มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมาย ว่าด้วยการขุดดินและถมดิน

กรมโยธาธิการและผังเมือง

กระทรวงมหาดไทย

พ.ศ. 2552

กรมโยธาธิการและผังเมือง

มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน /กรมโยธาธิการและผังเมือง

1. มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน

ISBN 978-974-458-264-5

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4351 โทรสาร 0-2299-4366

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2552 จำนวน 1,000 เล่ม
พิมพ์ที่ บริษัท สยามออฟเซ็ท จำกัด
โทร. 0-2249-1575-6 โทรสาร 0-2249-5415

คำนำ

ด้วยเหตุที่มีการขุดดินหรือถมดินเพื่อการทำการก่อสร้างอาคารต่างๆ หรือเพื่อกิจการอื่นอย่างกว้างขวาง แต่การขุดดินหรือถมดินดังกล่าวยังไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ทรัพย์สินและความปลอดภัยของประชาชน แม้ว่าจะมีพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. ๒๕๔๓ และกฎกระทรวงขึ้นมาบังคับใช้ก็ตาม กฎเกณฑ์ต่างๆ ที่กำหนดในกฎกระทรวงได้ประกาศใช้มาในระยะเวลาหนึ่งปรากฏว่าผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องยังไม่สามารถปฏิบัติให้เป็นไปตามเจตนารมณ์ของกฎหมายได้ กรมโยธาธิการและผังเมืองจึงได้มอบหมายให้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นที่ปรึกษาในการยกร่างปรับปรุงข้อกำหนดตลอดจนจัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน การป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน การตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน และการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน (มยผ. ๑๙๑๑ ถึง ๑๙๑๔) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินการตามมาตรฐานที่ได้จัดทำขึ้นนี้มีความสอดคล้องกับประมวลข้อบังคับเกี่ยวกับการขุดดินและถมดินที่กรมโยธาธิการและผังเมืองกำลังดำเนินการจัดทำอยู่ มาตรฐานนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การขุดดินและถมดินเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการมีความปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนแก่ประชาชนที่อยู่ข้างเคียง

กรมโยธาธิการและผังเมืองขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญด้านปฐพีกลศาสตร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เป็นกำลังสำคัญในการจัดทำมาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดินให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานดังกล่าวจะมีส่วนช่วยให้การดำเนินงานด้านการขุดดินและถมดินมีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

(นายอุดม พัวสกุล)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

กฎกระทรวงกำหนดมาตรการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้างในการขุดดินหรือถมดิน พ.ศ .2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543 ได้กำหนดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของความลาดเอียงของบ่อดินหรือเนินดินตามชนิดของดินความลึกและขนาดของบ่อดินที่จะขุดดิน ความสูงและพื้นที่ของเนินดินที่จะถมดิน และระยะห่างจากขอบบ่อดินหรือเนินดินถึงเขตที่ดินหรือสิ่งปลูกสร้างของบุคคลอื่น วิธีการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้าง วิธีการให้ความคุ้มครองและความปลอดภัยแก่คนงานและบุคคลภายนอก และหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขอื่นในการขุดดินหรือถมดิน

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานขุดดินและถมดินนี้ จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในการขุดดินหรือถมดิน การป้องกันการพังทลาย การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน และการคำนวณการระบายน้ำ โดยชุดมาตรฐานประกอบด้วย 4 มาตรฐาน คือ

มยผ. 1911-52 มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

มยผ. 1912-52 มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

มยผ. 1913-52 มาตรฐานการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

มยผ. 1914-52 มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

ในฐานะผู้จัดการโครงการวิจัยโครงการพัฒนาและปรับปรุงจัดทำประมวลข้อบังคับอาคาร(Building Code) สำหรับประเทศไทย โครงการย่อยที่ 8 : ข้อบังคับเกี่ยวกับการขุดดินและถมดิน ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ช่วยกันดำเนินงาน และขอขอบคุณกรรมการทุกท่านที่เสียสละในการดำเนินให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.ก่อโชค จันทวรางกูร)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้จัดการโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย โครงการพัฒนาและปรับปรุงจัดทำประมวลข้อบังคับอาคาร (Building Code) สำหรับประเทศไทย
โครงการย่อยที่ 8 : ข้อบังคับเกี่ยวกับการขุดดินและถมดิน

- **ผู้จัดการโครงการวิจัย**

  รองศาสตราจารย์ ดร.ก่อโชค จันทวรางกูร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- **รองผู้จัดการโครงการวิจัย**

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- **ที่ปรึกษาโครงการวิจัย**

  รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ไม้เรียง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- **คณะผู้วิจัย**

  รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีมา ศรลัมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ศรีศิริโรจนากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

  ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ อยู่ไว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

  ดร.สมชาย ประยงค์พันธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

  ดร.บารเมศ วรรธนะภูติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

  ดร.ลลนา คงสุขประเสริฐ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

นายเศรษฐบุตร อิทธิธรรมวินิจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายรัฐธรรม อิสโรพาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
น.ส.มนันยา จันทศร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
น.ส.ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
น.ส.วารุณี กะการดี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
น.ส.จุฑาทิพย์ เขียวแจ่ม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา
โครงการพัฒนาและปรับปรุงจัดทำประมวลข้อบังคับอาคาร
(Building Code) สำหรับประเทศไทย
โครงการย่อยที่ 8 : ข้อบังคับเกี่ยวกับการขุดดินและถมดิน

- **ประธานกรรมการ**

  วิศวกรใหญ่ นายสุรชัย พรภัทรกุล — กรมโยธาธิการและผังเมือง

- **คณะกรรมการ**

  นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์ — กรมโยธาธิการและผังเมือง

  นายอนวัช บูรพาชน — กรมโยธาธิการและผังเมือง

  นายเสถียร เจริญเหรียญ — กรมโยธาธิการและผังเมือง

  นายวีระ วิสุทธิรัตนกุล — กรมโยธาธิการและผังเมือง

  น.ส.อมลวรรณ พิศิษฐวานิช — กรมโยธาธิการและผังเมือง

- **กรรมการและเลขานุการ**

  นายสมโชค เล่งวงศ์ — กรมโยธาธิการและผังเมือง

- **กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ**

  นายนิคม สะเทิงรัมย์ — กรมโยธาธิการและผังเมือง

สารบัญ

หน้า

คำนำ (1)

บทนำ (2)

สารบัญ (6)

มยผ. 1911-52

มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety Excavation and Fill)

1. ขอบข่าย 1
2. นิยามและสัญลักษณ์ 1
3. มาตรฐานอ้างถึง 5
4. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน 5
5. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ 13
6. เอกสารอ้างอิง 14

มยผ. 1912-52

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Protection for Cutting and Filling)

1. ขอบข่าย 15
2. นิยามและสัญลักษณ์ 15
3. มาตรฐานอ้างถึง 18
4. วิธีการป้องกันการพังทลายของพื้นที่ลาดเอียง 18
5. เอกสารอ้างอิง 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

มยผ. 1913-52

มาตรฐานการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Monitoring for Cutting and Filling)

1. ขอบข่าย 41
2. นิยาม 41
3. มาตรฐานอ้างถึง 42
4. วิธีการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียง 42
5. เครื่องมือสำหรับการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียง 45
6. การบันทึกข้อมูลและการรายงานผลการตรวจวัดพฤติกรรม 52
7. แนวทางปฏิบัติเมื่อมีการเคลื่อนตัวหรือการวิบัติของพื้นที่ลาดเอียง 55
8. เอกสารอ้างอิง 55

มยผ. 1914-52

มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

(Standard of Drainage for Filling)

1. ขอบข่าย 57
2. นิยามและสัญลักษณ์ 57
3. ข้อกำหนดทั่วไปของการระบายน้ำ 58
4. การระบายน้ำกรณีไม่มีการคำนวณและพื้นที่ถมดินไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร 59
5. การระบายน้ำกรณีมีการคำนวณระบบระบายน้ำ 61
6. การรายงานผล 67
7. เอกสารอ้างอิง 68

มยผ. 1911-52

มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัย ในงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety Excavation and Fill)

มยผ. 1911-52

มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัย ในงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety Excavation and Fill)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดินนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในการขุดดินหรือถมดินประกอบการปฏิบัติตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้างในงานขุดดินหรือถมดิน พ.ศ. 2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ.2543

1.2 มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดินได้กำหนดให้การคำนวณหาค่าเสถียรภาพทำโดยวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) เป็นหลัก และสามารถวิเคราะห์โดยวิธีอื่นๆ เพิ่มเติมได้

1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 10 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“ขณะขุดดินหรือถมดิน (Excavation or Fill Stage)” หมายถึง ช่วงเวลาที่การดำเนินการขุดดินหรือถมดินยังไม่แล้วเสร็จ

“ขณะใช้งาน (Service Stage)” หมายถึง ช่วงเวลาที่การขุดดินหรือถมดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว

“เงื่อนไขขอบ (Boundary Condition)” หมายถึง สภาพโดยรอบของแบบจำลองที่มีผลต่อการวิเคราะห์ เช่น สิ่งแวดล้อม กิจกรรมก่อสร้าง หรือปัจจัยข้างเคียงอื่นๆ เป็นต้น

“ดินเหนียว (Clay)” หมายถึง ดินที่มีขนาดเม็ดดินไม่เกิน 0.002 มม. และต้องมีความเหนียวเมื่อผสมกับน้ำ

“สมดุลจำกัด (Limit Equilibrium)” หมายถึง สภาวะที่วัตถุอยู่ในสมดุลสุดท้ายก่อนการเลื่อนไถล

“อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety)” หมายถึง ค่าอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของดินบนผิวเคลื่อนต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในพื้นผิวเดียวกัน หรือค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ต้านทานการเลื่อนไถลต่อโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการเลื่อนไถล

2.2 สัญลักษณ์

b_i = ความกว้างของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นเมตร

b_ℓ = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับประเภทของดิน สำหรับ Janbu’s Simplified Method

c = แรงยึดเหนี่ยวของดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

c_u = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงรวม มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$\bar{c}$ = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงประสิทธิผล มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$\bar{c}_i$ = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงประสิทธิผลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

d = ระยะตั้งฉากที่ยาวที่สุด วัดจากเส้นบอกความยาว (L) ถึงแนวการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

$F.S.$ = ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

f_0 = ค่าปรับแก้ซึ่งขึ้นกับสัดส่วนของความลึกและความยาวของการวิบัติ สำหรับ Janbu’s Simplified Method

H = ความลึกของการขุด หรือความสูงของดินถม มีหน่วยเป็นเมตร

h_i = ความสูงของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นเมตร

h_w = ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน มีหน่วยเป็นเมตร

i = ลำดับชิ้นส่วนของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการเลื่อนไถลแบบหมุน

l_i = ความยาวของระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i (หรือ $l_i = b_i / \cos\theta_i$) มีหน่วยเป็นเมตร

L = ความยาวของการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

n = จำนวนชิ้นของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการเลื่อนไถลแบบหมุน มีหน่วยเป็นชิ้น

N_i = แรงกระทำตั้งฉากบนระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

R = รัศมีของระนาบส่วนโค้งเลื่อนไถลแบบหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

S_u = กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

T_i = แรงเฉือนบนระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

U_i = แรงดันน้ำที่กระทำต่อชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

W_i = น้ำหนักของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

x_i = ระยะทางในแนวราบจากจุดกึ่งกลางของมวลดินที่ i ถึงจุดศูนย์กลางของผิวการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

z = ความลึกของระนาบไถลจากผิวดิน สำหรับการเลื่อนไถลแบบระนาบ มีหน่วยเป็นเมตร

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน มีหน่วยเป็นองศา

ϕ_u = มุมเสียดทานภายในแบบหน่วยแรงรวม มีหน่วยเป็นองศา

$\bar{\phi}_i$ = มุมเสียดทานภายในแบบหน่วยแรงประสิทธิผลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นองศา

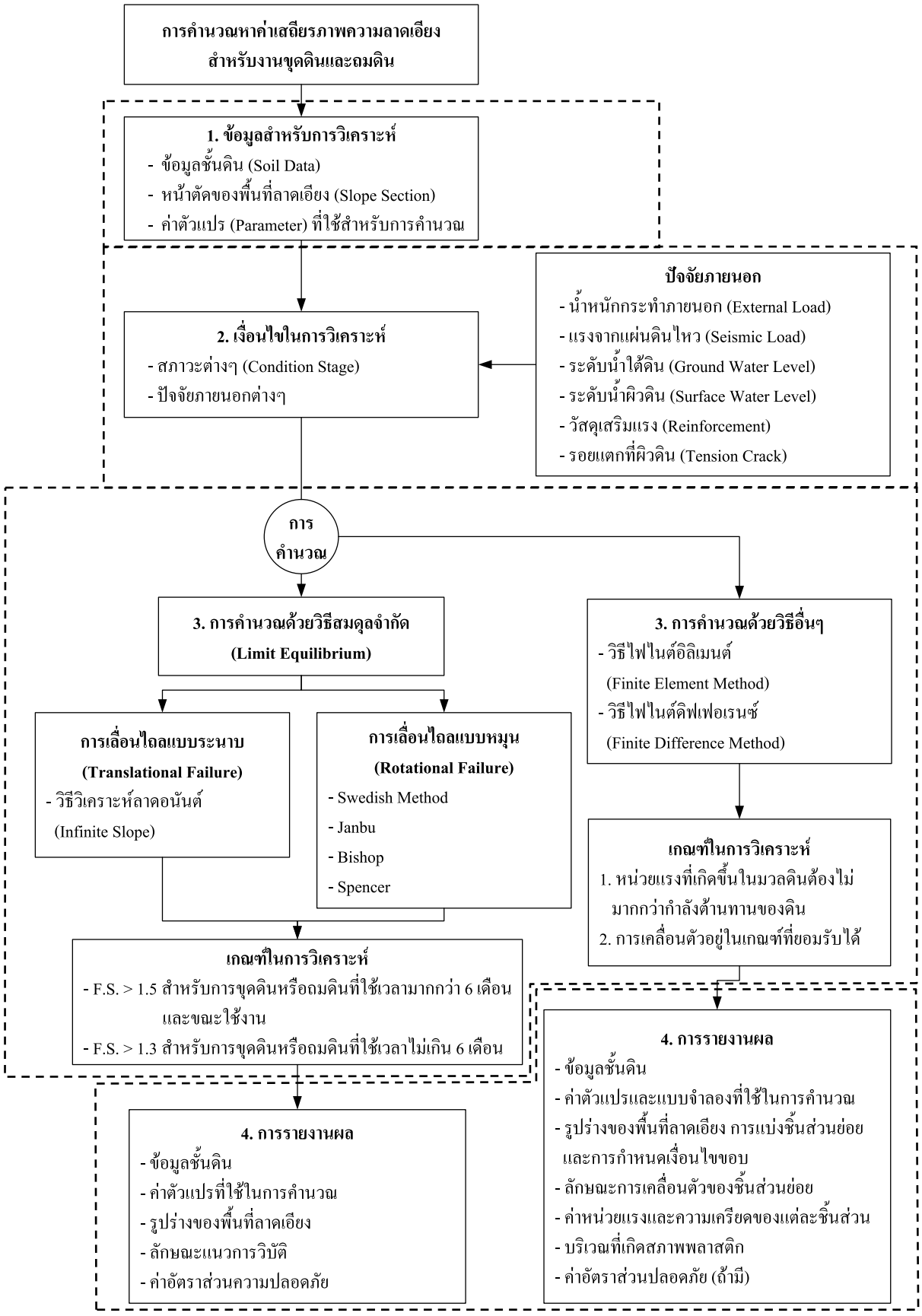
θ_i = มุมวางตัวของระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นองศา

γ_t = หน่วยน้ำหนักของดินชื้น มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

γ_{sat} = หน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัว มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

β = ความชันของแนวการวิบัติ มีหน่วยเป็นองศา



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(ข้อ 4)

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงได้แก่ มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1249 : มาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน แสดงในรูปที่ 1 โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก คือ

(1) การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

(2) การกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์

(3) การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียง

(4) การรายงานผล

4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ประกอบด้วย

4.1.1 ข้อมูลชั้นดิน (Soil Data) และการแปลผล (Interpretation) คือ ข้อมูลที่แสดงลักษณะและคุณสมบัติของดินในบริเวณที่จะทำการขุดดินหรือถมดิน

4.1.1.1 ข้อมูลชั้นดินสามารถทราบได้จากข้อมูลที่มีอยู่แล้วหรือข้อมูลจากพื้นที่ข้างเคียง หรือการเจาะสำรวจดิน สามารถทำได้โดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

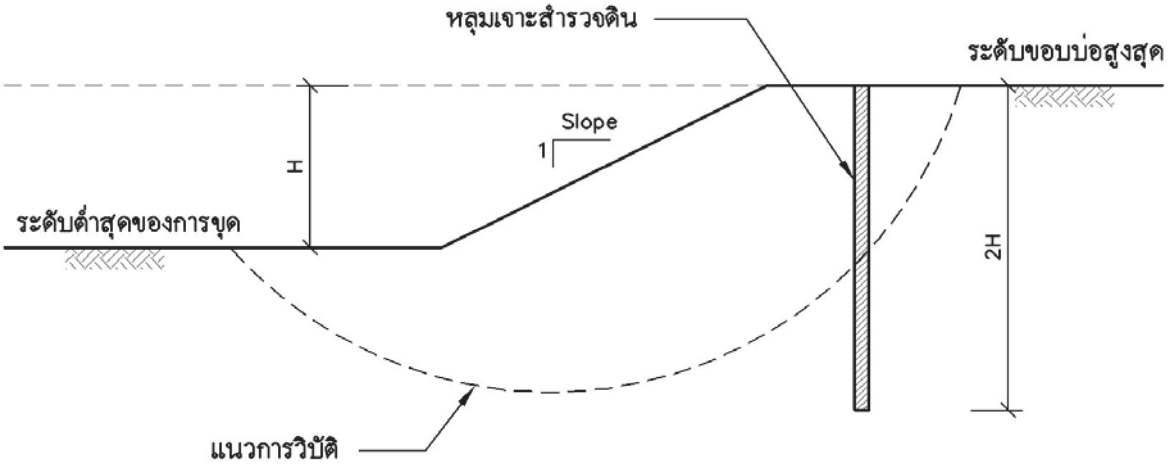
- การเจาะสำรวจโดยใช้เครื่องเจาะสว่าน (Hand Auger)
- การขุดบ่อสำรวจ (Test Pits)
- การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) หรือ แบบ Rotary Drilling

4.1.1.2 จำนวนหลุมเจาะสำรวจดินให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1249 : มาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

4.1.1.3 สำหรับงานขุดดิน ความลึกของการเจาะสำรวจต้องมากกว่า 2 เท่าของความลึกที่ระดับต่ำสุดของการขุด ดังรูปที่ 2 สำหรับงานถมดิน ความลึกของการเจาะสำรวจต้องมากกว่า 2 เท่าของความสูงที่ระดับ

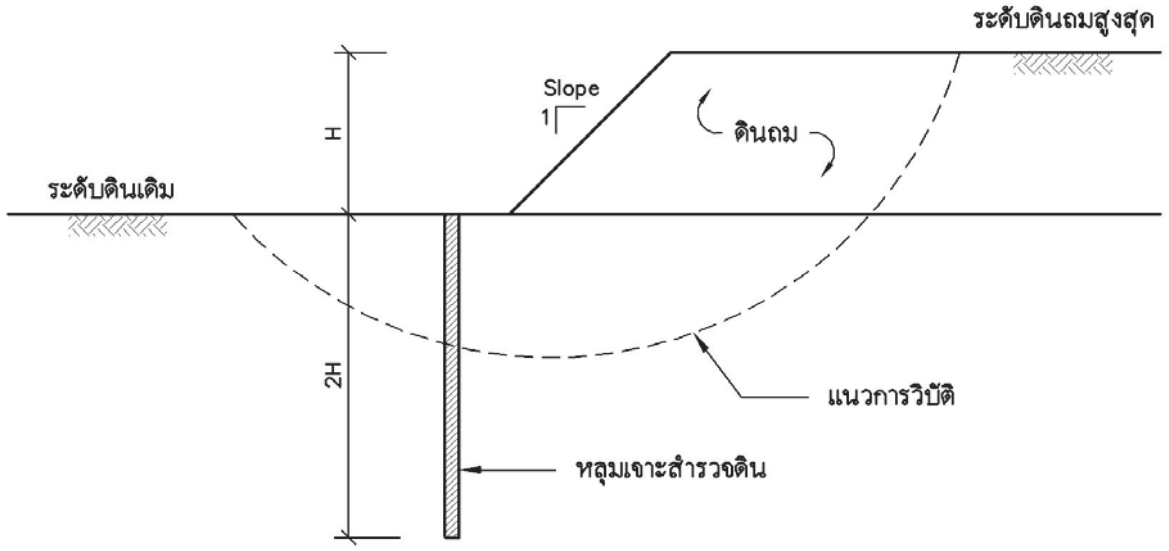
สูงสุดของการถม ดังรูปที่ 3 อย่างไรก็ตามหากพบชั้นดินแข็งภายในระยะดังกล่าว และมีความหนาเพียงพอต่อการรักษาเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียงก็อาจหยุดเจาะสำรวจก่อนถึงความลึกที่แนะนำไว้ได้

4.1.1.4 วิธีการเจาะสำรวจดินข้างต้นต้องสามารถเก็บตัวอย่างดิน หรือทำการทดสอบในสนามเพื่อให้ได้คุณสมบัติดินที่เพียงพอต่อการคำนวณหาค่าเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง



รูปที่ 2 ความลึกในการเจาะสำรวจดินสำหรับการขุดดิน

(ข้อ 4.1.1.3)



รูปที่ 3 ความลึกในการเจาะสำรวจดินสำหรับการถมดิน

(ข้อ 4.1.1.3)

4.1.1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ มี 2 ส่วน คือ

(1) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

(2) กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของวัสดุสำหรับการคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงจะแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

- กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) แทนด้วยตัวแปร S_u ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินเหนียวอิ่มตัวและมีการก่อสร้างโดยเร็ว

- กำลังรับแรงเฉือนแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress) แทนด้วยตัวแปร c_u และ ϕ_u ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินชั้นไม่อิ่มตัวและไม่ทราบความดันน้ำชัดเจน เช่น ดินบดอัดในขณะถมคันดิน เป็นต้น

- กำลังรับแรงเฉือนแบบหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) แทนด้วยตัวแปร $\bar{c}$ และ $\bar{\phi}$ ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินอิ่มตัวและสามารถทราบความดันน้ำชัดเจน เช่น การขุดดินหรือถมดินเสร็จนานแล้ว หรือมีน้ำไหลผ่านคงที่ เป็นต้น

4.1.2 ตำแหน่งหน้าตัดของพื้นที่ลาดเอียงที่ใช้ในการวิเคราะห์ ให้พิจารณาจากหน้าตัดดังต่อไปนี้

(1) หน้าตัดทั่วไป (Typical Section)

(2) หน้าตัดวิกฤติ (Critical Section) ให้พิจารณาจาก

- หน้าตัดที่มีความลึกในการขุดมากที่สุด หรือมีความสูงในการถมมากที่สุด

- หน้าตัดบริเวณที่ชั้นดินมีกำลังต่ำที่สุด หรือชั้นดินอ่อนมีความหนามากที่สุด

(3) หน้าตัดขณะขุดดินหรือถมดิน (Temporary Section during Excavation or Fill) สำหรับกรณีที่มีการแบ่งช่วงการขุดดินหรือถมดิน และมีหน้าตัดหรือแรงกระทำที่แตกต่างจากหน้าตัดทั่วไป

4.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ในการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน ต้องคำนึงถึงช่วงเวลาสำคัญและปัจจัยต่างๆ ทั้งในการก่อสร้างและการใช้งาน ดังนี้

4.2.1 ช่วงเวลาสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ

(1) ขณะขุดดินหรือถมดิน

(2) ขณะใช้งาน

(3) สภาวะวิกฤติ เช่น กรณีน้ำเก็บกักลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) เป็นต้น

4.2.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง

(1) น้ำหนักกระทำภายนอก (External Load) คือ แรงกระทำที่เกิดจากเครื่องจักรในการก่อสร้าง การจราจร หรือสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น โดยกำหนดให้น้ำหนักจากเครื่องจักรหรือการจราจรขณะขุดดินหรือถมดินมีค่าไม่น้อยกว่า 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (2,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และน้ำหนักกระทำภายนอกขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 10 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

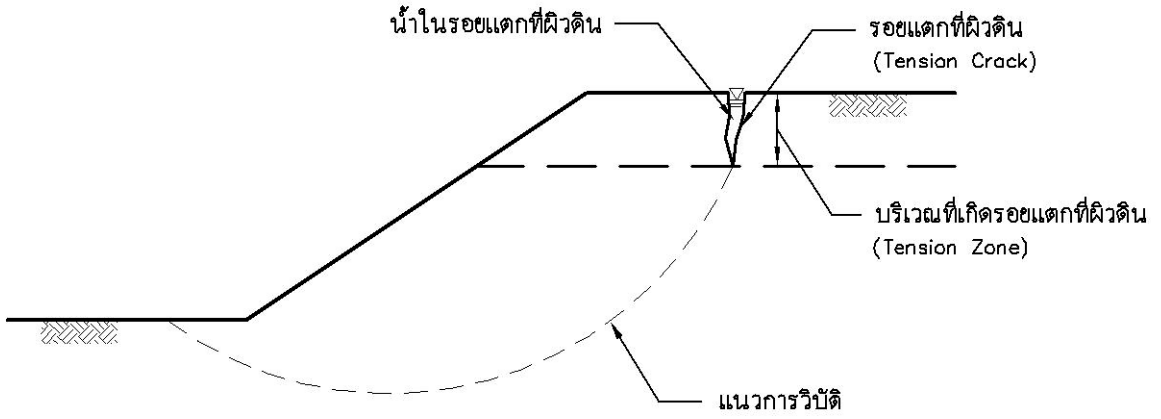
(2) แรงจากแผ่นดินไหว (Seismic Load) สามารถประยุกต์ใช้หลักการเสมือนสถิตย์ (Pseudo Static) โดยการใช้สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนคูณกับน้ำหนักของมวลดิน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

(3) ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Level) ได้จากการสำรวจจริงในสนาม หรือกำหนดที่ระดับผิวดิน

(4) ระดับน้ำผิวดิน (Surface Water Level) คือ ระดับน้ำอิสระที่อยู่ด้านข้างพื้นที่ลาดเอียง เช่น แม่น้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

(5) วัสดุเสริมแรง (Reinforcement) คือ วัสดุที่ใส่เข้าไปในดินเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพ เช่น เสาเข็ม เสาเข็มดินซีเมนต์ (Cement Column) แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ตาข่ายสังเคราะห์ (Geogrid) หรือสลักยึดดิน (Soil Nail) เป็นต้น

(6) รอยแตกที่ผิวดิน (Tension Crack) คือ รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวดินเนื่องจากการแห้งตัว (Desiccation Crack) หรือการเคลื่อนตัวเล็กน้อยทำให้เกิดแรงดึงบริเวณผิวบนของขอบบ่อหรือเนินดิน ดินบริเวณที่เกิดรอยแตกจะไม่มีการสัมผัสกันจึงไม่สามารถมีแรงต้านทานการวิบัติได้ ผิวเคลื่อนจึงมักเริ่มต้นเกิดที่ปลายของรอยแตก และหากมีแรงดันน้ำเสริมในรอยแตกดังกล่าว จะทำให้เกิดการวิบัติง่ายขึ้นอีกด้วย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเกิดรอยแตกที่ผิวดินและแรงดันน้ำในรอยแตก

(ข้อ 4.2.2(6))

4.3 การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีสมดุลจำกัด

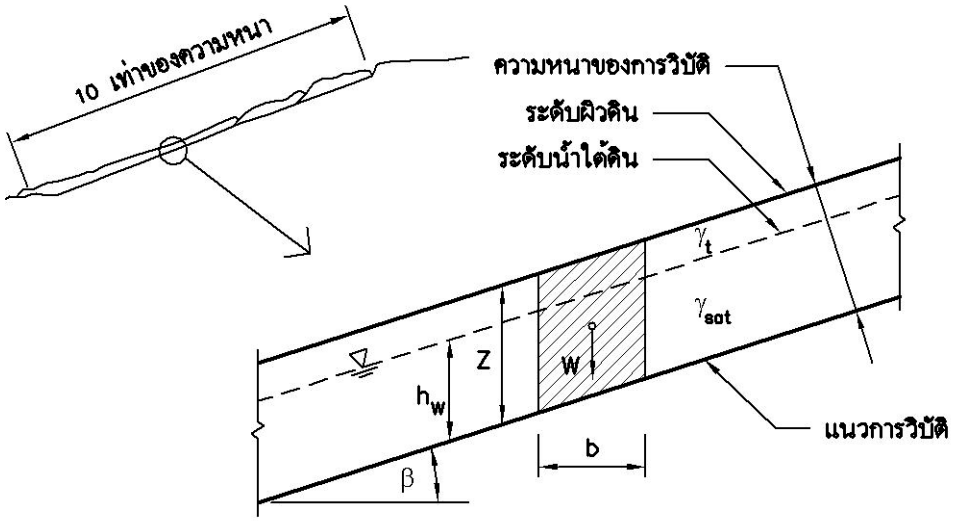
รูปแบบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) ขึ้นอยู่กับรูปแบบการวิบัติ (Mode of Failure) ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

4.3.1 การเลื่อนไถลแบบระนาบ (Translational Failure)

4.3.1.1 ใช้สำหรับกรณีที่ผิวการวิบัติมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ เลื่อนลงตามผิวลาด ซึ่งส่วนใหญ่เกิดกับพื้นที่ลาดเอียงตามธรรมชาติ หรือพื้นที่ลาดเอียงที่มีผิวบังคับการวิบัติ เช่น ชั้นดินอ่อนซึ่งวางตัวอยู่บนชั้นดินแข็ง การวิบัติจะเกิดบริเวณรอยต่อของชั้นดินทั้งสอง เป็นต้น

4.3.1.2 การเลื่อนไถลแบบระนาบจะพิจารณาโดยเทียบจากสัดส่วนระหว่างความหนาของการวิบัติกับความยาวของระนาบการวิบัติต้องน้อยกว่า 1:10 ดังแสดงในรูปที่ 5

4.3.1.3 อัตราส่วนความปลอดภัยของการเลื่อนไถลแบบระนาบสามารถคำนวณโดยสมการที่ 1



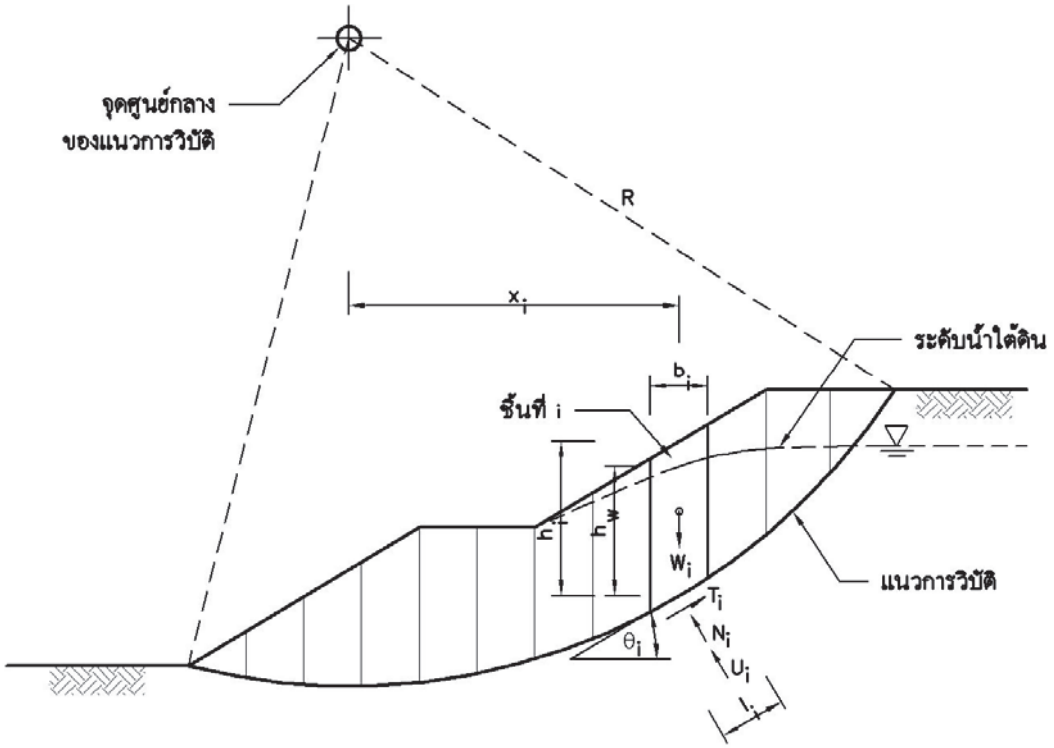
รูปที่ 5 การเลื่อนไถลแบบระนาบ

(ข้อ 4.3.1.2)

$$F.S. = \frac{\bar{c} + \left[(\gamma_{sat} - \gamma_w)h_w + \gamma_t(z - h_w)\right]\tan\bar{\phi}\cos^2\beta}{\left[\gamma_{sat}h_w + \gamma_t(z - h_w)\right]\sin\beta\cos\beta} \quad \text{..... (1)}$$

