรถเลี้ยวซ้ายตามจังหวะสัญญาณไฟทั้งในทิศทางของทางหลวงหมายเลข 2 และ ทางหลวงหมายเลข 12 สำหรับถนนทางขนานด้านข้างทางลอดที่อยู่ระดับเดียวกับพื้นหลังคาทางลอดทำการก่อสร้างขยายเป็นถนนผิวคอนกรีต เมื่อแล้วเสร็จแบ่งเป็นข้างละ 4 ช่องจราจร พร้อมปรับปรุงทางเท้าและท่อระบายน้ำใหม่ รวมถึงงานก่อสร้างและติดตั้งองค์ประกอบต่างๆของทางลอด เช่น งานไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟสัญญาณจราจร ป้ายจราจร สีตีเส้น ระบบรางระบายน้ำทิ้งและเครื่องสูบน้ำในทางลอด ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และองค์ประกอบต่างๆ

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค) 330,651,864.63 บาท

ค่าปรับวันละ 99,195.56 บาท

ผู้รับจ้าง บริษัท กรุงเทพคอนกรีต (1989) จำกัด

ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ **THAI DCI Co.,Ltd.**

www.yotathai.com

7) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับ 4020 (แยกดาราสมุทร) จ.ภูเก็ต

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับ 4020 (แยกดาราสมุทร) จ.ภูเก็ต

สัญญาที่ : สส. 1/2556

เริ่มต้นสัญญา : 16 ตุลาคม 2555

สิ้นสุดสัญญา : 5 ตุลาคม 2557

ระยะเวลาทำการ : 720 วัน

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข :402 ที่ กม. 6+850

ลอดผ่านทางหลวงหมายเลข : 4020 ที่ กม. 3+179.158

ลักษณะโครงการฯ : งานก่อสร้างทางลอดในแนวทางหลวงหมายเลข 402 ความยาว 820.00 เมตร 2 ทิศทาง รวม 3 ช่องจราจร ระบบผนังกันดินเป็นแบบ Diaphragm Wall ความยาว 612 เมตร ความลึก 7-22 เมตร พื้นทางลอด (Bottom Slab) หนา 0.90 เมตร. ไม่มีเข็มรับแรงดึง พร้อมติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำ ระบบไฟฟ้า และระบบอำนวยความปลอดภัยอื่นๆ เช่น โทรศัพท์ฉุกเฉิน, เครื่องดับเพลิง, พัดลมดูดอากาศ และโทรทัศน์วงจรปิด

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค) 599,265,186.45 บาท

ค่าปรับวันละ 1,498,162.97 บาท

ผู้รับจ้าง บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)

ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ บริษัท ไทยเอนจิเนียริ่งคอนซัลแตนทส์ จำกัด
บริษัท ที อี ซี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

www.yotathai.com

8) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับถนนเยาวราช (แยกสามกอง) จ.ภูเก็ต

ชื่อโครงการฯ : โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 402 กับถนนเยาวราช (แยกสามกอง) จ.ภูเก็ต

สัญญาที่ : สส. 1/2556

เริ่มต้นสัญญา : 16 ตุลาคม 2555

สิ้นสุดสัญญา : 5 ตุลาคม 2557

ระยะเวลาทำการ : 720 วัน

ทางลอดตามแนวทางหลวงหมายเลข :402

ลอดผ่าน : ถนนเยาวราช

ลักษณะโครงการฯ : งานก่อสร้างทางลอดในแนวทางหลวงหมายเลข 402 ความยาว 1,014.00 เมตร 2 ทิศทาง รวม 4 ช่องจราจร ระบบผนังกันดินเป็นแบบ Diaphragm Wall ความลึก 7-22 เมตร พื้นทางลอด (Bottom Slab) หนา 0.90 เมตร. ไม่มีเข็มรับแรงดึง พร้อมติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำ ระบบไฟฟ้า และระบบอำนวยความปลอดภัยอื่นๆ เช่น โทรศัพท์ฉุกเฉิน, เครื่องดับเพลิง, พัดลมดูดอากาศ และโทรทัศน์วงจรปิด

มูลค่าโครงการฯตามสัญญา (ไม่รวมสาธารณูปโภค)	834,411,000.00	บาท
ค่าปรับวันละ	2,086,027.50	บาท

ผู้รับจ้าง บริษัท วิวัฒน์ก่อสร้าง จำกัด

ผู้ควบคุมงาน สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง

ผู้ออกแบบ บริษัท ไทยเอนจิเนียริ่งคอนซัลแตนทส์ จำกัด
บริษัท ที อี ซี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

www.yotathai.com

2. การออกแบบทางลอด
(Design of Underpass)

ในขั้นตอนการออกแบบ มีข้อควรคำนึงถึงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในหลากหลายแง่มุมด้วยกัน เนื้อหาในบทนี้จึงได้รวบรวมจากเอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับ และอุโมงค์ทางหลวง ระหว่างวันที่ 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2550 โดย สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในขั้นตอนการก่อสร้าง และสามารถเข้าใจความเป็นมาของโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งนอกจากการออกแบบโครงสร้างของทางลอดแล้ว ยังรวมถึงรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับงานระบบอีกด้วย

2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

- เหล็กเสริมงานคอนกรีต
  - เหล็กกลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. และ 9 มม. : มอก.20-2543 ชั้นคุณภาพ SR24
  - เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 9 มม ขึ้นไป : มอก.24-2536 ชั้นคุณภาพ SD40
- คอนกรีต (Concrete)
  - คอนกรีตที่ใช้มีค่ากำลังอัดสูงสุดที่ 28 วัน (Fc′) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39-86 ได้ไม่น้อยกว่าดังนี้
  - คอนกรีตธรรมดาที่ใช้ในส่วนโครงสร้างหรือฐานราก: 280 กก./ตร.ซม.
  - คอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง: 350 กก./ตร.ซม.
  - คอนกรีตกำลังสูง : 450 กก./ตร.ซม.

2.2 การออกแบบด้านวิศวกรรมธรณีและฐานราก

งานออกแบบทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคประกอบด้วยงานออกแบบต่าง ๆ ดังนี้

- งานออกแบบและแปลผลการสำรวจและทดสอบสภาพชั้นดินในโครงการ
- งานวิเคราะห์หาแรงดันดินและแรงดันน้ำที่กระทำต่อทางลอด
- งานวิเคราะห์ Soil-Structure Interaction ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างทางลอดที่รับแรงกระทำต่าง ๆ
- งานออกแบบเสาเข็ม
- งานออกแบบส่วนเชื่อมต่อของโครงสร้างทางลอดกับถนนเดิม
- งานออกแบบผิวทาง

www.yotathai.com

2.2.1 มาตรฐานการออกแบบ

การออกแบบทางลอดจะดำเนินการให้สอดคล้องตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงและหากรายการใดกรมทางหลวงไม่ได้กำหนดไว้ ที่ปรึกษาจะออกแบบโดยอ้างอิงมาตรฐานสากลตามลำดับดังต่อไปนี้

AASHTO (1998) LRFD Bridge Design Specifications - 2nd Edition

BS 8002 (1994) Code of Practice for Retaining Structures

BS 8004 (1986) Code of Practice for Foundations

CIRIA104 (1984) Design of Retaining Walls embedded in Stiff Clay

2.2.2 น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำต่อโครงสร้าง

ที่พิจารณา ประกอบด้วย

- น้ำหนักคงที่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง (Dead Load)
- แรงดันดินด้านข้าง (Earth Pressure)
- แรงดันของน้ำใต้ดิน (Ground Water Pressure)
- น้ำหนักบรรทุกสมทบบนผิวดิน (Surcharge)
- แรงกระทำที่เกิดขึ้นจากกรรมวิธีของการก่อสร้าง เช่น แรงกระทำจากระบบค้ำยันที่เกิดขึ้นในช่วงก่อสร้าง (Propping Force)

2.2.3 การตรวจสอบการลอยตัว (Flotation)

โครงสร้างทางลอดที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดินมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตรวจสอบการลอยตัวของโครงสร้างทั้งหมด การวิเคราะห์จะพิจารณาน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้าง (Structural Load) น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มขึ้น (Superimposed Dead Load) น้ำหนักดินถมกลับ (Backfill) และ แรงเสียดทานต่าง ๆ ระหว่างดินและโครงสร้าง (Friction) ซึ่งจะมีอัตราส่วนลดค่าความไม่แน่นอนของน้ำหนักต่าง ๆ ตามข้อกำหนด เปรียบเทียบกับแรงยกตัวขึ้นจากน้ำใต้ดิน (Uplift Force)

$$\left(\frac{\text{Self Weight}}{\text{Factor}} + \frac{0.4\text{SDL}}{\text{Factor}} + \frac{\text{Backfill}}{\text{Factor}} + \frac{\text{Restrain in g Force}}{\text{Factor}} \right) / \text{Water Load} > \text{Factor of Safety}$$

www.yotathai.com

ตารางที่ 2-1 ค่า Factor ที่ใช้ในการตรวจสอบการลอยตัว

Loading Conditions	Design Case		
	Construction	Operation	Extreme
Self Weight	1.05	1.05	1
Superimposed Dead Load (SDL)	-	1	1
Backfill	1.3	1.3	1
Restraining Force (Friction Effects)	2	3	2

ตารางที่ 2-2 อัตราส่วนความปลอดภัยในกรณีต่าง ๆ มีดังนี้

กรณี	อัตราส่วนความปลอดภัยต้านการลอยตัว (Factor of Safety Against Flotation)
ช่วงก่อสร้าง (Construction Case) และช่วงการใช้งาน (Operational Case)	ไม่น้อยกว่า 1.15
กรณีระดับน้ำท่วมสูงสุดระหว่างช่วงอายุการใช้งาน (Extreme Case)	ไม่น้อยกว่า 1.05

2.2.4 ระดับน้ำใต้ดิน

การพิจารณาระดับน้ำใต้ดินทั้งช่วงการก่อสร้าง (Construction Case) มีการสูบน้ำออกในพื้นที่ขุดจนอยู่ใกล้เคียงระดับผิวที่ขุด และช่วงการใช้งาน (Operational Case) โดยใช้ระดับน้ำกลับสู่ระดับปกติ กรณีระดับน้ำท่วมสูงสุดระหว่างช่วงอายุการใช้งาน (Extreme Case) ซึ่งจะครอบคลุมทุกกรณี

2.2.5 การตรวจสอบการอูดขึ้นของดินระหว่างการขุด (Basal Heave)

การตรวจสอบเสถียรภาพของงานขุดระหว่างงานขุดจะประเมินโดยวิธีการของ Bjerrum และ Edie (1996) และ Terzaghi (1943) โดยมีน้ำหนักบรรทุกสมทบบนผิวดิน (Surcharge) กระทำอยู่ข้าง ๆ โครงสร้างเนื่องจากกิจกรรมการก่อสร้างต่าง ๆ โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการอูดขึ้น (Heave) ของดินระหว่างการขุดในกรณีใด ๆ ไม่น้อยกว่า 1.5 เช่นกัน

2.2.6 ลำดับการก่อสร้างทางลอด

ลำดับการก่อสร้างทางลอดในขั้นตอนต่าง ๆ ทั้งหมด จะต้องถูกนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียด เนื่องจากมีผลกระทบต่อการเกิดแรงเฉือน (Shear Force) โมเมนต์ดัด (Bending moment) และการเคลื่อนตัวของกำแพง (Wall Deflection) ที่แตกต่างกันไป เพื่อวิเคราะห์ออกแบบให้ครอบคลุมถึงแรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานขณะก่อสร้างทั้งหมด

www.yotathai.com

2.2.7 การหาความลึกของ Embedded Wall

ระดับความลึกของปลาย Diaphragm Wall จะออกแบบให้โครงสร้างมีเสถียรภาพทั้งน้ำหนักบรรทุกและแรงดันต่าง ๆ ทั้งแนวดิ่งและแนวราบโดยสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างทั้งแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดได้อย่างปลอดภัย และเกิดการเคลื่อนตัวของปลายกำแพง (Diaphragm Wall Toe) น้อยที่สุด โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่อแรงกระทำด้านแนวดิ่งและแนวด้านข้างต้องไม่น้อยกว่า 2.5 และ 1.5 ตามลำดับ

2.2.8 การประเมินการเคลื่อนตัวที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างหรือสาธารณูปโภคใกล้เคียง

ประเมินลักษณะและปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากการแอ่นตัวของ Diaphragm Wall ด้วย Numerical Method และวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้างหรือสาธารณูปโภคใกล้เคียง Empirical Method พร้อมเสนอวิธีตรวจสอบ ควบคุม และแก้ไข

2.3 การออกแบบเสาเข็ม

หลักการพื้นฐานในการออกแบบฐานรากเสาเข็มจะพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

1) สามารถรับน้ำหนักที่ถ่ายมาจากโครงสร้างส่วนบนได้โดยไม่เกิดการพังทลายในมวลดิน (Soil Failure) และในโครงสร้างตัวเสาเข็ม (Structural Failure in Pile)

2) มีการทรุดตัวอยู่ในขีดจำกัดทั้งการทรุดตัวรวม (Total Settlement) และการทรุดตัวที่แตกต่าง (Differential Settlement) โดยไม่ทำให้โครงสร้างส่วนบนเสียลักษณะการใช้งาน

3) แรงฉุดผิวลบ (Negative Skin Friction) บนผิวเสาเข็มในชั้นดินอ่อน อันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การทรุดตัวของแผ่นดินเนื่องมาจากการลดลงของระดับน้ำใต้ดิน และ/หรือจากการทรุดตัวเนื่องมาจากงานถม

4) อิทธิพลของการลดลงของน้ำใต้ดินในชั้นทรายที่สภาวะปัจจุบัน และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดินในอนาคต ต่อการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็ม

5) การลดลงของความเค้น (Reduction of Effective Overburden Pressure) เนื่องจากการขุดดินออกของการสร้างทางลอด ซึ่งมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มใต้พื้นทางลอด (Base Slab)

6) ความเป็นไปได้ของการพิจารณาระดับน้ำเป็นแบบ Hydrostatic ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อการลอยตัวของทางลอดและความแข็งแรงของพื้นทางลอด อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ในการรับแรงอัดและแรงดึงในแนวดิ่งมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 และ 3.0 ตามลำดับ สำหรับกำลังรับแรงอัดหากพิจารณาแรงฉุดจะพิจารณาค่าความปลอดภัยที่ 2.0

ตารางที่ 2-3 Soil Parameter สรุปผลการเจาะสำรวจและทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการออกแบบ

Description	Depth (m)		γ_d	γ_b	Undrained Analysis using Effective Parameter			Undrained Analysis using Undrained Parameter			Earth Pressure Coefficient
	From	To	(kN/m^3)	(kN/m^3)	C' (kN/m^2)	ϕ' (Degree)	E' (kN/m^2)	Cu (kN/m^2)	ϕu (Degree)	Eu (kN/m^2)	
Fill Material	0.00	4.00	9.38	15.00	0.5	25	5000	13.5	-	5000	0.750
Soft Clay 1	4.00	6.00	8.62	15.00	2	21	430Cu	15	-	500Cu	0.750
Soft Clay 2	6.00	12.00	12.08	15.00	9 to 14	23	430Cu	15 to 33	-	500Cu	0.750
Stiff Clay 1	12.00	15.00	14.90	20.00	14 to 20	24	430Cu	33 to 54	-	500Cu	0.650
Stiff Clay 2	15.00	20.00	16.30	20.00	55	24	850Cu	78 to 130	-	1000Cu	0.650
Dense Sand 1	20.00	25.00	10.30	18.00	-	32	29700	-	32	29700	0.470
Dense Sand 2	25.00	40.00	17.80	21.00	-	36	44300	-	36	44300	0.357

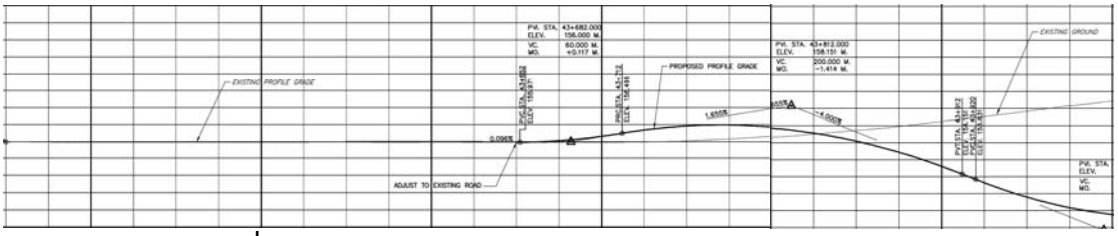
www.yotathai.com

www.yotathai.com

2.4 งานออกแบบระบบระบายน้ำ และระบบป้องกันน้ำท่วม

2.4.1 ระบบป้องกันน้ำท่วม (Flood Protection System)

แนวทางการป้องกันน้ำท่วม จะต้องมีมาตรการป้องกันน้ำท่วมด้วยการยกระดับผิวจราจรของถนนก่อนถึงช่วงทางลงทางลอด (Hump) ให้สูงเหนือระดับน้ำท่วมสูงสุดประมาณ 1.0 เมตร ดังรูปที่ 2-1 และมีแผงกันตกและกันน้ำจากภายนอกทางลอดทางด้านข้างไหลลงสู่พื้นที่ทางลอด ดังนั้นพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) ในการคำนวณการระบายน้ำจึงใช้พื้นที่เฉพาะพื้นที่ผิวจราจรในทางลอด ซึ่งเป็นพื้นที่ปิด



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการยกระดับผิวจราจรก่อนถึงช่วงลงทางลอด

2.4.2 ระบบระบายน้ำเดิม (Existing Drainage System)

ระบบระบายน้ำเดิมจะประกอบด้วยระบบระบายน้ำ 2 ข้างทางของถนนสายหลัก จะต้องถูกออกแบบให้ยกระดับไว้เป็นคันล้อมพื้นที่ชั้นนอก (Flood Polder) เพื่อป้องกันน้ำท่วมจากแม่น้ำเจ้าพระยา ตามนโยบายป้องกันน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในกรณีที่ก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร

2.4.3 การออกแบบระบบระบายน้ำ (Drainage System)

เนื่องจากพื้นที่รับน้ำของแต่ละโครงการโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นทางลาดพื้นที่ต่ำจากการกดระดับลงไป ดังนั้นการระบายน้ำในเขตพื้นที่โครงการด้วยระบบแรงโน้มถ่วงจึงเป็นไปได้ค่อนข้างยาก การจัดการระบบระบายน้ำในเขตพื้นที่ดังกล่าว จึงต้องมีมาตรการอื่นๆประกอบเพื่อให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้ระบบสูบน้ำ เป็นต้น

ดังนั้นการออกแบบระบบระบายน้ำให้มีความเหมาะสมกับสภาพน้ำหลากและการสะสมปริมาณน้ำก่อนถึงจุดออก (Outlet) ปริมาณน้ำที่ต้องการระบายอันเนื่องมาจากฝน วิเคราะห์จากหลักการทางอุทกวิทยา เช่นเดียวกับการออกแบบระบบป้องกันน้ำท่วม โดยขั้นตอนและวิธีพิจารณามีดังต่อไปนี้

www.yotathai.com

การคำนวณปริมาณน้ำไหลลงทางระบายน้ำ

การไหลของน้ำของระบบระบายน้ำภายในโครงการ จากพื้นที่ที่ต้องการคำนวณด้วยวิธี Flood Routing Model โดยมีขั้นตอนดังนี้

แบ่งพื้นที่รับน้ำเป็นพื้นที่ย่อยๆ แล้วคำนวณปริมาณน้ำไหลลงทางระบายด้วย Rational Formula

$$Q = 0.278CIA \qquad \text{(ระบบเมตริก)}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลสูงสุด - Design Discharge (ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า - Coefficient of Runoff

I = ความเข้มน้ำฝน - Rainfall Intensity (มม./ชม.)

A = พื้นที่รับน้ำฝน - Catchment Area (ตารางกิโลเมตร)

โดยค่าความเข้มน้ำฝนสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มน้ำฝน (Rainfall Intensity) - ช่วงเวลา (Duration) - รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) ซึ่งค่าของรอบปีการเกิดซ้ำที่นำมาใช้คือ 50 ปี ค่าของช่วงเวลาจะหาได้จากการประมาณเวลาการไหลรวมจุด (Time of concentration) จาก

$$T_c = \left[\frac{0.87L^3}{H}\right]^{0.385}$$

โดยที่ T_c = เวลาการไหลรวมจุด - Time of concentration (ชม.)

L = ระยะทางจากตำแหน่งที่ไกลที่สุดบนพื้นที่รับน้ำถึงอาคารระบายน้ำที่ออกแบบ (กม.)

H = ความต่างของระดับระหว่างตำแหน่งไกลสุดบนพื้นที่รับน้ำและอาคารระบายน้ำที่ออกแบบ (ม.)

ในการออกแบบช่องเปิดสะพาน ใช้สมการ Manning เนื่องจากพฤติกรรมการไหลผ่านจะเป็นการไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

$$Q = VA$$

และ $$V = \frac{1}{n}\left(R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}\right)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

V = ความเร็วของน้ำ (ม./วินาที)

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (Manning roughness coefficient)

www.yotathai.com

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ม.^{2})

R = Hydraulic Radius (ม.)

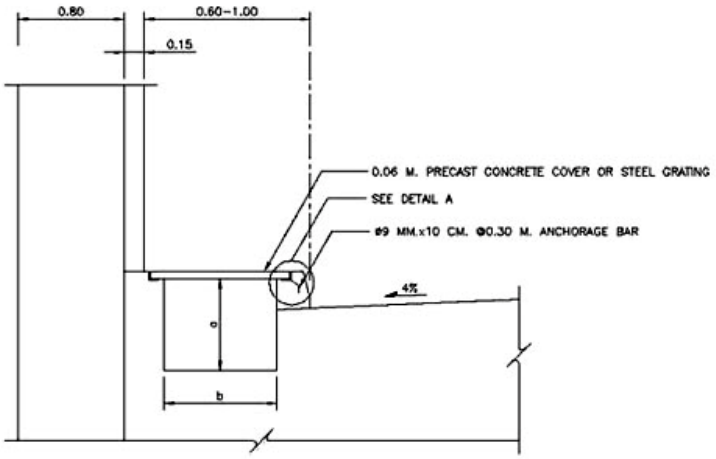
$= \frac{A}{P}$

S = ความลาดตามยาวของการไหล

P = ความยาวเส้นรอบเปียก (ม.)

การเลือกรูปตัดทางชลศาสตร์ และมาตรฐานในการออกแบบ

ควรออกแบบให้มีรางระบายน้ำเพื่อรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำให้ไหลไปรวมที่บ่อสูบน้ำ ลักษณะของรางระบายน้ำในทางลอดแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 รูปแบบรางระบายน้ำในทางลอด (Cross-Section Drain Channel)

2.4.4 ระบบสูบน้ำ

การออกแบบระบบสูบน้ำ

การเลือกขนาดของเครื่องสูบน้ำจะพิจารณาจาก อัตราการไหลของน้ำ (Q) และค่าสูญเสียพลังงานรวมของน้ำ (TDH = Static Head + Dynamic Head) โดยค่าอัตราการไหลของน้ำหาได้จากค่า Q และค่าสูญเสียพลังงานรวมของน้ำ (TDH) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

การหาขนาดเส้นท่อสามารถหาได้จากสูตรของ Hazen-Williams

$$Q = 3.587 \times 10^{-6} CD^{2.63} S^{0.54}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลในท่อ เป็น ลิตร/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ

D = ขนาดของท่อ เป็น มม.

www.yotathai.com

S = การสูญเสียพลังงานของน้ำเนื่องจากความฝืดต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ

$$= \frac{h_f}{L}$$

การสูญเสียพลังงานของน้ำเนื่องจากความฝืด (Static Head)

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ h_f = การสูญเสียพลังงานของน้ำเนื่องจากความฝืด บอกเป็นความสูงของของเหลว

f = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

L = ความยาวของท่อ

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

V = ความเร็วของการไหลในท่อ

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

การสูญเสียพลังงานของน้ำเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ (Dynamic Head)

$$h_L = K \times \frac{V^2}{2g}$$

โดย h_L = การสูญเสียพลังงานของน้ำเนื่องจากอุปกรณ์ในเส้นท่อ

K = สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์

V = ความเร็วของการไหลในท่อ

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

การเลือกใช้ขนาดเครื่องสูบน้ำ

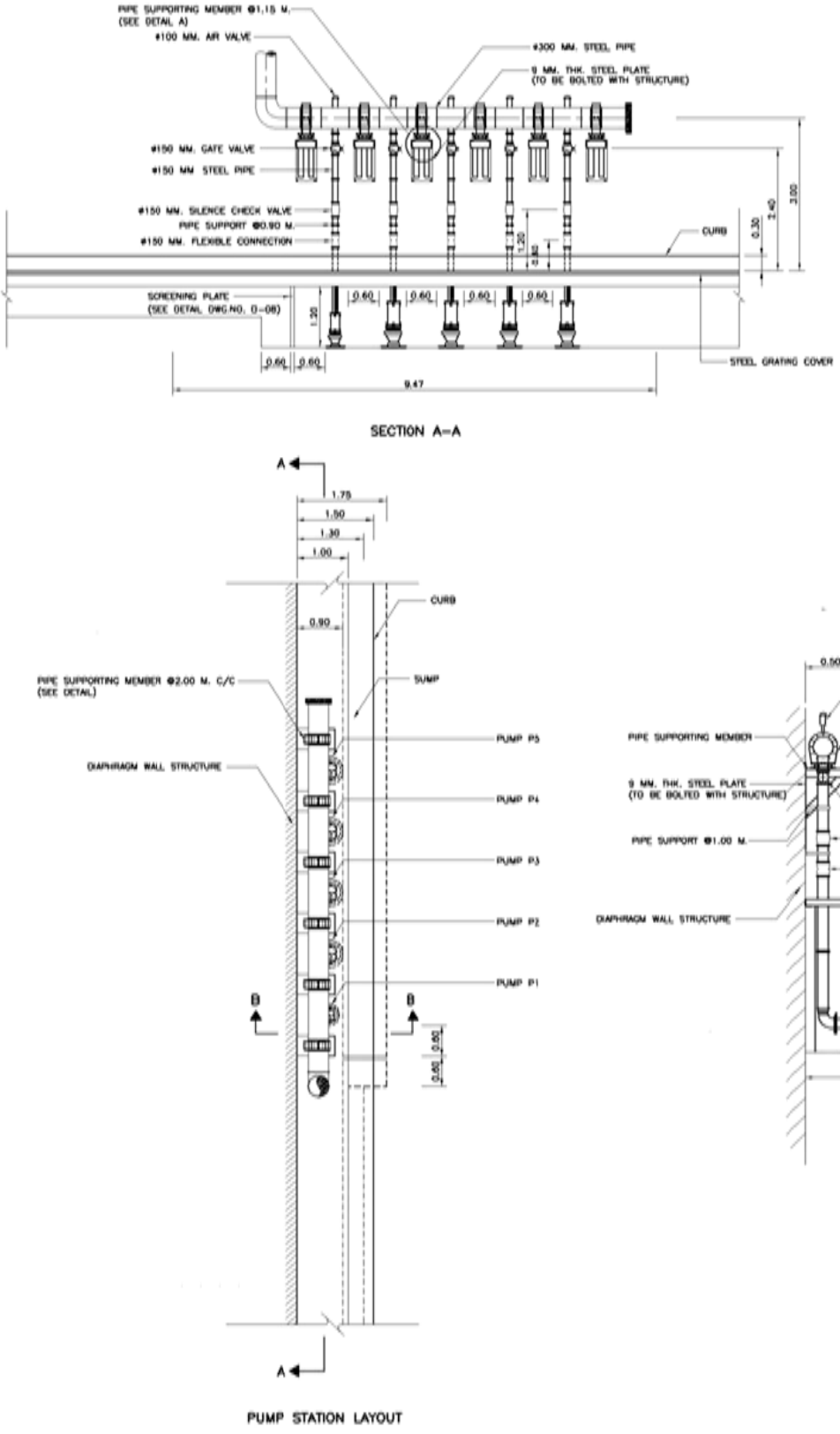
ในการคิดคำนวณปริมาณน้ำ ระบบสูบน้ำของโครงการ จำนวนบ่อสูบ และเครื่องสูบน้ำแบบ Submersible ของทางลอดทางแยกนั้น จำเป็นต้องมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric Generator) ทำงาน โดยมีเครื่องยนต์สำรองไว้สำหรับกรณีเกิดไฟฟ้าขัดข้อง โดยระบบสูบน้ำจะเริ่มทำงานเมื่อระดับน้ำถึงขีดที่กำหนด ระบบสูบน้ำจะสูบน้ำขึ้นสู่บ่อพักน้ำชั่วคราวด้านบนก่อนจะระบายลงสู่ทางน้ำสาธารณะตามลำดับ

www.yotathai.com

บ่อพักน้ำชั่วคราวดังกล่าว จะถูกออกแบบไว้เพื่อรองรับปริมาณน้ำท่าที่ถูกลำเลียงขึ้นมาจาก Underpass โดยเครื่องสูบ บ่อพักน้ำชั่วคราวจะทำหน้าที่ชะลอน้ำท่าไว้ก่อนระบายลงสู่ทางน้ำสาธารณะ เพื่อลดภาระของทางน้ำสาธารณะขณะที่น้ำท่าภายนอกมีระดับสูง

รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างแบบแปลนระบบสูบน้ำและระบบระบายน้ำ

www.yotathai.com



รูปที่ 2-3 ตัวอย่างแบบแปลนแสดงระบบสูบน้ำ

www.yotathai.com

การระบายน้ำจากโครงการลงสู่ทางน้ำสาธารณะ

การระบายน้ำออกจากโครงการจากระบบสูบน้ำ ซึ่งสูบน้ำจากทางลอดมาพักเก็บไว้ที่บ่อพักน้ำก่อนระบายออกสู่ทางสาธารณะ อนึ่งจะต้องออกแบบคำนึงถึงระบบป้องกันน้ำไหลย้อนจากทางน้ำสาธารณะ เข้าสู่ระบบด้วย

2.5 การออกแบบระบบระบายอากาศภายในทางลอดช่วงปิด

ตามรายงานการศึกษาของ JICA เรื่องการออกแบบอุโมงค์ ได้แนะนำว่าอุโมงค์ที่มีความยาวน้อยกว่า 500 เมตร ไม่จำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศ ในกรณีที่อุโมงค์ยาวกว่านั้น การไหลของอากาศ (Air Flow) ควรมีค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3,240 cu.m/min. ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยความเร็วของลมภายในอุโมงค์ (Wind Velocity) เท่ากับศูนย์ สำหรับมาตรฐานความปลอดภัยในอุโมงค์ เช่น FHWA หรือ NFPA นั้น ได้กล่าวว่าการระบายอากาศภายในอุโมงค์มีจุดประสงค์ดังนี้

1) เพื่อระบายอากาศเสีย เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ให้อยู่ในอัตราที่ยอมรับได้ โดยอาการที่เกิดจากการสัมผัสก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีดังนี้

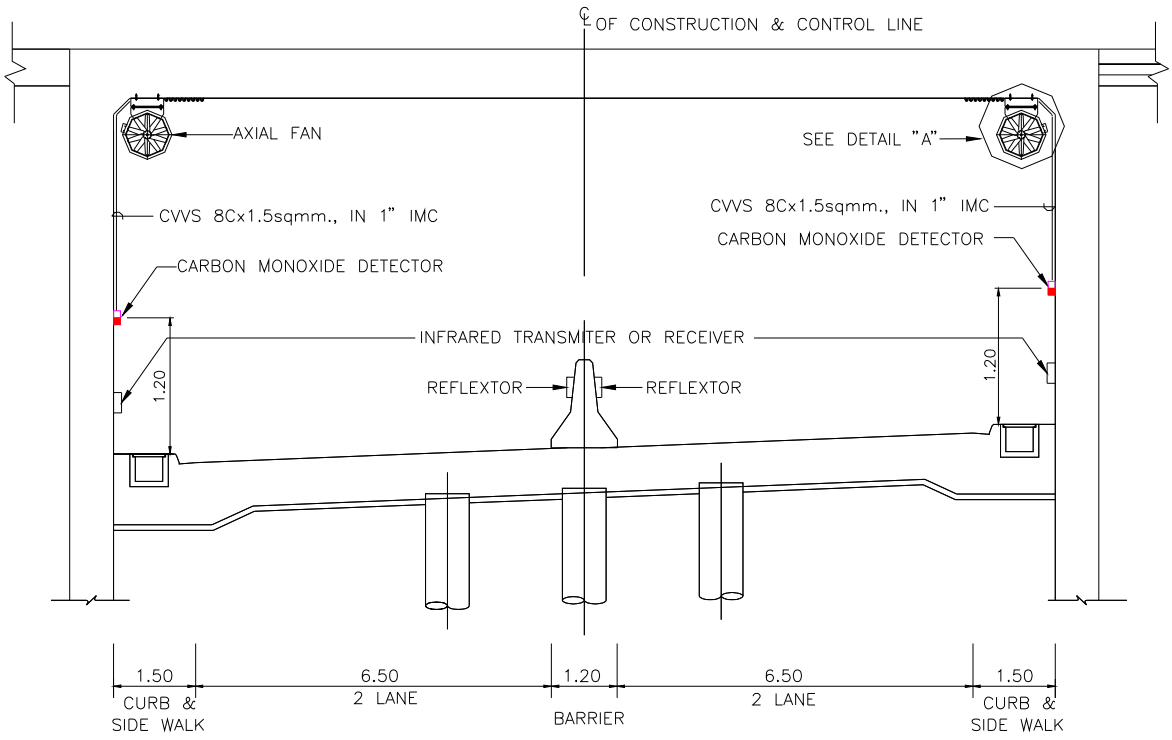
- ระดับความเข้มข้น 0-35 ppm
  หายใจถี่ วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ
- ระดับความเข้มข้น 35-200 ppm
  ปวดหัว วิงเวียนศีรษะ หน้ามืด ตาลาย
- ระดับความเข้มข้นมากกว่า 200 ppm
  หมดสติ การได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงในเวลาอันสั้นก็เป็นอันตรายอย่างมากสำหรับผู้สัมผัส

ซึ่งมาตรฐาน FHWA และ EPA ได้ระบุเกณฑ์กำหนดเวลาในการสัมผัสก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพื่อใช้ในการออกแบบระบบระบายอากาศในอุโมงค์ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 เกณฑ์กำหนดเวลาในการสัมผัสก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบระบายอากาศในอุโมงค์

ระยะเวลาที่สัมผัส CO (นาที)	ปริมาณ CO ที่มากที่สุดที่จะสัมผัสได้ (ppm)
15	120
30	65
45	45
60	35

www.yotathai.com



รูปที่ 2-4 ตัวอย่างงานติดตั้งระบบระบายอากาศ

2) ระบบระบายอากาศจะช่วยบรรเทาความร้อนและควันภายในอุโมงค์ ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ จนกว่าเจ้าหน้าที่ดับเพลิงจะเข้าถึงจุดเกิดเพลิงไหม้ในอุโมงค์ได้

2.5.1 ข้อกำหนดพัดลมในการออกแบบ (Design Criteria)

ความต้องการทั่วไป

1) พัดลมระบายอากาศเป็น Jet Fan ผลิตและประกอบสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ใบพัดสามารถหมุนกลับทิศทางเพื่อส่งลมให้ไหลกลับทิศทางตรงกันข้าม โดยให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 100% ของทิศทางการไหลเดิม (100% Reversible) การออกแบบวงจรควบคุมทิศทางการไหลจะต้องมีการติดตั้งวงจรป้องกันความเสียหายต่อพัดลม เมื่อมีการเลือกใช้หรือเปลี่ยนทิศทางการส่งลม โดยใช้วงจร Preset time ป้องกันการ Reversing Jet Fan จะต้องมีการติดตั้ง Guide Vane และ Motor ที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับขนาดของพัดลม เพื่อให้สามารถสร้างปริมาณอากาศ และแรงผลักดันให้ได้ในปริมาณที่ต้องการ

2) ออกแบบ และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดแบบธรรมดา (Manual)และแบบอัตโนมัติ (Automatic)ให้มีขนาดมอเตอร์ของพัดลมที่จะนำมาติดตั้ง ระบบควบคุมอัตโนมัติจะต้องมีระบบตรวจจับระดับ/ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หากมีระดับ/ปริมาณเกินจากมาตรฐานที่กำหนดไว้ Sensor จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมอัตโนมัติ (PLC Controller)

www.yotathai.com

จะสั่งงานให้พัดลมทำงานอัตโนมัติ เพื่อที่จะควบคุมสภาพอากาศภายในทางลอดให้มีค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อย่างน้อยไม่มากกว่าเกณฑ์แนะนำดังนี้

- กรณี จราจรคล่องตัว (In Free-Flowing Traffic) 100 ppm และ กรณี จราจรหนาแน่น (Congested Traffic) 150 ppm
- ระดับ Exposure time ประมาณ 1 ชั่วโมง มาตรฐาน ASHRAE ที่ 35 ppm ซึ่งสอดคล้องกับกรณีมีการเข้าซ่อมบำรุงอุปกรณ์ภายในทางลอด (maintenance work in a tunnel under traffic) ตามมาตรฐาน PIARC

3) โดยขณะนี้ ยังไม่มีพระราชบัญญัติโดยตรงเกี่ยวกับมาตรฐานของระบบระบายอากาศภายในทางลอดให้พิจารณาข้อมูลแนะนำล่าสุดขององค์กร หรือ สถาบันข้างล่างเทียบเคียงกับสภาพตำแหน่งที่ตั้งของทางลอดโครงการนี้ เพื่อการออกแบบ

- PIARC (Permanent International Association of Road Congresses)
- กรมควบคุมมลพิษ
- BHRG (British Hydromechanics Research Group)
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air – Conditioning Engineers)

4) ข้อมูลที่จะพิจารณาเป็นสมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการคำนวณระบบระบายอากาศ โดยคำนวณที่การจราจรปริมาณสูงสุด ณ ความเร็ว 60 กม. /ชม. ,10 กม. /ชม. และหยุดนิ่ง ลักษณะการเดินรถ

5) ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ เมื่ออุณหภูมิในอุโมงค์สูงเกินค่าที่กำหนดไว้ Linear Heat Detector จะส่งสัญญาณไปยัง PLC Controller สั่งให้พัดลมทำงานเต็มที่

6) ออกแบบตัวเก็บเสียง (Jet Fan Silencer) ระดับความดังของพัดลมต้องไม่เกิน 75 dBA โดยทำการวัดตามมาตรฐานการทดสอบแบบ free field ที่ระยะ 3 เมตร ทั้งในทิศทางการหมุนปกติของใบพัดลม (Forward Mode) และในทิศทางกลับทิศ (Reverse Mode)

2.5.2 การทำงานของระบบระบายอากาศภายในทางลอด

การควบคุมระบบระบายอากาศภายในทางลอด สามารถควบคุมได้จาก 3 แหล่ง คือ

1) AMCC1 (Individual Fan Control Manual)

AMCC1 ติดตั้งในห้อง LV Switch Room โดยผู้รับเหมาจะต้องจัดให้มี Selector Switch Auto-Off-Manual เพื่อเลือกโหมดการทำงาน โดยการทำงานในสภาวะปกติ (Normal Mode) จะต้องเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง Auto หากต้องการควบคุมการทำงาน

www.yotathai.com

ของพัดลมแต่ละตัว (Individual Fan Control – Manual) จะต้องเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง Manual โดยตำแหน่งดังกล่าวจะไม่สามารถควบคุมพัดลมจากแหล่งอื่นได้

2) Local Control Panel (Group Control Automatic or Manual)

