# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 วัตถุประสงค์

ในการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน และโครงสร้างคันทางถมสูงในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมากทั้งโดยผู้ผลิต และหน่วยงานที่มีหน้าที่ก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อแก้ไขปัญหาการก่อสร้างคันทางในพื้นที่ที่มีเขตทาง (Right of Way) จำกัด และพื้นที่ก่อสร้างมีโครงสร้างทางธรณีที่ไม่เหมาะสม รวมไปถึงข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในด้านการวางแผน การออกแบบ และการประยุกต์ใช้งานวิธีการก่อสร้างโดยใช้วัสดุเสริมกำลัง จึงจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในวิธีการใช้งาน ข้อกำหนดต่างๆ รวมไปถึงปัจจัยด้านราคาสำหรับการประยุกต์ใช้วิธีการและแนวทางการก่อสร้างต่างได้อย่างเหมาะสม

รายงานฉบับนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้ออกแบบ ผู้เขียนข้อกำหนด ผู้ประเมินราคา ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง และนักบำรุงทาง ในการเลือกรูปแบบ ออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างกำแพงเสริมกำลังหรือที่เรียกว่า Mechanically Stabilized Wall (MSEW)

แนวทางการออกแบบ และวิธีการการก่อสร้างโครงสร้างประเภท MSE Wall ได้ถูกศึกษา ปรับปรุงและพัฒนามาเป็นเวลาอย่างน้อย 20 ปีที่ผ่านมา ทั้งโดยผู้วิจัย ผู้ผลิต รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ของรัฐ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยี หรือพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ในรายงานนี้จะอธิบายถึงการออกแบบ การก่อสร้าง วัสดุ การบริหารสัญญา และการก่อสร้างและการตรวจสอบที่จำเป็น ซึ่งจะอ้างอิงจากคู่มือการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย FHWA ข้อมูลจากการก่อสร้างโครงการทางหลวงหมายเลข 11 สายอุตรดิตถ์-เด่นชัย ของสำนักก่อสร้างทางที่ 1 กรมทางหลวง และข้อมูลจากการก่อสร้างแปลงทดสอบคันทางเสริมกำลังดิน ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง โดยมีรายละเอียดเนื้อหาของรายงาน ดังนี้

### 1.1.1 ส่วนประกอบของรายงาน

รายงานนี้จะมีเนื้อหาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างกำแพงการเสริมกำลังดิน ประกอบด้วย

- การพัฒนาวิธีการ MSE ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้โครงสร้างเสริมกำลัง
- ระบบการเสริมกำลังและการใช้งานสำหรับโครงการด้านการขนส่ง
- ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุเสริมกำลังดินและมวลดินเบื้องต้น
- การออกแบบโครงสร้าง MSE Wall

- ข้อกำหนด และการบริหารสัญญาในการก่อสร้าง MSE Wall
- การควบคุมงานก่อสร้าง ปัญหา และข้อควรระวัง
- กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง ทางหลวงหมายเลข 11 สายอุตรดิตถ์-เด่นชัย

**1.1.2 เอกสารอ้างอิง**

รายงานฉบับนี้ได้ถูกเรียบเรียงขึ้นโดยอ้างอิงจาก

- FHWA-NHI-00-043 *"Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines", 2001*

- FHWA-NHI-10-024 *"Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I", 2009*

- รายงานวิจัยการศึกษาพฤติกรรมของคันทางเสริมกำลังและกำแพงกันดินเสริมกำลัง สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

- คู่มือการควบคุมงานการเสริมกำลังดินด้วยวัสดุประเภทเหล็ก สำนักก่อสร้างทางที่ 1 กรมทางหลวง

**1.1.3 ศัพทานุกรม**

ในรายงานฉบับนี้ได้มีการใช้ศัพท์เทคนิค โดยความหมายของศัพท์อธิบายได้ ดังนี้

**- Inclusion** หมายถึง วัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นและใช้ผสมผสานกับมวลดินเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ตัวอย่างวัสดุเสริม ได้แก่ แผ่นเหล็ก ( Steel strips) แผ่นวัสดุใยสังเคราะห์ (Geotextile sheets) วัสดุประเภทตาข่ายทั้งที่ทำจากเหล็กและโพลีเมอร์ (Steel or polymeric grids) ตะปูเย็บดิน (Steel nails) และ ลวดเหล็กสำหรับยึดดิน (Steel tendons) โดยการเสริมกำลัง (Reinforcement) จะหมายความถึงการใช้วัสดุเสริมในกรณี ที่มีการถ่ายแรงระหว่างมวลดินและวัสดุเสริมตลอดทั้งเนื้อวัสดุเสริมนั้นเท่านั้น

**-Mechanically Stabilized Earth Wall หรือ MSEW** หมายถึง มวลดินที่มีการเสริมกำลัง โดยปกติจะรวมถึงการเสริมกำลังด้วยวัสดุเสริมหลายชั้นในดินถม

**- Geosynthetics** หมายถึง วัสดุประเภทโพลีเมอร์ซึ่งมีความยืดหยุ่นที่นำมาใช้ในงาน วิศวกรรมปฐพี เช่น Geotextiles Geomembranes Geonets และ Geogrids เป็นต้น

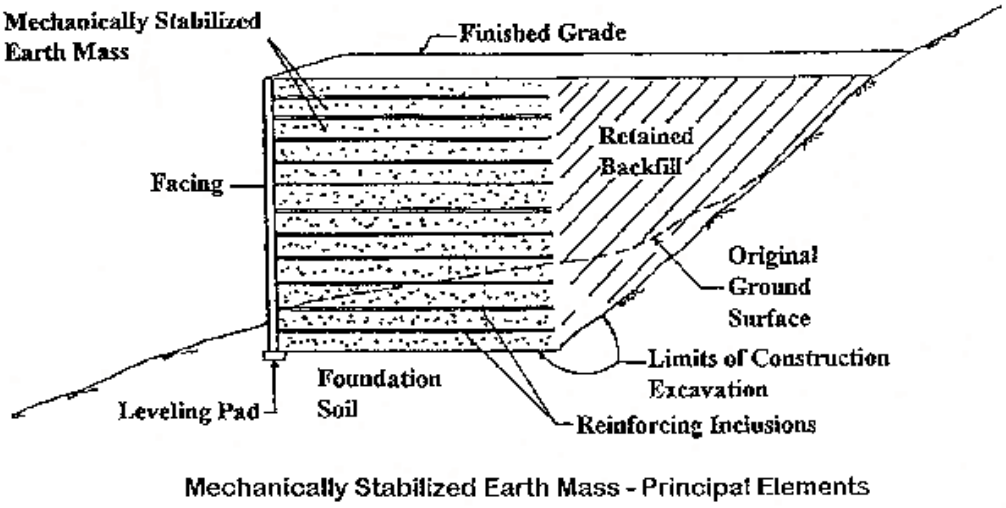
**- Facing** หมายถึง ส่วนประกอบหนึ่งของโครงสร้างเสริมกำลัง ใช้เพื่อป้องกันมวลดิน ระหว่างชั้นของการเสริมกำลังไหลออก โดยปกติแล้วรูปแบบของ Facing จะเป็นแบบแผ่น คอนกรีตสำเร็จรูป ( Precast concrete panels) บล็อกคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Dry cast modular blocks) แผ่นเหล็ก ( Metal sheets and plates) กล่องเกเบี้ยน (Gabions) ตะแกรงเหล็ก ( Welded wire mesh) คอนกรีตพ่น (Shotcrete)

โครงสร้างไม้ (Wood lagging and panels) และการใช้วัสดุใยสังเคราะห์แบบม้วนกลับ (Wrapped sheets of geosynthetics)

- **Retained backfill** คือ วัสดุถมที่อยู่หลังโครงสร้างกำแพงเสริมกำลังและวัสดุดินในที่

- **Reinforced backfill** คือ วัสดุถมที่ใช้เป็นส่วนเสริมกำลัง

รูปที่ 1.1 แสดงรูปตัดของโครงสร้างกำแพงเสริมกำลังประเภท MSE โดยทั่วไป




**รูปที่ 1.1** รูปตัดของโครงสร้างกำแพงเสริมกำลังประเภท MSE

## 1.2 การพัฒนาเทคโนโลยีการเสริมกำลัง

โครงสร้างเสริมกำลังเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการออกแบบทาง ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายกรณี ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างคอสะพานรวมถึงโครงสร้างเสริมกำลังเชิงลาดเพื่อให้สามารถก่อสร้างคันทางได้ในสภาวะที่มีเขตทางจำกัด ในหลายปีที่ผ่านมาโครงสร้างคันดินเสริมกำลังมักจะก่อสร้างจากวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กและออกแบบเป็นโครงสร้างกำแพงกันดินแบบ Gravity Wall หรือ Cantilever Wall ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งและไม่สามารถรองรับการทรุดตัวที่แตกต่างกันของฐานรากโครงสร้างได้ เมื่อความสูงของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้นและดินฐานรากไม่เหมาะสมทำให้ราคาค่าก่อสร้างของโครงสร้างประเภทนี้มากขึ้นตามไปด้วย

โครงสร้างกำแพงกันดินแบบ Mechanically Stabilized Earth Walls (MSEW) เป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมด้านราคาและสามารถรองรับการทรุดตัวที่สูงได้ดีกว่าโครงสร้างกำแพงแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการเพิ่มวัสดุเสริมที่สามารถรับแรงดึงได้เข้าไปในมวลดิน ทำให้กำลังรับแรงของดินมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลให้กำแพงกันดินสามารถรับน้ำหนักของตัวเองได้มากยิ่งขึ้น

การใช้ระบบ Facing หน้าโครงสร้างเสริมกำลังจะช่วยให้วัสดุถมที่อยู่ระหว่างชั้นเสริมกำลังไม่หลุดร่อนไปจากมวลดินเสริมกำลัง ซึ่งจะมีผลให้สามารถก่อสร้างกำแพงที่ชันได้ นอกจากนี้วัสดุเสริมกำลังบางประเภทสามารถทนต่อแรงบิดจากความเค้นเฉือนได้ ทำให้โครงสร้างมีสัดส่วนความปลอดภัยที่มากขึ้นไปด้วย

วัสดุเสริมถูกใช้ในการเสริมกำลังดินมาตั้งแต่สมัยก่อนคริสตกาล จากหลักฐานในอดีตพบว่ามีการใช้ฟางข้าว และกิ่งไม้ ร่วมกับดินในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย ในช่วงศตวรรษที่ 17-18 ผู้บุกเบิกชาวฝรั่งเศส ได้ก่อสร้างคันทางกั้นน้ำบน Bay of Fundy ในประเทศแคนาดา โดยใช้ดินผสมกับกิ่งไม้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนอีกตัวอย่างหนึ่งของโครงสร้างเสริมกำลัง คือการก่อสร้างคันดินเสริมกำลังด้วยกิ่งไม้ในประเทศจีน เมื่อ 1,000 ปีมาแล้ว รวมไปถึงการก่อสร้างคันดินตลอดแม่น้ำ Mississippi เมื่อประมาณทศวรรษ 1880 และการใช้ท่อนไม้ปักในดินเพื่อป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของเชิงลาดในประเทศอังกฤษ นอกไปจากนั้น ยังมีการใช้ไม้ไผ่สานเป็นตารางเพื่อป้องกันการชะล้างหน้าดินก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และรากของต้นไม้ที่เจริญเติบโตบนเชิงลาดยังเป็นการเพิ่มกำลังของดินเพื่อต้านทานการพังทลายของเชิงลาดด้วยเช่นกัน

วิธีการเสริมกำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเริ่มจากการพัฒนาของ Henri Vidal วิศวกรชาวฝรั่งเศสในราวทศวรรษ 1960 ซึ่งนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาวิธีการที่เรียกว่า Reinforced Earth® ซึ่งใช้แผ่นเหล็ก (Steel Strip) สำหรับการเสริมกำลังในดิน ในช่วงของการวิจัยและพัฒนาในช่วงแรก กำแพงกันดินประเภทนี้ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1972 บนทางหลวงหมายเลข 39 ของรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งอยู่ในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของเมืองลอสแอนเจลิส ซึ่งจากการพัฒนาวิธีการเสริมกำลังนับแต่นั้นเป็นต้นมา โครงสร้างดินเสริมกำลังกว่า 23,000 แห่งได้ถูกสร้างขึ้นโดยคิดเป็นพื้นที่การเสริมกำลังกว่า 70 ล้านตารางเมตร ในกว่า 37 ประเทศทั่วโลก หากนับโครงสร้างกำแพงดินเสริมกำลังเฉพาะในสหรัฐอเมริกา พบว่ามีมากกว่า 8,000 แห่ง ที่มีความสูงของกำแพงกันดินสูงกว่า 46 เมตร

ในปัจจุบันระบบการเสริมกำลังดินได้ถูกพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง และผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมีหลายประเภท ซึ่งมีส่วนประกอบ รายละเอียดด้านวิศวกรรม การควบคุมคุณภาพ ที่หลากหลาย ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้คันทางดินเสริมกำลัง (MSE) จำเป็นต้องอาศัยระบบการประเมินคุณภาพที่มีความแน่นอนและถูกต้องสำหรับการก่อสร้างแต่ละโครงการ ซึ่งในช่วงระยะเวลา 20 ปีของการใช้งานวัสดุเสริมกำลังในสหรัฐอเมริกา วัสดุ Facing ประเภทแผ่นคอนกรีตหล่อขนาด 2x2.25 ตารางเมตรถูกใช้งานเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขนาดของ Facing เป็นขนาดที่ใหญ่ขึ้น (5x5 ตารางเมตร) และใช้ร่วมกับวัสดุเสริมกำลังประเภทวัสดุใยสังเคราะห์เป็นปริมาณที่มากขึ้น

การใช้งานวัสดุใยสังเคราะห์สำหรับการเสริมกำลังดิน เริ่มต้นจากการใช้งานในการก่อสร้างคันทางถนนบนพื้นที่ที่มีดินฐานรากอ่อน โดยการใช้งานวัสดุใยสังเคราะห์เพื่อเสริมกำลังดินได้มีการใช้งานครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1971 และนำมาใช้ในสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.1974 ซึ่งมีการใช้งานที่มากขึ้นภายหลังปี ค.ศ. 1980 โดยการใช้วัสดุเสริมกำลังประเภท Geogrids มีการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1980 โดยมีการเริ่มใช้งานในการก่อสร้างครั้งแรกในปี ค.ศ. 1981 และมีการใช้งานแพร่หลายขึ้นนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 เป็นต้นมา

## 1.3 การใช้งานในปัจจุบัน

ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง (MSE Wall) ในเกือบทุกรัฐ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างคมนาคม เช่น ในรัฐ Georgia, Florida, Texas, Pennsylvania, New York และ California โดยมีโครงสร้างดังกล่าวมากกว่า 700,000 ตารางเมตร ซึ่งก่อสร้างโดยใช้แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็น Facing

โครงสร้าง MSE Wall ส่วนใหญ่จะใช้การเสริมกำลังโดยเหล็กเสริมที่เคลือบด้วยสังกะสี ร่วมกับการใช้แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็น Facing และได้มีการประยุกต์ใช้ Geotextile ในการเสริมกำลังบ้างในบางโครงการ และในปัจจุบันได้มีการใช้งานกล่องคอนกรีต (Modular Block) เป็น Facing เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีราคาถูกกว่า ซึ่งมักจะใช้ร่วมกับวัสดุเสริมกำลังแบบโครงตาข่าย ซึ่งจะเรียกว่า Modular Block Wall (MBW) และได้มีการใช้งานในปัจจุบันมากกว่า 200,000 ตร.ม. ในสหรัฐอเมริกา

# บทที่ 2
# ระบบเสริมกำลังดิน

## 2.1 แนวคิดของการใช้วัสดุเสริมแรง

ดินเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีอยู่มากมาย มีกำลังรับแรงอัดสูง แต่มีกำลังรับแรงดึงต่ำ ซึ่งการที่จะทำให้ดินมีกำลังรับแรงดึงนั้น จำเป็นจะต้องมีการใช้วัสดุเสริมซึ่งโดยทั่วไปวัสดุควรจะมีคุณสมบัติเบา มีความยืดหยุ่นและจะต้องมีกำลังรับแรงดึงสูง ซึ่งตัวอย่างของวัสดุเสริมกำลังในดิน ได้แก่ แผ่นเหล็ก (Metal Strip) และวัสดุโพลีเมอร์ (Polymers) ต่าง ๆ เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หรือ โพลีเอทธาลีน ( Polyethylene) ซึ่งเรียกโดยรวมว่า วัสดุเสริมใยสังเคราะห์ ( Geosynthetics) เมื่อมีการใช้ดินและวัสดุเสริมเข้าด้วยกันจึงเรียกรวมว่า โครงสร้างดินที่มีวัสดุเสริมแรง ( Reinforced Soil Structure) ที่มีกำลังรับแรงอัดและแรงดึงสูงกว่าปกติและการที่โครงสร้างชนิดนี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากโครงสร้างทั่วไปนั้นเนื่องมาจากแรงเสียดทานระหว่างดินกับวัสดุเสริมแรง

แนวคิดในการใช้วัสดุเสริมแรงมีมากว่าสามพันปี ซึ่งชาวบาบิโลเนียนได้ใช้ในการสร้าง Ziggurats นอกจากนี้ชาวจีนโบราณได้เสริมกำลังดินโดยใช้ไม้ไผ่และพลาสติกในการสร้างส่วนหนึ่งของกำแพงเมืองจีน และชาวดัทช์ยังได้ใช้วัสดุเสริมกำลังในการก่อสร้างคลองส่งน้ำมากว่า 700 ปี ซึ่งการที่สิ่งก่อสร้างเหล่านี้ยังคงสภาพการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าวัสดุเสริมแรงใช้งานได้ดีในทางปฏิบัติ

เมื่อประมาณ 40 ปีที่แล้ว Henri Vidal ได้คิดค้นการเสริมแรงในดิน โดยใช้วัสดุที่ทำด้วยโลหะแผ่นบางมีความกว้างประมาณ 1-2 นิ้ว และได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ในราวปี พ.ศ. 2510 กำแพงกันดินของ Henri Vidal เป็นที่แพร่หลายและได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และในราวปี พ.ศ. 2520 ได้มีการนำวัสดุโพลีเมอร์ หรือ Geosynthetics มาใช้โดยเริ่มใช้กับลาดคันทาง เขื่อน ถนนที่มีดินถมคันทางสูง คันทางบริเวณคอสะพาน และโครงสร้างที่ต้องการเพิ่มความมั่นคง โดยหากมีการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างวัสดุเสริมแรงชนิด Metal Strip กับ Geosynthetics จะพบว่า Metal Strip จะเหมาะกับการใช้ในการก่อสร้างกำแพงแนวดิ่งหรือเกือบดิ่ง ($70^{\circ}$-$90^{\circ}$) ในขณะที่ Geosynthetics จะใช้กับงานเสริมกำลังบริเวณลาดคันทาง (< $70^{\circ}$) นอกจากนี้การที่วัสดุประเภท Geosynthetics มีพฤติกรรมการยืดหดตัวสูงทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

วัสดุเสริมแรงชนิดใยสังเคราะห์ถูกนำมาใช้เสริมแรงในลาดคันทางที่มีความชันสูง หรือมีเสถียรภาพต่ำและมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังทลาย โดยวัสดุเสริมแรงใยสังเคราะห์นี้จะถูกนำมาใช้ในลาดคันทางโดยวาง

บนแต่ละชั้นดินที่มีการควบคุมการบดอัดอย่างดี ซึ่งวัสดุเสริมแรงประเภทโพลีเมอร์ ( Polymer Materials) ที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้แก่

- Geotextile ลักษณะทั่วไปคล้ายวัสดุถักทอ ( Textiles) แต่จะประกอบด้วยวัสดุสังเคราะห์ไฟเบอร์ (Synthetic Fiber) มากกว่าส่วนประกอบทางธรรมชาติแต่สามารถให้น้ำไหลผ่านได้ จึงมีความคงทนมาก เป็นวัสดุที่ใช้กันมากสามารถนำไปใช้ในงานแบ่งแยกประเภทของวัสดุ ( Separation) งานเสริมความแข็งแรงและเสถียรภาพ ( Reinforcement) ระบบกรอง ( Filtration) ระบบระบายน้ำ ( Drainage) และป้องกันการแพร่กระจายของเหลวหรือสิ่งปฏิกูล (Liquid Barrier)

- Geogrid มีลักษณะคล้ายพลาสติกสำเร็จรูปที่มีพื้นที่เปิด (Apertures) ตามที่กำหนด ส่วนมากจะใช้ในงานเสริมความแข็งแรงและเสถียรภาพ (Reinforcement)

- Geonets บางครั้งเรียกว่า Geospaces มีพื้นที่เปิด ( Apertures) ขนาดเล็กแต่มีจำนวนมาก ส่วนมากใช้ในงานระบบระบายน้ำ (Drainage)

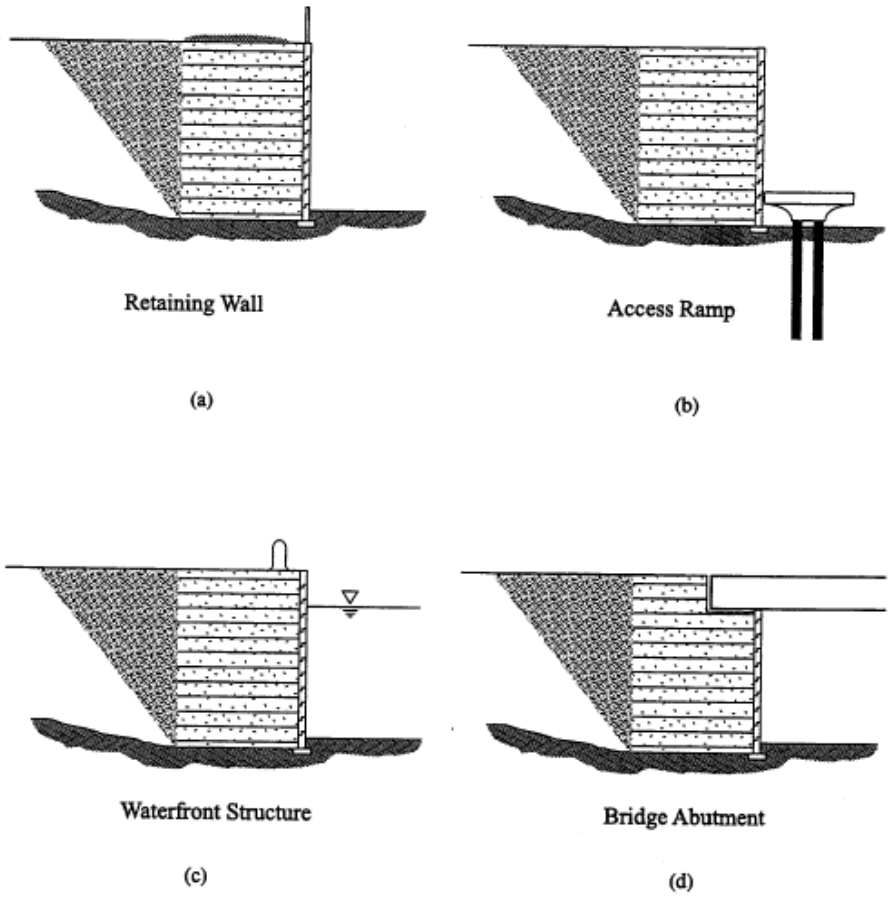
- Geomembranes เป็นวัสดุที่มีการใช้งานมากที่สุด ส่วนใหญ่จะใช้ในงานป้องกันการแพร่กระจายของสิ่งปฏิกูล เนื่องจากตัวของมันเองเป็นวัสดุที่น้ำไม่สามารถไหลซึมได้ (Impervious Material)

**รูปที่ 2.1** ประเภทวัสดุเสริมแรงชนิดใยสังเคราะห์ (Koerner, 1998)

## 2.2 การใช้งาน MSE Walls

โครงสร้าง MSEW เป็นโครงสร้างที่เป็นทางเลือกเมื่อพิจารณาด้านราคาเปรียบเทียบกับโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Wall) หรือกำแพงกันดินแบบใช้น้ำหนัก (Gravity Wall) ที่ใช้โดยทั่วไปในการกันดิน รวมไปถึงการใช้งานในคอสะพาน (Bridge Abutment) และ กำแพงกันดินใต้สะพาน (Wing Wall) รวมไปถึงการใช้งานในกรณีที่เขตทางจำกัด ซึ่งทำให้งานขุดหรืองานก่อสร้างคันทางที่มีความชันตามที่ต้องการไม่สามารถทำได้