4.3.2 การเลื่อนไถลแบบหมุน (Rotational Failure)

4.3.2.1 ใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Soil) โดยสมมุติว่าแนวการวิบัติเป็นส่วนโค้ง ดังรูปที่ 6 ซึ่งอาจจะเป็นส่วนโค้งวงกลม (Circular Arc) หรือไม่ใช่ส่วนโค้งวงกลม (Non-Circular)



รูปที่ 6 การเลื่อนไถลแบบหมุน

(ข้อ 4.3.2.1)

4.3.2.2 อัตราส่วนความปลอดภัยของการเลื่อนไถลแบบหมุนสามารถคำนวณโดยวิธีการต่างๆ ตามสมการที่ 2 ถึง 7

(1) Swedish Method (Fellenius, 1927)

$$F.S. = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\bar{c}_i.l_i + \left(W_i.\cos\theta_i - U_i\right).\tan\bar{\phi}_i}{\sum_{i=1}^{n}\left[W_i.\sin\theta_i\right]}\right] \qquad \text{..... (2)}$$

(2) Janbu's Simplified Method (1954)

$$F.S. = \frac{f_0\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\bar{c}_i b_i + b_i\left(\gamma_t h_i - \gamma_w.h_{wi}\right).\tan\bar{\phi}_i}{\cos\theta_i M_\theta}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\gamma_t b_i.h_i.\tan\theta_i} \qquad \text{..... (3)}$$

เมื่อ $$M_\theta = \cos\theta_i + \frac{(\sin\theta_i\tan\bar{\phi}_i)}{F.S.} \qquad \text{..... (4)}$$

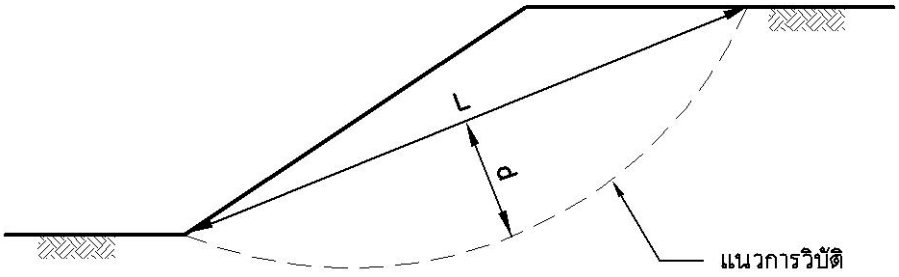
โดยที่

f_0 คือ ค่าปรับแก้ซึ่งขึ้นกับสัดส่วนของความลึก (d) และความยาว (L) ของการวิบัติดังรูปที่ 7 สามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$f_0 = 1 + b_\ell \left[\frac{d}{L} - 1.4\left(\frac{d}{L}\right)^2 \right] \qquad \text{..... (5)}$$

b_ℓ คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับประเภทของดิน ดังนี้

- กรณี $\phi = 0$ ให้ใช้ $b_\ell = 0.69$
- กรณี $c = 0$ ให้ใช้ $b_\ell = 0.31$
- กรณี $\phi > 0$ และ $c > 0$ ให้ใช้ $b_\ell = 0.50$



รูปที่ 7 ความลึกและความยาวของการวิบัติสำหรับ Janbu's Simplified Method

(ข้อ 4.3.2.2(2))

(3) Bishop's Simplified Method (Bishop, 1955)

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\bar{c}_i b_i + b_i \left(\gamma_t h_i - \gamma_w . h_{wi}\right).\tan\bar{\phi}_i}{M_\theta} \right]}{\sum_{i=1}^{n} \gamma_t b_i . h_i . \sin\theta_i} \qquad \text{..... (6)}$$

เมื่อ $$M_\theta = \cos\theta_i + \frac{(\sin\theta_i \tan\bar{\phi}_i)}{F.S.} \qquad \text{..... (7)}$$

4.3.2.3 วิธีการวิเคราะห์การเลื่อนไถลแบบหมุน

(1) วาดรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียงที่ต้องการวิเคราะห์ พร้อมทั้งกำหนดคุณสมบัติดิน และปัจจัยภายนอกต่างๆ ที่กระทำกับพื้นที่ลาดเอียง

(2) กำหนดจุดศูนย์กลาง และรัศมี เพื่อสร้างส่วนโค้งของวงกลมแทนลักษณะผิวการวิบัติที่มีโอกาสเกิดหรือเกิดการวิบัติแล้ว

(3) คำนวณค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

(4) เปลี่ยนจุดศูนย์กลาง และรัศมีของการวิบัติที่น่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนพบค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น้อยที่สุด จะเป็นลักษณะการวิบัติที่น่าจะเกิดขึ้นมากที่สุด

4.3.2.4 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการเลื่อนไถลแบบระนาบ หรือการเลื่อนไถลแบบหมุนสำหรับลักษณะงานต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับลักษณะงานต่างๆ

(ข้อ 4.3.2.4)

ประเภทงาน	ช่วงเวลาการก่อสร้าง	วิธีการวิเคราะห์	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับ
งานขุดดิน	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลาไม่เกิน 6 เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม หรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥ 1.30
	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลามากกว่า 6 เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม หรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥ 1.50
	ขณะใช้งาน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล	≥ 1.50
งานถมดิน	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลาไม่เกิน 6 เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม หรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥ 1.30
	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลามากกว่า 6 เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม หรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥ 1.50
	ขณะใช้งาน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล	≥ 1.50

หมายเหตุ การวิเคราะห์แบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ (Undrained Strength Analysis)

การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis)

การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis)

4.4 การรายงานผล

การรายงานผลการคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงต้องแสดงข้อมูลอย่างน้อย ดังนี้

(1) ข้อมูลชั้นดิน

(2) ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

(3) รูปร่างของพื้นที่ลาดเอียง

(4) ลักษณะแนวการวิบัติ

(5) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

5. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ

การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ นอกจากวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) เพื่อต้องการหาปริมาณการเคลื่อนตัวหรือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลาดเอียง สามารถคำนวณโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ซึ่งวิธีที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน คือวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) และวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) ทั้งนี้ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีเชิงตัวเลขมีความยุ่งยากซับซ้อน ส่วนใหญ่จึงต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ทั้งนี้การเตรียมข้อมูลและเงื่อนไขในการวิเคราะห์ให้เป็นไปตามข้อ 4.1 และข้อ 4.2 ตามลำดับ

5.1 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ต้องสามารถนำมาประเมินว่า

(1) สถานะหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในมวลดินต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานของดิน (Mobilized Strength of Soil) จนส่งผลให้บริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก (Plastic Zone) ขยายตัวไปเป็นระนาบวิบัติ (Failure Plane)

(2) ปริมาณการเคลื่อนตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในมวลดิน จะต้องอยู่ในเกณฑ์ใช้งานที่ยอมรับได้ (Serviceability) โดยไม่ส่งผลต่อการใช้งานของอาคาร สิ่งก่อสร้าง และโครงสร้างพื้นฐานข้างเคียง

5.2 การรายงานผล

การรายงานผลอาจจะแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟิก และ/หรือรูปแบบตารางตัวเลข ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลอย่างน้อย ดังนี้

(1) ข้อมูลชั้นดิน

(2) ค่าตัวแปรและแบบจำลอง (Model) ที่ใช้ในการคำนวณ

(3) รูปร่างของพื้นที่ลาดเอียง การแบ่งชิ้นส่วนย่อย (Mesh) และการกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition)

(4) ลักษณะการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนย่อย (Mesh Deformation)

(5) ค่าหน่วยแรงและความเครียดของแต่ละชิ้นส่วน

(6) บริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก (Plastic Zone)

(7) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (ถ้ามี)

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 Bishop, A.W. 1955. “The use of the slip circle in the stability analysis of slopes”, Geotechnique Vol. 5(1).

6.2 Fellenius, W. 1927. “Erdstatische Berechnungen mit Reibung and Kohaesion und unter Annahme kres-zylinferische Gleitflachen“, Ernst, Berlin .

6.3 Janbu, N. 1954. "Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis", Proceedings, European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm.

มยผ. 1912-52

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Protection for Excavation and Fill)

มยผ. 1912-52

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Protection for Excavation and Fill)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดินนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน ประกอบการปฏิบัติตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้างในงานขุดดินหรือถมดิน พ.ศ. 2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543

1.2 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 10 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“การป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน” หมายถึง การเพิ่มความมั่นคงให้กับพื้นที่ลาดเอียงจากการขุดดินหรือถมดิน

2.2 สัญลักษณ์

A = พื้นที่ฐานราก มีหน่วยเป็นตารางเมตร

A_{col} = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มดินซีเมนต์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

B = ความกว้างของฐานรากกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นเมตร

c = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวของดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

c_{avg} = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของดินกับเสาเข็มดินซีเมนต์ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

c_{col} = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวของเสาเข็มดินซีเมนต์ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

D = ความลึกเข็มพืดที่ปักลงในดิน มีหน่วยเป็นเมตร

F_p = แรงดึงของสมอสำหรับการออกแบบเข็มพืดแบบยึดด้วยสมอ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเซนติเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

$F.S.$ = ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

H = ความสูงของโครงสร้างกันดินแบบเข็มพืด มีหน่วยเป็นเมตร

H_a = ระยะจากผิวดินถึงตำแหน่งสมอสำหรับโครงสร้างกันดินแบบเข็มพืด มีหน่วยเป็นเมตร

h_a = ระยะทางในแนวดิ่งจากตำแหน่งแรงดันดินด้านข้างแบบเชิงรุกถึงจุดหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

h_p = ระยะทางในแนวดิ่งจากตำแหน่งแรงดันดินด้านข้างแบบเชิงรับถึงจุดหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

h_w = ความสูงของน้ำใต้ดิน มีหน่วยเป็นเมตร

K_a = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบเชิงรุก

K_p = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบเชิงรับ

L = ความยาวของฐานรากกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นเมตร

M = โมเมนต์ที่กระทำกับฐานราก มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน.เมตร (กิโลกรัมแรง.เมตร)

M_O = โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน.เมตร (กิโลกรัมแรง.เมตร)

M_R = โมเมนต์ต้านทานการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน.เมตร (กิโลกรัมแรง.เมตร)

N_c = ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการวิเคราะห์หน่วยแรงแบกทาน

N_q = ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการวิเคราะห์หน่วยแรงแบกทาน

N_γ = ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการวิเคราะห์หน่วยแรงแบกทาน

P = แรงกระทำในแนวดิ่งกับฐานราก มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

P_a = แรงดันดินด้านข้างแบบเชิงรุก (Active Force) มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

P_p = แรงดันดินด้านข้างแบบเชิงรับ (Passive Force) มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

P_w = แรงดันน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

q = หน่วยแรงกดทับเนื่องจากน้ำหนักดินเดิม มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$q_{\max}$ = หน่วยแรงแบกทานสูงสุดที่กระทำกับดินเนื่องจากกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$q_{\min}$ = หน่วยแรงแบกทานต่ำสุดที่กระทำกับดินเนื่องจากกำแพงกันดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

q_s = น้ำหนักบรรทุกมีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

q_u = หน่วยแรงแบกทาน (Bearing Capacity) สูงสุดที่ดินสามารถรับได้ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

R = แรงต้านทานการไถลของฐานราก มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

S_1 = ระยะห่างเสาเข็มดินซีเมนต์ตามแนวขวาง มีหน่วยเป็นเมตร

S_2 = ระยะห่างเสาเข็มดินซีเมนต์ตามแนวยาว มีหน่วยเป็นเมตร

V = แรงกดทับในแนวดิ่ง มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

$\bar{x}$ = ระยะทางจากผลรวมของแรงกดทับในแนวดิ่งถึงจุดหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

y = ระยะทางจากผิวดินขุดถึงจุดหมุนของเข็มพืด มีหน่วยเป็นเมตร

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน มีหน่วยเป็นองศา

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

$\bar{\gamma}$ = หน่วยน้ำหนักของดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

γ_w = หน่วยน้ำหนักน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

$\overline{\sigma}_v$ = หน่วยแรงในแนวดิ่งประสิทธิผล มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงได้แก่ มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. วิธีการป้องกันการพังทลายของพื้นที่ลาดเอียง

4.1 หลักการป้องกันการพังทลาย

การป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดินสามารถทำได้โดยใช้หลักการลดน้ำหนักหรือแรงที่ฉุดให้มวลดินเคลื่อนลง (Driving Force) เช่น การลดน้ำหนัก (Unloading) การระบายน้ำใต้ดิน (Drainage) หรือหลักการเพิ่มแรงต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Resisting Force) เช่น การเพิ่มแรงต้านโดยใช้น้ำหนักยัน (Buttressing) การเสริมกำลังให้มวลดิน (Reinforcement) การใช้โครงสร้างกันดิน (Retaining Structure) การปลูกพืชคลุมดิน (Vegetation) การป้องกันการกัดเซาะ (Erosion Control) และการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Improvement) หรือโดยใช้ทั้งสองหลักการประกอบกัน

4.2 แนวทางการพิจารณาเลือกใช้

การพิจารณาเลือกใช้วิธีการป้องกันการพังทลายสามารถใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกัน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง

4.2.1 สาเหตุที่จะก่อให้เกิดการพังทลาย

4.2.2 ความลึกในการขุด หรือความสูงในการถมดิน

4.2.3 ระยะห่างจากเขตที่ดิน

4.2.4 ประเภทของดิน

4.2.5 สภาพน้ำใต้ดิน

4.2.6 ผลกระทบจากการพังทลาย

4.2.7 ราคาค่าป้องกันการพังทลาย

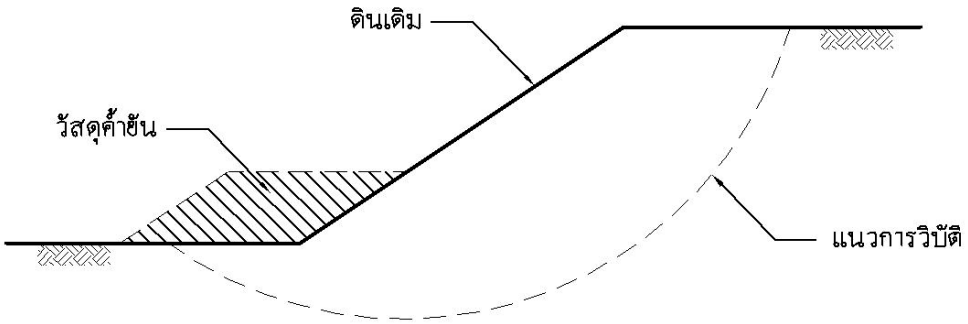
4.3 วิธีการใช้น้ำหนักยัน (Buttressing)

4.3.1 หลักการ

การใช้น้ำหนักยันเป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียงโดยใช้วัสดุค้ำยันบริเวณฐานพื้นที่ลาดเอียง

4.3.2 รูปแบบการป้องกันโดยการใช้น้ำหนักยัน

การป้องกันทำโดยใช้วัสดุ เช่น ดิน หิน หรือวัสดุจากการก่อสร้าง เป็นต้น มาวางยันไว้บริเวณฐานพื้นที่ลาดเอียง ดังตัวอย่างในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้น้ำหนักยันบริเวณฐานพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.3.2)

4.3.3 การวิเคราะห์ ต้องคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงของพื้นที่ลาดเอียงเดิม เสถียรภาพของวัสดุที่นำมาถมเพื่อค้ำยัน และเสถียรภาพโดยรวมของพื้นที่ลาดเอียงหลังการถมดิน โดยการคำนวณให้เป็นไปตาม มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

4.3.4 ข้อควรคำนึงถึง

(1) วัสดุค้ำยันควรมีความหนาแน่นสูงเพียงพอ เช่น ความหนาแน่นมากกว่า 15 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (1,500 กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

(2) กรณีผู้ออกแบบเห็นว่ามีปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำใต้ดินควรจัดหาวัสดุถมที่สามารถระบายน้ำออกได้เองตามธรรมชาติหรือมีระบบระบายน้ำภายใน และวัสดุค้ำยันต้องสามารถป้องกันการสูญเสียวัสดุภายในจากไหลซึมของน้ำใต้ดินได้

(3) ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน ตามข้อ 4.8

4.4 วิธีการลดน้ำหนัก (Unloading)

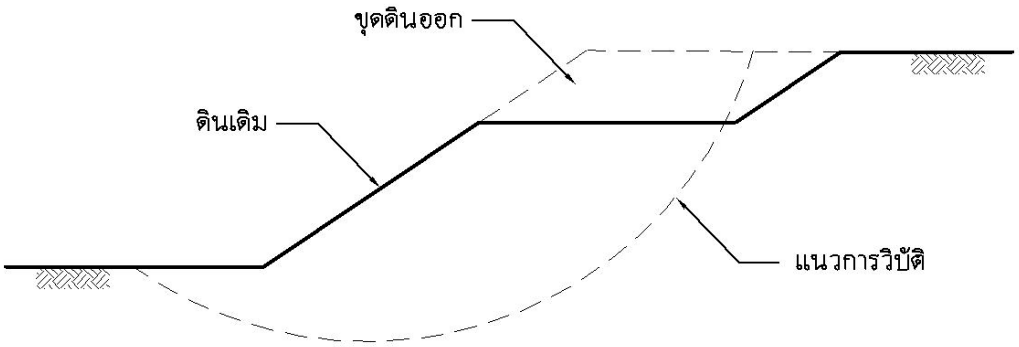
4.4.1 หลักการ

การลดน้ำหนักเป็นการลดแรงกระทำต่อพื้นที่ลาดเอียงโดยการขุดดินออกหรือเปลี่ยนลักษณะรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียงเดิมที่มีความมั่นคงน้อยให้มีความมั่นคงมากขึ้น

4.4.2 รูปแบบการป้องกันโดยการลดน้ำหนัก

การลดน้ำหนักสามารถทำได้โดยการปรับลักษณะของพื้นที่ลาดเอียงในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

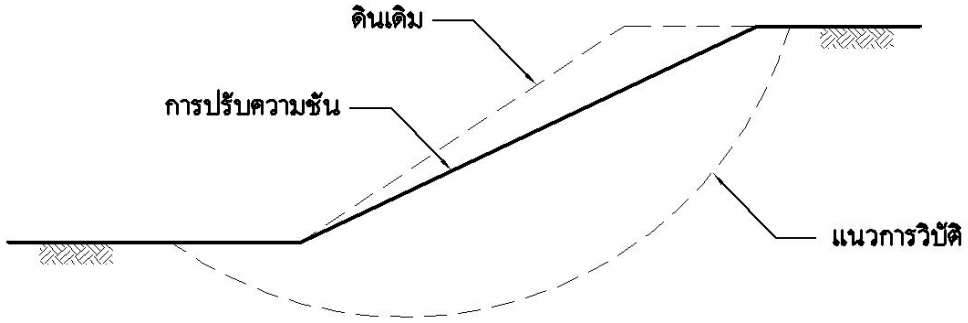
(1) การขุดดินส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงเพื่อลดแรงกระทำ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการตัดส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.4.2(1))

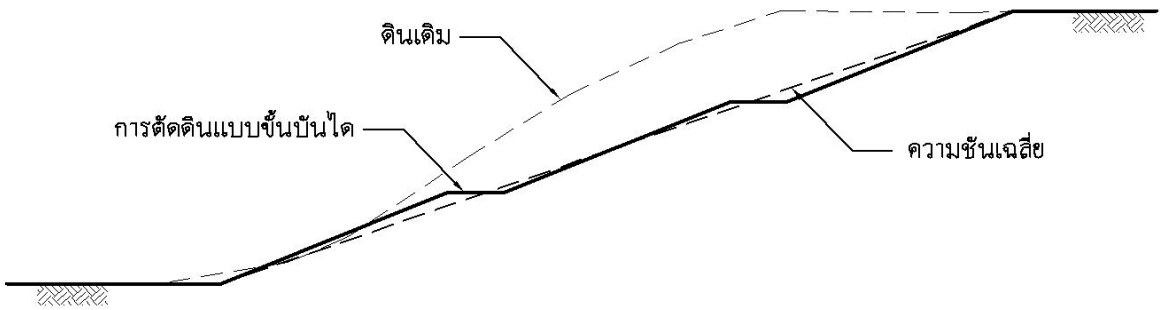
(2) การปรับความชันของพื้นที่ลาดเอียง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการปรับความชันของพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.4.2(2))

(3) การตัดดินเป็นขั้นบันได ดังรูปที่ 4 ซึ่งค่าความชันเฉลี่ยสำหรับการตัดลาดเอียงเป็นขั้นบันได คำนวณโดยใช้มุมเอียงที่ลากจากฐานล่างสุดไปยังส่วนบนสุดของพื้นที่ลาดเอียง



รูปที่ 4 ตัวอย่างการตัดพื้นที่ลาดเอียงเป็นขั้นบันได

(ข้อ 4.2.2(3))

4.4.3 การวิเคราะห์ให้เป็นไปตาม มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

4.4.4 ข้อควรคำนึงถึง

ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน ตามข้อ 4.8

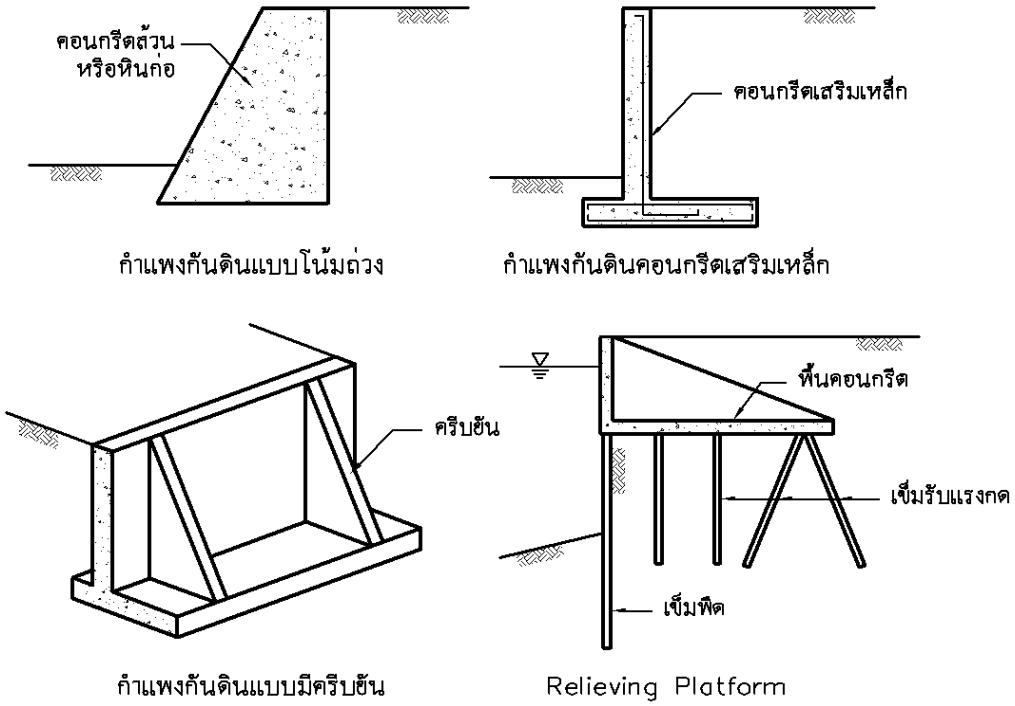
4.5 วิธีการใช้โครงสร้างกันดิน (Retaining Structure)

4.5.1 หลักการ

เมื่อมีการขุดดินหรือถมดินจนเกิดความต่างระดับของผิวดินมากกว่าความสูงที่มวลดินจะสมดุลอยู่ได้ด้วยตัวเอง จึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดินมากเกินไปโดยใช้หลักการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียง โดยทำหน้าที่รับแรงดันด้านข้างและต้านทานการการเลื่อนไถลของพื้นที่ลาดเอียง

4.5.2 รูปแบบการป้องกันโดยการใช้โครงสร้างกันดิน

(1) กำแพงกันดิน สามารถแบ่งได้เป็นกำแพงกันดินแบบโน้มถ่วง กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก กำแพงกันดินแบบมีครีบยัน และ Relieving Platform ดังรูปที่ 5

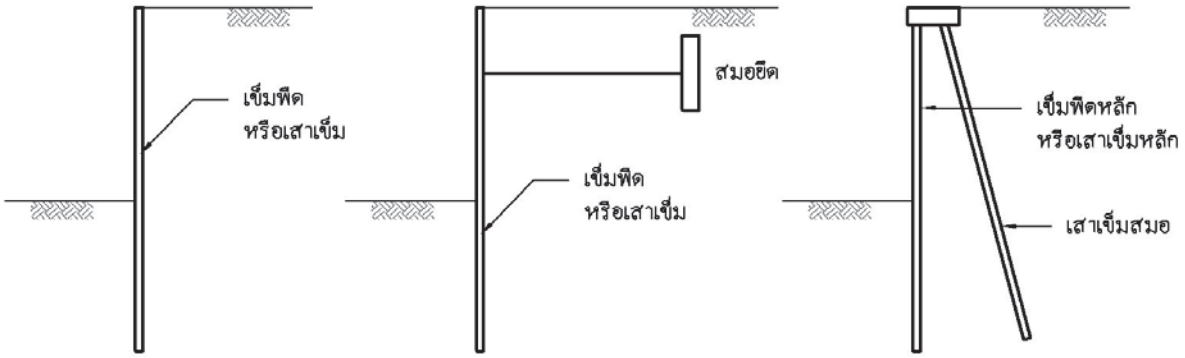


ที่มา : วรากร ไม้เรียง (2526)

รูปที่ 5 กำแพงกันดินแบบต่างๆ

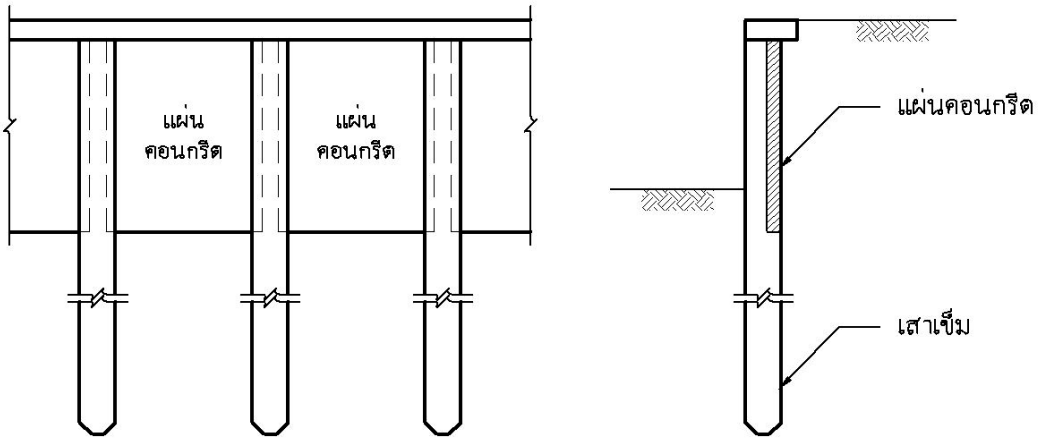
(ข้อ 4.5.2(1))

(2) เข็มพืด (Sheet Pile) และการใช้เข็มพืดกับสมอยึดหรือเสาเข็มสมอ หรือการใช้เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต (Soldier Pile) ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 เข็มพืดกันดิน

(ข้อ 4.5.2(2))



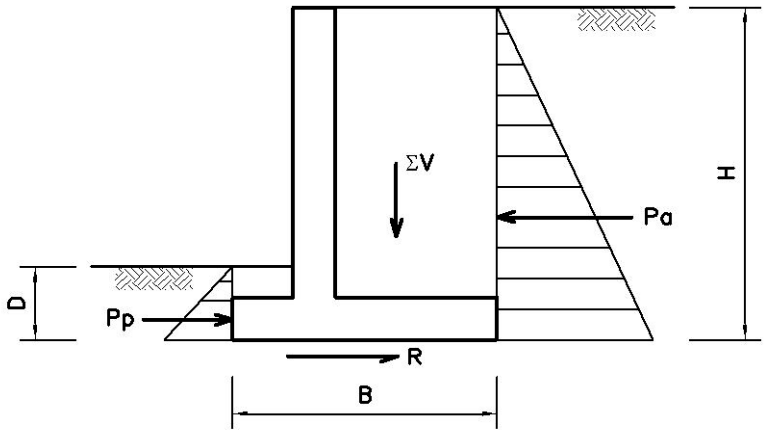
รูปที่ 7 เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต

(ข้อ 4.5.2(3))

4.5.3 การคำนวณออกแบบ

4.5.3.1 กำแพงกันดิน ต้องมีการตรวจสอบเสถียรภาพและความมั่นคงแข็งแรงดังนี้

(1) ตรวจสอบการเลื่อนไถล (Sliding) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ดังแสดงแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 8 และคำนวณโดยหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต้านทางการไถลจากสมการที่ 1



รูปที่ 8 แรงที่ใช้ในการตรวจสอบการเลื่อนไถลของกำแพงกันดิน

(ข้อ 4.5.3.1(1))

$$F.S. = \frac{R}{(P_a - P_p)} \quad \text{..... (1)}$$

$$R = c.B + \sum V.\tan\phi \quad \text{..... (2)}$$

$$P_a = \frac{1}{2}.p_a.H = \frac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2c\sqrt{K_a}H \quad \text{..... (3)}$$

$$P_p = \frac{1}{2}.p_p.D = \frac{1}{2}K_p\gamma D^2 + 2c\sqrt{K_p}D \quad \text{..... (4)}$$

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} \quad \text{..... (5)}$$

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \quad \text{..... (6)}$$

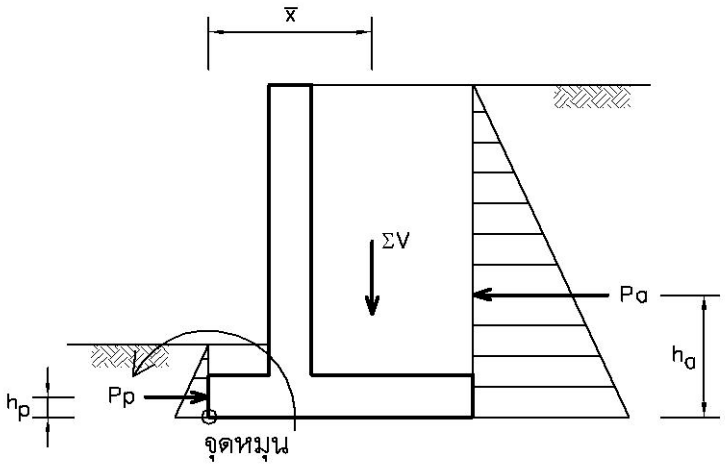
โดย F.S. $\geq$ 1.5 สำหรับดินทราย

$\geq$ 2.0 สำหรับดินเหนียว

(2) ตรวจสอบการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน (Overturning) ดังแสดงแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 9 และคำนวณโดยหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต้านทานการล้มคว่ำของกำแพงกันดินจากสมการที่ 7

$$F.S. = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{P_p.h_p + \sum V.\bar{x}}{P_a.h_a} \quad \text{..... (7)}$$