Local Control Panel ติดตั้งในห้อง Control Room โดยผู้รับเหมาจะต้องจัดให้มี Selector Switch “Auto-Manual” เพื่อเลือกโหมดการทำงาน โดยการทำงานในโหมดอัตโนมัติ (Automatic Mode) จะต้องเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง “Auto” โดยโหมดนี้พัดลมจะถูกสั่งงานโดย CO Sensor และ Linear Heat Detector ถ้า CO Level สูงเกิน 150 ppm ก็จะสั่งให้พัดลมทำงาน และเมื่อระดับ CO Level ลดลงต่ำกว่า 100 ppm ก็จะสั่งให้พัดลมหยุดทำงาน ในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ในทางลอด พัดลมจะถูกสั่งให้ทำงานระบายควันไปทางปากอุโมงค์ที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ โดยการสั่งงานของ Linear Heat Detector นอกจากนี้ PLC Controller ต้องสามารถที่จะปรับตั้งค่าให้พัดลมทำงานเป็นช่วงเวลาได้ (Pre-Set Timer) เช่นในช่วงเวลาที่การจราจรหนาแน่น โดยไม่ต้องรอสัญญาณจาก CO Sensor และหากต้องการควบคุมการทำงานของพัดลม (Group Control) โดยไม่ต้องรอให้ระดับ CO Level ถึงค่าที่ตั้งไว้ (ในกรณีเข้าไปบำรุงรักษาอุปกรณ์ในทางลอด) หรือกรณีที่ CO Sensor ขัดข้อง จะต้องเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง “Manual” ทั้งนี้จะต้องจัดให้มี Mimic Diagram บน Local Control Panel โดยแสดงสถานะการทำงานของ Remote Control Panel, การทำงานของพัดลมระบายอากาศ, ทิศทางการไหลของอากาศ และ โซนที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ และจะต้องจัดให้มีหน้าจอแสดงค่าระดับ CO Level บน PLC Controller

3) Remote Control Panel (Group Control Manual)

Remote Control Panel ติดตั้งในป้อมตำรวจบริเวณทางแยก โดยผู้รับเหมาจะต้องจัดให้มี Selector Switch “Remote-Local” เพื่อเลือกโหมดการทำงาน ในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ในทางลอด เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถสั่งงานและเลือกทิศทางของพัดลมได้โดยการเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง “Local” โดยตำแหน่งดังกล่าวจะไม่สามารถควบคุมพัดลมจาก Local Control Panel ได้ นอกจากนี้จะต้องจัดให้มี Mimic Diagram บน Remote Control Panel โดยแสดงสถานะการทำงานของพัดลมระบายอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศ และ โซนที่เกิดเหตุเพลิงไหม้การควบคุมระบบระบายอากาศภายในทางลอด สามารถแสดงเป็น Matrix ได้ดังตารางที่ 2-5

www.yotathai.com

ตารางที่ 2-5 การควบคุมระบบระบายอากาศภายในทางลอด สามารถแสดงเป็น Matrix

Control Hierarchy	Control Location		
	AMCC1	Local Control Panel	Remote Control Panel
Remote Control Panel	Auto	Auto	Local
Local Control Panel	Auto	Manual	N/A
AMCC1	Manual	N/A	N/A

2.5.3 ระบบควบคุม Submersible Pump

ระบบจ่ายไฟที่ป้อนเข้าเครื่องสูบน้ำ ควรออกแบบให้รับไฟจากวงจรธรรมดาหรือวงจรไฟฉุกเฉิน โดยเลือกใช้วงจรใดวงจรหนึ่งก็ได้ ความสามารถของเครื่องสูบน้ำมีอัตราการสูบน้ำเป็น 2 เท่าของค่าที่ใช้ในการออกแบบ โดยจัดเครื่องสูบน้ำใช้งาน 10 เครื่อง และสลับเครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องสำรองอีก 2 เครื่อง ระบบควบคุมการทำงานสามารถใช้ได้ทั้งระบบธรรมดาและอัตโนมัติ โดยใช้ลูกลอยควบคุมระดับน้ำ ในการสั่ง PUMP ทำงานหรือหยุดทำงาน

2.6 การออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้าและระบบไฟสัญญาณจราจร สำหรับไฟถนนและไฟบริเวณทางลอดในช่วงเปิดและช่วงปิดครอบคลุมถึงระบบต่าง ๆ ดังนี้ ระบบไฟฟ้ากำลังและไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน ระบบสายดิน ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบสัญญาณแจ้งเตือนภัย โดยคำนึงถึงข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- ออกแบบให้สอดคล้องกับระบบจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบริเวณสามแยก
- ออกแบบเลือกใช้อุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และมีความปลอดภัยในการใช้งาน
- ออกแบบโดยคำนึงถึงความประหยัดทั้งด้านการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการใช้งานตลอดจนการบำรุงรักษา

2.6.1 กฎและมาตรฐานสำหรับการออกแบบ

- กฎและระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, (PEA)
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย (มาตรฐาน วสท. 2001-45)
- มอก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย (TIS)

www.yotathai.com

- ข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง (DOH)
- IES International Illumination Engineering Society
- CIE International Commission on Illumination

2.6.2 ระบบจ่ายไฟฟ้าหลัก

ออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าหลักซึ่งรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 22 กิโลโวลต์ และติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าลงมาเป็นแรงต่ำ 400/230 โวลต์ และจ่ายไฟไปยังระบบต่าง ๆ

2.6.3 ระบบจ่ายไฟฟ้าสำรอง

ออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินให้ระบบควบคุม ต่าง ๆ เพื่อมิให้เกิดปัญหาหากระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง รวมถึงการจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ที่จำเป็นในด้านความปลอดภัยในกรณีที่ระบบจ่ายไฟฟ้าหลักเกิดปัญหาดับลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำงานเองโดยอัตโนมัติและสับสวิทช์จ่ายไฟสำรองให้แก่ระบบโดยอัตโนมัติโดยชุด Automatic Transfer Switch

2.6.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนน

ออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนให้ครอบคลุมทุกพื้นที่โดยมีระดับความเข้มของแสงที่พอเพียง เหมาะสม ตลอดจนการกระจายของแสงมีค่าความสม่ำเสมอตามมาตรฐาน CIE

การเลือกใช้ดวงโคมสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างถนน จะพิจารณาเลือกใช้หลอดชนิด High Pressure Sodium โดยติดตั้งบนเสาอาบสังกะสี การควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนน จะออกแบบให้เป็นระบบอัตโนมัติ ทำงานเปิด-ปิดด้วยสวิทช์แสงแดด เปิด-ปิดด้วยการตั้งเวลา และเปิด-ปิดโดยคนได้ในกรณีที่ระบบอัตโนมัติเสียหาย

2.6.5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนภายในทางลอดช่วงปิด

การออกแบบระบบส่องสว่างภายในทางลอดช่วงปิด จำเป็นต้องแยกพิจารณาเป็นสองลักษณะ คือ พิจารณาช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน ซึ่งไม่ว่าจะเป็นในเวลากลางวันหรือกลางคืน และในทุกสภาพอากาศ ต้องเหมาะสมที่จะทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานได้รับทั้งความปลอดภัยและความสบายในการมองเห็น หมายความว่าจะต้องมีแสงสว่างเพียงพอที่จะทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นข้อมูลต่าง ๆ อย่างชัดเจน เช่น ทิศทางของถนนข้างหน้า ยวดยานอื่น ๆ ข้างเคียง หรือสิ่งกีดขวางบนถนน

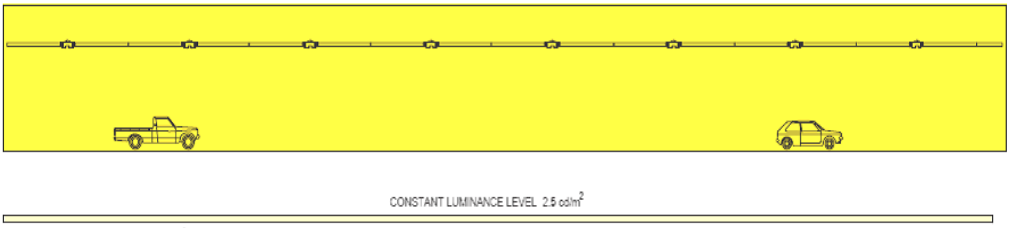
ปัจจัยที่ใช้พิจารณาระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในทางลอดช่วงปิด ได้แก่

- ความยาวทางลอดช่วงปิด
- ความสามารถในการมองเห็นทางออกของผู้ขับขี่
- ทิศทางของทางลอด
- ความหนาแน่นของการจราจร
- ความเร็วในการขับขี่

www.yotathai.com

การออกแบบระบบส่องสว่างสำหรับทางลอดช่วงปิดในเวลากลางคืน

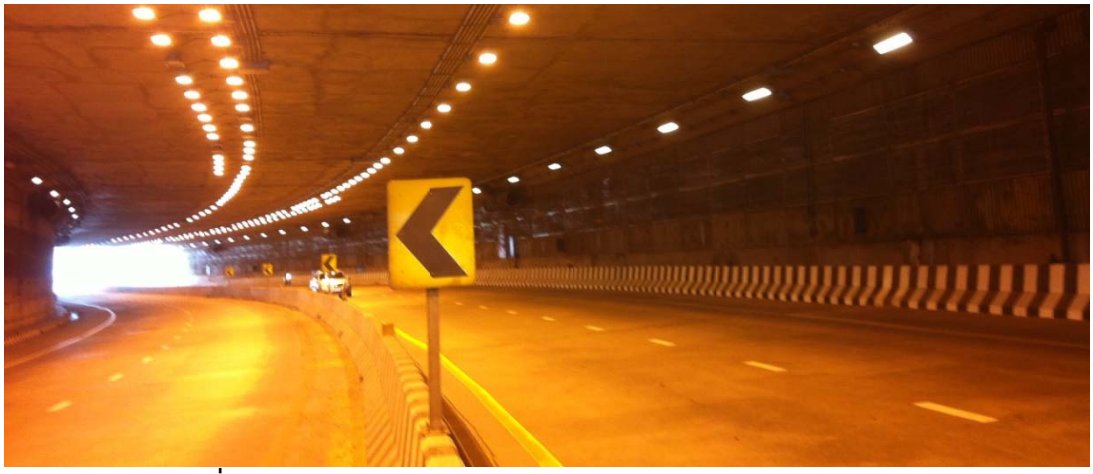
การออกแบบแสงสว่างสำหรับทางลอดช่วงปิดในเวลากลางคืนมีความยุ่งยากสลับซับซ้อนน้อยกว่าเวลากลางวัน โดยสามารถพิจารณาค่าความส่องสว่าง (Luminance) ภายในทางลอดช่วงปิดอย่างน้อยจะต้องเท่ากับแสงสว่างถนนภายนอกทางลอดช่วงปิด อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ ตาม“Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpass, CIE 88,1990 ได้แนะนำความเข้มแสงต่ำสุดของทางลอดในช่วงเวลากลางคืนไว้ที่ 2.5 cd/m^2 ตลอดความยาวของทางลอด ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ระบบส่องสว่างทางลอดช่วงปิดในเวลากลางคืน

การออกแบบระบบส่องสว่างสำหรับทางลอดช่วงปิดในเวลากลางวัน

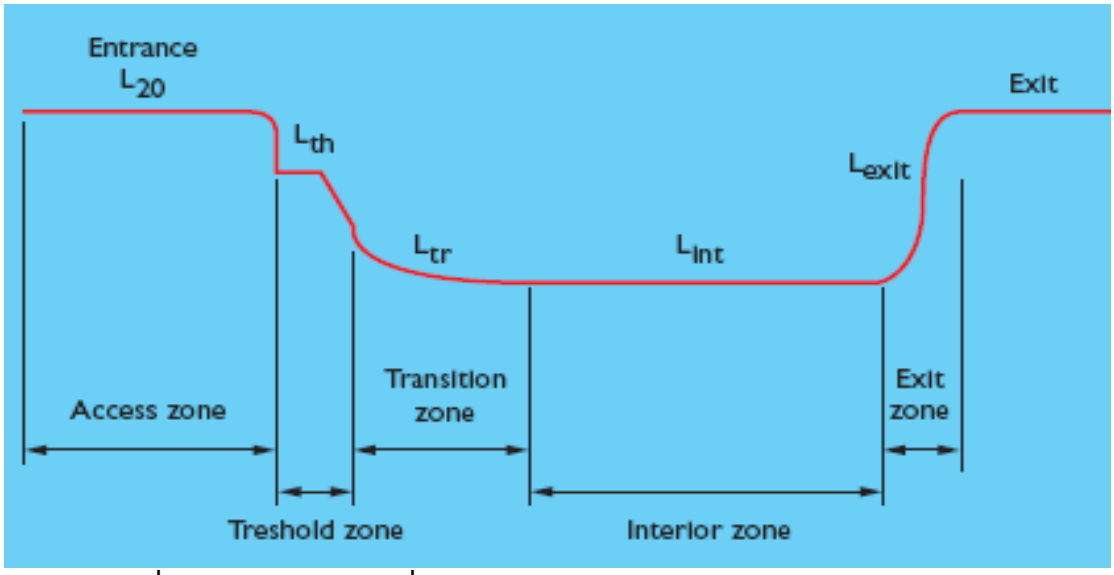
การออกแบบแสงสว่างทางลอดช่วงปิดในเวลากลางวันนั้นมีความซับซ้อนกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากถนนในเวลากลางวันมีความสว่างมาก เมื่อเทียบกับภายในทางลอดช่วงปิด ซึ่งดวงตาของคนจะไม่สามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ชั่วขณะ และต้องใช้เวลาในการปรับความเหมาะสมเพื่อให้สามารถกลับมามองเห็นได้อีกครั้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับความเหมาะสมนี้ขึ้นกับระดับความต่างของความสว่าง



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างระบบส่องสว่างทางลอดช่วงปิดในเวลากลางวัน

www.yotathai.com

ดังนั้นแสงสว่างภายในทางลอดช่วงปิดที่เหมาะสม จะขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่นความยาวทางลอดช่วงปิด ความสามารถในการมองเห็นทางออก ทิศทางของทางลอด ความหนาแน่นการจราจร และความเร็วในการขับขี่ ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะห้ามล้อที่ปลอดภัย เพื่อที่จะติดตั้งแสงสว่างให้เพียงพอต่อการปรับความเหมาะสมของตาและหยุดรถได้อย่างปลอดภัย ความส่องสว่างที่ต้องการ สำหรับการปรับความเหมาะสมของดวงตาจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปตามระยะทางที่เข้าไปภายในทางลอด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นโซนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ความส่องสว่างที่ต้องการ สำหรับการปรับความเหมาะสมของดวงตา

Access Zone – เป็นช่วงของถนนก่อนถึงทางเข้าทางลอดช่วงปิด โดยทั่วไปมีความยาวเท่ากับระยะห้ามล้อที่ปลอดภัย (ซึ่งขึ้นกับความเร็วในการขับขี่) ระดับความส่องสว่างของโซนนี้ อาจหาได้โดยวิธี L_{20} และจะเป็นตัวกำหนดระดับความส่องสว่างของช่วงทางเข้าของทางลอดช่วงปิด (Threshold Zone)

Threshold Zone – เป็นช่วงแรกเมื่อเข้ามาภายในทางลอดช่วงปิด มีความยาวเท่ากับระยะห้ามล้อที่ปลอดภัย ระยะทางครึ่งแรกของโซนนี้ต้องมีระดับความส่องสว่างเท่ากับความส่องสว่างของ Access Zone และระยะทางครึ่งหลังความส่องสว่างจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ

Transition Zone – เป็นช่วงที่ความส่องสว่างจะค่อยๆลดลงจนเท่ากับความส่องสว่างของช่วงภายในทางลอด (Interior Zone) ค่าความส่องสว่างซึ่งค่อย ๆ ลดลงตามระยะทางขึ้นกับความเร็วรถและเวลา สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$L_{tr} = L_{th}\,(1.9 + t)^{-1.4}$$

โดย L_{th} = 100% Threshold Zone Luminance

t = time in sec.

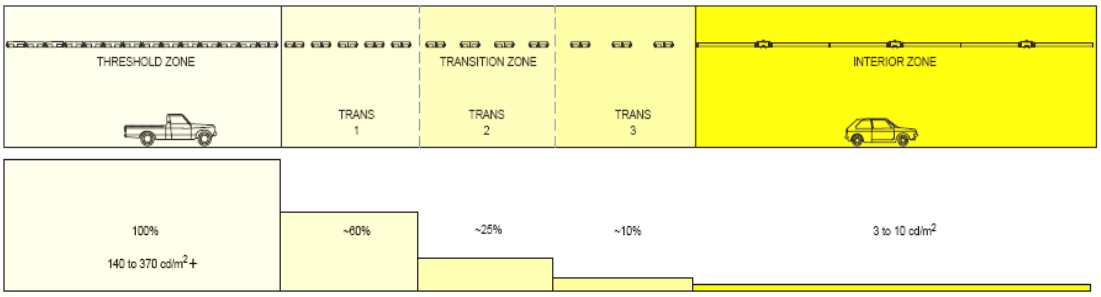
www.yotathai.com

Interior Zone – โดยปกติเป็นโซนที่มีระยะทางยาวที่สุด ระดับความส่องสว่างของโซนนี้ขึ้นกับระยะห้ามล้อ และความหนาแน่นการจราจร

Exit Zone – เป็นช่วงก่อนออกจากทางลอดมีระยะทางเท่ากับระยะห้ามล้อ และจำเป็นต้องเพิ่มความส่องสว่างเพื่อให้สายตาสามารถปรับการมองเห็นก่อนออกจากทางลอด ค่าความส่องสว่างของโซนนี้ค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 5 เท่าของความสว่างภายใน Interior Zone ที่ระยะ 20 เมตรก่อนออกจากทางลอด

นอกจากระดับความส่องสว่างแล้ว พารามิเตอร์อื่น เช่น ความสม่ำเสมอของแสงบนพื้นถนนและผนังทางลอด ระดับการควบคุมแสงบาดตา ความถี่ของการกระพริบของแสง (Flicker) ที่เกิดจากระยะการติดตั้งและความเร็วรถ ต้องได้รับการออกแบบให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อความสามารถในการปรับสายตาและความสบายในการมอง

ทั้งนี้ Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpass, CIE 88,1990 ได้แนะนำความเข้มแสงของทางลอดในช่วงเวลากลางวัน ดังแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ระบบส่องสว่างทางลอดช่วงปิดในเวลากลางวัน

เนื่องจากความสว่างในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละวัน ฤดูกาล และสภาพอากาศ การออกแบบแสงสว่างในทางลอดช่วงปิดจึงควรออกแบบให้สามารถปรับระดับให้มีความเหมาะสมกับสภาพแสงสว่างภายนอกได้ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิด หรือการปรับหรี่ ร่วมกับเซ็นเซอร์เซลแสงอาทิตย์ หรือตั้งเวลา

2.6.6 ระบบสายลงดิน

ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์การต่อลงดิน (Grounding System) ตามมาตรฐาน วสท. เพื่อความปลอดภัยต่อผู้คนที่สัญจรและป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งาน

www.yotathai.com

2.6.7 ระบบรักษาความปลอดภัย

ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยภายในทางลอดช่วงปิดด้านขาเข้าและขาออก โดยใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) เพื่อจับภาพเหตุการณ์ภายในทางลอดในกรณีมีอุบัติเหตุจากการสัญจรภายในทางลอด โดยจะมีการบันทึกภาพพร้อมส่งสัญญาณภาพไปยังอุปกรณ์แสดงภาพที่ติดตั้งภายในป้อมตำรวจหรืออาคารควบคุม

2.6.8 ระบบสัญญาณแจ้งเตือนภัย

ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ (Manual Station) ภายในทางลอดช่วงปิดด้านขาเข้าและขาออก ทั้ง 2 ทางตลอดเส้นทาง เพื่อแจ้งเหตุเตือนภัยในกรณีมีอุบัติเหตุที่ไม่ปลอดภัยต่อชีวิตภายในทางลอด โดยจะแสดงผลออกมาในรูปแสงและเสียงบริเวณปากทางเข้าทางลอดช่วงปิดและส่งสัญญาณไปยังป้อมตำรวจหรืออาคารควบคุม

2.6.9 ระบบโทรศัพท์ฉุกเฉิน

ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบโทรศัพท์ฉุกเฉิน (Emergency Telephone System) ภายในทางลอดในช่วงปิดด้านขาเข้าและขาออกทั้ง 2 ทางตลอดเส้นทาง เพื่อให้ผู้ขับขี่ที่เกิดปัญหาสามารถ ติดต่อกับป้อมตำรวจหรืออาคารควบคุมเพื่อขอความช่วยเหลือได้กรณีที่ทางลอดมีความยาวมากๆ

2.6.10 ระบบแสงสว่างป้ายจราจร

ออกแบบแสงสว่างป้ายจราจรเพื่อให้ความสว่างบนแผ่นป้ายจราจรต่าง ๆ ซึ่งจะพิจารณาเลือกใช้หลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ ติดตั้งโคมไฟชนิดกันฝนได้ การควบคุมการเปิด-ปิดไฟป้ายจราจรเป็นแบบอัตโนมัติด้วยสวิทซ์แสงแดดและสามารถเปิด-ปิดโดยคนได้ในกรณีที่ระบบอัตโนมัติเสียหาย

2.7 การศึกษาและออกแบบเพื่อความปลอดภัย

2.7.1 การออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย

ระบบป้องกันอัคคีภัยในทางลอด จะออกแบบให้ประกอบด้วย การป้องกันเพลิงมิให้เกิดขึ้น (Active) และระบบดับเพลิงที่เกิดขึ้นแล้ว (Passive) ตามมาตรฐานสากล มาตรฐานการออกแบบโดยทั่วไปจะใช้ NFPA 502 เป็นเกณฑ์ ซึ่งที่ปรึกษาจะได้พิจารณานำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบให้เหมาะสมกับข้อกำหนด ข้อกฎหมายของประเทศไทย รวมทั้งจะพิจารณามาตรฐานการออกแบบอื่นที่เป็นสากลมาพิจารณาควบคู่ไปด้วย

การป้องกันเพลิงโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการจำกัดรถบรรทุกสารอันตราย (Hazardous) และติดเพลิงได้ง่ายมิให้ใช้ผิวจราจรในทางลอด ตลอดจนการติดตั้งสัญญาณเตือนภัยและการติดตั้งสัญญาณแจ้งเหตุ เป็นต้น ที่ผู้ใช้ทางสามารถได้รับข้อมูลอย่างชัดเจนและเข้าใจถึงความสำคัญ

www.yotathai.com

ตามมาตรฐานการออกแบบของ NFPA 502 นั้น ได้แนะนำการออกแบบระบบดับเพลิงในทางลอดช่วงปิด (อุโมงค์) ไว้ดังนี้

1) วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ภายในทางลอดต้องไม่เป็น PVC, FRP หรือวัสดุติดไฟง่าย เพื่อป้องกันก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุเหล่านั้น

2) กรณีทางลอดยาวน้อยกว่า 90 เมตร ควรจัดเตรียมถังดับเพลิงเป็นจุด ๆ ในระยะที่เหมาะสม โดยถังดับเพลิงต้องเป็นประเภท 2 - A : 20 – B : C จุไม่น้อยกว่า 20 ปอนด์ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน และเหมาะสมกับการเกิดเพลิงจากน้ำมัน

3) กรณีทางลอดยาวมากกว่า 90 เมตร แต่ไม่เกิน 240 เมตร ควรจัดเตรียมถังดับเพลิงและท่อดับเพลิงไม่น้อยกว่าเกณฑ์ประเภทที่ 1 (Class 1) ตามมาตรฐาน NFPA 14 โดยแหล่งน้ำจะต้องสามารถจ่ายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 500 GPM

4) กรณีทางลอดยาวกว่า 240 เมตร แต่ไม่เกิน 300 เมตร โดยมีช่องเปิดในระยะทางน้อยกว่า 120 เมตร ควรจัดให้มีระบบดับเพลิงเป็นไปตามมาตรฐานเช่นเดียวกับข้อ 3)

5) กรณีทางลอดยาวเกิน 300 เมตร ควรจัดเตรียมให้มีการดับเพลิงเต็มรูปแบบตามข้อกำหนดของ NFPA 502 ทั้งแหล่งน้ำและระบบจ่ายน้ำ

6) แหล่งน้ำในการดับเพลิงควรพิจารณาแล้วแต่ละกรณีของความยาวทางลอด โดยจะเป็นแหล่งน้ำจากท่อประปา หรืออาจเป็นถังเก็บน้ำ พร้อมระบบสูบน้ำ

7) กรณีที่มีข้อจำกัดของแหล่งน้ำ หรือปัญหาอื่น ๆ จะยึดถือตามข้อแนะนำ ข้อกำหนด ข้อกฎหมายเกี่ยวกับการดับเพลิงของพื้นที่นั้น และจะพิจารณาออกแบบให้เหมาะสมในทางปฏิบัติมากที่สุด (Best Practice)

2.7.2 การออกแบบระบบดูดซับเสียง (Absorption Panel)

ผนังกันเสียงแบบดูดซับเสียง (Absorption Panel) ออกแบบให้ติดตั้งบนผนังของทางลอด เพื่อให้ช่วยดูดซับเสียงและช่วยบังคับทิศทางการสะท้อนของเสียง ไม่ให้สร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชนในบริเวณใกล้เคียง และลดการสะท้อนของเสียงภายในช่องทางลอด โดยทั่วไปผนังกันเสียงจะต้องมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงทนทาน สามารถรับแรงได้ดี

จากการศึกษามาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standard) ของประเทศญี่ปุ่นพบว่า ผนังกันเสียงจะมีคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงไม่น้อยกว่าข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ค่าความสามารถในการกันเสียง (Airborne Sound Transmission Loss) ต้องไม่น้อยกว่า 25 dB ที่ความถี่ (Frequency) 400 Hz และไม่น้อยกว่า 30 dB ที่ความถี่ 1000 Hz

สัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient) จะต้องไม่น้อยกว่า 70% ที่ความถี่ 400 Hz และไม่น้อยกว่า 80% ที่ความถี่ 1000 Hz

www.yotathai.com

3. งานผนังทางลอด
(Underpass Wall)

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการก่อสร้างโครงสร้างผนังทางลอด ซึ่งในส่วนแรกจะได้กล่าวถึงรูปแบบทั่วไปของผนังทางลอด และในส่วนต่อๆไปจะได้กล่าวถึงการก่อสร้างโครงสร้างผนังทางลอดที่กรมทางหลวงใช้งาน ประกอบด้วย รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Retaining Wall ในบริเวณที่ต้องการผนังที่ไม่ลึกมาก รูปแบบ Diaphragm Wall หรือ D-Wall และ รูปแบบ Tangent Pile Wall

3.1 รูปแบบทั่วไปของผนังทางลอด

รูปแบบโครงสร้างผนังกันดินของทางลอดโดยทั่วไปมีหลายประเภท แต่ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1) รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)
2) รูปแบบ Diaphragm Wall (D-Wall)
3) รูปแบบ Secant Pile Wall
4) รูปแบบ Tangent Pile Wall

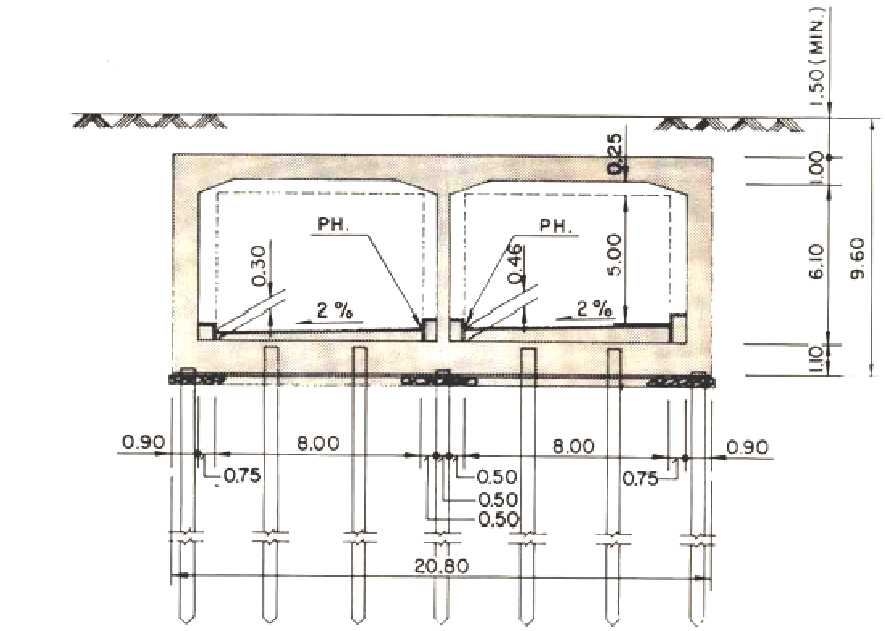
รายละเอียดของรูปแบบโครงสร้างชนิดต่างๆข้างต้น กล่าวได้ดังนี้

3.1.1 รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)

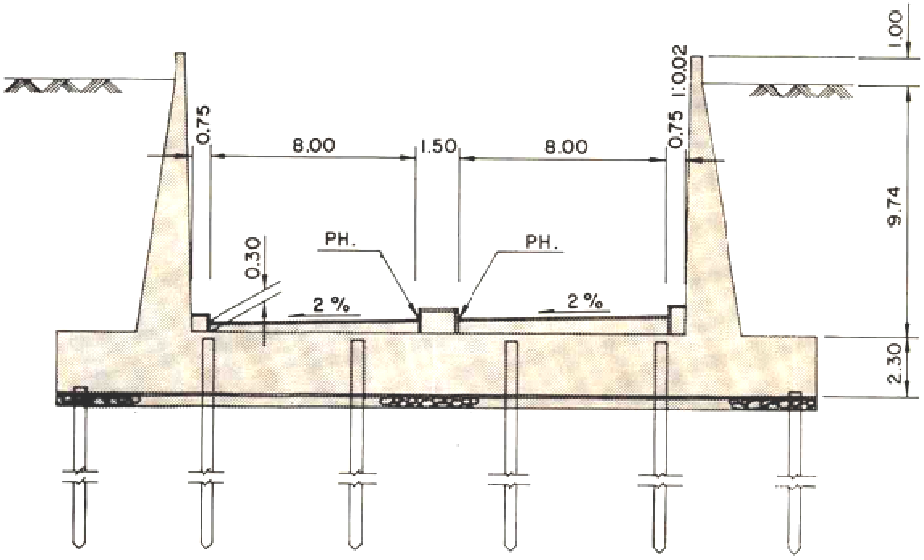
รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)เป็นรูปแบบพื้นฐานของโครงสร้างกันดินทั่วไป รูปแบบประเภทนี้เหมาะสมที่จะก่อสร้างในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินมาก หรือกรณีที่ต้องการช่องลอดไม่สูงมากนัก หรือกรณีช่วงทางขึ้น-ลงทางลอดที่ยังมีระดับกำแพงไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินจะก่อให้เกิดแรงดันขึ้น (Uplift Force) กระทำต่อพื้นโครงสร้าง และจะก่อให้เกิดปัญหาระหว่างการก่อสร้างคือน้ำใต้ดินที่ซึมเข้ามายังบ่อขุด หากระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างสูงจะต้องทำการลดระดับน้ำใต้ดินด้วยวิธี Dewatering ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพชั้นดินในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงให้เกิดการยุบตัวลง หากโครงสร้างใกล้เคียงมีลักษณะเป็นฐานรากแผ่ก็อาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างขึ้นได้ นอกจากนี้แล้วรูปแบบผนังกันดินคอนกรีตยังต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมากกว่า หากต้องการลดพื้นที่ก่อสร้างจะต้องใช้เข็มพืดเป็นผนังกันดินชั่วคราว อย่างไรก็ตามพื้นที่ก่อสร้างก็ยังคงต้องการมากกว่ารูปแบบ D–Wall หรือ Secant Pile Wall หรือ Tangent Pile Wall

www.yotathai.com

รูปแบบโครงสร้างทางลอดโดยใช้ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-1 ซึ่งจะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนโครงสร้างอาคารใต้ดินทั่วไป วิธีการก่อสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในงานก่อสร้างจึงคล้ายคลึงกับงานก่อสร้างชั้นใต้ดินของอาคารทั่วไป ในกรณีที่ต้องมีการลดระดับใต้ดินด้วยวิธี Dewatering เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง วิธีการปฏิบัติจะคล้ายคลึงกับรูปที่ 3-2



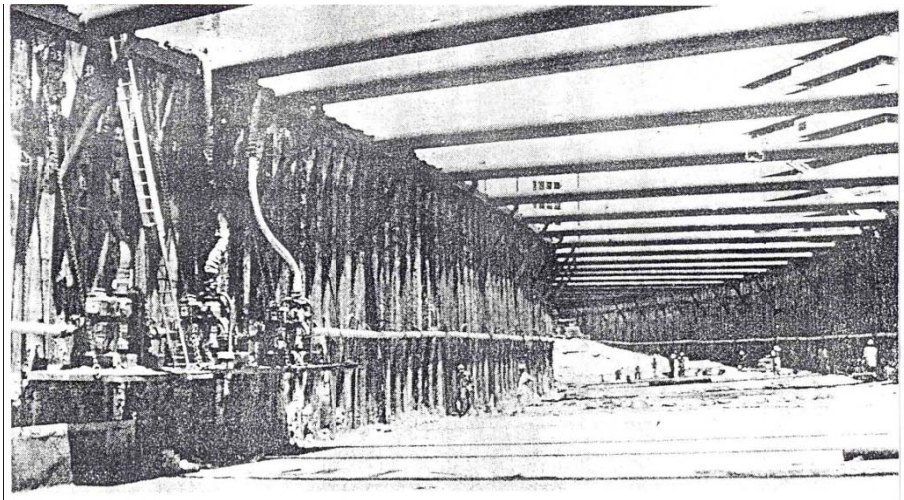
รูปตัดช่วงปิด



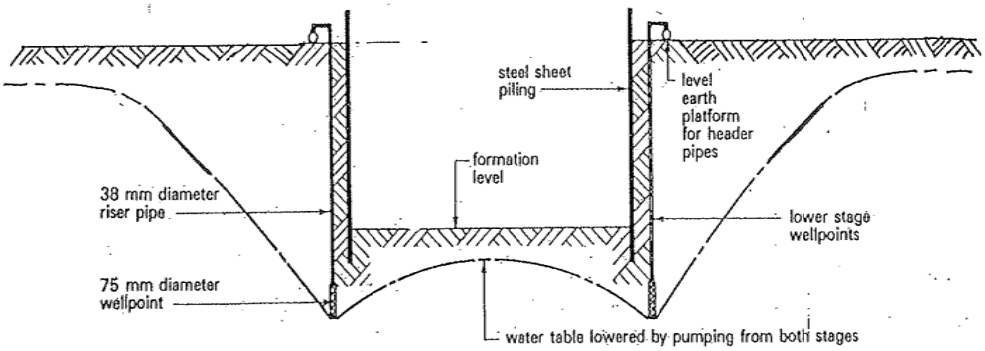
รูปตัดช่วงเปิด

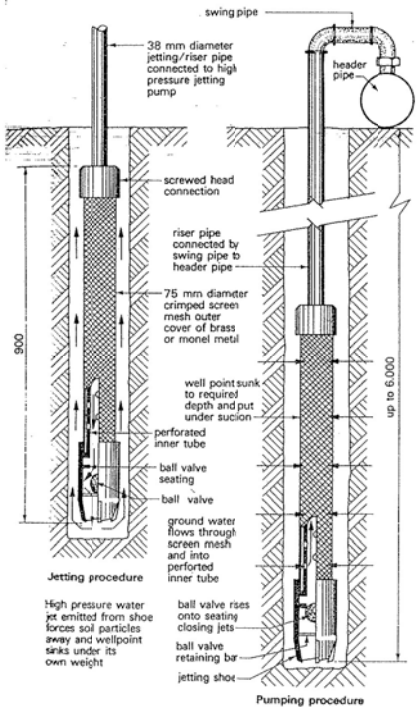
รูปที่ 3-1 รูปแบบผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)

www.yotathai.com



Sykes pumps, header pipes and disposable wellpoints attached to the sheet piles forming the walls of the underpass





รูปที่ 3-2 การก่อสร้างทางลอดในสภาพชั้นดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ซึ่งต้องทำการ Dewatering

www.yotathai.com

3.1.2 รูปแบบ Diaphragm Wall (D – Wall)

Diaphragm Wall เป็นกำแพงที่สร้างหล่อขึ้นในดิน โดยใช้ดินเป็นแบบหล่อ สามารถเลือกความหนาตามขนาดของเครื่องมือ ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 400 มม., 500 มม., 600 มม., 800 มม., 1,000 มม., 1,200 มม. และ 1,500 มม. โดยทั่วไปขนาดความหนาของ D - Wall ที่ใช้กันคือขนาดความหนา 800 มม. และ 1,000 มม. การก่อสร้าง D - Wall จะทำเป็นแผงๆ (panels) ความยาวแต่ละแผงประมาณ 3.00 ถึง 6.00 ม. ความลึกของ D – Wall ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสภาพชั้นดิน

เครื่องจักรหลักๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall ประกอบด้วย

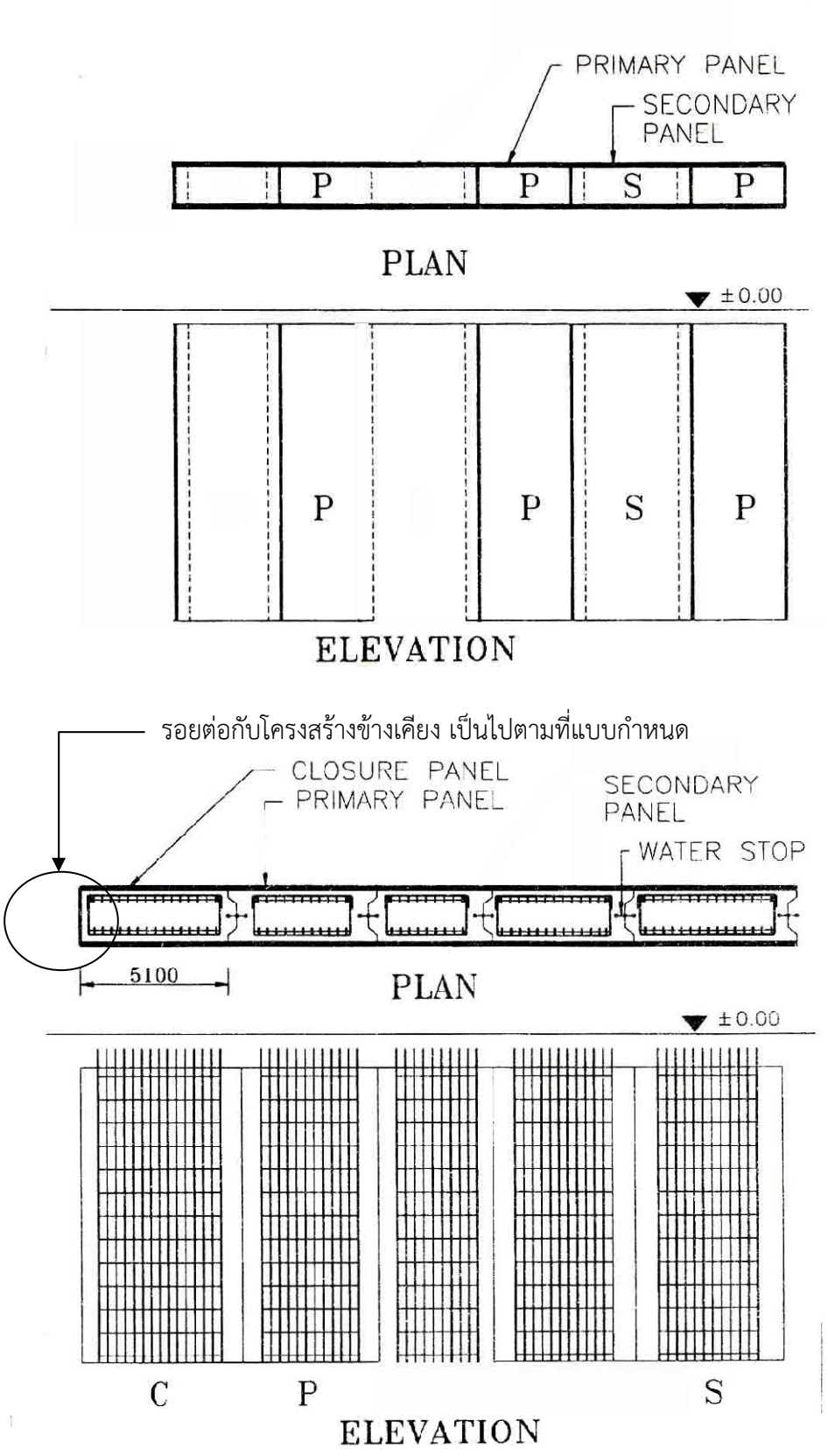
- Crawler Crane with Grab, Jawset and Stopends
- Bentonite Mixer, Silos, Tanks, Pumps, Tremie pipe and Desanding Unit
- Services Crawler Crane, Backhoe