การใช้งาน MSE Wall จะมีความเหมาะสมในการก่อสร้างคันทางที่มีความชันสูง และบนดินที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลายของเชิงลาด หรือในพื้นที่ที่ดินฐานรากไม่เหมาะสม ซึ่ง MSE Wall จะมีข้อดีในด้านการก่อสร้างและด้านราคาที่ดีกว่าการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนฐานรากที่ไม่เหมาะสม เนื่องด้วยโครงสร้างประเภทนี้จะลดค่าก่อสร้างด้านการปรับปรุงดิน เช่น การใช้เสาเข็ม ซึ่งจะทำให้ค่าก่อสร้างลดลงถึง 50% โดยทั่วไปการใช้งาน MSE Wall มีหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** ลักษณะการใช้งาน MSE Wall

โครงสร้าง MSE Wall แบบชั่วคราวสามารถใช้งานในการก่อสร้างทางเบี่ยงสำหรับโครงการก่อสร้างและยังใช้เป็นทางลำลองชั่วคราว และโครงสร้างคอสะพานชั่วคราวดังแสดงในรูปที่ 2.3

**รูปที่ 2.3** โครงสร้าง MSEW สำหรับคอสะพานและคันทางชั่วคราว (FHWA, 2009)

นอกจากนี้ MSE Wall ยังใช้เป็นโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวสำหรับขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อการก่อสร้างระบบคันทางถาวร ดังแสดงในรูปที่ 2.4

**รูปที่ 2.4** MSE Wall สำหรับโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวในการก่อสร้างคันทาง (FHWA, 2009)

## 2.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้งาน

### 2.3.1 ข้อดีของโครงสร้าง MSE Wall

MSE wall มีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กและกำแพงแบบ Gravity Wall ดังนี้

-รูปแบบการก่อสร้างที่ง่ายและรวดเร็ว และไม่ต้องการเครื่องจักรก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่

- ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิควิธีการก่อสร้างที่ซับซ้อน

- มีการปรับพื้นที่ก่อสร้างที่น้อยกว่าการก่อสร้างแบบอื่นๆ
- ใช้พื้นที่หน้าโครงสร้างกำแพงน้อยในระหว่างการก่อสร้าง
- ใช้งานได้ดีในกรณีที่เขตทางจำกัด
- ไม่ต้องใช้ฐานรากที่แข็งเกินไปเพราะโครงสร้าง MSE สามารถรับการทรุดตัวได้โดยไม่เกิดการแตกหัก
- คุ้มค่าด้านราคา

- สามารถก่อสร้างกำแพงที่สูงกว่า 30 เมตรได้

- วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุสำเร็จทำให้การก่อสร้างเร็ว ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับกำแพงกันดินแบบอื่นๆ

โดยสรุปแล้ว MSE wall มีความคุ้มค่าทางด้านราคากว่าโครงสร้างกำแพงกันดินแบบอื่นๆ สำหรับการก่อสร้างกำแพงที่มีความสูงมากกว่า 3 เมตร หรือใช้สำหรับการก่อสร้างบนพื้นที่ที่ฐานรากจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสำหรับโครงสร้างประเภทอื่นๆ ซึ่งสิ่งที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับ MSE Wall คือ ความยืดหยุ่นของโครงสร้างที่สามารถทนต่อการทรุดตัวที่เนื่องมาจากฐานรากที่ไม่เหมะสม และยังพบอีกว่าโครงสร้างที่ก่อสร้างในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว มีความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวมากกว่าโครงสร้างกำแพงกันดินทั่วไป นอกจากนี้ แผ่นคอนกรีตสำเร็จที่ใช้เป็น Facing สำหรับ MSE wall มีหลากหลายรูปแบบสำหรับความสวยงามของโครงสร้าง และสามารถใช้วัสดุ Facing อื่นๆที่กลมกลืนกับธรรมชาติเป็น Facing เช่น ไม้ กล่องเกเบี้ยน และอิฐบล็อก

### 2.3.2 ข้อจำกัดของโครงสร้าง MSE Wall

ข้อจำกัดสำหรับโครงสร้างเสริมกำลังขึ้นกับข้อจำกัดของโครงการ โดยมีดังนี้

- ต้องการพื้นที่ที่กว้างสำหรับการขุดหลังกำแพงเพื่อติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง
- การก่อสร้าง MSE Wall ต้องใช้วัสดุดินถมหลังกำแพงที่เหมาะสม ซึ่งในบางโครงการจะต้องขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่นเพื่อการก่อสร้างทำให้ราคาโครงการเพิ่มขึ้น

- การออกแบบระบบเสริมกำลังดินเป็นการแบ่งความรับผิดชอบระหว่างผู้ผลิต และเจ้าของโครงการ

## 2.4 คุณสมบัติของวัสดุเสริมแรงและข้อกำหนดของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

เทคโนโลยีการใช้วัสดุเสริมแรงให้แก่ดินมีการพัฒนามานานกว่า 30 ปีแล้ว โดยมีการใช้วัสดุเสริมแรงประเภทต่างๆ เช่น แถบเหล็ก เหล็กเส้น ตาข่ายเหล็ก หรือ Geosynthetics โดยหลักการพื้นฐานแล้ว

โครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงนั้นจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือวัสดุเสริมแรงให้แก่ดิน วัสดุที่ใช้เป็นผิวหน้ากำแพง และวัสดุถม

เสถียรภาพและความแข็งแรงของลาดคันทางและกำแพงกันดินเสริมแรงนั้นเกิดขึ้นจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุเสริมแรงกับวัสดุถมโดยผลจากแรงดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างองค์รวมที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพและมีความแข็งแรงเพียงพอเมื่อมีหน่วยแรงภายนอกหรือน้ำหนักบรรทุกมากระทำกับโครงสร้าง การเลือกใช้วัสดุเสริมแรงให้แก่ดินเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบโดยขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างของโครงสร้าง ลักษณะพื้นที่ที่ก่อสร้าง และวัตถุประสงค์การใช้งาน

### 2.4.1 ประเภทของวัสดุเสริมแรง

วัสดุที่นำมาใช้ในงานลาดคันดินเสริมแรงและกำแพงกันดินเสริมแรง สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

- **วัสดุเสริมแรงแบบยืดตัวได้** (Extensible Material) เช่น ลวดตาข่าย (Wire Mesh) หรือวัสดุ Geosynthetics เช่น Geogrid Geotextile เป็นต้น สำหรับวัสดุ Geosynthetics สามารถแบ่งประเภทตามกรรมวิธีการผลิต ได้แก่ Extruded Geogrid (Uniaxial / Biaxial) Woven Geogrid ซึ่งแต่ละกรรมวิธีการผลิตก็อาจใช้วัสดุที่แตกต่างกันไป เช่น Polyester (PET), Polypropylene (PP), High Density Polyethylene (HDPE) เป็นต้น
- **วัสดุเสริมแรงแบบไม่ยืดตัว** หรือมีการยืดตัวน้อยมาก (Inextensible Material) ได้แก่ วัสดุจำพวกโลหะ เช่น Metallic Strip Steel Wire Grid เนื่องจากเหล็กมีค่าโมดูลัสสูงมาก นั่นคือสามารถรับกำลังได้สูงในขณะที่มีการยืดตัวและเกิดการคืบต่ำมากเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของดินถมเสริมกำลัง

### 2.4.2 คุณสมบัติของวัสดุเสริมแรงประเภทต่างๆ (Specification of Reinforced Material)

- **วัสดุเสริมแรงแบบยืดตัวได้** (Extensible Material) จะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล มีผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ (ISO/ASTM) โดยผ่านการรับรองจากสถาบันที่น่าเชื่อถือหรือมหาวิทยาลัยต่างๆ
- **วัสดุเสริมแรงแบบไม่ยืดตัว** (Inextensible Material) จะต้องเคลือบสังกะสีกันสนิมไม่น้อยกว่า 600 กรัม / ตร.ม. ตามกรรมวิธีการผลิตตามมาตรฐาน ASTM A123 ขนาดและข้อกำหนดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

Steel Wire Grid

จะต้องมีกระบวนการผลิตตามมาตรฐานการผลิตเหล็กเส้น หรือมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (มอก.) หรือ ISO ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะห่างของเหล็กเสริมตะแกรง โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ขนาด 9 มม. ถึง 12 มม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะพิจารณาเลือกใช้ ขนาดของ Steel Wire Grid แนะนำโดย FHWA มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 โดยกำลังรับแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐานเหล็กเสริมทั่วไป เช่น เหล็กข้ออ้อยเกรด SD40 กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก $f_y$ = 4,000 ksc เหล็กเส้นกลมเกรด SR24 กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก $f_y$ = 2,400 ksc หรือลวดเหล็กที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบรีดเย็น ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กกล้าข้ออ้อย ดึงเย็นเสริมคอนกรีต มอก.943-2533 เกรด CDR (เส้นกลม) หรือ CDD (ข้ออ้อย) กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก $f_y$ = 5,500 ksc

**ตารางที่ 2.1** ขนาดทั่วไปของ Steel Wire Grid แนะนำโดย FHWA

| Wire Designation | Wire Area ($mm^2$) | Wire Diameter (mm) | $F_y/F_u$ | Longitudinal Wire Spacing | Transverse Wire Spacing | Mat Spacing |
|---|---|---|---|---|---|---|
| W3.5<br>W4<br>W4.5*<br>W5<br>W7<br>W9.5<br>W11<br>W12<br>W14<br>W16<br>W20<br><br>*Typical min. size for permanent walls | 22.6<br>25.8<br>29.0<br>32.3<br>45.2<br>61.3<br>71.0<br>77.4<br>90.3<br>103<br>129 | 5.4<br>5.7<br>6.0<br>6.4<br>7.6<br>8.8<br>9.5<br>9.9<br>10.7<br>11.5<br>12.8 | 450/550 MPa | Typically 150 mm | Typically varies 230 mm to 600 mm | For welded wire faced walls, vertically 300 mm, 450 mm, or 600 mm and continuous horizontally. For precast concrete faced walls, vertically 600 mm to 750 mm, horizontally 1.1 m to 1.2 m wide mats spaced at 1.9 m center-to-center or continuous |

Metallic Strip

ขนาดหน้าตัด 50x4 มม. ประเภทเหล็ก GRADE 65 มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A572 ขนาดของ Metallic Strip แนะนำโดย FHWA มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ขนาดทั่วไปของ Metallic Strip แนะนำโดย FHWA

| Reinforcement Type | Reinforcement Dimensions | $F_y/F_u$ | Vertical Spacing | Horizontal Spacing |
|---|---|---|---|---|
| Steel Strips (ribbed) | 4 mm thick by 50 mm wide | 450/520 MPa | 750 mm | Varies, but typically 300 to 750 mm |

### 2.4.3 คุณสมบัติของ Precast Concrete Panel

วัสดุที่ใช้สำหรับก่อสร้าง Concrete Panel สำหรับโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง มีคุณสมบัติดังนี้

- ชนิดหล่อสำเร็จรูป (Wet/Dry Cast) โดยมีความหนาไม่ต่ำกว่า 140 มม.
- กำหนดใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือประเภทอื่นๆ ขึ้นกับสถานที่ก่อสร้างหรือตามดุลยพินิจของผู้ออกแบบ และขนาดโตสุดสำหรับวัสดุมวลรวมหยาบ ไม่เกิน 25 มม.
- กำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ ($f_c'$) สำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. ที่อายุ 1 วัน ไม่น้อยกว่า 70 ksc. และที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 300 ksc.
- ฐานปรับระดับ (Leveling Pad) จะต้องอยู่เหนือคอนกรีตหยาบ โดยมีกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้สำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. และที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 180 ksc.

### 2.4.4 คุณสมบัติวัสดุดินถมเสริมแรง (Properties of Reinforce Backfill Material)

วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุดินถมเสริมแรง จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานการก่อสร้าง สำหรับงานทางในประเทศไทยสามารถอ้างอิงตามมาตรฐาน ทล.ม. 105/2550 มาตรฐานดินถมกำแพงดินเสริมกำลัง หรืออ้างอิงจากหน่วยงานของสหรัฐอเมริกา , U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA)

สำหรับการออกแบบ วิศวกรสามารถกำหนดให้เก็บตัวอย่างวัสดุมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ การทดสอบจะเริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเบื้องต้น (Physical Properties) เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ให้คุณสมบัติดินตามมาตรฐานกำหนด อาจจะทำการผสมดินลูกรังและทรายในอัตราส่วนต่างๆ วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถยึดตามที่ระบุตามมาตรฐานกำหนด มาตรฐานของกรมทางหลวง หรือ มาตรฐาน ASTM

เมื่อผลการทดสอบเบื้องต้นผ่านเกณฑ์แล้ว จึงทำการทดสอบค่า กำลังรับแรง เฉือนของดินต่อไป ซึ่งค่ากำลังรับแรง เฉือนของดินก็มีเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้เช่นกัน เมื่อผ่านเกณฑ์การทดสอบวิศวกรสามารถนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมาทำการออกแบบได้ คุณสมบัติขั้นต่ำของวัสดุดินถมเสริมแรง (Properties of Reinforce Backfill Material) ตามมาตรฐาน ทล.ม. 105/2550 มาตรฐานดินถมกำแพงดินเสริมกำลัง ระบุไว้ต่อไปนี้

1. ค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 30

2. ค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103 “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 6

3. ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, Cu) มากกว่า 4

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ( pH) เมื่อทดลองตามมาตรฐาน AASHTO T-289: “Determining pH of Soil for Use in Corrosion Testing” อยู่ระหว่าง 5-10 สำหรับดินถมที่ใช้เหล็กเสริม และอยู่ระหว่าง 3-10 สำหรับดินถมเสริมกำลังที่ใช้วัสดุสังเคราะห์

5. ปริมาณสารอินทรีย์ เมื่อทดลองตามมาตรฐาน AASHTO T-267: “Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition” ไม่เกินร้อยละ 1.0 โดยมวล

6. ค่ามุมแรงเสียดทานภายใน ( Internal Friction Angle) เมื่อทดลองตามมาตรฐาน AASHTO T-236: “Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions” สำหรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่ทำการบดทับให้มีความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นสูงสุดเมื่อทดลองตามวิธีการ ทดลองที่ ทล.-ท. 108 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ไม่น้อยกว่า 32 องศา

7. วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุดินถมเสริมกำลังต้องมีขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205“วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ตามตารางที่ 2.3

8. กรณีนำเหล็กมาใช้ในการเสริมรับกำลัง วัสดุดินถมเสริมกำลังต้องมีคุณสมบัติไฟฟ้าเคมี
( Electrochemical Properties) ดังตารางที่ 2.4

9. ขนาดโตสุดของดินที่ก่อสร้างไม่มากกว่า 19 มม.

10. ถ้าดินที่ฐานรองรับมีค่า $S_u < 0.15g\gamma' H \times 10^{-9}$ ต้องมีการคำนึงถึงการบวมขึ้น (Heave) ของดินด้านข้างกำแพงกันดิน เมื่อ

$S_u$ คือ กำลังรับแรงเฉือนของดิน ($N/mm^2$)

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก ($m/s^2$)

$\gamma'$ คือ หน่วยน้ำหนักของดินประสิทธิผล ($kg/m^3$)

H คือ ความสูงของผิวหน้ากำแพงกันดิน (mm)

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าดินถมเสริมกำลังมีค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 5,000 $\Omega$-cm ไม่จำเป็นต้องทำการทดลองหาปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์

**ตารางที่ 2.3** ขนาดคละของวัสดุดินถมเสริมกำลัง

| ชนิดวัสดุเสริมกำลัง | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล Percent Passing (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ขนาดตะแกรง (Sieve Size) | | | | | |
| | 37 มม (1 ½ นิ้ว) | 18.75 มม (3/4 นิ้ว) | 4.75 มม (เบอร์ 4) | 0.425 มม (เบอร์ 40) | 0.150 มม (เบอร์ 100) | 0.075 มม (เบอร์ 200) |
| วัสดุเสริมกำลังที่ไม่สามารถยืดได้ (Inextensible Reinforcement) | 100 | - | 30-100 | 15-100 | 5-65 | 0-15 |
| วัสดุเสริมกำลังที่สามารถยืดได้ (Extensible Reinforcement) | - | 100 | 30-100 | 15-100 | 5-65 | 0-15 |

**ตารางที่ 2.4** คุณสมบัติด้าน Physical Properties ของดินถมสำหรับโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง (AASHTO LRFD, 2005)

| Property | Criteria | Test Method |
|---|---|---|
| Resistivity | 3000 ohm-cm | AASHTO T-288-91 |
| pH | 5 - 10 | AASHTO T-288-91 |
| Chlorides | <100 PPM | AASHTO T-288-91 |
| Sulfates | <100 PPM | AASHTO T-288-91 |
| Organic Content | 1% max. | AASHTO T-267-86 |

ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) สำหรับโครงสร้างลาดคันดินเสริมแรง ( RSS) จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ผลิต ตามมาตรฐาน AASHTO LRFD, 2005 ได้แนะนำไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.5** สำหรับดินถมโครงสร้างลาดคันดินเสริมแรง (AASHTO LRFD, 2005)

| Base Polymer | Property | Criteria | Test Method |
|---|---|---|---|
| Polyester (PET) | pH | 3 - 9 | AASHTO T-289-91 |
| Polyolefin (PP & HDPE) | pH | > 3 | AASHTO T-289-91 |

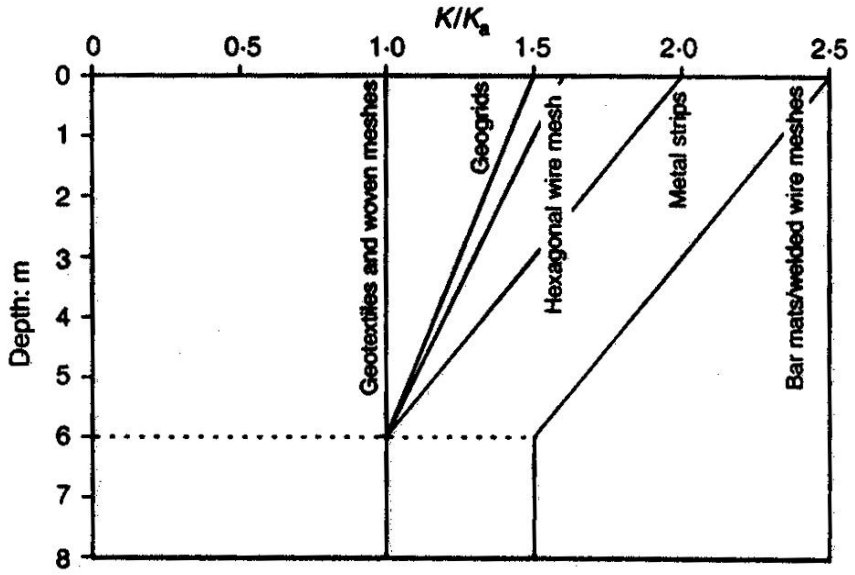
# บทที่ 3
# การวิเคราะห์และออกแบบ

## 3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง MSEW

การออกแบบโครงสร้างกันดินเสริมกำลังนั้น มีสมมติฐานที่ใช้สำหรับการออกแบบโดยให้หน่วยแรงภายในของโครงสร้างสามารถรับหน่วยแรงภายนอกที่กระทำต่อโครงสร้าง ภายใต้สัดส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ที่เหมาะสม การวิเคราะห์ออกแบบซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Limit Equilibrium พิจารณาถึงเสถียรภาพของโครงสร้าง RSS และ MSEW โดยทั่วไปจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

- เสถียรภาพภายใน (Internal Stability)
- เสถียรภาพภายนอก (External Stability)

การวิเคราะห์เสถียรภาพภายใน จะใช้สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแปรเปลี่ยนตามความลึกแบบเชิงเส้นแบบ Bi-Linear แสดงในรูปที่ 3.1 และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างไม่น้อยกว่า 0.65




**รูปที่ 3.1** การแปรเปลี่ยนสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างกับความลึกกับวัสดุเสริมแรงประเภทต่างๆ (FHWA,2009)

## 3.2 สมมติฐานในการออกแบบ (Design Assumptions)

- ในกรณีที่สภาพพื้นที่มีซัลเฟตมากกว่า 200 PPM และมีค่า pH น้อยกว่า 5 เหล็กเสริมรับกำลังจะต้องมีการชุบสังกะสี (Galvanization) เพื่อลดการกัดกร่อน

- การกัดกร่อนของสังกะสีที่หุ้มเหล็ก 2 ปีแรกไม่เกิน 0.015 มม./ปี และปีถัดมาไม่เกิน 0.004 มม./ปี สำหรับการกัดกร่อนถ้าเหล็กไม่มีการหุ้มด้วยสังกะสี ยอมให้ไม่เกิน 0.012 มม./ปี

- ระยะห่างในแนวดิ่งของ Reinforcement ไม่มากกว่า 600 มม. และในแนวราบไม่มากกว่า 900 มม.

- ความยาวของ Reinforcement ต้องไม่น้อยกว่า70 % ของความสูงของกำแพง

- ค่ากำลังรับแรงเสียดทานเฉือนระหว่างฐานคันดินเสริมแรงหรือกำแพงกันดินเสริมแรงมีค่ามุมเสียดทานเท่ากับ 30 องศา หรือได้จากการเจาะสำรวจดินในสนาม

### 3.2.1 เกณฑ์การออกแบบ (Design Criteria)

1. น้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง (Surcharge) มีค่า 20 kPa

2. ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมให้ กรณีเสถียรภาพภายใน (Internal Stability)

    - Earthquake = 1.2

    - Pullout of Reinforcement = 1.5

    - Rupture of Reinforcement = 1.0 based on allowable yield strength, fa = fy/2

3. ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมให้ กรณีเสถียรภาพภายนอก (External Stability)

    - Sliding = 1.5 (กรณีเกิดแผ่นดินไหว) และ 1.30 (กรณีไม่เกิดแผ่นดินไหว)
    - Overturning = 2.0 (กรณีเกิดแผ่นดินไหว) และ 1.70 (กรณีไม่เกิดแผ่นดินไหว)
    - Bearing Capacity = 2.0 (กรณีเกิดแผ่นดินไหว) และ 1.70 (กรณีไม่เกิดแผ่นดินไหว)

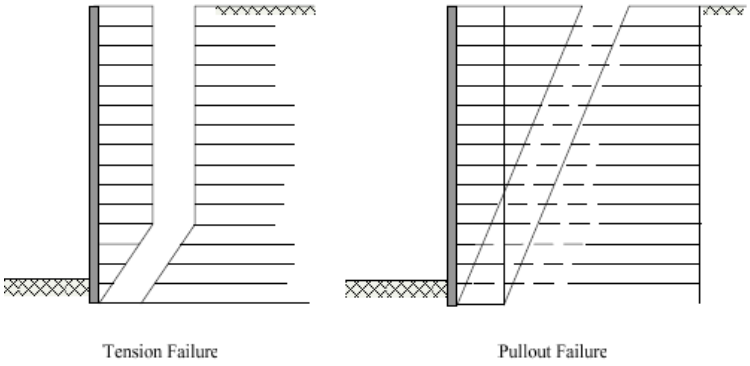
## 3.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้าง

### 3.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพภายใน (Internal Stability)

เสถียรภาพภายในสำหรับโครงสร้างลาดคันดินเสริมแรงและกำแพงกันดินเสริมแรง สามารถเกิดได้ 2 กรณีหลัก คือ

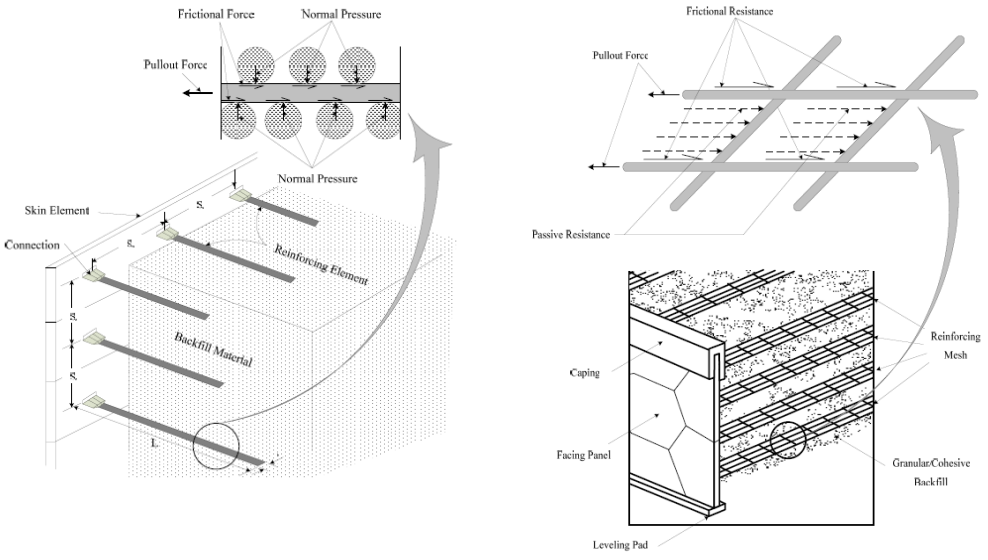
- การวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tension Failure or Rupture Failure)
- การวิบัติเนื่องจากการเลื่อนหลุด (Pullout Failure)