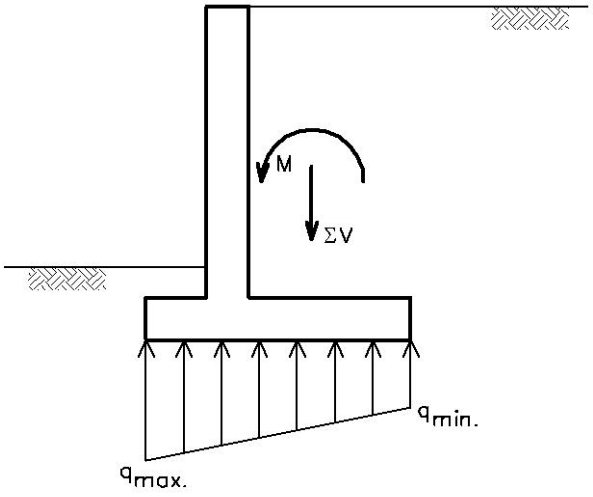
โดย F.S. $\geq$ 2.0



รูปที่ 9 แรงที่ใช้ในการตรวจสอบการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน

(ข้อ 4.5.3.1(2))

(3) ตรวจสอบการรับน้ำหนัก (Bearing Capacity) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ดังแสดงแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 10 และคำนวณโดยหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการรับน้ำหนักบรรทุกจากสมการที่ 11



รูปที่ 10 แรงที่ใช้ในการตรวจสอบการรับน้ำหนักของกำแพงกันดิน

(ข้อ 4.4.3.1(3))

$$q_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{6M}{BL^2} \quad \text{..... (8)}$$

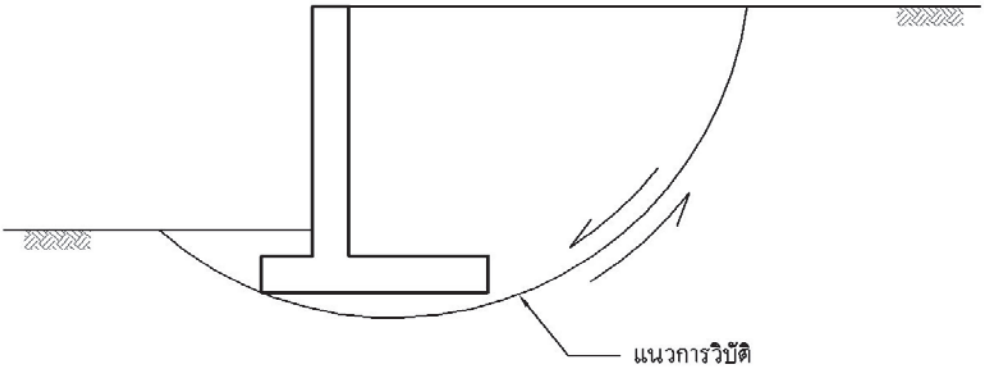
$$q_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{6M}{BL^2} \quad \text{..... (9)}$$

$q_u = c.N_c + q.N_q + 0.5.\gamma.B.N_\gamma$ กรณีฐานรากต่อเนื่อง ..... (10)

$$F.S. = \frac{q_u}{q_{\max}} \quad \text{..... (11)}$$

โดย F.S. ≥ 3.0

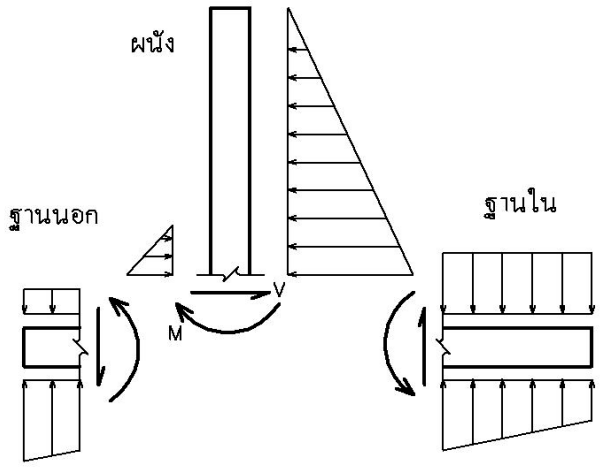
(4) ตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) ดังแสดงลักษณะการวิบัติในรูปที่ 11 โดยการวิเคราะห์ให้เป็นไปตาม มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน



รูปที่ 11 การตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวมของกำแพงกันดิน

(ข้อ 4.5.3.1(4))

(5) ตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง (Structural Failure) โดยพิจารณาความสามารถในการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วนต่างๆ แล้วออกแบบโดยทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังตัวอย่างในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตัวอย่างแรงกระทำเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง

(ข้อ 4.5.3.1(5))

4.5.3.2 เข็มพืด หรือเสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต ต้องมีการคำนวณ ดังนี้

4.5.3.2.1 เข็มพืดแบบคานยื่น (Cantilever Sheet Pile)

การออกแบบเข็มพืดแบบนี้เหมาะกับกรณีที่ความแตกต่างของดินขุดไม่มากนัก ซึ่งวิธีนี้ปลายเข็มพืดจะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะรับโมเมนต์ในลักษณะ Fixed Earth Support ดังรูปที่ 13

(1) คำนวณหาระยะฝังเข็มพืด (D) และระยะที่เข็มพืดไม่มีการเคลื่อนตัว (y)โดยคำนวณผลรวมของแรงในแนวราบ และโมเมนต์รอบจุด C ดังรูปที่ 14 ซึ่งคำนวณโดยสมการที่ 12 และ 13 โดยมีรายละเอียดของสมการดังแสดงในตารางที่ 1

$$\sum F_H = 0;$$

$$\begin{aligned} &P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{p1-1} + P_{p1-2} + P_{p2} + P_{p3} + P_{w1-1} + P_{w1-2} + P_{w1-3} \\ &- P_{a4-1} - P_{a4-2} - P_{a5} - P_{p4} - P_{p5} - P_{w2-1} - P_{w2-2} - P_{w2-3} = 0 \end{aligned} \quad \text{..... (12)}$$

$$\sum M_C = 0;$$

$$\begin{aligned} &P_{a1}.h_{a1} + P_{a2}.h_{a2} + P_{a3}.h_{a3} + P_{w1-1}.h_{w1-1} + P_{a4-1}.h_{a4-1} + P_{a4-2}.h_{a4-2} + P_{a5}.h_{a5} \\ &+P_{w2-2}.h_{w2-2} + P_{w2-3}.h_{w2-3} - P_{p1-1}.h_{p1-1} - P_{p1-2}.h_{p1-2} - P_{p2}.h_{p2} - P_{p3}.h_{p3} \\ &-P_{w1-2}.h_{w1-2} - P_{w1-3}.h_{w1-3} - P_{p4}.h_{p4} - P_{p5}.h_{p5} - P_{w2-1}.h_{w2-1} = 0 \end{aligned} \quad \text{..... (13)}$$

(2) การกำหนดค่าอัตราส่วนปลอดภัยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

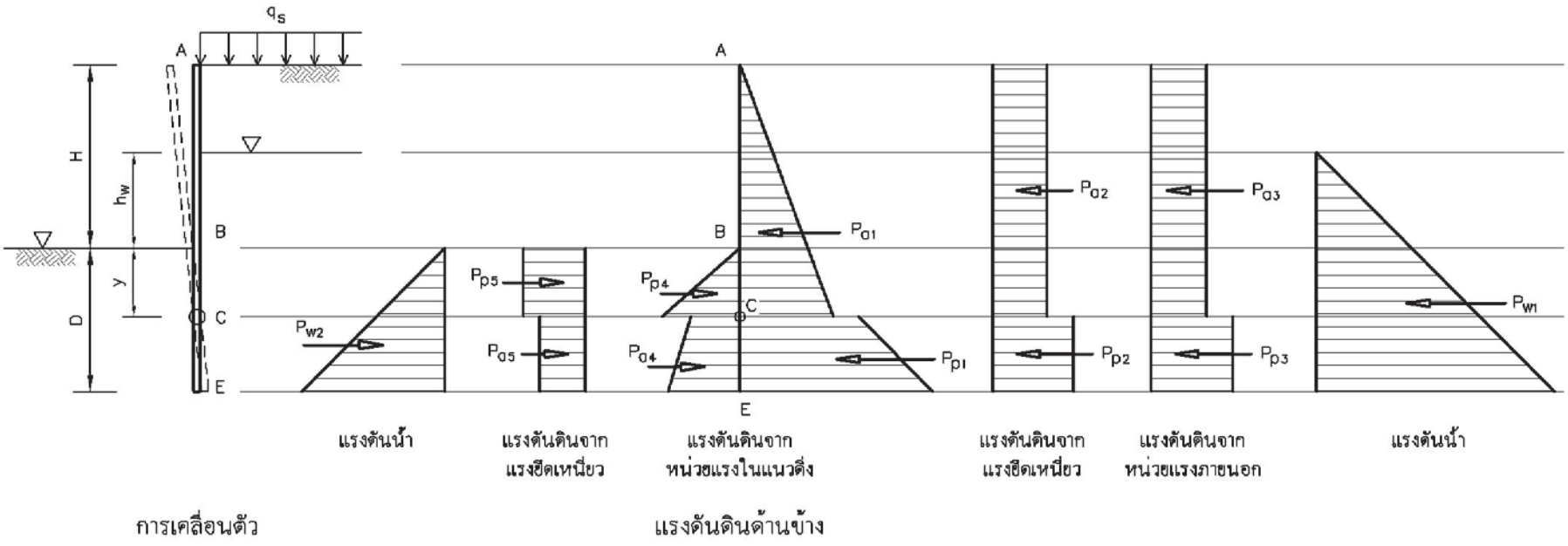
(2.1) ลดค่า K_p ที่ใช้ในการออกแบบ ดังสมการที่ 14

$$(K_p)_{design} = \frac{K_p}{F.S.} \quad \text{..... (14)}$$

โดยค่า $F.S.$ มีค่าไม่น้อยกว่า 1.50

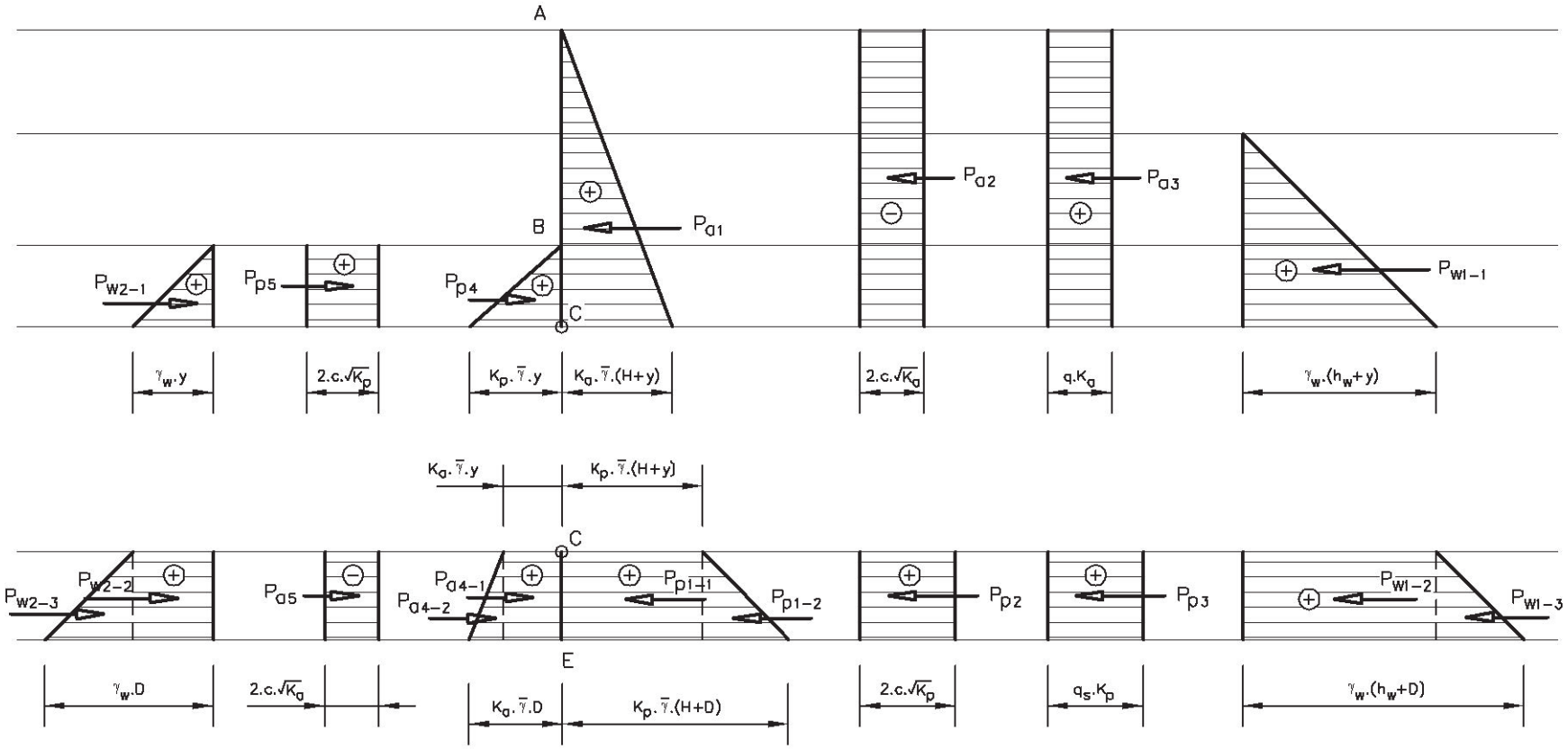
(2.2) เมื่อได้ระยะฝังแล้วเผื่อความยาวเข็มพืดอีกไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ถึง 40

(3) คำนวณความสามารถในการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของโครงสร้าง โดยพิจารณาแรงดันด้านข้างที่กระทำกับเข็มพืด



รูปที่ 13 แรงดันดินด้านข้างต่อเข็มพืดแบบคานยื่น

(ข้อ 4.5.3.2.1)



รูปที่ 14 รายละเอียดค่าแรงดันดินด้านข้างสำหรับการคำนวณเข็มพืดแบบคานยื่น

(ข้อ 4.5.3.2.1)

ตารางที่ 1 สมการสำหรับการคำนวณแข็มพืดแบบคานยื่น

(ข้อ 4.5.3.2.1)

แรงดันดิน	แขนโมเมนต์รอบจุด C
$P_{a1} = \frac{1}{2}.K_a.\bar{\gamma}.(H+y)^2$	$h_{a1} = \frac{(H+y)}{3}$
$P_{a2} = -2c\sqrt{K_a}.(H+y)$	$h_{a2} = \frac{(H+y)}{2}$
$P_{a3} = q.K_a.(H+y)$	$h_{a3} = \frac{(H+y)}{2}$
$P_{a4-1} = K_a.\bar{\gamma}.y.(D-y)$	$h_{a4-1} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{a4-2} = \frac{1}{2}.K_a.\bar{\gamma}.(D-y)^2$	$h_{a4-2} = \frac{2}{3}(D-y)$
$P_{a5} = -2c\sqrt{K_a}.(D-y)$	$h_{a5} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{p1-1} = K_p.\bar{\gamma}.(D-y).(H+y)$	$h_{p1-1} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{p1-2} = \frac{1}{2}.K_p.\bar{\gamma}.(D-y)^2$	$h_{p1-2} = \frac{2}{3}(D-y)$
$P_{p2} = 2c\sqrt{K_p}.(D-y)$	$h_{p2} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{p3} = q.K_p.(D-y)$	$h_{p3} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{p4} = \frac{1}{2}.K_p.\bar{\gamma}.y^2$	$h_{p4} = \frac{y}{3}$
$P_{p5} = 2c\sqrt{K_p}.y$	$h_{p5} = \frac{y}{2}$
$P_{w1-1} = \frac{1}{2}.\gamma_w.(h_w+y)^2$	$h_{w1-1} = \frac{(h_w+y)}{3}$
$P_{w1-2} = \gamma_w.(h_w+y).(D-y)$	$h_{w1-2} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{w1-3} = \frac{1}{2}.\gamma_w.(D-y)^2$	$h_{w1-3} = \frac{2}{3}(D-y)$
$P_{w2-1} = \frac{1}{2}.\gamma_w.y^2$	$h_{w2-1} = \frac{y}{3}$
$P_{w2-2} = \gamma_w.y.(D-y)$	$h_{w2-2} = \frac{(D-y)}{2}$
$P_{w2-3} = \frac{1}{2}.\gamma_w.(D-y)^2$	$h_{w2-3} = \frac{2}{3}(D-y)$

4.5.3.2.2 เข็มพืดแบบยึดด้วยสมอ (Anchored Sheet Pile)

เมื่อความต่างของชั้นดินค่อนข้างมาก ส่วนบนของเข็มพืดควรมีสมอช่วยยึดไว้เพื่อลดโมเมนต์ดัดให้น้อยลง เข็มพืดแบบนี้สามารถออกแบบได้ 2 ลักษณะ คือ Free Earth Support เมื่อความลึกที่ตอกลงในดินชั้นล่างไม่มากนักปลายเข็มส่วนล่างจะเคลื่อนที่ได้พอสมควร และแบบ Fixed Earth Support เมื่อส่วนปลายเข็มตอกลงในชั้นดินลึกกว่าแบบแรกทำให้ปลายเข็มเคลื่อนตัวน้อย โดยการวิเคราะห์ในแบบ Free Earth Support ตามลักษณะแรงดันดินในรูปที่ 15 สามารถทำได้ดังนี้

(1) คำนวณหาระยะฝังเข็มพืด (D) และค่าแรงดึงของสมอ (F_p) โดยคำนวณผลรวมของแรงในแนวราบดังสมการที่ 15 และผลรวมของโมเมนต์รอบจุด B ดังสมการที่ 16 ซึ่งมีรายละเอียดของสมการแสดงในตารางที่ 2

$$\sum F_H = 0;$$

$$P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{w1} - P_{p1} - P_{p2} - P_{w2} - F_p = 0 \quad \text{..... (15)}$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$P_{a1}.h_{a1} + P_{a2}.h_{a2} + P_{a3}.h_{a3} + P_{w1}.h_{w1} - P_{p1}.h_{p1} - P_{p2}.h_{p2} - P_{w2}.h_{w2} = 0 \quad \text{..... (16)}$$

(2) การกำหนดค่าอัตราส่วนปลอดภัยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

(2.1) ลดค่า K_p ที่ใช้ในการออกแบบ ดังสมการที่ (17)

$$(K_p)_{design} = \frac{K_p}{F.S.} \quad \text{..... (17)}$$

โดยค่า $F.S.$ มีค่าไม่น้อยกว่า 1.50

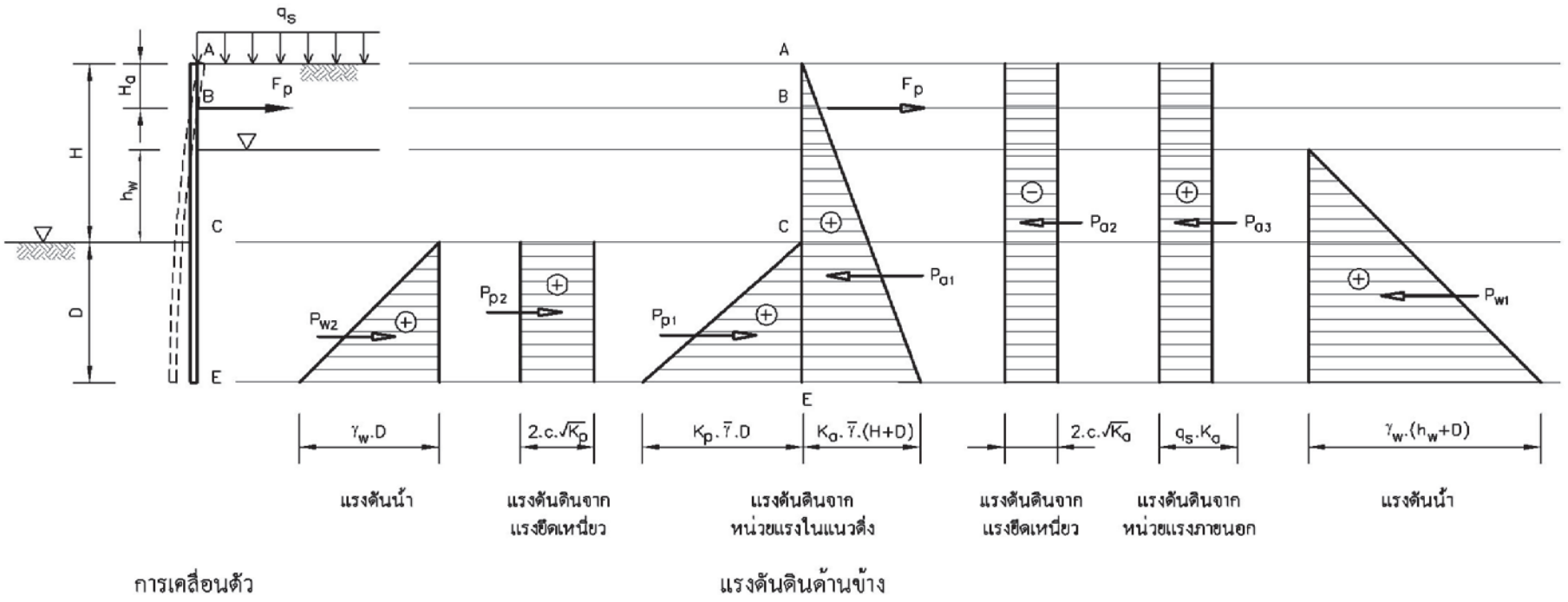
(2.2) เมื่อได้ระยะฝังแล้วเผื่อความยาวเข็มพืดอีกไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ถึง 40

(3) คำนวณความสามารถในการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของโครงสร้าง โดยพิจารณาแรงดันด้านข้างที่กระทำกับเข็มพืด

4.5.4 ข้อควรคำนึงถึง

(1) การออกแบบกำแพงกันดินแบบใช้เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีตควรวิเคราะห์โดยใช้หลักการของเสาเข็มรับแรงด้านข้างด้วย

(2) ผู้ออกแบบควรจัดให้มีระบบการระบายน้ำหลังกำแพงกันดินเพื่อลดแรงดันเนื่องจากน้ำ



รูปที่ 15 แรงดันดินด้านข้างต่อเข็มพืดแบบยึดด้วยสมอ

(ข้อ 4.5.3.2.2)

ตารางที่ 2 สมการสำหรับการคำนวณแข็มพืดแบบยึดด้วยสมอ

(4.5.3.2.2)

แรงดันดิน	แขนโมเมนต์รอบจุด B
$P_{a1} = \frac{1}{2}.K_a.\bar{\gamma}.(H+D)^2$	$h_{a1} = \frac{2}{3}(H+D) - H_a$
$P_{a2} = -2c\sqrt{K_a}.(H+D)$	$h_{a2} = \frac{(H+D)}{2} - H_a$
$P_{a3} = q.K_a.(H+D)$	$h_{a3} = \frac{(H+D)}{2} - H_a$
$P_{w1} = \frac{1}{2}.\gamma_w.(h_w+D)^2$	$h_{w1} = \frac{2}{3}(h_w+D) - H + h_w + H_a$
$P_{p1} = \frac{1}{2}.K_a.\bar{\gamma}.D^2$	$h_{p1} = \frac{2}{3}D + H - H_a$
$P_{p2} = 2c\sqrt{K_p}.D$	$h_{p2} = \frac{D}{2} + H - H_a$
$P_{w1} = \frac{1}{2}.\gamma_w.D^2$	$h_{w2} = \frac{2}{3}D + H - H_a$

4.6 วิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Improvement)

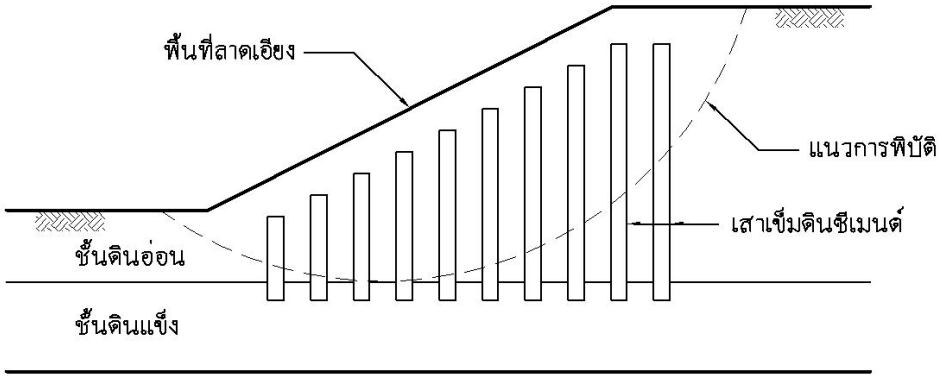
4.6.1 หลักการ

เนื่องจากดินที่มีอยู่ในพื้นที่งานขุดดินหรือถมดินอาจมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับลักษณะการขุดดินหรือถมดินที่ต้องการ เช่น มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ เป็นต้น จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินดังกล่าวให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินจะเป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียงทำให้ดินมีความแข็งแรงสามารถรับแรงเฉือนเพื่อต้านทานการวิบัติได้

4.6.2 รูปแบบการปรับปรุงคุณภาพดิน

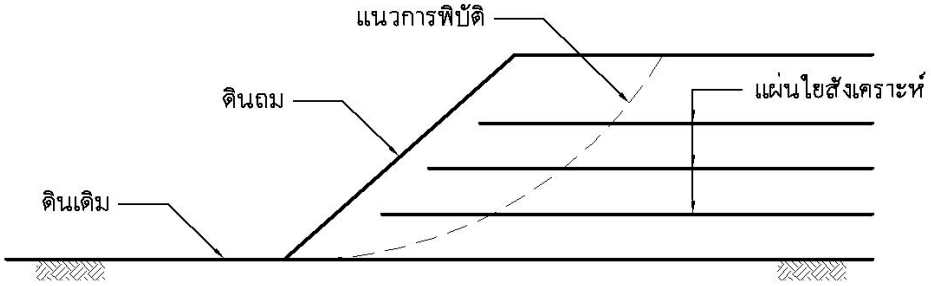
(1) การปรับปรุงดินโดยใช้สารเคมี เช่น การใช้ซีเมนต์หรือปูนขาวผสมในดินเป็นลักษณะเสาเข็ม (Soil Cement Column) ดังรูปที่ 16

(2) การเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น การใช้เสาเข็มไม้ หรือเสาเข็มคอนกรีต ตอกลงไปในดิน การเสริมแรงโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ หรือ Soil Nail เป็นต้น ดังรูปที่ 17 และ 18 ตามลำดับ



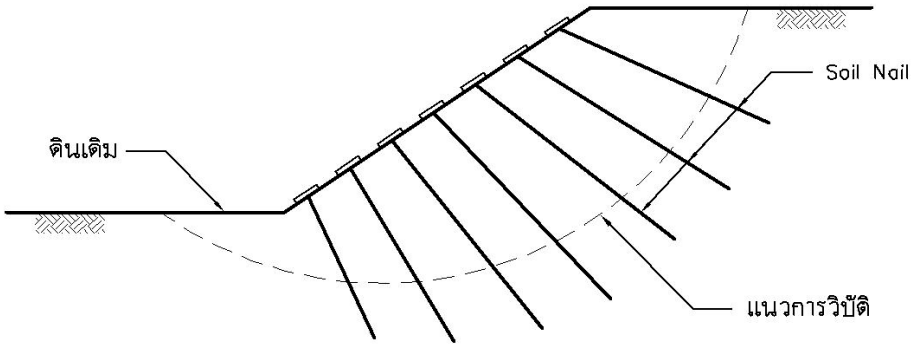
รูปที่ 16 ตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีเสาเข็มดินซีเมนต์

(ข้อ 4.6.2(1))



รูปที่ 17 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์

(ข้อ 4.6.2(2))

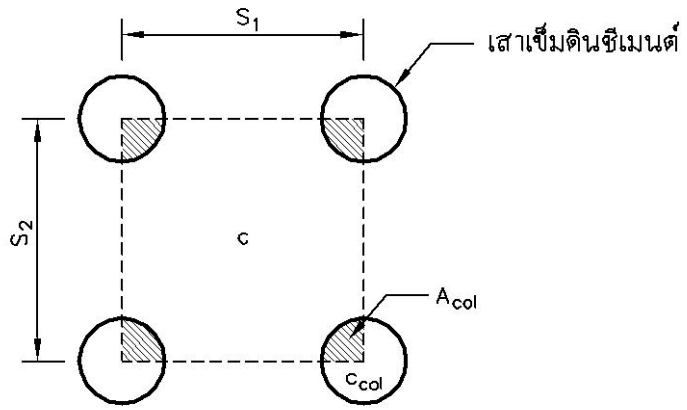


รูปที่ 18 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้ Soil Nail

(ข้อ 4.6.2(2))

4.6.3 การคำนวณออกแบบ

(1) คำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยของดินเดิมกับดินผสมซีเมนต์ หรือดินเดิมกับเสาเข็ม ดังรูปที่ 19 และสมการที่ 18



รูปที่ 19 ตัวอย่างการจัดวางเสาเข็มดินซีเมนต์และการแบ่งพื้นที่เพื่อการคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ย

(ข้อ 4.6.3(1))

$$c_{avg} = c.(1 - \frac{A_{col}}{S_1.S_2}) + c_{col} . \frac{A_{col}}{S_1.S_2} \quad \text{..... (18)}$$

กรณีที่ใช้เสาเข็มคอนกรีตเป็นวัสดุเสริมความแข็งแรงสามารถคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของเสาเข็มคอนกรีตโดยใช้สมการที่ 19

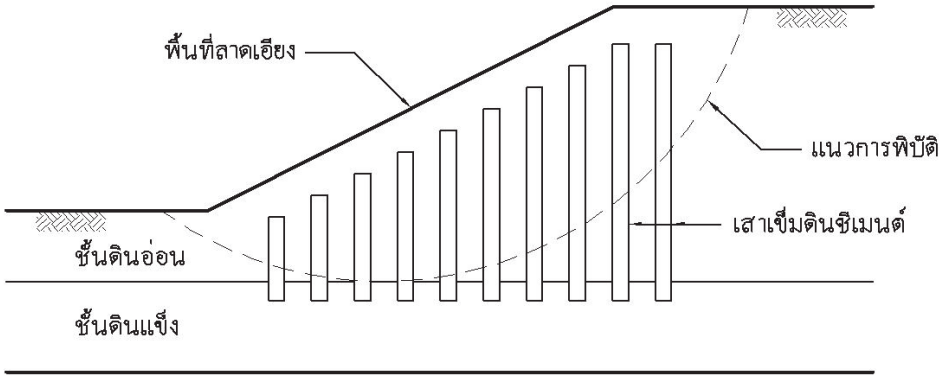
$$c_{col} = 0.53\sqrt{f_c'} \quad \text{..... (19)}$$

(2) การคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงให้เป็นไปตาม มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน โดยพิจารณากำลังของดินที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดิน ดังตัวอย่างการจำลองรูปตัดชั้นดินสำหรับการวิเคราะห์กรณีมีการปรับปรุงคุณภาพดินในรูปที่ 20

4.6.4 ข้อควรคำนึงถึง

(1) การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการใช้สารเคมี ต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้หลังการใส่สารผสม ทั้งผลในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบจริงในสนามก่อนนำไปใช้จริง

(2) กรณีที่ดินเดิมมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก (Very Soft Clay) ควรทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินควบคู่ไปด้วย



ลักษณะหน้าตัดในการปรับปรุงคุณภาพดิน

ลักษณะหน้าตัดในการวิเคราะห์

รูปที่ 20 ตัวอย่างรูปตัดชั้นดินสำหรับการวิเคราะห์กรณีมีการปรับปรุงคุณภาพดิน

(ข้อ 4.6.3(2))

4.7 วิธีการระบายน้ำใต้ดิน (Drainage)

