



การออกแบบ เขื่อนป้องกันตลิ่ง



จัดทำโดย คณะทำงานจัดการความรู้
กรมโยธาธิการและผังเมือง

การจัดการความรู้
เรื่อง การออกแบบ การก่อสร้างและการบำรุงรักษาเขื่อน ป้องกันตลิ่ง

เล่มที่ 2 : การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

คณะทำงานจัดการความรู้
ด้านการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาเขื่อนป้องกันตลิ่ง
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

คำนำ

การจัดทำคู่มือวิชาการเรื่อง “การออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาเขื่อนป้องกันตลิ่ง” เป็นหนึ่งในโครงการจัดการความรู้ ตามแผนการจัดการความรู้ (Knowledge Management) ของกรมโยธาธิการ และผังเมือง โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการรวบรวมองค์ความรู้ด้านเขื่อนป้องกันตลิ่งทั้งหมด และเผยแพร่ให้ความรู้ กับบุคลากรที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาเพิ่มเติมด้วยตนเองหรือต่อยอดความรู้ที่มีอยู่ให้มากขึ้น

คู่มือวิชาการชุดนี้ จึงครอบคลุมกรอบเนื้อหาที่ว่าด้วยงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง ซึ่งสามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในงานของตนเอง โดยแบ่งเนื้อหาเป็น 3 เล่ม คือ

เล่มที่ 1 : ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง

เล่มที่ 2 : การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

เล่มที่ 3 : การก่อสร้างและการบำรุงรักษาเขื่อนป้องกันตลิ่ง

อย่างไรก็ตาม คู่มือวิชาการนี้ ยังถือว่าเป็นฉบับร่างและสงวนลิขสิทธิ์ เนื่องจากยังต้องมีการปรับปรุง เนื้อหาอีกหลายประเด็นให้เหมาะสมกับงานเขื่อนป้องกันตลิ่งในประเทศไทย หลังจากที่ได้นำไปทดลองใช้และมีการ ประเมินผล จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ใช้เอกสารนี้จะเข้ามามีส่วนร่วมในการประเมินและปรับปรุงคู่มือวิชาการให้มีความ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองและประเทศต่อไป

คณะทำงานจัดการความรู้ฯ

กันยายน 2549

การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

บทที่ 1 : การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

โดย นางพีชยา ทวีเลิศ วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักควบคุมการก่อสร้าง

บทที่ 2 : การสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

โดย นายพูลทรัพย์ สมบูรณ์ปัญญา วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง และ
นายธีรภูมิ ประพันธ์ นายช่างโยธา 6
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

บทที่ 3 : การออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรม

โดย นายสัจจา พุกสุขสกุล ภูมิสถาปนิก 8ว
สำนักสถาปัตยกรรม

บทที่ 4 : ความรู้พื้นฐานทางด้านปฐพี กลศาสตร์

โดย นายวินิจ ชัยชนะศิริวิทยา วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ และ
นายกิจวัช ตั้งบุญธินา วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดสระบุรี

บทที่ 5 : การออกแบบทางด้านวิศวกรรม

โดย นายศุภกิจ ศิริโชคธนทรัพย์ วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ และ
ดร. เสถียร เจริญเหรียญ วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

บทที่ 6 : การเขียนแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

โดย นายวิจิตร เป้นโสม นายช่างเขียนแบบ 7
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ และ
นายสุภรณ์ สายสมบูรณ์ นายช่างเขียนแบบ 6
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

บทที่ 7 : การประมาณราคา

โดย นายวีระวงศ์ อินทรขันธ์ นายช่างโยธา 7
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

บทที่ 1 : การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 คุณสมบัติของชั้นดิน	1-1
1.1.1 การเจาะสำรวจชั้นดิน	
1.2 การทดสอบดินในสนาม	1-6
1.2.1 การทดสอบดินในสนาม	
1.2.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	
1.3 การจำแนกชั้นดิน	1-14
1.3.1 การจำแนกดินด้วยตาเปล่า	
1.3.2 การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม	
1.4 การอ่านข้อมูลดิน	1-18
1.4.1 การอ่านตารางสรุปผลการทดสอบของตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ	
1.4.2 การอ่าน Boring log	
เอกสารอ้างอิง	1-25