ขั้นตอนในการก่อสร้าง D-Wall เริ่มต้นด้วยการวางผังกำหนดแนวในสนามสร้าง RC. Guide Wall ซึ่งมีลักษณะเป็นคาน คสล. คู่ที่สร้างให้หลังคานอยู่เหนือผิวดิน และคานทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ ความหนาของ Diaphragm Wall ที่จะทำการก่อสร้าง ขนาดของคาน คสล. ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสภาพชั้นดิน หลังจากทำ Guide Wall และคอนกรีตมีกำลังอัดเพียงพอ ก็สามารถเริ่มขุดได้ วิธีการทำจะขุดทำเป็นแผงๆ เครื่องมือที่ใช้ในการขุดโดยทั่วไปจะใช้ Grab ในการขุดซึ่งจะเหมาะสมกับสภาพชั้นดินเหนียว โดยทั่วไป D-Wall แต่ละแผงจะยาวประมาณ 3.00 ถึง 6.00 ม. ในระหว่างที่ขุดดินออกจะมีการเติมสารละลาย Bentonite ให้เต็มหลุมที่ขุดตลอดเวลา เพื่อกันไม่ให้หลุมพัง เมื่อขุดได้ขนาดและความลึกที่ต้องการก็จะทำการเติมสารละลาย Bentonite ใหม่เข้าไปแทนที่สารละลาย Bentonite ผสมโคลนที่อยู่ในหลุม ซึ่งสารละลาย Bentonite ที่ใช้แล้วก็สามารถไปผ่าน Desander และปรับปรุงคุณภาพ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เมื่อถ่ายสารละลาย Bentonite เสร็จ ก็ทำการติดตั้งแบบเหล็กด้านข้าง (Stop Ends) ทั้งสองด้านให้ได้ระยะตามความยาวของแผงและตำแหน่งของแผงที่ออกแบบไว้ ในแบบเหล็กด้านข้างนี้นอกจากทำหน้าที่เป็นแบบสำหรับเทคอนกรีตเพื่อให้เกิดเป็น Joint สำหรับรอยต่อของแต่ละแผงแล้ว ยังออกแบบให้สามารถติดตั้ง Water Stop ได้ตามความยาวของแบบเหล็ก ซึ่ง Water Stop จะติดตั้งไปถึงระดับต่ำกว่าระดับงานขุด (Excavation Level) 1 - 2 ม. เมื่อติดตั้ง Stop Ends แล้วก็สามารถติดตั้งเหล็กเสริมที่ผูกไว้เป็นกรงที่แข็งแรง โดยหย่อนลงไปในหลุมที่ขุดได้ หลังจากติดตั้งเหล็กเสริมแล้ว ทำการเทคอนกรีตโดยใช้ท่อ Tremie เทคอนกรีตไล่จากก้นหลุมขึ้นข้างบน หลังจากคอนกรีต Set ตัวแล้ว หลังเทคอนกรีตไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง สามารถถอด Stop Ends ออกได้

การทำแผง D-Wall ในกรณีที่อยู่ติดกับแผงที่เทคอนกรีตไปแล้ว จะติดตั้ง Stop Ends เฉพาะด้านที่ยังไม่เทคอนกรีต ในการทำงานจะมีแผงที่เป็น Primary Panels และ Secondary Panels คือแผงที่ต้องทำก่อนและแผงที่ต้องทำทีหลัง ซึ่งจะต้องวางแผนการทำงาน

www.yotathai.com

(Sequence of Work) เพื่อให้ได้ Joint รอยต่อระหว่างแผงตามที่ออกแบบไว้ รูปแบบและขั้นตอนในการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ Diaphragm Wall แสดงไว้ในในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 รูปแบบและขั้นตอนในการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ Diaphragm Wall

www.yotathai.com

3.1.3 รูปแบบ Secant Pile Wall

Secant Pile Wall เป็นกำแพงที่หล่อขึ้นในดิน โดยมีลักษณะเป็นเสาเข็มเจาะเฉือนกัน โดยมีวิธีการทำแบบเดียวกับการทำเสาเข็มเจาะ คือใช้ปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Steel Casing) Casing สำหรับงาน Secant Pile Wall จะมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ ซึ่งนอกจากทำหน้าที่ป้องกันการพังทลายของดินของหลุมในขณะขุดเจาะเอาดินออกแล้ว ที่ปลายของ Casing ยังติดตั้งใบมีดทำด้วยวัสดุ Tungsten Carbide ทำหน้าที่ตัดเฉือนเสาเข็มต้นที่ทำก่อนหน้านั้น เพื่อให้เกิด Interlock สำหรับ Secant Pile Wall นี้ สามารถเลือกความหนาได้ตามขนาดของเครื่องมือ คือตั้งแต่ 600 มม., 900 มม., 1,200 มม. แต่ที่ใช้กันทั่วไป คือความหนา 900 มม. และ 1,200 มม. ความลึก Secant Pile Wall ก็ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสภาพชั้นดิน รูปแบบโครงสร้างกำแพงกันดินแบบ Secant Pile Wall แสดงดังรูปที่ 3-4

เครื่องจักรและเครื่องมือหลักๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง Secant Pile Wall

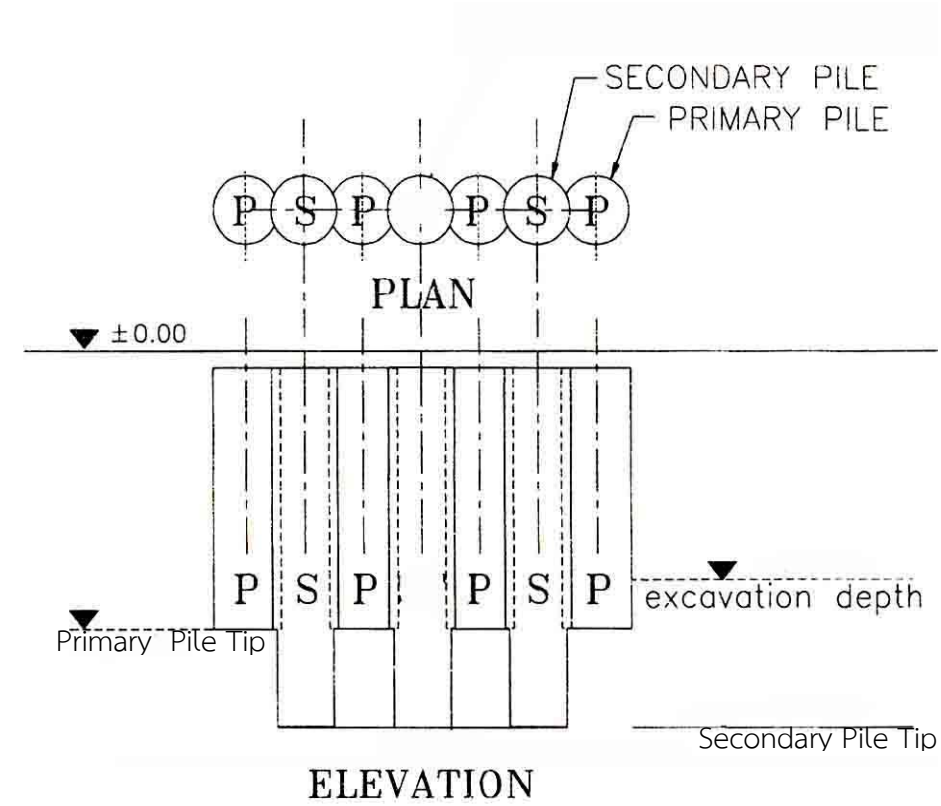
- Drilling Rig with drilling Tools, Double wall Casing with tungsten carbide shoes and Oscillator
- Bentonite Mixer, Silos, Tanks, Pumps, Tremie pipe and Desanding Unit
- Services Crawler Crane, Backhoe

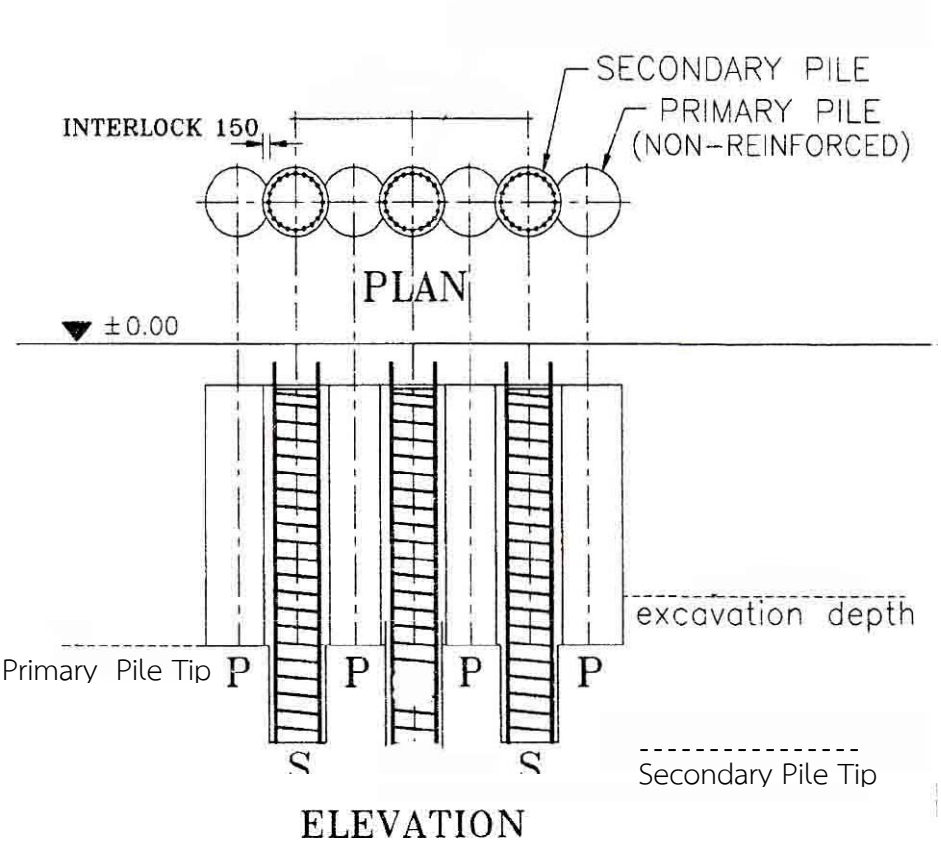
ขั้นตอนในการก่อสร้าง Reinforced Concrete Secant Pile Wall (Secondary Pile) เริ่มต้นด้วยการทำ Reinforced Concrete Guide Wall เช่นเดียวกัน ลักษณะของ Guide Wall จะเป็นคาน คสล. คู่ เช่นเดียวกันกับของ D - Wall เพียงแต่ระหว่างคานด้านในจะทำเป็นเบ้ารูปวงกลม เพื่อให้รับกับ Casing ที่สามารถกดลงไปได้ตามตำแหน่งของเข็มตามผังเข็มที่ออกแบบไว้ หลังจากที่คอนกรีต Guide Wall ได้มีกำลังอัดเพียงพอ ขั้นตอนต่อไปก็ทำการกดปลอกเหล็กชั่วคราวลงตำแหน่งที่จะทำเข็มเจาะต้นที่ต้องทำก่อน (Primary Piles) ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบให้มีปลายเข็มอยู่ต่ำกว่าระดับขุดดินต่ำสุด (Excavation Depth) ประมาณ 2 - 3 ม. หลังจากที่ได้ทำเข็มเจาะ Primary Piles ไปได้จำนวนหนึ่ง ประมาณ 2 – 3 วัน จะกลับมาทำเข็มเจาะ Secondary Piles ที่อยู่ระหว่าง Primary Piles โดยกดหลุมด้วย Double Wall Casing ที่มี Tungsten Carbide Shoes ติดอยู่ด้านล่าง ตัดเฉือน Primary Piles เพื่อให้เกิด Interlock ปกติจะกำหนดค่า Interlock ไว้ระหว่าง 10 ถึง 20 ซม. ขึ้นอยู่กับระดับความลึกของชั้นใต้ดิน โดยคำนวณจาก Vertical Tolerance 1:100 เพื่อให้แน่ใจว่ามี Interlock ตลอดความลึกของชั้นใต้ดิน สำหรับ Secondary Piles ส่วนใหญ่จะออกแบบให้อยู่ลึกกว่า Primary Piles ทั้งนี้เพราะ Secondary Piles เป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักทั้งด้านข้าง และบางครั้งจะรับน้ำหนักในแนวดิ่งด้วย Secondary Piles ปกติจะเสริมเหล็กและใช้คอนกรีตกำลังสูง (280 ksc.) ส่วน Primary Piles ปกติจะไม่เสริมเหล็กและใช้คอนกรีตกำลังต่ำ (150

www.yotathai.com

ksc.) Secondary Piles นี้หากต้องทำเข็มเจาะลงไปลึกก็จำเป็นต้องใช้วิธีเจาะเสาเข็มแบบ Wet Process ขั้นตอนในการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ Secant Pile Wall แสดงตามรูปที่ 3-5 ทั้งนี้ให้พิจารณาระยะห่างระหว่างเข็มเจาะต้นที่เพิ่งแล้วเสร็จกับเข็มเจาะต้นที่จะทำต่อไป ไม่ให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของเข็มเจาะแต่ละต้น

www.yotathai.com

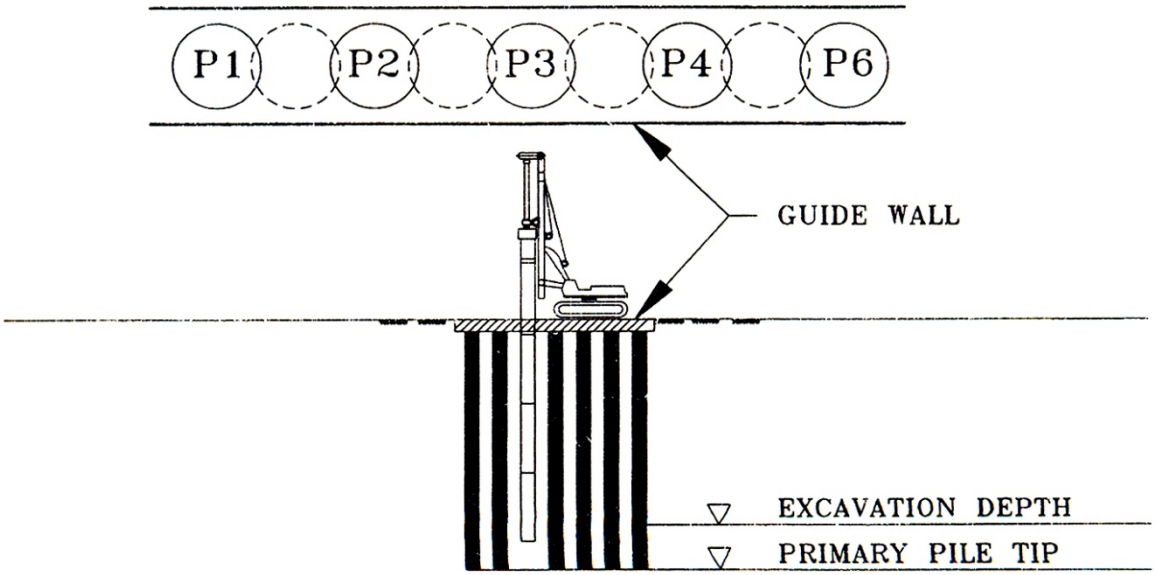




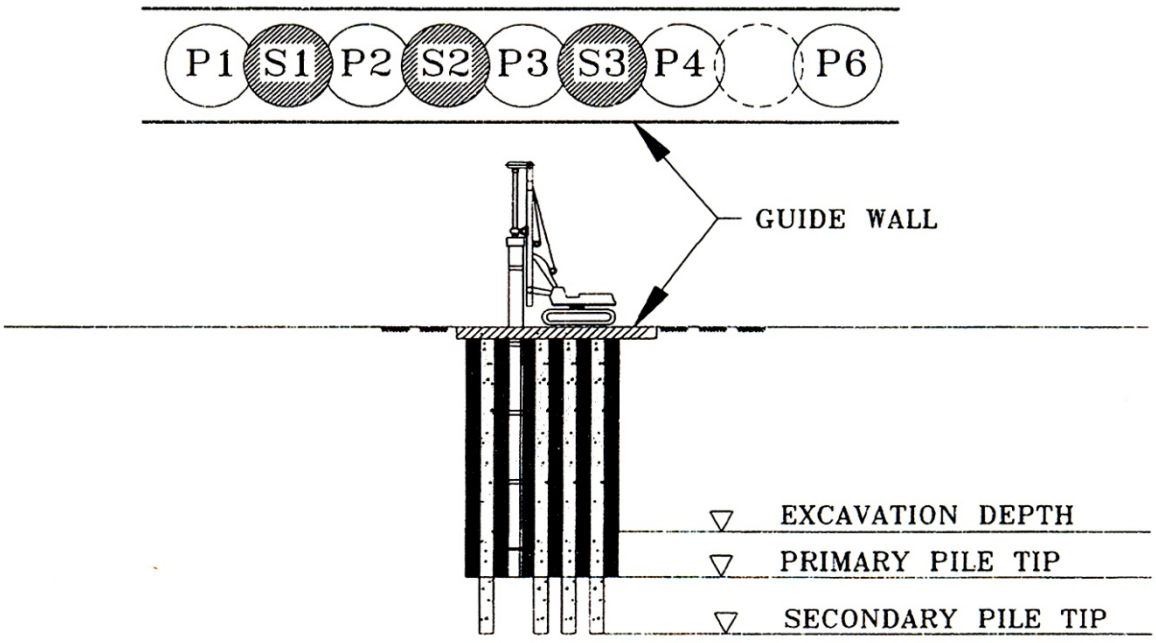
รูปที่ 3-4 รูปแบบโครงสร้างกำแพงกันดินแบบ Secant Pile Wall

www.yotathai.com

1. Primary Piles Construction



2. Secondary Piles Construction



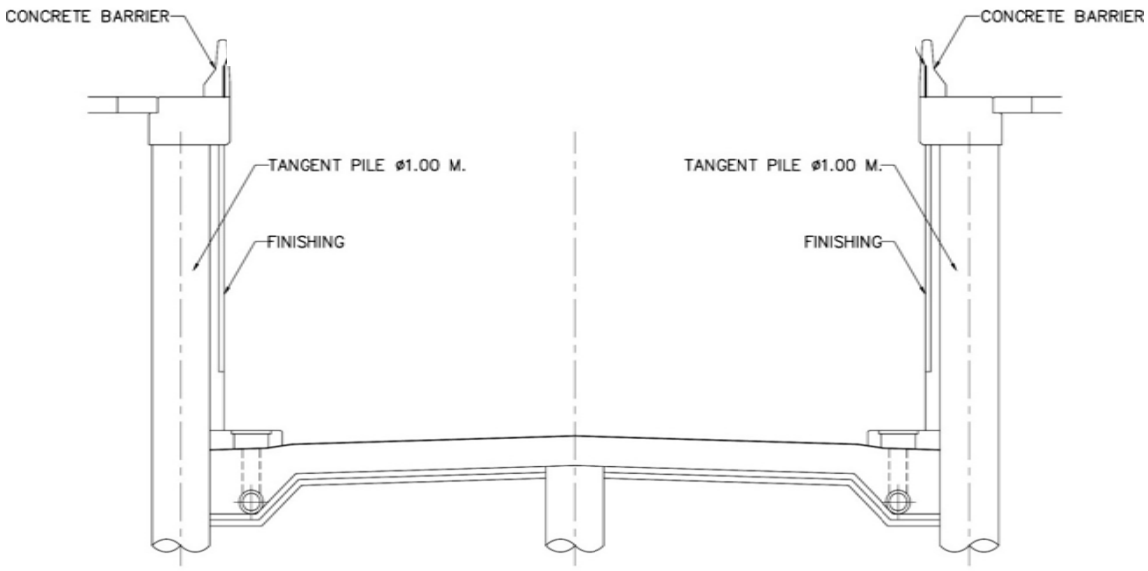
รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการก่อสร้าง Secant Pile Wall

www.yotathai.com

ในกรณีที่นำกำแพงกันดินแบบ Secant Pile Wall มาใช้เป็นโครงสร้างทางลอดจะต้องเทคอนกรีตปิดหน้า Secant Pile Wall หนาประมาณ 0.10 – 0.15 ม. เพื่อทำให้ผิวหน้าดูสวยงาม นอกจากนี้ยังคงต้องติดตั้งระบบ Water Stop ให้เหมาะสม มิฉะนั้นแล้ว น้ำใต้ดินมีโอกาสซึมเข้ามาทางกำแพงกันดิน

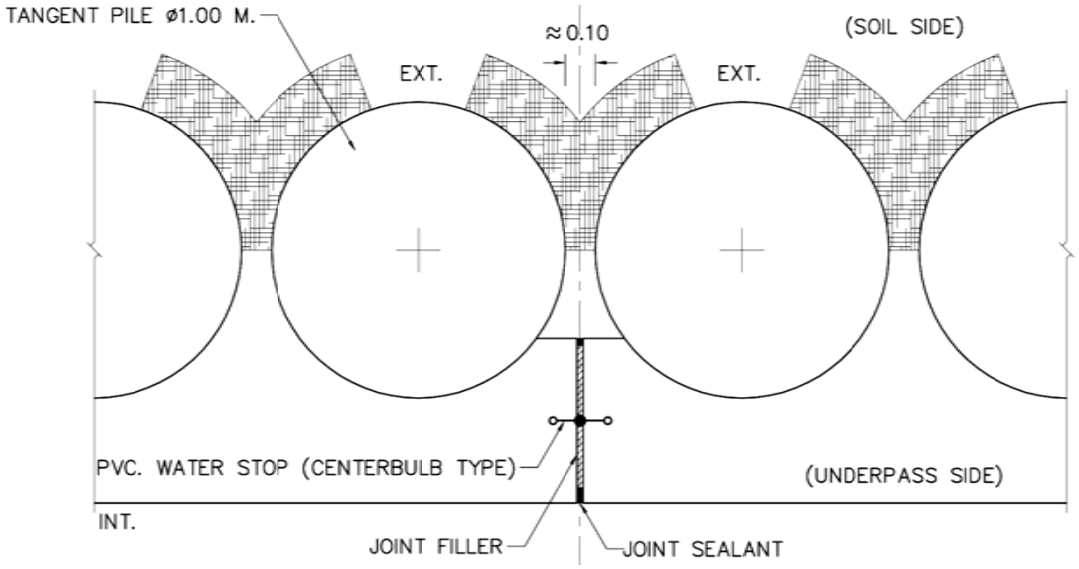
3.1.4 รูปแบบ Tangent Pile Wall

รูปแบบกำแพงชนิดนี้จะเหมือนกับรูปแบบ Secant Pile Wall จะต่างกันที่ Tangent Pile Wall เสาเข็มจะไม่ยึดเกี่ยวกัน (Interlock) เสาเข็มที่เจาะจะห่างกันผิวถึงผิวประมาณ 0.10 ม. และเสาเข็มเจาะทุกต้นจะมีเหล็กเสริมทุกต้น หากนำ Tangent Pile Wall มาใช้เป็นโครงสร้างทางลอดจะต้องเทคอนกรีตปิดหน้า Tangent Pile Wall หนาประมาณ 0.25 – 0.30 ม. เพื่อปิดรอยต่อช่องว่างระหว่างเสาเข็ม ช่วยป้องกันน้ำซึมผ่าน และทำให้ผิวหน้าดูสวยงาม นอกจากนี้ยังคงต้องติดตั้งระบบ Water Stop ให้เหมาะสม มิฉะนั้นแล้วน้ำใต้ดินมีโอกาสซึมเข้ามาทางกำแพงกันดิน รูปแบบการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ Tangent Pile Wall แสดงไว้ในรูปที่ 3-6 และรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-6 รูปตัดโครงสร้างทางลอด รูปแบบ Tangent Pile Wall

www.yotathai.com



รูปที่ 3-7 รูปแปลนกำแพงกันดินแบบ Tangent Pile Wall

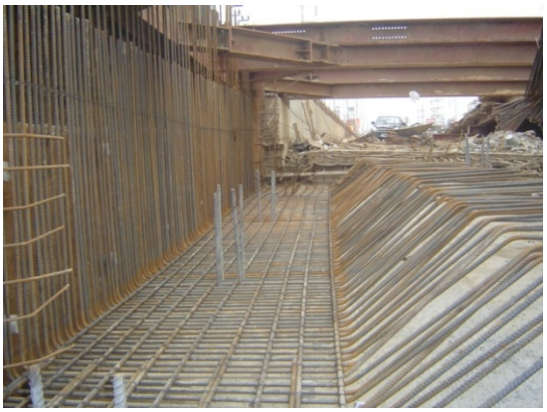
3.2 การก่อสร้างผนังกันดินแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Retaining Wall)

กำแพงกันดิน (Retaining Wall) ใช้ต้านทานแรงดันทางด้านข้างของดิน หรือของไหล เช่น น้ำ และต้านทานแรงเนื่องจากน้ำหนักกดทับจากผิวบน เช่น น้ำหนักยวดยานพาหนะ กำแพงกันดินส่วนใหญ่ขุดดินออกเพื่อหล่อกำแพง แล้วถมดินกลับภายหลัง กำแพงประเภทนี้จะทึบน้ำ ป้องกันการรั่วซึมได้ดี กำแพงกันดินชนิดปลายยื่น (Free Cantilever) เหมาะกับความลึกไม่เกิน 10 เมตร หากลึกมากจะไม่ประหยัด ควรเลือกกำแพงกันดินระบบอื่น ๆ เช่น ชนิดมีครีบค้ำยัน (Counter Fort) ชนิดค้ำยันจากทางด้านนอก (Buttress) และผนังห้องใต้ดินที่วางยึดกับคานหรือเสา

ขั้นตอนการก่อสร้าง Retaining Wall

1. ตรวจสอบตำแหน่ง แนวและระดับที่จะก่อสร้าง Retaining Wall
2. ผูกเหล็ก ประกอบแบบ
3. ตรวจสอบตำแหน่งและปริมาณเหล็กเสริม ตามรูปแบบก่อสร้าง (Shop Drawing)
4. ทำการเทคอนกรีตผ่านท่อที่ต่อยาวลงไปถึงฐานกำแพง เพื่อป้องกันการแยกตัว (Segregration) ของส่วนผสมคอนกรีต ก่อนเทต้องทดสอบ Slump ให้ได้ตามข้อกำหนดและเก็บตัวอย่างทุกครั้งเมื่อมีการเทคอนกรีต และทำการบ่มคอนกรีตตามข้อกำหนด

ขั้นตอนการก่อสร้าง Retaining Wall แสดงไว้ในรูปที่ 3-8



ผูกเหล็ก Retaining wall

ติดตั้งและประกอบแบบ

Retaining wall

รูปที่ 3-8 ขั้นตอนการก่อสร้าง Retaining Wall

www.yotathai.com

3.3 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Diaphragm Wall (D-Wall)

กำแพงชนิดนี้จะทำการก่อสร้างเป็นแผงติดต่อกันไปโดยใช้ผนังนำร่อง (Guide Walls) เป็นแผงบังคับการเจาะ เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดจะใช้หัวขุด Barrette แบบ Hydraulic Hang Grab สามารถก่อสร้างได้ในชั้นดินทุกประเภท (ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ระบบหัวเจาะ) ตั้งแต่ชั้นดินอ่อนจนถึงชั้นหินแข็งปานกลาง

3.3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

1) รูปแบบและสัญญาก่อสร้างที่ประกอบด้วยค่าระดับดินเดิม ค่าระดับก่อสร้าง ค่าระดับและมิติของโครงสร้าง ความสูงของช่องลอด (Clearance) หรือรายละเอียดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น

- ข้อมูลชั้นดิน (Boring log) ของสภาพดินเดิม บริเวณก่อสร้าง
- ขนาดและรายละเอียดของผนังนำร่อง (Guide Wall) ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ไม่เกิน 1:200 และเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางได้ไม่เกิน 15 ม.ม. หรือตามแบบกำหนด
- ขนาดและความกว้างของผนังพืด (Diaphragm Wall)
- รายละเอียดรอยต่อ ระบบกันซึมระหว่างผนังพืด
- ขั้นตอนการขุดและการเทคอนกรีตผนังพืด

2) ข้อมูลประกอบของสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (Drilling Fluid)

- รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการผสม การใช้งาน การขนถ่าย
- การทำความสะอาด การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกลศาสตร์เพื่อนำมาใช้อีก

3) ข้อมูลประกอบในการตรวจสอบการทำงาน

- การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างอาคารบริเวณใกล้เคียง ก่อนและหลังการดำเนินการก่อสร้าง
- ค่าพิกัดต่างๆของผนังพืด (Diaphragm Wall) และค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งที่ยอมให้ของผนังพืดที่เกิดจากการขุด ไม่เกิน 1:120 หรือตามแบบกำหนด

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable Hang Grab พร้อมหัวขุดแบบ Hydraulic Hang Grab

2) Desander Unit หรือเครื่องแยกตะกอนทรายออกจากสารละลายพยุงเสถียรภาพ

3) เครื่องผสมสารละลายพยุงเสถียรภาพ

www.yotathai.com

4) เครื่องสูบสารละลายพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมขุดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8" เพื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนด

5) เครื่องสูบสารละลายพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมขุดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4" เพื่อนำของเหลวพยุงเสถียรภาพที่ได้มาตรฐานเข้าไปแทนที่ดินที่ขุดออก

6) รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane)

7) ถังเก็บพร้อมสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมขุดที่มีความจุไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้สำหรับหลุมขุดแต่ละครั้ง

8) ชุดทดสอบคุณสมบัติสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมขุด

9) แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates) ทีมีช่องสำหรับติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่วซึมใช้สำหรับกั้นปลายร่องขุดเพื่อเทคอนกรีต

10) ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe) ใช้สำหรับเทคอนกรีตลงในหลุมที่ขุด

11) แผ่นยางกันน้ำรั่วซึมระหว่างผนังพืด (Water Stop)

12) รถ Backhoe ทำหน้าที่ขุดดินและแต่งดินคันทาง

www.yotathai.com

รูปที่ 3-9 เครื่องจักรขุดดินสำหรับก่อสร้างผนังพืดแบบ Cable Hang Grab

รูปที่ 3-10 เครื่องแยกตะกอนทรายออกจากสารละลายพยุงเสถียรภาพ (Desander Unit)

รูปที่ 3-11 เครื่องผสมสารละลายพยุงเสถียรภาพ

รูปที่ 3-12 เครื่องสูบสารละลายพยุงเสถียรภาพออกจากหลุมขุด
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8"

รูปที่ 3-13 เครื่องสูบสารละลายพยุงเสถียรภาพเข้าไปในหลุมขุด
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4"

www.yotathai.com

รูปที่ 3-14 รถยกตีนตะขาบ (Crawler Crane)

รูปที่ 3-15 ถังเก็บสารละลายพยุงเสถียรภาพ

รูปที่ 3-16 ชุดทดสอบคุณสมบัติสารละลายพยุงเสถียรภาพ

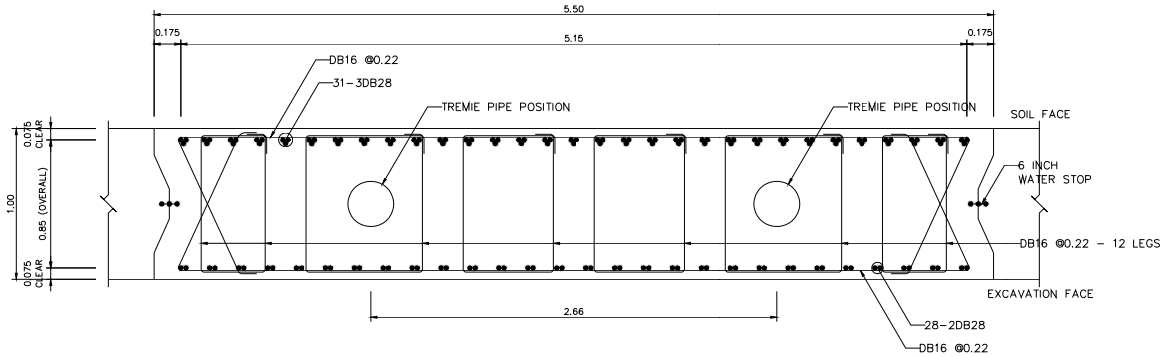
รูปที่ 3-17 แบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plates)

รูปที่ 3-18 ท่อสำหรับเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

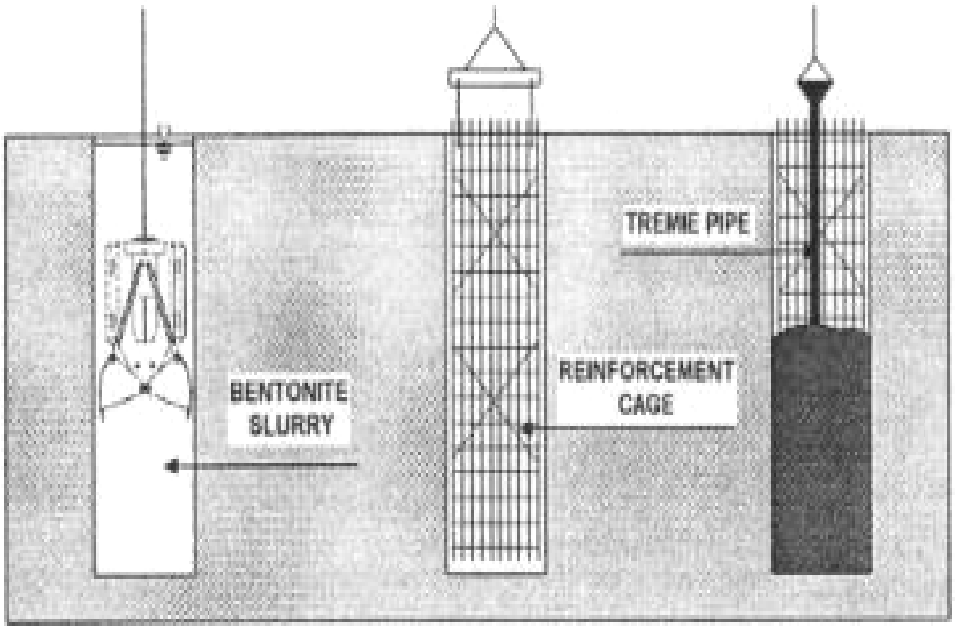
รูปที่ 3-19 แผ่นยางกันน้ำรั่วซึม (Water Stop)

www.yotathai.com

3.3.3 ขั้นตอนการก่อสร้าง



รูปที่ 3-20 แสดงตัวอย่างรูปตัดกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 5.50 x 1.00 m.