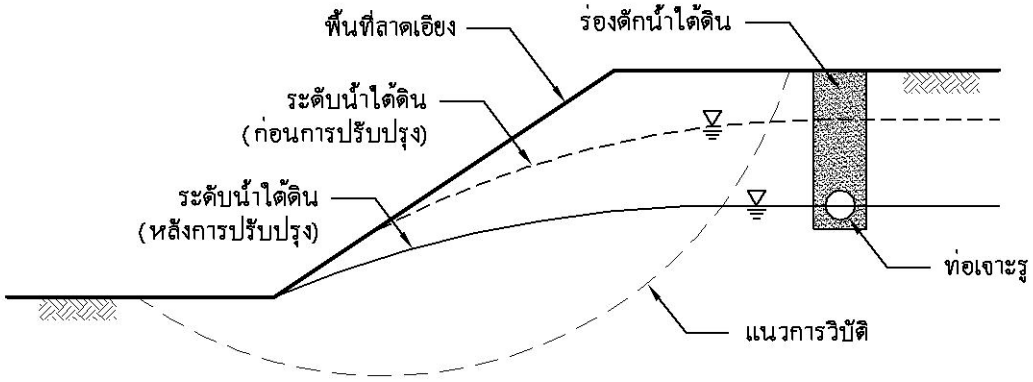
4.7.1 หลักการ

เมื่อพื้นที่การขุดดินหรือถมดินมีน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงและมีผลให้กำลังของดินลดลง จึงต้องจัดให้มีการระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อเป็นการลดแรงดันน้ำที่กระทำต่อพื้นที่ลาดเอียง ทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีเสถียรภาพมากขึ้น

4.7.2 รูปแบบการป้องกันโดยการระบายน้ำใต้ดิน

(1) การขุดร่องดักน้ำใต้ดินหรือร่องระบายน้ำใต้ดิน

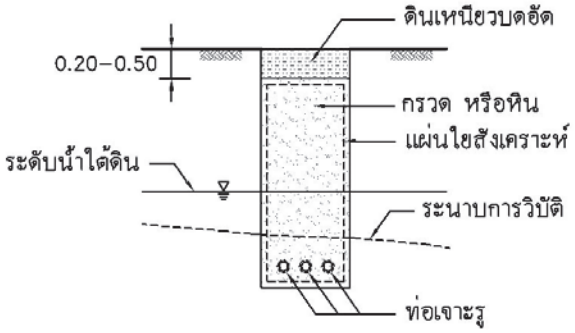
การขุดร่องดักน้ำใต้ดินทำโดยการวางร่องขวางทิศทางของน้ำใต้ดินก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่บริเวณพื้นที่ลาดเอียง น้ำที่ซึมผ่านมาจะไหลไปตามแนวร่องดักน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียงลดระดับลง สามารถใช้ได้ทั้งป้องกันและซ่อมแซมการวิบัติ ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ตัวอย่างการขุดร่องดักน้ำใต้ดิน

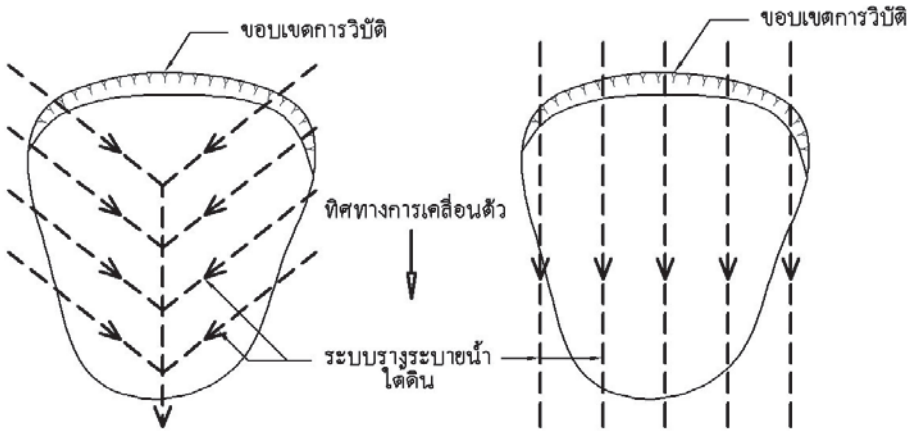
(ข้อ 4.7.2(1))

ร่องระบายน้ำใต้ดินจะทำหน้าที่ระบายน้ำให้ไหลผ่านพื้นที่ลาดเอียงโดยสะดวก จึงเป็นการลดระดับน้ำหรือแรงดันน้ำไปด้วย วิธีการนี้เหมาะสำหรับการแก้ไขการวิบัติที่มีความลึกไม่เกิน 4-6 เมตร มีความชันไม่มาก และเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง ทั้งนี้บางกรณีต้องทำการค้ำยันร่องขณะขุดด้วย ตัวอย่างดังรูปที่ 22 และ 23



รูปที่ 22 ตัวอย่างรูปตัดร่องระบายน้ำใต้ดิน

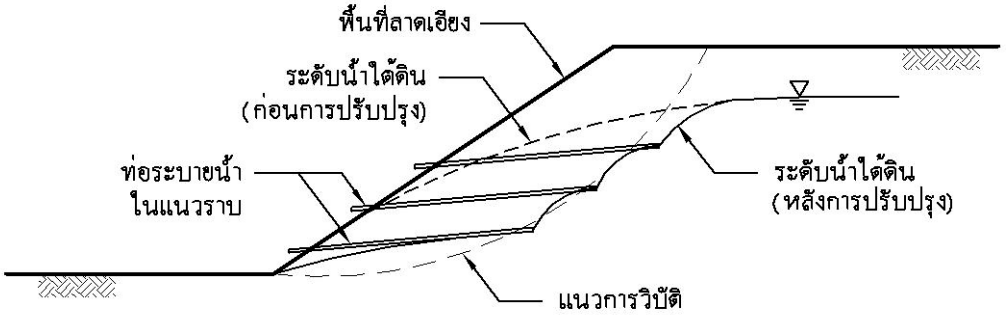
(ข้อ 4.7.2(1))



รูปที่ 23 ตัวอย่างแปลนการจัดวางร่องระบายน้ำใต้ดิน

(ข้อ 4.7.2(1))

(2) การใช้ท่อระบายน้ำในแนวราบ (Horizontal Drain) เป็นวิธีการลดระดับน้ำสำหรับพื้นที่ลาดเอียงที่มีความชันค่อนข้างมาก โดยการเจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50–150 มิลลิเมตร เข้าไปในพื้นที่ลาดเอียงบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวในแนวทำมุม 2–15 องศา กับแนวระดับ เพื่อให้น้ำใต้ดินระบายออกได้โดยแรงโน้มถ่วง โดยความยาวของหลุมเจาะควรมีความยาวมากกว่าแนวการวิบัติที่ได้จากการวิเคราะห์หรือเกิดขึ้นจริง ซึ่งอาจมีความยาวได้ถึง 5–20 เมตร แล้วติดตั้งท่อระบายน้ำเจาะรูพรุนตลอดความยาวของหลุมเจาะ ท่อระบายอาจหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อป้องกันท่ออุดตันจากเศษดิน ดังรูปที่ 24



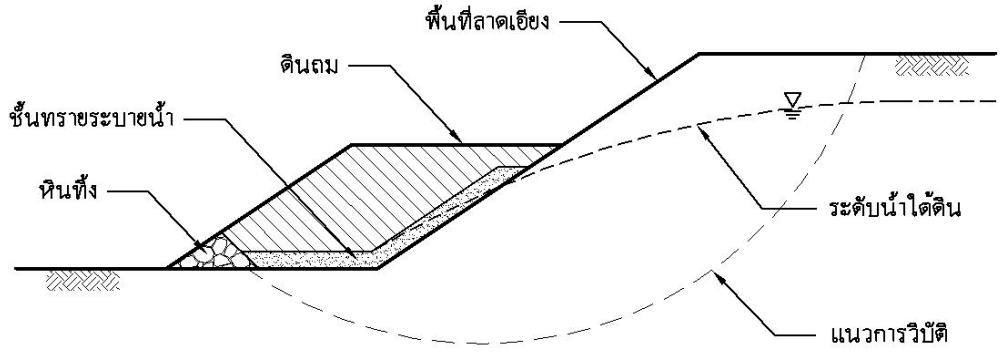
รูปที่ 24 ตัวอย่างการใช้ท่อระบายน้ำในแนวราบ

(ข้อ 4.7.2(2))

(3) การใช้ชั้นระบายน้ำสำหรับดินถม กรณีการใช้น้ำหนักยันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพและไม่ต้องการให้น้ำซึมผ่านวัสดุถมสามารถใช้ชั้นทรายระบายน้ำเพื่อรับน้ำที่ซึมผ่านมาจากพื้นที่ลาดเอียงเดิม ดังตัวอย่างในรูปที่ 25 โดยหลักในการออกแบบชั้นกรองมี 2 ข้อ คือ

ก. Piping Requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินในพื้นที่ลาดเอียงถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้

ข. Drainage Requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวกโดยไม่เกิดความดันน้ำสะสมขึ้นในชั้นดินถมหรือชั้นระบายน้ำ



รูปที่ 25 ตัวอย่างการใช้ชั้นระบายน้ำสำหรับดินถม

(ข้อ 4.7.2(3))

4.7.3 การวิเคราะห์ ต้องคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงของพื้นที่ลาดเอียงก่อนการลดระดับน้ำใต้ดิน และหลังจากลดระดับน้ำใต้ดิน โดยให้เป็นไปตาม มยผ. 1911 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

4.7.4 ข้อควรคำนึงถึง

การป้องกันการวิบัติโดยการระบายน้ำใต้ดินควรมีการคำนึงถึงการพัดพาดินมวลละเอียดออกมากับการระบายน้ำด้วย โดยอาจใช้แผ่นใยสังเคราะห์หรือการออกแบบขนาดวัสดุกรองที่เหมาะสม

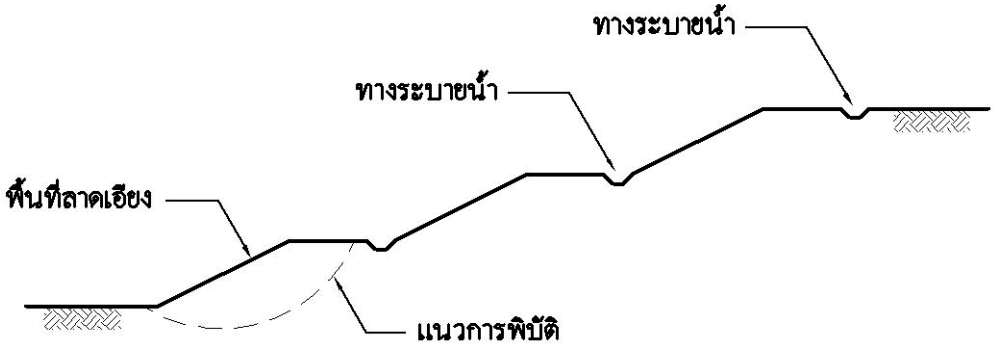
4.8 วิธีการป้องกันการกัดเซาะ (Erosion Control)

4.8.1 หลักการ

การป้องกันการกัดเซาะเป็นการลดปริมาณการไหล ความเร็ว และอัตราการไหลซึมของน้ำลงในดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งการกัดเซาะดังกล่าวอาจทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีความชันเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มแรงดันน้ำในมวลดิน ส่งผลให้เกิดการวิบัติได้ แนวทางการป้องกันสามารถทำได้โดยการระบายน้ำผิวดินหรือการใช้วัสดุคลุมดิน

4.8.2 รูปแบบการป้องกันการกัดเซาะ

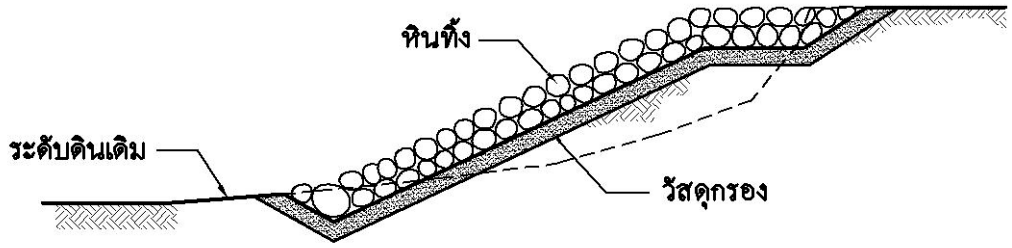
(1) การระบายน้ำผิวดิน มีจุดประสงค์เพื่อดักน้ำผิวดินที่ไหลมาจากส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงแล้วระบายออกจากพื้นที่ โดยทางระบายน้ำต้องสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนสูงสุดในพื้นที่ได้ และควรมีความชันเพียงพอ เพื่อให้น้ำไหลด้วยความเร็วที่ไม่เกิดการตกตะกอน ดังตัวอย่างในรูปที่ 26



รูปที่ 26 ตัวอย่างทางระบายน้ำบนพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.8.2(1))

(2) การใช้วัสดุคลุมดิน เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การพ่นคอนกรีตปิดทับผิวหน้าลาดเอียง (Shotcrete) หรือการใช้หินทิ้ง (Rock Riprap) ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้หินทิ้ง

(ข้อ 4.8.2(2))

4.8.3 ข้อควรคำนึงถึง

(1) ทางระบายน้ำบนผิวดินต้องอยู่นอกแนวที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติ หรือต้องมีการป้องกันการไหลล้นทางระบายน้ำ

(2) ชนิดของพืชคลุมดินควรเป็นไม้ในท้องถิ่น หรือทนต่อสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ได้

(3) กรณีใช้ Shotcrete ต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน เช่น ท่อระบายน้ำในแนวราบ เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 วรากร ไม้เรียง. 2526. วิศวกรรมฐานราก. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มยผ. 1913-52

มาตรฐานการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Monitoring for Excavation and Fill)

มยผ. 1913-52

มาตรฐานการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(Standard of Slope Monitoring for Excavation and Fill)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงสำหรับงานขุดดินและถมดินจัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน และการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในมวลดินสำหรับงานขุดดินและถมดิน ประกอบการปฏิบัติตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้างในงานขุดดินหรือถมดิน พ.ศ. 2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543 เว้นแต่แบบแปลนหรือรายการประกอบแบบแปลนจะระบุเป็นอย่างอื่น

1.2 ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ประกอบด้วย วิธีในการตรวจวัดพฤติกรรม เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ตามประเภทของงาน และการรายงานผล

1.3 มาตรฐานนี้ครอบคลุมเฉพาะการตรวจวัดการเคลื่อนตัวและการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในมวลดิน อันเนื่องจากงานขุดดินและถมดินตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน แต่ไม่ครอบคลุมถึงงานป้องกันการพังทลายสำหรับงานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินและสาธารณูปโภคต่างๆ

2. นิยาม

2.1 นิยาม

“การเคลื่อนตัว (Movement)” หมายถึง การเลื่อนตำแหน่งของวัตถุหรือตำแหน่งที่พิจารณาในแนวราบ

“การตรวจวัดพฤติกรรม” หมายถึง การติดตั้ง ติดตาม และวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ลาดเอียง

“การทรุดตัว (Settlement)” หมายถึง การเลื่อนตำแหน่งของวัตถุหรือตำแหน่งที่พิจารณาในแนวดิ่ง

“ความดันน้ำในมวลดิน (Pore Water Pressure)” หมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำที่อยู่ในช่องว่างของมวลดิน

“แบบแปลน” หมายถึง แบบแสดงรายละเอียดในการขุดดินหรือถมดิน

“วิศวกร” หมายถึง วิศวกรสาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

“รายการประกอบแบบแปลน” หมายถึง ข้อความชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของดินความลึกและขนาดของบ่อดินที่จะขุดดิน ความสูงและพื้นที่ของเนินดินที่จะถมดิน ความลาดเอียงของบ่อดินหรือเนินดิน ระยะห่างจากขอบบ่อดินหรือเนินดินถึงเขตที่ดินหรือสิ่งปลูกสร้างของบุคคลอื่น วิธีการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้าง และวิธีการในการขุดดินหรือถมดิน ตลอดจนสภาพพื้นที่และบริเวณข้างเคียงระดับดินเดิม คุณสมบัติของดินที่จะขุดหรือจะถม พร้อมทั้งวิธีปฏิบัติหรือวิธีการสำหรับขุดดินหรือถมดินเพื่อให้เป็นไปตามแบบแปลน

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงได้แก่ มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. วิธีการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียง

4.1 การตรวจวัดด้วยสายตา

การตรวจวัดด้วยสายตาเป็นการตรวจสอบเสถียรภาพความลาดเอียงของงานขุดดินและถมดินเพื่อให้มีความมั่นคงปลอดภัยอยู่เสมอ สามารถทำได้โดยการประเมินเบื้องต้นด้วยสายตาอย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน ในสภาวะปกติ ด้วยการตรวจสอบในประเด็นต่างๆ ดังนี้

(1) การขุดดินหรือถมดินเป็นไปตามแบบแปลน หรือรายการประกอบแบบแปลน ทั้งในด้านความลึกและขนาดของบ่อดินที่จะขุด ความสูงและขนาดพื้นที่ของเนินดินที่จะถม ความลาดเอียงของบ่อดินหรือเนินดิน และระยะห่างจากขอบบ่อดินหรือฐานเนินดินตามกฎหมาย

(2) การเคลื่อนตัวและการทรุดตัว ทั้งบริเวณด้านบนของขอบบ่อหรือเนินดิน บริเวณลาดเอียง และบริเวณก้นบ่อหรือฐานเนินดิน

(3) รอยแตก หรือรอยแยกโดยรอบบ่อขุด หรือด้านบนของเนินถม

(4) การไหลซึมของน้ำออกจากพื้นที่ลาดเอียง

(5) การเกิดร่องน้ำ หรือทางน้ำ บนพื้นที่ลาดเอียง มีผลทำให้เกิดการกัดเซาะดิน

4.2 การตรวจวัดด้วยเครื่องมือ

4.2.1 หากไม่มีการระบุในแบบแปลนหรือรายการประกอบแบบแปลน การติดตั้งประเภทเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงของงานขุดดินและถมดินที่สัมพันธ์กับความลึกในการขุดดินหรือความสูงในการถมดินให้เป็นไปตามตารางที่ 1

4.2.2 กรณีที่ทำการตรวจวัดด้วยสายตาหรือเครื่องมือ แล้วพบรอยแตกบริเวณผิวดิน การตรวจวัดรอยแตกดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดิน ดังรายละเอียดในข้อ 5.3

ตารางที่ 1 ประเภทเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียงของงานขุดดินและถมดินที่สัมพันธ์กับความลึกในการขุดดินหรือความสูงในการถมดิน

(ข้อ 4.2.1)

ประเภทงาน	ความลึก/ความสูง		ประเภทเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรม
	พื้นที่ทั่วไป	พื้นที่ดินเหนียวอ่อน	
งานขุดดิน	ความลึกน้อยกว่า 15 เมตร	ความลึกน้อยกว่า 5 เมตร	ไม่ต้องติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด (ตรวจวัดด้วยสายตา)
	ความลึกตั้งแต่ 15 ถึง 25 เมตร	ความลึกตั้งแต่ 5 ถึง 10 เมตร	หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments)
	ความลึกมากกว่า 25 เมตร	ความลึกมากกว่า 10 เมตร	1. หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments) และ 2. ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Inclinometers)
งานถมดิน	ความสูงน้อยกว่า 5 เมตร	ความสูงน้อยกว่า 4 เมตร	ไม่ต้องติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด (ตรวจวัดด้วยสายตา)
	ความสูงตั้งแต่ 5 ถึง 10 เมตร	ความสูงตั้งแต่ 4 ถึง 7 เมตร	หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments)
	ความสูงมากกว่า 10 เมตร	ความสูงมากกว่า 7 เมตร	1. หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments) และ 2. ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Inclinometers) และ 3. มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometers)

หมายเหตุ

ความลึกหรือความสูงที่แสดงในตารางที่ 1 เป็นค่าที่แนะนำสำหรับการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเพื่อความปลอดภัย โดยอาจพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบ เช่น พื้นที่ข้างเคียง ระยะเว้นจากเขตที่ดิน เป็นต้น ทั้งนี้ กฎกระทรวง กำหนดมาตรการป้องกันการพังทลายของดินหรือสิ่งปลูกสร้างในงานขุดดินหรือถมดิน พ.ศ. 2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543 กำหนดให้การขุดดินที่มีความลึกเกิน 20 เมตร ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดการเคลื่อนตัวของดิน

4.3 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรม

การกำหนดตำแหน่งการติตตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งวิกฤต หรือตำแหน่งที่เป็นตัวแทน เช่น จากการวิเคราะห์ความมั่นคงของพื้นที่ลาดเอียง การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำ เป็นต้น ดังนั้นบริเวณที่จะทำการตรวจวัดให้พิจารณา ดังนี้

(1) บริเวณที่มีความลึกในการขุด หรือความสูงในการถมมากที่สุด

(2) บริเวณที่มีน้ำหนักกระทำมากที่สุด

(3) บริเวณที่ชั้นดินมีความแข็งแรงน้อยที่สุด

(4) บริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการพังทลาย หรืออาจได้รับผลกระทบจากการพังทลาย เช่น มีรอยแตกร้าวปรากฏบนผิวดิน หรือบริเวณที่อยู่ใกล้กับสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

(5) บริเวณที่เป็นจุดเปรียบเทียบ ในกรณีที่ต้องการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมที่แตกต่างกันในส่วนต่างๆ ของพื้นที่ลาดเอียง

4.4 จำนวนเครื่องมือที่ต้องติดตั้ง

การตรวจวัดพฤติกรรมในแต่ละประเภทจะต้องมีปริมาณเครื่องมือที่ต้องติดตั้งไม่น้อยกว่าจำนวนดังต่อไปนี้

(1) ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง อย่างน้อย 1 ตำแหน่ง บริเวณขอบบ่อดินหรือด้านบนของเนินดิน

(2) หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน อย่างน้อย 3 ตำแหน่งต่อความลาดเอียง คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของพื้นที่ลาดเอียง

(3) มาตรวัดความดันน้ำ อย่างน้อย 1 ตำแหน่ง บริเวณขอบบ่อดินหรือด้านบนของเนินดิน

5. เครื่องมือสำหรับการตรวจวัดพฤติกรรมความลาดเอียง

5.1 เครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน

5.1.1 หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments)

หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดินเป็นเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนตัวภายนอกโดยการฝังหมุดที่มีความมั่นคงลงในบริเวณพื้นที่ลาดเอียง แล้วทำการตรวจวัดการเคลื่อนตัวโดยใช้เครื่องมือสำรวจพื้นฐาน เช่น กล้องวัดมุม หรือกล้องระดับ เป็นต้น

5.1.1.1 ข้อกำหนดทั่วไปของเครื่องมือ

(1) หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดินจะต้องมีความมั่นคง ทนทาน การวัดระดับและระยะการเคลื่อนตัวของหมุดจะต้องทำโดยวิธีการสำรวจที่มีความความละเอียดของการวัดไม่ต่ำกว่า ±10 มิลลิเมตร หรือได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร

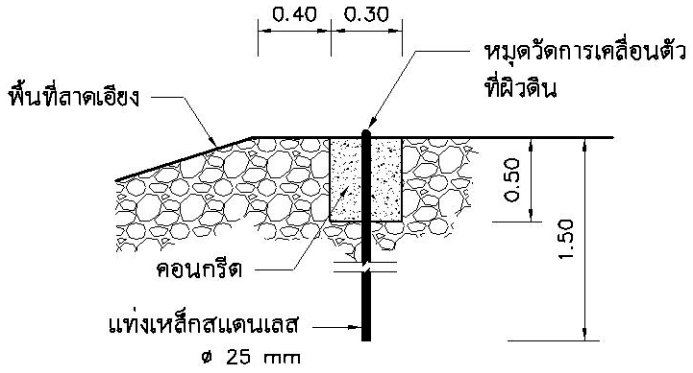
(2) หัวหมุดจะต้องโค้งมน โดยมีตำแหน่งสูงสุดอยู่ตรงกลางหมุด เพื่อให้การตรวจวัดอยู่ในตำแหน่งเดียวทุกครั้ง

5.1.1.2 การติดตั้ง

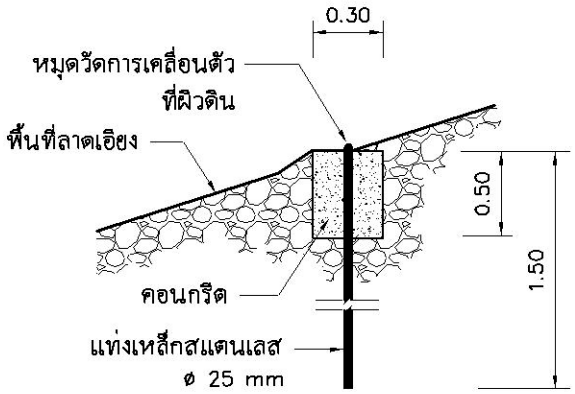
(1) หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดินจะต้องติดตั้งตามตำแหน่งและวิธีการที่กำหนดไว้ในแบบแปลนหรือรายการประกอบแบบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 หากไม่ได้กำหนด ให้ติดตั้งอย่างน้อย 3 ตำแหน่งต่อความลาดเอียง คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของพื้นที่ลาดเอียง หรือตามความเห็นชอบของวิศวกร

(2) หมุดวัดจะต้องมีหมายเลขกำกับที่ชัดเจน และเมื่อติดตั้งแล้วจะต้องไม่โยกคลอนและต้องป้องกันความเสียหายจากการขุดดินหรือถมดิน

(3) ทำการติดตั้งหมุดหลักฐาน (Reference Benchmark) โดยให้อยู่ภายนอกพื้นที่ลาดเอียงและไม่มีการเคลื่อนตัวของดิน



การติดตั้งบนพื้นที่ราบ



การติดตั้งบนพื้นที่ลาดเอียง

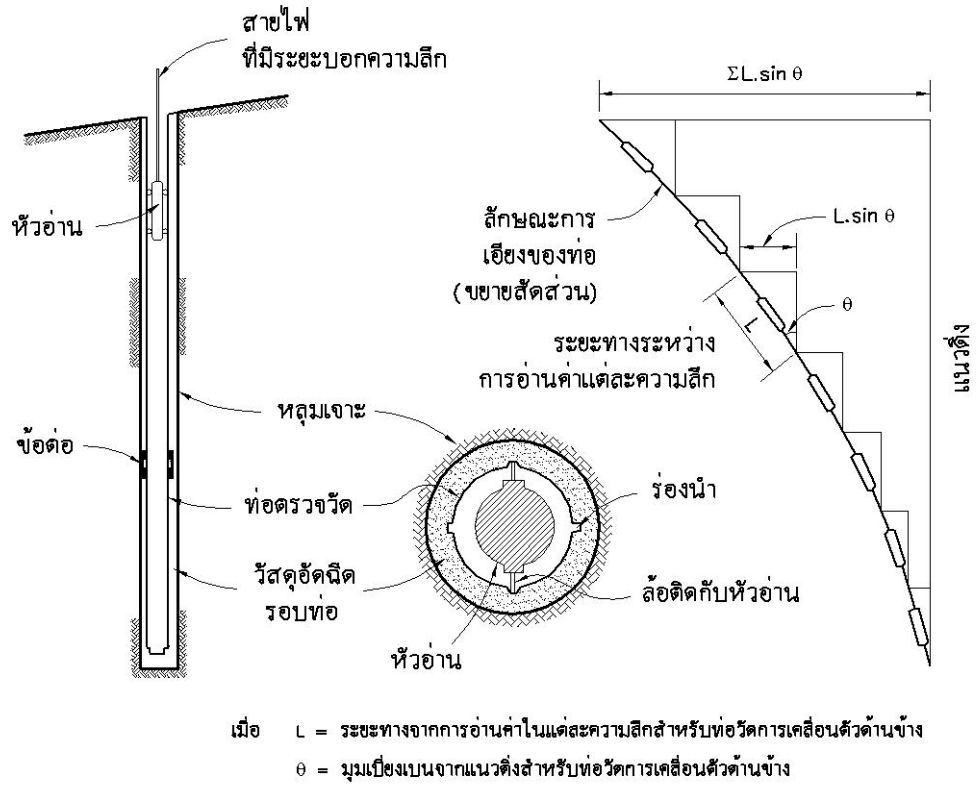
ที่มา : กรมชลประทาน (2536)

รูปที่ 1 ตัวอย่างการติดตั้งหมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน (Surface Monuments)

(ข้อ 5.1.1.2)

5.1.2 ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Inclinometers)

เป็นครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนที่ของมวลดินในแนวราบและความเอียงที่ทำมุมกับแนวดิ่ง โดยการใช้หัวอ่านซึ่งมีล้อเล็กๆ เคลื่อนที่ไปตามร่องนำภายในท่อที่อ่อนตัวได้ ซึ่งฝังไว้ในพื้นที่ลาดเอียงในแนวดิ่ง ท่อที่เป็น PVC หรืออลูมิเนียมจะสามารถเอียงหรือเคลื่อนที่ตามแนวราบไปพร้อมๆ กับมวลดินได้ และสามารถต่อท่อเป็นท่อนๆ ตามความลึกของการขุดหรือความสูงของงานถมดิน ภายในท่อจะมีร่องนำเป็นแนวตลอดความยาวอยู่ 4 แถว ทำมุม 90 เพื่อเป็นทางบังคับการเคลื่อนที่ของหัวอ่านให้เป็นไปตามทิศทางที่ต้องการ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 สำหรับหัวอ่านมักใช้ระบบ Magnetic Pendulum โดยการวัดความดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่ลูกตุ้มเบี่ยงเบนไปจากแนวดิ่ง แล้วแสดงค่าเป็นมุมหรือระยะจากแนวดิ่งต่อความสูงของหัวอ่าน



รูปที่ 2 ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Inclinometers)

(ข้อ 5.1.2)

5.1.2.1 ข้อกำหนดทั่วไปของเครื่องมือ

(1) ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างใช้สำหรับวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของดิน หรือโครงสร้างกันดินที่ระดับความลึกต่างๆ

(2) ท่อตรวจวัดต้องมีร่องนำ 2 คู่ ที่ตั้งฉากกัน โดยติดตั้งในหลุมเจาะ แล้วอัดฉีด (Grout) ด้วยวัสดุอัดฉีดเช่น ปูนทราย หรือทรายรอบๆ ท่อ ถ้าไม่มีการกำหนดเป็นอย่างอื่น ท่อตรวจวัดจะถูกติดตั้งให้แนวร่องนำคู่หนึ่งตั้งฉากกับทิศทางที่จะวัดการเคลื่อนตัว

(3) การวัดการเคลื่อนตัวจะทำโดยหย่อนหัวอ่านวัดการเอียงตัว (Probe) ที่มีลูกล้อนำทางลงไปในท่อตรวจวัด โดยลูกล้อจะเคลื่อนที่ตามแนวร่องนำ และวัดการเอียงตัวของท่อตรวจวัดในแนวร่องนำทั้งสองทิศทาง

(4) ท่อตรวจวัดต้องทำจากพลาสติกหรือวัสดุอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากวิศวกร โดยต้องมีขนาดสม่ำเสมอและมีร่องนำทางที่เป็นแนวเส้นตรงไม่บิวเบี้ยว ตลอดขั้นตอนผลิตจนถึงติดตั้ง ข้อต่อระหว่างท่อตรวจวัดจะต้องมั่นคงและแข็งแรง และร่องนำจะต้องเชื่อมต่อเนื่องกันเป็นแนวเส้นตรงอย่างแม่นยำ เพื่อให้

หัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านได้อย่างราบรื่นไม่สะดุด ปลายด้านล่างของท่อตรวจวัดจะต้องปิดด้วยฝาปิด ทั้งข้อต่อและฝาปิดจะต้องผนึกให้ดีจนสามารถป้องกันไม่ให้วัสดุอัดฉีด เข้าสู่ภายในท่อตรวจวัดได้

(5) หัวอ่านจะต้องสามารถวัดการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง (Biaxial) ด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 มิลลิเมตรต่อความยาว 25 เมตร หัวอ่านจะต้องเป็นเหล็กกันสนิมที่สามารถป้องกันไม่ให้น้ำสัมผัสกับอุปกรณ์ภายใน เมื่อหัวอ่านถูกหย่อนลงในท่อตรวจวัดจะต้องสามารถวัดตำแหน่งความลึกของหัวอ่านด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±10 มิลลิเมตร