รูปที่ 3.2 แสดงการวิบัติเนื่องจากจากแรงดึงและการวิบัติเนื่องจากการเลื่อนหลุด ในการออกแบบโครงสร้างจะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานการวิบัติดังกล่าวได้




**รูปที่ 3.2** แสดงการวิบัติเนื่องจากจากแรงดึงและการวิบัติเนื่องจากการเลื่อนหลุด

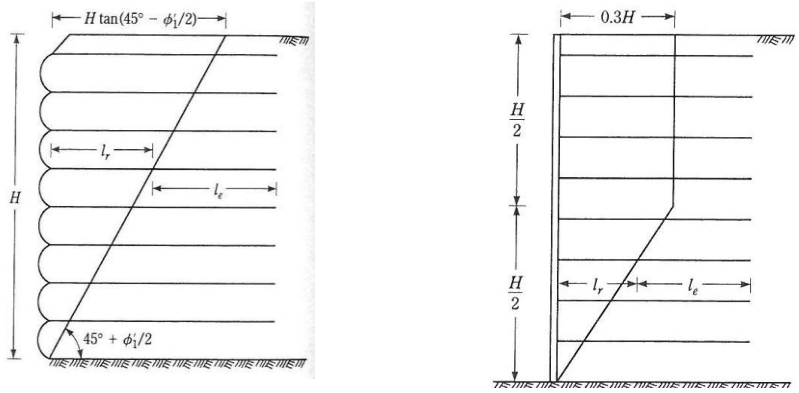
รายละเอียดการวิเคราะห์เสถียรภาพภายในของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัสดุ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างดินและวัสดุเสริมแรงแต่ละประเภทนั้นแตกต่างกัน เช่น วัสดุเสริมแรงแบบ Metallic Strip นั้นสามารถต้านทานการเลื่อนหลุดได้จากแรงเสียดทานระหว่างดินและเหล็ก (Frictional Resistance) แต่สำหรับ Steel Wire Grid นั้นสามารถแบ่งแรงต้านทานการเลื่อนหลุดได้ 2 ส่วน คือ แรงเสียดทานและแรงต้านจากเหล็กแนวขวาง (Frictional and Passive Resistance) ลักษณะของการรับกำลังของวัสดุเสริมแรงดังแสดงในรูปที่ 3.3




Metallic Strip Reinforcement Steel Wire Grid Reinforcement

**รูปที่ 3.3** ลักษณะของกลไกการรับแรง สำหรับโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

นอกจากนี้การวิเคราะห์เสถียรภาพภายในของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง ยังขึ้นอยู่กับเส้นการวิบัติด้านหลังกำแพงซึ่งสามารถแบ่งตามประเภทของวัสดุเสริมแรง นั่นคือ วัสดุเสริมแรงแบบยืดตัวได้ (Extensible Material) วัสดุเสริมแรงแบบไม่ยืดตัว (Inextensible Material) แนวการเสียรูปดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.4




วัสดุเสริมแรงแบบยืดตัวได้ วัสดุเสริมแรงแบบไม่ยืดตัว

**รูปที่ 3.4** แนวการวิบัติของกำแพงกันดินเสริมแรง

จากรูปที่ 3.4 สามารถหาความยาวของวัสดุเสริมแรงหาได้จาก

$$L = L_a + L_e \tag{3.1}$$

โดยที่

$L_a$ คือ ความยาวของวัสดุเสริมแรงในช่วง Active Zone

$L_e$ คือ ความยาวประสิทธิผล (Effective Length) หรือ ความยาวของวัสดุเสริมแรงในช่วง Resistance Zone

และความยาวบริเวณของวัสดุเสริมแรง Active Zone คำนวนได้ดังสมการต่อไปนี้

- สำหรับวัสดุเสริมแรงแบบยืดตัวได้ (Extensible Reinforcement)

$$L_a = (H - Z)\tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (3.2)$$

- สำหรับวัสดุเสริมแรงแบบไม่ยืดตัว (Inextensible Reinforcement)

$$L_a = 0.6(H - Z) \quad \text{(for lower half of a wall)} \tag{3.3}$$

$$L_a = 0.3H \quad \text{(for upper half of a wall)} \tag{3.4}$$

โดยที่

$H$ คือ ความสูงของกำแพงกันดินเสริมแรง

$Z$ คือ ระดับความลึกของวัสดุเสริมแรง

$\phi$ คือ มุมเสียดทานภายในของวัสดุดินถมเสริมแรง

ความยาว Effective Length คำนวณได้จากความสามารถในการต้านทานการเลื่อนหลุด (Pullout resistance) สำหรับวัสดุเสริมแรงประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- วัสดุเสริมแรงประเภท Geosynthetic

$$L_e = \frac{F_p \sigma_a S_v}{2\sigma_v \tan\delta} \tag{3.5}$$

- วัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip

$$L_e = \frac{F_p \sigma_a S_v S_h}{2w\sigma_v \tan\delta} \tag{3.6}$$

โดยที่

$F_p$ คือ อัตราส่วนความปลอดภัยกรณีเลื่อนหลุด (Pullout)

$\sigma_a$ คือ หน่วยแ รงดันดินในแนวราบ (Active Earth Pressure)

$\sigma_v$ คือ หน่วยแรงดันดินในแนวดิ่ง

$S_v$ คือ ระยะห่างของวัสดุเสริมแรงตามแนวดิ่ง

$S_h$ คือ ระยะห่างของวัสดุตามแนวราบ

$w$ คือ ความกว้างของเหล็ก Strip

$\delta$ คือ มุมเสียดทานระหว่างดินและโครงสร้างเสริมกำลัง

- วัสดุเสริมแรงประเภท Steel Wire Grid

$$P_r = P_f + P_b \tag{3.7}$$

$$P_f = \frac{(1+K_d)}{2}\sigma_v(\pi d_{f,long})L_e \tan\delta \tag{3.8}$$

$$P_b = N_q \sigma_v d_{f,trans} S_h n_{trans} \tag{3.9}$$

โดยที่

$P_r$ คือ Pullout Resistance

$\delta$ คือ $0.67\phi$

$K_d$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างสำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพภายใน

$d_{f,long}$ คือ ขนาดของเหล็กเสริมแรงแนวหลัก

$d_{f,trans}$ คือ ขนาดของเหล็กเสริมแรงแนวขวาง

$n_{trans}$ คือ $\frac{(L-0.3H)}{S_t}$

$S_t$ คือ ระยะห่างของเหล็กเสริมด้านขวาง (transverse bar)

$S_h$ คือ ระยะห่างของเหล็กเสริมด้านหลัก (Longitudinal bar)

$N_q$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงแบกทาน

ดังนั้น สามารถหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยกรณีเลื่อนหลุด สำหรับ Steel Wire Grid ได้ดังนี้

$$FS_{pullout} = \frac{P_r}{T_{\max}} = \frac{P_f + P_b}{K_d \sigma_v S_h S_v F_{eq}} \geq 1.5 \qquad (3.10)$$

โดยที่

$F_{eq}$ คือ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของแผ่นดินไหว

การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุเสริมแรงตามประเภทของวัสดุ สามารถหาได้จาก

- วัสดุเสริมแรงประเภท Geosynthetic

- ค่าแรงดึงสูงสุด

$$T_{\max} = \sigma_{h,\max} S_v \qquad (3.11)$$

$$\sigma_{h,\max} = (\sigma_v k_r + \Delta\sigma_h) \qquad (3.12)$$

โดยที่

$k_r$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินแนวราบ

$\sigma_v$ คือ แรงดันดินในแนวดิ่งเนื่องจากน้ำหนักกดทับเหนือวัสดุเสริมแรง

$\Delta\sigma_h$ คือ แรงดันในแนวราบที่ระดับของวัสดุเสริมแรง

$S_v$ คือ ระยะห่างตามแนวดิ่ง

- แรงดึงสูงสุดที่ยอมให้ของวัสดุเสริมแรงประเภท Geosynthetic

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF} \qquad (3.13)$$

$$RF = RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \qquad (3.14)$$

โดยที่

$T_{all}$ คือ แรงดึงที่ยอมให้ของวัสดุเสริมแรง

$T_{ult}$ คือ กำลังรับแรงดึงสูงสุด

$RF$ คือ แฟคเตอร์ลดทอนกำลังเนื่องจากความเสียหายจากการติดตั้ง การล้า และสารเคมีต่างๆ โดยที่ค่า $RF_{ID}$ $RF_{CR}$ และ $RF_D$ สามารถหาได้จากข้อกำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์

หรือสามารถหาระยะห่างในแนวดิ่งของวัสดุเสริมแรงประเภท Geosynthetic ได้โดย

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_h F_B} \quad ( \qquad 3.15)$$

โดยที่

$F_B$ คือ อัตราส่วนความปลอดภัยเนื่องจากแรงดึง

- ค่าระยะความยาวของวัสดุที่ม้วนกลับด้านสั้น (Wrap Length, $L_o$)

$$L_o = \frac{S_v \sigma_h FS}{4\sigma_v \tan\delta} \geq 3\,ft \qquad (3.16)$$

- วัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip

$$f_{\max} = \frac{T_{\max}}{A_{strip}} = \frac{K_d \sigma_v S_h S_v F_{eq}}{(w_f t_f)} \qquad (3.17)$$

$$FS_{rup} = \frac{f_a}{f_{\max}} \geq 1 \qquad (3.18)$$

- วัสดุเสริมแรงประเภท Steel Wire Grid

$$f_{\max} = \frac{T_{\max}}{A_{bar}} = \frac{K_d \sigma_v S_h S_v F_{eq}}{\left(\frac{\pi d_{f,long}^{\,2}}{4}\right)} \qquad (3.19)$$

$$FS_{rup} = \frac{f_a}{f_{\max}} \geq 1 \qquad (3.20)$$

โดยที่

$K_d$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

$\sigma_v$ คือ แรงดันดินในแนวดิ่งเนื่องจากน้ำหนักกดทับเหนือวัสดุเสริมแรง

$S_h$ คือ ระยะห่างตามแนวราบ

$S_v$ คือ ระยะห่างตามแนวดิ่ง

$F_{eq}$ คือ อัตราส่วนความปลอดภัยเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

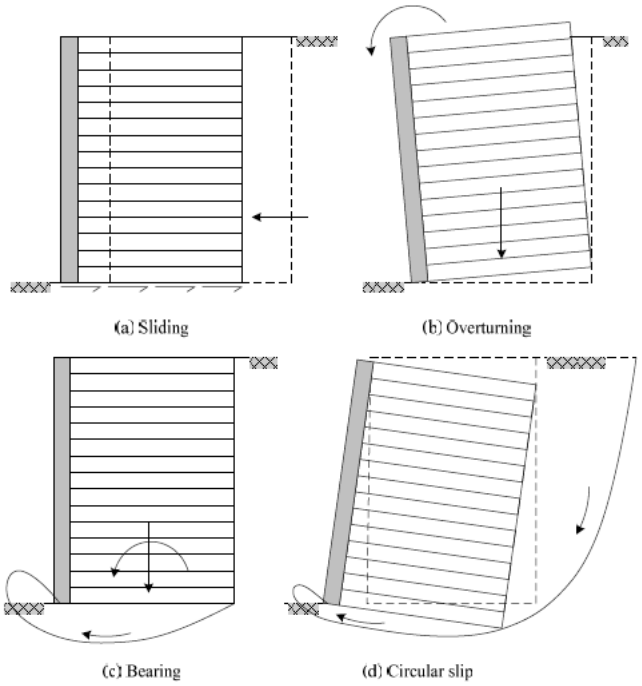
$w_f$ คือ ความกว้างของ Metallic Strip

$t_f$ คือ ความหนาของ Metallic Strip

$FS_{rup}$ คือ อัตราส่วนความปลอดภัยเนื่องจากแรงดึง

### 3.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอก (External Stability)

การวิบัติเนื่องจากโครงสร้างกำแพงดินเสริมกำลังขาดเสถียรภาพภายนอก ประกอบด้วย การวิบัติเนื่องจากการพลิกคว่ำ (Overturning) การเลื่อนไถล (Sliding) การรับน้ำหนักของดินฐานราก (Bearing Capacity) และเสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) ดังรูปที่ 3.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพของทุกกรณีจะกำหนดให้มวลดินหลังกำแพง วัสดุเสริมกำลัง และผิวหน้ากำแพงเป็นโครงสร้างเดียวกัน โดยมีแรงกระทำต่อโครงสร้างกำแพง โดยรายละเอียดในการวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอกมีดังต่อไปนี้




**รูปที่ 3.5** ลักษณะของการเสียเสถียรภาพในกรณีต่าง ๆ ในโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างเพื่อนำไปวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง หาได้จากทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างต่อไปนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure, $K_a$)

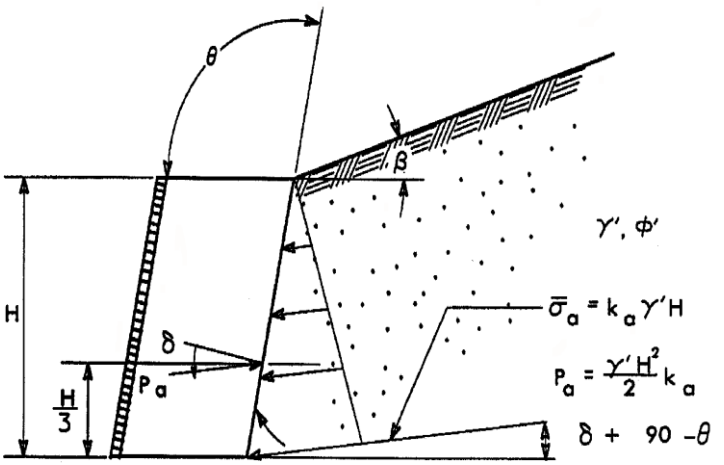
ในกรณีที่ไม่มี Surcharge

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \qquad (3.21)$$

ในกรณีที่มี Surcharge

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \qquad (3.22)$$

ในกรณีที่มี Surcharge และสูงมากกว่า 8 เมตร อาจพิจารณาจากวิธีของ Coulomb's Active Earth Pressure ดังแสดงในรูปที่ 3.6




**รูปที่ 3.6** Coulomb's Active Earth Pressure (FHWA, 2001)

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta+\varphi)}{\sin^2\sin(\theta-\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\beta)}{\sin(\theta-\delta)\sin(\theta+\beta)}}\right]^2} \qquad (3.23)$$

โดยที่

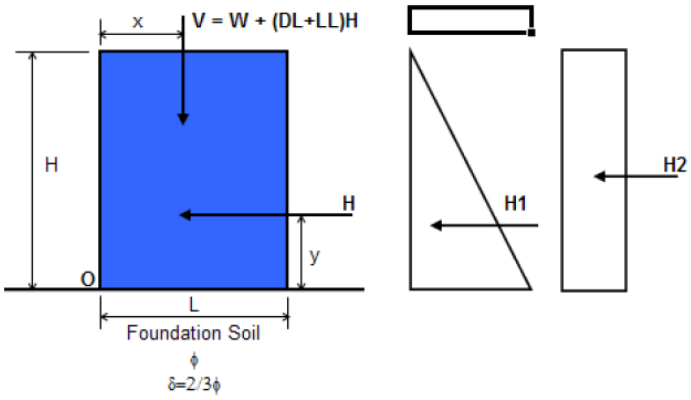
$\beta$ คือ มุมเอียงของ Surcharge

$\theta$ คือ มุมเอียงของโครงสร้างกันดินเสริมแรง

$\delta$ คือ มุมเสียดทานระหว่างกำแพงกันดินกับดินถมบดอัด

$\phi$ คือ มุมเสียดทานภายในของดินถม

การวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอก จะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบสมดุลแรง Limit Equilibrium โดยตัวอย่างของ Diagram ของแรงกระทำต่อโครงสร้างลาดคันดินและกำแพงกันดินเสริมแรงแสดงในรูปที่ 3.7




**รูปที่ 3.7** แสดงแรงกระทำต่อโครงสร้างลาดคันดินและกำแพงกันดินเสริมแรง

จากรูปที่ 3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพภายนอกของโครงสร้างลาดคันดินและกำแพงกันดินเสริมแรงมีดังต่อไปนี้

1. หาแรงในแนวดิ่งสูงสุดและหาตำแหน่งจุด “O”, x

   V = แรงในแนวดิ่งสูงสุด = $(DL+LL+H\gamma_r).L$

2. หาแรงในแนวราบและหาตำแหน่งจากจุด “O”, y

3. หาอัตราส่วนความปลอดภัยเนื่องจากการเลื่อนไถล

$$FS_{silding(no\ Eqk.)} = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงในแนวราบ}} = \frac{V\tan\phi}{H}$$

$$FS_{silding(With\ Eqk.)} = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงในแนวราบ}} = \frac{V\tan\phi}{HF_{eq}}$$

4. หาอัตราส่วนความปลอดภัยเนื่องจากการพลิกคว่ำ

$$FS_{Overturning(no\ Eqk.)} = \frac{\text{โมเมนต์แรงต้านทาน}}{\text{โมเมนต์การพลิกคว่ำ}} = \frac{Vx}{Hy}$$

$$FS_{Overturning(With\ Eqk.)} = \frac{\text{โมเมนต์แรงต้านทาน}}{\text{โมเมนต์การพลิกคว่ำxF}_{eq}} = \frac{Vx}{HyF_{eq}}$$

5. หาอัตราส่วนความปลอดภัยของแรงแบกทานของดินฐานราก

   การเยื้องศูนย์, $e_{(no\ Eqk.)} = \frac{\text{โมเมนต์การพลิกคว่ำ}}{\text{แรงในแนวดิ่ง}} = \frac{Hy}{V}$

$$\text{การเยื้องศูนย์,e}_{\text{(With Eqk.)}} = \frac{\text{โมเมนต์การพลิกคว่ำxF}_{eq}}{\text{แรงในแนวดิ่ง}} = \frac{\text{HyF}_{eq}}{\text{V}}$$

### 3.3.3 การตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability)

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดิน มักจะใช้หลักการพิจารณาสมดุลจำกัดของมวลดิน (Limit Equilibrium) โดยการวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยการสมมติ รูปแบบลักษณะของระนาบวิบัติ ( Slip Surface) ว่าเป็นแบบใด เช่น ระนาบส่วนโค้งของวงกลม (Circular Slip Surface) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากทำการคำนวณได้สะดวก และมีความผิดพลาดน้อย ระนาบเส้นตรงหลายเส้นประกอบกัน (Linear Slip Surface) หรือระนาบที่ไม่เป็นส่วนโค้งวงกลม (Non-Circular Slip Surface) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่สามารถเห็น หรือทราบลักษณะการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนในเชิงลาด หรือมีการพังทลายในระดับตื้นๆเกิดขึ้น โดยทั่วไปการตรวจสอบเสถียรภาพของเชิงลาดโดยวิธีนี้ จะอยู่ภายใต้หลักการของความสมดุลซึ่งแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบสมดุลของแรง (Force Equilibrium) และระบบสมดุลของโมเมนต์ (Moment Equilibrium) ซึ่งมีสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์ระนาบวิบัติที่เป็นส่วนโค้งของวงกลม ดังนี้

$$FS_{force} = \frac{\tau_R}{\tau_D} \qquad (3.24)$$

โดยที่

$FS_{force}$ คือ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของเชิงลาด ภายใต้ระบบสมดุลแรง (Force Equilibrium)

$\tau_R$ คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของมวลดิน

$\tau_D$ คือ ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่เกิดขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของมวลดินและแรงที่กระทำต่อมวลดิน

หรือ $$FS_{moment} = \frac{M_R}{M_D} \qquad (3.25)$$

โดยที่

$FS_{moment}$ คือ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของเชิงลาด ภายใต้ระบบสมดุลโมเมนต์ (Moment Equilibrium)

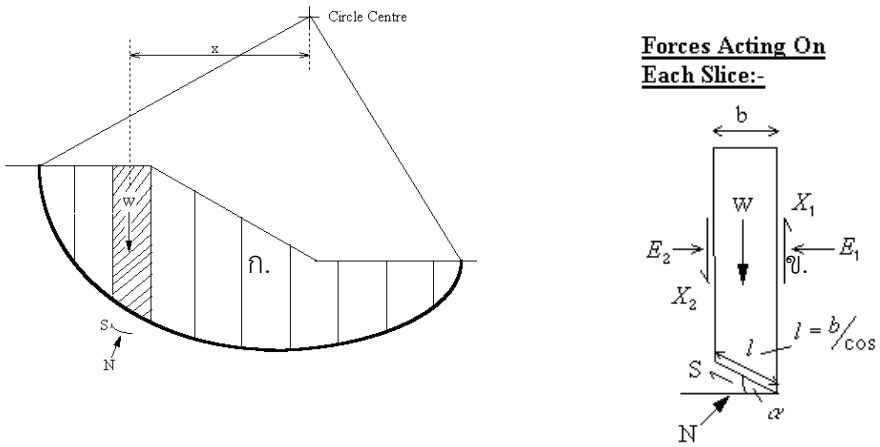
$M_R$ คือ โมเมนต์ต้านการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนของดิน

$M_D$ คือ โมเมนต์ กระทำเนื่องจากน้ำหนักของมวลดินและแรงที่กระทำต่อมวลดิน

ในการวิเคราะห์มักจะแบ่งส่วนของมวลดินออกเป็นช่องย่อยเล็กๆ ในแนวดิ่ง (Slice) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาสมดุลของแรงและโมเมนต์ ที่กระทำในแต่ละ Slice ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สำหรับหลักการวิเคราะห์โดยการแบ่งมวลดินเป็นส่วนๆ (Method of Slices) นั้น จะต้องแก้ปัญหาของสมการสมดุล ดังต่อไปนี้

1. สมดุลของแรงในแต่ละ Slice (Force Equilibrium of Single Slice)

2. สมดุลของโมเมนต์ในแต่ละ Slice (Moment Equilibrium of Single Slice)
3. สมดุลของแรงของ Slice ทั้งหมด (Force Equilibrium of Total Mass)
4. สมดุลของโมเมนต์ของ Slice ทั้งหมด (Moment Equilibrium of Total Mass)




**รูปที่ 3.8** การวิเคราะห์ปัญหาโดยการแบ่งมวลดินเป็นส่วนๆ (Method of Slice) ก. แสดงตัวอย่างการแบ่งดินออกเป็นส่วนๆ (Slice) ข. แสดงแรงกระทำในแต่ละ Slice

ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคหลายท่าน ได้กล่าวถึงสมมติฐานทางทฤษฎีที่เกี่ยวกับแรงที่กระทำบน Slice แตกต่างกันออกไป โดยทฤษฎีที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** สรุปวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด

| วิธีการวิเคราะห์ | Force Equilibrium | Moment Equilibrium | Inter slice Normal (E) | Inter slice Shear (X) |
|---|---|---|---|---|
| Ordinary Method of Slices (Fellenius ) | - | ✓ | - | - |
| Bishop's Simplified | - | ✓ | ✓ | - |
| Janbu's Simplified | ✓ | - | ✓ | - |
| Corps Of Engineers | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| Lowe And Karafiath | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| Janbu's Generalized | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| Sarma-Vertical Slide | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Spencer | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Morgenstern-Price | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 3.4 การประมาณการทรุดตัวของดินฐานรากใต้โครงสร้างคันทางและกำแพงกันดินเสริมแรง

### 3.4.1 การทรุดตัวรวมทั้งหมด (Total settlement)

การทรุดตัวรวมทั้งหมดเป็นผลรวมของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นแบบทันทีทันใด, การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ และการทรุดตัวจากการอัดตัวครั้งที่สอง ในดินทรายการทรุดตัวจะเกิดจากการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันที เนื่องจากทรายมีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำสูงทำให้การระบายน้ำออกจากดิน สามารถกระทำได้ในเวลาสั้นๆ ส่วนในดินเหนียวซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำต่ำมาก การทรุดตัวเนื่องจากแบบอัดตัวคายน้ำมีค่ามากกว่าและใช้เวลานาน ส่วนการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำครั้งที่สองจะพบมากในกรณีของดินเหนียวที่มีอินทรีย์สาร (Organic Clay และ Peat) เป็นส่วนใหญ่

### 3.4.2 การทรุดตัวแบบทันทีทันใด (Immediate settlement)

การทรุดตัวแบบทันทีทันใด เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ในตอนเริ่มต้นการทรุดตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน เป็นไปตาม Hooke's Law ดินจำพวกเม็ดหยาบและดินตะกอนทรายที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจะเกิดการทรุดได้มากด้วยกระบวนการนี้ ส่วนดินเหนียวการทรุดตัวโดยกระบวนการนี้จะน้อยมากเมื่อเทียบกับการทรุดตัวจากการอัดตัวคายน้ำ