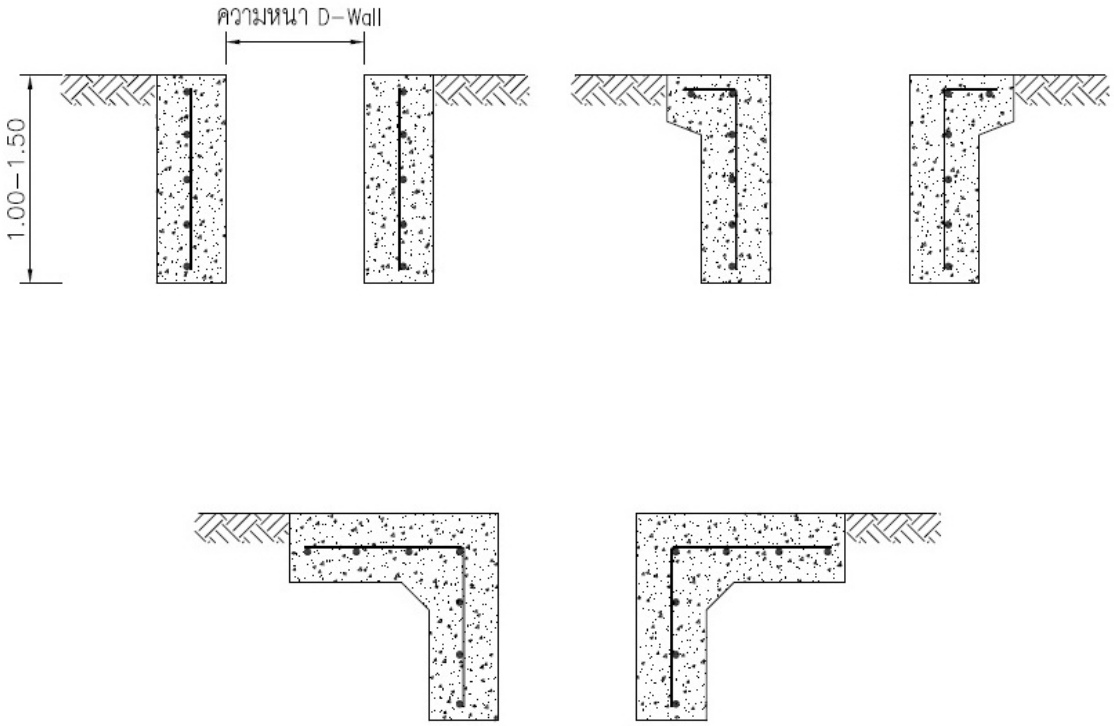
รูปที่ 3-21 ขั้นตอนการก่อสร้าง Diaphragm Walls

1) ก่อสร้างผนังนำร่อง (Guide Wall) เป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กลึกประมาณ 1.00 เมตร หนา ประมาณ 0.30-0.50 เมตร และระยะห่างระหว่างผนังนำร่อง ควรกว้างกว่ากำแพงผนังพืด (Diaphragm Wall) ประมาณ 25-50 มิลลิเมตร มีความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของผนังนำร่องไม่เกิน 1:200 และเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางได้ไม่เกิน 15 มิลลิเมตร ต่อความยาวผนัง 3 เมตร รายการตรวจสอบผนังนำร่อง (Guide Walls) ประกอบด้วย

- ความถูกต้องของขนาดความกว้าง

www.yotathai.com

- ความลึกของ Guide Walls ควรอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.50 เมตร โดยทั่วไปก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กให้กว้างกว่า Grab ประมาณ 20 - 50 มิลลิเมตร
- ต้องใส่ค้ำยันชั่วคราว ค้ำผนังนำร่องไว้เป็นระยะ จนกว่าจะเริ่มงานขุดกำแพง



รูปที่ 3-22 แบบต่างๆของ Guide Wall

รูปที่ 3-23 แสดงคานบังคับแนวกำแพง หรือผนังนำร่อง (Guide Wall) ก่อนทำการขุดดิน

www.yotathai.com

2) ขุดดินระหว่างช่องผนังนำร่อง (Guide Wall) เพื่อก่อสร้างผนังพืด (Diaphragm Wall) ให้ได้ความลึกตามแบบกำหนด ในระหว่างการขุดต้องเติมสารละลายพยุงเสถียรภาพแทนดินที่ขุดมา เพื่อป้องกันผนังหลุมขุดพัง ต้องรักษาคุณภาพของสารละลายพยุงเสถียรภาพให้เป็นไปตามข้อกำหนดและให้มีระดับสารละลายมีความสูงไม่ต่ำกว่าส่วนล่างของผนังนำร่อง

รายการตรวจสอบการขุด

- ตรวจสอบการติดตั้งอุปกรณ์ Instrumentation ในแผงกำแพงที่เจาะ กรณีแบบระบุ
- ตรวจสอบคุณสมบัติของสารละลายในหลุมขุด

รูปที่ 3-24 เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดดิน

รูปที่ 3-25 การรักษาเสถียรภาพของหลุมด้วยสารละลาย ระหว่างการขุด

www.yotathai.com

3) ตรวจสอบความลึกของหลุมขุด โดยอ่านค่าความลึกหลุมขุดจากเครื่องวัด Meter ที่ติดตั้งบนเครื่องมือขุด หรืออาจตรวจสอบความลึกโดยใช้เทปวัดอย่างน้อย 6 จุด คือที่มุมทั้งสี่ด้าน และกึ่งกลาง Panel ทั้งสองข้าง

4) จดบันทึกรายละเอียด ข้อมูลความหนาของชั้นดิน ความลึกของหลุมขุด คุณสมบัติของสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ (ตามตัวอย่างตารางที่แสดงแนบ)

www.yotathai.com

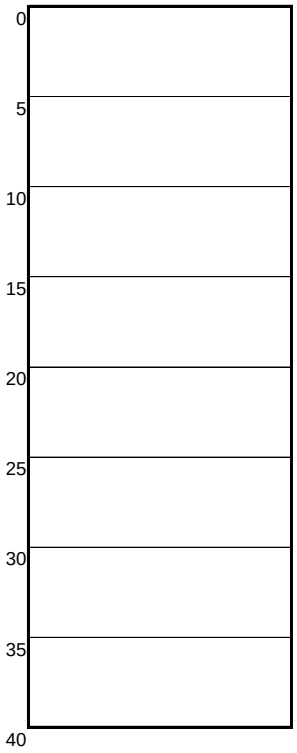
Excavation Sheet

Project _____

Panel No. _____ Date _____

Panel Depth_____ Width _____

Soil Profile



Time \ Activity	Excavation	Moving	Break Down	Maintenance	Other	Remarks
07.00						
08.00						
09.00						
10.00						
11.00						
12.00						
13.00						
14.00						
15.00						
16.00						
17.00						
18.00						
19.00						
20.00						
21.00						
22.00						
23.00						
24.00						

Next Panel No. _____ Excavator _____

Machine No. _____ Weather _____

รูปที่ 3-26 ตัวอย่างแบบบันทึกรายละเอียด ข้อมูลความหนาของชั้นดิน ความลึกของหลุมขุด

www.yotathai.com

Project_____ Date_____

Pile No. _____

Bentonite Sheet

Parameter / Test Result	Density (g/cm^3)				Viscoscity (Sec.)				pH				Sand Content (%)				Remarks
Daily																	
Before Concreting																	
After Concreting																	
Acceptance Range																	

ConCreting Sheet

Ticket No.	Volume (m^3)	Cumulative Volume (m^3)	Start Time	Finish Time	Depth (m)	Remarks

Pile No.	Theorical Volume (m3)	Actual Volume (m3)	Overbreak (%)

Foreman_____ Engineer _____

รูปที่ 3-27 ตัวอย่างแบบบันทึกรายละเอียดคุณสมบัติของสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมขุด

5) ทำความสะอาดก้นหลุมขุด (Base Cleaning) เมื่อทำการขุดหลุมจนถึงระดับที่กำหนดแล้วต้องทำความสะอาดก้นหลุมขุดและปรับปรุงคุณภาพสารละลายให้ได้ตามรายการข้อกำหนด

www.yotathai.com

รายการตรวจสอบก้นหลุมขุด

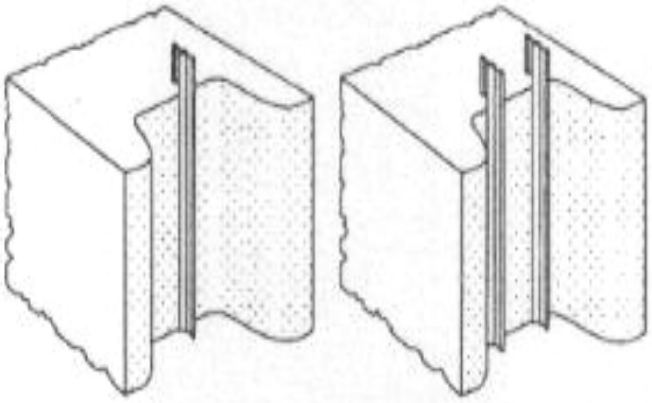
- ตรวจสอบระดับความลึกหลุมขุดให้ได้ระดับและอยู่ในชั้นดินที่ออกแบบไว้
- ใช้ Grab รูปเหลี่ยม (Square – Ended) ทำการขูดก้นหลุมเพื่อทำความสะอาดและปรับระดับก้นหลุมให้เรียบร้อย
- ก่อนเทคอนกรีตต้องทำความสะอาดสารละลายให้ Sand Content ของสารละลายที่เก็บจากก้นหลุมมีปริมาณไม่เกิน 4% โดยใช้เครื่อง Desander
- ทำการตรวจสอบสารละลายที่เก็บมาจากก้นหลุมว่าความหนืดเกินข้อกำหนดหรือไม่ (Viscosity 28-45 sec/Qt) หากความหนืดเกินให้ทำการเปลี่ยนสารละลายที่ใสกว่าลงไปแทน เพื่อให้คอนกรีตสามารถแทนที่สารละลายได้โดยสมบูรณ์
- ควรเริ่มเทคอนกรีต หลังจากทำความสะอาดก้นหลุมแล้วเสร็จไม่เกิน 5 ชั่วโมง ป้องกันการตกตะกอนในสารละลาย

รูปที่ 3-28 แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดก้นหลุมด้วยเครื่อง Desander Unit

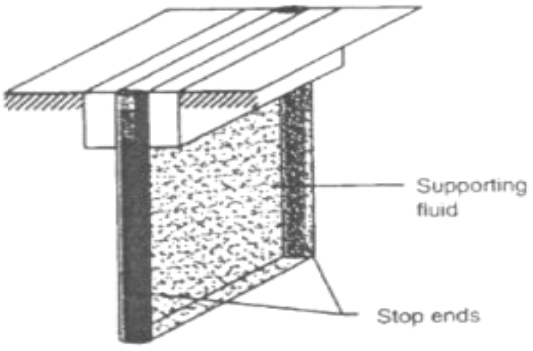
6) ติดตั้งแบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop End Plate) ที่ออกแบบให้สามารถติดตั้งแผ่นยางกันน้ำ (Water Stop) ในแนวดิ่งได้ และนำสารละลายพยุงเสถียรภาพที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ลงในหลุมขุด

รายการตรวจสอบแบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop Ends Check List)

- Stop Ends Plate มีความแข็งแรงเพียงพอและได้แนว
- Water Stop ติดตั้งเข้ากับ Stop Ends Plate เรียบร้อยดี



รูปที่ 3-29 แสดงการติดตั้งแผ่น Water Stop
เข้ากับแบบหล่อปิดปลายผนังพืด (Stop Ends Plate)



รูปที่ 3-30 การติดตั้ง Stop End Plates

www.yotathai.com

รูปที่ 3-31 การขุด Diaphragm Wall

รูปที่ 3-32 ท่อดูดทำความสะอาดก้นหลุม

www.yotathai.com

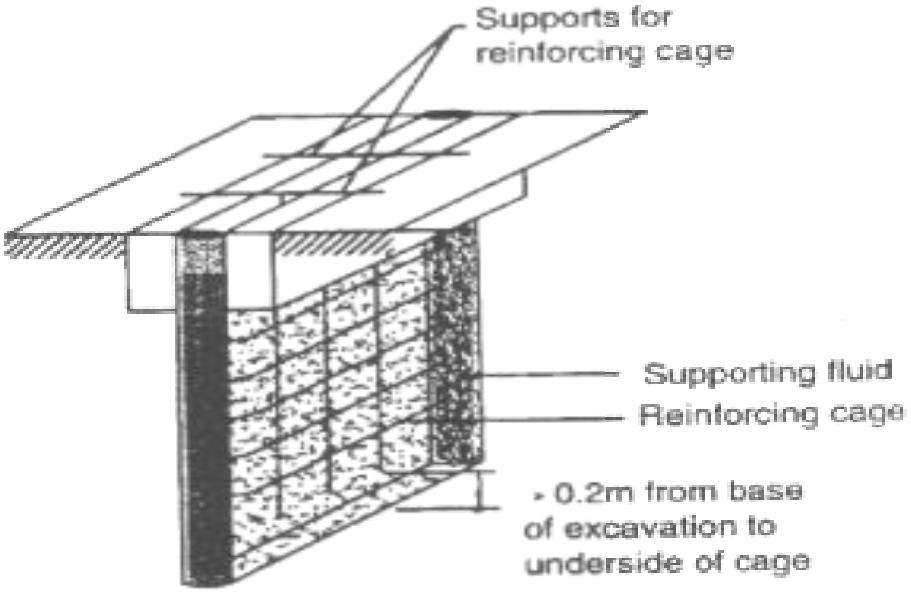
รูปที่ 3-33 ชุดติดตั้ง Recycle Bentonite Slurry

7) ตรวจสอบความลึก ความกว้าง และความดิ่งแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ตามแบบกำหนดติดตั้งในหลุมเจาะที่ขุดไว้

รายการตรวจสอบเหล็กเสริม

- ให้ปลายเหล็กเสริมสูงกว่าก้นหลุมขุดไม่น้อยกว่า 20 ซม.
- เหล็กเสริมให้ห้อยแขวนไว้กับ Guide Wall
- ตรวจสอบระยะทาบเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- กรณีมีเหล็กเสริมพิเศษสำหรับเชื่อมต่อกับระดับพื้นทางลอด ให้ตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมให้ถูกต้อง

www.yotathai.com



รูปที่ 3-34 การติดตั้งเหล็กเสริมที่เตรียมไว้ลงในหลุมเจาะผนังพืด

www.yotathai.com

8) ทำการเทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie ที่ต่อยาวลงไปถึงก้นหลุมเพื่อป้องกันการแยกตัว (Segregration) ของส่วนผสมคอนกรีต และมี Plug อยู่ในท่อลอยอยู่เหนือสารละลายก่อนเทต้องทดสอบ Slump ให้ได้ตามข้อกำหนดและเก็บตัวอย่างทุกครั้งเมื่อมีการเทคอนกรีต ระหว่างการเทคอนกรีตต้องควบคุมให้ปลายของท่อ Tremie จมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 1 เมตรตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนดินหรือตะกอนของสารละลายพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเข้ามาปะปนกับคอนกรีต ควรเทคอนกรีตให้สูงกว่าระดับที่ต้องการ (Cut off) ไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ในกรณีที่พบคอนกรีตไม่ได้คุณภาพใต้ระดับ Cut off ให้สกัดออกจนถึงคอนกรีตที่ดี

รูปที่ 3-35 การเทคอนกรีตผนังพืด (Diaphragm Wall) โดยใช้ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

รายการตรวจสอบคอนกรีต (Checklist)

- ตรวจสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump)
- ตรวจสอบการจัดส่งคอนกรีตให้มีปริมาณเพียงพอต่อการทำงานอย่างต่อเนื่อง
- ตรวจสอบกรณีมีการติดตั้งท่อสำหรับใส่ Instrumentation
- ตรวจสอบความยาวของเหล็กเสริมเหนือระดับ Cut – Off ให้เป็นไปตามแบบ
- ตรวจสอบการติดตั้งโครงเหล็กให้มีความมั่นคง

www.yotathai.com

- ตรวจสอบความสะอาด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว และจำนวนท่อ Tremie ให้เหมาะสมกับการเทคอนกรีต
- กรณีความยาวของแผง D-Wall มากกว่า 3.50 ม. ควรใช้ท่อ Tremie 2 ชุด
- ให้ใส่ Plug เช่น เม็ดโฟม คั้นระหว่างสารละลายฯ กับคอนกรีตในการเทคอนกรีตชุดแรก
- ต้องควบคุมปริมาณเทคอนกรีตให้พอเพียงต่อการตัดท่อ Tremie แต่ละครั้ง
- ตรวจสอบและบันทึกปริมาณคอนกรีตที่เทอย่างละเอียด เพื่อให้มั่นใจว่าระดับคอนกรีตสุดท้ายสูงกว่าระดับ Cut-Off

9) การก่อสร้างแผงกำแพงติดกับแผงที่ก่อสร้างแล้วต้องรอให้คอนกรีตแผงที่ก่อสร้างเสร็จแล้วมีกำลังสูงพอ ปกติจะรอจนเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และก่อนขุดแผงถัดไปต้องตรวจสอบ Guide Wall ว่าเกิดการบิดเบี้ยวผิดแบบหรือไม่

10) ภายหลังจากก่อสร้างผนังพืดแล้วเสร็จและสามารถรับกำลังได้ตามข้อกำหนด ให้สกัดผนังนำร่อง (Guide Wall) ออกแล้วทำการก่อสร้างคานยึด (Cap Beam) บนผนังพืด

11) เมื่อทำการขุดดินในทางลอดออก ให้ตรวจสอบการแตกร้าวของผนังและการรั่วซึมของน้ำ หากเกิดขึ้นให้ดำเนินการแก้ไข

12) ทำการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Finishing Wall) ตามรูปแบบก่อสร้าง

รูปที่ 3-36 แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับงานผนังทางลอด

www.yotathai.com

3.3.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข สาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่อง

ตารางที่ 3-1 สาเหตุจากสภาพชั้นดินที่ก่อสร้าง

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
1. ไม่มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำใต้ดินทำให้คุณภาพของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจมีสภาพความเป็นกรดหรือด่าง	1. ทำการทดสอบหาระดับน้ำใต้ดินและหาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำใต้ดิน
2. คุณสมบัติความไวตัว (Sensitivity)ของชั้นดินอ่อนทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงขณะเจาะ จะทำให้หลุมเจาะพังง่าย หรือเกิดการเคลื่อนตัว ทำให้หลุมเจาะแคบลง	2. ตรวจสอบความเข้มข้นและคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ
3. ชั้นทรายหลวม (Loose Sand) ทำให้ร่องขุดพังได้ง่าย หรือทำให้ร่องขุดเกิดการบีบตัวแคบลง	3. ตรวจสอบความเข้มข้นและคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ

ตารางที่ 3-2 สาเหตุจากการเตรียมงานไม่ดี

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
1. Surcharge มากไปข้างหลุมเจาะ ทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย เพราะน้ำหนักกดที่สูงจะทำให้เกิดแรงดันดินด้านข้างที่สูงตามไปด้วย	4. จัดขั้นตอนการก่อสร้างและการจราจรให้เหมาะสม ไม่ให้เกิด Surcharge ข้างหลุมเจาะ
5. มีน้ำผิวดินไหลซึมลงในชั้นดินใกล้หลุมเจาะ อาจเกิดจากน้ำฝน หรือ ร่องน้ำเดิม จะทำให้ Guide Wall และร่องขุดพังได้ง่าย	5. ระบายการไหลของน้ำบริเวณ Guide Wall ไม่ให้มีการไหลซึมลงชั้นดินใกล้หลุมเจาะ

www.yotathai.com

ตารางที่ 3-3 สาเหตุจากการก่อสร้าง Guide Wall ไม่ดีพอ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
6. ดินใต้และหลัง Guide Wall บดอัดไม่แน่นพอ ทำให้ Guide Wall พัง หรือบิดเบี้ยวได้ง่าย ทำให้ร่องขุดไม่ตรง, และไม่ได้แนว	6. บดอัดดินใต้และหลัง Guide Wall ให้แน่นเพียงพอเพื่อไม่ให้ Guide Wall พังหรือบิดตัว
7. Guide Wall สร้างไม่ได้ดิ่ง ทำให้ Diaphragm Wall เอียงและทำให้ลงโครงเหล็กลำบาก	7. ตรวจสอบแนวดิ่งของ Guide Wall
8. ความลึกของ Guide Wall ไม่เพียงพออาจทำให้เกิดการเอียงตัวของ Diaphragm Wall	8. เพิ่มความลึกของ Guide Wall

ตารางที่ 3-4 สาเหตุจากการขุด

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
9. ขุดหลุมเจาะไม่ได้ดิ่ง ทำให้ลงโครงเหล็กไม่ได้ และทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิททำให้น้ำรั่วและกำแพงโย้ไปมาไม่ได้แนว	9. ตรวจสอบระยะดิ่งของหัวเจาะ (Grab) เป็นระยะๆ ในการทำงาน
10. รอยต่อระหว่างผนังพืด ไม่สะอาดพอก่อนเทคอนกรีต ทำให้เกิดโพรงที่รอยต่อ และทำให้มีน้ำรั่วที่รอยต่อ	10. ตรวจสอบบริเวณรอยต่อของ Diaphragm Wall ก่อนทำการเทคอนกรีต ไม่ให้มีดินติดอยู่บริเวณรอยต่อ

www.yotathai.com

ตารางที่ 3-5 สาเหตุจากสารละลายพยุงเสถียรภาพ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
11.ใช้ของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะที่สกปรกมากเกินไป (ใช้หลายครั้งเกินไป) มีปริมาณไม่พอหมุนเวียน อาจทำให้ร่องขุดบีบตัวหรือพังได้โดยง่าย	11.หมั่นตรวจสอบและปรับปรุงคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะให้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้อยู่เสมอ
12. มีตะกอนจากของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะมากเกินไป (Flocculated Sediment) ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่เทลงไปคุณภาพต่ำ,และตะกอนจะแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต,รอยต่อรั่วได้ง่าย	12.หมั่นตรวจสอบและปรับปรุงคุณสมบัติของของเหลวพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะ ทำความสะอาดก้นหลุมเจาะก่อนทำการเทคอนกรีต

ตารางที่ 3-6 สาเหตุจากการเทคอนกรีต

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	แนวทางการแก้ไข
13. Slump ต่ำเกินไป ทำให้เกิดรูพรุน, เป็นโพรง แทรกตัวในคอนกรีตได้	13. ปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้
14. Slump มากเกินไป ทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท	14. ปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดที่ใช้งานได้
15. การชักท่อ Tremie ขึ้น-ลงบ่อย ๆ มีโอกาสทำให้เบนโทไนท์แทรกตัวฝังในเนื้อคอนกรีต	15. ตรวจสอบ Slump ของคอนกรีตให้ไหลได้ดี เพื่อไม่ให้ต้องชักท่อ Tremie ขึ้นลงบ่อยๆ เนื่องจากเทคอนกรีตไม่ลง
16. การวางท่อ Tremie ห่างรอยต่อแผงมากเกินไป ทำให้คอนกรีตไม่สามารถดันสิ่งสกปรกบริเวณรอยต่อแผงออกหมดทำให้รอยต่อรั่ว	16. จัดตำแหน่งของท่อ Tremie ให้มีระยะห่างกับรอยต่อที่เหมาะสม ที่จะสามารถดันสิ่งสกปรกได้หมด
17.การยกท่อ Tremie พ้นระดับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตขาดตอน	17. วางระดับปลายท่อ Tremie ให้จมอยู่ในเนื้อคอนกรีตที่เทอย่างเหมาะสม
18. เทคอนกรีตคันแรกทะลุโฟม (Plug) ทำให้คอนกรีตพรุน,เป็นโพรง,แยกตัวผสมกับสารละลายและตะกอน,ท่อเทคอนกรีตอาจอุดตัน	18. ใส่เม็ดโฟมให้มีความหนาเพียงพอ และเทคอนกรีตให้ต่อเนื่องกัน

www.yotathai.com

3.3.5 ปัญหาการรั่วซึมระหว่างแผงผนังพืด

เมื่อก่อสร้างแผงคอนกรีตผนังพืดแล้วเสร็จโดยตลอด จะทำการขุดเปิดดินเพื่อก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) เชื่อมต่อระหว่างแผงคอนกรีตผนังพืดในระดับที่ต้องการ เกิดการยึดรั้งเป็นโครงสร้างแบบเฟรม (Frame) ในบางตำแหน่งที่ระดับความลึกพอสมควร เช่น ประมาณ 4 - 5 เมตรจากระดับดินเดิม จะปรากฏการรั่วซึมของน้ำใต้ดินไหลออกมาตรงบริเวณรอยต่อแผงคอนกรีตผนังพืด โดยหากไม่ดำเนินการซ่อมแซมจะส่งผลกระทบต่อการทำงานในขั้นตอนต่อไป เช่น การตกแต่งผนังทางลอด เป็นต้น การใช้งานหรือสภาพบริการของทางลอด และอาจกระทบต่อโครงสร้างหรือความแข็งแรงทางลอดในระยะยาวได้

รูปที่ 3-37 ตัวอย่างการรั่วซึมบริเวณรอยต่อแผงคอนกรีตผนังพืด

www.yotathai.com

จากรูปที่ 3-37 สันนิษฐานว่าปัญหาการรั่วซึมที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการเสียรูป เช่น การบิดงอ หรือหลุดออกจากตำแหน่งของแผ่นยางป้องกันน้ำซึม (Water Stop) ที่ติดตั้งระหว่างแผงคอนกรีตผนังพืด การแก้ไขซ่อมแซมรอยรั่วซึมทำได้โดยใช้การฉีดอัดวัสดุโฟมเคมี หรือ Polyurethane Foam (P.U. Foam) ทั้งสองข้างซ้ายขวาของรอยต่อบริเวณที่พบปัญหาการรั่วซึม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ล้างทำความสะอาดเศษวัสดุปนเปื้อน เช่น เศษดิน ที่ติดอยู่บริเวณรอยรั่วซึมของน้ำใต้ดิน
- ทำการสกัดแต่งเศษคอนกรีตบริเวณรอยรั่วซึมให้เรียบร้อย
- เจาะฝังหัว Packer ที่ใช้สำหรับอัดฉีดให้มีระยะห่างที่เหมาะสมทั้งสองข้างของรอยต่อบริเวณที่เกิดการรั่วซึม
- ทำการปิดอุดรอยต่อระหว่างแผงคอนกรีตผนังพืดที่จะซ่อมแซมให้เรียบร้อยด้วยวัสดุปูนซีเมนต์ผสม
- ผสมส่วนผสมทางเคมีของวัสดุโฟมตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้
- ทำการอัดฉีดวัสดุผ่านหัวฉีดที่ติดตั้งไว้ด้วยปั๊มแรงดันสูง (Hi-Pressure Pump) ทีละจุดจนครบโดยไล่จากตำแหน่งที่อยู่ด้านล่างไปด้านบน
- รอให้วัสดุที่ฉีดเข้าไปเกิดการขยายตัวอุดรอยรั่วซึม จากนั้นตรวจสอบว่ายังมีการรั่วซึมอยู่หรือไม่
- ถ้ายังปรากฏการรั่วซึม ให้ทำการอัดฉีดวัสดุเคมีเข้าไปตามวิธีข้างต้นอีกครั้งจนกว่าการรั่วซึมของน้ำจะหยุดลง โดยสังเกตว่ามีรอยซึมออกมาจากเนื้อคอนกรีตแผงคอนกรีตผนังพืดหรือไม่

www.yotathai.com

(ก) สภาพรอยรั่วซึมของน้ำใต้ดินที่รอยต่อแผงคอนกรีตผนังพืด

(ข) ล้างทำความสะอาดและสกัดแต่งเนื้อคอนกรีตที่ไม่ดีของแผงคอนกรีตผนังพืด

(ค) การเจาะฝังหัวที่ใช้ในการอัดฉีดสารเคมีเข้าไปทั้งสองข้างของการรั่วซึม

รูปที่ 3-38 การซ่อมแซมรอยรั่วซึมที่แผงคอนกรีตผนังพืด

www.yotathai.com

(ง) การปิดอุดรอยต่อระหว่างแผงคอนกรีตผนังพืดด้วยปูนซีเมนต์ผสมก่อนการอัดฉีดสารเคมี

(จ) การอัดฉีดวัสดุเคมีตามหัวฉีดเพื่อให้แทรกซึมเข้าไปตามรอยรั่วซึม

รูปที่ 3-38 การซ่อมแซมรอยรั่วซึมที่แผงคอนกรีตผนังพืด (ต่อ)

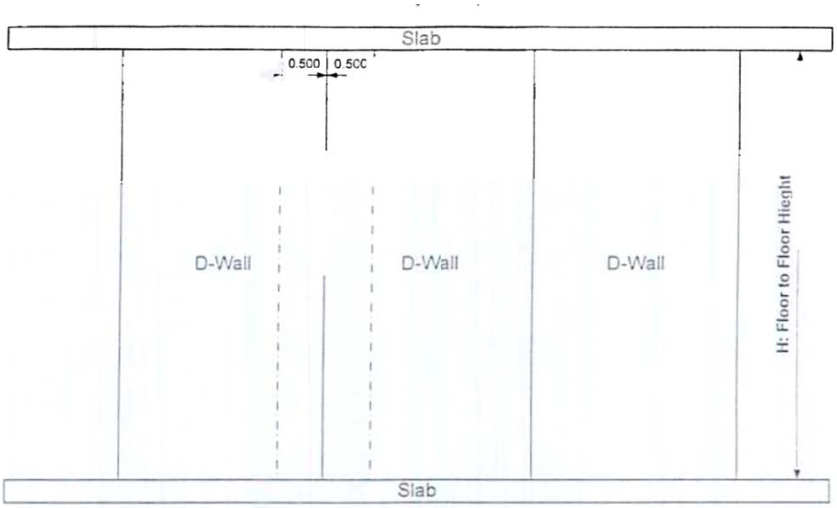
การรั่วซึมที่ยอมรับได้ ในกรณีที่การรั่วซึมของน้ำยังคงมีอยู่หลังจากการฉีดอัดหลายครั้งแล้วก็ตาม แต่มีในปริมาณที่น้อยมาก สามารถตรวจสอบการยอมรับได้โดยอ้างอิงเอกสารข้อกำหนดการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินของบริษัท การท่าอากาศยานกรุงเทพแห่งใหม่ จำกัด (NBIA) ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขไว้ดังนี้

-สำหรับพื้นที่โดยรวม (Overall Area) การรั่วซึมต้องไม่เกิน 5 ml/sq.m./hr

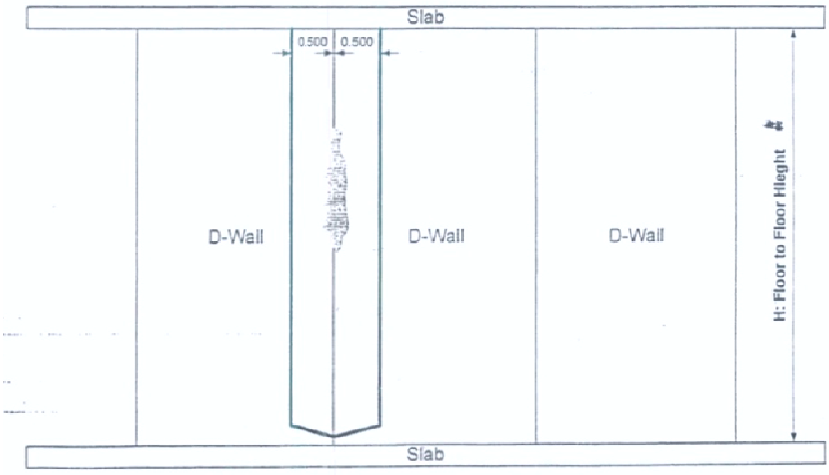
-สำหรับพื้นที่ 100 ตร.ม. ใดๆ การรั่วซึมต้องไม่เกิน 1,000 ml/hr หรือ 10 ml/sq.m./hr

ขั้นตอนการตรวจสอบ ในกรณีที่ต้องการวัดการรั่วซึมสำหรับพื้นที่จำกัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-39

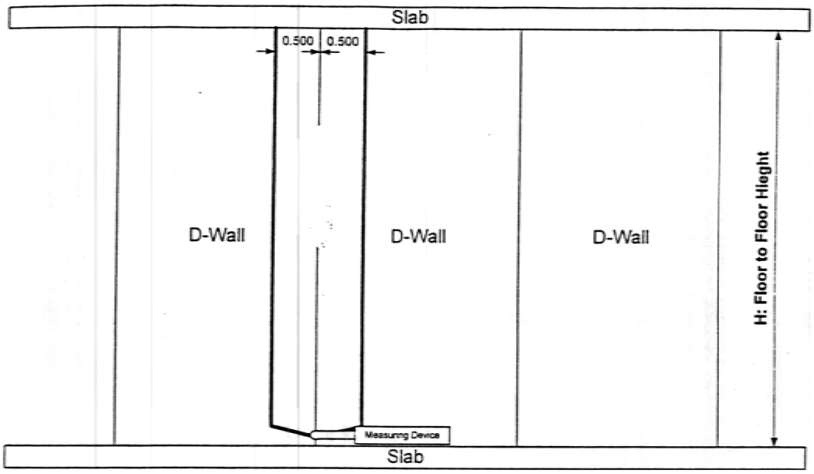
www.yotathai.com



(ก) กำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจวัด



(ข) ใช้ Cement Paste แข็งตัวเร็ว ก่อเป็นแนวคันน้ำและรางรูปตัววี



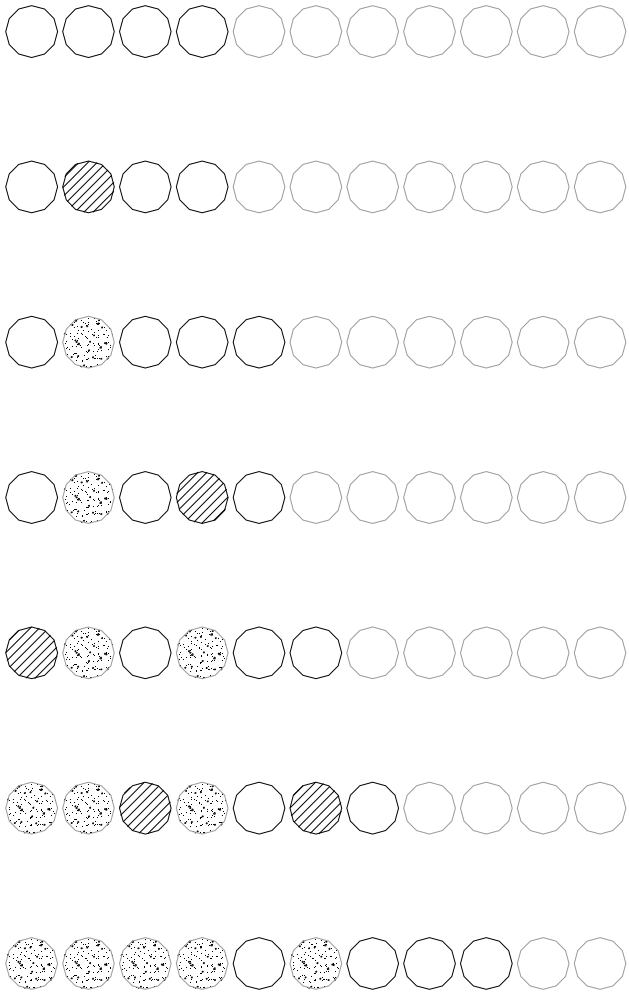
(ค) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำที่ปลายตัววี

รูปที่ 3-39 การวัดการรั่วซึมบนผนังโครงสร้างใต้ดิน

www.yotathai.com

3.4 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Tangent Pile Wall

ระบบผนังกันดินแบบ Tangent Pile Wall ประกอบด้วยเสาเข็มเจาะเรียงติดกันเป็นผนัง โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็มประมาณ 0.10 เมตร ข้อจำกัดในการก่อสร้างคือ เมื่อเทคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว เสาเข็มต้นที่อยู่ติดกันจะไม่สามารถปักปลอกเหล็กลงได้ เนื่องจากคอนกรีตต้นที่เทเสร็จแล้วจะกีดขวางอยู่ใต้ดิน ดังนั้นจะต้องปักปลอกเหล็กให้เรียบร้อย หรือมีเสาเข็มต้นที่เสร็จเรียบร้อยขนาบทั้ง 2 ข้าง จึงจะสามารถเริ่มทำการเจาะเสาเข็มต้นที่ต้องการได้ ตัวอย่างการทำงานโดยใช้ปลอกเหล็ก 4 ชุด



รูปที่ 3-40 ขั้นตอนการก่อสร้าง Tangent Pile Wall

www.yotathai.com

รูปที่ 3-41 การเจาะเสาเข็มสำหรับก่อสร้าง Tangent Pile Wall

3.4.1 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังทางลอดเริ่มจากการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ดังนี้

1) การปัก ปลอกเหล็ก (Casing) เมื่อตรวจสอบตำแหน่งศูนย์เข็มเรียบร้อยแล้ว ใช้ Vibrohammer กดปลอกเหล็ก ลงไปจนลึกถึงชั้นดินแข็งปานกลาง (Medium Clay) ซึ่งในเขตกรุงเทพฯ ต้องกดปลอกเหล็กลึกประมาณ 12-14 เมตร จึงจะสามารถป้องกันน้ำใต้ดินและชั้นดินอ่อนพังทลายเข้ามาในหลุมเจาะได้

ในขณะทำการกดปลอกเหล็กลงในดินนั้น จะมีการตรวจสอบและควบคุมมิให้ปลอกเหล็กคลาดเคลื่อนไปจากศูนย์กลางเข็มไม่เกิน 0.1 เมตร และแนวดิ่งไม่เกิน 1:100

2) การเจาะ เมื่อปักปลอกเหล็กลงถึงความลึกที่ต้องการแล้วจะทำการขุดเจาะเอาดินขึ้นมา โดยใช้เครื่องเจาะแบบ Rotary Drilling Rig ที่มีหัวเจาะแบบสว่าน (Auger) และบุ้งกี๋ (Bucket) ให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม หัวเจาะนี้จะสามารถทำการเจาะได้ลึกตามความยาวของก้านเจาะ (Kelly Bar)

ในช่วงแรกที่ยังเจาะได้โดยไม่มีดินหรือน้ำทลายเข้ามา ก็จะใช้หัวเจาะแบบสว่าน เมื่อเจาะใกล้ถึงชั้นดินปนทราย (Silty Clay/Sandy Clay) ที่น้ำหรือดินสามารถพังทลายเข้ามาได้ จึงจะใส่สารละลายพยุงเสถียรภาพลงไปในหลุมเจาะจนเต็ม แล้วทำการเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบบุ้งกี๋ ทำการเจาะจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ

สารละลายพยุงเสถียรภาพช่วยป้องกันน้ำใต้ดินและการพังทลายของผนังดิน โดยการซึมผ่านเข้าไปในผนังดิน แล้วก่อตัวเป็น Mud Cake ที่ผิวหน้าของผนังหลุมเจาะ และ Hydraulic Head ของสารละลายพยุงเสถียรภาพจะช่วยต้านแรงดันจากด้านข้างมิให้พังเข้ามา จึงต้องตรวจสอบระดับสารละลายในหลุมเจาะขณะทำการเจาะ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของสารละลายจึงมีความสำคัญ โดยมีหัวข้อดังนี้ กรณี สารละลาย Bentonite

- ค่า pH ≥ 7 เนื่องจากสาร Bentonite จะไม่ละลายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด หากใช้สารละลาย Bentonite ที่มีค่า ph < 7 ตัวสาร Bentonite จะตกตะกอนเร็ว และไม่สามารถที่จะพยุงผนังเพื่อป้องกันการพังของหลุมเจาะได้

www.yotathai.com

- ค่าความหนาแน่น (Density) 1.02-1.15 เพื่อเป็นการป้องกันน้ำใต้ดินหากสารละลายมีความหนาแน่นน้อยกว่า 1 จะทำให้น้ำใต้ดินที่เจาะผ่านมาแล้วนั้น เซาะผนังของหลุมเจาะและทำให้เกิดการพังของหลุมเจาะได้ นอกจากส่งผลกระทบถึงการเปลืองคอนกรีตที่ต้องใช้เพิ่มในขั้นตอนการเทแล้ว ยังส่งผลถึงขณะทำการเจาะ ดินที่พังลงมาทับด้านบนของหัวเจาะ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวเจาะติดไม่สามารถนำขึ้นมาได้ จนเป็นสาเหตุของการแก้ไขแบบเนื่องจากเสาเข็มต้นนั้นเสียหาย

- ปริมาณตะกอนทราย (Sand Content) < 5% หากสารละลายมีตะกอนทรายมาก ในขณะทำการเจาะจะทำให้เกิดสารแขวนลอยในหลุมเจาะ ในระหว่างขั้นตอนการลงเหล็กเสริมและเทคอนกรีตตะกอนทรายในสารแขวนลอยจะตกลงมาที่ก้นหลุมเจาะ ทำให้ไม่ได้ความลึกของเสาเข็มตามต้องการ และมีผลต่อการรับน้ำหนักของเสาเข็มหากปลายของเสาเข็มนั่งอยู่บนตะกอนทราย

- ความหนืด (Viscosity) 27-35 sec/Qt ในขณะทำการเจาะเสาเข็มจะมีสารแขวนลอยในหลุมเจาะซึ่งเกิดจากเศษดิน Bentonite ที่ไม่แตกตัว และตะกอนทรายอยู่ในหลุมเจาะ การควบคุมคุณภาพของความหนืดมีส่วนช่วยในการพยุงสารแขวนลอยไม่ให้ตกตะกอนเร็วเกินไป โดยสามารถพยุงสารแขวนลอยได้ประมาณ 3-5 ชั่วโมง หากความหนืดน้อยเกินไปสารแขวนลอยจะตกตะกอนเร็ว แต่หากความหนืดมากเกินไป จะเป็นการเปลืองวัสดุผสมสารละลาย Bentonite เกินความจำเป็น และในขณะเทคอนกรีตก็จะไล่สารละลายขึ้นจากหลุมเจาะยาก

3) การใส่เหล็กเสริม เมื่อเจาะถึงความลึกที่ต้องการแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกสำเร็จเป็นโครงไว้แล้วมาใส่ในหลุมเจาะ โครงเหล็กเสริมแต่ละท่อนจะต่อกันโดยการเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือผูกทาบก็ได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและน้ำหนักของเหล็กเสริม โครงเหล็กเสริมนี้จะมีลูกปูนลักษณะคล้าย Roller ร้อยอยู่ในเหล็กปลอกโดยรอบเป็นระยะๆ เพื่อช่วยประคองโครงเหล็กให้ทรงตัวอยู่ในหลุมเจาะโดยมี Covering ไม่น้อยกว่า 7.5 ซม.