5.1.2.2 การติดตั้ง

(1) ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างต้องอยู่ในตำแหน่งและความลึกที่กำหนดในแบบที่ได้รับการยอมรับจากวิศวกร หรือพิจารณาความลึกในการติดตั้งตามลำดับความสำคัญ ดังนี้

(1.1) ปลายท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างต้องอยู่ในชั้นดิน หรือหินที่ไม่เคลื่อนที่เมื่อมีการเคลื่อนตัวของพื้นที่ลาดเอียง

(1.2) ต้องลึกกว่าแนวการวิบัติของพื้นที่ลาดเอียงที่ได้จากการวิเคราะห์ หรือแนวการวิบัติที่เกิดจริงในสนาม

(1.3) ต้องมากกว่าความลึกในการขุดดิน หรือความสูงในการถมดิน

โดยให้พิจารณาความลึกจากข้อ (1.1) เป็นอันดับแรก ถ้าไม่สามารถปฏิบัติได้ให้ใช้ความลึกจากข้อ (1.2) และ (1.3) ตามลำดับ

(2) ในกรณีที่ติดตั้งในหลุมเจาะที่มีน้ำใต้ดิน ท่อตรวจวัดจะถูกหย่อนในหลุมเจาะซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าท่อตรวจวัด ปลายท่อด้านล่างของท่อตรวจวัดต้องมีฝาปิดและต้องเติมน้ำใส่ท่อตรวจวัดเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อลอย

(3) ในการต่อท่อ ให้ยึดท่อท่อนที่ถูกหย่อนลงในหลุมเจาะหรือท่อปลอกให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการที่ปากหลุม แล้วจึงต่อท่อนที่อยู่เหนือขึ้นไปและพันด้วยเทปปิดผนึกให้แน่น เพื่อไม่ให้วัสดุอัดฉีดไหลเข้าสู่ภายในท่อ หลังจากนั้นจึงทำการหย่อนท่อท่อนที่ต่อเรียบร้อยแล้วลงในหลุมเจาะ และทำการต่อท่อนต่อไปจนได้ความลึกที่ต้องการ เมื่อท่อตรวจวัดถูกติดตั้งแล้วเสร็จจะต้องทำการทดสอบความราบเรียบของท่อโดยใช้หัวอ่านสำรอง (Dummy) หย่อนลงไปในท่อตรวจวัดเพื่อทำการทดสอบว่าหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างราบเรียบตลอดความลึกของท่อหรือไม่

(4) หลังจากติดตั้งท่อตรวจวัดแล้ว ให้ทำการวัดมุมบิดของท่อ (Spiral Test) โดยใช้หัวอ่านวัดการบิดตัว เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าที่อ่านได้ภายหลัง ทั้งนี้มุมบิดของท่อต้องไม่เกินกว่าที่กำหนดโดยผู้ผลิต หลังจากนั้นจะต้องทำการวัดความเอียงเริ่มต้นของท่อตรวจวัดเพื่อใช้เป็นค่าฐานอ้างอิง (Reference) สำหรับตรวจวัด

การเคลื่อนตัวที่จะเกิดขึ้นจากการขุดดินหรือถมดินต่อไป ในการวัดการเคลื่อนตัวจะต้องใช้หัวอ่านตัวเดียวกับที่ใช้กำหนดฐานอ้างอิง

(5) ก่อนและหลังวัดการคลื่อนตัว จะต้องทำการวัดตำแหน่งและระดับของปลายท่อตรวจวัดโดยวิธีการตรวจวัดที่เหมาะสม ก่อนที่จะหย่อนหัวอ่านลงไปในท่อตรวจวัด จะต้องหย่อนหัวอ่านสำรอง (Dummy) ลงไป เพื่อตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ในท่อหรือไม่ หลังจากนั้นจึงหย่อนหัวอ่านจริงลงไปจนถึงปลายท่อ แล้วจึงดึงหัวอ่านขึ้น พร้อมทั้งอ่านความเอียงของท่อทุกๆ ระยะ 0.5 เมตร จนถึงปลายด้านบน หลังจากนั้นจึงทำการอ่านอีกครั้งหนึ่งโดยกลับหัวอ่าน 180 องศา

5.2 เครื่องมือตรวจวัดความดันน้ำในมวลดิน

ความดันน้ำในมวลดินจะมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมต่างๆ ของพื้นที่ลาดเอียง เช่น ความมั่นคงแข็งแรง การทรุดตัว การซึมน้ำ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องมีการตรวจวัดค่าความดันน้ำสำหรับพื้นที่ลาดเอียงที่มีความลึกหรือความสูงเกินกว่าเกณฑ์กำหนด

5.2.1 มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometers)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในสนามแบบเฉพาะความลึก โดยให้น้ำซึมผ่านตัวกลางที่เป็นวัสดุพรุนเข้าไปยังท่อตรวจวัด ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดในแบบต่างๆ มีผลทำให้ความรวดเร็วในการตอบสนองแตกต่างกัน

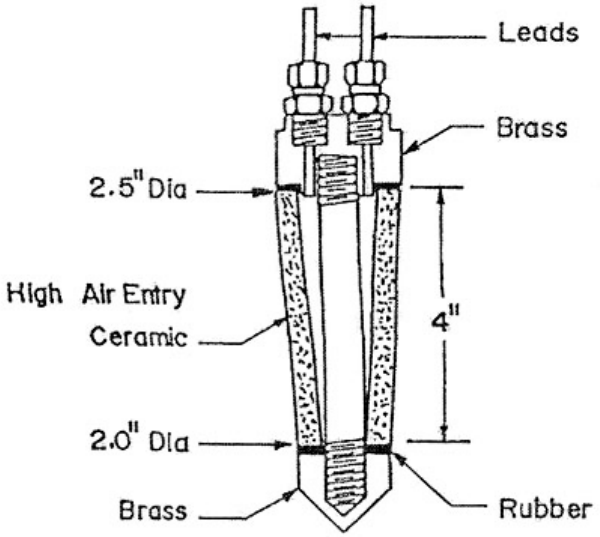
5.2.1.1 ข้อกำหนดของเครื่องมือ

(1) มาตรวัดความดันน้ำใช้สำหรับวัดความดันน้ำในดินที่ระดับความลึกที่กำหนด

(2) หัววัดความดันน้ำต้องเป็นวัสดุพรุน (Porous Material) หรือเซรามิคที่น้ำในดินสามารถซึมเข้าออกได้

(3) อุปกรณ์วัดความดัน มี 3 ประเภท คือ ประเภทไฮดรอลิค (Hydraulic Type) ประเภทใช้ความดันลม (Pneumatic Type) หรือประเภทใช้สัญญาณไฟฟ้า (Electric Type) ดังรูปที่ 3 ถึง 5 ตามลำดับ ซึ่งการใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความละเอียดที่ต้องการวัด

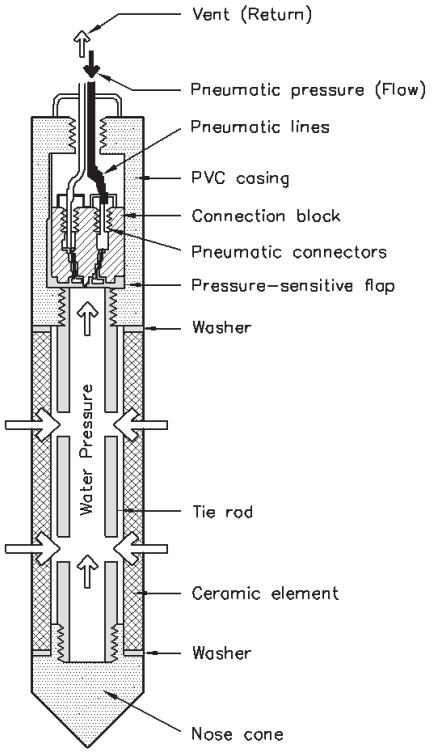
(4) หัววัดความดันน้ำต้องสะอาดไม่อุดตัน รอยต่อระหว่างท่อกับหัววัดความดันน้ำและระหว่างท่อกับท่อจะต้องไม่มีรอยรั่วซึม



ที่มา : Dunnicliff (1982)

รูปที่ 3 มาตรวัดความดันน้ำประเภทไฮดรอลิค (Hydraulic Piezometers)

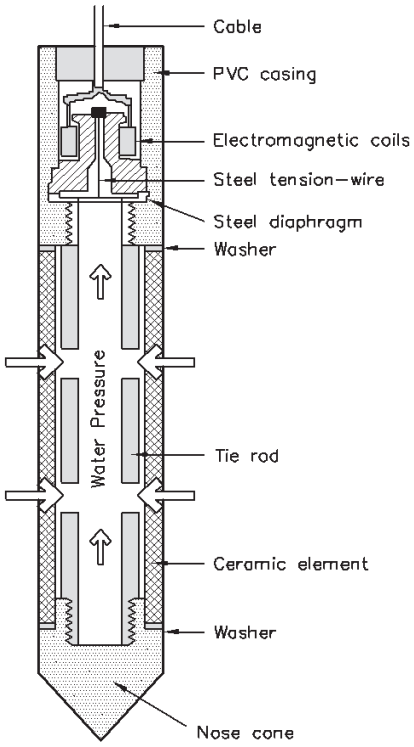
(ข้อ 5.2.1.1)



ที่มา : วรากร (2550)

รูปที่ 4 มาตรวัดความดันน้ำประเภทใช้ความดันลม (Pneumatic Piezometers)

(ข้อ 5.2.1.1)



ที่มา : วรากร (2550)

รูปที่ 5 มาตรวัดความดันน้ำประเภทใช้สัญญาณไฟฟ้า (Electric Piezometers)

(ข้อ 5.2.1.1)

5.2.1.2 การติดตั้ง

(1) ก่อนติดตั้งต้องตรวจสอบมาตรวัดความดันน้ำโดยการแช่หัววัดความดันน้ำในน้ำที่สะอาดที่ระดับความลึกต่างๆ แล้วทดสอบวัดความดันของน้ำที่ความลึกต่างๆ ความดันน้ำที่ทดสอบต้องอยู่ในช่วงที่คาดการณ์ว่าจะเกิดในสนาม

(2) มาตรวัดความดันน้ำแต่ละตัวจะต้องติดตั้งในหลุมเจาะที่แยกกัน การติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำต้องกระทำทันทีที่เจาะหลุมแล้วเสร็จ โดยต้องไม่เกิน 24 ชั่วโมงหลังจากเจาะหลุมถึงตำแหน่งที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อที่จะลดการเปลี่ยนแปลงสภาพของดินจากผลการเจาะดินให้น้อยที่สุด

(3) การเจาะจะต้องระมัดระวัง โดยจะต้องรบกวนการเปลี่ยนสภาพของดินน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ติดตั้งหัววัดความดันน้ำ ระหว่างการเจาะจะอนุญาตให้เติมเฉพาะน้ำสะอาดในหลุมเพื่อป้องกันหลุมเจาะพังเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้น้ำโคลนหรือโพลิเมอร์

5.3 เครื่องมือตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดิน

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนที่โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของจุด 2 จุด หรือมากกว่าในแนวแกนเดียวกัน โดยปกติจะติดตั้งบริเวณแนวรอยแยกหลัก (Main scarp) ในแนวขวางกับรอยแยกของ

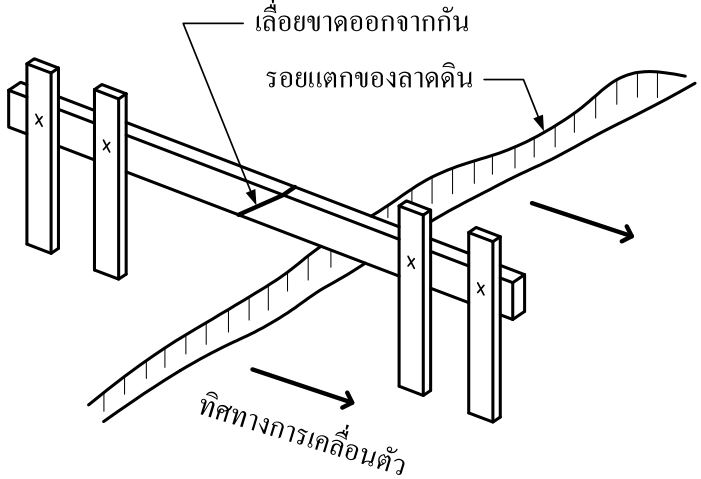
ดิน ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะสามารถบอกอัตราการขยายตัวของรอยแตกซึ่งมีผลโดยตรงกับการเคลื่อนตัวของพื้นที่ลาดเอียง โดยผลที่ได้จากการตรวจวัดอาจนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละวัน เพื่อหาสาเหตุของการเคลื่อนตัวว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนหรือไม่ ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแก้ไขต่อไป

5.3.1 ข้อกำหนดทั่วไปของเครื่องมือ

วัสดุที่ใช้ต้องมีความทนทาน ทำจากไม้เนื้อแข็งหรือโลหะ

5.3.2 การติดตั้ง

เครื่องมือตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดินทำโดยตอกหลักไม้หรือโลหะลงไปในดินไม่น้อยกว่า 0.5 เมตร บริเวณรอยแตก แล้วนำไม้ที่ถูกเลื่อยขาดออกจากกันมาตอกติดกับหลักไม้ โดยให้รอยขาดยังคงติดกันอยู่ แล้วสังเกตรอยขาดอย่างสม่ำเสมอโดยการวัดระยะเพื่อใช้ในการวัดการเคลื่อนตัวของลาดเอียง ดังรูปที่ 6



ที่มา : วรากร และคณะ (2546)

รูปที่ 6 เครื่องมือตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดิน

(ข้อ 5.3)

6. การบันทึกข้อมูลและการรายงานผลการตรวจวัดพฤติกรรม

6.1 ข้อมูลการติดตั้งเครื่องมือ

(1) หมายเลขเครื่องมือ ตำแหน่ง และระดับของเครื่องมือ

(2) ชื่อผู้ที่รับผิดชอบติดตั้งเครื่องมือ

(3) วันเวลาที่เริ่มติดตั้งและวันเวลาที่ติดตั้งแล้วเสร็จ

(4) สภาพสนามบริเวณที่ติดตั้ง

(5) แผนผังแสดงตำแหน่งของเครื่องมือ ตู้ควบคุม การเดินสายสัญญาณ

(6) รายละเอียดของการติดตั้ง

(7) ข้อมูลตรวจวัดเริ่มต้นเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ที่ใช้เป็นฐานอ้างอิง

(8) เอกสารรับรองผลการสอบเทียบเครื่องมือ

6.2 ข้อมูลที่ต้องตรวจวัด

(1) เตรียมแบบฟอร์มที่ใช้ในการบันทึก

(2) เครื่องมือที่ตรวจวัด พร้อมระบุหมายเลขอ้างอิงของเครื่องมือ หมายเลขอุปกรณ์อ่านผล

(3) วัน เวลา ที่ตรวจวัด

(4) ชื่อผู้ทำการตรวจวัด

(5) ตำแหน่งของเครื่องมือตรวจวัด

(6) กิจกรรมขณะตรวจวัด เช่น ความลึกของงานขุดดิน หรือระดับน้ำในบ่อขุด เป็นต้น

(7) สภาพอากาศ

6.3 ความถี่ของการตรวจวัด

การอ่านค่าในการตรวจวัดพฤติกรรม แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ

(1) อ่านค่าเริ่มต้น เมื่อติดตั้งเครื่องมือเสร็จเรียบร้อย

(2) เดือนแรกให้อ่านค่าทุกสัปดาห์ ในเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 3 ให้อ่านค่าทุกเดือน และในเดือนที่ 4 เป็นต้นไปให้อ่านค่าทุก 3 เดือน

(3) การอ่านค่าในสภาวะวิกฤตต่างๆ เช่น เมื่อฝนตกหนัก หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบริเวณบ่อขุดอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

6.4 การรายงานผลจากการตรวจวัด

6.4.1 ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องมือวัด

(1) รูปแปลนแสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง และรูปตัดแสดงความลึก

(2) วันที่ทำการติดตั้ง

(3) ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องมือ เช่น ค่าคงที่สำหรับการแปลผล หรือค่าปรับแก้ต่างๆ เป็นต้น

(4) ค่าเริ่มต้นจากการตรวจวัด

6.4.2 ข้อมูลผลการตรวจวัดพฤติกรรมในรูปแบบตารางและกราฟ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การรายงานผลจากการตรวจวัดพฤติกรรม

(ข้อ 6.4.2)

ชนิดเครื่องมือ	การแสดงผล ในรูปแบบของกราฟ	ตัวอย่างการประเมิน พฤติกรรม
หมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดิน	(1) การทรุดตัว กับ เวลา (2) การเคลื่อนตัวในแนวราบ	- การเคลื่อนตัวของผิวดินบริเวณต่างๆ เนื่องจากขั้นตอนการทำงาน หรือผลจากการเพิ่ม-ลดระดับน้ำในบ่อขุด
ท่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง	การเคลื่อนตัวแนวราบ กับ ความลึก	- การเคลื่อนตัวของพื้นที่ลาดเอียงแนวราบที่ระดับความลึกต่างๆ - ผลกระทบจากการขุดดินหรือถมดินในช่วงต่างๆ กับลักษณะการเคลื่อนตัว
มาตรวัดความดันน้ำ	ค่าความดันน้ำ กับ เวลา	- ค่าความดันน้ำในสภาวะต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบหรือออกแบบแก้ไขพื้นที่ลาดเอียง

6.5 หลักเกณฑ์การตรวจสอบ

เกณฑ์สำหรับการควบคุมการเคลื่อนตัว กำหนดโดยผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ สิ่งก่อสร้าง และความเสี่ยงโดยรอบของพื้นที่งานขุดและงานถม ซึ่งจะต้องแบ่งระดับการเตือนภัยออกเป็น 3 ระดับ คือ

(1) เฝ้าระวัง เมื่อการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้เท่ากับร้อยละ 50 ของค่าที่ได้จากการคำนวณ

(2) หยุดงานขุดดินหรือถมดินชั่วคราว เมื่อการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้เท่ากับร้อยละ 70 ของค่าที่ได้จากการคำนวณ เพื่อตรวจสอบรายการคำนวณอีกครั้ง

(3) หยุดงานขุดดินหรือถมดิน เมื่อการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้เท่ากับร้อยละ 90 ของค่าที่ได้จากการคำนวณ สำหรับกรณีนี้ต้องทำการออกแบบใหม่เพื่อลดการเคลื่อนตัว

7. แนวทางปฏิบัติเมื่อมีการเคลื่อนตัวหรือการวิบัติของพื้นที่ลาดเอียง

7.1 เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนตัวหรือรอยแตกร้าวบนผิวดิน

(1) แจ้งเตือนประชาชนโดยรอบพื้นที่ลาดเอียง และเคลื่อนย้ายสิ่งของออกจากบริเวณที่มีโอกาสการวิบัติมากกว่า 3 เท่าของความลึกในของขุดหรือความสูงในการถมดิน

(2) ตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนตัวและตำแหน่งรอยร้าว เพื่อใช้กำหนดวิธีการป้องกันการพังทลาย

(3) เพิ่มเสถียรภาพให้พื้นที่ลาดเอียงโดยใช้หลักการเพิ่มแรงต้านทาน หรือการลดน้ำหนักกระทำโดยให้มีการกระทบกระเทือนกับพื้นที่ลาดเอียงน้อยที่สุด ตาม มยผ. 1912 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(4) ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรม

7.2 เมื่อพื้นที่ลาดเอียงเกิดการวิบัติแล้ว

(1) ตรวจสอบลักษณะการวิบัติ และวิเคราะห์หาสาเหตุการวิบัติ

(2) เพิ่มเสถียรภาพให้พื้นที่ลาดเอียงโดยใช้หลักการเพิ่มแรงต้านทาน หรือการลดน้ำหนักกระทำโดยให้มีการกระทบกระเทือนกับพื้นที่ลาดเอียงน้อยที่สุด ตาม มยผ. 1912 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

(3) ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรม

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 กรมชลประทาน. 2536. แบบเครื่องมือวัดพฤติกรรมของเขื่อนมูลบน. กองการออกแบบ กรมชลประทาน.โดยความเห็นชอบของที่ปรึกษาโครงการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

8.2 วรากร ไม้เรียง. 2550. การตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

8.3 วรากร ไม้เรียง และคณะ. 2546. โครงการวิจัยการพัฒนาแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม, ภายใต้การสนับสนุนของฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

8.4 Dunnicliff, J. 1982. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. Nat,Coop. Highway Res. Program, Synthesis of Highway Practice 89. Transp. Res. Board.

มยผ. 1914-52

มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

(Standard of Drainage for Fill)

มยผ. 1914-52

มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

(Standard of Drainage for Fill)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดินนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดและวิธีการคำนวณการระบายน้ำเพื่อไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนแก่เจ้าของที่ดินที่อยู่ข้างเคียงหรือบุคคลอื่น ประกอบการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543

1.2 มาตรฐานนี้เป็นการกำหนดวิธีการระบายน้ำด้วยระบบท่อหรือรางระบายสำหรับน้ำผิวดินเท่านั้น

1.3 การออกแบบการระบายน้ำในพื้นที่ถมดินใช้หลักการออกแบบการระบายน้ำฝนตามหลักวิศวกรรมสุขาภิบาล โดยการคำนวณปริมาณน้ำไหลนองที่เกิดขึ้นในพื้นที่ดินถม แล้วนำปริมาณน้ำไหลนองไปใช้ออกแบบท่อและรางระบายน้ำ

1.4 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 10 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

"การระบายน้ำสำหรับงานถมดิน" หมายถึง การระบายน้ำที่เกิดจากการไหลมารวมกันจากพื้นที่ดินถม หรือเกิดจากการถมดินขวางทางน้ำเดิม

"คาบการเกิดซ้ำ (Return Period)" หมายถึง รอบการเกิดซ้ำของฝนออกแบบ มีหน่วยเป็นปี

"เวลาทางเข้า (Inlet Time)" หมายถึง เวลาที่น้ำฝนใช้เดินทางหลังจากตกลงมาจนถึงทางเข้าท่อระบายน้ำหรือรางระบายน้ำ

2.2 สัญลักษณ์

A = พื้นที่รับน้ำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

A_p = พื้นที่หน้าตัดสำหรับการระบายน้ำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

C = สัมประสิทธิ์การไหลนอง (Runoff Coefficient)

I = ความเข้มฝน (Rainfall Intensity) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง

L = ความยาวของท่อหรือทางระบายน้ำ มีหน่วยเป็นเมตร

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Roughness Coefficient)

Q = อัตราการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

q = อัตราการไหลสำหรับออกแบบท่อหรือรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ของท่อ หรือรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็นเมตร

S = ความลาดเอียงของท่อ หรือรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็นร้อยละ

P = เส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) มีหน่วยเป็นเมตร

T_c = เวลาของการรวมจุด (Time of Concentration) มีหน่วยเป็นนาที

3. ข้อกำหนดทั่วไปของการระบายน้ำ

3.1 การระบายน้ำสำหรับการถมดินโดยใช้ท่อหรือรางระบายน้ำต้องได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

3.2 การระบายน้ำสำหรับการถมดินลงสู่แหล่งรองรับน้ำ ต้องได้รับอนุญาตหรือยินยอมจากผู้ดูแลรับผิดชอบแหล่งรองรับน้ำทิ้งนั้นๆ

3.3 ปริมาณน้ำที่ออกจากระบบการระบายน้ำไปสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง คู คลอง หรือทางน้ำสาธารณะอื่นใดต้องไม่ให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินข้างเคียง

3.4 การเลือกใช้ระบบระบายน้ำขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้พื้นที่ ความคงทนถาวรของระบบระบายน้ำและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เช่น รางระบายน้ำแบบดินบดอัดมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการระบายน้ำด้วยท่อคอนกรีต แต่มีความคงทนน้อยกว่า อาจเหมาะกับพื้นที่ถมดินที่ใช้เป็นการชั่วคราว ในขณะที่ระบบระบายน้ำที่จะเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างถาวรควรเลือกใช้ระบบที่มีความคงทนกว่า เช่น รางระบายน้ำแบบดาดคอนกรีต หรือท่อคอนกรีต

3.5 ระบบการระบายน้ำสำหรับการถมดินประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

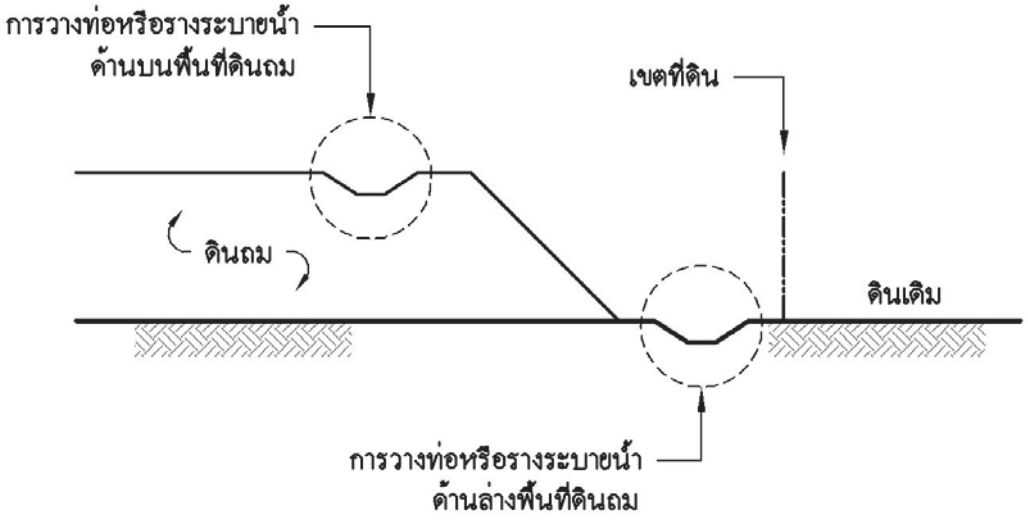
(1) ท่อระบายน้ำหรือรางระบายน้ำ และบ่อพัก (พร้อมฝา)

(2) บ่อสูบหรือสถานีสูบ (ถ้ามี) ภายในต้องมีเครื่องสูบน้ำ ตะแกรงดักขยะ และบริเวณดักเศษดินทราย

(3) แหล่งรองรับน้ำทิ้งจากการระบายน้ำ อาจเป็นทางน้ำสาธารณะ ระบบระบายน้ำสาธารณะ บ่อพักน้ำ (Retention Pond) หรือพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตให้ระบายน้ำโดยไม่ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ

(4) กรณีที่ระดับน้ำสูงสุดของแหล่งรองรับน้ำทิ้งสูงกว่าระดับท่อน้ำบ่อสูบหรือสถานีสูบน้ำ ให้ก่อสร้างบานประตูระบายน้ำ เปิด – ปิด

3.6 ตำแหน่งการวางท่อหรือรางระบายน้ำ สามารถวางได้ทั้งด้านบนหรือด้านล่างพื้นที่ดินถมขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ดังรูปที่ 1 ทั้งนี้กรณีวางระบบระบายน้ำด้านบนพื้นที่ดินถมต้องคำนึงถึงผลกระทบจากการซึมของน้ำซึ่งมีผลทำให้ดินถมสูญเสียกำลัง



รูปที่ 1 ตำแหน่งการวางระบบระบายน้ำบนพื้นที่ดินถม

(ข้อ 3.6)

4. การระบายน้ำกรณีไม่มีการคำนวณและพื้นที่ถมดินไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร

การระบายน้ำสำหรับพื้นที่ถมดินไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร สามารถทำได้โดยใช้ระบบท่อหรือรางระบายน้ำตามข้อ 4.1 หากต้องการใช้ท่อหรือรางระบายน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถทำได้โดยการคำนวณตามข้อ 5

4.1 ขนาดท่อและรางระบายน้ำ

4.1.1 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบท่อและรางระบายน้ำ

4.2.1.1 ท่อระบายน้ำ

(1) ท่อระบายน้ำที่นำมาจัดทำระบบการระบายน้ำจะต้องปราศจากรอยร้าว มีผิวเรียบ แต่อาจมีตำหนิที่ปากได้เล็กน้อยถ้าไม่ทำให้เกิดความเสียหายในการต่อท่อระบายน้ำ โดยท่อต้องทำจากวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำเสียและน้ำฝนได้ เช่น ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อซีเมนต์ใยหิน เป็นต้น และท่อระบายน้ำต้องรับน้ำหนักกดจากพื้นที่ด้านบน เช่น วัสดุถม โครงสร้าง และยานพาหนะที่สัญจรผ่านไปโดยไม่เสียหาย เป็นต้น

(2) สำหรับพื้นที่ถมดินที่มีขนาดไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร ให้ใช้ขนาดท่อระบายน้ำดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดท่อระบายน้ำที่ใช้กับพื้นที่ดินถมที่มีขนาดไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร

(ข้อ 4.2.1.1(2))

ขนาดพื้นที่ดินถม (ตารางเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบายน้ำ (เซนติเมตร)
< 1,000	20
1,000 - 2,000	40

หมายเหตุ เป็นการกำหนดจากลักษณะพื้นที่รับน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยแบ่งการระบายน้ำออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ใช้ความเข้มฝนเฉลี่ย 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี ช่วงเวลาฝนตก 15 นาที

(3) ระดับความลาดเอียงของท่อระบายน้ำต้องไม่ต่ำกว่า 1 : 500 (ดิ่ง : ราบ)

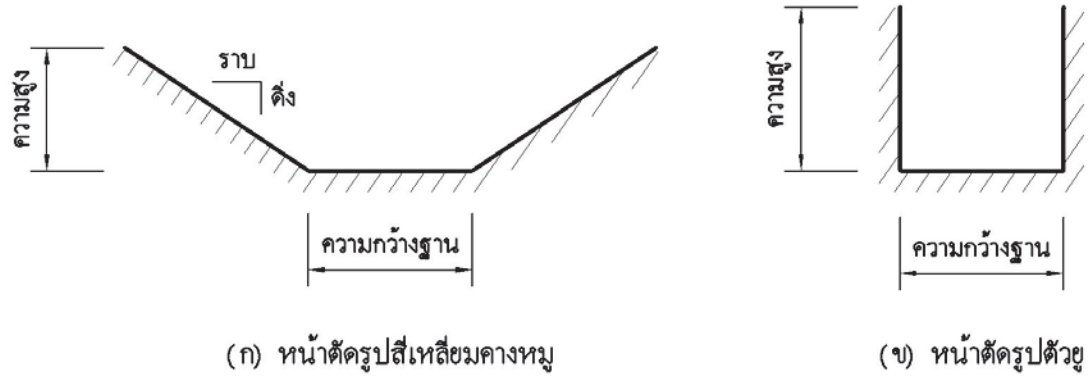
(4) ต้องจัดตำแหน่งจุดรับน้ำให้เพียงพอ หรือปรับระดับพื้นที่ดินถมเพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำลงบ่อตรวจระบาย

4.2.1.2 รางระบายน้ำ

(1) รางระบายน้ำสามารถใช้แบบดาดคอนกรีต (Concrete Lining) มีความหนาไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร หรือใช้ดินธรรมชาติบดอัด

(2) รางระบายน้ำแบบดาดคอนกรีตสามารถใช้หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือหน้าตัดรูปตัวยู (U) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2 และตารางที่ 2

(3) ระดับความลาดเอียงของรางระบายน้ำ ต้องไม่ต่ำกว่า 1 : 500 (ดิ่ง : ราบ)



รูปที่ 2 มิติรางระบายสำหรับพื้นที่ดินถมขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร

(ข้อ 4.2.1.2(2))

ตารางที่ 2 ขนาดรางระบายน้ำที่ใช้กับพื้นที่ดินถมที่มีขนาดไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร

(ข้อ 4.2.1.2(2))

ขนาดพื้นที่ดินถม (ตารางเมตร)	ขนาดรางระบายน้ำ (เซนติเมตร)				
	หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู			หน้าตัดรูปตัวยู	
	ความกว้างฐาน	ความสูง	ความชันด้านข้าง (ดิ่ง : ราบ)	ความกว้างฐาน	ความสูง
< 1,000	30	20	1 : 1.5	40	30
1,000 - 2,000	40	30	1 : 1.5	40	30