### 3.4.3 การทรุดตัวจากกระบวนการคายน้ำในมวลดินในระยะแรก (Primary Consolidation settlement)

การทรุดตัวเนื่องจากกระบวนการคายน้ำในดิน คือ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายน้ำ ออกจากดิน แล้วทำให้ดินเกิดการยุบตัวเนื่องจากปริมาตรดินลดลง การทรุดตัวแบบนี้ขึ้นกับหน่วยแรงกระทำ และเวลา สำหรับดินเหนียวซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำได้ต่ำจะใช้เวลานานมากในการสิ้นสุดกระบวนการนี้

### 3.4.4 การทรุดตัวในระยะที่ สอง (Secondary settlement)

การทรุดตัวในระยะที่สอง คือ การทรุดตัวที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินให้อยู่ในสภาวะที่มั่นคง เมื่อได้แรงภายนอกมากระทำ ทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

## 3.5 การออกแบบและวิเคราะห์เสถียรภาพของ MSEW โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์เป็นเทคนิคการคำนวณเชิงตัวเลขหรือวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Numerical Method) เพื่อใช้คำนวณ แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น คำนวณและศึกษาพฤติกรรมของวัสดุหรือชั้นดินต่างๆ ในรูปแบบของค่าความเค้น ( Stress) ความเครียด ( Strain) หรือ การเสียรูปทรง (Deformation) ภายใต้คุณสมบัติของวัสดุและขอบเขตที่ป้อนให้กับแบบจำลอง โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็กๆ (Element) แล้วพิจารณาสมดุลของแรง (Stress Strain และDeformation) ในแต่ละบริเวณย่อยทีละส่วน

จากนั้นนำการเคลื่อนตัวแต่ละจุดที่เชื่อมต่อ (Node) มารวมกัน ก็จะได้ค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดของโครงสร้าง แล้วนำการเคลื่อนตัวมาวิเคราะห์หาแรง ณ จุดต่าง ๆ

3.5.1 **Element and Finite Element Mesh**

รูปแบบที่ใช้ในแบบจำลอง ส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะ Plane Strain Element ชนิดสามเหลี่ยม (Triangular Element) หรือสี่เหลี่ยม (Quadrilateral Element) ตามแต่ Software และผู้วิเคราะห์ โดยในแต่ละชิ้นส่วนประกอบด้วย Node จำนวน 6 หรือ 15 Node ทำให้สามารถประมวลผลเชิงตัวเลขได้อย่างแม่นยำโดยเฉพาะค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ความละเอียดในการคำนวณยังขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วนที่แบ่ง ซึ่งหากแบ่งให้มีความละเอียดมากก็จะได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากแต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นเช่นกัน

**3.5.2 แบบจำลองของวัสดุ (Material Model)**

การเลือกใช้แบบจำลองมวลดิน ( Soil Model) ให้เหมาะสมกับแนวทางการวิเคราะห์ นับว่าเป็นสิ่งสำคัญซึ่งช่วยให้การคาดการณ์พฤติกรรมของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงซึ่งแบบจำลองมวลดินดังกล่าวมีอยู่หลายรูปแบบและมีความเหมาะสมแตกต่างกันไป อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้างหรือขั้นตอนการก่อสร้างที่กำหนดขึ้น

**3.5.3 ขอบเขตของแบบจำลอง (Boundary Conditions)**

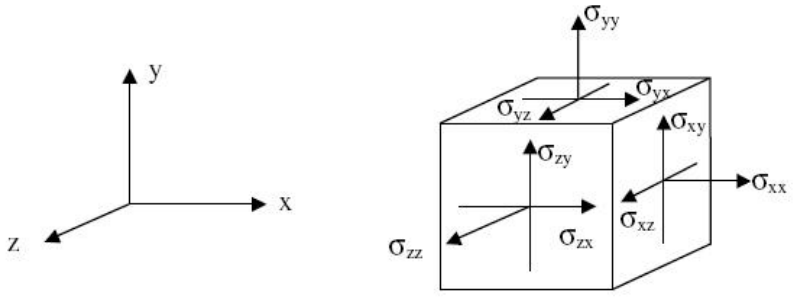
วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม จะต้องกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเพื่อให้การ คำนวณสามารถทำได้อย่างถูกต้อง และสอดคล้องกับสภาพการเคลื่อนตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเหนือคันทาง และการทรุดตัว โดยทั่วไปขอบเขตของแบบจำลองจะเป็นไปตามตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** Boundary Conditions ของแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์

| Boundary | Mechanical |
|---|---|
| Ground Surface | Free |
| Left Edge | Fixed in X-direction |
| Right Edge | Fixed in X- direction |
| Other Boundary | Fixed in all direction |

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ซึ่งมีความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเทคนิคธรณี แบบระนาบความเครียด 2 มิติ ( Plane Strain) โดยภายในโปรแกรมได้กำหนดให้การสร้างแบบจำลองตั้งอยู่บนระนาบ ( Plane) X และ Y ของ Global Coordinate System เป็นหลัก โดยมีแกน Z ตั้งฉากกับระนาบ X และ Y ในส่วนของการวิเคราะห์ความเค้นแม้ว่าแบบจำลองจะมีลักษณะเป็นแบบ 2 มิติ

แต่หลักการพิจารณาความเค้นของโปรแกรมตั้งอยู่บนหลักการ 3 D Cartesian Coordinate System โดยกำหนดให้มีค่าเป็นบวก ในกรณีที่ทิศทางของความเค้นเป็นไปตาม รูปที่ 3.9




**รูปที่ 3.9** Coordinate System and Indication of Positive Stress Components

## 3.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ในปัจจุบัน การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ด้วยโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา (Potts and Zdravkovic, 1999) เนื่องจากมีความสามารถในการคาดการณ์พฤติกรรมของโครงสร้างด้านธรณีวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี โดยไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองขนาดใหญ่ (Full Scale Field Test) เป็นการช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถพัฒนารูปแบบโครงสร้างที่มีความซับซ้อนเชิงพฤติกรรมได้ง่ายและสอดคล้องกับสภาพทางธรณีวิทยา จึงนับได้ว่าวิธีการดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในโครงการ เพื่อ เป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบสำหรับหาวิธีการก่อสร้าง ก่อนดำเนินการก่อสร้างจริงต่อไป โดยโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ ในปัจจุบันสามารถจำลองลักษณะทางกายภาพของโครงการได้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้น มีความสะดวก เข้าใจง่ายในการแปลผล รวมถึงจำลองขั้นตอนในการก่อสร้างตามลำดับจริง โปรแกรมสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายในแง่ต่างๆ เช่น

- สามารถวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Soil Deformation) ปริมาณการเคลื่อนตัว และทิศทาง ณ ตำแหน่งต่างๆ
- สามารถวิเคราะห์สภาวะแรงดันน้ำใต้ดินได้
- สามารถวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดิน
- สามารถจำลองแรงกระทำจากภายนอก (External Forces) ได้หลากหลายทั้งแบบกระจาย (Distribute Load) และแบบเป็นจุด (Point Load) และอื่นๆ
- สามารถจำลองลักษณะชนิดของการเสริมกำลังชนิดต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย

- สามารถจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์ทั้งในขั้นระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

- สามารถจำลองสถานการณ์ที่เกิดแรงสั่นสะเทือนจากภายนอก (Seismic Effect) เช่น แรงแผ่นดินไหว

# บทที่ 4
# การก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

## 4.1 ขั้นตอนเตรียมงานก่อสร้าง (Pre-Construction Phase)

### 4.1.1 งานจัดทำแบบก่อสร้าง

ก่อนเริ่มทำการก่อสร้างได้ทำการศึกษาขอบเขตและสภาพพื้นที่บริเวณก่อสร้าง ตลอดจนวิเคราะห์ คำนวณและจัดทำแบบก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง (Mechanically Stabilized Earth Wall, MSEW) โดยพิจารณารูปแบบ ขนาดโครงสร้าง ชนิดวัสดุเสริมแรง ระยะฝังลึก (Anchorage length) และระยะห่างระหว่างชั้น (Vertical Spacing) ของวัสดุเสริมแรง

### 4.1.2 งานปรับแต่งพื้นที่ก่อสร้าง

หลังจากส่งมอบพื้นที่ให้ผู้รับจ้างเข้าดำเนินการ จะต้องทำการปรับแต่งพื้นที่ก่อสร้าง ขุดลอกวัสดุไม่พึงประสงค์ รื้อถอนและขนย้ายสิ่งกีดขวางการก่อสร้าง เช่น อาคารเก่า ต้นไม้ กองวัสดุ เป็นต้น ตลอดจนทำการปรับสภาพพื้นที่บริเวณก่อสร้างให้ได้ระดับและบดอัดชั้นดินเดิมให้ได้ความแน่นตามมาตรฐานงานของกรมทางหลวง

### 4.1.3 งานติดตั้งป้ายชื่อโครงการและป้ายเตือน

งานติดตั้งป้ายชื่อโครงการและป้ายเตือนบริเวณทางเข้า -ออกพื้นที่ก่อสร้างของ โครงการเพื่อเตือนให้ผู้ใช้ทางหลวง มีความระมัดระวังในการขับขี่ยวดยานพาหนะขณะผ่านพื้นที่โครงการ ซึ่งอาจมีรถบรรทุกและเครื่องจักรเข้า-ออกในช่วงระหว่างการก่อสร้างของโครงการ

### 4.1.4 งานจัดเตรียมระบบระบายน้ำชั่วคราวในพื้นที่โครงการ

การดำเนินงานจัดเตรียมระบบระบายน้ำชั่วคราวในพื้นที่ก่อสร้างของโครงการเพื่อระบายน้ำออกนอกพื้นที่บริเวณก่อสร้างในกรณีที่มีฝนตก ซึ่งอาจมีผลทำให้ชั้นดินฐานรากเสียกำลังในการรับแรง การเตรียมระบบระบายน้ำชั่วคราว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบหาแนวขุดร่องระบายน้ำชั่วคราว

2. ทำการขุดร่องระบายน้ำให้มีความกว้างและความลึกเพียงพอและมีแนวลาดเอียงลงไปสู่แหล่งระบายน้ำสาธารณะ

3. ทำการปรับพื้นที่ให้มีแนวลาดลงสู่รางระบายน้ำชั่วคราว

**4.1.5 งานจัดเตรียมสำนักงานสนามและโรงเก็บวัสดุ**

งานจัดเตรียมสำนักงานสนามเพื่อใช้ดำเนินงาน และประสานงานในช่วงระหว่างการก่อสร้างและโรงเก็บวัสดุ เพื่อใช้เป็นโรงเก็บวัสดุเสริมแรง

**4.1.6 งานเจาะสำรวจดินและทดสอบ**

การเจาะสำรวจและทดสอบดินฐานรากบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง โดยทำการเจาะสำรวจดิน (Soil Boring) และเก็บตัวอย่างดินโดยวิธีขุดบ่อทดสอบ (Test Pit) เพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานและข้อกำหนดของกรมทางหลวง เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินตัวอย่าง

**4.1.7 งานสำรวจพื้นที่และวางผังบริเวณพื้นที่โครงการ**

ภายหลังจากทำการปรับแต่งพื้นที่ก่อสร้างตลอดจนบดอัดดินฐานรากแล้วเสร็จได้ดำเนิน การสำรวจพื้นที่และวางผังบริเวณโครงการ โดยรายละเอียดงานต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. การทำหมุดระดับ เพื่อการวางผังบริเวณพื้นที่โครงการสำหรับใช้ในการกำหนดค่าระดับในการก่อสร้าง

2. การสำรวจทำแผนที่และทำระดับบริเวณพื้นที่โครงการ

3. การวางผังบริเวณพื้นที่โครงการ

**4.1.8 การเตรียมวัสดุถมหลังกำแพง**

จะต้องดำเนินการหาแหล่งวัสดุถม และสุ่มเก็บตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุดังกล่าว ซึ่งวัสดุดินถมเสริมแรงนี้ จะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานดินถมกำแพงกันดินเสริมกำลัง (ทล.-ม. 105/2550)

### 4.1.9 งานเตรียมระบบ Facing

ระบบ Facing สำหรับโครงสร้าง MSEW ได้ใช้รูปแบบเป็นแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทำการหล่อคอนกรีตในโรงหล่อหรือลานหล่อ บ่มจนคอนกรีตได้กำลังตามข้อกำหนดแล้วจึงนำมาติดตั้งเป็น facing ของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง งานเตรียม Concrete Panel สำหรับโครงสร้าง MSEW นั้น วัสดุส่วนใหญ่มีการเตรียมจากโรงงานผลิต ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนด และใช้เวลาในการก่อสร้างได้รวดเร็ว งานเตรียม facing แบบ Concrete Panel สำหรับงาน MSEW ประกอบด้วย งานเตรียมแบบหล่อเหล็กเสริมและสมอยึดรั้งแผง Concrete Panel และงานหล่อคอนกรีต

**ก) งานเตรียมแบบหล่อเหล็กเสริมและสมอยึดรั้งแผง Concrete panel**

1. แบบหล่อที่ใช้เป็นแบบเหล็ก ดังรูปที่ 4.1 และทำการเตรียมแบบหล่อโดยเช็ดทำความสะอาดแบบหล่อและทาน้ำมันก่อนเทคอนกรีตทุกครั้ง

2. เหล็กเสริมที่ใช้ในการหล่อ Concrete panel คือ ตะแกรงเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีขนาดช่องเปิดของตะแกรงเหล็กเท่ากับ 0.20 x 0.20 เมตร ทำการเตรียมเหล็กเสริมโดยการตัดตะแกรงเหล็กดังกล่าวให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด ดังรูปที่ 4.2 ติดตั้งเหล็กเสริมลงไปในแบบหล่อเพื่อเตรียมการหล่อคอนกรีต โดยให้มีระยะหุ้มคอนกรีตไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร

3. สมอยึดรั้งแผง Concrete panel

- สมอยึดรั้งแผง Concrete panel กับวัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip เป็นเหล็กชุบสังกะสี มีความหนาประมาณ 4 มิลลิเมตร และความกว้าง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

**รูปที่ 4.1** แบบเหล็กถูกเตรียมไว้สำหรับการหล่อ Concrete Panel

**รูปที่ 4.2** ตะแกรงเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ใช้เป็นเหล็กเสริม

**รูปที่ 4.3** อุปกรณ์สมอยึดรั้งแผง Concrete panel กับวัสดุเสริมแรง

**ข) งานหล่อคอนกรีต**

1. ตรวจสอบจำนวน ขนาด ตำแหน่ง ระยะห่าง ของเหล็กเสริมและสมอยึดรั้งแผง Concrete panel ที่ติดตั้งเตรียมไว้ในแบบหล่อให้ตรงตามแบบที่กำหนด ทำความสะอาดแบบเหล็กพร้อมทาน้ำมัน และทำการประกอบแบบ บนพื้นระดับราบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

**รูปที่ 4.4** การเตรียมและทำความสะอาดแบบเหล็ก

2. ตรวจสอบขั้นตอนสุดท้ายก่อนเทคอนกรีต ตรวจสอบความแข็งแรงของการยึดแบบและขนาดต้องมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±3 มิลลิเมตร

3. ทำการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อ และควรควบคุมคุณภาพด้วยการทดสอบหาค่าการยุบตัวผลการทดสอบไม่ควรเกิน 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.5

**รูปที่ 4.5** การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

4. ระหว่างการเทคอนกรีต ต้องใช้เครื่องสั่นสะเทือนคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.6

**รูปที่ 4.6** การใช้เครื่องสั่นสะเทือนคอนกรีต

5. ในระหว่างการเทคอนกรีตควรทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต ดังรูปที่ 4.7

**รูปที่ 4.7** การเก็บตัวอย่างคอนกรีต

6. เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จต้องทำการติดตั้งแผงตะแกรงเหล็กเสริม และสมอยึดรั้งตามแบบทันที ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แสดงการนำแผงตะแกรงเหล็กเสริมติดตั้งในแบบ

**รูปที่ 4.8** การวางแผงเหล็กตะแกรงเหล็กเสริม

7. ทำการติดตั้งสมอยึดรั้งตามตำแหน่งที่กำหนดในแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

**รูปที่ 4.9** การติดตั้งสมอยึดรั้ง

8. กดแผงเหล็กเสริมลงในแบบ โดยจัดวางตำแหน่งตะแกรงเหล็กเสริมให้ได้ระยะหุ้มคอนกรีตไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร หรือตามแบบกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.10

**รูปที่ 4.10** การจัดวางตะแกรงเหล็กเสริม

9. ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบและเขียนรายละเอียดบนแผ่นผนังคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.11

**รูปที่ 4.11** การปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ

10. เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวให้บ่มคอนกรีตจนได้กำลัง (Strength) ที่กำหนดในแบบก่อสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.12

**รูปที่ 4.12** การบ่มคอนกรีตเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัว

11. ภายหลังการถอดแบบหล่อ ให้ทำการตรวจสอบคุณภาพผิวคอนกรีตและขนาดให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.13

**รูปที่ 4.13** แผ่นคอนกรีตภายหลังถอดจากแบบหล่อ

12. นำชิ้นส่วนที่แล้วเสร็จพร้อมใช้งาน จัดวางอย่างเป็นระบบให้สามารถนำมาใช้งานตามลำดับก่อนหลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.14

**รูปที่ 4.14** การจัดเรียงแผ่นคอนกรีตพร้อมใช้งาน

**ค) งานก่อสร้างระบบระบายน้ำ**

ระบบระบายน้ำในโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง ถือว่ามีความสำคัญมากทั้งนี้เพื่อระบายน้ำจากโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง เนื่องจากน้ำที่ซึมลงไปอาจทำให้ระบบโครงสร้างเสริมแรงเสียกำลังในการรับแรง ตลอดจนยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักกระทำกับโครงสร้างดังกล่าว ทำให้พฤติกรรมไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ออกแบบ งานก่อสร้างระบบระบายน้ำประกอบด้วย ชั้นหินระบายน้ำและ วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile filter type)

**ชั้นหินระบายน้ำ**

งานเตรียมหินระบายน้ำเพื่อใช้เป็นชั้นกรองน้ำจะต้องเป็นหินที่มีขนาดคละไล่เลี่ยกัน (Single size) โดยคัดเลือกหินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และผ่านการล้างให้สะอาดปราศจากดินหรือฝุ่นซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการระบายน้ำ เช่น ทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน เป็นต้น โดยก่อนทำการลงวัสดุชั้นกรองน้ำจะต้องปูรองด้วยวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile filter type) ตามแบบที่กำหนด หินระบายน้ำที่ใช้เป็นชั้นกรองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

**รูปที่ 4.15** หินระบายน้ำที่ใช้เป็นชั้นกรองน้ำ

**วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile filter type)**

งานระบบระบายน้ำจำเป็นต้องใช้วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง เพื่อใช้สำหรับพันรอบท่อระบายน้ำหรือปูรองใต้ชั้นหินระบายน้ำ ทำหน้าที่กรองวัสดุไม่พึงประสงค์ที่อาจเล็ดลอดเข้าไปทำให้ระบบระบายน้ำอุดตันได้ วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์นี้ผลิตจากวัสดุประเภทโพลีเมอร์ชนิด Polyester หรือ ชนิด Polypropylene ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งวัสดุชนิดนี้ต้องการการดูแลในการเก็บรักษาก่อนนำมาใช้งาน โดยต้องจัดเก็บวัสดุประเภทนี้ไว้ในที่แห้งและไม่โดนแสงแดดโดยตรง วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้วต้องไม่ทิ้งให้โดนแสงแดดโดยตรงนานเกิน 2 วัน ในกรณีที่ใช้ปูรองชั้นระบายน้ำ ต้องทำการปูวัสดุบนพื้นผิวที่บดอัดเรียบร้อยแล้วและมีความเรียบเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและฉีกขาด การต่อแผ่นใยสังเคราะห์นั้นให้ใช้วิธีการทาบโดยต่อให้มีระยะทาบไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร คุณสมบัติของวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

**รูปที่ 4.16** แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile filter type)

**ตารางที่ 4.1** คุณสมบัติของวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile filter type)

| คุณสมบัติ | มาตรฐาน | หน่วย | ข้อกำหนดวัสดุ |
|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ISO 9864 | กรัม/ตร.ม. | >=200 |
| ปริมาณการซึมผ่านในแนวตั้งฉากกับแผ่นที่ 50 มม. HEAD | ISO11058 | ลิตร/ตร.ม./วินาที | >=85 |
| ขนาดช่องเปิดประสิทธิผล | ASTM D4751 | มม. | <=0.2 |
| ความต้านทานการเจาะทะลุ (CBR Puncture) | ISO 12236 | นิวตัน | >=2,200 |

**ง. งานเตรียมวัสดุเสริมแรง**

การก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงนั้น ต้องมีการเตรียมวัสดุเสริมแรงประเภทโลหะ โดยวัสดุดังกล่าวและชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะผลิตในโรงงานและถูกลำเลียงส่งมายังพื้นที่ก่อสร้างเพื่อทำการเตรียมวัสดุก่อนนำไปติดตั้งในโครงสร้างเสริมแรงต่อไป

Metallic Strip มีขนาดหน้าตัด 50X4 มม. เป็นเหล็กประเภท GRADE 65 มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A572 ทำการเคลือบสังกะสี โดยวิธี Hot-dip Galvanised 600 กรัม/ตร.ม. หรือ 86 μm และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A123

วัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ที่ใช้เสริมแรงในโครงสร้าง MSEW คือ แผ่นเหล็กชุบสังกะสีซึ่งมีความหนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร โดยวัสดุที่ถูกส่งมาจากโรงงานมี 2 ขนาด (กว้างx ยาว) คือ 0.05x5.00 เมตร และ 0.05x5.80 เมตร แผ่นเหล็กที่นำมาใช้ดังกล่าวชุบสังกะสีไม่น้อยกว่า 600 กรัม/ตร.ม. และมีการเจาะรูบริเวณปลายของแผ่น Metallic Strip เพื่อใช้ในการยึดรั้งกับแผง Concrete panel โดยใช้สลักเกลียว

ก) แผ่นเหล็ก Metallic Strip ชุบสังกะสี

ข) แสดงรูเจาะบริเวณปลายของแผ่น Metallic Strip เพื่อใช้ในการยึดรั้งกับแผง Concrete panel

ค) สลักเกลียวที่ใช้ในการยึดวัสดุ Metallic Strip กับแผง Concrete panel

**รูปที่ 4.17** วัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip

## 4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานก่อสร้าง (Construction Phase)

ขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงนี้ ผู้ดำเนินงานก่อสร้างจะต้องมีความพร้อมทั้งในด้านวัสดุก่อสร้าง เครื่องจักรกล บุคลากรในการดำเนินงาน ซึ่งจะต้องตระเตรียมงานดังได้กล่าวไว้ในรายละเอียดของขั้นการเตรียมงานก่อสร้าง (Pre-Construction) ในหัวข้อที่ผ่านมา ในขั้นดำเนินงานก่อสร้าง (Construction Phase) โครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง (MSEW) นั้นมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1. วัสดุเสริมแรง

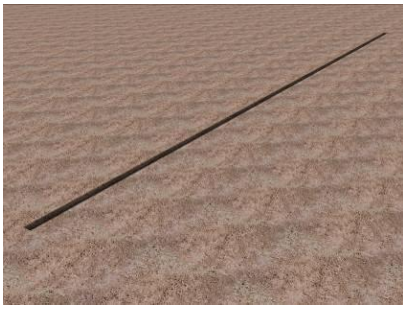
2. แผ่น Concrete Panel (Facing)

3. วัสดุดินถมเสริมแรง

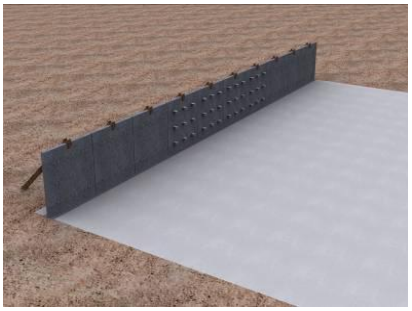
ขั้นตอนการก่อสร้าง สามารถสรุปให้เห็นเป็นภาพรวมของงานก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงจากชั้นที่ 1 ของ Panel แรก ถึงชั้นที่ 1 ของ Panel ที่ 2 รวม 17 ขั้นตอน สำหรับการก่อสร้างในชั้นอื่นๆ ถัดขึ้นไปนั้น จะมีขั้นตอนการก่อสร้างเช่นเดียวกันกับการก่อสร้างในชั้นล่างขั้นตอนการก่อสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.18