4) การเทคอนกรีต ใช้วิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยการเทผ่านท่อ Tremie Pipe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8” ที่ต่อยาวลงไปถึงก้นหลุมเพื่อป้องกันการแยกตัว (Segregration) ของส่วนผสมคอนกรีต และมี Plug อยู่ในท่อลอยอยู่เหนือสารละลาย เช่น Foam อุดอยู่ เพื่อป้องกันคอนกรีตไม่ให้สัมผัสกับสารละลายโดยตรง เมื่อเทคอนกรีตลงใน Tremie Pipe คอนกรีตจะดัน Plug ออกไปทางปลายท่อด้านล่างซึ่งอยู่เหนือก้นหลุมเพียงเล็กน้อยพอให้คอนกรีตไหลได้สะดวก คอนกรีตที่พุ่งออกมาอย่างแรงจะดันตะกอนก้นหลุมที่อาจหลงเหลือมีอยู่บ้างและ Plug ให้ลอยขึ้นมา ซึ่งจะมีแต่เนื้อคอนกรีตดีลงไปแทนที่อยู่ก้นหลุม และเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนหรือสารละลายเข้ามาปะปนกับคอนกรีตดีได้

การเทคอนกรีตจะต้องระมัดระวังการตัด Tremie Pipe จะต้องทำการตรวจสอบระดับของคอนกรีตทุกครั้งก่อนจะทำการตัด เพื่อรักษาปลาย Tremie Pipe ให้จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลาของการเทคอนกรีต โดยมีระยะจมอย่างน้อย 2 เมตร ตะกอนและสารละลายจึงจะ

www.yotathai.com

ถูกดันลอยขึ้นมาตลอดเวลา จนมาอยู่ส่วนบนของหัวเสาเข็ม เมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับแล้วจะต้องเทคอนกรีตต่อจนเห็นคอนกรีตดี

ตรวจสอบระดับคอนกรีตอยู่เสมอ หากระดับคอนกรีตไม่สูงขึ้นตามระดับของปริมาณคอนกรีตที่เท อาจสันนิษฐานได้ว่าผนังหลุมเจาะพังในระหว่างทำการเจาะ ทำให้ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตมากกว่าปกติ เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขการควบคุมคุณภาพของสารละลายพยุงเสถียรภาพต่อไป

5) การถอนปลอกเหล็ก ต้องถอนออกก่อนคอนกรีตจะแข็งตัว หลังจากเทคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการและทำการไล่หัวเข็มจนสารละลายพยุงเสถียรภาพออกหมด จึงใช้ Vibrohammer ดึงปลอกเหล็ก โดยเล็งดิ่งทั้ง 2 แกน ควบคุมให้อยู่ในแนวดิ่ง เพื่อป้องกันการพังของดิน การเคลื่อนตัวของเหล็ก และการหนีศูนย์ของเสาเข็ม หลังจากถอนปลอกเหล็กเสร็จจะต้องไม่ไปกระทบกระเทือนกับเสาเข็มต้นนั้นจนกว่าคอนกรีตจะแข็งตัว ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง และระยะใกล้เคียงที่จะทำงานได้ควรมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

6) หลังจากขั้นตอนขุดเปิดหน้าดิน และก่อสร้างโครงสร้างพื้นทางลอด จะต้องดำเนินการสกัดผิวเสาเข็มและเทคอนกรีตปิดผนังต่อไป

รูปที่ 3-42 เครื่องจักรขุดเปิดหน้าดินและติดตั้งค้ำยัน

รูปที่ 3-43 เทคอนกรีตหยาบ

รูปที่ 3-44 สกัดผิวเสาเข็ม

รูปที่ 3-45 เทคอนกรีตกำแพงหน้า

www.yotathai.com

3.5 การก่อสร้างผนังกันดินแบบ Secant Pile Wall

ปัจจุบัน กรมทางหลวงยังไม่เคยมีการดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างผนังกันดินแบบ Secant Pile Wall แต่สามารถแสดงรูปการก่อสร้างจากเอกสารเผยแพร่ทั่วไปได้ดังรูปที่ 3-46 และ 3-47

รูปที่ 3-46 Reinforced Concrete Guide Wall ที่ด้านในจะทำเป็นเบ้ารูปวงกลม (Nick Wharmby, 2010)

รูปที่ 3-47 ลักษณะของผนังกำแพงกันดินที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

(Nick Wharmby, 2010)

www.yotathai.com

3.6 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม

- ให้พิจารณาตรวจสอบรูปแบบการก่อสร้างในขั้นตอนการขุดดิน เพื่อประกอบการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวป้องกันการเคลื่อนตัวของผนังทางลอด

- ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมของผนังทางลอด ขอให้ติดตามตรวจสอบข้อมูลการเคลื่อนตัว เพื่อป้องกันความเสียหายในระหว่างการขุดเปิด

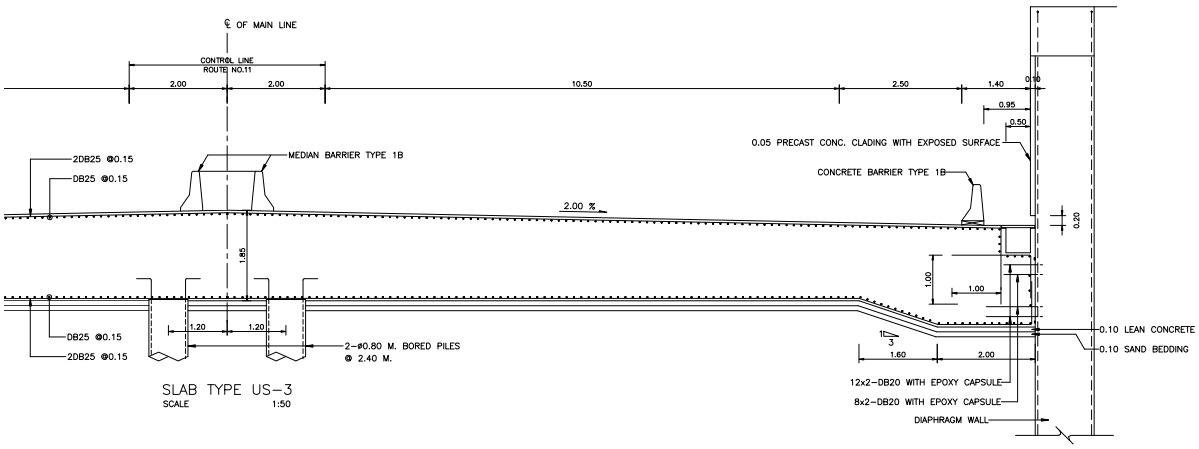
- ทำความเข้าใจขั้นตอนการก่อสร้างที่แนะนำในแบบก่อสร้าง หรือประสานงานกับผู้ออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการสลับขั้นตอนการทำงาน

- ปัญหาทางน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเฉพาะแต่ละพื้นที่ ซึ่งบางกรณี ในระหว่างการก่อสร้างจะแก้ไขปัญหาโดยการทำทางน้ำไหลและเตรียมการรองรับปริมาณน้ำดังกล่าว

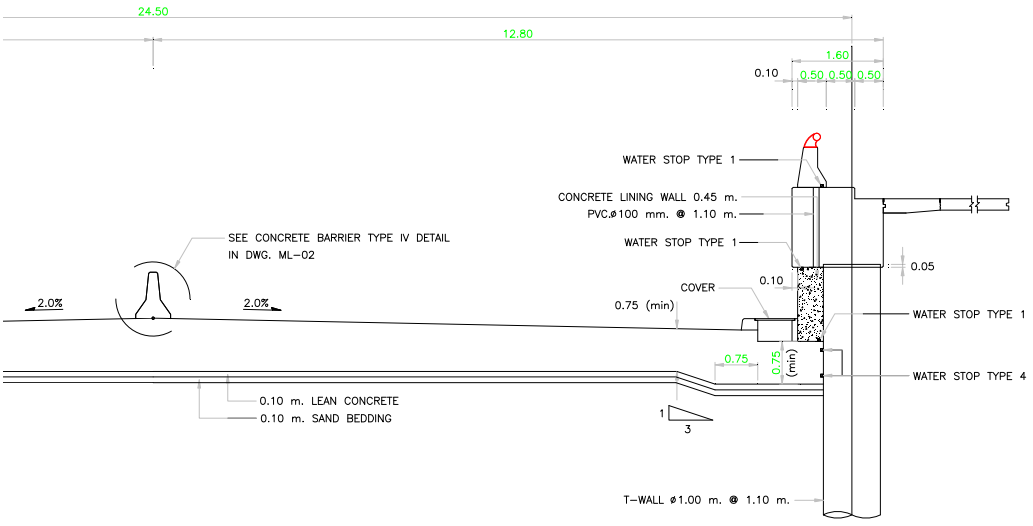
www.yotathai.com

4. งานพื้นทางลอด
(Base Slab)

การก่อสร้างพื้นทางลอด(Base Slab) ต้องคำนึงถึงสภาพดินและปริมาณน้ำใต้ดินซึ่งมีผลอย่างมาก เนื่องจากพื้นทางลอดต้องก่อสร้างในระดับที่ต่ำกว่าระดับถนนโดยรอบ 1-10 เมตร และไม่มีการบดอัดพื้นทางเหมือนถนน โครงสร้างของผนังทางลอดและพื้นแต่ละช่วงจึงไม่เหมือนกันเช่น ช่วงต้นทาง(บริเวณปากทางลอด) ผนังทางลอดเป็นกำแพงกันดิน(Retaining Wall) พื้นทางลอดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กตั้งอยู่บนเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักบรรทุก ช่วงกลางผนังทางลอดเป็นโครงสร้างผนังกันดินของทางลอด ซึ่งอาจเป็น Diaphragm Wall (D-Wall) หรือ Tangent Pile หรือรูปแบบอื่นใดที่กล่าวแล้วในบทงานผนังทางลอด พื้นทางลอดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กมีความหนามากกว่า 1.50 เมตร ตั้งบนเสาเข็มเจาะเพื่อรับแรงดันเนื่องจากน้ำใต้ดินและแรงกดทับโดยรอบ



รูปที่ 4-1 ตัวอย่างรูปตัดพื้นทางลอด (Base Slab) แยกปอยหลวง



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างรูปตัดพื้นทางลอด (Base Slab) ทางลอดขอนแก่น

www.yotathai.com

4.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง

เมื่อก่อสร้างคานรัด (Cap Beam) สำหรับโครงสร้างผนังทางลอด เช่น Diaphragm Wall หรือ Tangent Pile Wall เป็นต้น แล้วเสร็จ จะสามารถขุดเปิดชั้นดินเพื่อก่อสร้างส่วนค้ำยันได้ ทั้งนี้หากผู้รับจ้างมีเครื่องจักรและแรงงานเพียงพอก็สามารถขุดเปิดดินเพื่อก่อสร้างพื้นทางลอด (Base Slab) จากทั้งสองด้านของทางลอด จนมาบรรจบกัน ณ บริเวณกึ่งกลางทางลอด โดยจะทำการก่อสร้างเป็นช่วงๆ และก่อสร้างเป็น Construction Joint ที่บริเวณรอยต่อ ขั้นตอนโดยสรุปมีดังนี้

รูปที่ 4-3 คานรัดแนวกำแพง (Cap Beam) ก่อนดำเนินการขุดเปิด

4.1.1 ดำเนินการตอกและ/หรือเจาะเสาเข็มรวมทำการทดสอบตามแบบกำหนด โดยไม่ต้องขุดดินเดิมออก (บางกรณีจะมีการใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม หรือ Barrette Pile) แต่การควบคุมระดับปลายเสาเข็มต้องอยู่ในการควบคุมของช่างควบคุมงานตลอดเวลาเพื่อให้ได้ระยะตามที่แบบกำหนด

รูปที่ 4-4 เสาเข็มเจาะสำหรับโครงสร้าง Base Slab

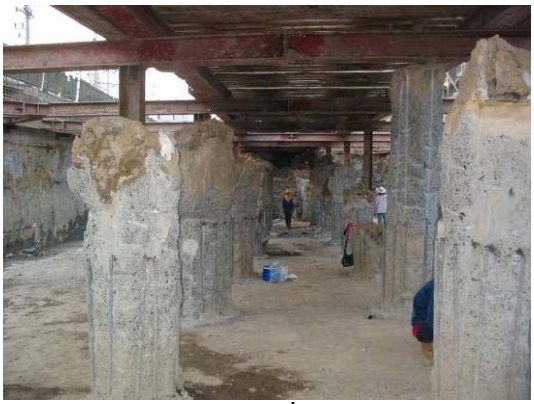
www.yotathai.com

รูปที่ 4-5 เสาเข็ม Barrette Pile สำหรับโครงสร้าง Base Slab

4.1.2 เริ่มก่อสร้างพื้นทางลอดโดยขุดดินตามค่าระดับของ Profile Grade ด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันเสาเข็มเสียหายจากการทำงานของเครื่องจักร

4.1.3 ระมัดระวังการติดตั้งระบบค้ำยันผนังให้เหมาะสมกับระดับความลึกของดินที่ขุด เพราะหากขุดลึกเกินไปโดยไม่มีการค้ำยันที่เหมาะสม อาจเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างผนังทางลอดได้ บางแห่งจะมีการออกแบบก่อสร้าง R.C. Bracing ค้ำยันผนังพืดและอยู่ถาวร

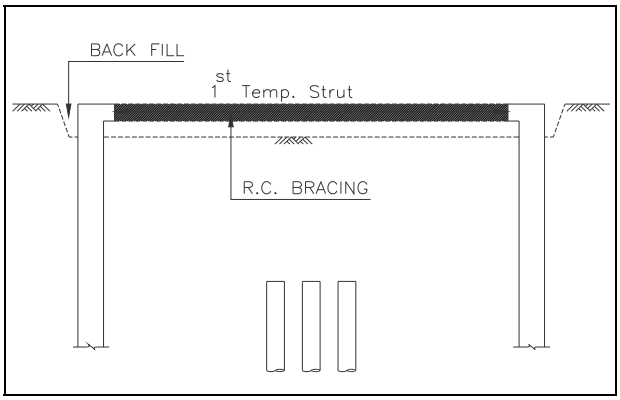
รูปที่ 4-6 ระบบค้ำยันและงานขุดดิน



รูปที่ 4-7 ภายหลังงานขุดจนใกล้เคียงระดับที่ต้องการ

www.yotathai.com

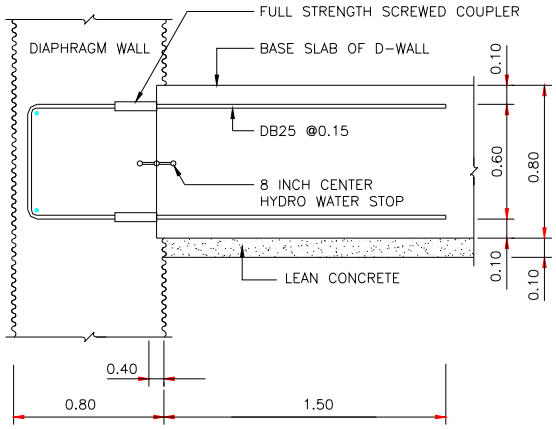
รูปที่ 4-8 ขุดเปิดชั้นดินทีละช่วงและพื้น Lean Concrete เพื่อก่อสร้างส่วนค้ำยันเป็นช่วงๆ



รูปที่ 4-9 R.C. Bracing ของทางลอดที่ปากเกร็ด

4.1.4 เมื่อขุดดินออกจนถึงระดับที่กำหนด โดยตรวจสอบจากกล้องแล้ว ให้ตรวจสอบตำแหน่งระดับของข้อต่อ (Coupler) ผนังพืด ที่ได้ติดไว้กับผนังพืดก่อนการเทคอนกรีตว่ามีระดับถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้จากระดับ +/- 75 มิลลิเมตร

www.yotathai.com



รูปที่ 4-10 Coupler ที่ฝังเตรียมไว้ในโครงสร้างผนังพืด

4.1.5 หากเหล็ก Coupler มีระดับผิดพลาดเกินกว่าที่กำหนด ผู้รับจ้างต้องแจ้งและเสนอวิธีการแก้ไขให้วิศวกรทราบทันที เพื่อพิจารณาและอนุมัติให้ก่อสร้าง

4.1.6 ในจุดที่ต้องเจาะผนังพืดเพื่อทำการต่อเหล็ก Dowel ยึดผนังพืดกับพื้นทางลอด ผู้รับจ้างต้องเจาะและทำความสะอาดรูเจาะให้ได้ระยะสุทธิตามกำหนดก่อนดำเนินการต่อไป

4.1.7 ขุดแต่งดินให้ได้รูปแบบตามที่กำหนด

4.1.8 ติดตั้งระบบระบายน้ำใต้ดิน

4.1.9 เทคอนกรีตหยาบ ตามระดับที่ตรวจสอบแล้ว

4.1.10 ผูกเหล็กพื้น ให้ได้ตามระดับที่กำหนด

4.1.11 เข้าแบบตามระยะที่ผูกเหล็กไว้ ในส่วนที่ต้องเทคอนกรีตต่อต้องทำ Construction Joint โดยผู้รับจ้างต้องเสนอรูปแบบการเสริมวัสดุกันน้ำซึมให้วิศวกรผู้ว่าจ้างอนุมัติก่อน

4.1.12 เทคอนกรีต ตามรูปแบบและตกแต่งให้เรียบร้อย

รูปที่ 4-11 เหล็กเสริมพื้น Base Slab

รูปที่ 4-12 การตรวจสอบระดับหลังทางและการทำความสะอาดพื้นก่อนเทคอนกรีต

รูปที่ 4-13 แสดงการเทคอนกรีตพื้น Base Slab

www.yotathai.com

4.1.13 รายการตรวจสอบ (Checklist)

- ระดับท้องพื้นและระดับหลังทาง Base Slab ต้องได้ระดับตามแบบ ทั้งนี้จะต้องคิดหักความหนาของชั้น Sand Bedding และ Lean Concrete ด้วย
- ตรวจสอบการเสริมเหล็กให้ถูกต้องตามแบบ ทั้งปริมาณและระยะห่าง
- ตรวจสอบว่ารอยต่อเป็นแบบ Expansion Joint หรือแบบ Construction Joint
- ด้านข้างติดตั้งระบบป้องกันน้ำใต้ดินรั่วซึม (Water Stop) ขึ้นมาหรือไม่
- ล้างทำความสะอาดพื้นก่อนการเทคอนกรีต

รูปที่ 4-14 ติดตั้งระบบป้องกันน้ำใต้ดินรั่วซึม (Water Stop) ที่ Construction Joint

www.yotathai.com

4.2 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม

- ให้พิจารณาตรวจสอบรูปแบบการก่อสร้างในขั้นตอนการขุดดิน เพื่อประกอบการติดตั้งโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวป้องกันการเคลื่อนตัวของผนังทางลอด

- ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมของผนังทางลอด ขอให้ติดตามตรวจสอบข้อมูลการเคลื่อนตัว เพื่อป้องกันความเสียหายในระหว่างการขุดเปิด

- ทำความเข้าใจขั้นตอนการก่อสร้างที่แนะนำในแบบก่อสร้าง หรือประสานงานกับผู้ออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการสลับขั้นตอนการทำงาน

- ปัญหาทางน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเฉพาะแต่ละพื้นที่

- ในบางกรณี จะมีการออกแบบชั้นระบายน้ำโดยวัสดุจำพวก Geotextile เพื่อระบายน้ำใต้พื้นทางลอดให้ระบายไปในทิศทางที่เหมาะสม และมีส่วนช่วยลดแรงดันที่จะกระทำกับโครงสร้างพื้นทางลอด

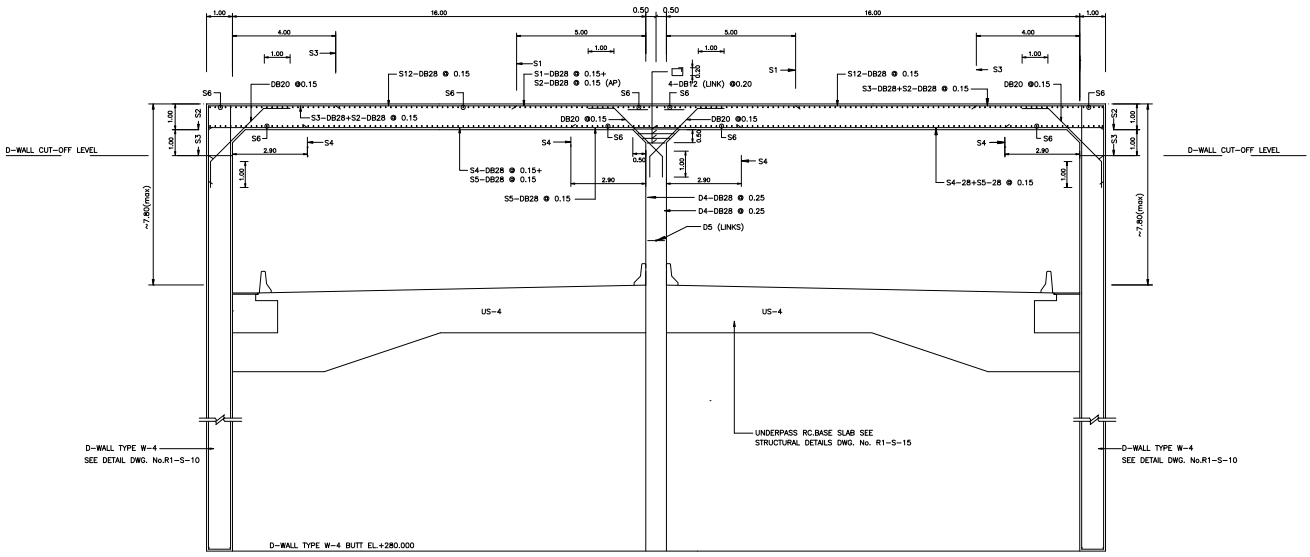
www.yotathai.com

5. งานหลังคาทางลอด
(Top Slab)

งานหลังคาทางลอด เป็นโครงสร้างส่วนที่ใช้ในการเดินรถผ่านจุดตัดทางแยกหรือกลับรถ การก่อสร้างหลังคาทางลอดทำได้หลายวิธี โดยก่อสร้างเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนผนังทางลอด (ทางลอดแยกปากเกร็ดและแยกปอยหลวง) หรือพื้นคอนกรีตอัดแรงตั้งบนผนังทางลอด (ทางลอดที่แยกหลักสี่) หรือก่อสร้างคานคอนกรีตอัดแรงวางบนผนังทางลอดแล้วจึงเทพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กบนหลังคานอีกชั้นหนึ่ง (ทางลอดแยกข่วงสิงห์และแยกศาลเด็ก)

5.1 หลังคาทางลอดรูปแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนผนังทางลอด

การก่อสร้างโครงสร้างหลังคาทางลอด อาจก่อสร้างบนพื้นดินเดิมแล้วขุดดินด้านใต้ออกในภายหลัง หรือ ขุดดินในทางลอดออกแล้วจึงก่อสร้างก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการทำงานของวิศวกร แต่ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เป็นการก่อสร้างบนพื้นดินเดิมแล้วขุดดินด้านใต้ออกในภายหลัง



รูปที่ 5-1 แสดงรูปตัดหลังคาทางลอดรูปแบบสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก
ช่วงทางลอดทางแยก ทางหลวงหมายเลข 11 ตัดกับ ทางหลวงหมายเลข 1006

5.1.1 เมื่อก่อสร้างผนังทางลอดทั้งสองด้านแล้วเสร็จ ให้ขุดดินบริเวณที่จะก่อสร้างหลังคาทางลอดให้ได้ค่าระดับที่ต้องการ (ระดับท้องหลังคาทางลอดรวมลดระดับสำหรับคอนกรีตหยาบ

www.yotathai.com

รองพื้นหรือวัสดุรองพื้นอื่นๆ) แล้วบดอัดดินให้มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักคอนกรีตทั้งหมดได้ ขุดและตกแต่งดินให้ได้รูปแบบแล้วจึงเทคอนกรีตหยาบรองพื้นเพื่อความสะดวกในการทำงาน

5.1.2 อาจปูทับพื้นคอนกรีตหยาบด้วยแผ่นไม้อัดเป็นไม้แบบอีกชั้นหนึ่งป้องกันการเกาะติดของคอนกรีตหลังคาทางลอดกับคอนกรีตหยาบ ซึ่งจะทำให้เป็นตำหนิไม่สวยงาม

การเตรียมพื้นที่ก่อนเทคอนกรีตหยาบ

รูปที่ 5-2 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้างหลังคาทางลอดบนคอนกรีตหยาบ

เทอนกรีตหยาบ

รูปที่ 5-2 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้างหลังคาทางลอดบนคอนกรีตหยาบ (ต่อ)

www.yotathai.com

พื้นดินที่บดทับแน่น และเสริมด้วยเสาเข็มไม้

การจัดวางไม้แบบท้องพื้น

รูปที่ 5-3 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้างหลังคาทางลอดบนแผ่นไม้แบบ

www.yotathai.com

5.1.3 ทาน้ำมันทาแบบ ลงเหล็ก ประกอบแบบ แล้วเทคอนกรีตตามรูปแบบ

5.1.4 ควรวางแผนเทคอนกรีตทั้งหมดในครั้งเดียวเพื่อความต่อเนื่อง

รูปที่ 5-4 งานเหล็กเสริมและทำความสะอาด

รูปที่ 5-5 งานเทคอนกรีตและเก็บรายละเอียดผิวคอนกรีต

www.yotathai.com

รูปที่ 5-6 แสดงเหล็กเสริมและการเทคอนกรีตพื้นสะพานให้เสร็จในครั้งเดียว

www.yotathai.com

5.1.5 เมื่อคอนกรีตได้อายุครบจึงขุดดินใต้พื้นหลังคาทางลอดออก การขุดจะขุดจากด้านนอกเข้าไปใต้พื้นหลังคาทางลอด ส่วนที่เป็นวัสดุที่ใช้รองพื้น เช่น คอนกรีตหยาบ หรือ แผ่นไม้แบบจะหลุดร่อนออกจากหลังคาทางลอด พยายามอย่าให้เครื่องจักรกระทบกับคอนกรีตใต้พื้นเพราะจะทำให้เกิดตำหนิและยากต่อการซ่อม ในบางกรณี คอนกรีตหยาบจะเกาะติดไม่หลุดร่อนออกจากหลังคาทางลอด ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากน้ำมันทาแบบที่แห้ง

5.1.6 รายการตรวจสอบ (Checklist)

- ระดับดินเดิมต้องได้ระดับท้องสะพานพร้อมบดทับให้แน่น
- แก้ปัญหาบริเวณที่เกิด Soft Spot โดยแทนที่ด้วยดินลูกรังพร้อมบดทับให้แน่น
- สามารถเสริมความแข็งแรงของฐานไม้แบบด้วยเสาเข็มไม้โดยให้ตอกเข็มรองรับแบบ Dia. 2 inch x o.50 m. @ 0.60 m. ตลอดความกว้างของไม้แบบ
- ปรับระดับท้องพื้นด้วยทรายบดทับแน่น หนา 5 ซม. และ คอนกรีตหยาบหนา 5 ซม.
- ในกรณีที่วางไม้แบบบนคอนกรีตหยาบ ให้จัดวางตำแหน่งไม้แบบให้รอยต่อระหว่างแผ่นตรงกันเป็นแนวยาว ทั้งนี้ให้เก็บเศษของไม้แบบไว้บริเวณด้านริมของความกว้างสะพาน
- อุดปิดรอยต่อ ระหว่างไม้แบบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำปูนเกิดการรั่วออก

รูปที่ 5-7 โครงการก่อสร้างแล้วเสร็จ

www.yotathai.com

5.2 หลังคาทางลอดรูปแบบคานคอนกรีตอัดแรงวางบนผนังทางลอด

การก่อสร้างโครงสร้างหลังคาทางลอดโดยใช้คานคอนกรีตอัดแรงวางบนผนังทางลอด จะทำการขุดเปิดดินเดิมจนถึงระดับที่สามารถติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงได้ แล้วทำการก่อสร้างพื้นสะพาน

5.2.1 เมื่อก่อสร้างผนังทางลอดทั้งสองด้านแล้วเสร็จ ให้ขุดดินบริเวณที่จะก่อสร้างหลังคาทางลอดให้ได้ระดับที่เพียงพอต่อการทำงานติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรง (ในบางกรณี จะใช้พื้นที่บริเวณดังกล่าวนี้ในการผลิตคานคอนกรีตอัดแรงในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งต้องบดอัดดินหรือเตรียมนั่งร้านที่แข็งแรงเพียงพอ)

5.2.2 ผลิตคานคอนกรีตอัดแรงตามรูปแบบ

5.2.3 เตรียมจุดรองรับให้มีความพร้อม (Bearing Pad) เมื่อคอนกรีตได้อายุตามข้อกำหนด ยกวางในตำแหน่งที่ต้องการ

5.2.4 ตั้งนั่งร้านเพื่อปูแบบพื้นสะพานระหว่างคาน หรือ บางกรณี แบบฯระบุให้ใช้แผ่น Precast Form วางพาดระหว่างคานเป็นแบบพื้นสะพาน

5.2.5 ลงเหล็ก ประกอบแบบ แล้วเทคอนกรีตตามรูปแบบ

5.2.6 ควรวางแผนเทคอนกรีตทั้งหมดในครั้งเดียวเพื่อความต่อเนื่อง

5.2.7 รายการตรวจสอบ (Checklist)

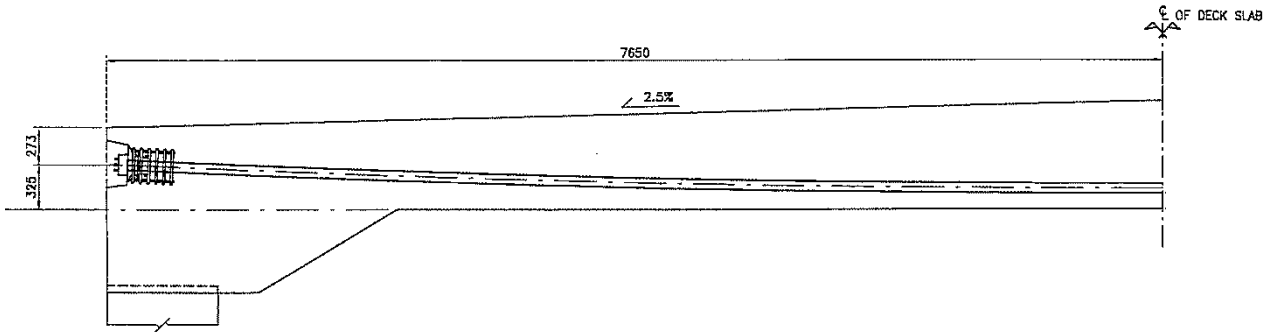
- ระดับการติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรง และระดับพื้นสะพาน ต้องคำนึงถึงระยะโก่ง (Pre-Camber)

รูปที่ 5-8 รูปแบบคานคอนกรีตอัดแรงวางบนผนังทางลอด

www.yotathai.com

5.3 หลังคาทางลอดรูปแบบพื้นคอนกรีตอัดแรง

การก่อสร้างโครงสร้างหลังคาทางลอดโดยใช้ระบบอัดแรง (Post-Tension) วางบนผนังทางลอด จะทำการขุดเปิดดินเดิมจนถึงระดับที่สามารถก่อสร้างพื้นสะพานได้ มีลักษณะภาพรวมคล้ายงานก่อสร้างหลังคาทางลอดที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 5-9 แสดงรูปตัดหลังคาทางลอดรูปแบบพื้นคอนกรีตอัดแรง ทางหลวงหมายเลข 402 จ.ภูเก็ต

5.3.1 เมื่อก่อสร้างผนังทางลอดทั้งสองด้านแล้วเสร็จ ให้ขุดดินบริเวณที่จะก่อสร้างหลังคาทางลอดให้ได้ค่าระดับที่ต้องการ (ระดับท้องหลังคาทางลอดรวมลดระดับสำหรับคอนกรีตหยาบรองพื้นหรือวัสดุรองพื้นอื่นๆ) แล้วบดอัดดินให้มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักคอนกรีตทั้งหมดได้ ขุดและตกแต่งดินให้ได้รูปแบบแล้วจึงเทคอนกรีตหยาบรองพื้นเพื่อความสะดวกในการทำงาน

5.3.2 อาจปูทับพื้นคอนกรีตหยาบด้วยแผ่นไม้อัดเป็นไม้แบบอีกชั้นหนึ่งป้องกันการเกาะติดของคอนกรีตหลังคาทางลอดกับคอนกรีตหยาบ ซึ่งจะทำให้เป็นตำหนิไม่สวยงาม

5.3.3 ทาน้ำมันทาแบบ ลงเหล็กเสริมและลวดอัดแรง ประกอบแบบ แล้วเทคอนกรีตตามรูปแบบ

รูปที่ 5-10 เตรียมพื้นที่ก่อสร้างก่อนลงเหล็กเสริมและลวดอัดแรง

รูปที่ 5-11 งานเหล็กเสริมและลวดอัดแรง

www.yotathai.com

รูปที่ 5-12 งานอัดแรงเมื่อคอนกรีตได้กำลังตามที่กำหนด

5.3.4 เมื่อคอนกรีตมีกำลังรับน้ำหนักตามที่กำหนด ทำการดึงลวดอัดแรง

5.3.5 ควรวางแผนเทคอนกรีตทั้งหมดในครั้งเดียวเพื่อความต่อเนื่อง

5.3.6 เมื่อคอนกรีตได้อายุครบจึงขุดดินใต้พื้นหลังคาทางลอดออก การขุดจะขุดจากด้านนอกเข้าไปใต้พื้นหลังคาทางลอด ส่วนที่เป็นวัสดุที่ใช้รองพื้น เช่น คอนกรีตหยาบ หรือ แผ่นไม้แบบจะหลุดร่อนออกจากหลังคาทางลอด พยายามอย่าให้เครื่องจักรกระทบกับคอนกรีตใต้พื้นเพราะจะทำให้เกิดตำหนิและยากต่อการซ่อม ในบางกรณี คอนกรีตหยาบจะเกาะติดไม่หลุดร่อนออกจากหลังคาทางลอด ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากน้ำมันทาแบบที่แห้ง

5.4 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม

5.4.1 ระดับหลังคาทางลอด ควรต้องสัมพันธ์กับระดับผิวจราจรบริเวณทางแยกหรือถนนด้านข้าง อีกทั้งต้องมีความสูงจากพื้นทางลอดที่เหมาะสม

5.4.2 ศึกษาแบบก่อสร้างเกี่ยวกับกลไกที่โครงสร้างหลังคาทางลอดถ่ายแรงลงสู่ผนังทางลอด เช่น หากเป็นลักษณะ Simple Support ก็ต้องระวังไม่ให้เกิดจุดยึดรั้งทั้งชั่วคราวและถาวรซึ่งอาจเป็นผลเสียต่อโครงสร้างได้ หรือหากการยึดรั้งเป็นลักษณะ Fix ที่ต้องรับโมเมนท์ ก็ควรระมัดระวังรายละเอียดเหล็กเสริมหรือการเทคอนกรีตให้จุดยึดรั้งสามารถรับแรงได้

www.yotathai.com

6. งานระบบ
(System Work)

งานระบบที่กล่าวถึงในที่นี้ จะกล่าวถึงเฉพาะบางระบบที่ได้มีการใช้งานในโครงการก่อสร้างทางลอดของกรมทางหลวง อย่างไรก็ตาม เนื้อหาทางทฤษฎีของงานระบบที่กล่าวถึงในบทนี้และงานระบบอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ได้รวบรวมไว้แล้วในบทที่ 2 เรื่อง เกี่ยวกับการออกแบบ

6.1 ระบบระบายน้ำ

6.1.1 ระบบระบายน้ำของทางลอด จะอยู่ที่จุดต่ำสุดของระดับพื้นทางลอดเพื่อรับน้ำจากพื้นทางลอดทั้งหมดลงสู่บ่อเก็บน้ำแล้วทำการสูบระบายออกทิ้ง ด้วยเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติชนิดจุ่มแช่ (Submersible Pump) บ่อกักเก็บน้ำนี้อาจก่อสร้างไว้ด้านนอกผนังทางลอดโดยก่อสร้างเป็นผนังอุโมงค์ต่อกันทั้งสี่ด้านมีความลึกและสูงเท่าผนังทางลอดสามารถเก็บน้ำได้เป็นจำนวนมาก เช่น ทางลอดหลักสี่ กรุงเทพฯ บางแห่งอาจก่อสร้างไว้ภายในทางลอดโดยก่อสร้างเป็นบ่อเก็บน้ำด้านข้างผนังในจุดต่ำสุดของพื้นทางลอดบ่อชนิดนี้กักเก็บน้ำได้น้อยกว่า เช่น ทางลอดข่วงสิงห์และทางลอดศาลเด็ก จ.เชียงใหม่ ในขณะที่ทางลอดปากเกร็ด จ.นนทบุรี จะก่อสร้างเป็นบ่อเก็บน้ำไว้ด้านใต้พื้นทางลอดในจุดต่ำสุด แต่สำหรับที่ทางลอดแยกเกษตรฯ กรุงเทพฯ จะก่อสร้างเป็นบ่อเก็บน้ำแยกห่างจากตัวทางลอด

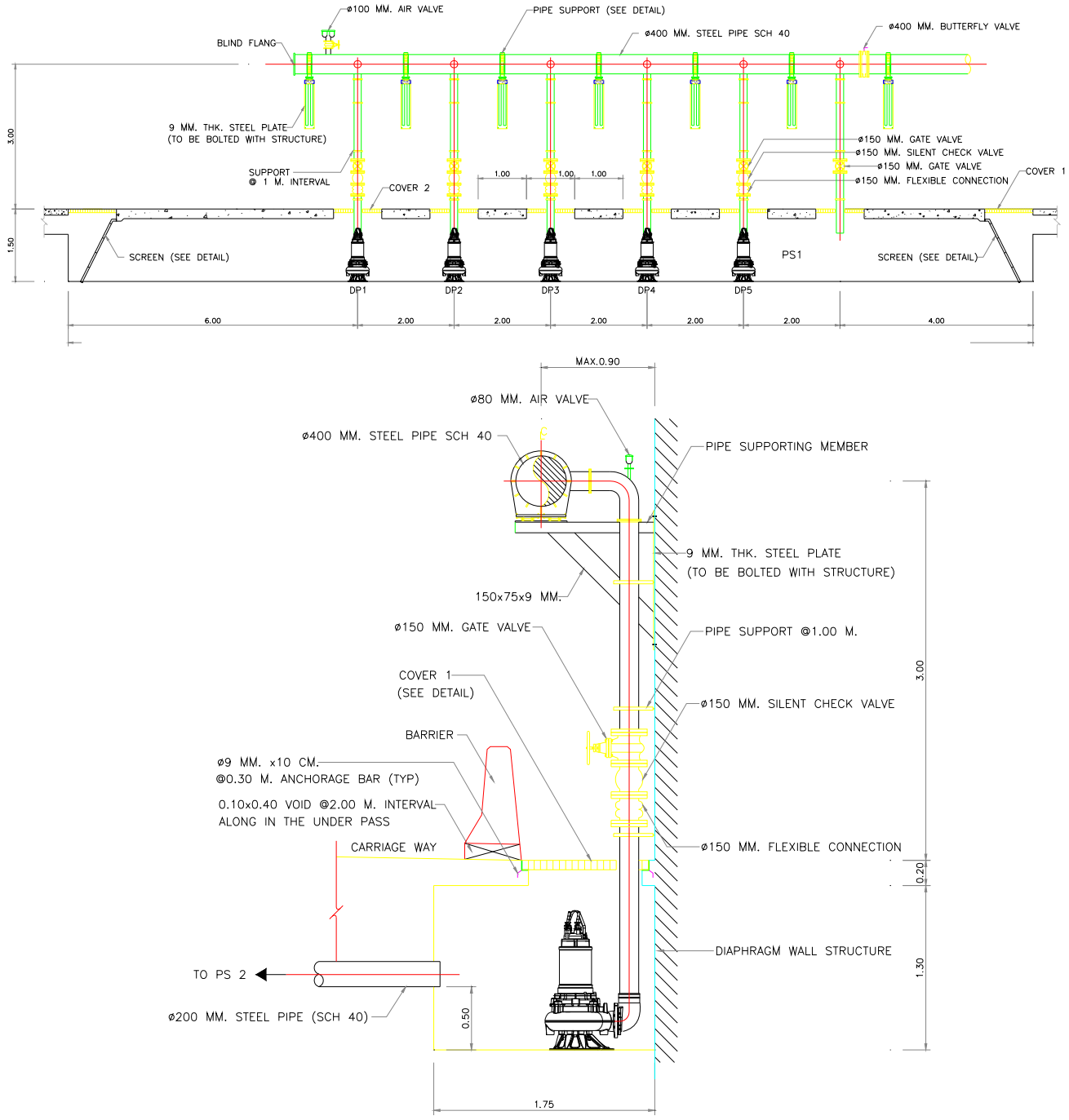
รูปที่ 6-1 การก่อสร้างบ่อพักน้ำด้านใต้พื้นทางลอดในจุดต่ำสุดของทางลอดปากเกร็ด