หมายเหตุ เป็นการกำหนดจากลักษณะพื้นที่รับน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยแบ่งการระบายน้ำออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ใช้ความเข้มฝนเฉลี่ย 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี ช่วงเวลาฝนตก 15 นาที

5. การระบายน้ำกรณีมีการคำนวณระบบระบายน้ำ

การคำนวณระบบระบายน้ำสำหรับพื้นที่ดินถมทุกขนาด สามารถทำได้โดยใช้ระบบท่อหรือรางระบายน้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

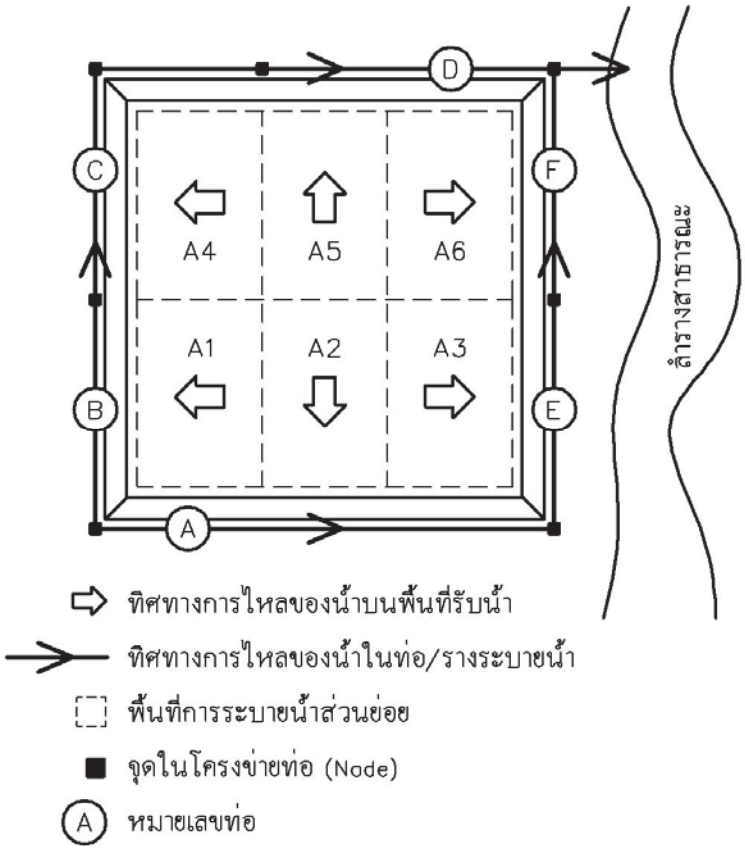
5.1.1 ข้อมูลพื้นฐาน ผู้ออกแบบจะต้องจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ สภาพท้องถิ่น สำหรับข้อมูลการออกแบบท่อระบายน้ำต้องประกอบด้วย

- ขนาดพื้นที่ถมดิน
- ข้อมูลค่าระดับพื้นที่ ลักษณะพื้นผิวของพื้นที่ถมดิน และสภาพภูมิประเทศ
- จุดระบายน้ำออก ทางระบายน้ำสาธารณะหรือจุดเชื่อมท่อต่างๆ

5.1.2 การวางผังระบบระบายน้ำและผังสำหรับการคำนวณ

- วางผังกำหนดทิศทางการระบายน้ำในพื้นที่
- เลือกทางออก (Outlet) ที่จะระบายน้ำออกจากพื้นที่เป้าหมายของท่อระบายน้ำ
- กำหนดจุด (Node) ในโครงข่ายท่อที่จะออกแบบให้สัมพันธ์กับการต่อเชื่อมและขนาดพื้นที่การระบายน้ำ โดยจุดในโครงข่ายท่อมีไว้เพื่อการแบ่งช่วงการคำนวณขนาดท่อและอาจเป็นตำแหน่งที่ใช้วางบ่อสำหรับตรวจการระบาย (Manhole)

- สร้างผังออกแบบระบบระบายน้ำ ประกอบด้วยจุด (Node) ทิศทางการไหล และจุดระบายออก เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังระบบระบายน้ำสำหรับการคำนวณ

(ข้อ 5.1.2)

5.2 การคำนวณปริมาณน้ำไหลนอง

5.2.1 ข้อกำหนดสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำไหลนอง

5.2.1.1 ปริมาณน้ำฝนใช้เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนในรอบ 5 ปี (คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี) หรือนานกว่าโดยใช้ปริมาณน้ำฝนของท้องที่นั้น

5.2.1.2 ระบบระบายน้ำต้องออกแบบให้รับปริมาณน้ำไหลซึม (จากน้ำใต้ดิน) เข้าระบบระบายน้ำไม่ต่ำกว่า 20 ลูกบาศก์เมตร ต่อความยาวท่อระบายน้ำ 1 กิโลเมตรต่อวัน

5.2.2 วิธีการคำนวณปริมาณน้ำไหลนอง

หลักการคำนวณปริมาณน้ำไหลนอง หรืออัตราการไหลสูงสุด (Q) จะกำหนดให้บริเวณน้ำไหลนองมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนโดยให้มีสัดส่วนน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่วิธีการหาปริมาณน้ำไหลนองดังกล่าวเรียกว่า “วิธีเรชั่นแนล” (Rational Method) โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$Q = \frac{CIA}{3.6 \times 10^6} \quad \text{..... (1)}$$

ทั้งนี้ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสามารถคำนวณได้โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ ดังนี้

5.2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ถมดินที่มีผิวดินแบบต่างๆ สามารถเลือกใช้ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ผิวแบบต่างๆ

(ข้อ 5.2.2.1)

ลักษณะพื้นที่ผิว	สัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)
พื้นที่ดินถมที่เป็นดินทราย (น้ำซึมได้ง่าย)	
- เรียบ - ลาด 2%	0.05-0.10
- ลาด 2 - 7%	0.10-0.15
- ชัน ลาด 7% ขึ้นไป	0.15-0.20
พื้นที่ดินถมที่เป็นดินแน่น (น้ำซึมได้ยาก)	
- เรียบ - ลาด 2%	0.13-0.17
- ลาด 2 - 7%	0.18-0.22
- ชัน ลาด 7% ขึ้นไป	0.25-0.35

ที่มา : Fair, Geyer & Okun (1966)

5.2.2.2 ค่าความเข้มฝนเฉลี่ย (I)

ความเข้มฝนเฉลี่ยต้องพิจารณาเป็นการเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝนสามารถหาได้จากกราฟในรูปผนวกที่ 1 ถึง 3 หรือจากสมการในตาราง ภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างการหาความเข้มฝนเฉลี่ยโดยสมการของจังหวัดชัยนาทที่ความเข้มฝนคาบ 5 ปี ใช้ความสัมพันธ์ $I_5 = 3652/(T_c+22)^{0.94}$ เป็นต้น หรือสามารถหาข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ เป็นต้น

เวลาของการรวมจุด (Time of Concentration, T_c) ที่ใช้ในการหาค่าความเข้มฝนจากกราฟหรือสมการในภาคผนวก ประกอบด้วยเวลาทางเข้า (Inlet Time) รวมกับเวลาที่น้ำเดินทางในท่อหรือรางระบายน้ำจากจุดทางเข้าถึงจุดทางออกที่พิจารณา เวลาที่น้ำเดินทางในท่อคำนวณจากคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของท่อ สำหรับมาตรฐานนี้กำหนดให้เวลาทางเข้า เท่ากับ 15 นาทีและความเร็วการไหลในท่อเท่ากับ 45 เมตรต่อ

นาที ซึ่งเป็นความเร็วน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการตกตะกอนในท่อ เวลาของการรวมจุดจึงสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$T_c = 15 + \frac{L}{45} \quad \text{..... (2)}$$

5.2.2.3 พื้นที่การระบายน้ำ (A)

หาจากการวัดจากพื้นที่ที่ทำการถมดินตามขนาดจริง

5.3 การคำนวณขนาดท่อและรางระบายน้ำ

5.3.1 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบท่อและรางระบายน้ำ

5.3.1.1 ท่อระบายน้ำ

(1) ท่อระบายน้ำที่นำมาจัดทำระบบการระบายน้ำจะต้องมีลักษณะปราศจากรอยร้าว มีผิวเรียบ แต่อาจมีตำหนิที่ปากได้เล็กน้อยถ้าไม่ทำให้เกิดความเสียหายในการต่อท่อระบายน้ำโดยท่อต้องทำจากวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำเสียและน้ำฝนได้ และต้องรับน้ำหนักกดจากพื้นที่ด้านบน เช่น วัสดุถม โครงสร้าง และยานพาหนะที่สัญจรผ่านไปโดยไม่เสียหาย เป็นต้น

(2) ระดับความลาดเอียงของท่อระบายน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 40 เซนติเมตรต้องไม่ต่ำกว่า 1 : 500 (ดิ่ง : ราบ) และของท่อระบายน้ำขนาดใหญ่กว่าต้องไม่ต่ำกว่า 1 : 1,000 (ดิ่ง : ราบ)

5.3.1.2 รางระบายน้ำ

(1) รางระบายน้ำต้องทำจากวัสดุที่ไม่เกิดการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำ

(2) ขนาดรางระบายน้ำขึ้นอยู่กับขนาดที่ได้จากการคำนวณ

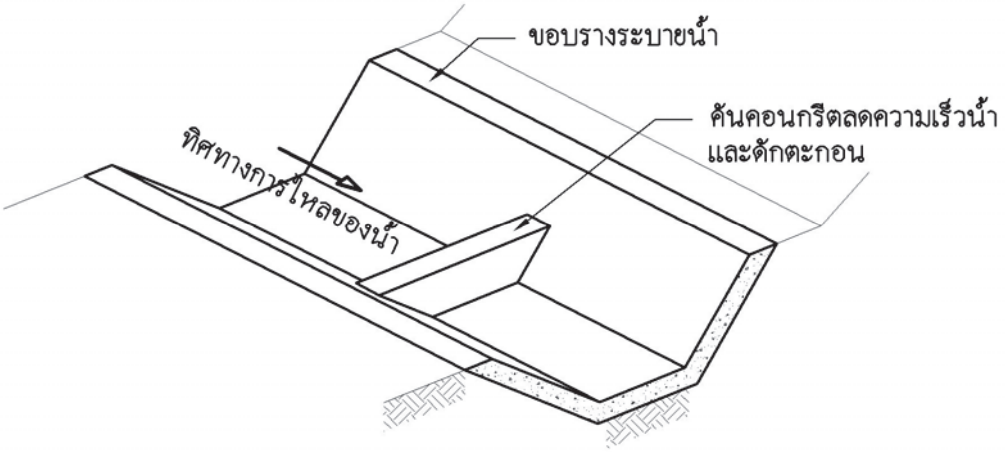
(3) การไหลของน้ำในรางระบายน้ำ มีหลักเกณฑ์ดังนี้

- รางระบายน้ำคอนกรีตต้องมีความเร็วการไหลของน้ำตั้งแต่ 0.60 เมตรต่อวินาที แต่ไม่เกิน 3.00 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงการตกตะกอนและการกัดเซาะดินด้วย

- รางระบายน้ำดินต้องมีความเร็วการไหลของน้ำตั้งแต่ 0.40 เมตรต่อวินาที แต่ไม่เกิน 1.00 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงการตกตะกอนและการกัดเซาะดินด้วย

(4) ระดับความลาดเอียงของรางระบายน้ำ ต้องไม่ต่ำกว่า 1 : 500 (ดิ่ง : ราบ)

(5) การควบคุมความเร็วการไหลของน้ำ สามารถทำได้โดยใช้คันคอนกรีตกั้นรางระบายน้ำในช่วงที่รางระบายน้ำมีความลาดเอียงมาก นอกจากนั้นยังเป็นการดักตะกอนที่ไหลมากับน้ำอีกด้วย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบลดความเร็วน้ำ และดักตะกอน

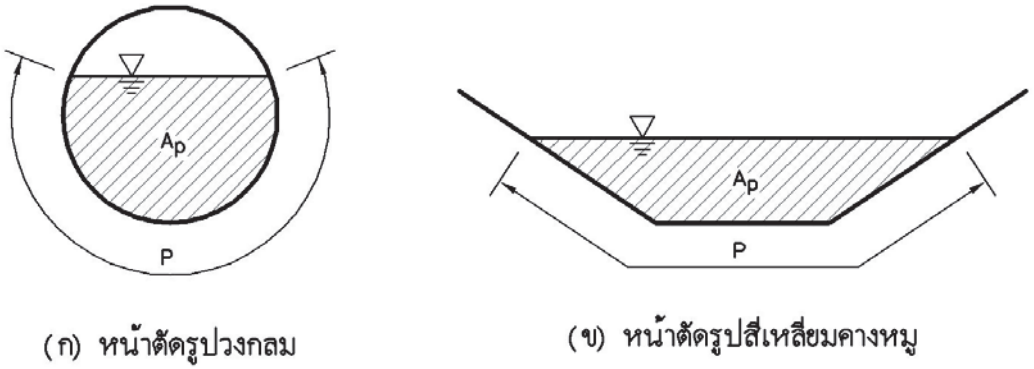
(ข้อ 5.3.1.2(5))

5.3.2 การออกแบบท่อระบายน้ำ

จากปริมาณน้ำไหลนอง (Q) หาค่าอัตราการไหลสำหรับออกแบบจากผังระบบระบายน้ำ แล้วคำนวณหาหน้าตัดของท่อหรือรางระบายน้ำจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระสำหรับท่อคอนกรีต (n) เท่ากับ 0.016 (Linsley et al., 1982)

$$q = \frac{A_p}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad \text{..... (3)}$$

โดยที่ $R = \frac{A_p}{P}$ ซึ่งแสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดสำหรับการระบายน้ำและเส้นขอบเปียกดังรูปที่ 5 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในท่อกับค่ารัศมีชลศาสตร์ของท่อระบายน้ำดังตารางที่ 4



รูปที่ 5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับการระบายน้ำและเส้นขอบเปียก

(ข้อ 5.3.2)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในท่อกับค่ารัศมีชลศาสตร์ของท่อระบายน้ำ

(ข้อ 5.3.2)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (เมตร)	ปริมาณน้ำในท่อ (ร้อยละ)	ความสูงของน้ำ (เมตร)	พื้นที่หน้าตัดสำหรับการระบายน้ำ (ตารางเมตร)	ความยาวเส้นขอบเปียก (เมตร)	รัศมีชลศาสตร์ของท่อ (เมตร)
0.2	25	0.060	0.008	0.231	0.034
	50	0.100	0.016	0.314	0.050
	75	0.140	0.024	0.397	0.059
	100	0.200	0.031	0.628	0.050
0.3	25	0.089	0.018	0.346	0.051
	50	0.150	0.035	0.471	0.075
	75	0.211	0.053	0.596	0.089
	100	0.300	0.071	0.942	0.075
0.4	25	0.119	0.031	0.462	0.068
	50	0.200	0.063	0.628	0.100
	75	0.281	0.094	0.795	0.119
	100	0.400	0.126	1.257	0.100
0.6	25	0.179	0.071	0.693	0.102
	50	0.300	0.141	0.942	0.150
	75	0.421	0.212	1.192	0.178
	100	0.600	0.283	1.885	0.150
0.8	25	0.238	0.126	0.924	0.136
	50	0.400	0.251	1.257	0.200
	75	0.562	0.377	1.589	0.237
	100	0.800	0.503	2.513	0.200
1.0	25	0.298	0.196	1.155	0.170
	50	0.500	0.393	1.571	0.250
	75	0.702	0.589	1.987	0.297
	100	1.000	0.785	3.142	0.250

5.3.3 การออกแบบรางระบายน้ำ

วิธีการคำนวณสำหรับออกแบบรางระบายน้ำสามารถใช้วิธีการคำนวณแบบเดียวกับการออกแบบท่อระบายน้ำ โดยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้ให้กำหนดเป็นความกว้างฐานและความลึกของรางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู และความลาดเอียงของขอบรางเท่ากับ 1 : 1.5 (ดิ่ง : ราบ) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระสำหรับรางระบายน้ำคอนกรีต (n) เท่ากับ 0.016 และรางดินบดอัดเท่ากับ 0.035 (Linsley et al., 1982)

5.4 บ่อสำหรับตรวจการระบายน้ำ (Manhole)

5.4.1 บ่อตรวจระบายมีไว้เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำความสะอาด ล้วงท่อ และตักกรวดทรายที่จมตัวอยู่ในระบบ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบท่อระบายน้ำ และต้องมีทุกจุดที่มีการเปลี่ยนขนาดท่อและทุกระยะความยาวที่กำหนด

5.4.2 บ่อตรวจระบายต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับท่อระบายน้ำ โดยความกว้างภายในบ่อต้องไม่น้อยกว่าขนาดท่อระบายน้ำ

5.4.3 ระยะห่างระหว่างบ่อตรวจระบายต้องไม่เกิน 50 เมตร โดยเพิ่มเติมในตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนขนาดท่อและจุดบรรจบของท่อ หรือเมื่อต้องการเพิ่มจุดรับน้ำจากพื้นที่ดินถม

6. การรายงานผล

6.1 การรายงานผลการออกแบบระบบระบายน้ำ ประกอบด้วย

(1) ผังระบบระบายน้ำ

(2) ขนาดท่อหรือรางระบายน้ำที่ใช้

(3) ตำแหน่งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง

(4) รายการคำนวณระบบระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ถมดินมากกว่า 2,000 ตารางเมตร

6.2 สำหรับพื้นที่ถมดินมากกว่า 2,000 ตารางเมตร รายการคำนวณระบบระบายน้ำ ประกอบด้วย

(1) กราฟน้ำฝนออกแบบ หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณน้ำฝน - น้ำท่า

(2) พื้นที่รองรับน้ำฝน หรือพื้นที่ระบายน้ำฝนลงสู่ท่อหรือรางระบายน้ำ (ในหน่วยตารางเมตร หรือตารางกิโลเมตร) พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองประจำพื้นที่รองรับน้ำฝน

(3) สมการที่ใช้ในการคำนวณชลศาสตร์การไหลของน้ำในท่อ หรือรางระบายน้ำ

(4) ปริมาณน้ำท่าที่จะเข้าสู่ท่อ หรือรางระบายน้ำ (ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

(5) ขนาดของท่อ หรือรางระบายน้ำในแต่ละส่วนของระบบระบายน้ำ

(6) ความลาดเอียงของท่อหรือรางระบายน้ำ

(7) ความเร็วของการไหลของน้ำในท่อ หรือรางระบายน้ำ

(8) ความลึกของท้องท่อ หรือรางระบายน้ำ (Invert Elevation)

รายการทั้งหมดนี้ต้องจัดทำขึ้นตามมาตรฐานทางวิศวกรรมและสอดคล้องกับรายการคำนวณทางวิชาการที่สามารถตรวจสอบความเพียงพอและความมั่นคงแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในระบบได้ โดยผู้ได้รับใบอนุญาตให้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2530. คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย.

7.2 สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร. คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำสำหรับหมู่บ้านจัดสรรในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.

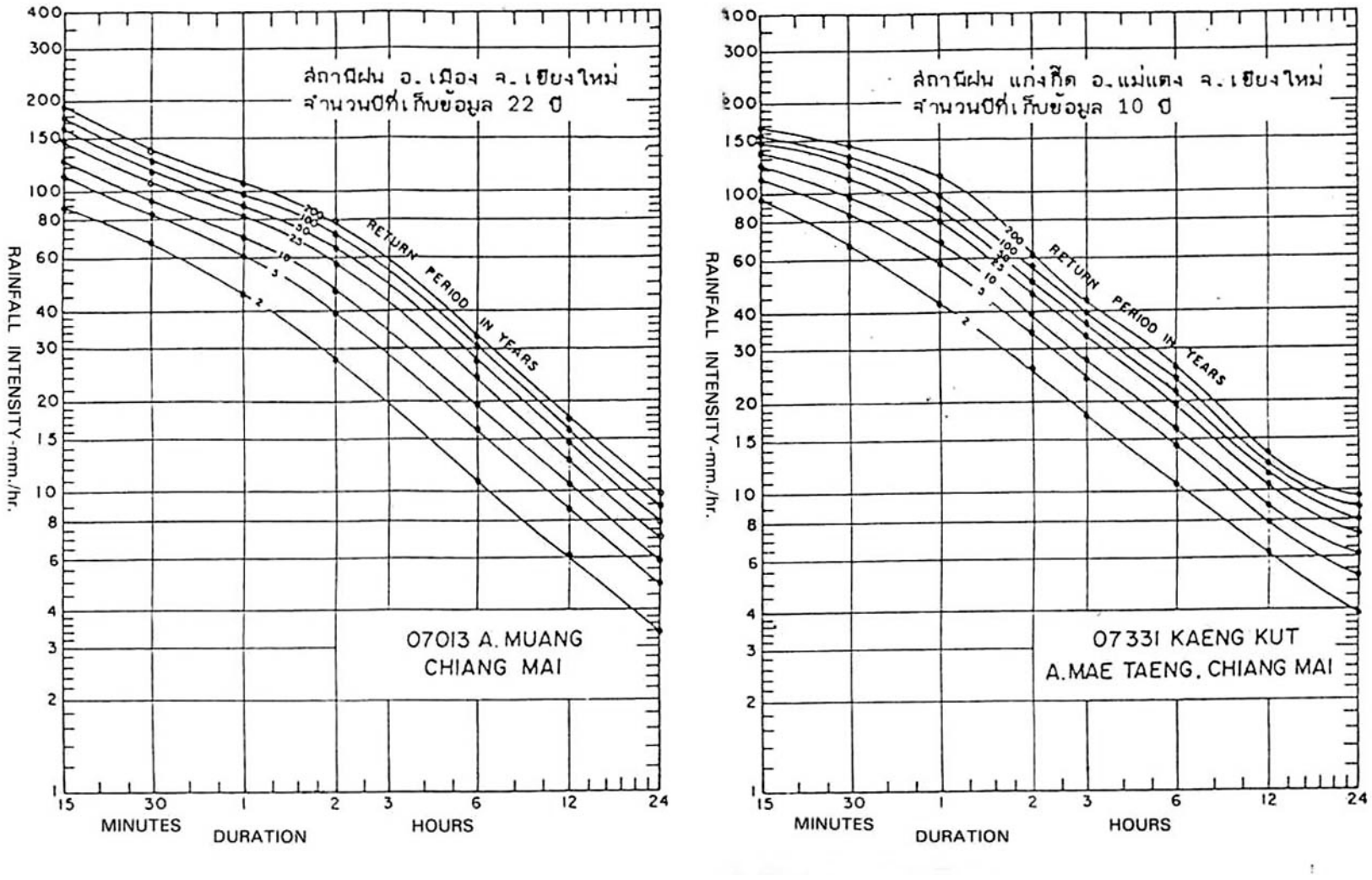
7.3 Fair, Geyer & Okun. 1966. “Water and Waste water Engineering”, John Wiley & sons, Inc.

7.4 Linsley, R. K., M. A. Kohler and J. L. H. Paulhus. 1982. Hydrology for Engineers. McGraw Hill, USA.

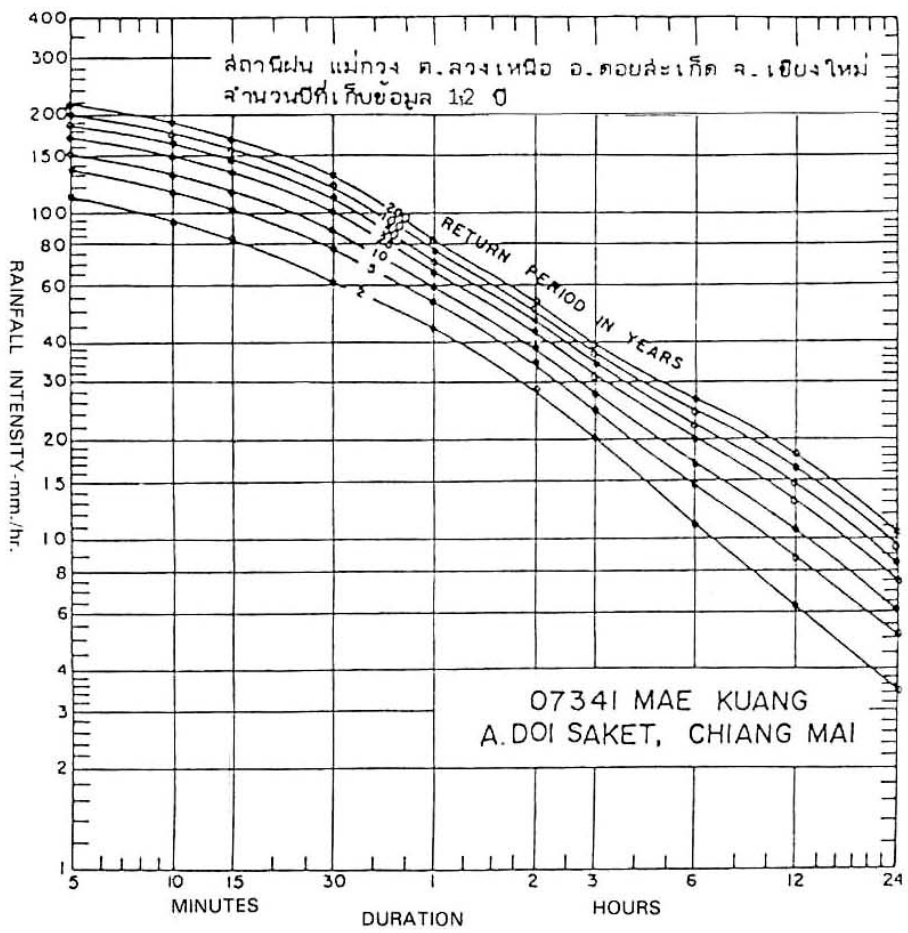
ภาคผนวก

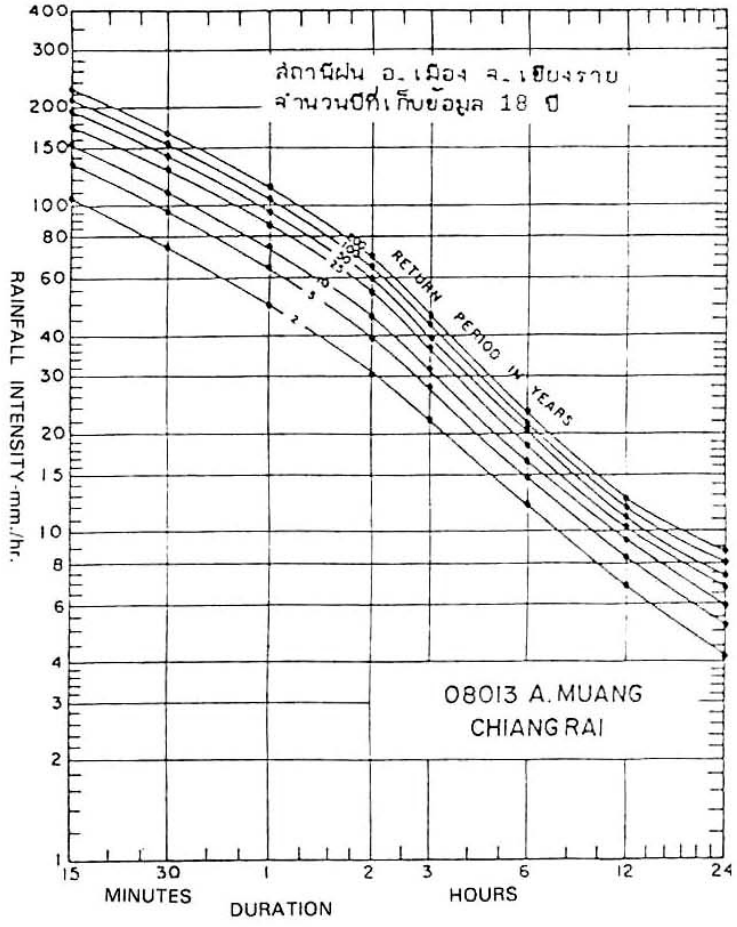
ตัวอย่างความเข้มฝนในประเทศไทย

(อ้างอิงจากคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน โดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และ สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย 2530)