บทที่ 1 : การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

นางพีชรา ทวีเลิศ

วิศวกรรมวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)

สำนักควบคุมการก่อสร้าง

1.1 คุณสมบัติของชั้นดิน

ในการออกแบบ ก่อสร้างโครงการต่างๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงาน ควรจะมีความรู้ และทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางปฐพีวิศวกรรมของชั้นดินบริเวณโครงการ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า ฐานรากซึ่ง สร้างอยู่ใต้ดิน จะสามารถรองรับน้ำหนักของโครงสร้างได้อย่างปลอดภัย และมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ ส่วนการ ที่จะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านั้นนั้น สามารถทำได้โดยการเจาะสำรวจดิน การทดสอบคุณสมบัติของดินในสนาม และการ ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินทางกายภาพ โดยที่ ขอบเขตของการเจาะสำรวจและการทดสอบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งก่อสร้าง และสิ่งแวดล้อมของบริเวณที่จะก่อสร้าง ซึ่งวิศวกรจะเป็นผู้ตัดสินใจ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพชั้นดินที่ถูกต้อง เพียงพอ

1.1.1 การเจาะสำรวจชั้นดิน

การเจาะสำรวจชั้นดินเป็นศาสตร์แขนงหนึ่ง ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาออกแบบ โครงสร้าง ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและประหยัด เนื่องจากจะต้องใช้ชั้นดินเป็นตัวรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้าง โดยการสร้างฐานรากลงบนชั้นดิน ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ลักษณะและคุณสมบัติของชั้นดิน หรือความสามารถ ในการรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินที่จะรองรับสิ่งปลูกสร้างนั้น ๆ

วัตถุประสงค์ของการเจาะสำรวจชั้นดินจึงมีไม่เพียงเพื่อให้การออกแบบฐานรากถูกต้องตามหลักวิชาการ เท่านั้น แต่ยังเป็นการช่วยมิให้เกิดความผิดพลาดจากการเดาลักษณะและคุณสมบัติของชั้นดินผิดไปจากความเป็นจริง ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งปลูกสร้าง เกิดการวิบัติพังทลาย หรือเกิดความเสียหายก่อนเวลาอันควรได้

(1) การสำรวจเบื้องต้น

ก่อนทำการเจาะสำรวจชั้นดิน ควรจะมีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งเป็นการสำรวจสภาพแวดล้อม ลักษณะภูมิประเทศ และสภาพทางธรณีวิทยาเบื้องต้น เช่น

(1.1) สภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ที่ตั้งโครงการ ทางเข้าออกของโครงการ สภาพผิวดิน การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ข้างเคียง แนวถนน และแนวทางการไหลของน้ำ

(1.2) ประวัติความเป็นมาของการใช้พื้นที่ เช่น เป็นทุ่งนา นาทุ่ง บ่อปลา บ่อน้ำ ทุ่งหญ้า เป็นต้น

(1.3) ตำแหน่งของวัสดุที่ถูกฝังลงไป在地 เช่น ท่อประปา ท่อระบายน้ำ ท่อก๊าซ สาย โทรศัพท์ เป็นต้น

(1.4) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เช่น น้ำท่วม

(1.5) การวิเคราะห์ด้านเคมีของชั้นดิน หรือน้ำใต้ดิน เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจมีต่อ โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง

(1.6) ร่างผังบริเวณโดยสังเขปอย่างคร่าว ๆ แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ

(1.7) ทำระดับปากหลุมเจาะเปรียบเทียบกับหมุดสมมติฐาน เพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงระดับ ดินในหลุมเจาะ