6.1.2 สำหรับทางลอดแยกปอยหลวง กำหนดให้มีบ่อพักน้ำอยู่ที่ระดับต่ำสุดของอุโมงค์ ทั้ง 2 ฝั่ง และทำการสูบน้ำโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำแบบ Submersible Sewage Pump จำนวน 10 เครื่อง (ด้านละ 5 เครื่อง) โดยจะควบคุมเครื่องสูบน้ำได้จากห้อง Control Building ที่ก่อสร้างอยู่ด้านบนของทางแยก และระบบควบคุมจะต้องสามารถทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติ หรือแบบควบคุมด้วยคน ทั้งนี้หากเกิดกระแสไฟจากการไฟฟ้าขัดข้อง จะต้องมีเครื่องปั่นไฟฟ้าสำรองด้วย

6.1.2.1บ่อพักน้ำ (Sump Pump) ในพื้น Base Slab และเครื่องสูบน้ำ แบบ Submersible Sewage Pump รวมทั้งระบบท่อลำเลียงน้ำ

www.yotathai.com

ผู้รับจ้างได้เลือกใช้เครื่องสูบน้ำ ของบริษัท KJI จำกัด รุ่น 150 KSE 19 4T3 ซึ่งทางโครงการฯ ได้เสนอรายละเอียดให้ผู้ออกแบบตรวจสอบคุณสมบัติ โดยได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบให้ใช้เครื่องสูบน้ำรุ่นดังกล่าวได้ ทั้งนี้ขอให้โครงการฯ ตรวจสอบอัตราการสูบน้ำที่บริเวณหน้างานอีกครั้งหนึ่ง เมื่อติดตั้งระบบแล้วเสร็จ



รูปที่ 6-2แบบการติดตั้ง เครื่องสูบน้ำในโครงการฯ

www.yotathai.com

ตารางที่ 6-1 รายการข้อกำหนดของเครื่องสูบน้ำ

หัวข้อ	ข้อกำหนดของเครื่องสูบน้ำ	เครื่องสูบน้ำ KJI รุ่น 150 KSE 19 4T3
1	TYPE : SUBMERSIBLE SEWAGE PUMP	TYPE : SUBMERSIBLE SEWAGE PUMP
2	FUNCTION : STORM DRAIN PUMP	FUNCTION : STORM DRAIN PUMP
3	NUMBER : 10 UNITS INSTALL	*NUMBER : 10 UNITS INSTALL*
4	CAPACITY : 230 CUM./HR AT 16 m TDH (3.833 m^3/min)	*CAPACITY : 230 CUM./HR AT 16 m TDH* (3.833 m^3/min)
5	SPEED : 1450 RPM	SPEED : 1450 RPM
6	DRIVING MOTOR : 3 PHASE, 380V, 50Hz. 17 KW.(APPROX.), EFFICIENCY ≥ 72%	DRIVING MOTOR: 3 PHASE, 380V, 50Hz. 19 KW., EFFICIENCY ≥ 85.6%
7	THE GUIDERAIL USE DOUBLE WIRESTEEL	THE GUIDERAIL USE DOUBLE WIRESTEEL
8	THE PUMP USE FLOAT LEVEL SWITCH	THE PUMP USE FLOAT LEVEL SWITCH
9	CONTROLTHE IMPELLER IS CAST IRON STEEL ANDNON-CLOG TYPE	CONTROL THE IMPELLER IS CAST IRON STEEL AND NON-CLOG TYPE
10	THE MOTOR OF PUMP IS 3 PHASE, 50Hz, CLASS FAND TEMPERATURE SENSOR IN THE STATOR ANDSWITCH OFF THE PUMP IN THE CASE OR OVERHEAT OF MOTOR	THE MOTOR OF PUMP IS 3 PHASE, 50Hz, CLASS FAND TEMPERATURE SENSOR IN THE STATOR ANDSWITCH OFF THE PUMP IN THE CASE OR OVERHEAT OF MOTOR
11	SHAFT IS STAINLESS STEEL	SHAFT IS STAINLESS STEEL
12	PUMP CASING IS CLOSE-GRAINED CAST IRON WEIGHT AND METAL THICKNESS TO ENSURE LONG LIFT, ACCURATE ALIGMENT AND RELIABLEOPERATION	PUMP CASING IS CLOSE-GRAINED CAST IRON WEIGHT AND METAL THICKNESS TO ENSURE LONG LIFT, ACCURATE ALIGMENT AND RELIABLEOPERATION
13	THE CONTRACTOR PROVICE OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL	THE CONTRACTOR PROVICE OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL

<u>รายการตรวจสอบ (Pump Checklist)</u>

- ตรวจสอบ คุณสมบัติของ Pump ที่ผู้รับจ้างนำมาใช้งานว่าตรงตามแบบและที่ได้รับอนุมัติจากผู้ออกแบบให้ใช้หรือไม่
- ตรวจสอบ อุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ เช่น ท่อลำเลียงน้ำ จุด Support การเชื่อมต่อระหว่างสายไฟ ต้องมีการป้องกันความชื้นและการรั่วซึมของน้ำ
- เมื่อติดตั้งท่อเข้ากับเครื่องสูบน้ำแล้ว เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน ตรวจสอบรอยรั่วต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ จะต้องแก้ไขให้เรียบร้อย อันจะส่งผลกับประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

www.yotathai.com

- ตรวจสอบ เครื่องควบคุมการสูบน้ำ ที่ติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม ControlBuildingว่ามีความสามารถในการทำงานเครื่องสูบน้ำได้ตรงตามข้อกำหนดหรือไม่ ในโครงการฯ นี้ ผู้ออกแบบได้กำหนดให้ส่วนควบคุมต้องสามารถตั้งให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้ 5 วัฏจักร

- ก่อนส่งมอบงานให้กับแขวงการทาง/สำนักงานบำรุงทาง โครงการฯ และผู้รับจ้างจะต้องจัดฝึกอบรมการควบคุมเครื่องสูบน้ำและการบำรุงดูแลรักษาให้กับผู้รับผิดชอบต่อไป

รูปที่ 6-3 เครื่องสูบน้ำแบบ Submersible Sewage Pump ที่ใช้ในโครงการฯแยกปอยหลวง

รูปที่ 6-4 แสดงการติดตั้งเครื่องสูบน้ำลงในบ่อพัก

Specification Pump KJI รุ่น 150 KSE 1944T3

Type Motor 17 KW (Approx.), Efficiency >= 72 %

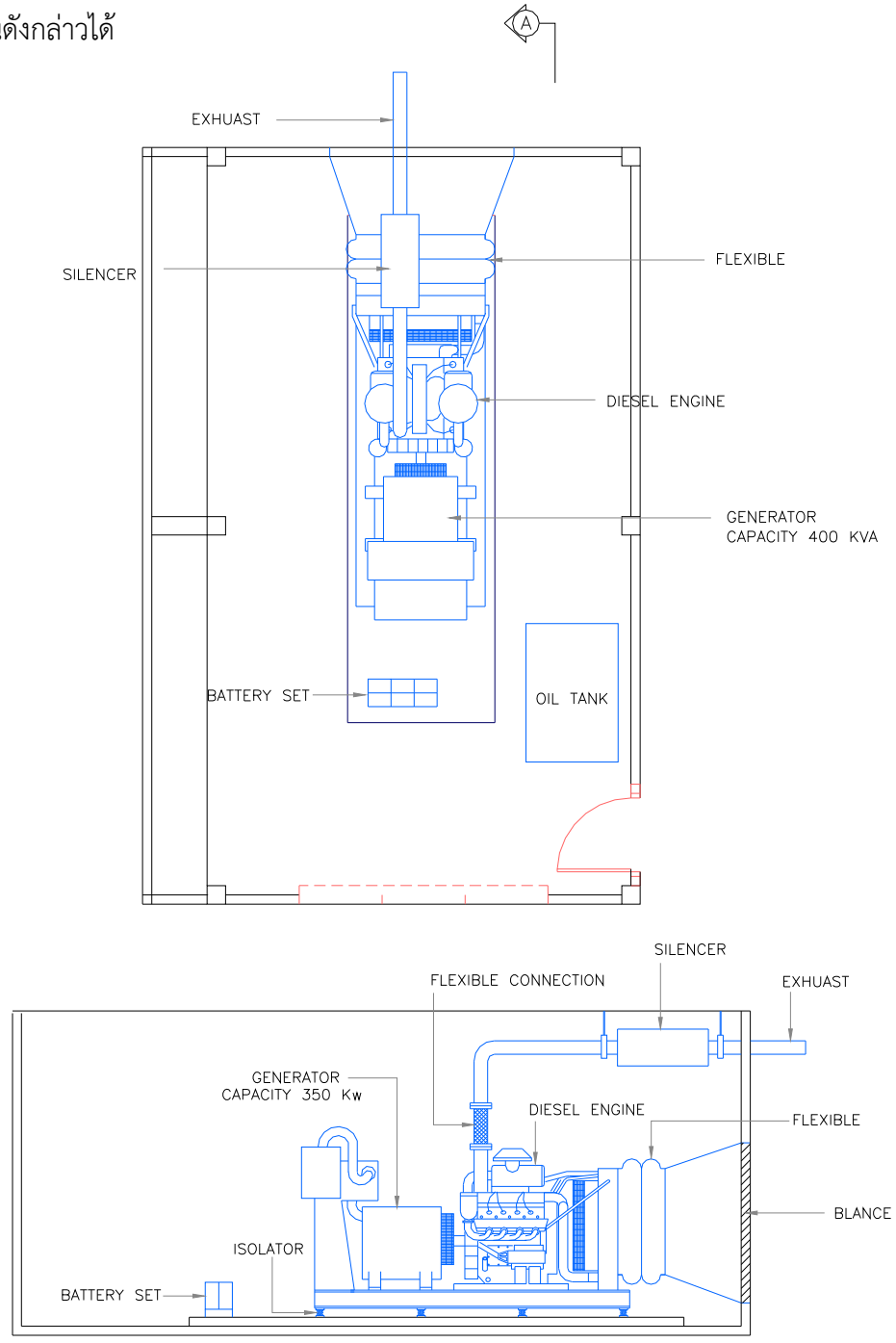
3 Phase ,380 V, 50 Hz

Capacity 230 Cu.M / Hr

www.yotathai.com

6.1.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผู้รับจ้างได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Set) ของบริษัท แอล พี เอช อินดัสเตรียล จำกัด เครื่องยนต์ของ COMET รุ่น C1241VA ซึ่งทางโครงการฯ ได้เสนอรายละเอียดให้ผู้ออกแบบตรวจสอบคุณสมบัติ โดยได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบ ให้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่นดังกล่าวได้



รูปที่ 6-5 แบบแปลนการติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

www.yotathai.com

ตารางที่ 6-2 รายการข้อกำหนดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อกำหนดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า COMET รุ่น C1241VA
1. GENERATOR SHALL BE STANDBY TYPE DRIVE BY DIESEL ENGINE	1. เครื่องยนต์ ดีเซล ตราอักษร VOLVO รุ่น TAD1241 GE
2. GENERATOR POWER OUTPUT SHALL BE 400 KVA FEQUENCY 50 Hz.	2.ส่วนกำเนิดไฟฟ้า ตราอักษร LEROY SOMER รุ่น LSA47.2VS2ขนาด 400 KVA STANDBY RATING 400/230 โวลต์ 3 เฟส 4 สาย 50 เฮิร์ท
3. DIESEL ENGINE COOLING BY WATER, SPEED1500 RPM	3. มีระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ด้วยหม้อน้ำ และที่ MAX STANDBY POWER 1500 RPM.

รายการตรวจสอบ (Generator Checklist)

- ตรวจสอบ คุณสมบัติของ Generator Set ที่ผู้รับจ้างนำมาใช้งานว่าตรงตามแบบ และที่ได้รับอนุมัติจากผู้ออกแบบให้ใช้หรือไม่

- ตรวจสอบ อุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ เช่น อุปกรณ์ระบายความร้อนของเครื่องยนต์มีหม้อน้ำหรือไม่ อุปกรณ์ส่วนกำเนิดไฟฟ้ามีแผงสวิทซ์ควบคุมครบถ้วนตามคู่มือหรือไม่ ท่อไอเสีย เป็นต้น

- รายการที่แบบก่อสร้างกำหนด ถังน้ำมันสำรอง และแบตเตอรี่สำรอง มีครบถ้วนหรือไม่

- เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ตรวจสอบผลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ดูค่าที่ปรากฏบนแผงควบคุมให้ค่ากำลังของไฟฟ้า ความเร็วรอบ และความถี่ถูกต้องตามแบบกำหนดหรือไม่

- ทดสอบเมื่อเกิดเหตุกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองสามารถทำงานทดแทนได้ทันทีหรือไม่

www.yotathai.com

รูปที่ 6-6 อาคารควบคุมเครื่องสูบน้ำ (Control Building)

รูปที่ 6-7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ภายในอาคารควบคุม

รูปที่ 6-8 ส่วนควบคุมระบบ Pump และ ส่วนควบคุมเครื่อง Generator

www.yotathai.com

6.1.3 การก่อสร้างแบบภายนอกอุโมงค์ เมื่อทำการวางผังผนังบ่อเก็บทั้งสี่ด้านแล้ว จึงทำการก่อสร้างผนังกำแพงนำร่อง กรรมวิธีและขั้นตอนเหมือนการก่อสร้างผนังทางลอดทุกประการ เพียงแต่ผนังมุมฉากต้องออกแบบเป็นแผงมุมฉากเพื่อป้องกันปัญหารอยต่อเมื่อก่อสร้างผนังทั้งสี่ด้านเสร็จ จึงทำการขุดดินออกจากบ่อโดยมี Temporary Bracing ค้ำยันป้องกันผนังเคลื่อนตัวจากแรงดันดินด้านข้างตลอดเวลาจนกว่าการก่อสร้าง Permanent Bracing แล้วเสร็จ

รูปที่ 6-9 งาน DIAPHRAGM WALL ที่จะทำงาน PIPE JACKING เป็นท่อเหล็กระบายน้ำ เชื่อมต่อกับ ระบบโรงสูบน้ำใต้ดิน (SUMP PUMP TANK) บริเวณมุมสี่เกษตร-พหล ฝั่งถนนเกษตร-นวมินทร์ขาออก

รูปที่ 6-10 งานก่อสร้างโรงสูบน้ำออกจากทางลอด (SUMP PUMP TANK AND CONTROL ROOM) บริเวณมุมสี่แยกเกษตร -พหล ฝั่งต้นถนนเกษตร - นวมินทร์ขาออก

6.1.4 ปัญหาและอุปสรรค

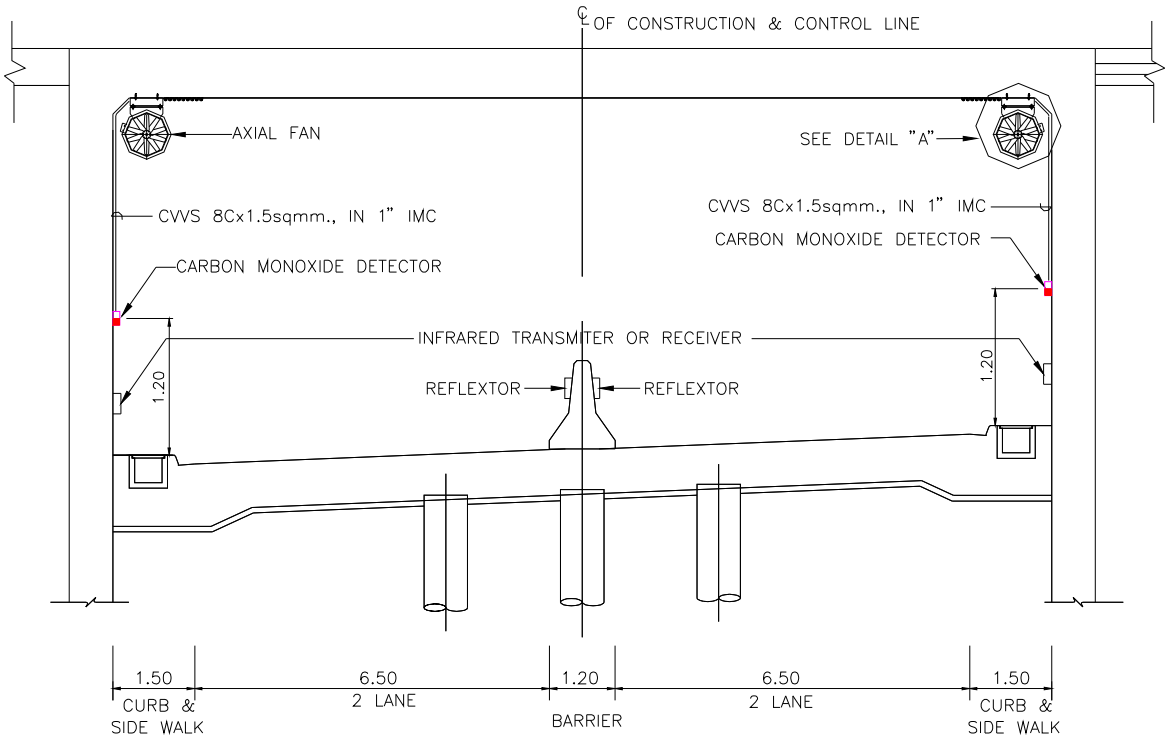
- การก่อสร้างต้องกระทำในจุดที่อยู่ต่ำสุดของงานก่อสร้าง มีปัญหาเรื่องสภาพดินและปริมาณน้ำใต้ดิน
- การกำหนดจุดเชื่อมต่อของท่อลอดระหว่างผนังอุโมงค์ต้องแม่นยำ

www.yotathai.com

6.2 ระบบระบายอากาศ

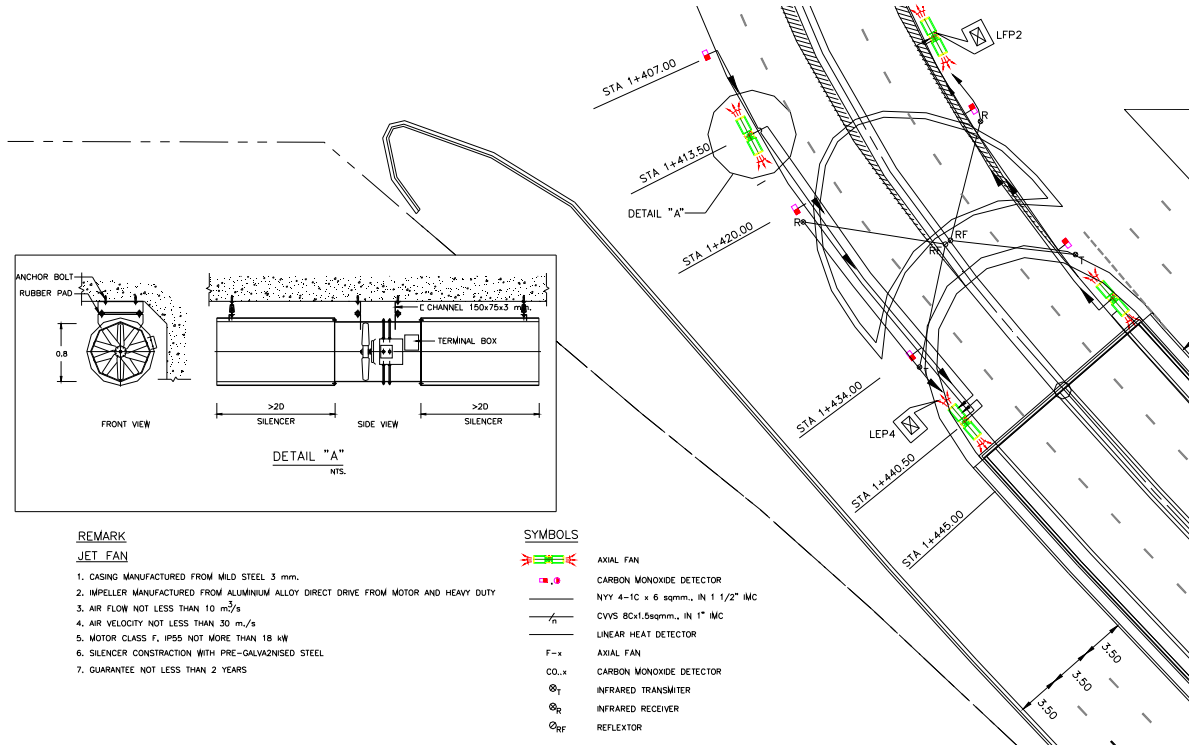
การก่อสร้างทางลอดแบบเปิดไม่มีปัญหาเรื่องการระบายอากาศอยู่แล้วเนื่องจากอากาศสามารถไหลเวียนได้ แต่หากเป็นอุโมงค์แบบปิด Tunnel หรือทางลอดที่มีหลังคาอุโมงค์ยาวๆ และมีการจราจรภายในอุโมงค์หนาแน่นจนรถเคลื่อนตัวได้ช้า จึงจำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศโดยใช้พัดลมเป่าอากาศให้อากาศเสียออกนอกอุโมงค์

ทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์ เป็นทางลอดหนึ่งซึ่งมีแนวเส้นทางแนวราบเป็นแนวโค้งรัศมีแคบสุดประมาณ 45 เมตร มีหลังคาทางลอดยาวประมาณ 80 – 90 เมตร แบบระบุให้ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศและอุปกรณ์ตรวจจับ Carbon Monoxide รวมถึงอุปกรณ์ Infrared



รูปที่ 6-11 รูปตัดงานติดตั้งระบบระบายอากาศทางลอดแยกเกษตร

www.yotathai.com



รูปที่ 6-12 ผังงานติดตั้งระบบระบายอากาศและอุปกรณ์ประกอบของทางลอดแยกเกษตร

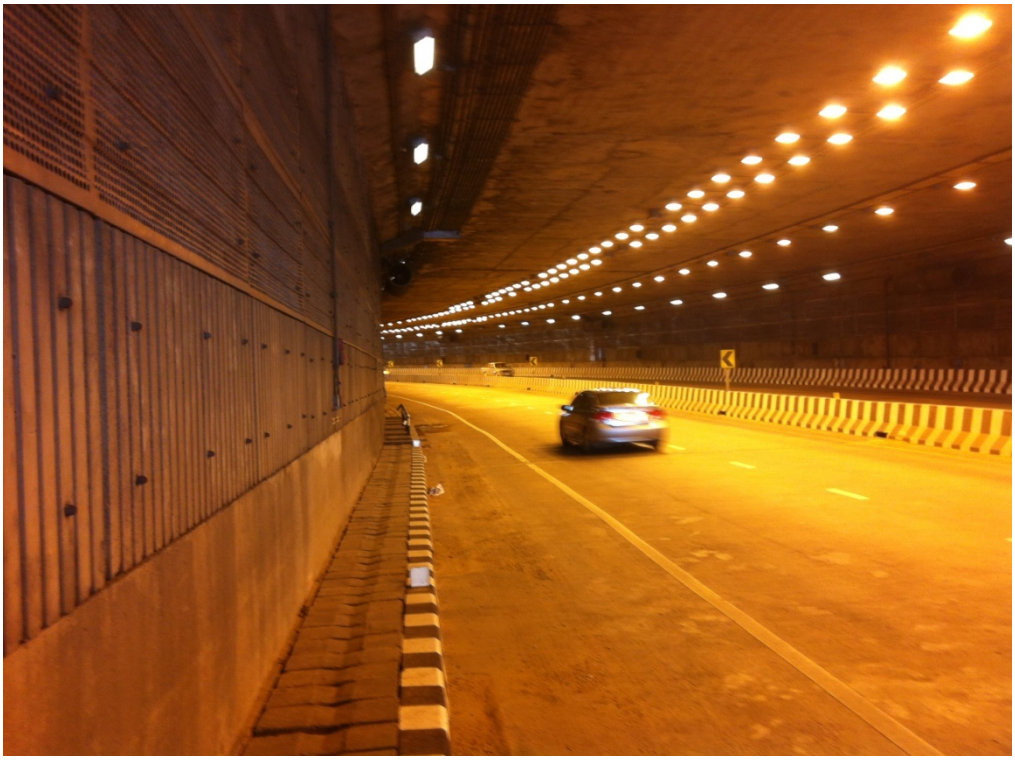
6.3 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

6.3.1 ไฟฟ้าส่องสว่างภายในทางลอดจะมีรายละเอียดการออกแบบที่แตกต่างกันออกไปแต่ละโครงการ ขึ้นอยู่กับความยาวหลังคาทางลอด ความสว่างที่ต้องการภายในทางลอด การปรับแสงบริเวณปากทางเข้าออกให้สัมพันธ์กับแสงสว่างภายนอก เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับผู้ขับขี่หากมีการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันที เป็นต้น

6.3.2 การติดตั้งจึงควรทำความเข้าใจในวัตถุประสงค์และหลักการของผู้ออกแบบ

6.3.3 เมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จ ต้องทำการตรวจสอบความเข้มแสงและการทำงานของวงจรให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือที่ระบุในแบบก่อสร้าง

6.3.4 ปัญหาอาจเกิดขึ้นในขั้นตอนขออนุญาตจากหน่วยงานการไฟฟ้า เพราะบางกรณีมีการติดตั้งอุปกรณ์ดวงโคมจำนวนมาก อาจต้องการการอธิบายเพิ่มเติมประกอบการพิจารณา จึงควรติดตามสอบถามกับเจ้าหน้าที่หน่วยงานการไฟฟ้าอย่างใกล้ชิด เพื่อลดโอกาสที่อาจเกิดความไม่เข้าใจในวงจรไฟฟ้าและกระทบต่อระยะเวลาทำการตามสัญญาระหว่างการก่อสร้าง



รูปที่ 6-13 ไฟฟ้าส่องสว่างภายในทางลอดขอนแก่น
ที่มีการปรับแสงบริเวณปากทางเข้าออกให้สัมพันธ์กับแสงสว่างภายนอก

www.yotathai.com

7. การจัดการจราจรระหว่างการก่อสร้าง
(Traffic Management during Construction)

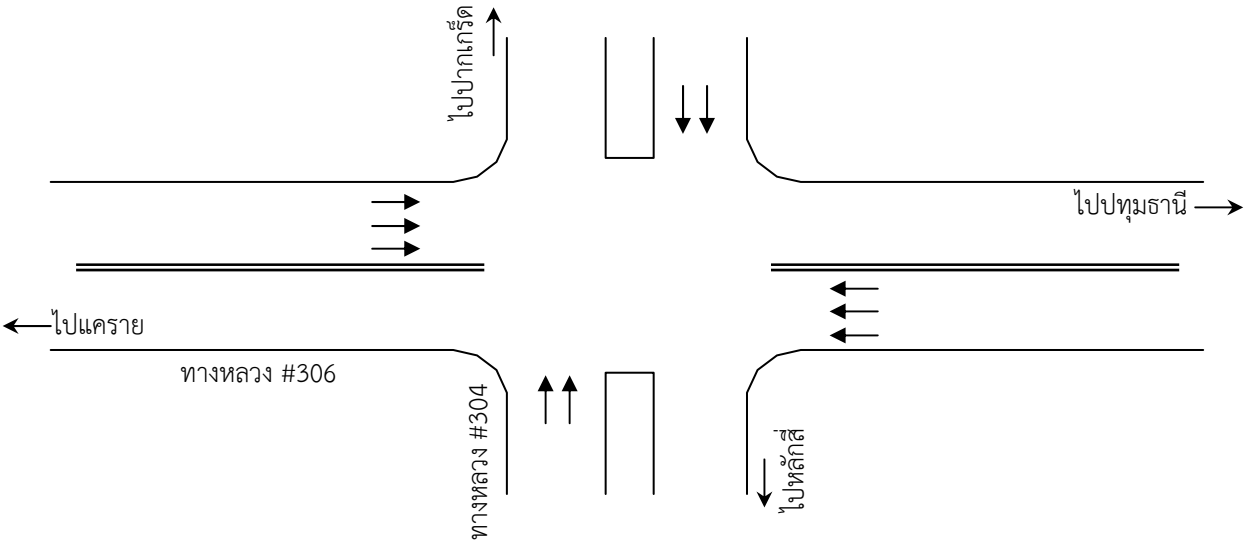
การก่อสร้างทางลอดทางแยกในเขตเมืองหรือเขตชุมชนที่มีปัญหาการจราจรติดขัด เนื่องจากปริมาณยวดยานผ่านแยกมีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล การปิดกั้นเขตพื้นที่ก่อสร้างจึงหลีกไม่ได้ที่จะส่งผลกระทบต่อการติดขัดและความล่าช้าของการจราจรมากยิ่งขึ้น เช่น ทางลอดที่แยกเกษตร ทางลอดที่แยกปากเกร็ด เป็นต้น

7.1 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจัดการจราจร

7.1.1 ทางลอดที่แยกปากเกร็ด

ในกรณีโครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกปากเกร็ด จำเป็นต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างทั้งด้านชิดเขตทางและตลอดแนวกลางของทางหลวงหมายเลข 306 ซึ่งสามารถอธิบายแผนการปิดกั้นพื้นที่ได้ดังนี้

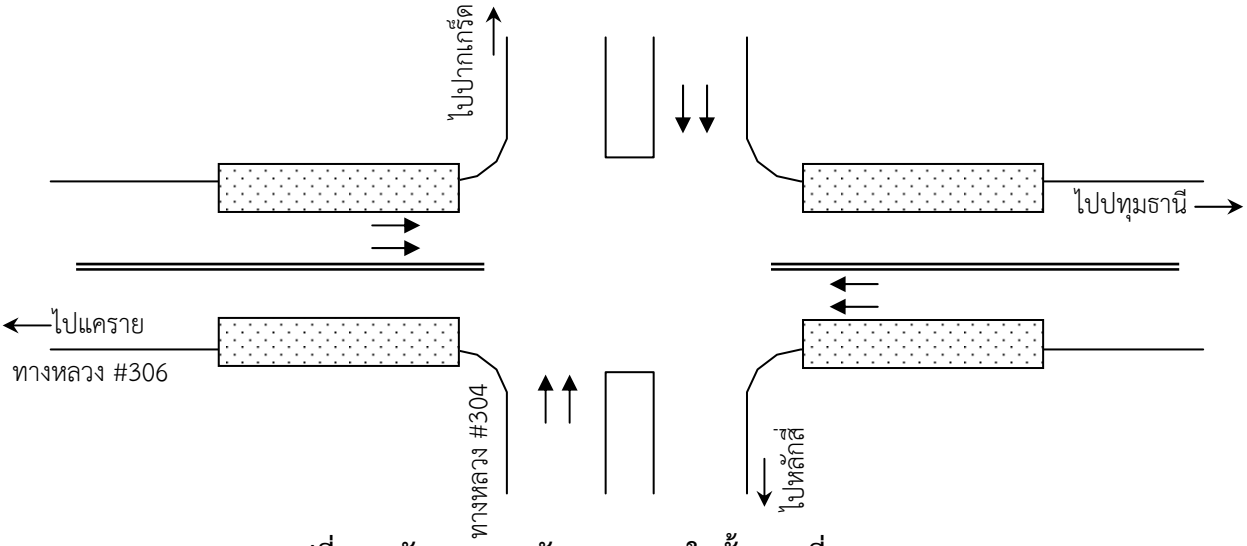
1) ก่อนเริ่มโครงการฯ (รูปที่ 7-1) การจราจรบนทางหลวงหมายเลข 306 จะมีทิศทางละ 3 ช่องจราจร ในขณะที่การจราจรบนทางหลวงหมายเลข 304 จะมีทิศทางละ 2 ช่องจราจร เนื่องจากพื้นที่บริเวณเกาะกลางถูกปิดกั้นสำหรับก่อสร้างสะพานพระราม 4 ซึ่งสภาพการจราจรโดยรวมบริเวณทางแยกจะติดขัดต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาเร่งด่วน



รูปที่ 7-1 ลักษณะการจัดการจราจรก่อนเริ่มโครงการฯ

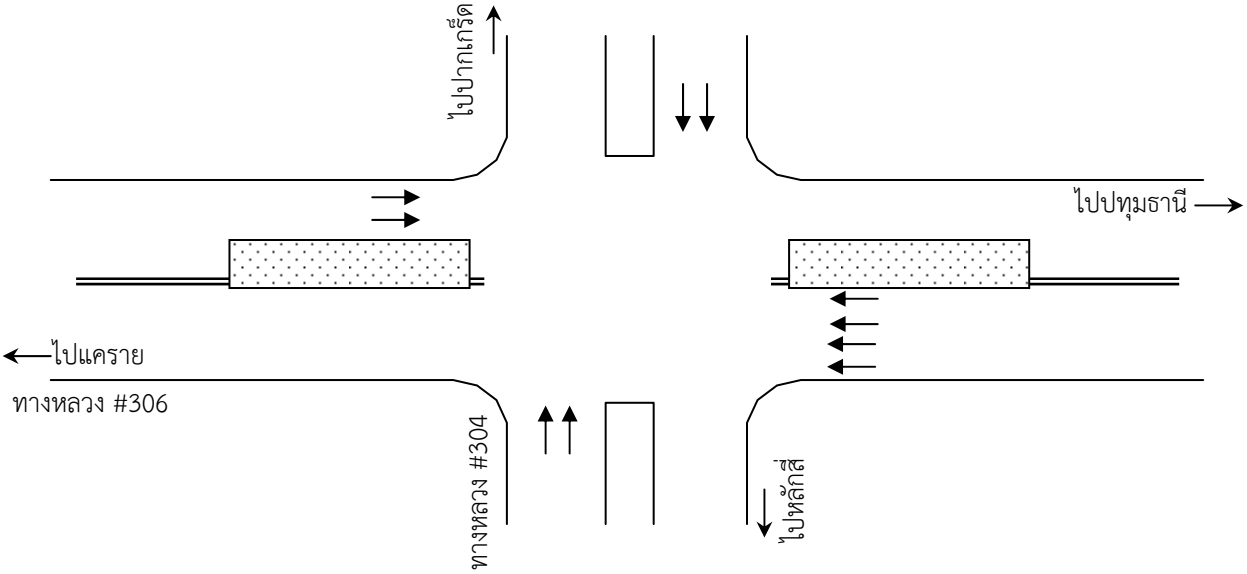
www.yotathai.com

2) ขั้นตอนที่ 1 รื้อย้ายสาธารณูปโภคและขยายผิวจราจร (รูปที่ 7-2) ปิดกั้นพื้นที่บริเวณชิดเขตทางทั้งด้านซ้ายทางและขวาทางตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 เพื่อรื้อย้ายสาธารณูปโภคเดิม วางท่อระบายน้ำ และขยายผิวจราจร ทำให้บนทางหลวงหมายเลข 306 เหลือช่องจราจรเพียงทิศทางละ 2 ช่องจราจร แต่เมื่อรื้อย้ายและขยายผิวจราจรแล้วเสร็จ จะทำให้มีช่องจราจรทิศทางละ 4 ช่องจราจร



รูปที่ 7-2 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 1

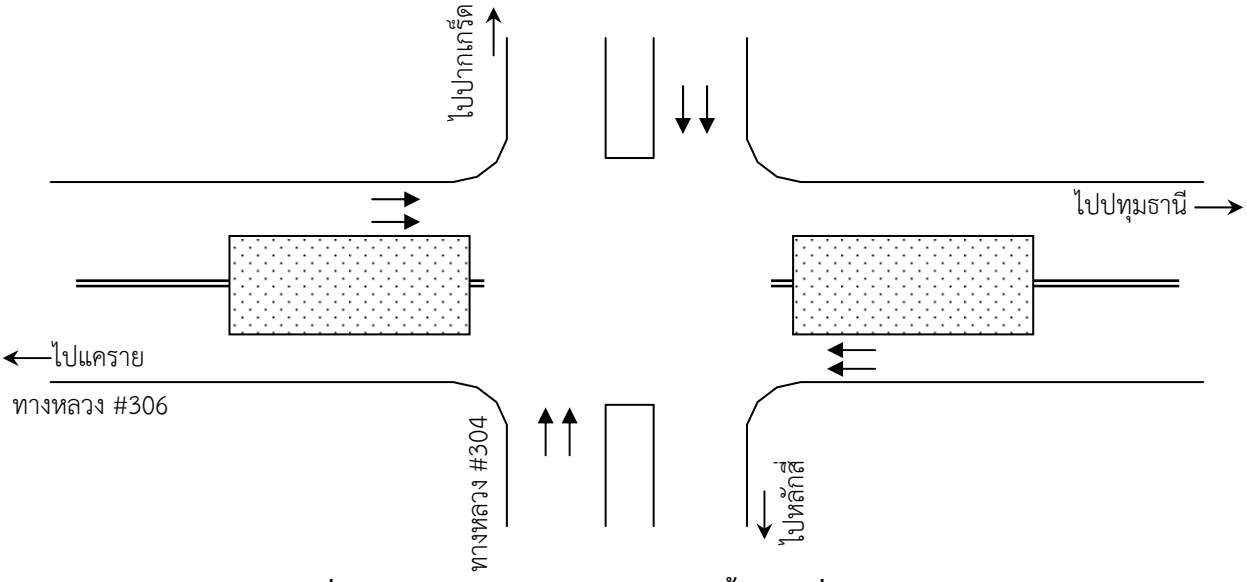
3) ขั้นตอนที่ 2 เตรียมพื้นที่บริเวณเกาะกลาง (รูปที่ 7-3) ปิดกั้นพื้นที่บริเวณเกาะกลางตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ฝั่งขาออก เพื่อรื้อย้ายเกาะกลางและเตรียมพื้นที่สำหรับการทำงานก่อสร้างโครงสร้างทางลอด ทำให้ทางหลวงหมายเลข 306 ฝั่งขาออกเหลือช่องจราจรประมาณ 2 – 3 ช่องจราจร ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 1 เดือน



รูปที่ 7-3 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 2

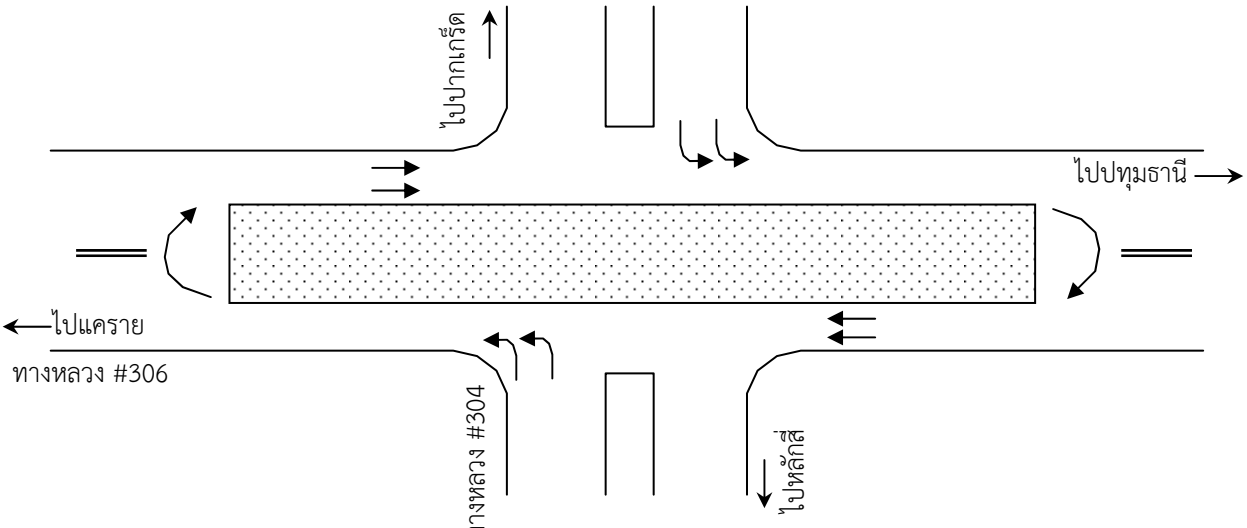
www.yotathai.com

4) ขั้นตอนที่ 3 ก่อสร้างโครงสร้างทางลอดช่วงเริ่มต้น (รูปที่ 7-4) ปิดการจราจรบริเวณเกาะกลางบนทางหลวงหมายเลข 306 ทั้ง 2 ทิศทาง เพื่อก่อสร้างเสาเข็มเจาะกำแพงกันดิน Diaphragm Wall และพื้นทางลอดที่ยังไม่ถึงช่วงกลางแยก จะทำให้บนทางหลวงหมายเลข 306 ทั้ง 2 ทิศทางเหลือช่องจราจรเพียงทิศทางละ 2 ช่องจราจรเท่านั้น และตามแผนงานที่วางไว้ ยังคงใช้สัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกอยู่เช่นเดิม