**ขั้นตอนที่ 1** ปรับแต่งสภาพพื้นที่ เช่น ถมดินและบดอัดดินฐานราก

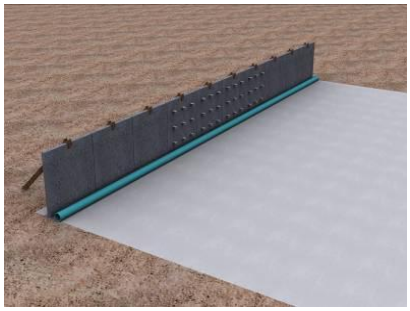
**ขั้นตอนที่ 2** หาตำแหน่ง และวางแนวของโครงสร้างในสนาม



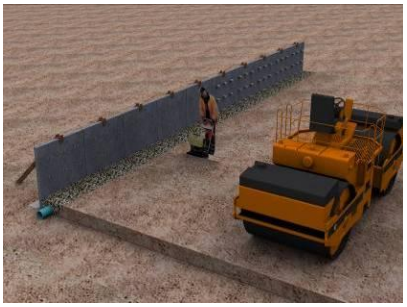
**ขั้นตอนที่ 3** ขุดร่องตามแนวที่วางไว้และหล่อฐาน Leveling Pad



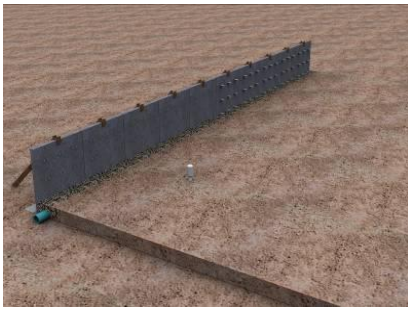
**ขั้นตอนที่ 4** เมื่อฐานที่หล่อสามารถรับกำลังได้ วางแผ่น Concrete Panel ในชั้นที่ 1 พร้อมทำการติดตั้งค้ำยัน



**ขั้นตอนที่ 5** ติดตั้งระบบระบายน้ำหลังกำแพง (Perforated Pipe)



**ขั้นตอนที่ 6** ลงวัสดุดิน ถมเสริมแรงอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร ทำการบดอัดด้วยเครื่องจักร ห้ามใช้เครื่องจักรปฏิบัติงานโดยตรงต่อวัสดุเสริมกำลัง ในโซนระยะ 1 ม. จาก Panel ใช้เครื่องตบดิน

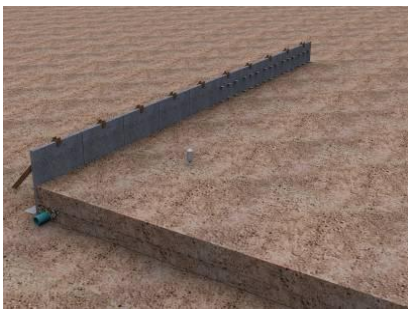


**ขั้นตอนที่ 7** เมื่อได้ก่อสร้างดินถมเสริมแรงซึ่งหนาไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ทำการตรวจสอบความหนาแน่นและปริมาณน้ำของวัสดุดินถมเสริมแรง

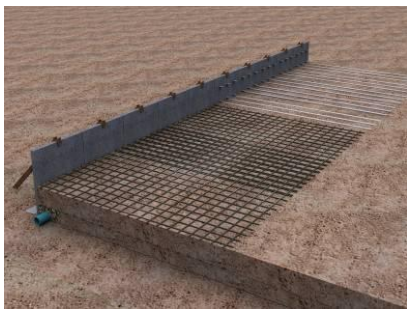
**ขั้นตอนที่ 8** เมื่อลงวัสดุดินถมถึงระดับเสริมแรง ตามแบบก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 1

**ขั้นตอนที่ 9** ลงวัสดุดินถมเสริมแรง แต่ละชั้นหนาอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร ทำการบดอัดด้วยเครื่องจักร

**รูปที่ 4.18** สรุปภาพรวมขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง MSEW

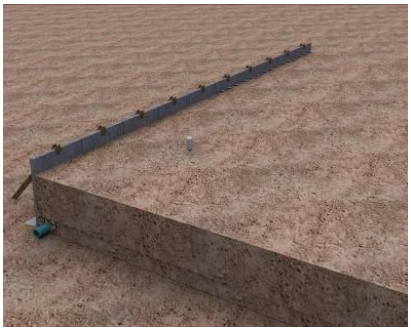


**ขั้นตอนที่ 10** ทดสอบค่าความหนาแน่นและ ปริมาณความชื้นของวัสดุดินถมทุกๆ ความหนา 200 มม.

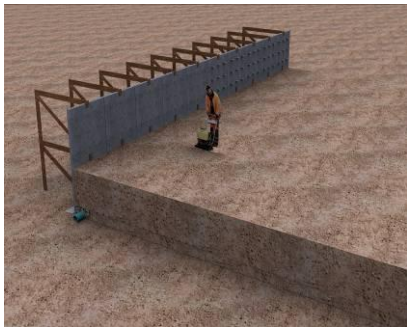


**ขั้นตอนที่ 11** ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 2

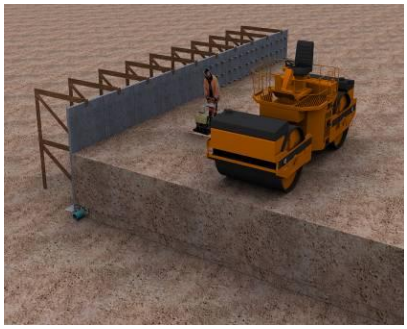
**ขั้นตอนที่ 12** ลงวัสดุดินถมเสริมแรงและทำการบดอัดในชั้นต่อๆ ไป จนถึงระดับใกล้ขอบบนของPanel ที่ 1



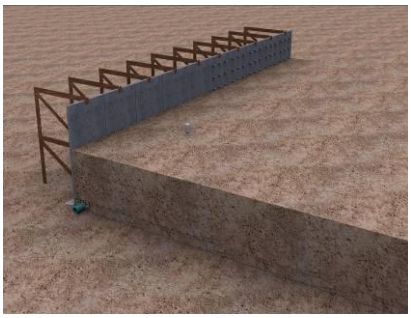
**ขั้นตอนที่ 13** ทดสอบค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของวัสดุดินถม ทุกๆ ความหนา 200 มม.



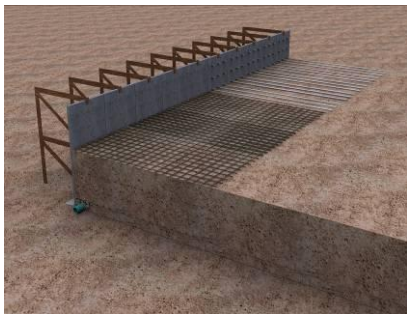
**ขั้นตอนที่ 14** วางแผ่น Concrete Panel แผ่นที่ 2 พร้อมทำการติดตั้งค้ำยันหรือ Camp ยึด



**ขั้นตอนที่ 15** ลงวัสดุดินถมเสริมแรง ความหนาดินถม อย่างน้อย 15 ซม. และทำการบดอัด



**ขั้นตอนที่ 16** ทดสอบค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของวัสดุดินถม ทุกๆ ความหนา 200 มม.



**ขั้นตอนที่ 17** เมื่อลงวัสดุดินถมถึงระดับเสริมแรง ตามแบบก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 1 ของ Concrete Panel แผ่นที่ 2

**ขั้นตอนที่ 18** การติดตั้งวัสดุเสริมแรงและการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างในชั้นต่อๆ ไปมีขั้นตอนการติดตั้งเช่นเดียวกันกับการติดตั้งในลำดับก่อนหน้านี้

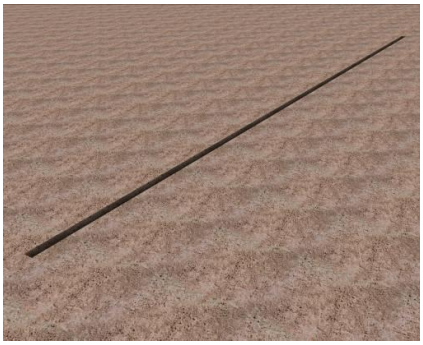
**รูปที่ 4.18** สรุปภาพรวมขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง(ต่อ)

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง พร้อมข้อเสนอแนะและเทคนิคการก่อสร้างในบางจุดที่น่าสนใจ แสดงไว้ในรายละเอียดข้างล่างดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ปรับแต่งสภาพพื้นที่ เช่น ถมดินและบดอัดดินฐานรากตามมาตรฐานงานก่อสร้างทาง พื้นที่ก่อสร้างจะต้องปราศจากวัชพืชและสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ ที่กีดขวางการก่อสร้างหรืออาจก่อความเสียหายให้แก่ความมั่นคงแข็งแรงของกำแพงกันดินเสริมแรงที่จะก่อสร้างหรือภายหลังการก่อสร้าง ผู้รับจ้างจะต้องเกลี่ยและกลบแต่งหลุมบ่อที่มีอยู่เดิมหรือส่วนที่เกิดจากการถางป่าและขุดตอแล้วบดทับให้ได้แนว ระดับ ความลาด ขนาดรูปร่าง และความแน่นตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ ก่อนที่จะเริ่มงานโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

**ขั้นตอนที่ 2** หาตำแหน่ง และวางแนวของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรงในสนาม

**ขั้นตอนที่ 3** ขุดร่องตามแนวที่วางไว้และหล่อฐาน Leveling Pad



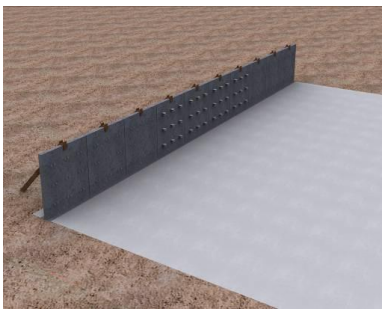
**ข้อเสนอแนะ**

1.การขุดร่องเพื่อหล่อฐาน Leveling Pad (กว้าง 35 ซม. ลึก 30 ซม. ) หรือตามขนาดที่ระบุในแบบก่อสร้าง ในขั้นตอนนี้ควรสังเกตุความแข็งแรงหรือความแน่นของดินฐานรากที่ขุด หากพบชั้นดินหลวมผู้ควบคุมงานควรสั่งให้ทำการรื้อดินออกและบดอัดใหม่ การขุดควรขุดให้ได้แนวตามที่กำหนดเนื่องจากการใช้ผนังร่องเป็นแบบหล่อจะดีและประหยัดกว่าการตั้งแบบหล่อ

2.ทำการถมทรายเพื่อปรับระดับพร้อมบดอัดให้แน่น มีความหนาประมาณ 10 เซนติเมตร

3.พรมน้ำตามแนวร่องให้พอชุ่มป้องกันดินแย่งน้ำจากคอนกรีต แล้วจึงทำการเทคอนกรีต โดยระดับการเทคอนกรีตจะต้องตรวจสอบโดยกล้อง Survey และทำการ Mark ระดับหลังฐานไว้

**ขั้นตอนที่ 4** เมื่อฐานที่หล่อสามารถรับกำลังได้ แล้ว ให้วางแผ่น Concrete Panel ในชั้นที่ 1 พร้อมทำการติดตั้งค้ำยัน



**ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีต**

1. ลำเลียงแผ่นผนังคอนกรีตจากโรงงาน จัดวางในสนามให้ตรงกับตำแหน่ง

2. ตรวจสอบรายละเอียดของแผ่นคอนกรีตอีกครั้งหากพบความเสียหายให้แก้ไขก่อนนำไปใช้งาน

3. การวางแผ่นผนังคอนกรีต เมื่อติดตั้งแล้ว ต้อง

ตรวจสอบช่องว่างระหว่างแผ่นให้ชิดและมีระยะห่างโดยรอบสม่ำเสมอ ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 มม.

4. การวางแผ่นผนังคอนกรีต แนวขอบด้านนอกต้องได้ตามแนวที่กำหนด ต้องปรับให้แผ่นผนังคอนกรีตอยู่ในแนวราบและแนวดิ่งเสมอ โดยการใช้แผ่นปรับระดับ

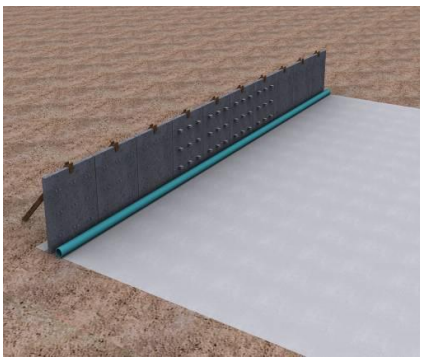
5. ภายหลังการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตในแต่ละชั้นแล้วเสร็จ ให้ติดตั้งอุปกรณ์ยึดระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต พร้อมค้ำยันด้านนอกกำแพง และตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของค้ำยัน

6. ช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่น Concrete Panel จะต้องติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Non Woven Geotextile) เพื่อป้องกันการไหลออกของเม็ดดินขนาดเล็ก (แต่ยอมให้น้ำไหลผ่าน ) ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อการทรุดตัวของโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง

**ข้อเสนอแนะ**

1. ควรเตรียมลิ่มไม้ไว้ เพื่อช่วยในการปรับแผ่น Concrete Panel .ให้ได้ดิ่งและระดับ

**ขั้นตอนที่ 5** ติดตั้งระบบระบายน้ำหลังกำแพง (Perforated Pipe)

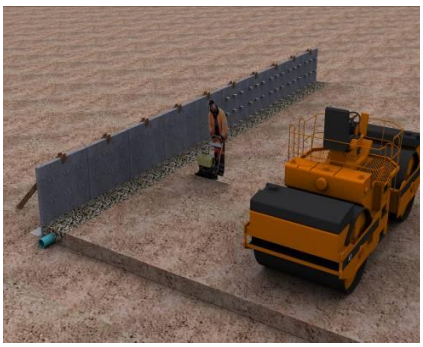


**ข้อเสนอแนะ**

1. ท่อระบายน้ำควรใช้ท่อ PVC. ชนิดแข็ง ชั้น 13.5 ซึ่งได้เจาะรูขนาดไม่ต่ำกว่า 10 มม. และพันด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ชนิดกรอง (Geotextile) เพื่อป้องกันวัสดุไม่พึงประสงค์เข้าไปอุดตันในท่อระบายน้ำ

2. ชั้นหินกรอง Porous Material จะต้องผ่านการล้างทำความสะอาดให้ปราศจากเศษดินหรือเศษวัชพืช

**ขั้นตอนที่ 6** ลงวัสดุดินถมเสริมแรงอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร ทำการบดอัดด้วยเครื่องจักร ห้ามใช้เครื่องจักรปฏิบัติงานโดยตรงต่อวัสดุเสริมกำลัง ในโซนระยะ 1 ม. จาก Concrete Panelใช้เครื่องตบดินแบบ Plate Compactor

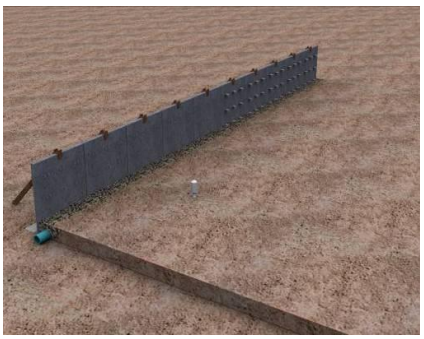


**ข้อเสนอแนะ**

1.ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม เช่น รถบรรทุกกระบะยกขนวัสดุดินถมเสริมแรงจากกองวัสดุไปปูลงบนชั้นวัสดุดินฐานรากที่ได้เตรียมไว้ แล้วตีแผ่ เกลี่ยวัสดุดินถมเสริมแรงความหนาอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร

2. ทำการบดทับดินถมเสริมกำลังด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม หรือได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน ทั้งนี้ส่วนของดินถมที่อยู่ใกล้โครงสร้างน้อยกว่า 1 เมตร ให้ใช้เครื่องมือบดทับขนาดเล็ก โดยไม่อนุญาตให้ใช้เครื่องจักรหนักเข้าใกล้ส่วนหน้าของคันดินเสริมแรง เพื่อป้องกันความเสียหาย ในบริเวณนี้ควรลดความหนาของชั้นดินถมลง เช่น 100 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมความแน่นให้ตามมาตรฐานกำหนด

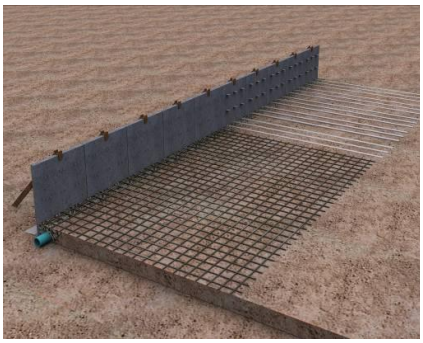
**ขั้นตอนที่ 7** เมื่อได้ก่อสร้างดินถมเสริมแรงซึ่งหนาไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ทำการตรวจสอบความหนาแน่นและปริมาณน้ำของวัสดุดินถมเสริมแรง



**ข้อเสนอแนะ**

1. ความแน่นตามมาตรฐานจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามมีข้อยกเว้นสำหรับบริเวณที่ใกล้โครงสร้างในระยะ 1 เมตร ยอมให้การบดทับดินถมเสริมกำลังมีความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของความแน่นแห้งสูงสุด และควรมีปริมาณน้ำไม่มากหรือไม่น้อยกว่าปริมาณน้ำที่ทำให้ความแน่นสูงสุดร้อยละ2 ( Optimum Moisture Content ± 2%)

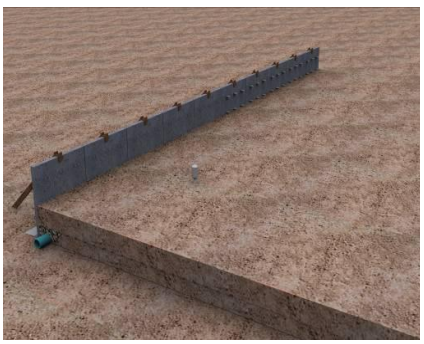
**ขั้นตอนที่ 8** เมื่อลงวัสดุดินถมถึงระดับเสริมแรงตามแบบก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 1



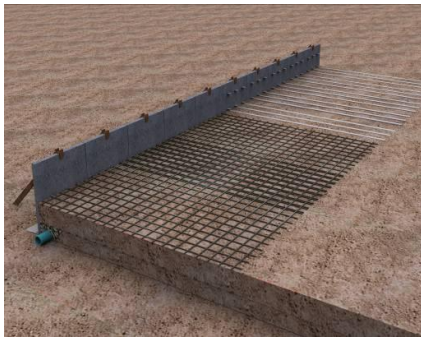
ติดตั้งวัสดุเสริมแรงประเภท Metallic Strip

**ขั้นตอนที่ 9** ลงวัสดุดินถมในชั้นต่อไป แต่ละชั้นหนาอย่างน้อย 150 มม. ทำการบดอัดด้วยเครื่องจักร

**ขั้นตอนที่ 10** ทดสอบค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของวัสดุดินถมทุกๆ ความหนา 200 มม.

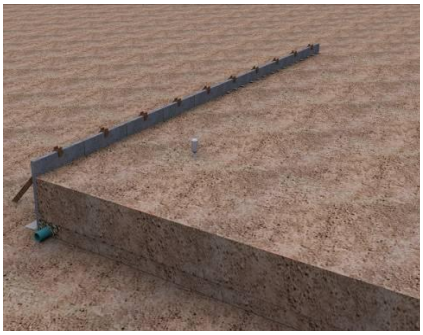


**ขั้นตอนที่ 11** ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 2

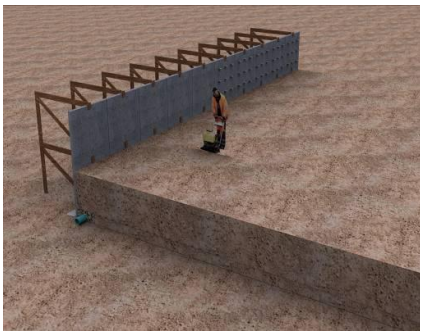


**ขั้นตอนที่ 12** ลงวัสดุดินถมเสริมแรงและทำการบดอัดในชั้นต่อๆ ไป จนถึงระดับใกล้ขอบบนของ Panel ที่ 1

**ขั้นตอนที่ 13** ทดสอบค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของวัสดุดินถม ทุกความหนา 200 มม.



**ขั้นตอนที่ 14** วางแผ่น Concrete Panel แผ่นที่ 2 พร้อมทำการติดตั้งค้ำยันหรือ Clamp ยึด

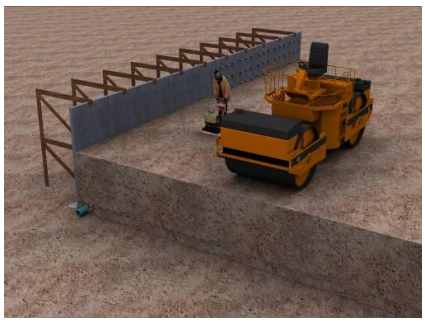


**ข้อแนะนำ**

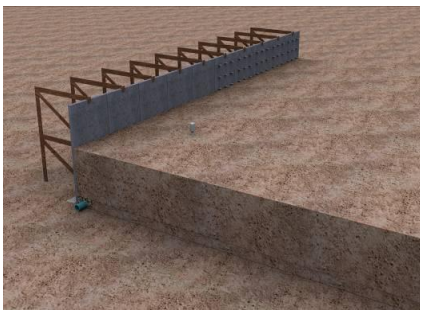
1. ก่อนทำการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตในชั้นต่อไป ให้ทำการติดตั้งแผ่นยางรองรอยต่อ (Rubber Pad) รองระหว่างแผ่นผนังคอนกรีต ที่ด้านปลายของแผ่นผนังคอนกรีต เพื่อช่วยในการลดแรงกระแทก

2. หลังจากติดตั้งแผ่นรอยต่อแล้วเสร็จ จึงวางแผ่นผนังคอนกรีตทับซ้อนด้านบน

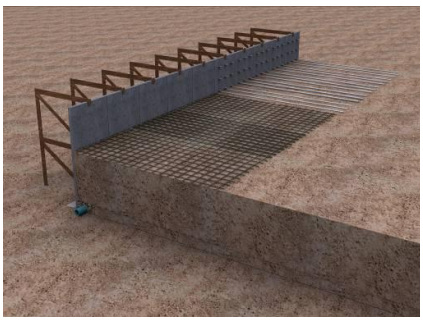
**ขั้นตอนที่ 15** ลงวัสดุดินถมเสริมแรง ความหนาดินถม อย่างน้อย 150 มม. และทำการบดอัด



**ขั้นตอนที่ 16** ทดสอบค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของวัสดุดินถมทุกๆ ความหนา 200 มม.



**ขั้นตอนที่ 17** เมื่อลงวัสดุดินถมถึงระดับเสริมแรงตามแบบก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุเสริมแรงชั้นที่ 1 ของ Concrete Panel แผ่นที่ 2



**ขั้นตอนที่ 18** การติดตั้งวัสดุเสริมแรงและการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างในชั้นต่อๆ ไปมีขั้นตอนการติดตั้งเช่นเดียวกันกับการติดตั้งในลำดับก่อนหน้านี้

# บทที่ 5
# ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 11 สาย อุตรดิตถ์-เด่นชัย

## 5.1 การตรวจสอบข้อมูลก่อนดำเนินการก่อสร้าง

ก่อนการดำเนินการก่อสร้างผู้จัดการโครงการควรดำเนินการตรวจสอบข้อมูล ซึ่งจะต้องพิจารณารายการตามตารางที่ 5.1

**ตารางที่ 5.1** รายการตรวจสอบก่อนดำเนินการก่อสร้าง

| รายการ | คำอธิบาย | ผู้พิจารณา |
|---|---|---|
| 1. การเจาะสำรวจดิน ณ ตำแหน่งก่อสร้าง | ผู้รับจ้างจะต้องทำการเจาะสำรวจชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่จะก่อสร้างกำแพง เพื่อหาคุณสมบัติของดิน (Soil Parameter) และข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน | สำนักสำรวจและออกแบบ |
| 2. แบบ SHOP DRAWING สำหรับการก่อสร้าง | ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำแบบ Shop Drawing เพื่อใช้สำหรับก่อสร้างในสนามแต่ละแห่งโดยมีรายละเอียดความยาวของวัสดุเสริมแรง (Reinforcing Strips) และความสูงของกำแพงให้โครงการฯ ตรวจสอบก่อนการก่อสร้าง | สำนักสำรวจและออกแบบ |
| 3. การตรวจสอบเสถียรภาพภายใน (Internal Stability และเสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) | ผู้รับจ้างจะต้องเสนอผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพง โดยที่กำแพงแต่ละแห่งจะต้องมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, FS) ที่เพียงพอ | สำนักสำรวจและออกแบบ |