(2) ขอบเขตของการเจาะสำรวจ

การเจาะสำรวจดินเป็นการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบหาคุณสมบัติ ดังนั้นความละเอียดของการเจาะเก็บตัวอย่าง จึงต้องมากพอที่จะสามารถให้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สมบูรณ์ การกำหนดความลึก ระยะห่างและจำนวนหลุมเจาะ จึงมีความสำคัญ ซึ่งยากที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานคงที่ เพราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของสิ่งปลูกสร้างเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับลักษณะ คุณสมบัติและความแปรปรวนของชั้นดิน โดยส่วนใหญ่จะให้สิ้นสุดการเจาะสำรวจชั้นดินในระดับที่ผ่านชั้นดินแข็งมาก หรือชั้นทรายแน่น และจะหยุดหากพบชั้นกรวด ซึ่งหนาหรือชั้นหินฟิต (Bed Rock) และหากต้องการทราบความหนาของชั้นกรวดหรือชั้นหินฟิตนี้ จะต้องใช้หัวเจาะแบบฝังเพชรและเครื่องจักรที่เหมาะสมและออกแบบเฉพาะสำหรับการเจาะหิน

การกำหนดความลึกของหลุมเจาะจะสัมพันธ์กับขนาด และน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างที่กดทับ และแผ่กระจายลงในดิน ความลึกของการเจาะจึงควรจะต้องลงถึงชั้นดินที่มีผลกระทบจากน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดการทรุดตัว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหลุมเจาะจะลึกประมาณ 2-2.5 เท่าของความกว้างด้านสั้นของสิ่งปลูกสร้าง เพราะที่ระดับความลึกดังกล่าวการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างได้ลดน้อยลงมาก สำหรับเขื่อน (Dam) และคันดินถม (Embankment) ความลึกของการเจาะสำรวจอยู่ระหว่าง 0.5-2 เท่าของความสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้านต่างๆของดินฐานราก เป็นต้น

ส่วนระยะห่างระหว่างหลุมเจาะหรือจำนวนหลุมเจาะนั้น โดยทั่วไปหากชั้นดินมีความสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หลุมเจาะจะห่างกันประมาณ 40-60 เมตร สำหรับงานอาคาร และอาจห่างกันถึง 250-500 เมตร สำหรับงานถนน

(3) วิธีการเจาะสำรวจชั้นดิน

เนื่องจากลักษณะและคุณสมบัติของดิน มีความสำคัญต่อการออกแบบฐานรากของโครงสร้าง โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านกำลังความแข็งแรงของดิน ในการเจาะเก็บตัวอย่างดินจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเพื่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนน้อยที่สุด เพราะดินบางชนิดมีความไวตัว (Sensitivity) สูง เมื่อถูกแรงกระทำอาจทำให้โครงสร้างของดินนั้นเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการก็จะผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้น จึงควรเลือกวิธีการเจาะสำรวจชั้นดินที่เหมาะสมกับงานก่อสร้าง ซึ่งขั้นตอนและขบวนการเจาะสำรวจชั้นดินในแต่ละหลุม อาจใช้วิธีการเจาะสำรวจมากกว่าหนึ่งวิธี

(3.1) วิธีการขุดบ่อทดสอบ (Trial Pits)

การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ สามารถทำได้เฉพาะในระดับตื้น ๆ ไม่เกิน 6 เมตร ถ้าลึกเกินกว่านั้น อาจไม่สะดวก และไม่เหมาะสมกับการขุดเจาะในที่ที่มีน้ำขังอยู่ เพราะต้องมีการป้องกันการพังทลายของผนังหลุมเจาะ หรือพบปัญหาจากน้ำใต้ดิน ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้มีราคาแพงกว่าวิธีการเจาะสำรวจชั้นดินด้วยวิธีอื่น วิธีการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการขุดดินให้เป็นบ่อรอบก้อนดินที่ต้องการเก็บตัวอย่างแล้วแต่งก้อนตัวอย่างให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 20-30 ซม. ใช้มีดตัดก้อนดินตัวอย่างนั้นมาแล้วเคลือบด้วยพาราฟิน (Parafin) เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นแล้วรีบนำส่งห้องปฏิบัติการทดสอบ ตัวอย่างดินที่ได้จะได้รับการกระทบกระเทือนน้อยกว่าวิธีอื่น

(3.2) วิธีการเจาะสำรวจชั้นดินด้วยสว่าน (Auger Boring)