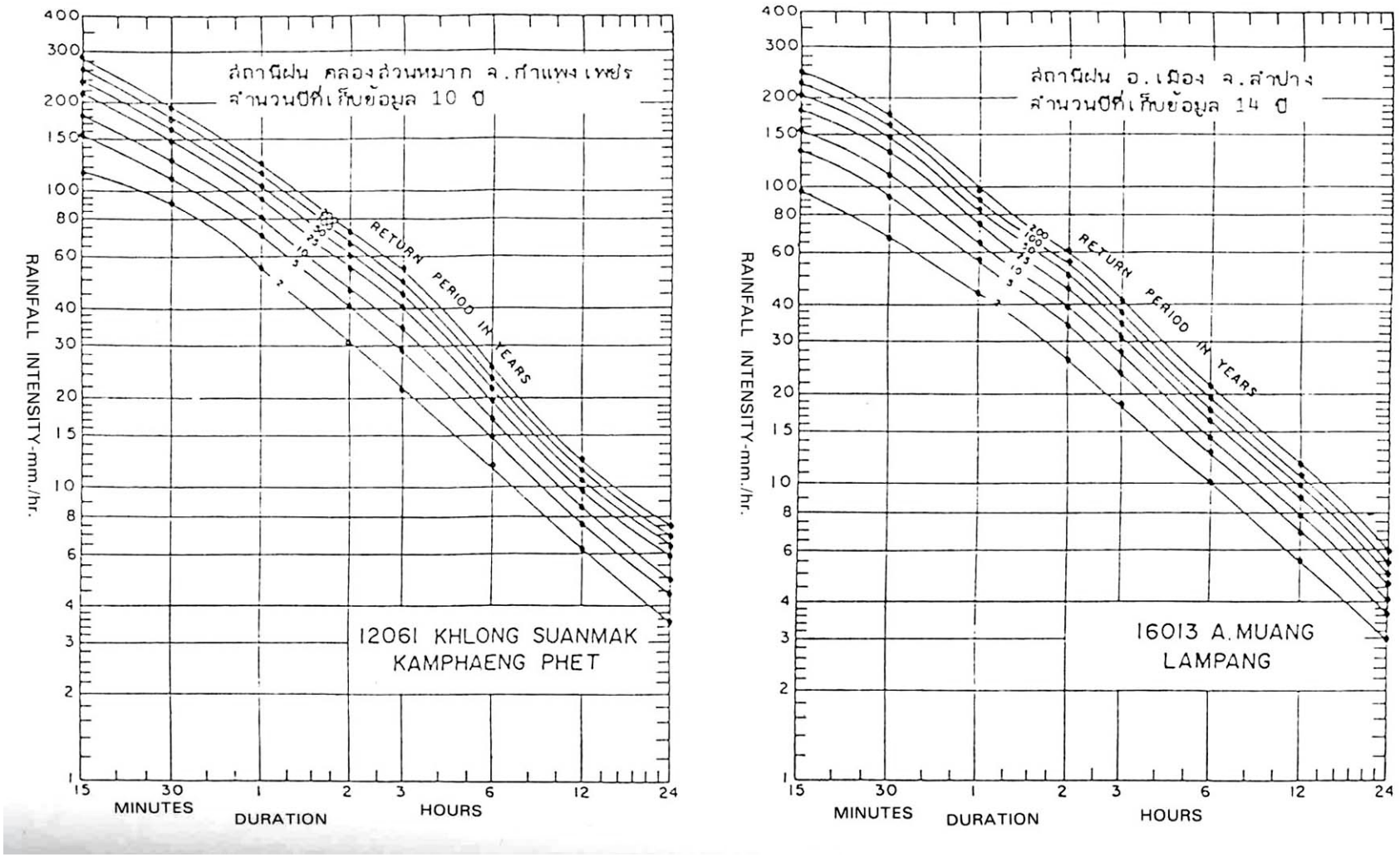


รูปผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย

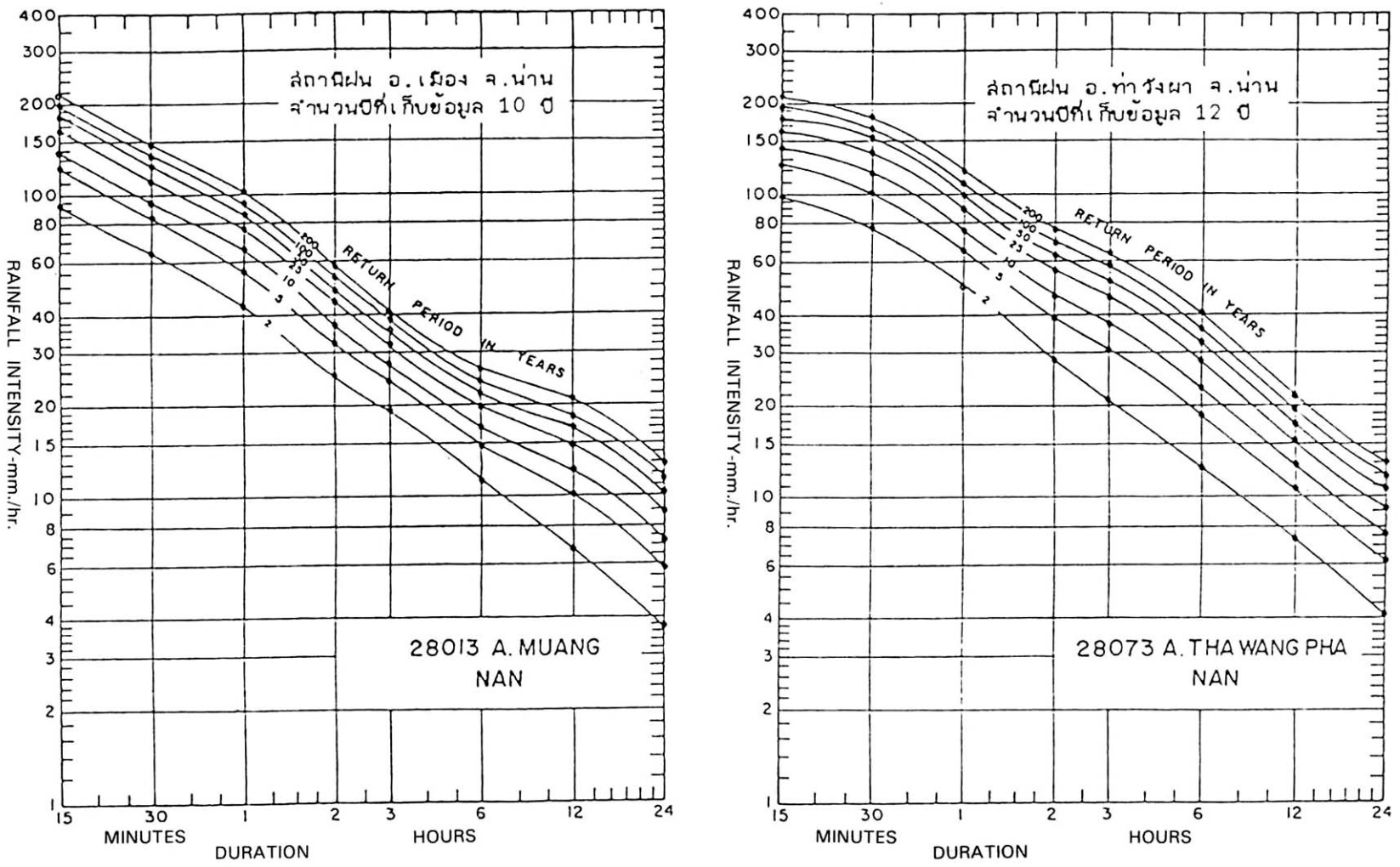




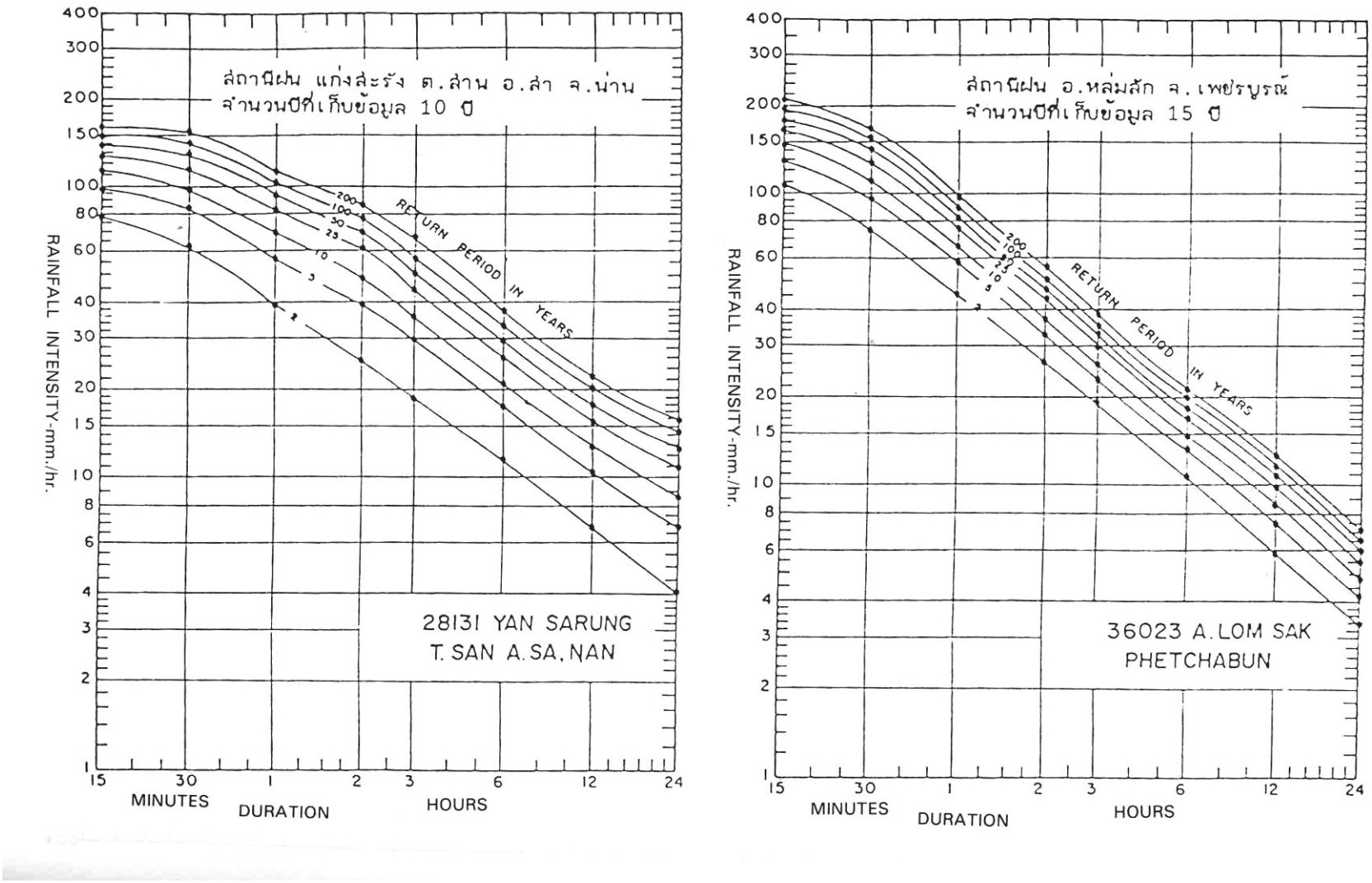
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย



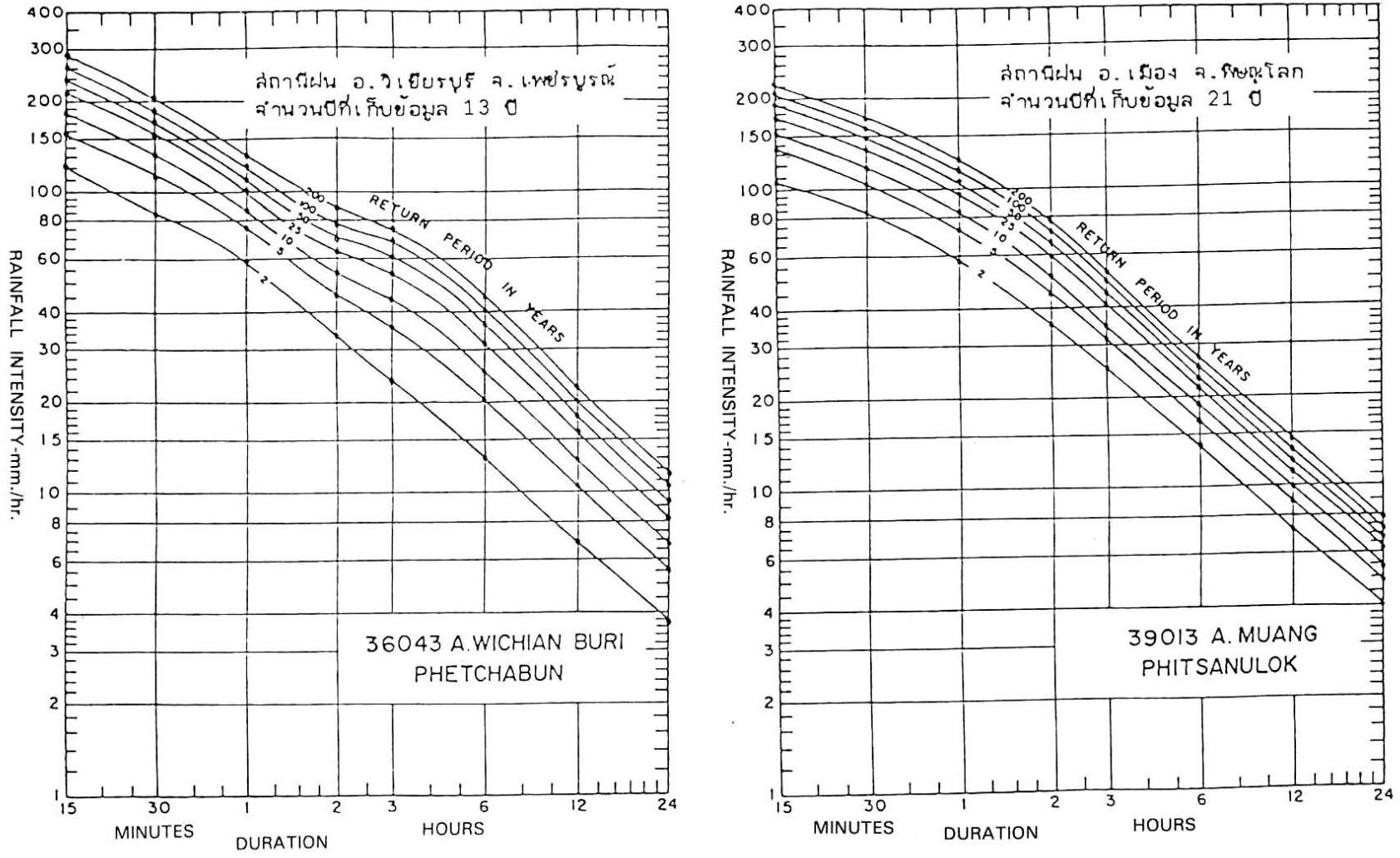
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย



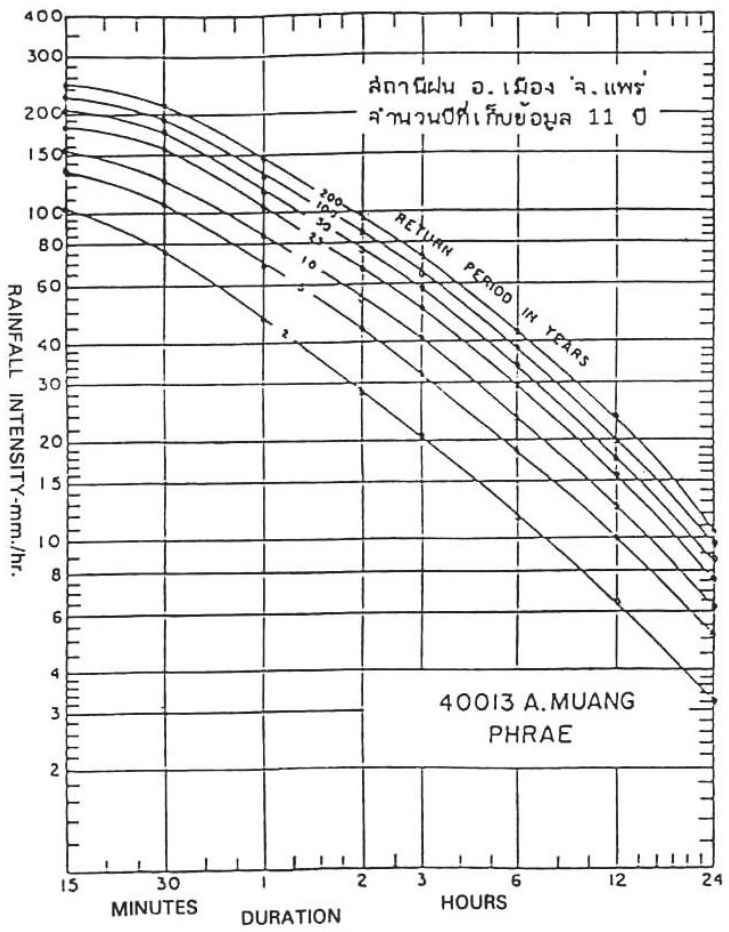
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย

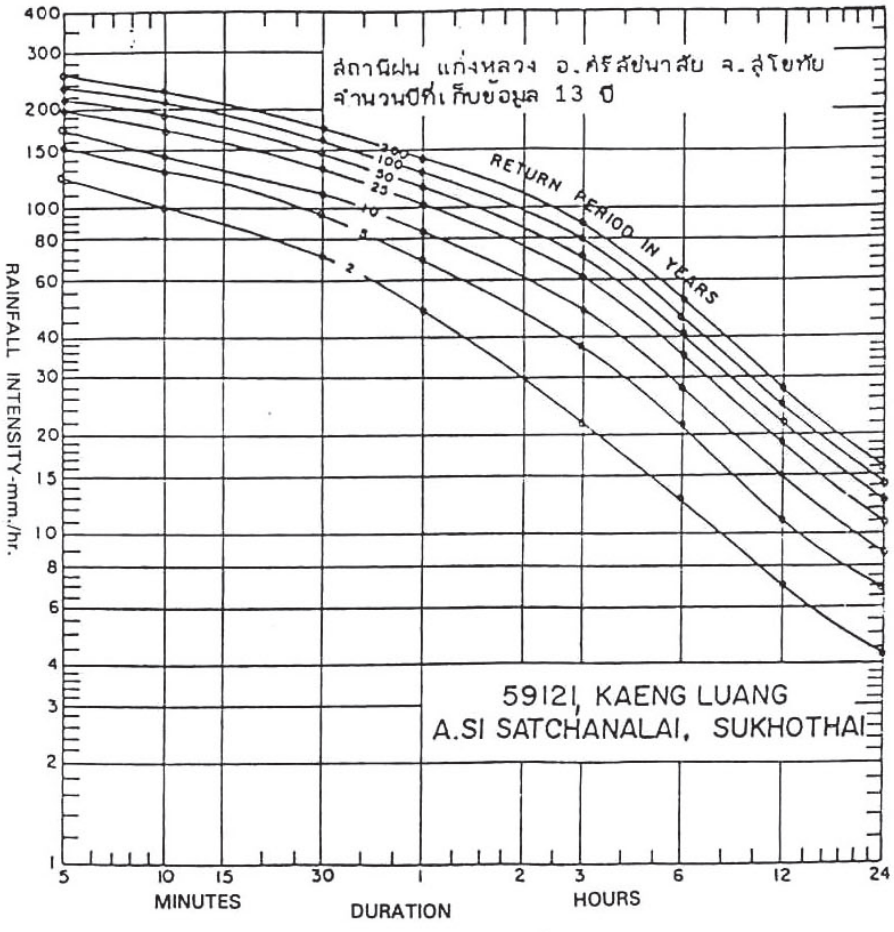


รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย

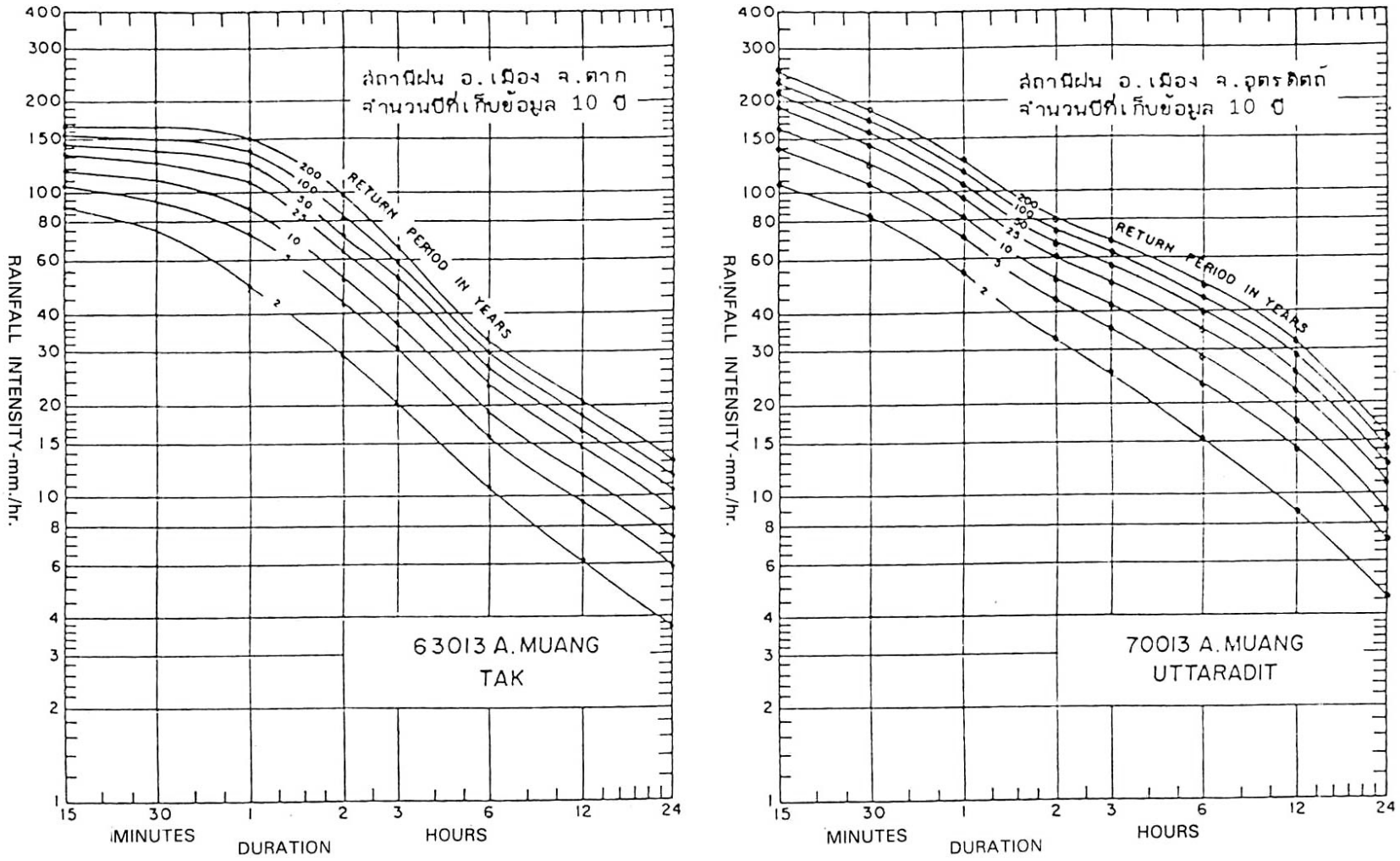


รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย

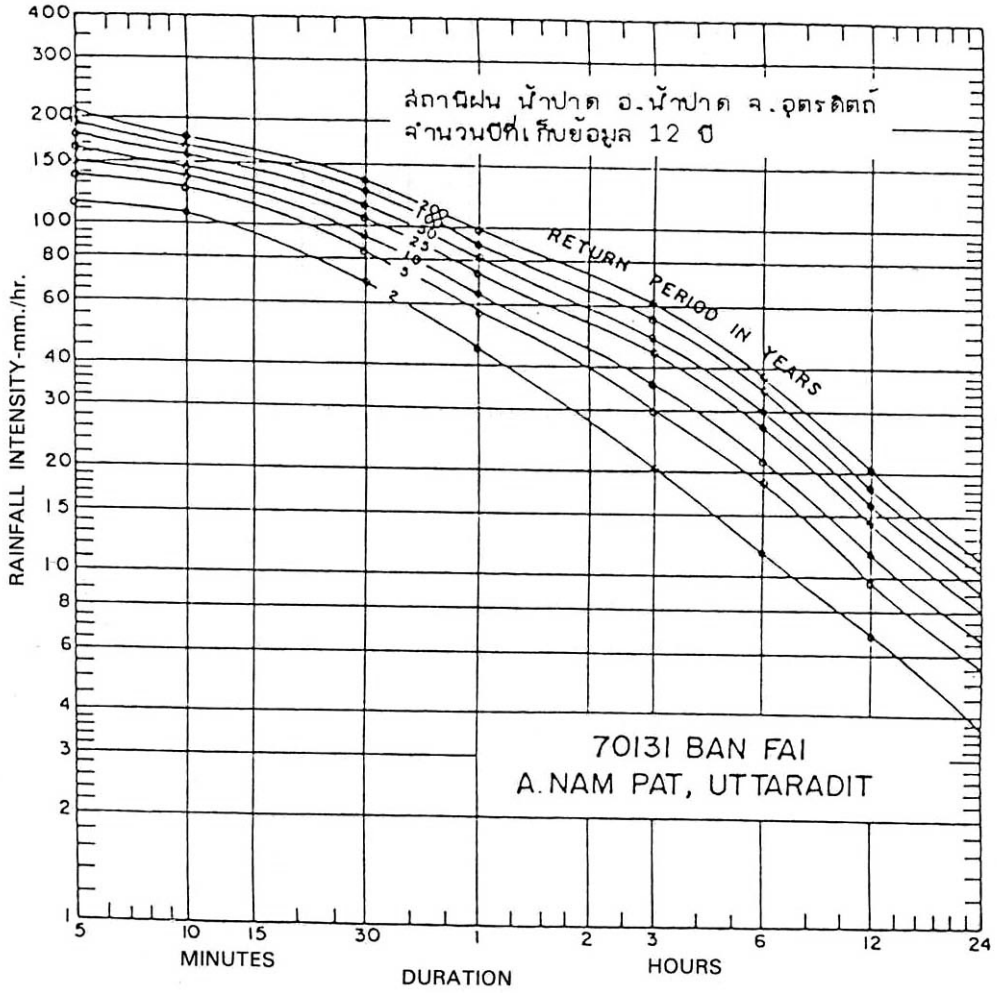




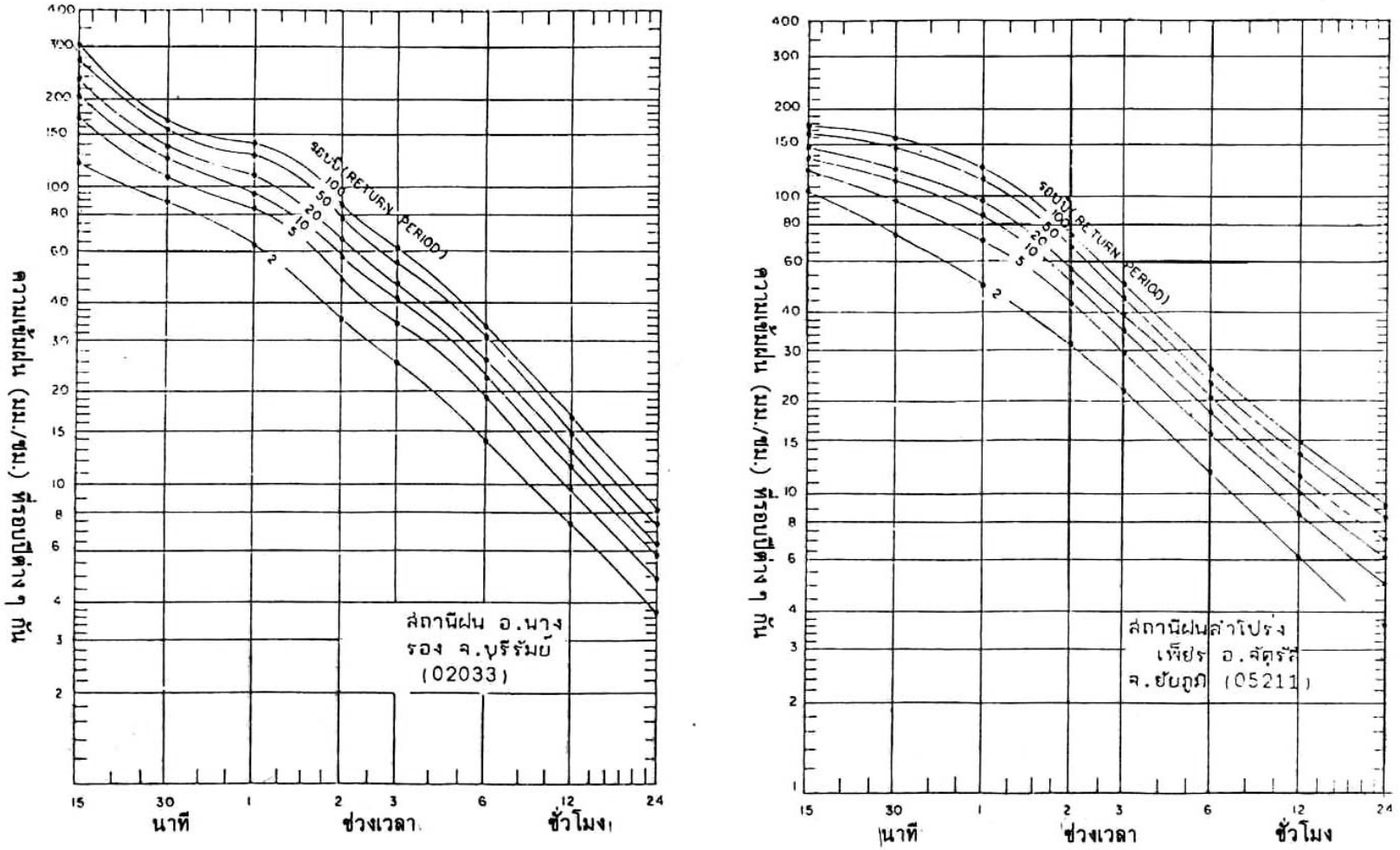
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย



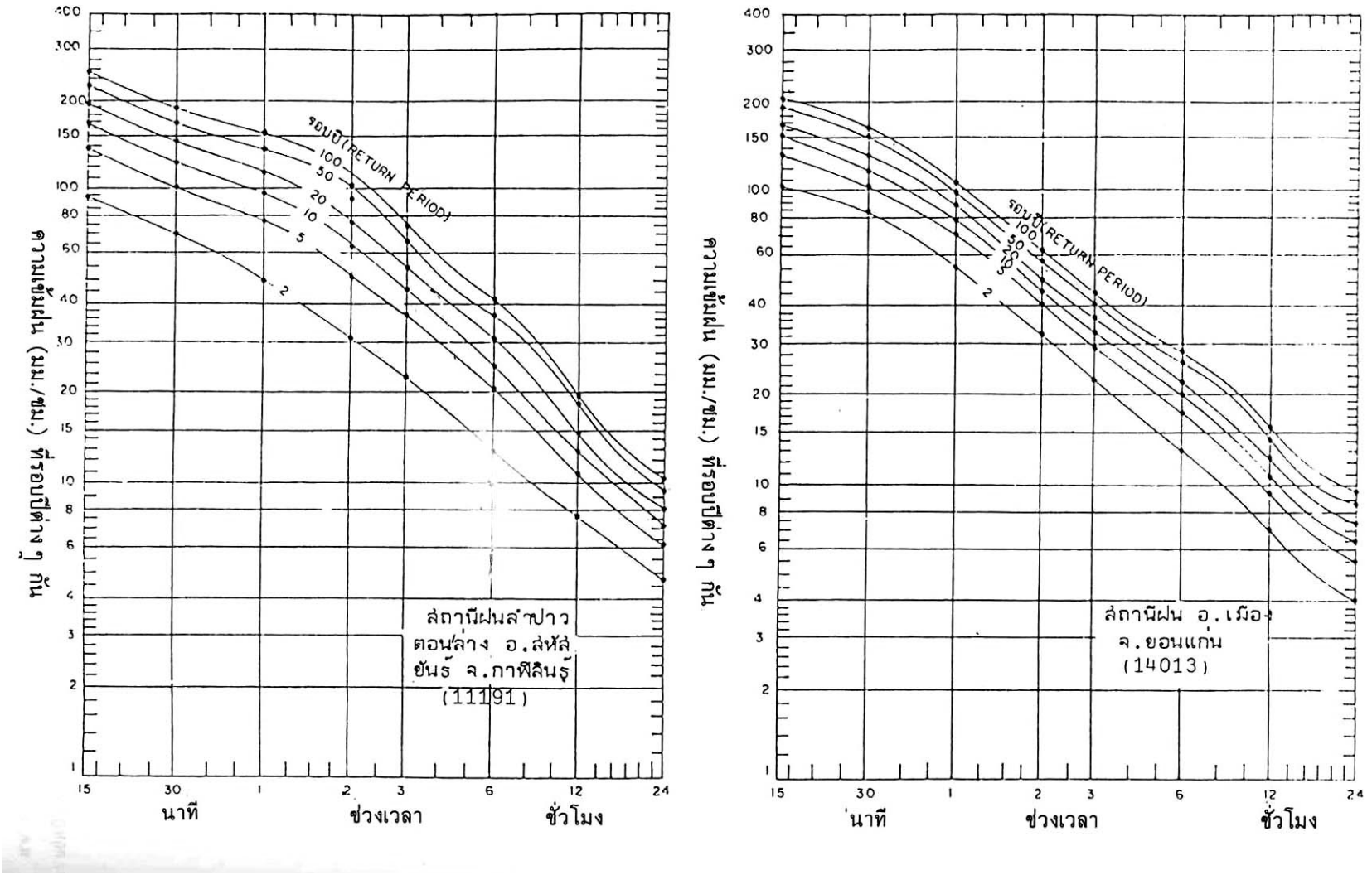
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย



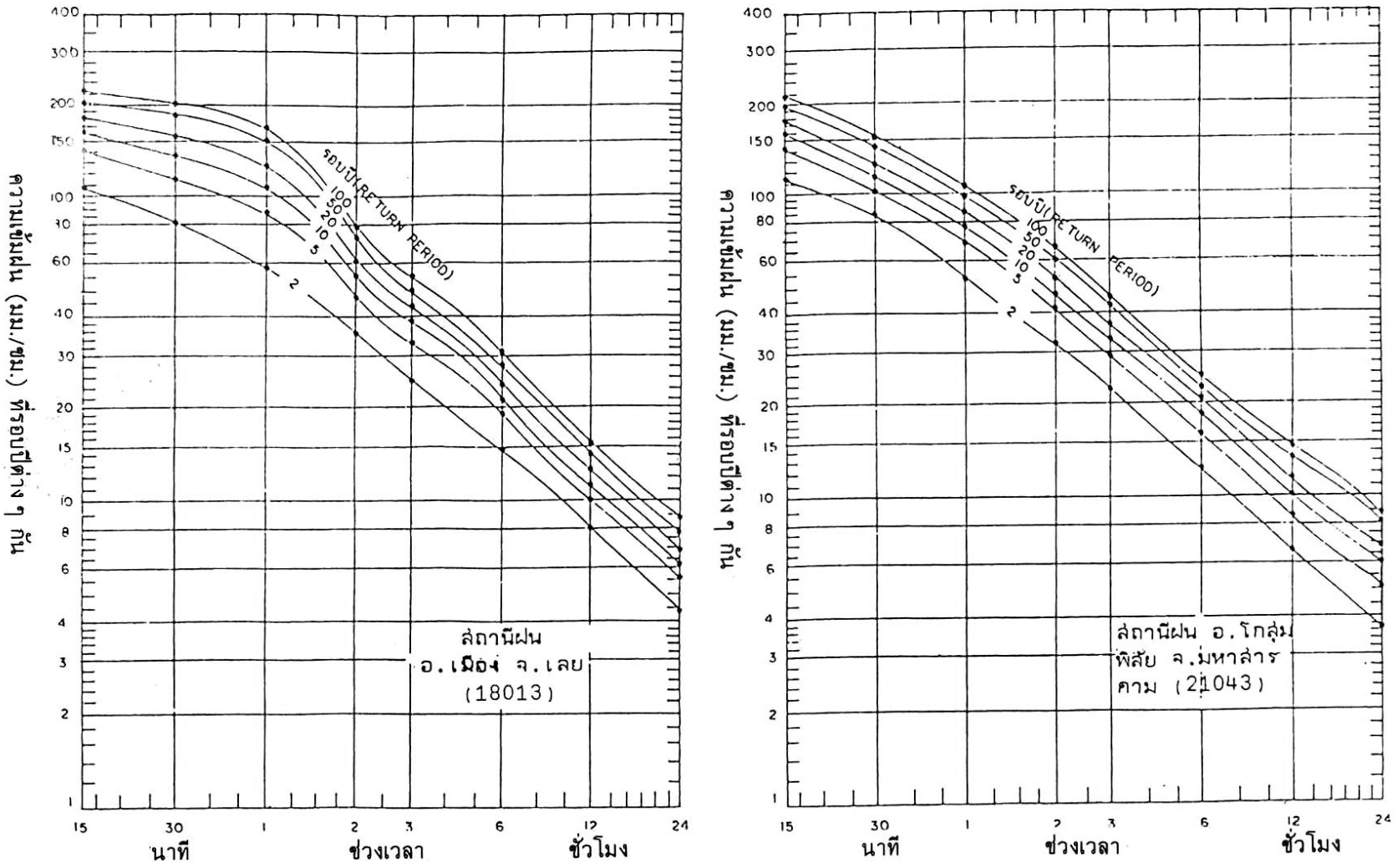
รูปผนวกที่ 1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคเหนือของประเทศไทย



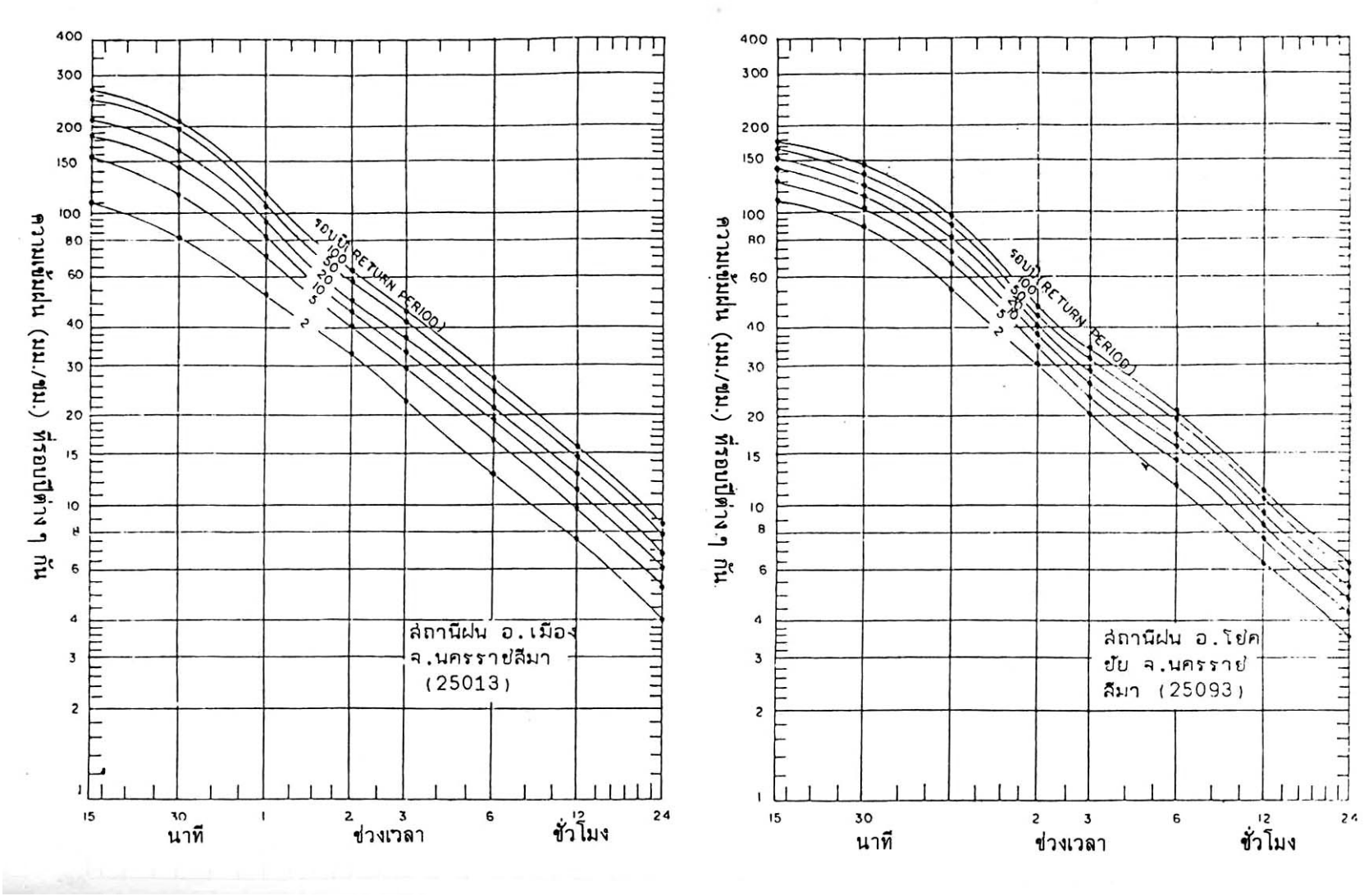
รูปผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



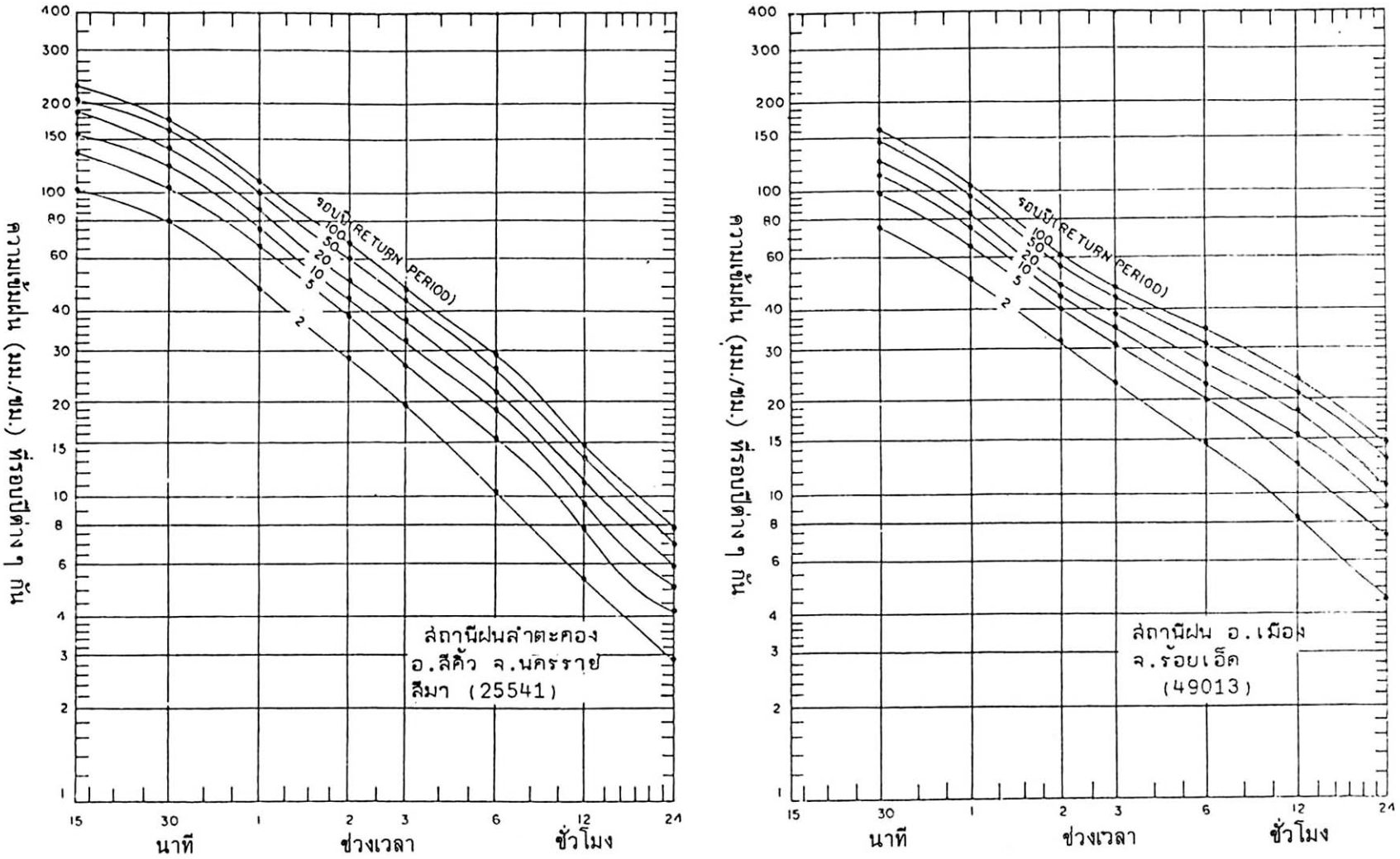
รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



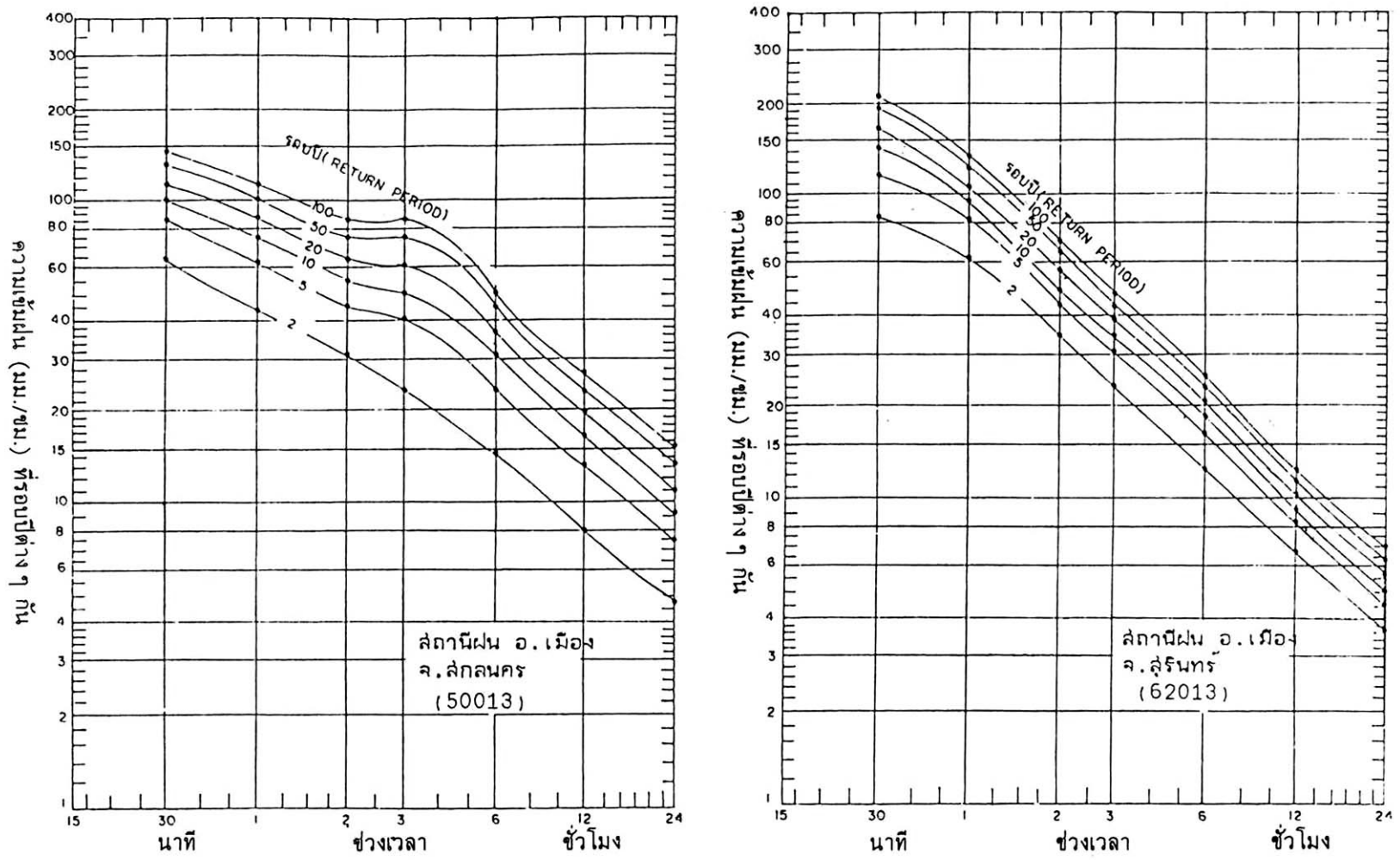
รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



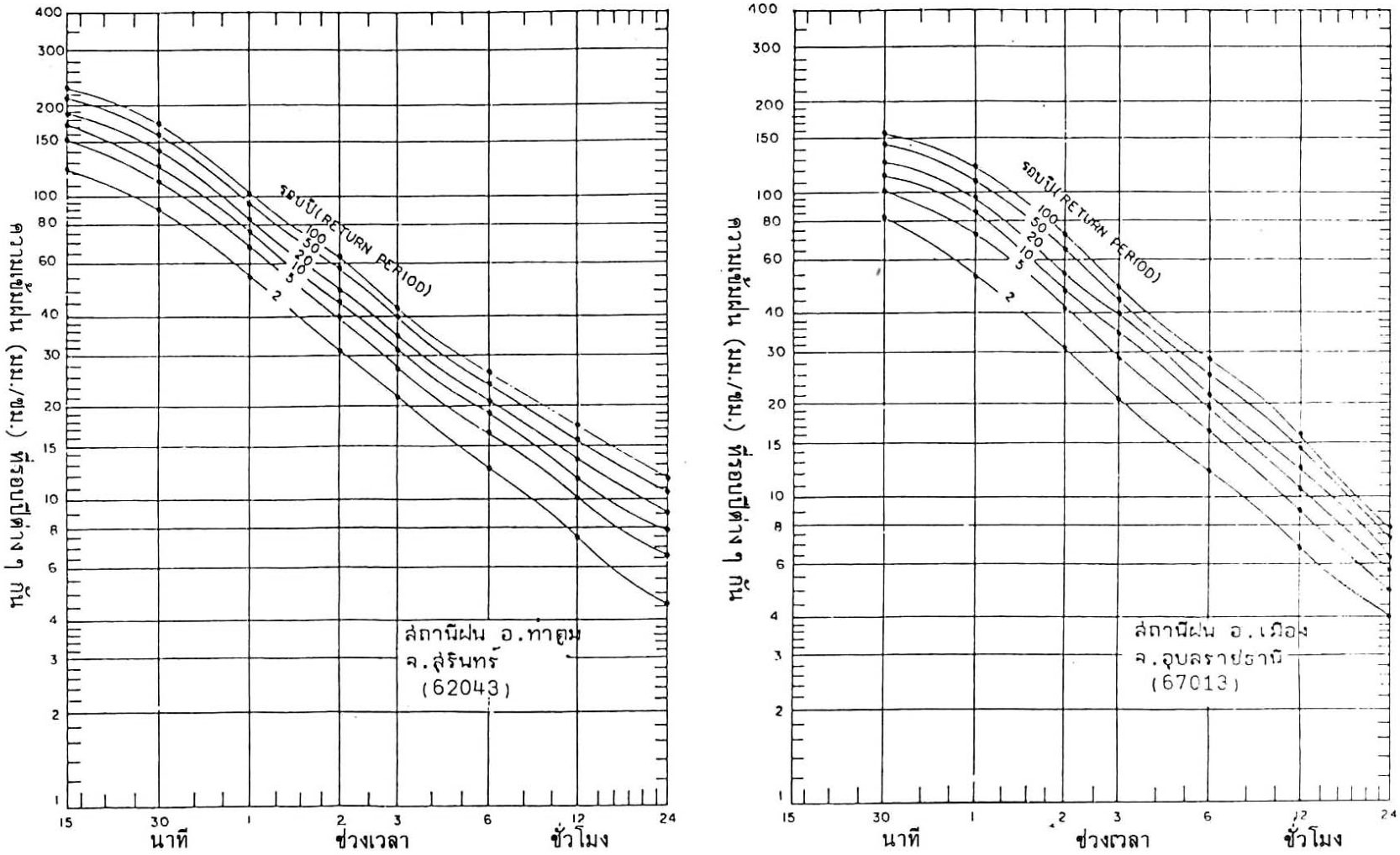
รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



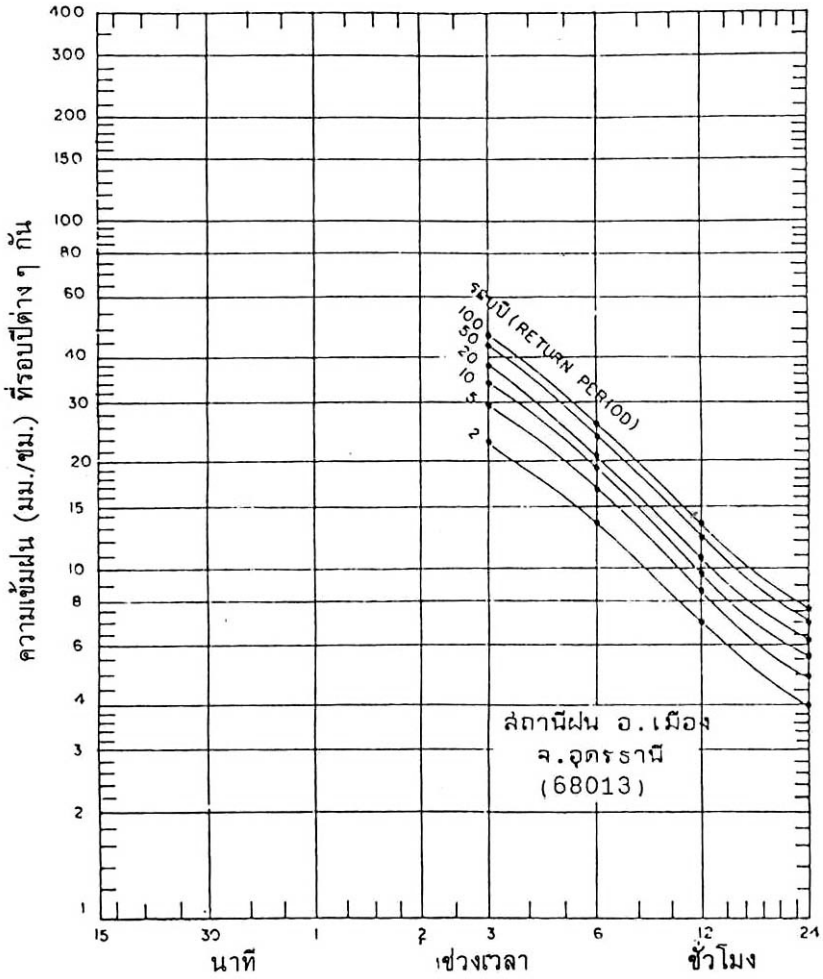
รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



รูปผนวกที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ตารางผนวกที่ 1 สมการความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน
ในภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย

		ชัยนาท	จันทบุรี (อ.เมือง)	จันทบุรี (อ.ท่าใหม่)
I_2	=	$2912/(t+19)^{0.94}$	$2103/(t+18)^{0.79}$	$2811/(t+21)^{0.88}$
I_5	=	$3652/(t+22)^{0.94}$	$2978/(t+23)^{0.81}$	$2652/(t+21)^{0.84}$
I_{10}	=	$4166/(t+24)^{0.94}$	$3480/(t+25)^{0.82}$	$2572/(t+21)^{0.82}$
I_{25}	=	$4751/(t+26)^{0.94}$	$4365/(t+29)^{0.83}$	$2490/(t+21)^{0.79}$
I_{50}	=	$5105/(t+27)^{0.93}$	$4944/(t+31)^{0.84}$	$2439/(t+21)^{0.78}$
I_{100}	=	$5667/(t+29)^{0.94}$	$5558/(t+33)^{0.85}$	$2477/(t+22)^{0.77}$

		ชลบุรี (อ.เมือง)	ชลบุรี (เกาะสีชัง)	ชลบุรี (พนัสนิคม)
I_2	=	$3607/(t+24)^{0.94}$	$2949/(t+19)^{0.89}$	$4660/(t+26)^{1.00}$
I_5	=	$4097/(t+27)^{0.91}$	$2562/(t+15)^{0.82}$	$5985/(t+29)^{0.99}$
I_{10}	=	$4268/(t+28)^{0.89}$	$2497/(t+14)^{0.80}$	$6909/(t+31)^{0.99}$
I_{25}	=	$4594/(t+30)^{0.88}$	$2344/(t+12)^{0.76}$	$8279/(t+34)^{0.99}$
I_{50}	=	$4759/(t+31)^{0.87}$	$2281/(t+11)^{0.74}$	$8974/(t+35)^{0.99}$
I_{100}	=	$4923/(t+32)^{0.86}$	$2218/(t+10)^{0.72}$	$10018/(t+37)^{0.99}$

		กาญจนบุรี (อ.เมือง)	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	กาญจนบุรี (ไทรโยค)
I_2	=	$2916/(t+22)^{0.91}$	$1886/(t+17)^{0.87}$	$2774/(t+17)^{0.92}$
I_5	=	$2859/(t+17)^{0.87}$	$2820/(t+20)^{0.89}$	$4785/(t+25)^{0.96}$
I_{10}	=	$2900/(t+15)^{0.85}$	$3400/(t+21)^{0.90}$	$6479/(t+30)^{0.98}$
I_{25}	=	$2958/(t+13)^{0.82}$	$4139/(t+22)^{0.91}$	$9066/(t+36)^{1.00}$
I_{50}	=	$2903/(t+11)^{0.81}$	$4766/(t+23)^{0.92}$	$11637/(t+41)^{1.02}$
I_{100}	=	$2956/(t+10)^{0.79}$	$5431/(t+24)^{0.93}$	$14239/(t+45)^{1.04}$

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) สมการความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน
ในภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย

		กาญจนบุรี (ห้วยแม่น้ำน้อย)	กาญจนบุรี (บ่อพลอย)	ลพบุรี (อ.เมือง)
I_2	=	$2641/(t+20)^{0.90}$	$2966/(t+21)^{0.93}$	$6367/(t+35)^{1.03}$
I_5	=	$4408/(t+25)^{0.93}$	$3641/(t+21)^{0.93}$	$7975/(t+37)^{1.03}$
I_{10}	=	$5930/(t+28)^{0.95}$	$4222/(t+22)^{0.93}$	$8948/(t+38)^{1.03}$
I_{25}	=	$8067/(t+32)^{0.97}$	$4733/(t+22)^{0.92}$	$10450/(t+40)^{1.04}$
I_{50}	=	$9720/(t+34)^{0.98}$	$5095/(t+22)^{0.92}$	$11029/(t+40)^{1.03}$
I_{100}	=	$11569/(t+36)^{1.00}$	$5444/(t+22)^{0.92}$	$11990/(t+41)^{1.03}$

		ลพบุรี (ไชยบาดาล)	นครสวรรค์ (อ.เมือง)	เพชรบุรี (อ.ท่ายาง)
I_2	=	$4135/(t+27)^{0.94}$	$2412/(t+13)^{0.90}$	$2390/(t+16)^{0.89}$
I_5	=	$6709/(t+37)^{0.98}$	$2479/(t+9)^{0.86}$	$2740/(t+17)^{0.86}$
I_{10}	=	$9352/(t+45)^{1.01}$	$2514/(t+7)^{0.85}$	$2878/(t+17)^{0.84}$
I_{25}	=	$13303/(t+54)^{1.04}$	$2703/(t+6)^{0.84}$	$3032/(t+17)^{0.82}$
I_{50}	=	$17169/(t+61)^{1.06}$	$2777/(t+5)^{0.83}$	$3136/(t+17)^{0.81}$
I_{100}	=	$21903/(t+68)^{1.08}$	$2827/(t+4)^{0.82}$	$3232/(t+17)^{0.80}$

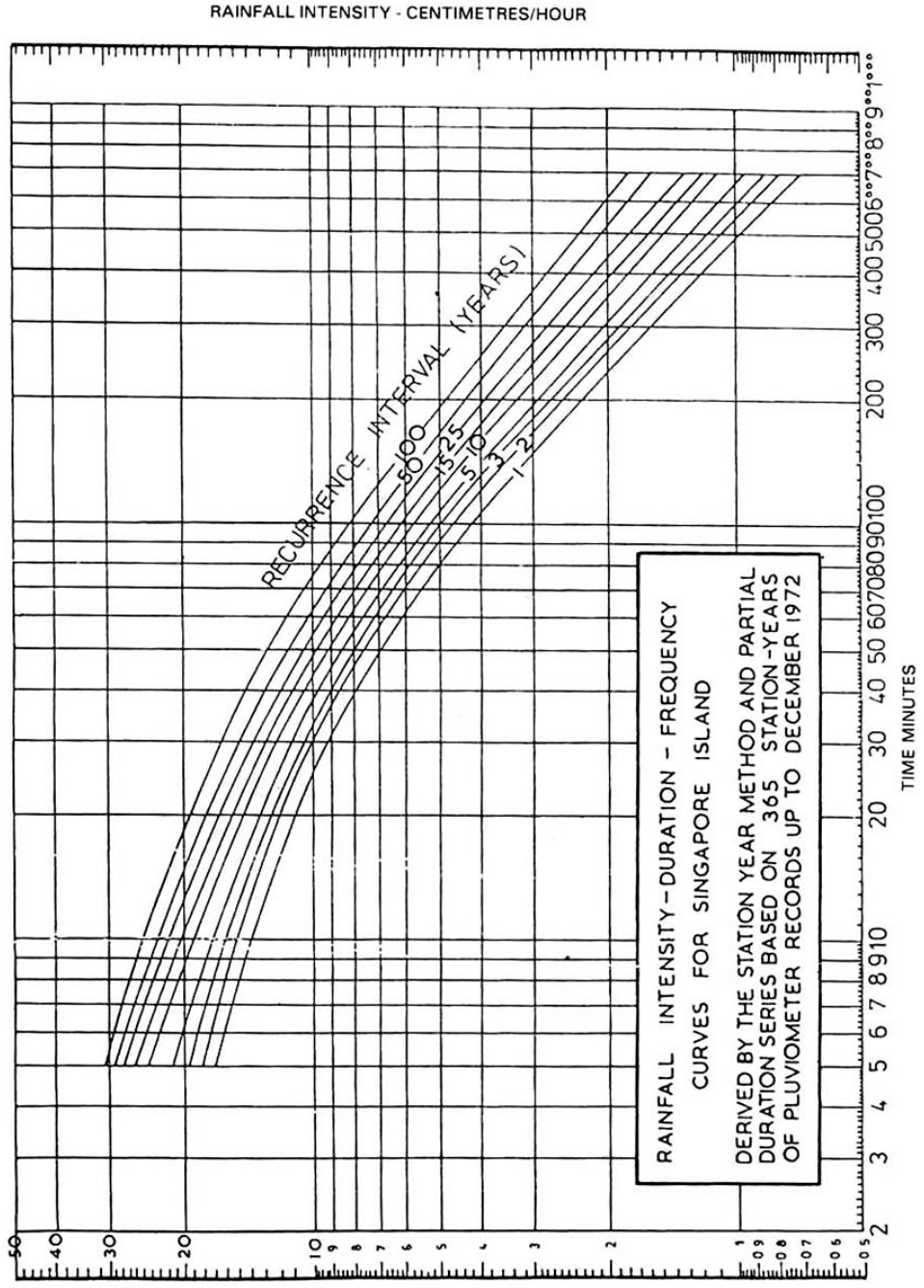
		เพชรบุรี (ห้วยแม่ประจัน)	เพชรบุรี (ห้วยผัก)	พระนคร (กรมอุตุฯ)
I_2	=	$1767/(t+9)^{0.85}$	$1707/(t+12)^{0.83}$	$4803/(t+28)^{0.97}$
I_5	=	$2618/(t+17)^{0.84}$	$3061/(t+21)^{0.86}$	$6994/(t+34)^{0.99}$
I_{10}	=	$3335/(t+23)^{0.84}$	$4253/(t+27)^{0.87}$	$8418/(t+37)^{1.00}$
I_{25}	=	$4709/(t+33)^{0.85}$	$6448/(t+36)^{0.90}$	$10868/(t+42)^{1.01}$
I_{50}	=	$6001/(t+41)^{0.87}$	$8354/(t+42)^{0.92}$	$12667/(t+45)^{1.02}$
I_{100}	=	$7691/(t+50)^{0.88}$	$11280/(t+50)^{0.94}$	$14648/(t+48)^{1.03}$

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) สมการความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน
ในภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย

		พระนคร (กรมชลประทาน)	ปราจีนบุรี (อ.เมือง)	ปราจีนบุรี (อ.กบินทร์บุรี)
I_2	=	$4419/(t+20)^{0.97}$	$4451/(t+23)^{0.95}$	$3148/(t+20)^{0.92}$
I_5	=	$7840/(t+30)^{1.03}$	$4980/(t+24)^{0.93}$	$4225/(t+22)^{0.94}$
I_{10}	=	$11174/(t+37)^{1.07}$	$5170/(t+24)^{0.91}$	$4919/(t+23)^{0.94}$
I_{25}	=	$16401/(t+45)^{1.11}$	$5592/(t+25)^{0.91}$	$5769/(t+24)^{0.95}$
I_{50}	=	$21494/1(t+51)^{1.14}$	$5736/(t+25)^{0.90}$	$6488/(t+25)^{0.96}$
I_{100}	=	$28806/(t+58)^{1.18}$	$5869/(t+25)^{0.89}$	$7239/(t+26)^{0.97}$

		ปราจีนบุรี (อ.อรัญประเทศ)	ปราจีนบุรี (อ.กบินทร์บุรี 2)	ประจวบฯ (เขื่อนปรานบุรี)
I_2	=	$4325/(t+32)^{0.97}$	$2174/(t+16)^{0.86}$	$1535/(t+10)^{0.83}$
I_5	=	$7043/(t+32)^{1.01}$	$2048/(t+13)^{0.82}$	$969/(t+4)^{0.67}$
I_{10}	=	$8741/(t+31)^{1.02}$	$1950/(t+11)^{0.80}$	$782/(t+1)^{0.60}$
I_{25}	=	$11463/(t+31)^{1.05}$	$1945/(t+10)^{0.78}$	$695/(t+0)^{0.53}$
I_{50}	=	$13657/(t+31)^{1.06}$	$1912/(t+9)^{0.77}$	$663/(t+0)^{0.49}$
I_{100}	=	$15987/(t+31)^{1.07}$	$1875/(t+8)^{0.75}$	$636/(t+0)^{0.46}$

		ราชบุรี (อ.จอมบึง)	ระยอง
I_2	=	$2522/(t+17)^{0.91}$	$3208/(t+17)^{0.94}$
I_5	=	$3038/(t+20)^{0.89}$	$4488/(t+21)^{0.96}$
I_{10}	=	$3388/(t+22)^{0.89}$	$5529/(t+24)^{0.97}$
I_{25}	=	$3769/(t+24)^{0.88}$	$6813/(t+27)^{0.98}$
I_{50}	=	$3985/(t+25)^{0.87}$	$7796/(t+29)^{0.98}$
I_{100}	=	$4200/(t+26)^{0.86}$	$8853/(t+31)^{0.99}$



รูปผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา และความถี่ของฝน ในประเทศสิงคโปร์

(ใช้ประยุกต์กับตอนใต้สุดของประเทศไทย)