รูปที่ 7-4 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 3

5) ขั้นตอนที่ 4 ก่อสร้างโครงสร้างทางลอดช่วงกลางแยก (รูปที่ 7-5) ปิดการจราจรบริเวณกลางแยกเพื่อก่อสร้างเสาเข็มเจาะ Barrette Pile Diaphragm Wall พื้นและเพดานทางลอด โดยยกเลิกระบบสัญญาณไฟและให้รถหมุนวนในลักษณะวงเวียน ซึ่งตามแผนงานที่วางไว้นั้น การปิดการจราจรในลักษณะนี้จะดำเนินการไปจนกว่าผิวจราจรช่วงกลางแยกและสัญญาณไฟจะมีความพร้อมสำหรับเปิดการจราจรได้

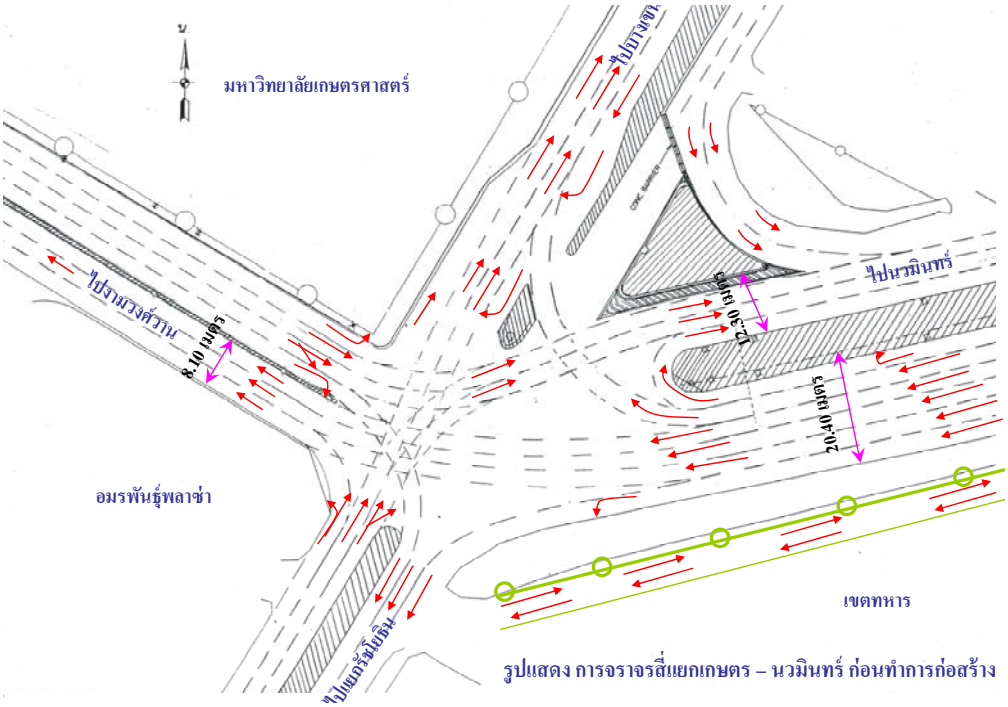


รูปที่ 7-5 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 4

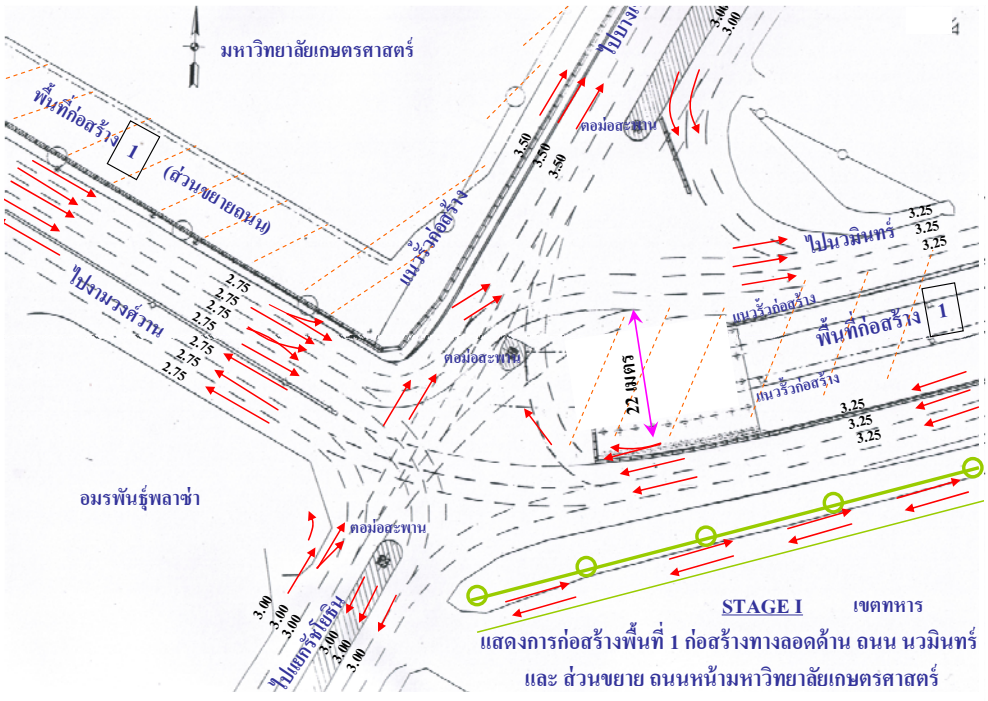
www.yotathai.com

7.1.2 ทางลอดที่แยกเกษตร

สำหรับโครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกเกษตร จะมีความซับซ้อนทั้งลักษณะทางกายภาพของทางแยก และสถานที่ที่อยู่โดยรอบโครงการฯ ซึ่งสามารถอธิบายแผนการจัดการจราจรได้ดังนี้

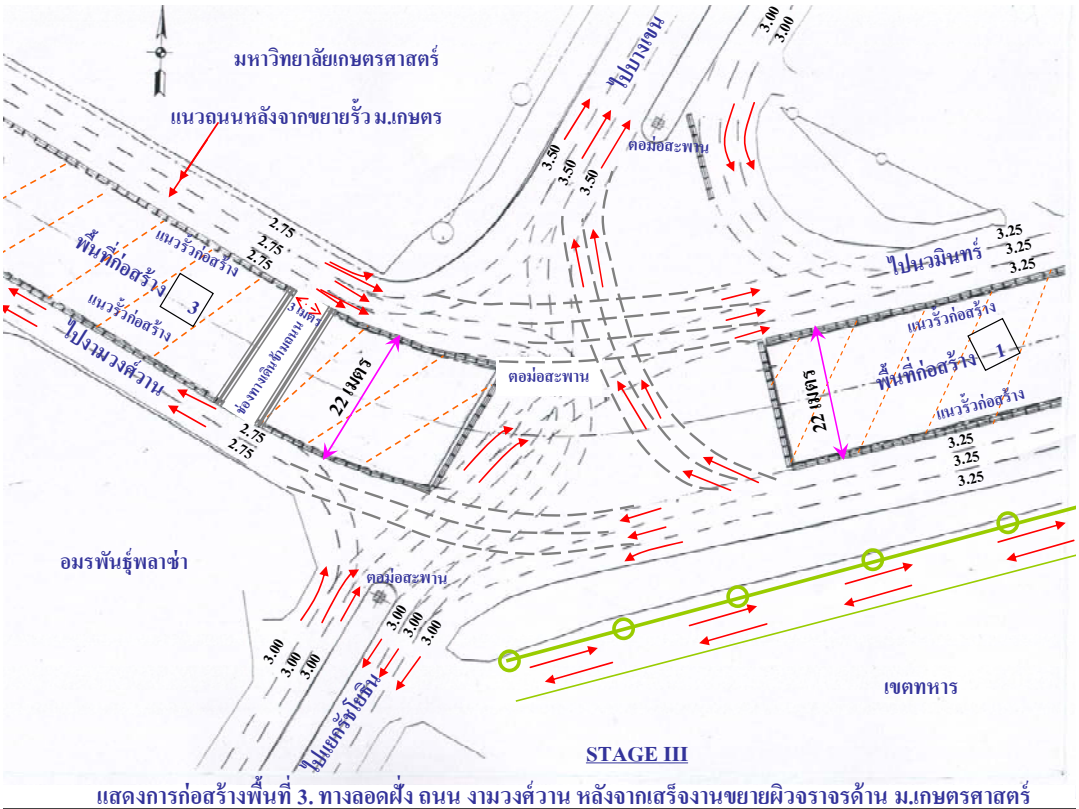


รูปที่ 7-6 ลักษณะการจราจรก่อนทำการก่อสร้าง

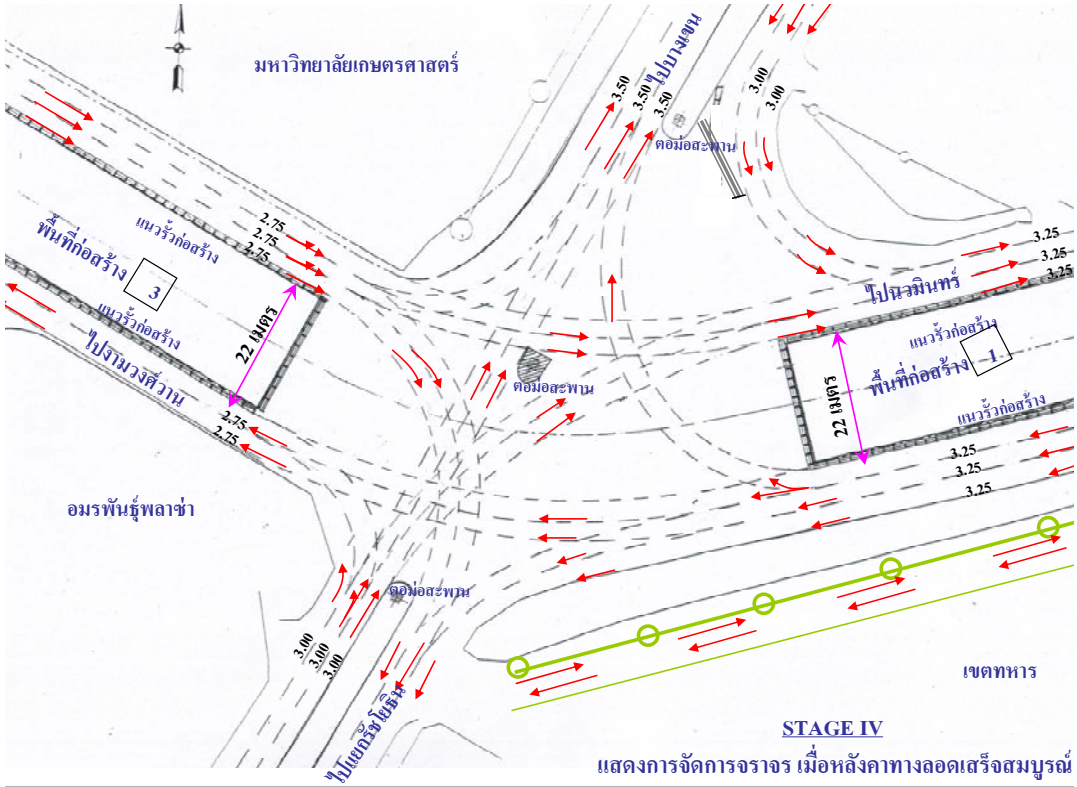


รูปที่ 7-7 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 1 และ 2

www.yotathai.com



รูปที่ 7-8 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 3



รูปที่ 7-9 ลักษณะการจัดการจราจรในขั้นตอนที่ 4

www.yotathai.com

7.2 แนวทางการพิจารณาวางแผนจัดการจราจร

ในกรณีโครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกปากเกร็ด จะมีการพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

7.2.1 ความรู้ทางวิชาการหรือแนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

1) การพิจารณาความเหมาะสมในการจัดการจราจรบริเวณทางแยกในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง โดยพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของถนน สภาพและข้อจำกัดของสถานที่ก่อสร้าง และปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยก ในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง

2) การพิจารณาจำนวนจุดขัดแย้งของกระแสจราจร (Conflict Point) โดยพิจารณาสภาพการจราจร จำนวนช่องจราจร และทิศทางของกระแสการจราจรที่มีอยู่และจะเกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบของการจัดการจราจร เพื่อหาแนวทางในการออกแบบมาตรการการจัดการจราจร ลดจุดขัดแย้งของกระแสจราจร และไม่เกิดการติดขัดของกระแสจราจร

3) การพิจารณานำหลักการการจัดการจราจรระบบวงเวียน (Roundabout) มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อเป็นมาตรการสนับสนุนการยกเลิกการใช้สัญญาณไฟจราจรที่บริเวณทางแยก

4) การพิจารณาแนวทางในการลดปริมาณยวดยานที่เดินทางเข้าสู่ทางแยกด้วยการสำรวจทางเลี่ยงทางลัดสำหรับผู้ใช้รถในการหลีกเลี่ยงบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง และประชาสัมพันธ์ให้ทราบอย่างทั่วถึง

7.2.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนในการดำเนินการจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างทางลอด

ทำการศึกษารายละเอียด ขั้นตอนการทำการก่อสร้างทางลอดในแต่ละขั้นตอน เพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อการปรับลดพื้นผิวจราจร โดยขั้นตอนการก่อสร้างหลักประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 รื้อย้ายสาธารณูปโภคและขยายผิวจราจรด้านข้างทาง
ขั้นตอนที่ 2 เตรียมพื้นที่บริเวณเกาะกลางสำหรับการเข้าพื้นที่ของเครื่องจักร
ขั้นตอนที่ 3 ก่อสร้างโครงสร้างทางลอดช่วงเริ่มต้นทั้ง 2 ด้านของทางลอด
ขั้นตอนที่ 4 ก่อสร้างโครงสร้างทางลอดและเพดานทางลอดช่วงกลางแยก

www.yotathai.com

2) รวบรวมข้อมูลสภาพการจราจรบริเวณทางแยก

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพการจราจรทั้งจากข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากสำนักอำนวยความปลอดภัย และจากการสังเกตสภาพความคล่องตัวที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยก เพื่อสรุปสภาพหรือลักษณะของการจราจรที่มีอยู่

3) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของบริเวณทางแยก

ควบคู่กับการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างจะสามารถประมาณการลักษณะทางกายภาพของทางแยกได้ว่าเหลือช่องจราจรจำนวนเท่าใด มีอุปสรรคด้านข้างทางมากน้อยแค่ไหน เช่น การกั้นพื้นที่ทำงาน การรื้อย้ายสาธารณูปโภค เป็นต้น

4) วางแผนจัดการจราจรในเขตพื้นที่ก่อสร้าง

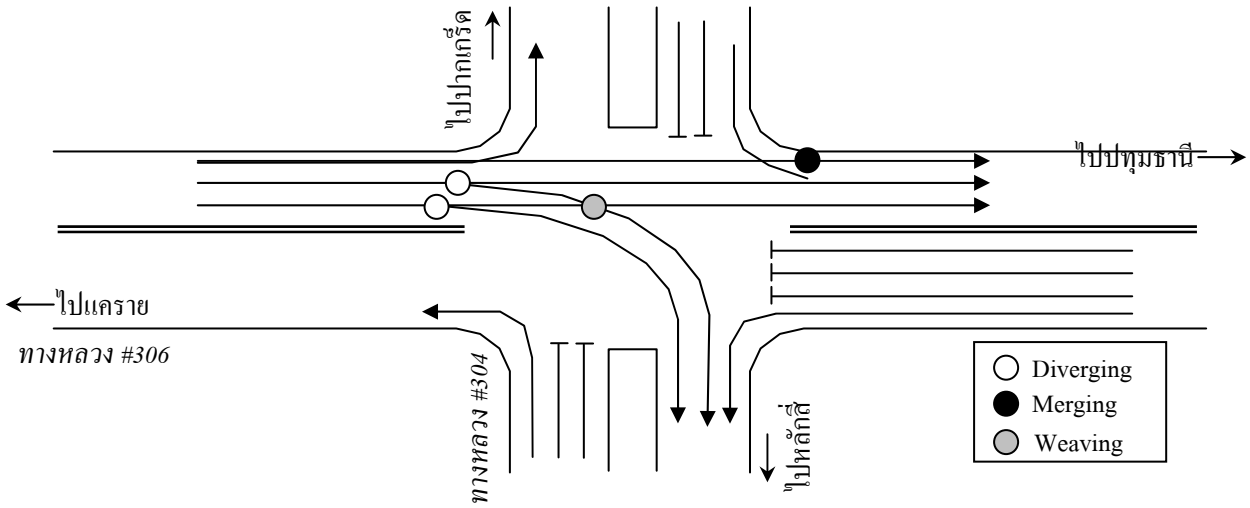
จากข้อมูล ข้อ 1) – 3) ทำการวางแผนการจัดการจราจรในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง โดยพิจารณาลดจุดขัดแย้งของกระแสจราจร (Conflict Point) ที่อาจเกิดขึ้นเพื่อต้องการให้กระแสจราจรมีการเคลื่อนตัวที่ลื่นไหลมากขึ้น ซึ่งจุดขัดแย้งของกระแสจราจรที่พิจารณานี้ประกอบด้วย

- จุดขัดแย้งในลักษณะแยกกระแสจราจร (Diverging)
- จุดขัดแย้งในลักษณะรวมกระแสจราจร (Merging)
- จุดขัดแย้งในลักษณะสลับกระแสจราจร (Weaving)

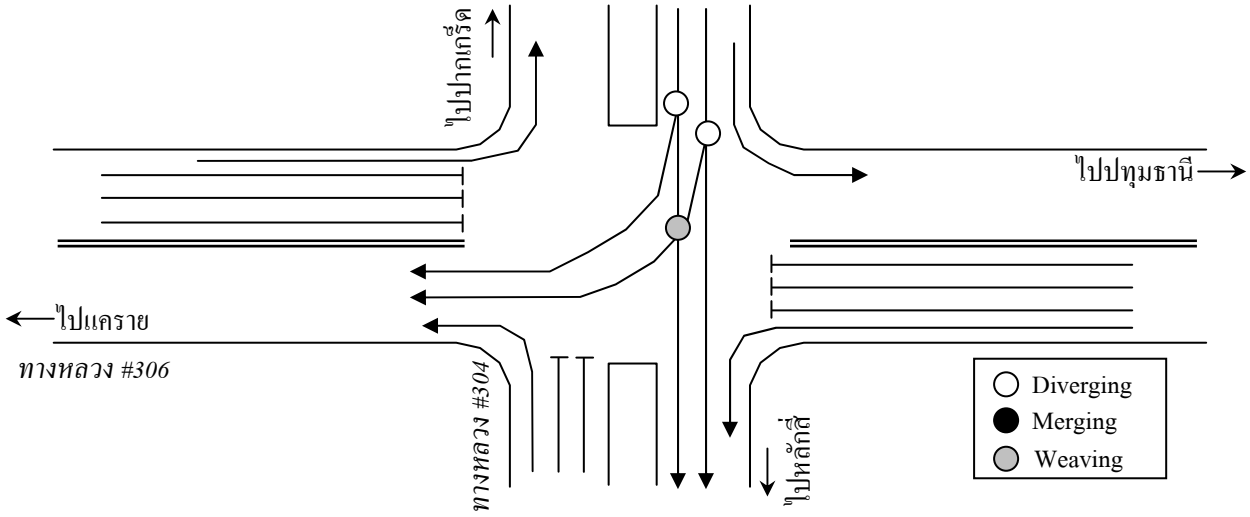
โดยวางแผนการจัดการจราจรในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง รวมถึงวิเคราะห์จำนวนจุดขัดแย้งของกระแสจราจร ไว้ดังนี้

4.1) ก่อนเริ่มโครงการฯ ที่บริเวณทางแยกจะจัดระบบสัญญาณไฟจราจรเป็น 4 เฟส สำหรับรถแต่ละทิศทาง และรถในช่องทางซ้ายสามารถใช้สิทธิ์เลี้ยวซ้ายผ่านตลอดได้ ดังภาพแสดงกระแสจราจรเมื่อเปิดไฟเขียวสำหรับรถตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทิศทางมาจากแคราย และเมื่อเปิดไฟเขียวสำหรับรถตามแนวทางหลวงหมายเลข 304 ทิศทางมาจากปากเกร็ด แสดงในรูปที่ 7-10 (ก) และ 7-10 (ข) ตามลำดับ โดยเกิดจุดขัดแย้งจากการแยกกระแสจราจร รวมกระแสจราจร และสลับกระแสจราจร รวมทั้งสิ้น 4+3+4+3 = 14 จุด

www.yotathai.com



(ก) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 306

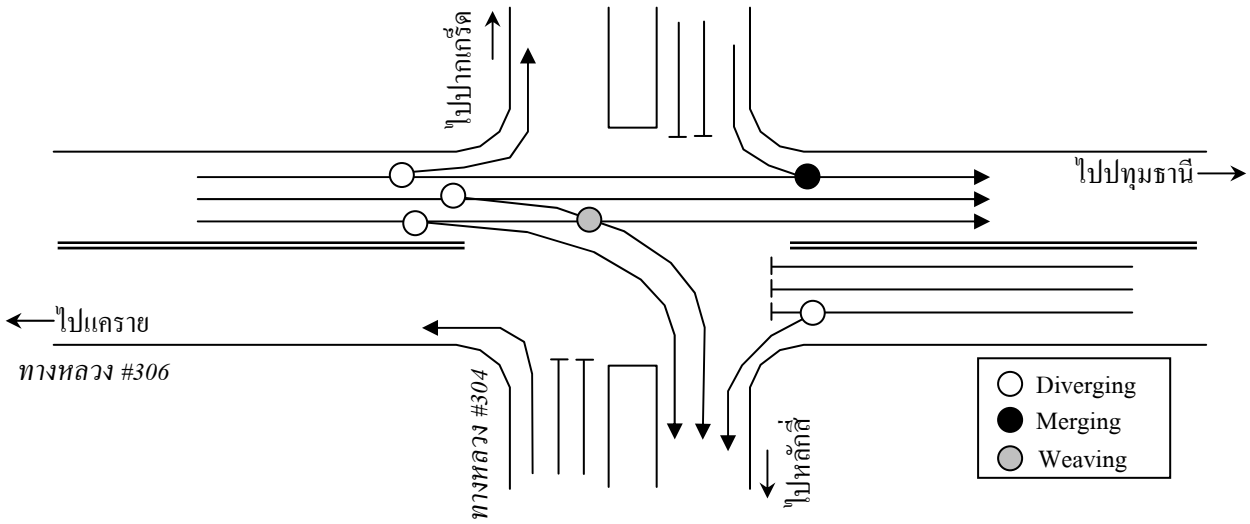


(ข) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 304

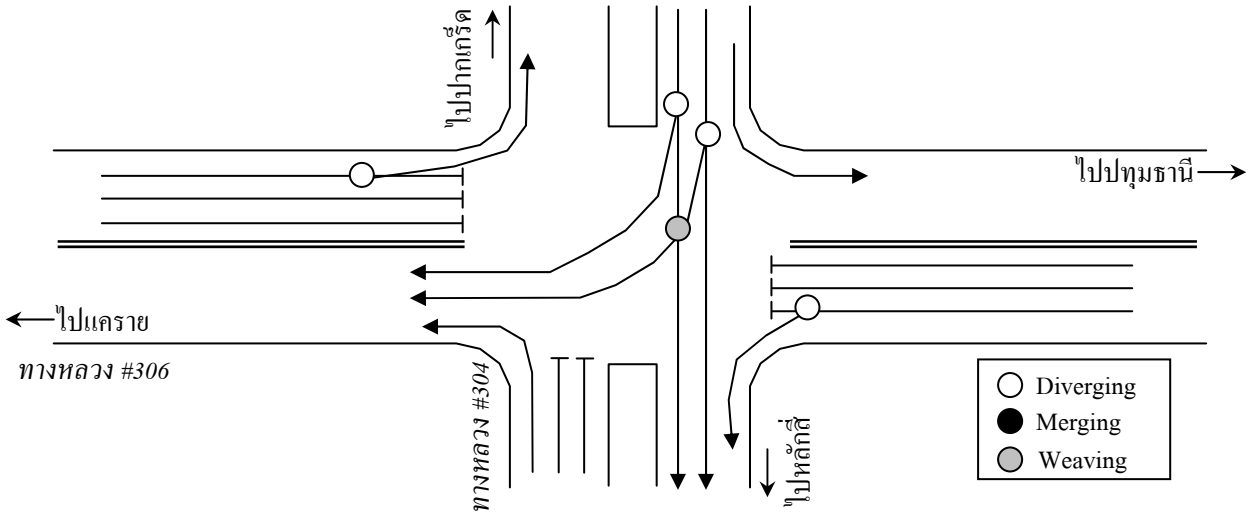
รูปที่ 7-10 จุดขัดแย้งของกระแสจราจรก่อนการก่อสร้างของโครงการฯ

www.yotathai.com

4.2) ขั้นตอนที่ 1 รื้อย้ายสาธารณูปโภคและขยายผิวราจรด้านข้างทาง จะปิดกั้นพื้นที่ทำงานบริเวณด้านข้างทางตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทำให้ช่องจราจรเหลือเพียงทิศทางละ 3 ช่องจราจร ยังคงใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรเป็น 4 เฟสเช่นเดิม ดังภาพแสดงกระแสจราจรเมื่อเปิดไฟเขียวสำหรับรถตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทิศทางมาจากแคราย และเมื่อเปิดไฟเขียวสำหรับรถตามแนวทางหลวงหมายเลข 304 ทิศทางมาจากปากเกร็ด แสดงในรูปที่ 7-11 (ก) และ 7-11 (ข) ตามลำดับ ส่งผลให้เกิดจุดขัดแย้งกระแสจราจร รวมทั้งสิ้น 5+5+5+5 = 20 จุด ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนจุดขัดแย้งเพิ่มขึ้น แต่ที่ยังคงใช้สัญญาณไฟ 4 เฟส เนื่องจากการปิดแยกและบังคับให้ไปกลับรถในระยะทางที่ไกลขึ้น จะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกของประชาชน โดยในขั้นตอนนี้ ได้เริ่มประชาสัมพันธ์ทางเลี่ยงแนะนำให้ผู้ขับขี่รับทราบแล้ว



(ก) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 306

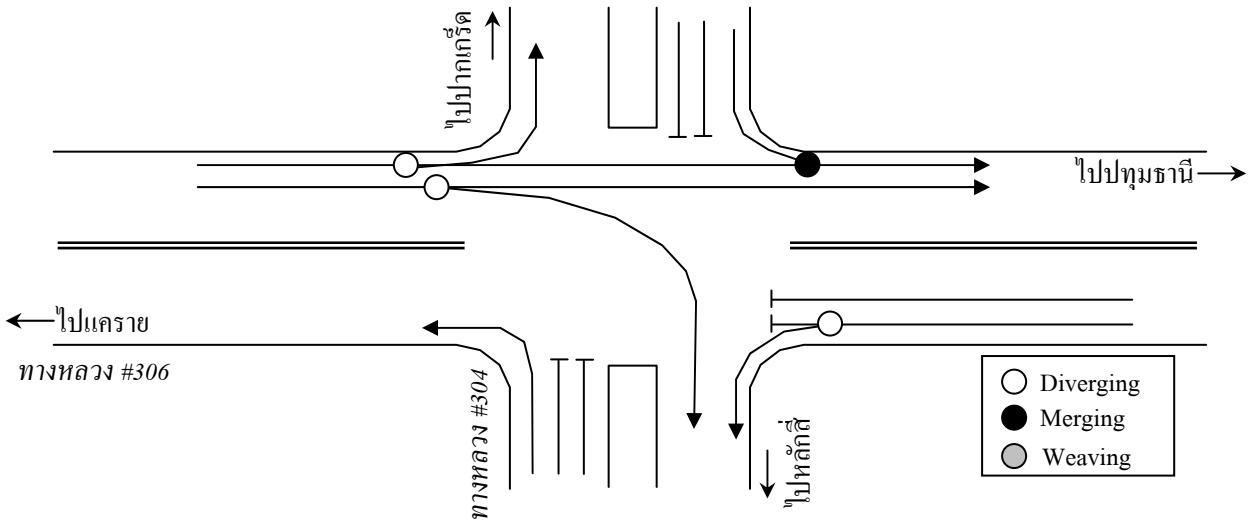


(ข) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 304

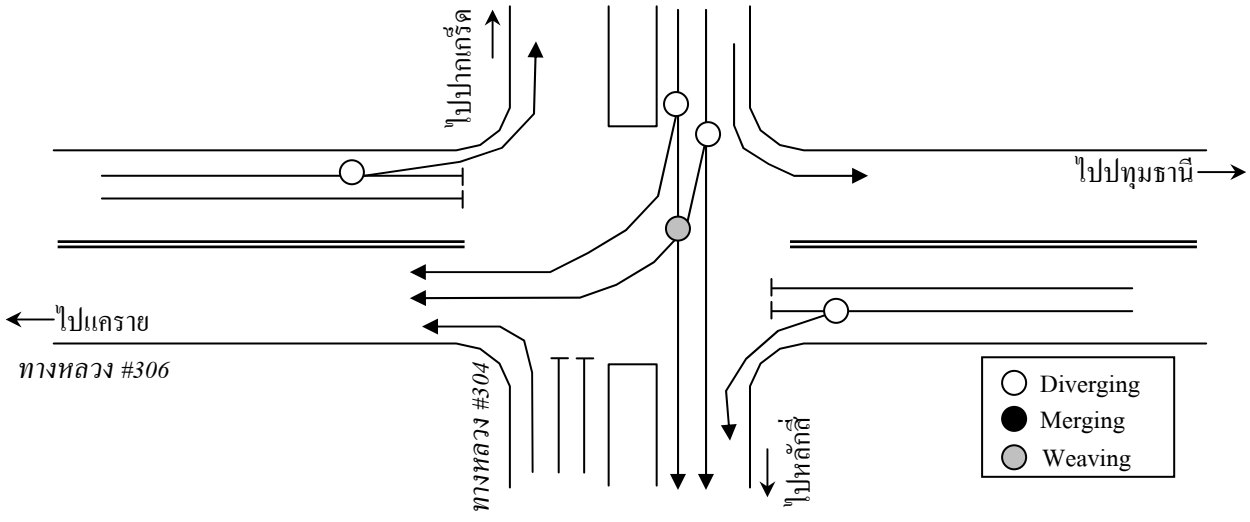
รูปที่ 7-11 จุดขัดแย้งของกระแสจราจรระหว่างขยายผิวจราจรด้านข้าง

www.yotathai.com

4.3) ขั้นตอนที่ 2 และ 3 เตรียมพื้นที่บริเวณเกาะกลางสำหรับการเข้าพื้นที่ของเครื่องจักรและก่อสร้างโครงสร้างทางลอดช่วงเริ่มต้นทั้ง 2 ด้านของทางลอด จะปิดกั้นพื้นที่ทำงานบริเวณเกาะกลางตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทำให้ช่องจราจรเมื่อรวมกับที่ขยายแล้วมีเพียงทิศทางละ 2 - 3 ช่องจราจร และยังคงใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรเป็น 4 เฟสเช่นเดิม ดังภาพแสดงกระแสจราจรในรูปที่ 7-12 (ก) และ 7-12 (ข) สำหรับไฟเขียวให้รถตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทิศทางมาจากแคราย และตามแนวทางหลวงหมายเลข 304 ทิศทางมาจากปากเกร็ด ตามลำดับ เนื่องจากช่องจราจรที่ลดลง ส่งผลให้เกิดจุดขัดแย้งกระแสจราจร รวมทั้งสิ้นเหลือ 4+5+4+5 = 18 จุด



(ก) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 306

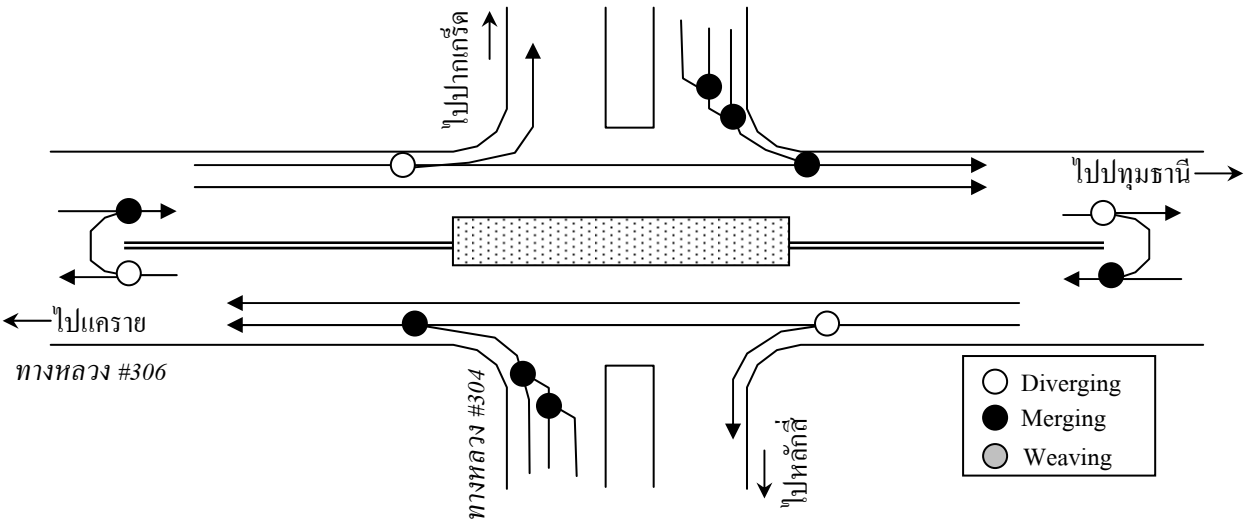


(ข) ให้สัญญาณไฟเขียวทางด้านทางหลวงหมายเลข 304

รูปที่ 7-12 จุดขัดแย้งของกระแสจราจรระหว่างการก่อสร้างบริเวณเกาะกลางโดยยังไม่ได้ปิดทางแยก

www.yotathai.com

4.4) ขั้นตอนที่ 4 ก่อสร้างโครงสร้างทางลอดและเพดานทางลอดช่วงกลางแยก จะเพิ่มเติมปิดกั้นพื้นที่ทำงานบริเวณกลางแยกตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ทำให้รถตามแนวทางหลวงหมายเลข 306 ไม่สามารถเลี้ยวขวาได้ และรถตามแนวทางหลวงหมายเลข 304 ไม่สามารถตรงไปและเลี้ยวขวาได้ จึงยกเลิกสัญญาณไฟ โดยปรับปรุงจุดกลับรถที่ระยะทางประมาณ 700 – 800 เมตร จากแยก ดังรูปที่ 7-13 ซึ่งแสดงกระแสจราจรและจุดขัดแย้ง โดยจะเกิดจุดขัดแย้งจากการรวมกระแสจราจรเพิ่มขึ้นบริเวณทางหลวงหมายเลข 304 เพื่อเข้าสู่ทางหลวงหมายเลข 306 ส่งผลให้มีจุดขัดแย้งรวมทั้งสิ้น 12 จุด



รูปที่ 7-13 จุดขัดแย้งของกระแสจราจรระหว่างการก่อสร้างบริเวณเกาะกลาง โดยปิดทางแยก

www.yotathai.com

7.3 มาตรการอื่นๆในการวางแผนจัดการจราจร

7.3.1 สำรวจทางเลี่ยงทางลัดที่ใช้หลีกเลี่ยงการเดินทางผ่านแยกที่ก่อสร้าง เพื่อแนะนำให้ผู้ขับขี่รับทราบ อันจะเป็นการช่วยลดปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยกได้อีกทางหนึ่ง

7.3.2 ประสานงาน พิจารณา และกลั่นกรองร่วมกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ เมื่อได้แผนการจัดการจราจรและเส้นทางเลี่ยงแนะนำแล้ว เพื่อให้เกิดการประสานงานอันดีในระดับพื้นที่ จึงนำข้อมูลข้างต้นหารือกับเจ้าหน้าที่ตำรวจท้องที่ สำนักงานบำรุงทางนนทบุรี รวมทั้งนำเสนอให้ที่ประชุมระดับจังหวัด (เช่น สจร.นนทบุรี ของจังหวัดนนทบุรี เป็นต้น) พิจารณาและให้ความเห็น

รูปที่ 7-14 การประชุม สจร.นนทบุรี เพื่อพิจารณาผลกระทบด้านจราจร ในเขตจังหวัดนนทบุรี

www.yotathai.com

7.3.3 เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ผู้ใช้รถทราบล่วงหน้า จากแผนการจัดการจราจรในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้างและเส้นทางแนะนำเพื่อหลีกเลี่ยงการจราจรบริเวณแยกปากเกร็ดที่ผ่านการพิจารณาจากเจ้าหน้าที่ท้องถิ่น จะรวบรวมสรุปทำเป็นเอกสารประชาสัมพันธ์ แจกจ่ายให้ผู้ใช้รถผ่านแยกปากเกร็ดได้รับทราบ

นอกจากนี้ บางเงื่อนไขสัญญา ผู้รับจ้างต้องจัดให้มีการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อโทรทัศน์เพื่อประชาสัมพันธ์รายละเอียดโครงการฯและผลกระทบทางด้านการจราจรที่อาจเกิดขึ้น เพื่อขอให้ผู้ใช้รถได้โปรดหลีกเลี่ยง

รูปที่ 7-15 แจกจ่ายเอกสารประชาสัมพันธ์โครงการฯ แผนการก่อสร้าง การปิดกั้นพื้นที่ก่อสร้างพร้อมการจัดการจราจร และเส้นทางเลี่ยงแนะนำ

7.3.4 ดำเนินการจัดการจราจร ติดตั้งป้ายแนะนำ ป้ายเตือน และอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย ทำการติดตั้งกำแพง (Barrier) ทั้งที่ทำจากคอนกรีตและพลาสติกปิดกั้นเส้นทางตามที่วางแผนไว้ในแต่ละขั้นตอน เพื่อป้องกันอันตรายจากการก่อสร้างและเป็นการกั้นแนวให้ผู้ขับขี่เห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้ การติดตั้งป้ายเตือนอันตราย ป้ายแนะนำทิศทางการเดินรถ และอุปกรณ์ไฟฟ้า

แสงสว่างเพื่ออำนวยความปลอดภัย ก็เป็นมาตรการที่ช่วยให้ผู้ขับขี่ขับรถด้วยความระมัดระวังและไม่สับสนในเส้นทาง