เหมาะสำหรับดินอ่อนหรือดินที่มีความยึดเหนี่ยว (Cohesion) เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน และสะดวกสำหรับการขุดเจาะด้วยแรงคน (Hand Auger) ซึ่งขุดเจาะได้ลึกประมาณ 4-6 เมตร และถ้าเป็นเครื่องจักร (Mechanical Auger) สามารถเจาะดินได้ลึกมากกว่า 10 เมตร วิธีการเก็บตัวอย่างดินจากการเจาะสำรวจดินด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการใช้สว่านหมุนเอาดินออกมา จนได้ระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ซึ่งการที่จะระบุความลึกที่ถูกต้องของตัวอย่างดินทำได้โดยการหยุดเจาะเป็นระยะ เพื่อจำแนกประเภทของดินกันหลุมที่ติดอยู่ปลายสว่าน หรือทำการเก็บตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนของชั้นดินที่ทราบความลึก

ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ไม่สามารถเจาะต่อไปได้ถ้าพบน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นทราย เพราะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวพอที่จะเกาะยึดติดใบบัววนขึ้นมาถึงปากหลุมเจาะได้ รวมทั้งกรณีที่มีชั้นดินอ่อนมากอยู่ใต้ชั้นกรวด ทำให้การเจาะสำรวจต้องสิ้นสุดลงก่อนที่จะพบชั้นดินอ่อนมากข้างใต้



รูปที่ 1 : แสดงการเจาะสำรวจโดยใช้ Hand Auger

(3.3) วิธีการเจาะสำรวจชั้นดินแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

เป็นการเจาะสำรวจ โดยการฉีดน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่ก้นหลุมเจาะด้วยปั๊มน้ำแรงสูงและเป่าออกมาที่หัวเจาะ ในขณะที่หัวเจาะ(Chopping Bit) กระแทกบดดินให้แตกย่อยออกเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้สามารถพัดพาเอาดินชิ้นเล็กๆ ขึ้นมาตามผนังหลุมเจาะ ดินชิ้นเล็ก ๆ เหล่านี้จะไหลไปลงบ่อตกตะกอนข้างหลุมเจาะ เพื่อเป็นการกรองดินเม็ดหยาบ(Coarse Grain Soil) และน้ำจะถูกสูบกลับมาใช้ใหม่ ในการเจาะสำรวจชั้นดินวิธีนี้ จำเป็นจะต้องมีการป้องกันผนังหลุมเจาะพังด้วยการ ตอก Casing ลงไปในชั้นดินเหนียวอ่อน และในกรณีที่เจาะผ่านชั้นทราย ก็จำเป็นต้องอาศัย Bentonite ช่วยป้องกันการพังทลายของหลุม วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมาก โดยสามารถเจาะได้ลึกถึง 80 – 100 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องเจาะสำรวจด้วย

ข้อดีของการเจาะด้วยวิธีนี้ คือ เป็นวิธีการเจาะที่ทำได้ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้ไม่สลับซับซ้อน สะดวกต่อการขนย้าย สามารถถอดชิ้นส่วนและประกอบกลับได้ใหม่ในเวลาไม่นานนัก และขณะเจาะสำรวจ จะสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของชั้นดินได้จากความแตกต่างของเศษหิน ทราย และสีของน้ำที่ล้นปากหลุมขึ้นมา พร้อมกับสังเกตความรู้สึกถึงการจับยึดของชั้นดินก้นหลุมด้วยสัมผัสจากการกระทุ้งดินก้นหลุมแต่ละครั้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน ส่วนการสังเกตเศษหิน ทรายและสีของน้ำที่ล้นขึ้นมา นั้น ช่วยในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินได้อย่างคร่าวๆเท่านั้น โดยเฉพาะกรณีที่ใช้น้ำโคลนผสมBentonite จะทำให้การจำแนกชั้นดินโดยดูจากสีของน้ำทำได้ยากขึ้น

ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ไม่สามารถเจาะผ่านชั้นกรวดใหญ่ ลูกครึ่งแข็ง หินผุหรือชั้นดาน



รูปที่ 2 : แสดงเครื่องเจาะสำรวจแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