## 5.2 การควบคุมคุณภาพวัสดุในโครงการฯ

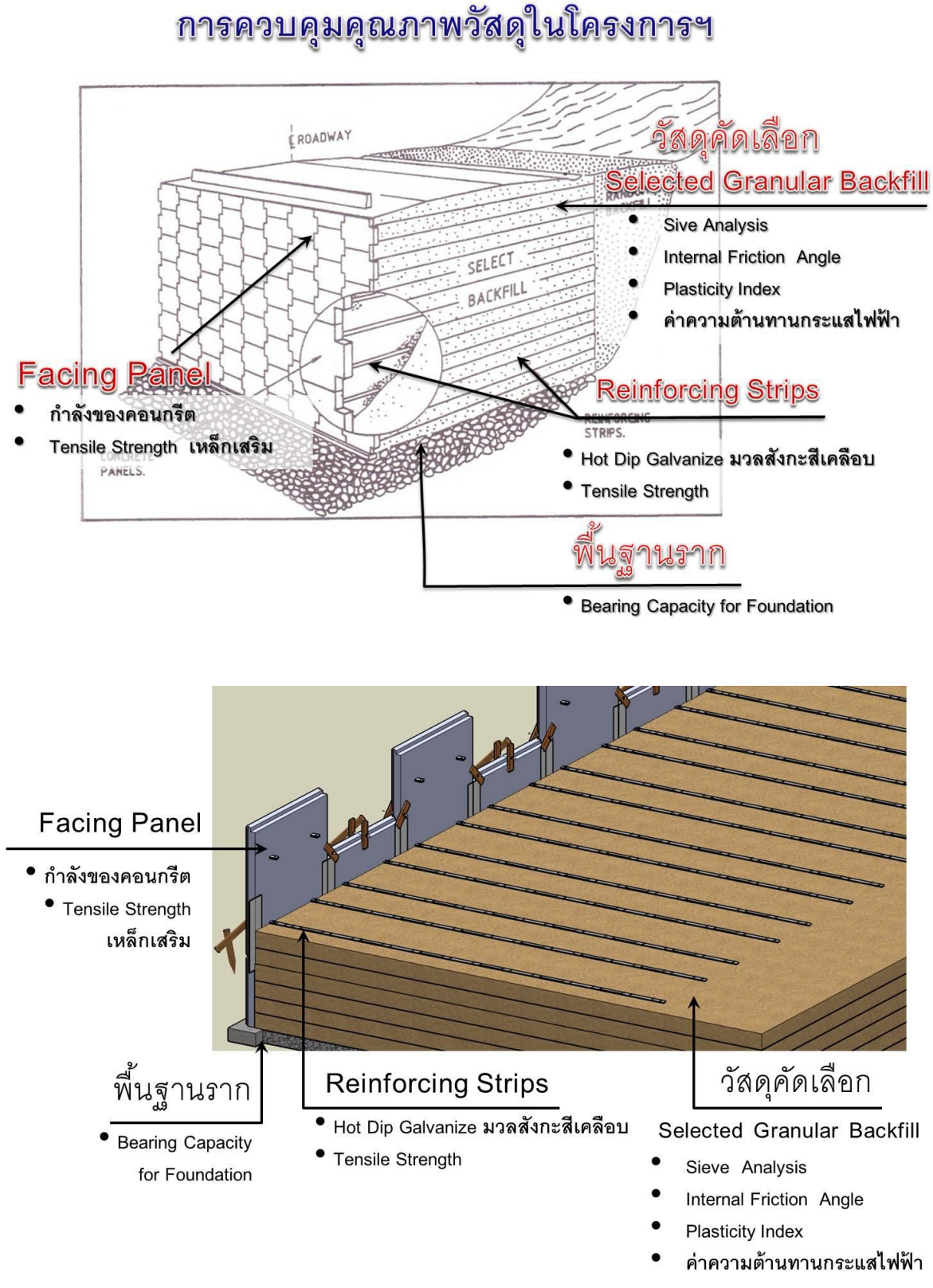
วัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างคันทางเสริมแรง MSE Wall ได้แก่ คอนกรีตสำหรับแผ่น Facing Panel , วัสดุเสริมแรง(Reinforcing Strips) และวัสดุคัดเลือก (Selected Granular Backfill) โดยคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานและข้อกำหนดของกรมทางหลวง นอกจากนี้วัสดุคัดเลือกในโครงการฯ จากการทดสอบแหล่ง ในพื้นที่บริเวณก่อสร้างจะต้องใช้หินผุผสมทรายใน**อัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตร** ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (ทล.-ม. 105/2550) ตารางที่ 5.2 แสดงข้อกำหนดวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 11 และรูปที่ 5.1 แสดงส่วนประกอบของโครงสร้าง MSE Wall และการควบคุมคุณภาพของวัสดุในส่วนประกอบต่างๆของโครงสร้าง

**ตารางที่ 5.2** การควบคุมคุณภาพวัสดุงานก่อสร้าง MSE WALLโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 11 ตอน อุตรดิตถ์ - เด่นชัย ตอน 2 (ส่วนที่ 1)

| วัสดุก่อสร้าง | ข้อกำหนด | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| 1. แผ่นคอนกรีตกำแพงกันดินสำเร็จรูป (Precast Facing Panels)<br>1.1 คอนกรีต<br>1.2 เหล็กเสริม $\phi$8 mm.@200 mm. | 350 ksc<br>Tensile Strength 585 MPa | ทดสอบโดยหน่วยตรวจสอบฯ ประจำโครงการ<br>ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |
| 2. เหล็กเสริมแรง (Inextensible Reinforcement) ขนาด 50x4 mm. | - Hot Dip Galvanize 600 g/$m^2$<br>- Tensile Strength 550 MPa | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ<br>ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |
| 3. เหล็กยึดระหว่างแผ่นคอนกรีตและเหล็กเสริมแรง (Tie Strip) | - Hot Dip Galvanize 600 g/$m^2$<br>- Tensile Strength 410 MPa | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ<br>ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |
| 4. นอต,สลักเกลียว และ แหวนรอง | - Hot Dip Galvanize 300 g/$m^2$<br>- Tensile Strength 80 MPa | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ<br>ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |
| 5. แผ่นยางรองระหว่างแผ่น (Rubber Pad) | - Hardness 80$\pm$5 | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |

**ตารางที่ 5.2** การควบคุมคุณภาพวัสดุงานก่อสร้าง MSE WALLโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 11 ตอน อุตรดิตถ์ - เด่นชัย ตอน 2 (ส่วนที่ 1) (ต่อ)

| วัสดุก่อสร้าง | ข้อกำหนด | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| 6. วัสดุดินถมในกำแพง (Select Backfill)<br>6.1 Sieve Analysis | ทล.-ม.105/2550<br>Sieve size %Passing*<br>1 1/2" 100<br>4 30 - 100<br>No.40 15 - 100<br>No.100 5 - 65<br>No.200 0 - 15 | - ตรวจสอบแหล่งวัสดุ General & Control Testโดยหน่วยตรวจสอบฯ ประจำโครงการ<br>* สำหรับวัสดุเสริมกำลังที่ไม่สามารถยืดได้ (Inextensible Reinforcement) |
| 6.2 Unit Weight | 1.8 - 2.0 t/$m^3$ | |
| 6.3 Internal Friction Angle | ≥ 34.00 | |
| 6.4 pH | 5 < pH < 10 | ส่งทดสอบ กับมหาวิทยาลัยของรัฐ |
| 6.5 Liquid Limit | < 30 | |
| 6.6 Plasticity Index | < 6 | |
| 6.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ, Cu | > 4 | |
| 6.8 ค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า | > 3000 ohm cm | |
| 6.9 ปริมาณซัลเฟต | < 200 ppm | ส่งทดสอบ กับมหาวิทยาลัยของรัฐ |
| 6.10 ปริมาณคลอไรด์ | < 100 ppm | หรือผู้เชียวชาญ |
| 7. ดินฐานราก (Foundation) | Soil Cement 17.5 ksc | |
| 8. แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) | Weight 140 – 200 g/$m^2$ | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |
| 9. ปริมาณสารอินทรีย์ | ไม่เกินร้อยละ 1.0 โดยมวล | ส่งทดสอบ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ |




**รูปที่ 5.1** การควบคุมคุณภาพของวัสดุในโครงการ

## 5.3 เครื่องมือและเครื่องจักรสำหรับงานก่อสร้างกำแพง MSE Wall

ในการก่อสร้างจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือและเครื่องจักรสำหรับโครงการ ดังนี้

- รถเครนขนาดเล็กหรือรถเฮียบ (Crane or Hiab) : เพื่อใช้ในการยกแผ่นคอนกรีตติดตั้งบริเวณก่อสร้าง

**รูปที่ 5.2** รถเครนขนาดเล็กหรือรถเฮียบ

- รถเกลี่ย (Grader) : เพื่อใช้ชุด, ถม และปรับระดับหน้าดินถมแต่ละชั้น

**รูปที่ 5.3** รถเกลี่ย

- รถบด (Roller) : เพื่อใช้บดดินถมหลังกำแพง

**รูปที่ 5.4** รถบด

- รถตบดิน (Small Vibrating Roller) : ขนาดไม่เกิน 1 ตัน เพื่อใช้บดอัดถมหลังกำแพงในบริเวณที่ห่างจากแผ่นคอนกรีตกำแพงกันดินเป็นระยะต่ำกว่า 1.5 เมตร

**รูปที่ 5.5** รถตบดิน

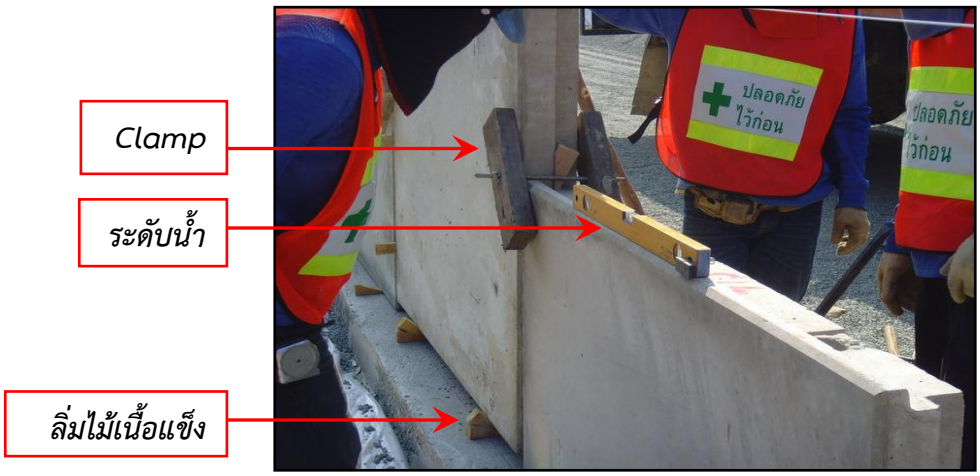
- ค้ำยัน(Bracing) : สำหรับการติดตั้งกำแพงแถวแรก

**รูปที่ 5.6** ค้ำยัน

- อุปกรณ์สำหรับยกแผ่นคอนกรีต (Coupling Link & Lifting Eye)

**รูปที่ 5.7** อุปกรณ์สำหรับยกแผ่นคอนกรีต

- ลิ่มไม้เนื้อแข็ง (Hardwood Wedge) : สำหรับปรับระดับแผ่นคอนกรีต
- Clamp : สำหรับยึดจับแผ่นคอนกรีตให้ได้แนว
- ชะแลง : สำหรับปรับแนวของกำแพง
- ประแจ : สำหรับขัน bolt ยึด reinforcing strip เข้ากับแผ่นคอนกรีตกำแพงกันดิน
- ระดับน้ำ : ขนาด 1200 mm.
- อุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป : ลูกดิ่ง, ลวดสลิง , เชือกไนล่อน , พลั่ว , ค้อน , ไม้กวาด , ชอล์ก ฯลฯ

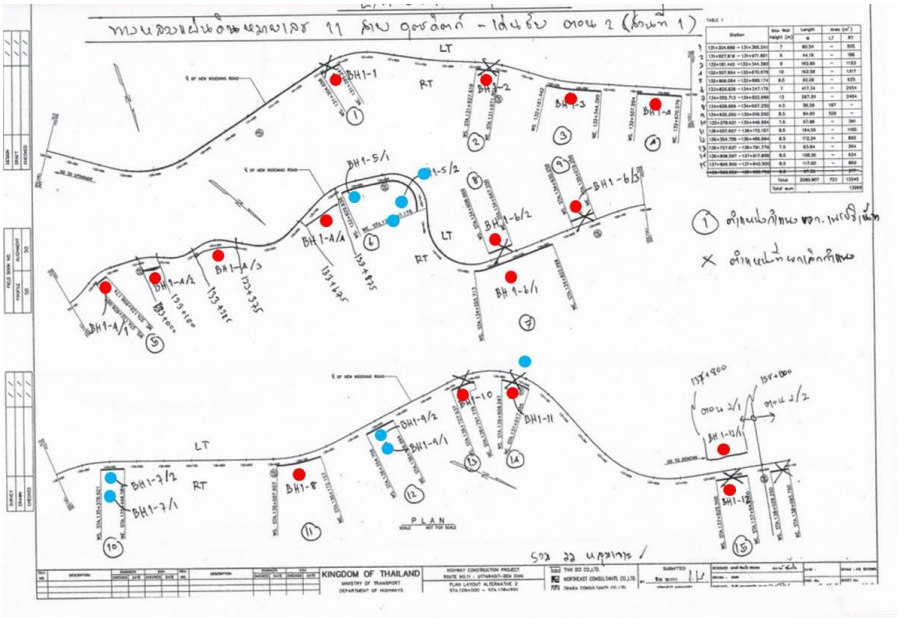



**รูปที่ 5.8** อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งแผ่น Facing Panels

## 5.4 ขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง MSE Wall

### 5.4.1 การสำรวจชั้นดินเดิมก่อนการก่อสร้างกำแพง

โครงสร้างกำแพงเสริมกำลัง MSE Wall จะต้องตั้งอยู่บนชั้นดินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของกำแพงได้อย่างมีเสถียรภาพ ดังนั้น ขั้นตอนการเจาะสำรวจชั้นดินเดิมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในโครงการนี้ ดำเนินการทดสอบชั้นดินโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จำนวนหลุมเจาะสำรวจ 25 หลุม ดังรูปที่ 5.9



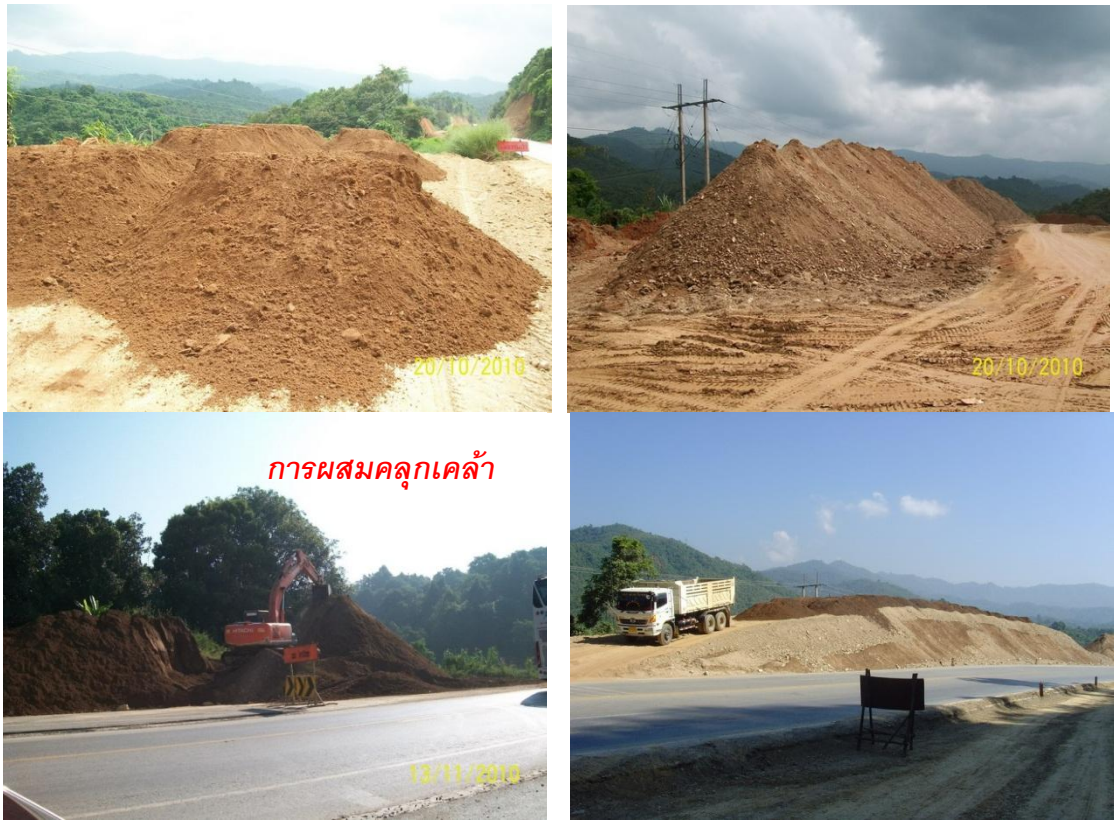
ก) ตำแหน่งหลุมเจาะในโครงการ

ข) เครื่องมือเจาะหลุมทดสอบแบบ Wash Boring และแบบ Rotary

**รูปที่ 5.9** การเจาะสำรวจชั้นดินเดิม

### 5.4.2 การควบคุมคุณภาพวัสดุคัดเลือกในโครงการ

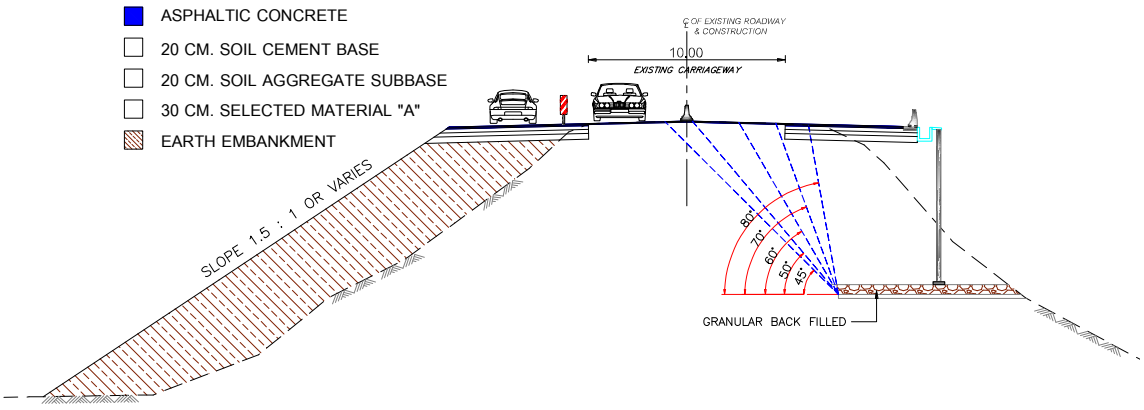
วัสดุคัดเลือกเพื่อใช้เป็นวัสดุถมหลังกำแพง จะต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในรายละเอียดข้อกำหนดประกอบแบบก่อสร้าง จึงจำเป็นจะต้องหาแหล่งวัสดุที่มีความเหมาะสม การควบคุมคุณภาพวัสดุคัดเลือกจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ ในโครงการนี้จะใช้ วัสดุดินถมหลังกำแพง ได้จากการผสมคลุกเคล้าวัสดุระหว่างหินผุจากแหล่งเขาพลึงกับทรายแม่น้ำยม อัตราส่วน 2 : 1 ตามลำดับ และเก็บ Stock Pile เพื่อใช้สำหรับการถมหลังกำแพงต่อไป ดังรูปที่ 5.10




**รูปที่ 5.10** การเก็บ Stock Pile วัสดุดินถมหลังกำแพง

### 5.4.3 การตรวจสอบแนวและระดับการขุดตามแบบคำนึงถึงเสถียรภาพของลาดคันทางในขณะก่อสร้างโดยวิเคราะห์ความลึกและความชันในการขุดตัดที่ไม่เกิดการพังทลาย

ตามแบบก่อสร้างที่ได้รับอนุมัติ ได้กำหนดมุมของการขุดตัดดินเชิงลาด (Cut Slope) ระหว่าง $45^{\circ}$-$80^{\circ}$ ทางโครงการฯได้ร่วมวางแผนดำเนินการกับผู้รับจ้าง โดยมีแนวความคิดว่าไม่ให้งานขุดตัดขยายคันทางเพื่อก่อสร้าง MSE Wall เป็นอุปสรรคกับการจราจร และสามารถจัดการจราจรระหว่างก่อสร้างได้อย่างปลอดภัย วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินตัดที่เสนอโดยผู้รับจ้างโดยกำหนดค่าอัตราส่วนปลอดภัย (FS) ต้องมีค่ามากกว่า 1.50 ดังรูปที่ 5.11




**รูปที่ 5.11** มุมของการขุดลาดคันทางที่กำหนดระหว่าง 45°-80°

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด โดยใช้ข้อมูลชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ และสามารถกำหนดมุมสำหรับการตัดที่มีความปลอดภัยแล้วจึงดำเนินการสำรวจเพื่อการวางแนวขุดตัดดังรูปที่ 5.12

**รูปที่ 5.12** การสำรวจเพื่อวางแนวขุดตัดดินเชิงลาด

### 5.4.4 ขุดตัดลาดไหล่ทาง (Cut Slope) เพื่องานก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมแรง MSE Wall

- ดำเนินการขุดชั้นต่อไปจนถึงระดับฐานรากของ MSE Wall

- ขั้นตอนการขุดควรมีการกำหนดไว้อย่างชัดเจน เช่น การกำหนดขั้นตอนในการขุดโดยใช้แนวคันทางชั่วคราว (Temporary Berm) เพื่อป้องกันการพังทลายของคันทางเดิมในระหว่างการขุด

- เมื่อดำเนินการขุดจนถึงระดับฐานรากของ MSE Wall แล้ว ให้ดำเนินการตรวจวัดค่าระดับให้ได้ตามแบบก่อสร้าง

- ดำเนินการบดอัดดินฐานรากให้ได้สภาพแน่นตามแบบ เพราะ MSE Wall เป็นกำแพงกันดินขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้ฐานรากที่มั่นคงแข็งแรงเพื่อต้านการทรุดตัวของกำแพง
- หากดินเดิมมีค่ากำลังรับแรงแบกทานไม่เพียงพออาจพิจารณาใช้ชั้นดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) เพิ่มความแข็งแรงให้กับดินฐานรากได้

### 5.4.5 การทดสอบกำลังแบกทาน (Bearing Capacity) ของดินเดิม

- ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1194-94 บันทึกการทดสอบโดยหน่วยตรวจสอบฯ ประจำโครงการ
- อุปกรณ์การทดสอบผู้รับจ้างเป็นผู้จัดหา จะต้องมีผลการสอบเทียบของ Load Cell ที่รับรองโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ ในโครงการนี้อุปกรณ์ทดสอบรับรองโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- จำนวนการทดสอบขึ้นกับผู้ควบคุมงาน โดยในโครงการกำหนด 3 จุดต่อ 1 ตำแหน่งกำแพง
- ตำแหน่งทดสอบบริเวณชั้นดินเดิมแนวฐานกำแพง MSE Wall ณ จุดที่มีความสูงของกำแพงกันดินที่สุด และทดสอบที่ตำแหน่งซ้ายและขวาของจุดความสูงกำแพงมากที่สุด โดยให้ระยะระหว่างจุด 10 เมตร
- การทดสอบต้องมีน้ำหนักต้านซึ่งอาจใช้น้ำหนักของเครื่องจักรกล เช่น รถแทรกเตอร์ รถบรรทุกแทนได้