รูปที่ 7-16 กำแพง ป้ายเตือน และป้ายแนะนำการเดินรถ

เพื่อให้การเดินทางตามเส้นทางเลี่ยงทางลัดที่แนะนำเป็นไปด้วยความราบรื่น และผู้ขับขี่มีความสะดวกในการใช้งาน ได้ทำการติดตั้งป้ายแนะนำเส้นทางในแต่ละถนนหรือซอยที่ประชาสัมพันธ์ไว้

รูปที่ 7-17 ป้ายแนะนำทางเลี่ยงทางลัด

www.yotathai.com

8. ปัญหาอุปสรรคในภาพรวมของงานก่อสร้าง
(Problems/Obstructions for Construction Project)

เช่นเดียวกับโครงการก่อสร้างทั่วไปที่จะต้องประสบปัญหาอุปสรรคในระหว่างการทำงาน แต่ในโครงการก่อสร้างทางลอดซึ่งต้องมีปริมาณงานขุดดินที่ลึกและเป็นพื้นที่กว้าง และต้องปิดกั้นพื้นที่เต็มความกว้างของทางลอดตลอดระยะเวลาการก่อสร้าง ปัญหาอุปสรรคจึงมีลักษณะเฉพาะและเน้นไปทางอุปสรรคใต้ดิน และพื้นผิวจราจรเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงภาพรวมปัญหาอุปสรรคที่พบในโครงการก่อสร้างทางลอด เพื่อเป็นแนวทางประกอบการทำงานต่อไป

8.1 ปัญหาสาธารณูปโภค

ในงานก่อสร้างทางลอด จะประสบปัญหากับสาธารณูปโภคที่อยู่ใต้ดินเป็นอย่างมาก อีกทั้งบางงานก่อสร้างจะอยู่ในเขตชุมชนเมือง ทำให้มีสาธารณูปโภคทั้งบนอากาศและใต้ดินหลายหน่วยงานมีตำแหน่งที่เกี่ยวพันซ้ำซ้อนกันอยู่

นอกจากนี้ แนวสายไฟฟ้าทั้งบนดินและใต้ดิน ก็ยังเป็นอุปสรรคสำหรับการทำงานของเครื่องจักรตามแนวทางลอด โครงการฯและผู้รับจ้างจะต้องประสานงานอย่างใกล้ชิดตลอดเวลากับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อรื้อย้ายและติดตั้งคืนเป็นช่วงๆ

บางโครงการฯที่รับทราบถึงปัญหาสาธารณูปโภคตั้งแต่ต้น ในขั้นตอนของการประเมินระยะเวลาของโครงการฯจะเผื่อเวลาให้อยู่แล้วในช่วงแรก (ประมาณ 6 เดือน)

รูปที่ 8-1 ปัญหาสาธารณูปโภค

www.yotathai.com

8.2 ปัญหาการจราจรติดขัดเนื่องจากพื้นที่ก่อสร้าง

การก่อสร้างทางลอดทางแยกในเขตเมืองหรือเขตชุมชนโดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล การปิดกั้นเขตพื้นที่ก่อสร้างจึงหลีกไม่ได้ที่จะส่งผลกระทบต่อการติดขัดและความล่าช้าของการจราจรมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม เช่น ทางลอดที่แยกเกษตร ทางลอดที่แยกปากเกร็ด เป็นต้น

การวางแผนจัดการจราจร เช่น การเบี่ยงช่องจราจร การจัดสรรช่องจราจรหรือปิดบางทิศทาง เป็นต้น ควบคู่กับการประชาสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมกับทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในท้องถิ่นนั้นๆ เพื่อรับฟังข้อเสนอแนะและทำความเข้าใจ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

รูปที่ 8-2 ปัญหาการจราจรติดขัดเนื่องจากพื้นที่ก่อสร้าง

รูปที่ 8-3 การประชุมร่วมกับหน่วยงานของท้องถิ่น

www.yotathai.com

บางโครงการฯ เช่น ทางลอดที่ปากเกร็ด จะมีงานประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อโทรทัศน์ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ระบุในสัญญา

รูปที่ 8-4 งานประชาสัมพันธ์โครงการฯผ่านสื่อโทรทัศน์

8.3 ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับแบบก่อสร้าง

1) แบบก่อสร้างมีความขัดแย้งกัน และ/หรือไม่ชัดเจนครบถ้วน

2) การออกแบบไม่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่แนวทาง สิ่งที่กีดขวางการก่อสร้าง

www.yotathai.com

9. เครื่องมือวัดและติดตามพฤติกรรมของโครงสร้างทางลอด
(Instrument and Monitoring of Underpass)

สำนักวิจัยและพัฒนางานทางได้มีการศึกษาติดตามพฤติกรรมของโครงสร้างทางลอดในพื้นที่ดินอ่อน เพื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการออกแบบและระหว่างการก่อสร้าง และได้เผยแพร่เป็นผลงานทางวิชาการเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถค้นคว้าได้ สำหรับเอกสารคู่มือเล่มนี้ ได้นำเนื้อหาส่วนที่เกี่ยวข้องเครื่องมือและผลที่ได้จากการตรวจวัดมาสรุปไว้เพื่อประกอบการทำงานในขั้นตอนก่อสร้าง

9.1 เครื่องมือทางธรณีเทคนิค

ผลการตรวจวัดอุปกรณ์ทางธรณีเทคนิคที่ได้ สามารถแปรผลเป็นค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงทางลอด แรงดันทางด้านข้างที่กระทำต่อผนังกำแพงดิน แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดิน และค่าการทรุดตัวของถนนที่อยู่บริเวณด้านข้างของทางลอด อุปกรณ์ทางด้านธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

9.1.1 Vertical Inclinometer

Vertical Inclinometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของดิน หรือโครงสร้างอื่นๆ และมีส่วนประกอบดังนี้

1) หัววัดการเอียงตัว (Probe) ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีความหนาและแข็งแรง มีชุดล้ออยู่ 2 ตำแหน่ง ห่างกัน 50 เซนติเมตร (รูปที่ 9-1) เพื่อใช้บังคับให้วิ่งอยู่ในร่องท่อ เป็นหัววัดแบบสองแกน (Biaxial) ประกอบด้วยชุด Servo Accelerometer 2 ชุด แกนของ Accelerometer ชุดแรกจะอยู่ในแนวเดียวกันกับล้อบังคับร่อง ส่วนอีกชุดหนึ่งจะตั้งฉากกับล้อ ทำให้หัววัดสามารถวัดค่าการเอียงตัวของท่อได้ทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกัน

2) เครื่องอ่านค่าการเอียงตัว (Readout) ใช้ในการอ่านค่าการเอียงตัว โดยต่อเข้ากับหัววัดการเอียงตัวด้วยสายนำสัญญาณ ทำงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถเก็บข้อมูลได้ และสามารถถ่ายข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

3) สายนำสัญญาณ ใช้เชื่อมต่อระหว่างหัววัดการเอียงตัวและเครื่องอ่านค่าการเอียงตัว หุ้มด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันน้ำและยืดหยุ่นตัวได้ มีเครื่องหมายบอกระยะทุกๆ 50 เซนติเมตร

www.yotathai.com

4) ท่อนำทาง (Inclinometer Casing) ทำจากวัสดุที่หยุ่นตัวได้ดี เพื่อที่จะเคลื่อนตัวไปตามโครงสร้างหรือดินที่ต้องการวัดการเคลื่อนตัวได้ ภายในท่อมีร่องนำทาง 4 ร่องตั้งฉากกันยาวตลอดความยาวท่อ แต่ละท่อนต้องมีระบบเชื่อมต่อกันที่สามารถป้องกันการบิดของท่อที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งได้อย่างดี และป้องกันน้ำที่จะรั่วซึมเข้าไปได้

ก. ภาพแสดงสายนำสัญญาณและหัววัดการเคลื่อนตัว (Probe)

ข. ภาพแสดงเครื่องอ่านค่าการเอียงตัว (Readout)

รูปที่ 9-1 เครื่องมือทางธรณีเทคนิค Inclinometer

9.1.2 Piezometer

Piezometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) ในมวลดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil) มีส่วนประกอบคือ หัววัดแรงดันน้ำ (รูปที่ 9-2) วัสดุที่หุ้มต้องเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดันจากดินและแรงดันน้ำที่อยู่โดยรอบได้ สายเคเบิลเป็นสายเคเบิลที่เชื่อมต่อหัววัดแรงดันน้ำ เพื่อต่อไปยัง Terminal Box ต้องหุ้มด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันน้ำ มีความยืดหยุ่นตัวเพียงพอที่จะดัดโค้งงอตามสภาพพื้นที่ที่ทำการติดตั้งได้ เป็นเส้นเดียวตลอด ไม่มีจุดเชื่อมต่อ

Piezometer จะต้องมีค่า Accuracy ไม่เกิน 0.25% Full Scale การติดตั้ง Piezometer ต้องเจาะรูในดินถึงระดับที่กำหนดไว้ในแบบ หรือตามความเหมาะสม แล้วทำการเกราท์ (Grout) ด้วย Bentonite-Cement ระดับความลึกของ Piezometer ที่ทำการติดตั้งจะต้องเป็นไปตามแบบ

www.yotathai.com

ก. ภาพแสดงหัววัดแรงดันน้ำ

ข. ภาพแสดงเครื่องมืออ่านค่าแรงดันน้ำ

รูปที่ 9-2 **ภาพแสดงเครื่องมืออ่านค่าแรงดัน/ระดับน้ำใต้ดิน (Pneumatic Piezometer)**

9.1.3 Observation Well

บ่อสังเกตการณ์ (Observation Well) ใช้วัดระดับน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากดินถมหรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินตามฤดูกาล อุปกรณ์ติดตั้งประกอบด้วยท่อ PVC Class 13.5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร เจาะรูโดยรอบแล้วพันด้วยวัสดุกรองน้ำ ปลายท่อด้านล่างให้ปิดด้วย End Cap ทาด้วยกาวที่ใช้สำหรับท่อ PVC และปิดทับด้วย Mastic Tape ส่วนปลายด้านบนปิดทับด้วย Top Cap และให้ติดตั้งเหนือระดับดินเดิม 50 เซนติเมตร ถึง 80 เซนติเมตร การอ่านค่าให้ใช้เครื่องมือ Water Level Meter ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ในการอ่านค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง ระดับปลายท่อด้านล่างให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือผู้เชี่ยวชาญเห็นสมควร ผนังบ่อสังเกตการณ์ประกอบด้วยท่อ Galvanized Steel Pipe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ลึก 3 เมตร โดยปลายท่อด้านล่างช่วง 1 เมตร ให้เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.50 มิลลิเมตร และห่อหุ้มรูเจาะด้วย Geotextile เพื่อป้องกันการอุดตันของบ่อสังเกตการณ์ การติดตั้งให้ทำหลุมเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 100 มิลลิเมตร หลังจากติดตั้งท่อ Galvanize ในหลุมเจาะแล้ว จะต้องใส่ทรายลงในหลุมเจาะช่วงท่อเจาะรูลึก 1.00 เมตร และ Grout หลุมเจาะช่วง 2.00 เมตร บน ด้วย Cement Bentonite Grout ที่มีคุณสมบัติทึบน้ำ การอ่านค่าให้ใช้เครื่องมือ Water Level Meter ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ในการอ่านค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง

www.yotathai.com

ก. ภาพถ่ายเครื่องมือวัดระดับน้ำ

ข. ภาพถ่ายการทดสอบการอ่านค่าระดับน้ำ

รูปที่ 9-3 อุปกรณ์ตรวจวัด Observation well

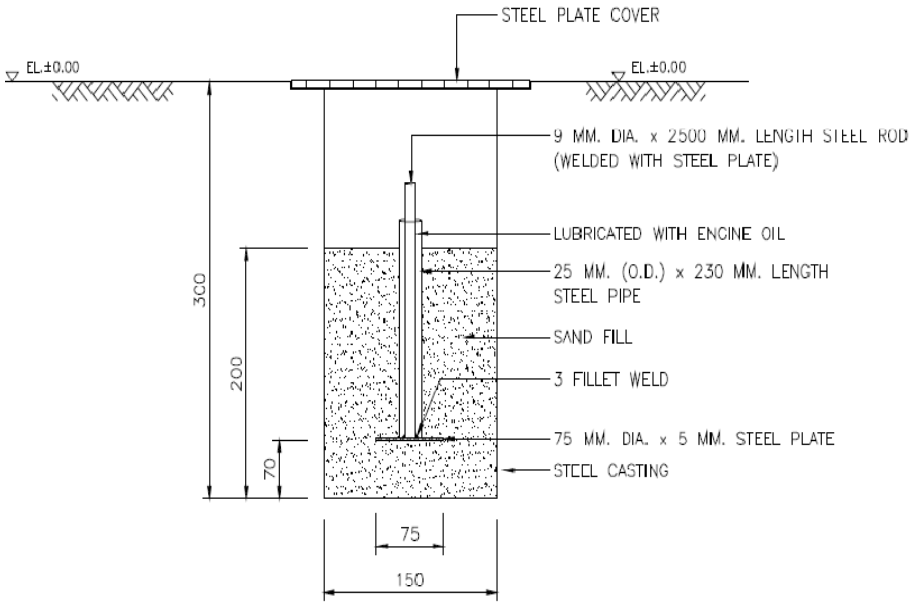
รูปที่ 9-4 เครื่องมือที่ใช้อ่านค่าระดับน้ำจากผิวดิน

9.1.4 Surface Settlement Plate

Surface Settlement Plate ติดตั้งเพื่อใช้ในการวัดการยุบตัวในแนวดิ่งที่ตำแหน่งผิวดิน โดยจะทำการติดตั้งแผ่นเหล็ก (Steel Plate) ลงไปในชั้นดิน ลึกประมาณ 25 เซนติเมตร เครื่องมือวัดประกอบด้วย Steel Plate ประกอบติดกับ Steel Rod ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกไม่น้อยกว่า 12

www.yotathai.com

มิลลิเมตร ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร อยู่ภายในท่อ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร เพื่อให้เคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ มีฝาล็อคปิดอย่างแน่นหนาป้องกันความเสียหาย โดย Steel Plate ต้องวางลงบนชั้นรองพื้นทางชั้นสุดท้าย (Final Subgrade Layer) และต้องมีระบบป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการจราจรและต้องป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปได้ อุปกรณ์ Settlement Plate เมื่อได้ทำการติดตั้งแล้วเสร็จจะมีลักษณะดังรูปที่ 9-5 และ 9-6



รูปที่ 9-5 การติดตั้งเครื่องมืออ่านค่าระดับการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement Plate)

ก. ภาพแสดง Steel Plat Cover

ข. ภาพแสดง Settlement Pont

รูปที่ 9-6 เครื่องมืออ่านค่าการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement Point)

9.1.5 Instrument House

www.yotathai.com

Instrument House สายสัญญาณของอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องเดินฝังใต้ดิน หรือใต้คันทาง หรือฝังในโครงสร้างคอนกรีต และรวบรวมไว้ที่ Instrument House (รูปที่ 9-7) ที่มีความแข็งแรงเพียงพอ ไม่เกิดการทรุดตัวและไม่ถูกทำลายได้โดยง่าย

รูปที่ 9-7 Instrument House

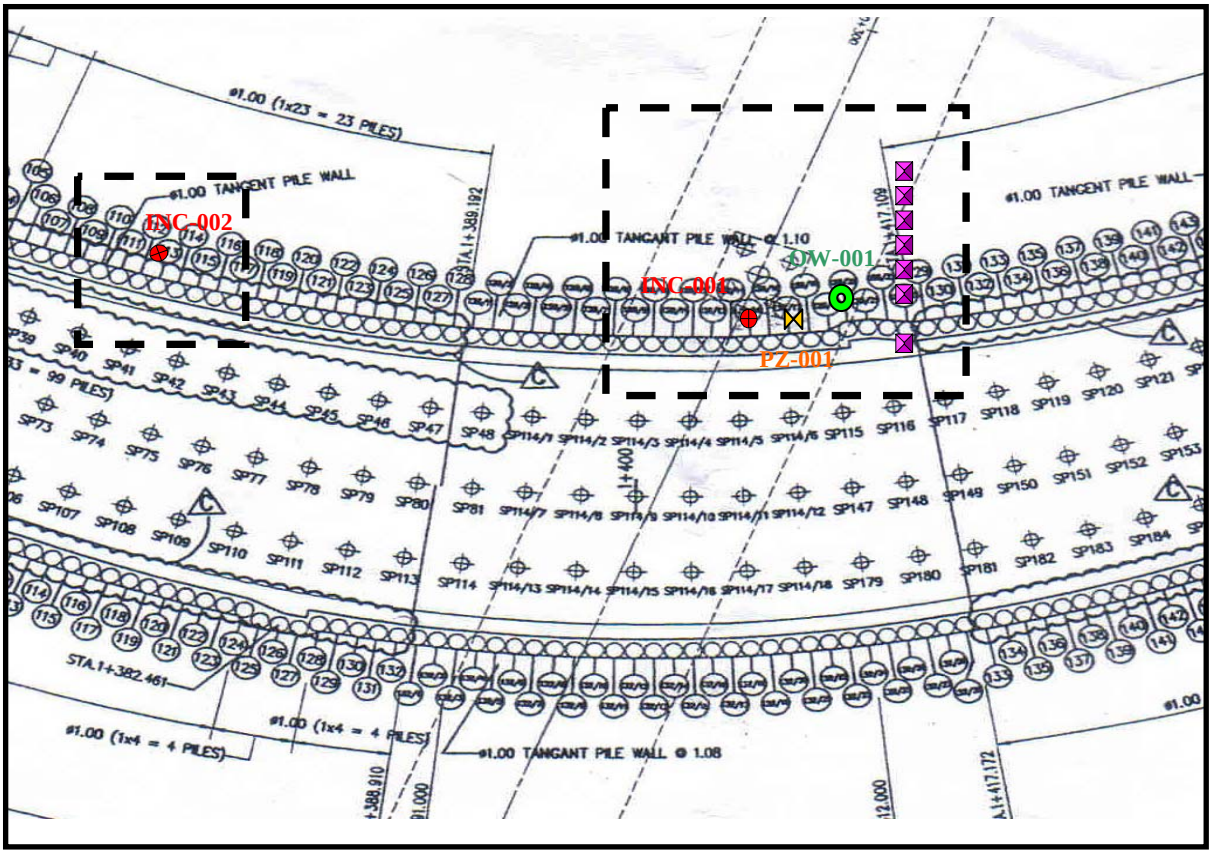
www.yotathai.com

การติดตั้งอุปกรณ์ทางธรณีเทคนิคควรทำการติดตั้งที่บริเวณส่วนที่เป็นอุโมงค์ (Tunnel Section) และบริเวณส่วนที่เป็น Deep Approach ตัวอย่างจำนวนตำแหน่งและชนิดของเครื่องมือตรวจวัดในโครงการก่อสร้างทางลอดที่แยกเกษตรศาสตร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9-1 และรูปที่ 9-8

ตารางที่ 9-1 จำนวนตำแหน่งและชนิดของเครื่องมือทางธรณีเทคนิค
บริเวณทางลอดแยกเกษตรศาสตร์

ชนิดเครื่องมือวัด	จำนวน	หมายเลขเครื่องมือ	ตำแหน่งการติดตั้ง	ความลึกติดตั้งจากระดับผิวดิน (เมตร)
Inclinometer	2 ชุด	INC-01	Tunnel Section (Sta.1+410)	22.50 เมตร
		INC-02	Deep Approach(Sta.1+450)	22.50 เมตร
Pneumatic Piezometer	3 ชุด	PZ-01/1	Tunnel Section (Sta.1+410)	7.50 เมตร
		PZ-01/2	Tunnel Section (Sta.1+410)	22.50 เมตร
		PZ-02	Tunnel Section (Sta.1+410) ใต้ Base Slab	1.00 เมตร ใต้ Base Slab
Observation well	1 ชุด	OW-01	Tunnel Section (Sta.1+410)	3.00 เมตร
Surface Settlement Plate	5 จุด	-	Tunnel Section (Sta.1+410)	ที่ระดับผิวทางตั้งฉากกับกำแพง
Instrument House	1 ชุด	-	Tunnel Section (Sta.1+410)	-

www.yotathai.com



สัญลักษณ์	เครื่องมือตรวจวัด	จำนวน
⊕	Inclinometer	2
⋈	Piezometer	3
⊠	Surface Settlement Plate	5
◎	Observation Well	1

รูปที่ 9-8 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือธรณีเทคนิคที่หลักกิโลเมตร 1+410 และที่หลักกิโลเมตร 1+450

ข้อมูลที่ได้จากการอ่านวัดค่าในสนามถูกนำมารวบรวมเป็นผลบันทึกที่มีลักษณะที่อ่านได้ และแปลผลในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยมีการบันทึกผลที่สามารถแสดงทั้งในรูปแบบข้อมูลตัวหนังสือ ตัวเลข และกราฟ โดยมีรูปแบบข้อมูลที่จะทำการตรวจวัดดังตาราง 9-2

www.yotathai.com

ตารางที่ 9-2 รูปแบบข้อมูลที่จะทำการตรวจวัด

ชนิด	ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด	รูปแบบกราฟที่นำเสนอ
Inclinometer	ระดับของปลายท่อที่เปลี่ยนแปลง ค่าการเคลื่อนตัว (Deflection) และ Face Error ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของแนวท่อที่เปลี่ยนแปลงโดยเทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น (Base reading) ที่ทุกระยะ 0.5 ม. ตาม ความลึก	ระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบของท่อเทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น (Base Reading) โดยแสดงชุดข้อมูลล่าสุดในความลึกต่าง ๆ ตามแนวท่อระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบสูงสุดของท่อเทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น (Base Reading) ในความลึกต่าง ๆ ตามแนวท่อ
Piezometer	แรงดันน้ำในช่องโพรงดินที่แต่ละตำแหน่งและความลึกของเครื่องมือวัด	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำ ณ จุดตรวจวัดต่างๆ เทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น(Base Reading) ณ เวลาต่าง ๆ
Surface Settlement Plate	ระยะเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ระดับผิวดิน	ระดับการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ระดับผิวดินเทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น (Base Reading) ในเวลาต่าง ๆ ในแต่ละชุด ระดับการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง เทียบกับ ค่าการอ่านเบื้องต้นในเวลาต่าง ๆ
Observation Well	วัดระดับน้ำใต้ดิน	ระดับน้ำใต้ดินเทียบกับค่าการอ่านเบื้องต้น (Base Reading) ในเวลาต่าง ๆ

9.2 ข้อเสนอแนะในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

จากการศึกษาของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง ทำให้ทราบถึงพฤติภาพทางโครงสร้างของทางลอดในระหว่างการก่อสร้าง ผลการสำรวจและวิเคราะห์พฤติภาพทางคณิตศาสตร์ทางลอดโดยเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดอุปกรณ์ธรณีเทคนิค จากการศึกษาผู้วิจัยมีความเห็นว่า “การติดตั้งและตรวจวัดอุปกรณ์ทางธรณีเทคนิคสำหรับทางลอด” มีประโยชน์ดังต่อไปนี้

9.2.1 เพื่อควบคุมงานก่อสร้าง (Construction Control) โดยใช้เครื่องมือธรณีเทคนิคที่ได้ติดตั้งในการเฝ้าตรวจผลกระทบของการก่อสร้างทางลอด ข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องมือ

www.yotathai.com

ตรวจวัดจะช่วยให้วิศวกรสนาม สามารถตัดสินใจว่าควรทำการก่อสร้างได้เร็วเพียงใดโดยไม่เสี่ยงต่อการวิบัติ

9.2.2 เพื่อควบคุมคุณภาพ (Quality Control) โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดในการกำกับสภาพการทำงานในโครงการฯ และใช้เป็นเงื่อนไขในข้อกำหนดของการควบคุมงานก่อสร้าง

9.2.3 เพื่อความปลอดภัย (Safety) โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดเป็นอุปกรณ์เตือนภัยล่วงหน้า เนื่องจากการวิบัติที่ใกล้จะเกิดขึ้นเพื่อให้มีเวลาสำหรับดำเนินการเพื่อความปลอดภัยของพื้นที่ทำงาน และมีเวลาสำหรับการแก้ไขความเสียหายได้

9.2.4 เพื่อตรวจสอบการออกแบบ (Design Verification) โดยใช้เครื่องมือวัดในการตรวจสอบข้อสมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบและตรวจสอบสมรรถนะของรูปแบบและวิธีที่ได้ทำนายไว้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือธรณีเทคนิค จะเป็นข้อมูลเชิงวิจัยในการปรับปรุงการออกแบบทางลอดในบริเวณข้างเคียงต่อไป

ผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ Diaphragm Wall จาก Vertical Inclinometer ผลแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดิน จาก Piezometer และค่าการทรุดตัวของดินที่อยู่บริเวณด้านข้างของทางลอดที่วัดได้จาก Surface Settlement Point จะเป็นเครื่องเตือนภัยในระหว่างการก่อสร้างทางลอดถ้ามีการเคลื่อนตัวมากผิดปกติ

www.yotathai.com

10. การตรวจสอบและบำรุงรักษาทางลอด
(Inspection and Maintenance of Underpass)

การตรวจสอบและบำรุงรักษาทางลอด หรือ Underpass เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรทั้งบุคลากร เวลา และเครื่องจักรอุปกรณ์ ยุ่งยากกว่าโครงสร้างงานทางอื่นๆทั่วไป ที่เห็นได้ชัดเจนจะเป็นเรื่องการระบายน้ำ แต่การตรวจสอบและบำรุงรักษาตามรอบระยะเวลาจะช่วยป้องกันหรือบรรเทาความเสียหายที่อาจลุกลาม ช่วยยืดอายุการใช้งาน และหลีกเลี่ยงการซ่อมแซมที่ใช้งบประมาณจำนวนมากได้

10.1 การตรวจสอบและบำรุงรักษาตามปกติ

เป็นการดำเนินการตรวจสอบที่สามารถดำเนินการได้โดยการสำรวจสภาพทั่วไปด้วยสายตาระหว่างการขับรถผ่าน หรือเดินเท้าสำรวจ หรือการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น สามารถดำเนินการได้ทุกรอบระยะเวลาที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับการวางแผนที่เหมาะสมกับทรัพยากรที่มีแล้วแต่ความเหมาะสม ซึ่งสามารถแสดงรอบระยะเวลาที่แนะนำสำหรับแต่ละรายการงานได้ดังตารางที่ 10-1

ตารางที่ 10-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามปกติ

ที่	รายการ	รอบระยะเวลา	การดำเนินการ
1.	ผิวจราจร	อย่างน้อย ทุก 1 สัปดาห์	ตรวจสอบสภาพบริการของผิวจราจร และซ่อมแซมในกรณีที่พบการหลุดล่อนเป็นหลุมใหญ่ เพื่อรักษาระดับการให้บริการต่อผู้ใช้รถทั่วไป
2.	สีตีเส้น ป้ายจราจร อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย และอุปกรณ์แบ่งช่องจราจร	อย่างน้อย ทุก 1 สัปดาห์	ตรวจสอบสภาพสีตีเส้น ป้ายจราจรและอื่นๆ และซ่อมแซมในจุดที่อาจกระทบต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่
3.	ผนังทางลอด	อย่างน้อย ทุก 1 สัปดาห์	ตรวจสอบคราบน้ำหรือรอยซึมของน้ำ หรือการกระเทาะหลุดล่อนของวัสดุบุผนัง ตามผนังทางลอด เนื่องจากบางพื้นที่อาจมีปริมาณและแรงดันของน้ำใต้ดินที่มาก เป็นเหตุให้เกิดการรั่วซึม และอาจกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของทางลอดต่อไป หากพบรอยรั่วซึมที่มีอัตราการรั่วซึมสูงกว่าปกติ ให้รีบดำเนินการวางแผนซ่อมแซมได้ทันท่วงที

www.yotathai.com

ตารางที่ 10-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามปกติ (ต่อ)

ที่	รายการ	รอบระยะเวลา	การดำเนินการ
4.	หลังคาทางลอด	อย่างน้อย ทุก 1 สัปดาห์	ตรวจสอบคราบน้ำหรือรอยซึมของน้ำ หรือการกระเทาะหลุดล่อนของคอนกรีต ตามหลังคาทางลอด หากพบความผิดปกติ ให้รีบดำเนินการป้องกันหรือบรรเทาปัญหาน้ำหรือโดยเฉพาะเศษวัสดุที่ตกลงสู่ผิวจราจร เพราะอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่
5.	งานระบบที่มีการใช้งานประจำวัน เช่น ไฟฟ้าส่องสว่าง พัดลมระบายอากาศ เป็นต้น	อย่างน้อย ทุก 1 สัปดาห์	ตรวจสอบความผิดปกติของระบบต่างๆ และดำเนินการแก้ไขในเบื้องต้น
6.	รางระบายน้ำ และบ่อพัก	อย่างน้อย ทุก 1 เดือน	ตรวจสอบการสะสมของตะกอนและกำจัดออกเพื่อป้องกันการสะสมของเศษวัสดุและอาจเป็นอันตรายต่อระบบปั๊มน้ำได้ เทคนิคการป้องกันเศษขยะหรือเศษดินที่จะไหลสะสมไปตามรางน้ำอาจแตกต่างกันตามพื้นที่ บางกรณีอาจปั้นคันหรือเนินต่ำเพื่อดักตะกอน ก็จะช่วยลดปริมาณวัสดุที่จะไปสะสมในบ่อพัก (Sump Tank)
7.	ระบบสูบปั๊มน้ำ	อย่างน้อย ทุก 1 เดือน	ตรวจสอบการทำงานของปั๊มน้ำ เศษวัสดุที่สะสมในเครื่องปั๊ม ตรวจสอบระบบสำรองพลังงานหรือการทำงานในภาวะฉุกเฉิน เพื่อให้แน่ใจว่ากรณีไฟฟ้าสาธารณะดับ จะยังมีแหล่งพลังงานให้ระบบสูบน้ำทำงานได้ทันต่อเหตุการณ์
8.	งานระบบอื่นๆที่มีการใช้งานในภาวะการณ์ฉุกเฉิน เช่น ระบบระบายอากาศ เป็นต้น	อย่างน้อย ทุก 2 เดือน	ตรวจสอบการทำงานของระบบตรวจวัดและสั่งการ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบจะสามารถทำงานได้ทันทีเมื่อเกิดเหตุ

รูปที่ 10-1 ตรวจสอบและซ่อมแซมผิวจราจรโดยเจ้าหน้าที่แขวงการทางขอนแก่นที่ 1

รูปที่ 10-2 ปัญหาน้ำใต้ดินที่รั่วซึมผ่านผนังทางลอด

รูปที่ 10-3 การดูแลกำจัดขยะในรางระบายน้ำ โดยเจ้าหน้าที่แขวงการทางขอนแก่นที่ 1

www.yotathai.com

รูปที่ 10-4 เจ้าหน้าที่แขวงการทางเชียงใหม่ตรวจสอบการทำงานของระบบระบายน้ำ

รูปที่ 10-5 ปัญหาน้ำท่วมขังในทางลอดเนื่องจากระบบปั๊มไม่ทำงาน

www.yotathai.com

10.2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหลัก

เป็นการดำเนินการตรวจสอบและบำรุงรักษาที่มีความละเอียดในการดำเนินการมากยิ่งขึ้น ทั้งในส่วนของโครงสร้างทางลอดและงานระบบต่างๆ ซึ่งสามารถกำหนดรอบระยะเวลาการตรวจสอบได้ตั้งแต่ทุก 1 ปี จนถึง 7 ปี ขึ้นอยู่กับความละเอียดอ่อนของแต่ละส่วนหรือสภาพความเสื่อมโทรม ซึ่งสามารถแสดงรอบระยะเวลาที่แนะนำสำหรับแต่ละรายการงานได้ดังตารางที่ 10-2

ตารางที่ 10-2 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาหลัก

ที่	รายการ	รอบระยะเวลา	การดำเนินการ
1.	งานระบบต่างๆ	1 – 2 ปี	ตรวจสอบรายละเอียดแต่ละชิ้นส่วนหรือเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่น(ถ้ามี)ตามมาตรฐานผู้ผลิต อาจกำหนดรอบระยะเวลาการตรวจสอบตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
2.	ผิวจราจร และโครงสร้างพื้นทางลอด	4 – 7 ปี	ตรวจสอบขนาด พื้นที่และลักษณะ รอยแตกรอยร้าว การกระเทาะหลุดล่อน ที่อาจเกิดจากการใช้งานหรือการเสื่อมสภาพของวัสดุคอนกรีตหรือเหล็กเสริม และดำเนินการบูรณะซ่อมแซมตามสาเหตุ โครงสร้างที่ยังอยู่ในสภาพที่ดี อาจกำหนดรอบระยะเวลาการตรวจสอบเป็นทุก 7 ปี และปรับลดลงเหลือทุก 4 ปี เมื่อโครงสร้างมีการเสื่อมสภาพแล้วในระดับหนึ่ง
3.	โครงสร้างผนังทางลอด	4 – 7 ปี	
4.	โครงสร้างหลังคาทางลอด	4 – 7 ปี	
5.	รางระบายน้ำ บ่อพัก	4 – 7 ปี	ตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้างรางระบายน้ำ บ่อพัก หรืออาคารระบายน้ำที่เกี่ยวข้อง และดำเนินการบูรณะซ่อมแซม อาจกำหนดรอบระยะเวลาการตรวจสอบตามลักษณะความยุ่งยากหรือสภาพของโครงสร้างเป็นทุก 7 ปี สำหรับโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนหรือยังอยู่ในสภาพที่ดี และ/หรือปรับลดลงเหลือทุก 4 - 5 ปี สำหรับโครงสร้างที่มีความยุ่งยากซับซ้อน หรือโครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพแล้วในระดับหนึ่ง

www.yotathai.com

ตารางที่ 10-2 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาหลัก (ต่อ)

ที่	รายการ	รอบระยะเวลา	การดำเนินการ
6.	สีตีเส้น ป้ายจราจร อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย และอุปกรณ์แบ่งช่องจราจร	4 – 7 ปี	ตรวจสอบรายละเอียดของงานสีตีเส้น ป้ายจราจร อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยและอื่นๆ และบูรณะซ่อมแซมหรือถอดเปลี่ยนเนื่องจากจะกระทบต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่

10.3 การตรวจสอบและบูรณะพิเศษ

เป็นการดำเนินการตรวจสอบในกรณีพิเศษที่มีแผนการตรวจสอบที่เฉพาะเจาะจง และกำหนดวิธีการบูรณะซ่อมแซม เช่น ในกรณีเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ หรือรถยนต์เฉี่ยวชน หรือความเสียหายที่ต้องใช้วิธีการตรวจสอบหรือประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นจะออกแบบรายละเอียดงานซ่อมแซมและบูรณะปรับปรุงต่อไป รอบระยะเวลาจึงขึ้นอยู่กับสาเหตุที่เกิดขึ้น

www.yotathai.com

10.4 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการบำรุงรักษา

10.4.1 ปัญหาน้ำใต้ดินที่เกิดบริเวณผนังทางลอดหรือพื้นทางลอด ที่ควรดำเนินการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาตามลักษณะของทางน้ำตั้งแต่ในขั้นตอนก่อสร้าง

10.4.2 รางระบายน้ำที่เป็นฝาคอนกรีต จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการยก ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากและต้องเบี่ยงการจราจร ในขั้นตอนการออกแบบควรพิจารณาระบบฝาปิดรางที่มีความสะดวกในการบำรุงรักษา

10.4.3 ระบบสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ ในบางกรณี ออกแบบวงจรหรือลำดับการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่องตามลำดับหรือความสูงของน้ำ ซึ่งหากเกิดการขัดข้องที่เครื่องใดเครื่องหนึ่งอาจทำให้เครื่องถัดไปไม่ทำงานหรือทำงานไม่มีประสิทธิภาพ

10.4.4 อุปกรณ์ในงานระบบต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ ป้าย VMS เป็นต้น มีความยุ่งยากในการจัดหาอะไหล่หรือผู้ให้บริการ

10.4.5 ค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าในส่วนของงานระบบต่างๆของทางลอดที่ใช้เป็นทางสาธารณะ จะมีการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากหน่วยงานการไฟฟ้า ดังนั้น ในกรณีที่กรมทางหลวงยอมรับที่จะนำส่งค่าไฟฟ้าสำหรับงานระบบ ในขั้นตอนการออกแบบจำเป็นต้องแยกวงจรและติดตั้งมิเตอร์เพื่อตรวจนับหน่วยไฟฟ้าให้ชัดเจน ยกเว้นแต่ว่ากรมทางหลวงจะทำความตกลงกับหน่วยงานการไฟฟ้าให้ชัดเจน

10.4.6 ความไม่ต่อเนื่องของระบบระบายน้ำ จะเกิดขึ้นในกรณีที่ขนาดของระบบระบายน้ำทางลอดมีขนาดใหญ่กว่าระบบระบายน้ำที่อยู่ต่อเนื่องกัน ทำให้เกิดปัญหาระบายน้ำไม่ทัน เช่น กรณีน้ำท่วมขังบริเวณทางขึ้นลงทางลอดขอนแก่น

รูปที่ 10-6 ปัญหาการระบายน้ำในทางลอดที่เชื่อมโยงกับท่อสาธารณะของทางลอดขอนแก่น กรณีฝนตกหนัก วันที่ 17 พฤษภาคม 2556 เวลา 16.00 น.

www.yotathai.com

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง, สำนักสำรวจและออกแบบ, เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับ และอุโมงค์ทางหลวง ระหว่างวันที่ 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2550, 2550

กรมทางหลวง, คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 3 การควบคุมงานก่อสร้างสะพาน และอาคารระบายน้ำ, 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, คู่มือวิธีการปฏิบัติงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม, 2549

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, คู่มือควบคุมงานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม คสล., 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, รายงานแล้วเสร็จโครงการ (Final Report) โครงการก่อสร้างทางลอดที่ปากเกร็ด ที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 306 (ถนนติวานนท์) กับทางหลวงหมายเลข 304 (ถนนแจ้งวัฒนะ), 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, รายงานแล้วเสร็จโครงการ (Final Report) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 107 (แยกข่วงสิงห์), 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, รายงานแล้วเสร็จโครงการ (Final Report) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 118 (แยกศาลเด็ก), 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, รายงานแล้วเสร็จโครงการ (Final Report) โครงการก่อสร้างทางลอดจุดตัดทางหลวงหมายเลข 11 กับทางหลวงหมายเลข 1006 (แยกปอยหลวง) ระหว่าง กม. 89+700 – 92+510, 2550

กรมทางหลวง, สำนักก่อสร้างสะพาน, รายงานแล้วเสร็จโครงการ (Final Report) โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 2 ตอน ทางลอดที่จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 กับทางหลวงหมายเลข 12 (จ.ขอนแก่น), 2553

www.yotathai.com

กรมทางหลวง, รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2, 2536

ณรงค์ ทัศนิพันธ์ และทัชชะพงษ์ ประเวศวรารัตน์, กำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในชั้นดินกรุงเทพ, 2542

ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและการป้องกัน, การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2524, จัดโดย วสท.

ณรงค์ ทัศนิพันธ์, ประสบการณ์การก่อสร้างทางรถวิ่งใต้ดินโดยใช้ระบบ Diaphragm Wall, 2539

อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช และ จุฑา สุนิตย์สกุล, วพ.257 โครงการศึกษาและติดตามพฤติกรรมทางลอดแบบเปิดที่แยกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551

อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช และ จุฑา สุนิตย์สกุล, วพ.258 โครงการศึกษาและติดตามพฤติกรรมทางลอดแบบเปิดระยะยาว: กรณีศึกษาทางลอดที่แยกหลักสี่, 2551

Nick Wharmby, Development of Secant Pile Retaining Wall Construction in Urban New Zealand, 2010