(3.4) วิธีการเจาะสำรวจชั้นดินแบบเจาะปั่น (Rotary Drilling)

เป็นการเจาะโดยใช้เครื่องยนต์หมุนหัวเจาะปั่นด้วยความเร็วรอบที่กำหนด ที่หัวเจาะปั่นจะมีรูสำหรับฉีดปล่อยน้ำโคลนออกมาโดยสูบจากถังน้ำโคลน และคล้ายคลึงกับการเจาะล้าง แต่จะไม่ให้ความรู้สึกซึ่งสัมผัสได้โดยตรงด้วยมือจากก้านเจาะดังเช่นวิธีเจาะล้าง ทำให้การคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในระหว่างเจาะต้องสังเกตจากความแตกต่างของแรงกดไฮดรอลิก และอัตราการไหลลงของก้านเจาะ เป็นอย่างมาก การเจาะด้วยวิธีนี้ทำโดยใช้แรงดันจากปั้มน้ำสามารถฉีดไล่ดินในขณะที่หมุนเจาะ และเมื่อพบดินเปลี่ยนชั้นหรือถึงระดับความลึกที่กำหนด หัวเจาะจะถูกนำขึ้นมาจากหลุมและเปลี่ยนเป็นหัวเก็บตัวอย่างแทน เพื่อให้สามารถเก็บตัวอย่างที่คงสภาพเดิมไว้ได้มากที่สุด ในปัจจุบันระบบการเจาะปั่นนี้เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นการเจาะที่รบกวนชั้นดินน้อยที่สุดวิธีหนึ่ง

การเจาะด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับชั้นดินและหินทุกชนิด โดยเฉพาะในดินแข็ง ลูกกรงทรายปนกรวด และหินผุ เพราะสามารถถอดเปลี่ยนหัวเจาะให้เหมาะกับสภาพชั้นดินได้ง่าย และสามารถเปลี่ยนเป็นหัวเจาะเพชรได้ทันทีที่ต้องการ กรณีที่เจอชั้นหิน

(4) ระดับน้ำใต้ดิน

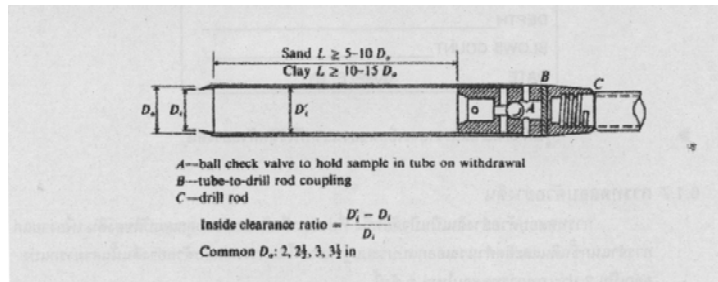
น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยหนึ่ง ซึ่งมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของดิน(Shear Strength of Soil) และหน่วยแรงในมวลดิน(Stress) เนื่องจากแรงดันน้ำมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงของดินต่ำลง โดยทั่วไปการวัดระดับน้ำใต้ดินจะทำหลังจากการเจาะสำรวจเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการซึมผ่าน(Permeability) กรณีของดินที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ยากอาจต้องใช้เวลารอคอยวัดระดับน้ำเป็นเวลาหลายวัน ดังนั้น วิธีการวัดระดับน้ำใต้ดินที่นิยมกันคือ หลังจากเสร็จสิ้นการเจาะสำรวจชั้นดินในตอนเย็น ให้น้ำน้ำมากรอกให้เต็มหลุมเจาะ จากนั้นทำการวัดระดับน้ำเวลาเช้าก่อนเจาะสำรวจ ปฏิบัติเช่นนี้ทุกวันที่เจาะสำรวจ และวันสุดท้ายที่เจาะสำรวจเสร็จให้เติมน้ำให้เต็มปากหลุมอีกครั้ง ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่าระดับน้ำใต้ดิน นำข้อมูลต่างๆมาพิจารณาเปรียบเทียบกัน