ก) ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Bearing Capacity

ข) ใช้รถ Back Hole เป็นน้ำหนักกด

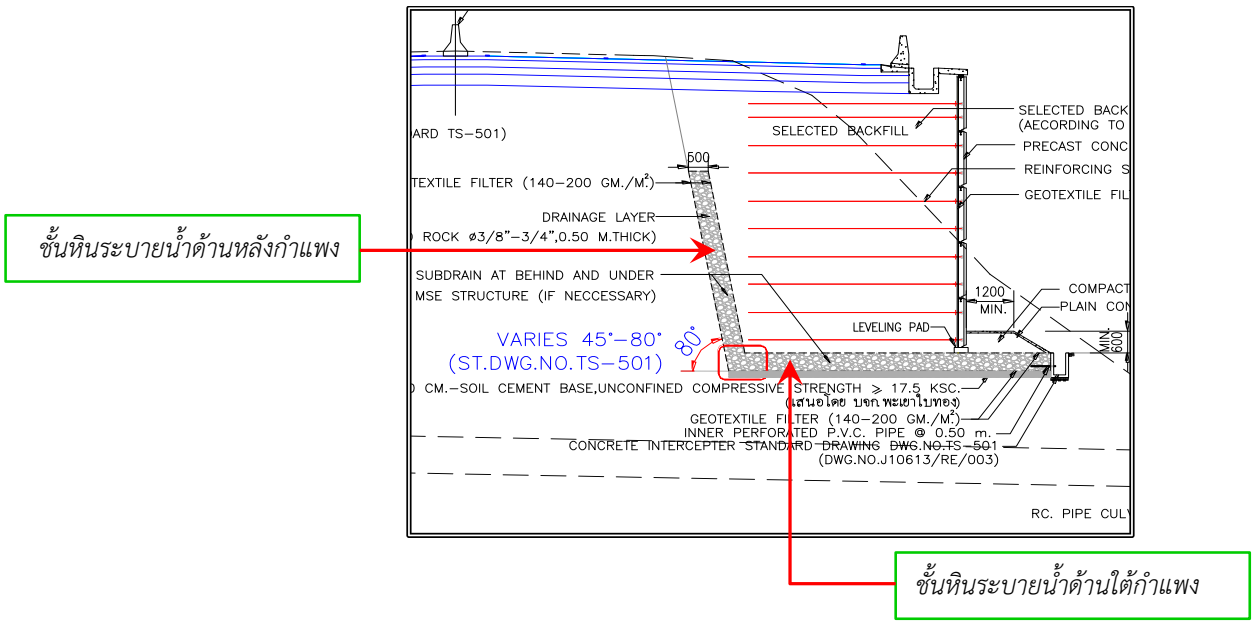
ค) อุปกรณ์ บันทึกค่าการทดสอบ

ง) วิธีการทดสอบ

**รูปที่ 5.13** การทดสอบกำลังแบกทานของดินเดิม

### 5.4.6 งานก่อสร้างระบบระบายน้ำกำแพงกันดินเสริมแรง

ปัญหาหนึ่งในการก่อสร้างคันทางเสริมกำลังในพื้นที่ภูเขาคือปัญหาจากน้ำใต้ดิน นอกจากน้ำใต้ดินทำให้กำลังของดินเสริมกำลังมีค่าลดลงแล้ว น้ำใต้ดินยังเป็นส่วนเพิ่มแรงดันที่จะทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังด้วย โดยปกติแล้วชั้นระบายน้ำที่ติดตั้งหลังกำแพงกันดิน และใต้กำแพงกันดิน จะใช้ชั้นหินระบายน้ำ ซึ่งใช้หินสะอาดขนาด 3/8”-3/4” เป็นชั้นระบายน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 5.14




**รูปที่ 5.14** ระบบระบายน้ำใต้ดิน

- เมื่อเตรียมชั้นฐานรากให้ได้ระดับและความแข็งแรงแล้วจึงดำเนินการติดตั้งชั้นระบายน้ำใต้กำแพง (Subdrain) โดยใช้วัสดุใยสังเคราะห์ประเภท Geosynthetics ห่อวัสดุหินระบายน้ำ

- โดยปกติแล้ว Geotextile มีความกว้างมาตรฐานจากผู้ผลิต ซึ่งอาจจะต้องซ้อนทับในการติดตั้ง โดยควรระวังระยะซ้อนทับให้มีความกว้างที่เหมาะสม

- การก่อสร้างชั้นหินระบายน้ำด้านใต้กำแพง ความหนาของชั้นหินจะกำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

- การก่อสร้างชั้นหินระบายน้ำด้านหลังกำแพง ใช้วิธีการปล่อยจากรถบรรทุกคอนกรีต Ready Mixed

- แนวระบายน้ำหลังกำแพงจะต้องกรอกด้วยวัสดุหินระบายน้ำให้มีความหนาตามแบบก่อสร้าง

- เพื่อความมั่นคงและแข็งแรงของฐานกำแพง จะต้องบดอัดชั้นหินระบายน้ำให้แน่นด้วย

- แบบก่อสร้างกำหนดให้ทำชั้นดินซีเมนต์ หนา 20 ซม. ใต้ฐานกำแพงด้วยเพื่อความมั่นคงของกำแพงและ สามารถป้องกันน้ำใต้ดินซึมเข้ากำแพงได้

### 5.4.7 งานติดตั้งแผ่นคอนกรีต Precast Facing Panels

- ติดตั้ง Levelling Pad เพื่อรองรับแนว Facing ชั้นที่ 1 ของ MSE Wall

- ชั้น Levelling Pad นี้มีความสำคัญต่อแนวและระดับของ Facing ทั้งนี้จะต้องวัดแนวและระดับอย่างละเอียด ให้ได้ตามแบบก่อสร้าง

- เทคอนกรีตหยาบสำหรับ Levelling Pad เพื่อใช้ปรับระดับให้ได้ตามแนวราบ

- การติดตั้งแผ่น Concrete Facing Panel โดยใช้รถเครนขนาดเล็กยก

- ติดตั้ง Concrete Facing Panel ชั้นที่ 1 โดยปรับระดับแนวดิ่งและแนวราบด้วยค้ำยัน

- รูปแบบของ Facing Panel นี้มีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

- ตรวจสอบตำแหน่งการวางของ Facing ตามแนวที่ได้กำหนด และใช้ลิ่มไม้วางรอง Panel เพื่อปรับระดับทางราบ

- ตรวจวัดแนวดิ่งของ Facing Panel ด้วยระดับน้ำ

- เมื่อติดตั้ง Facing Panel แผ่นที่ 1 ได้ระดับดำเนินการติดตั้งแผ่นต่อไปโดยตรวจวัดแนวและระดับให้ได้ตามแบบ

- จัดและปรับแนวของแผ่น โดยชะแลงและใช้ลิ่มไม้เนื้อแข็งปรับระดับแผ่น เมื่อแผ่นคอนกรีตได้แนวและระดับแล้ว จับยึดระหว่างแผ่นคอนกรีตด้วยปากกาไม้เนื้อแข็ง (Clamp)

- ตรวจสอบแนวรอยต่อระหว่างแผ่น Facing เพื่อป้องกันการเกยกันของแผ่น โดยให้ร่องระหว่างแผ่นต่อประกบกันพอดี

- ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ระหว่างรอยต่อแผ่น Facing เพื่อป้องกันดินมวลละเอียดไหลออกจากกำแพงตามช่องว่างระหว่างแผ่น

- ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ตลอดแนวรอยต่อของกำแพงชั้นที่ 1

- ตรวจวัดแนวและระดับของกำแพงชั้นที่ 1

- ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ Geotextile ซึ่งเป็นชั้นบนของระบบระบายน้ำใต้กำแพง (Subdrain)

- ส่วนปลายของแผ่นใยสังเคราะห์จะประกบกับโครงสร้างระบายน้ำหลังกำแพง

- พ่นสีระดับดินถมแต่ละชั้นไว้ด้านหลังกำแพง สำหรับใช้อ้างอิงในการลงวัสดุคัดเลือก ความหนาสำหรับการบดอัดไม่เกิน 150 มม.

- การติดตั้งแผ่นคอนกรีตระดับสูงจะใช้รถเครนขนาดเล็กยกแผ่นคอนกรีตและจับยึดระหว่างแผ่นคอนกรีตด้วยปากกาไม้เนื้อแข็งเท่านั้น ไม่มีไม้ค้ำยันแล้ว ดังนั้นการจัดแนวแผ่นแถวแรกจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบให้ดีที่สุด

### 5.4.8 การบดอัดวัสดุคัดเลือกดินถมหลังกำแพง

- ลงวัสดุดินถมคัดเลือกหลังกำแพงชั้นที่ 1 โดยควบคุมความชื้นของดินถมให้ได้ตามความชื้นที่เหมาะสมจากผลการทดสอบ

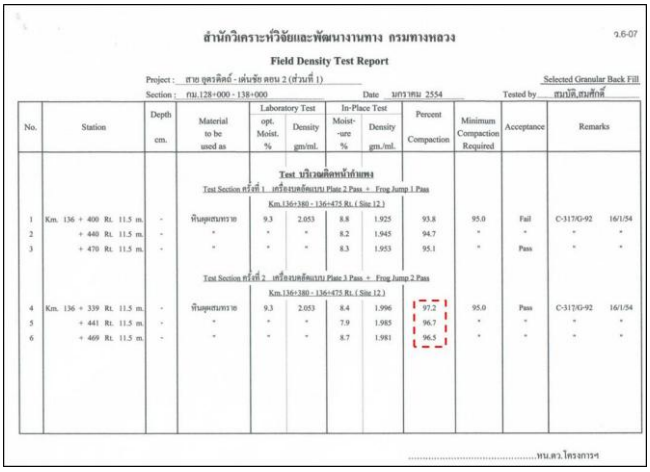
- การลงวัสดุคัดเลือกบนชั้นที่ได้ติดตั้งเหล็กเสริมกำลังไป แล้วห้ามรถบรรทุกวิ่งทับแผ่นเหล็กเสริมแรงโดยตรง ให้ลงกองวัสดุแล้วใช้รถแทรกเตอร์ดันดินล้มกองแทน

- ปรับระดับดินถมหลังกำแพงโดยใช้รถแทรกเตอร์ให้ได้ความหนาสำหรับการบดอัดไม่เกิน 150 มม.

- ในระหว่างที่รถแทรกเตอร์เกลี่ยดินต้องให้คนงานจับแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ไม่ให้ยับย่น

- ในพื้นที่บริเวณหลังแนวกำแพงในระยะ 1 เมตร ให้ปรับระดับดินถมโดยใช้แรงคนเท่านั้น

- ใช้การบดอัดด้วย Plate Compactor ในระยะ 1 ม. หลังแนวกำแพง เพื่อป้องกันแรงสั่นสะเทือนที่มากเกินไปซึ่งจะมีผลต่อการเคลื่อนตัวของแนวกำแพง



สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

Field Density Test Report

Project : สาย อุดรดิตถ์ - เด่นชัย ตอน 2 (ส่วนที่ 1) — Selected Granular Back Fill

Section : กม.128+000 - 138+000 — Date มกราคม 2554 — Tested by สมบัติ,สมศักดิ์

| No. | Station | Depth cm. | Material to be used as | Laboratory Test opt. Moist. % | Laboratory Test Density gm/ml. | In-Place Test Moist-ure % | In-Place Test Density gm./ml. | Percent Compaction | Minimum Compaction Required | Acceptance | Remarks | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Test บริเวณคันทางหน้าเขื่อน** | | | | | | | | | | | |
| | Test Section ครั้งที่ 1 เครื่องบดอัดแบบ Plate 2 Pass + Frog Jump 1 Pass | | | | | | | | | | | |
| | Km.136+380 - 136+475 Rt. ( Site 12 ) | | | | | | | | | | | |
| 1 | Km. 136 + 400 Rt. 11.5 m. | - | หินคลุกสมทราย | 9.3 | 2.053 | 8.8 | 1.925 | 93.8 | 95.0 | Fail | C-317/G-92 | 16/1/54 |
| 2 | + 440 Rt. 11.5 m. | - | " | " | " | 8.2 | 1.945 | 94.7 | " | " | " | " |
| 3 | + 470 Rt. 11.5 m. | - | " | " | " | 8.3 | 1.953 | 95.1 | " | Pass | " | " |
| | Test Section ครั้งที่ 2 เครื่องบดอัดแบบ Plate 3 Pass + Frog Jump 2 Pass | | | | | | | | | | | |
| | Km.136+380 - 136+475 Rt. ( Site 12 ) | | | | | | | | | | | |
| 4 | Km. 136 + 339 Rt. 11.5 m. | - | หินคลุกสมทราย | 9.3 | 2.053 | 8.4 | 1.996 | 97.2 | 95.0 | Pass | C-317/G-92 | 16/1/54 |
| 5 | + 441 Rt. 11.5 m. | - | " | " | " | 7.9 | 1.985 | 96.7 | " | " | " | " |
| 6 | + 469 Rt. 11.5 m. | - | " | " | " | 8.7 | 1.981 | 96.5 | " | " | " | " |

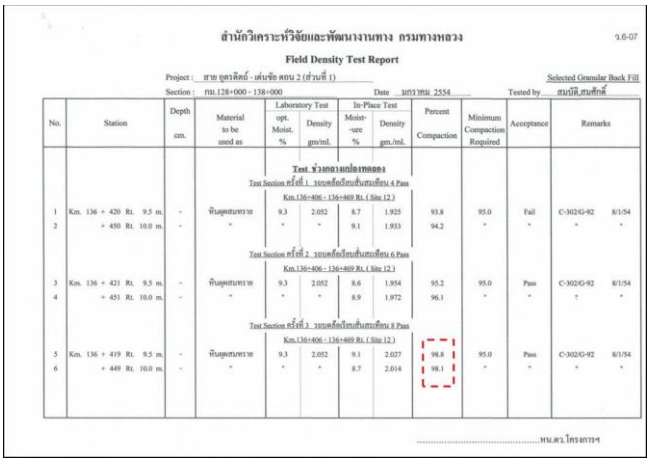
.....ทม.สว.โครงการฯ

- จากการบดอัดในแปลงทดสอบได้ค่าความแน่นของวัสดุSelected Material Backfill สูงกว่า 95% แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ด้วยการบดด้วย

- เครื่องบดอัดแบบ Plate จำนวน 3 Passes
- เครื่องบดอัดแบบ Frog Jump จำนวน 2 Passes

- การบดอัดในสนามกำหนดให้ใช้เครื่องจักรแบบ Plate ร่วมกับ Frog Jump จำนวน 3 Passes + 2 Passes ตามลำดับ

- บดอัดภายในกำแพงใช้รถบดล้อเหล็ก บดอัดดินจนได้ความหนาแน่นตามข้อกำหนดในแบบก่อสร้าง



สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

Field Density Test Report

Project : สาย อุดรดิตถ์ - เด่นชัย ตอน 2 (ส่วนที่ 1) — Selected Granular Back Fill

Section : กม.128+000 - 138+000 — Date มกราคม 2554 — Tested by สมบัติ,สมศักดิ์

| No. | Station | Depth cm. | Material to be used as | Laboratory Test opt. Moist. % | Laboratory Test Density gm/ml. | In-Place Test Moist-ure % | In-Place Test Density gm./ml. | Percent Compaction | Minimum Compaction Required | Acceptance | Remarks | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Test ช่วงกลางแปลงทดลอง** | | | | | | | | | | | |
| | Test Section ครั้งที่ 1 รถบดล้อเรียบสั่นสะเทือน 4 Pass | | | | | | | | | | | |
| | Km.136+406 - 136+469 Rt. ( Site 12 ) | | | | | | | | | | | |
| 1 | Km. 136 + 420 Rt. 9.5 m. | - | หินคลุกสมทราย | 9.3 | 2.052 | 8.7 | 1.925 | 93.8 | 95.0 | Fail | C-302/G-92 | 8/1/54 |
| 2 | + 450 Rt. 10.0 m. | - | " | " | " | 9.1 | 1.933 | 94.2 | " | " | " | " |
| | Test Section ครั้งที่ 2 รถบดล้อเรียบสั่นสะเทือน 6 Pass | | | | | | | | | | | |
| | Km.136+406 - 136+469 Rt. ( Site 12 ) | | | | | | | | | | | |
| 3 | Km. 136 + 421 Rt. 9.5 m. | - | หินคลุกสมทราย | 9.3 | 2.052 | 8.6 | 1.954 | 95.2 | 95.0 | Pass | C-302/G-92 | 8/1/54 |
| 4 | + 451 Rt. 10.0 m. | - | " | " | " | 8.9 | 1.972 | 96.1 | " | " | " | " |
| | Test Section ครั้งที่ 3 รถบดล้อเรียบสั่นสะเทือน 8 Pass | | | | | | | | | | | |
| | Km.136+406 - 136+469 Rt. ( Site 12 ) | | | | | | | | | | | |
| 5 | Km. 136 + 419 Rt. 9.5 m. | - | หินคลุกสมทราย | 9.3 | 2.052 | 9.1 | 2.027 | 98.8 | 95.0 | Pass | C-302/G-92 | 8/1/54 |
| 6 | + 449 Rt. 10.0 m. | - | " | " | " | 8.7 | 2.014 | 98.1 | " | " | " | " |

.....ทม.สว.โครงการฯ

- จากการบดอัดในแปลงทดสอบได้ค่าความแน่นของวัสดุ Selected Material Backfill สูงกว่า 95% แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ที่การบดแบบ Dynamic จำนวน 8 Passes ดังนั้น การบดอัดในสนามจึงกำหนดให้เครื่องจักรทำงานไม่น้อยกว่า 8 Passes

- ห้ามใช้รถบดตีนแกะ Sheep Foot ในการบดอัดวัสดุคัดเลือก เนื่องจากอาจจะทำให้เหล็กเสริมแรง เสียหายคดงอได้

- ทำการทดสอบความแน่นในสนามทุกๆชั้นของการบดอัด โดยทดสอบความแน่นบริเวณด้านหน้ากำแพง(บดอัดด้วยเครื่องจักรขนาดเล็ก) และด้านในกำแพง(บดอัดด้วยรถบดล้อเหล็ก)

- เมื่อทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามแล้วให้ดำเนินการลงวัสดุ และบดอัดดินชั้นต่อไป

- เมื่อบดอัดดินจนถึงระดับติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง และทดสอบความหนาแน่นในสนามแล้ว จึงติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง

- วัสดุเสริมกำลังที่ใช้อาจมีหลายรูปแบบ เช่น Metallic Strip โพลีเมอร์ หรือ Wire Grid โดยวิธีการติดตั้งอาจแตกต่างกันตามประเภทของวัสดุ

- ติดตั้งวัสดุเสริมกำลังตลอดแนวกำแพงโดยการยึดของวัสดุเสริมกำลังกับ Facing จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของวัสดุเสริมกำลัง

- เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมกำลังตลอดแนวกำแพงแล้วให้ลงวัสดุดินถมหลังกำแพงชั้นถัดไป ห้ามรถแทรกเตอร์วิ่งทับแผ่นเหล็กเสริมแรงโดยตรง ให้ลงกองวัสดุแล้วดันดินล้มกองไปด้านหน้าแทน

- ดำเนินการบดอัดดินตลอดแนวกำแพงจนถึงระดับติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง จึงให้ดำเนินการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังและบดอัดดินตลอดแนวกำแพง

- เมื่อบดอัดดินเป็นชั้นจนถึงระดับแนวกำแพงที่ได้ติดตั้งแล้วจะดำเนินการติดตั้งแผ่น Facing ในชั้นที่ 2 ต่อไป

- ในแต่ละชั้นของการบดอัดจะต้องทำการทดสอบความหนาแน่นของดินในสนาม

- เมื่อดำเนินการบดอัดดินจนเต็มแนวกำแพงชั้นที่ 1 แล้ว ทำการติดตั้ง Facing Panel ชั้นต่อไป โดยใช้การวางแผ่นตามแนวร่องของ Facing ที่ได้ติดตั้งแล้ว ตลอดแนวกำแพง

- ตรวจสอบแนวและระดับของ Facing พร้อมทั้งตรวจสอบรอยต่อระหว่างแผ่น และติดตั้งชั้นกรองวัสดุบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่น Facing

- ในขั้นตอนนี้ระดับของกำแพง Step 1 จะเท่ากับระดับฐานรากของกำแพง Step 2 ในแนวข้างประชิด

- เมื่อดำเนินการก่อสร้างจนถึงฐานรากของพื้นที่ประชิด ให้ดำเนินการปรับระดับฐานรากของพื้นที่ที่ติดกันนั้น ทำการบดอัด และติดตั้งโครงสร้างระบายน้ำใต้กำแพงของพื้นที่ด้านข้าง

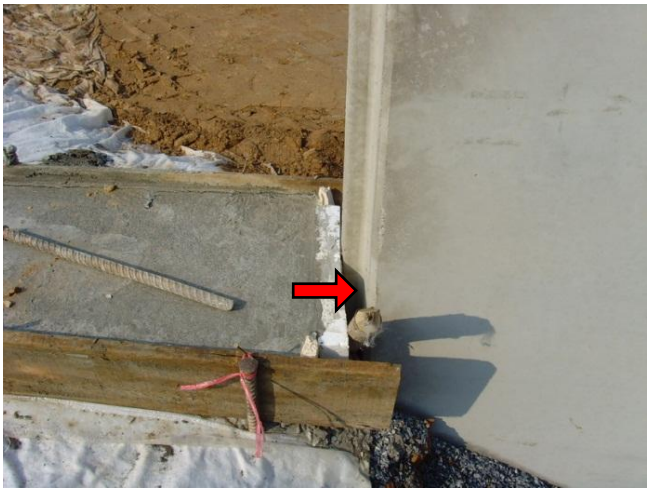
- ติดตั้งโครงสร้างระบายน้ำใต้กำแพง โดยปูแผ่นวัสดุใยสังเคราะห์ และลงวัสดุระบายน้ำของพื้นที่ด้านข้าง

- ติดตั้งโครงสร้างระบายน้ำใต้กำแพงและหลังกำแพงของพื้นที่ด้านข้าง

- ลงวัสดุหินระบายน้ำ โดยให้ความหนาของชั้นระบายน้ำเป็นไปตามแบบก่อสร้าง

- หลังจากติดตั้งชั้นระบายน้ำแล้ว จึงดำเนินการตั้งแบบสำหรับ Levelling Pad และเทคอนกรีตหยาบ

- จากนั้นจึงติดตั้งแผ่น Facing สำหรับพื้นที่ด้านข้างโดยใช้วิธีการติดตั้งและปรับระดับเช่นเดียวกันกับวิธีการข้างต้น



- ในการเท Levelling Pad ในพื้นที่ด้านข้างให้ปิดรอยต่อชนแนวกำแพงเดิม เพื่อไม่ให้คอนกรีตเชื่อมประสานกับแผ่น Facing ป้องกันการเกิดรอยแตกที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของฐานกำแพง

- เมื่อติดตั้งแนวกำแพงแล้ว จึงดำเนินการลงวัสดุถมหลังกำแพง และเกลี่ยดินให้ได้ระดับ

- ดำเนินการบดอัดเป็นชั้นๆต่อไป โดยใช้รถบดสั่นสะเทือน และ Plate Compactor สำหรับพื้นที่ใกล้แนวกำแพง

- ในแต่ละชั้นของการบดอัดให้ดำเนินการทดสอบหาความหนาแน่นของการบดอัดในสนาม

- ติดตั้งโครงสร้างระบายน้ำใต้ฐานกำแพงและหลังแนวกำแพง

- ลงวัสดุและเกลี่ยวัสดุให้ได้ระดับที่ต้องการ

- บดอัดวัสดุดินถมหลังกำแพงให้ได้ความหนาแน่น

- เมื่อบดอัดดินจนถึงระดับติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง จึงดำเนินการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังหลังกำแพง

- ติดตั้งวัสดุเสริมกำลังตลอดแนวกำแพง

- จากนั้นลงวัสดุดินถมและเกลี่ยให้ได้ความหนาเพื่อบดอัด

- บดอัดดินตามขั้นตอนการก่อสร้าง ทั้งนี้ในการก่อสร้างกำแพงที่มีความสูงเพิ่มขึ้นจะต้อง

- ในขั้นตอนการติดตั้งแผ่น Facing ขั้นต่อไปต้องควบคุมแนวกำแพงให้ได้แนวดิ่ง

- ลวดลายของ Facing สามารถออกแบบตามความต้องการได้ตรวจวัดแนวดิ่งให้ได้ตามแบบก่อสร้าง

- เมื่อดำเนินการบดอัดดินหลังกำแพงจนถึงระดับสูงสุดของกำแพงแล้ว ให้ก่อสร้างชั้นดินอัดบริเวณหน้าฐานของกำแพงเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของกำแพงกันดิน

ระดับความสูงของแนวดินถมหน้ากำแพงต้อไม่น้อยกว่าระดับบนสุดของ Leveling Pad ของกำแพง

- ก่อสร้างดินถมเชิงลาดเพื่อป้องกันการกัดเซาะแนวกำแพงทางด้านข้าง
(Slope Protection)

### 5.4.9 ระบบระบายน้ำผิวดิน และ ระบบป้องกันการกัดเซาะ

- ก่อสร้างรางระบายน้ำหน้ากำแพงเพื่อรองรับปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบระบายน้ำใต้กำแพง พร้อมติดตั้งช่องทางระบายน้ำมายังรางระบายน้ำ

- ก่อสร้างรางระบายน้ำบนกำแพงเพื่อป้องกันน้ำไหลซึมเข้าไปยังวัสดุดินถมหลังกำแพง

- รางระบายน้ำช่วยในการผันน้ำออกจากแนวกำแพงเมื่อมีน้ำบนผิวจราจร

- ดาดคอนกรีตโครงสร้างคันดินหน้ากำแพง เพื่อป้องกันการกัดเซาะคันทางจากน้ำผิวดินและน้ำฝน

- ปลูกหญ้าแฝกบริเวณเชิงลาด Side Slope ด้านหน้ากำแพงเพื่อป้องกันการชะล้างของดิน

## 5.5 ข้อควรระวังในการควบคุมงานก่อสร้างกำแพง MSE Wall

ในควบคุมงานก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง มีข้อควรระวัง ดังนี้

1. งานควบคุมคุณภาพวัสดุสำหรับงาน MSE WALL
   - ให้คุณสมบัติดินถมเป็นไปตาม ทล.-ม.105/2550
   - วัสดุเสริมกำลังดิน ให้ทดสอบตามข้อกำหนดผู้ออกแบบ
   - การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินเดิม Bearing Capacity ดำเนินการทดสอบทุก Site โดยดำเนินการทดสอบ ณ ตำแหน่งที่กำแพงสูงที่สุด
2. ให้ผู้รับจ้างเสนอแบบสำหรับก่อสร้าง Shop Drawing แก่ผู้ออกแบบพิจารณาตรวจสอบก่อนโดยแนบรายการคำนวณและผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณ Site งานทุกแห่ง

3. การขุดตัดขยายคันทางเพื่อก่อสร้าง MSE Wall ให้พิจารณาว่าสามารถจัดการจราจรระหว่างก่อสร้างได้อย่างปลอดภัย และให้จำนวนช่องจราจรเหมือนสภาพเดิมให้มากที่สุด
4. การบดอัดดินถมหลังกำแพงภายในระยะประมาณ 1 เมตร จะต้องใช้เครื่องบดอัดขนาดเล็กเพื่อป้องกันไม่ให้แนวกำแพงขยับหรือเอียง ควรจัดทำแปลงทดสอบการบดอัดก่อน
5. รอยต่อระหว่างชั้น Leveling Pad

กรณีการก่อสร้างกำแพง MSE Wall เป็น Step ขั้นบันได และงานหล่อฐาน leveling Pad พบปัญหาการเตรียมพื้นชั้นหิน Single Size เป็นขั้นบันไดทำได้ยาก และพบปัญหารอยต่อระหว่างชั้นของ leveling Pad มีระยะห่างมาก

<u>แนวทางแก้ไขปัญหา</u>

ให้ก่อสร้าง leveling Pad เข้ามาชิดกันแต่ให้กั้นรอยต่อด้วยแผ่นโฟมหนา 2 ซม. การก่อสร้างเป็น Step ขั้นบันได กำหนดให้ทำที่ละขั้นเริ่มจากจุดต่ำสุดของกำแพงแล้วถมวัสดุคัดเลือก Selected Granular ให้ถึงระดับชั้นต่อไปจึงจะทำการก่อสร้างฐาน leveling Pad บนพื้นหิน Single Size ระดับถัดไป ดังรูปที่ 5.15

**รูปที่ 5.15** การแก้ไขปัญหารอยต่อระหว่าง leveling pad

6. การตรวจสอบแนวดิ่งกำแพง

ทำการวัดความเอียงของกำแพงขณะติดตั้งแผ่น และภายหลังการบดอัดแล้วเสร็จ ทั้งนี้จะควบคุมแนวกำแพงไม่ให้เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ ดังตารางที่ 5.3

**ตารางที่ 5.3** ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ของแนวกำแพง MSE Wall

| Description | Tolerance |
|---|---|
| Vertical and Horizontal Alignment | 2.00 cm when measured along the 3.00 m straightedge |
| The overall vertical tolerance (Plumbness) | 1.50 cm per 3.00 m of wall height |
| The maximum permissible out of plane offset at any panel joint | 1.00 cm |

7. ปัญหาช่องว่างระหว่างรอยเล็บของรถขุดตัดลาดคันทาง เมื่อทำการปูวัสดุใยสังเคราะห์ Geotextile แล้ว หิน Single Size ไม่สามารถแทรกไปตามรอยช่องว่างได้

<u>แนวทางแก้ไขปัญหา</u>

เมื่อขุดตัดลาดคันทาง Side Slope ให้ ทำการขูดปาดผนังด้าน Back Slope ให้เรียบด้วยใบมีดของรถเกรด แล้วจึงปูวัสดุใยสังเคราะห์ Geotextile ให้เรียบ ดังรูปที่ 5.16

**รูปที่ 5.16** การขูดปาดผนังด้าน Back Slope MSE Wall ให้เรียบก่อนปูวัสดุ Geotextile

8. การจัดระบบระบายน้ำก่อนเข้า Site MSE Wall

ในช่วงระหว่างการก่อสร้างกำแพง ผู้รับจ้างจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำฝนจากรางระบายน้ำข้างเคียงไหลเข้าสู่พื้นที่ก่อสร้างได้ ทั้งนี้เนื่องจากระบบระบายน้ำในกำแพงยังไม่สมบูรณ์อาจจะทำให้มีน้ำขังภายในกำแพง ดังรูปที่ 5.17

**รูปที่ 5.17** การจัดระบบระบายน้ำก่อนเข้าพื้นที่ก่อสร้าง

# บทที่ 6
# งานบริหารสัญญา

## 6.1 งานบริหารสัญญาและการจ่ายค่างาน

ในการบริหารสัญญางานก่อสร้าง MSE Wall จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้างหรือที่เรียกกันว่า Construction Detailed Design และขั้นตอนก่อสร้าง ในสนามในการบริหารสัญญาประกอบไปด้วยรายละเอียดต่างๆสำหรับจ่ายค่างาน ดังนี้

1. งานสำรวจชั้นดินเดิม (Subsoil Investigation)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น แห่ง (each) ซึ่งโดยปกติแบบก่อสร้างแนบท้ายสัญญาในส่วนงาน MSE Wall จะมีลักษณะเป็นแบบ Typical Design เท่านั้น ในรายละเอียดประกอบแบบกำหนดให้ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำ Construction Detailed Design ซึ่งจะต้องมีการสำรวจคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้าง MSE Wall เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบ Construction Detailed Design แต่ละแห่ง การจ่ายค่างานวัดหน่วยเป็น แห่ง (each)

2. MSE Wall

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (sq.m.) โดย ในบัญชีปริมาณค่างาน MSE Wall จะแบ่งเป็นหน่วยย่อยแยกตามความสูงของ MSE Wall เช่น $H \leq 3$ m, $H \leq 5$ m, $H \leq 7$ m, $H \leq 10$ m, $H \leq 13$ m และ $H \leq 16$ m หน่วยปริมาณงานจะวัดตามพื้นที่ในแนวดิ่ง (Vertical Projection Area) เป็นตารางเมตร ค่างานจะเป็นค่าจัดหาและติดตั้งกำแพง MSE Wall ประกอบไปด้วย แผ่นผนังคอนกรีต (Facing Panel), แผ่นยึดกำแพง (Reinforcing Strip), แผ่นยางกันน้ำ (Geomembrane), งานออกแบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Construction Detailed Design), งานทดสอบวัสดุ (Material Testing) และงานอื่นๆที่เป็นงานย่อย

3. งานขุดดินเดิม (Excavation)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (cu.m.) เป็นงานขุดดินเดิมเพื่อปรับพื้นที่เพื่อก่อสร้าง MSE Wall

4. วัสดุถมหลังกำแพง (Selected Granular Backfill)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (cu.m.) เป็นวัสดุสำหรับถมหลังกำแพง MSE Wall

5. แผ่นวัสดุกรอง (Geotextile Filter)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (sq.m.) สำหรับติดตั้งตามรอยต่อด้านหลังแผ่น MSE Wall

6. ท่อ PVC เจาะรู (Perforated P.V.C. Pipe)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น เมตร (m.) เป็นท่อ PVC สำหรับระบายน้ำจากชั้น Drainage Layer Material ออกไปยังรางรับน้ำด้านหน้ากำแพง MSE Wall

7. ระบบระบายน้ำแนวราบ (Horizontal Drain) (ถ้ามี)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น เมตร (m.) เป็นงานระบบระบายน้ำจากชั้นดินเดิมออกมายัง Drainage Layer Material ในกรณีที่พบว่าชั้นดินเดิมมีระดับน้ำใต้ดินสูง ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของกำแพง

8. วัสดุระบายน้ำ (Drainage Layer Material)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ลูกบาศ ก์เมตร (cu.m.) ลักษณะเป็นชั้นวัสดุสำหรับระบายน้ำอยู่ด้านหลังและใต้ชั้นวัสดุถม (Selected Granular Backfill) หลังกำแพง MSE Wall

9. Geomembrane

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (sq.m.) เป็นแผ่นยางกันน้ำสำหรับติดตั้งด้านหลัง Drainage Layer Material หรือใต้ R.C. Ditch หลังกำแพง MSE Wall

10. Soil Nail (ถ้ามี)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น เมตร (m.) เป็นงานป้องกันหรือเพิ่มเสถียรภาพเชิงลาดของงานดินตัดระหว่างก่อสร้าง MSE Wall ราคาค่างานจะประกอบไปด้วยงานติดตั้ง Soil Nail งานทดสอบดิน งานออกแบบรายละเอียดและงานทดสอบแรงดึงวัสดุ Pull Out Test

11. Shortcrete (ถ้ามี)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (sq.m.) เป็นงานฉีดพ่นคอนกรีตผิวหน้าเชิงลาดสำหรับยึด Soil Nail เพื่อป้องกันการชะล้างดินผิวหน้า

12. งานติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค (Instrumention)

ปริมาณงานมีหน่วยเป็น แห่ง (each.) เป็นงานติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบและแนวดิ่งของคันทางที่มีงานก่อสร้าง MSE Wall โดยจะตรวจวัดทั้งระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ ประกอบไปด้วยเครื่องมือ Inclinometer, Piezometers, Settlement Plate และ Horizontal displacement การคิดค่างานจะคิดชุดเครื่องมือต่อแห่ง (each.)

13. งานทดสอบวัสดุ (Testing)

งานทดสอบวัสดุ ทั่วไปจะคิดแยกจ่ายโดยตั้งเป็นรายการงานทดสอบวัสดุประกอบด้วย

13.1 Pull out Test (For Soil Nail) ปริมาณงานมีหน่วยเป็น แห่ง (each.)

เป็นงานทดสอบแรงดึงวัสดุ Pull Out Test ในงานก่อสร้าง Soil Nail

13.2 Plate Bearing Test ปริมาณงานมีหน่วยเป็น แห่ง (each.)

เป็นงานทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินฐานรากกำแพง MSE Wall

## 6.2 การตรวจสอบงานก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง

ผู้ควบคุมงานมีหน้าที่สำคัญในการตรวจสอบและควบคุมงานก่อสร้างให้แล้วเสร็จตามสัญญาก่อสร้าง ซึ่งรายละเอียดที่จำเป็นจะต้องดำเนินการตรวจสอบอย่างน้อย ตามตารางที่ 6.1

**ตารางที่ 6.1** ประเด็นในการตรวจสอบสำหรับผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

| รายการ | ใช่ | ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| 1. ตรวจสอบสภาพพื้นที่ก่อสร้าง ให้ผู้รับจ้างดำเนินการขุดเจาะสำรวจดิน | | |
| 2. ผู้รับจ้างส่งแบบ Shop Drawing | | |
| 3. ผู้รับจ้างส่งผลการทดสอบวัสดุถม (Selected Materials) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในแบบก่อสร้าง | | |
| 4. ผู้รับจ้างส่งหนังสือรับประกันคุณภาพวัสดุกำแพงซึ่งตรงตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ | | |
| 5. ผู้รับจ้างส่งสำเนาเอกสารการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่มีการระบุไว้ในข้อกำหนด | | |
| 6. แบบก่อสร้าง Shop Drawing ได้รับการอนุมัติแล้ว | | |

| รายการ | ใช่ | ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| 7. โครงสร้าง Facing Panels ที่ใช้หน้างานเป็นไปตามแบบ Shop Drawing เช่น ขนาด ตำแหน่งติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง เป็นต้น | | |
| 8. วัสดุเสริมกำลังเป็นไปตามที่ระบุใน Shop Drawing ทั้งขนาด และความยาว | | |
| 9. วัสดุเสริมกำลังและ Facing Panels สมบูรณ์ ปราศจากรอยแตก การเสียรูป และการเสื่อมสภาพของวัสดุ | | |
| 10. Facing Panels และวัสดุเสริมกำลังที่ไม่สมบูรณ์ต้องมีการส่งคืน หรือซ่อมแซมเพื่อให้ได้ตามข้อกำหนด | | |
| 11. การกองเก็บ Panels และวัสดุเสริมกำลังเหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายจากการขนย้าย | | |
| 12. พื้นที่ก่อสร้าง MSE Wall มีการขุดจนถึงระดับที่ต้องการตามแบบก่อสร้าง | | |
| 13. พื้นที่บริเวณฐานของ MSE Wall มีการทดสอบความแน่นให้ได้ตามข้อกำหนด | | |
| 14. จุดที่พบวัสดุที่อ่อนและไม่เหมาะสมในฐานรากกำแพงได้มีการบดอัดจนแน่น หรือขุดออก | | |
| 15. หากผู้รับจ้างมีการใช้น้ำในพื้นที่ก่อสร้าง MSE Wall ได้มีการตรวจสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนดแล้ว | | |
| 16. จุดที่ก่อสร้าง Leveling Pad ได้มีการขุดปรับระดับอย่างเหมาะสม | | |
| 17. ระดับและแนวของ Leveling Pad ได้ตามข้อกำหนด | | |
| 18. เมื่อเท Leveling Pad แล้วให้ทำการบ่มเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก่อนที่จะวางแผ่น Panels | | |
| 19. การก่อสร้างกำแพงแถวแรกได้ระดับและระยะห่างระหว่างแผ่น ความเอียงของแผ่น ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ และมีการติดตั้งวัสดุรองแผ่น Panels | | |
| 20. มีการติดตั้งวัสดุแผ่นกรองหลังกำแพงและยึดติดด้วยกาว | | |
| 21. วัสดุกรองติดตั้งแนบสนิทบนรอยต่อ | | |
| 22. กาวยึดแผ่นวัสดุกรองติดบน Panels มากกว่าบนแผ่นเพื่อป้องกันการหลุดล่อน | | |
| 23. การกองเก็บวัสดุกรองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพโดยต้องเก็บไว้ในร่มเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพจากแสงแดด และรังสี UV | | |
| 24. ผู้รับจ้างใช้แผ่น Panels ตามตำแหน่งที่กำหนด | | |
| 25. วัสดุถมหลังกำแพงในแต่ละชั้นของการบดอัดไม่หนาเกินที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดของการบดอัด | | |
| 26. การบดอัดไม่กระทำโดยตรงต่อวัสดุเสริมกำลัง โดยความหนาของวัสดุถมที่วางบนวัสดุเสริมกำลังต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 นิ้ว (15 ซม.) ก่อนการบดอัด | | |

| รายการ | ใช่ | ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| 27. การลงวัสดุถมเป็นไปตามลำดับขั้นตอนและวิธีการที่เหมาะสม | | |
| 28. การบดอัดวัสดุด้วยเครื่องจักรที่เหมาะสมและมีแนวการบดอัดที่สม่ำเสมอ | | |
| 29. ระดับวัสดุถมอยู่ในระดับเดียวกัน หรือสูงกว่าเล็กน้อย ของระดับติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง ก่อนทำการติดตั้งวัสดุเสริมกำลัง | | |
| 30. การต่อวัสดุเสริมกำลังกับ Panels แน่น ไม่หลุดได้ง่าย | | |
| 31. วัสดุเสริมกำลังที่ติดตั้งอยู่ในแนวและระดับตามแบบก่อสร้าง | | |
| 32. แนวและระดับของกำแพงมีการตรวจวัดอย่างสม่ำเสมอระหว่างก่อสร้าง | | |
| 33. เมื่อวางแผ่น Panels แล้ว ผู้รับจ้างต้องถอนลิ่มไม้ออกจากหน้า Panels | | |
| 34. เมื่อเสร็จงานก่อสร้างในแต่ละวัน ผู้รับจ้างจะต้องปรับระดับผิวดินให้น้ำที่อาจเกิดจากฝน สามารถระบายได้ และป้องกันไม่ให้น้ำไหลเข้าสู่กำแพงเสริมกำลัง | | |
| 35. เมื่อกำแพงก่อสร้างแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างจะต้องก่อสร้างดินถมหน้ากำแพง | | |
| 36. ผู้รับจ้างติดตั้งโครงสร้างส่วนบนของกำแพง (Coping) ที่เหมาะสม | | |

# บทที่ 7
# ข้อคิดเห็นของคณะทำงาน

จากการศึกษาและติดตามงานก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ MSE Wall ในโครงการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังทางหลวงหมายเลข 11 อุตรดิตถ์-เด่นชัย ซึ่งเป็นงานที่ใช้เทคนิคพิเศษในการก่อสร้าง คณะทำงาน ฯ ได้สรุปประเด็นพิจารณา ดังนี้

## 7.1 ประเด็นพิจารณาช่วงก่อนการก่อสร้าง

1.ในปัจจุบันผู้ผลิตระบบโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังมีจำนวนมากขึ้น ดังนั้นการอนุมัติระบบโครงสร้าง และวัสดุอุปกรณ์สำหรับโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังจะต้องเป็นสิ่งสำคัญประการแรก โดยการอนุมัติบริษัทผู้ผลิตจะต้องประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อย ดังนี้

- ระยะเวลาของการพัฒนาระบบโครงสร้างกำแพงกันดินและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้
- โครงสร้างบริษัทผู้ผลิต วิศวกรและบุคลากรสนับสนุนของบริษัท
- ข้อจำกัด และข้อเสียของระบบโครงสร้างและอุปกรณ์
- รายละเอียดของบริษัท สถานที่ และหมายเลขโทรศัพท์ที่ติดต่อได้
- ตัวอย่างวัสดุ และข้อกำหนดการควบคุมการก่อสร้าง ซึ่งแสดงถึง ชนิดของวัสดุ การรับรองคุณภาพของวัสดุ แนวทางการทดสอบในสนาม การเปลี่ยนวัสดุในกรณีที่วัสดุไม่ได้ตามมาตรฐาน
- คู่มือการก่อสร้างซึ่งมีข้อมูลสำหรับการก่อสร้างโดยละเอียด และขั้นตอนการก่อสร้าง รวมถึงแผนการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิต
- การออกแบบ และการคำนวณที่อ้างอิงมาตรฐานการออกแบบ เช่น AASHTO
- ราคาต่อหน่วย และข้อมูลโครงการก่อสร้างที่เคยดำเนินการ
- การประเมินคุณภาพวัสดุและการก่อสร้างจากโครงการในอดีตที่เคยดำเนินการมาแล้ว

2.การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางเสริมกำลัง (Overall Stability) ควรกำหนดให้เป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของบริษัทผู้รับจ้างดำเนินการวิเคราะห์ ซึ่งผู้ผลิตวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงเสริมกำลังจะทำการวิเคราะห์เฉพาะเสถียรภาพในตัวกำแพงเสริมกำลังเท่านั้น ซึ่งควรมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เสถียรภาพในส่วนนี้ด้วย

3.ในขั้นตอนการออกแบบ ข้อมูลหนึ่งที่สำคัญสำหรับการออกแบบคือข้อมูลชั้นดินเดิม โดยจะต้องดำเนินการเจาะสำรวจดินก่อนการก่อสร้าง โดยค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจดินควรมีการพิจารณาเพิ่มเติม

4.แบบการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้านของลักษณะชั้นดิน ความสูงกำแพง และความลาดเอียงของการตัดคันทางเดิม ซึ่งแบบก่อสร้างควรมีการออกแบบเฉพาะจุดแทนที่จะเป็นแบบทั่วไป (Typical Drawing)

5.ประเด็นหนึ่งที่ควรพิจารณาในการก่อสร้างทางบนภูเขาคือปัญหาน้ำใต้ดิน ซึ่งโดยปกติแล้วการกำหนดระดับน้ำใต้ดินในสนามเป็นการยาก ซึ่งผู้ออกแบบควรให้ความสำคัญในประเด็นนี้ เพื่อที่จะได้กำหนดความสูงของชั้นระบายน้ำใต้ดินหลังกำแพงกันดินให้ครอบคลุมความสูงของระดับน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝน

## 7.2 ประเด็นพิจารณาช่วงระหว่างการก่อสร้าง

1.ในระหว่างการก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานควรศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง ข้อควรระวังระหว่างการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนให้ถี่ถ้วน เพื่อที่จะได้ควบคุมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.วัสดุที่ใช้ก่อสร้างชั้นระบายน้ำใต้ดินต้องมีความสะอาด เพราะวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น วัสดุที่มีเม็ดละเอียดอาจจะเป็นผลทำให้การระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3.วัสดุเสริมกำลัง วัสดุถมหลังกำแพง รวมถึงวัสดุอื่นใดที่ใช้ประกอบเป็นโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง ควรมีการควบคุมการผลิตที่ดี และมีการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุเพื่อยืนยันคุณสมบัติของวัสดุให้เป็นไปตามการออกแบบ

## 7.3 ประเด็นพิจารณาช่วงหลังการก่อสร้าง

1.วัสดุเสริมกำลังทั้งประเภท Inextensible เช่น Metallic Strip หรือ Extensible เช่น Polymer มีโอกาสที่จะเสื่อมสภาพ เช่นการเกิดการกัดกร่อนของวัสดุเหล็กเสริม (Corrosion) และการเสื่อมสภาพของวัสดุประเภท Polymer (Degradation) ซึ่งควรพิจารณาถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในการใช้งานในระยะยาว และมีมาตรการและวิธีการตรวจวัดที่สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในระยะยาว

2.การติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค เป็นสิ่งหนึ่งที่จะช่วยในการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงของโครงสร้างที่ได้ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จ ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการตรวจวัดจะเป็นสิ่งที่ยืนยันสมมติฐานในการออกแบบ และเป็นการบ่งบอกถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เพื่อที่เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจของผู้รับผิดชอบในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีที่พฤติกรรมไม่เป็นไปตามการออกแบบ โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดควรประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย ดังนี้

- การตรวจวัดการเคลื่อนตัวแนวราบของ Facing Panels
  - การตรวจวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของโครงสร้างกำแพง
- การเคลื่อนตัว และความเสียหายที่เกิดขึ้นของ Facing Panels
  - พฤติกรรมของโครงสร้างอื่นที่วางอยู่บนโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลัง เช่น ผิวทาง โครงสร้างระบายน้ำ เป็นต้น

## 7.4 บทสรุป

การก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ MSE Wall เป็นเทคนิควิธีที่ใหม่สำหรับกรมทางหลวงในการก่อสร้างคันทางที่มีเขตทางจำกัด ซึ่งรายงานฉบับนี้ได้รวบรวมทฤษฎีการออกแบบ การก่อสร้าง การควบคุมงานก่อสร้าง และข้อจำกัด ข้อควรระวังที่เกี่ยวข้องโดยอาศัยข้อมูลการก่อสร้างจากโครงการก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังทางหลวงหมายเลข 11 อุตรดิตถ์-เด่นชัย เท่านั้น โดยการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ MSE Wall นี้ จะมีความแตกต่างกันในแต่ละโครงการ ซึ่งผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน และวิศวกรประจำโครงการ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้าง อันได้แก่ วัสดุและประเภทของการเสริมกำลัง วัสดุถมหลังกำแพงและความยากง่ายต่อการหาแหล่งวัสดุในพื้นที่โครงการ วิธีการก่อสร้างและขั้นตอนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยภายนอกต่างๆที่จะมีผลต่อการควบคุมงานก่อสร้าง เช่น ปัญหาการระบายน้ำออกจากพื้นที่ในกรณีที่มีฝนตก จำเป็นจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าสู่ขั้นโครงสร้างเป็นอันขาด ซึ่งหากไม่มีการพิจารณาถึงข้อปัจจัยต่างๆเหล่านี้ จะมีผลทำให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามการออกแบบก็เป็นได้ ดังนั้น ขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่ก่อนการก่อสร้าง ระหว่างการก่อสร้าง และหลังจากการก่อสร้างจำเป็นจะต้องอาศัยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

# เอกสารอ้างอิง


Federal Highway Administration (2001), "*Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines"* Report No. FHWA-NHI-00-043, Washington D.C.

Federal Highway Administration (2001 *"Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I"* Report No. FHWA-NHI-10-024, Washington D.C

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง (2555) *"รายงานวิจัยการศึกษาพฤติกรรมของคันทางเสริมกำลังและกำแพงกันดินเสริมกำลัง"* กรมทางหลวง

สำนักก่อสร้างทางที่ 1 (2553), *"คู่มือการควบคุมงานการเสริมกำลังดินด้วยวัสดุประเภทเหล็ก"* กรมทางหลวง