(5) การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินจากหลุมเจาะโดยทั่วไปจะทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1.50 เมตร ตลอดความลึกของหลุมเจาะเมื่อชั้นดินมีลักษณะคล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกัน ถ้าพบชั้นดินที่มีความแปรปรวน ไม่สม่ำเสมอ หรือกรณีที่ต้องการข้อมูลของดินที่ละเอียดขึ้น อาจทำการเก็บตัวอย่างดินทุก ๆ 1.00 เมตร หรือเก็บตัวอย่างต่อเนื่องแล้วแต่กรณีการเก็บตัวอย่างดินสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

(5.1) การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบาง (Shellby Tube Soil Sampler)

ภายหลังจากการขุดเจาะดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการแล้ว จะทำการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยกระบอกบาง (Shelly Tube) ซึ่งเป็นกระบอกเหล็กบางไม่มีตะเข็บหนาประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 600 มิลลิเมตร กดลงไปในชั้นดินก้นหลุม ด้วยความเร็วสูงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ทำการหมุนก้านเจาะ 2-3 รอบ เพื่อเป็นการตัดตัวอย่างดิน แล้วจึงทำการดึงหรือถอนกระบอกบางที่กดลงไปขึ้นมา เนื่องจากการเก็บตัวอย่างวิธีนี้เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) จึงควรหลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างโดยการตอกกระบอก เพื่อให้ตัวอย่างดินที่ได้คงสภาพโครงสร้างภายในไว้ได้มากที่สุด หลังจากทำการเก็บตัวอย่างดินแล้ว ต้องมีการปิดผนึกตัวอย่างด้วยพาราฟิน หรือ Wax หรือเทียนไข เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างดิน และนำส่งห้องปฏิบัติการทดสอบด้วยความระมัดระวังทันที การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีนี้ใช้เก็บตัวอย่างดินประเภทดินเหนียวอ่อน

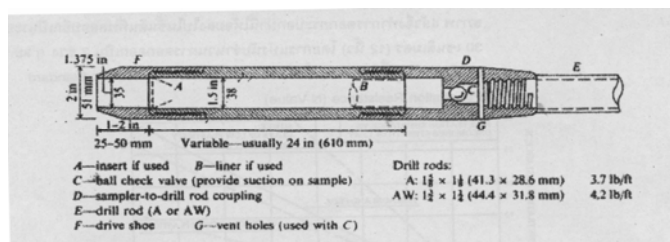


รูปที่ 3 : แสดงชุดเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพโดยใช้ Shellby Tube

(5.2) การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า (Split-spoon Soil Sampler)

การเก็บตัวอย่างดินไม่คงสภาพนี้ กระทำได้โดยการตอกกระบอกผ่า (Split Spoon) ลงไปในชั้นดินที่ต้องการเก็บตัวอย่างตามกรรมวิธีการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) จากนั้นทำการหมุนก้านเจาะ 2-3 รอบ เพื่อเป็นการตัดตัวอย่างดินบริเวณปลายกระบอกผ่าให้ขาดจากชั้นดิน แล้วทำการดึงหรือถอนกระบอกผ่าที่ทำการตอกลงไปขึ้นมา กระบอกผ่านี้สามารถถอนออกได้ และสามารถสไลด์กระบอกผ่าให้แยกออกจากกันเป็น 2 ซีก ตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกผ่านี้ถือเป็นตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนอยู่บ้าง (Partially Disturbed Sample) เนื่องจากแรงจากการตอกกระบอกผ่าลงไปในชั้นดิน จากนั้นจึงนำตัวอย่างดินออกจากกระบอกผ่าโดยเร็ว เก็บใส่ภาชนะและปิดผนึกกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกไป แล้วนำส่งเข้าห้องปฏิบัติการทดสอบต่อไป การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้เก็บตัวอย่างดินประเภทดินเหนียวแข็ง และชั้นดินทราย ซึ่งในกรณีของชั้นดินทรายตัวอย่างที่ได้มักจะถูกอัดแน่นขึ้นกว่าสภาพเดิมตามธรรมชาติ ทำให้ไม่อาจทราบความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่แท้จริงจากตัวอย่างที่เก็บขึ้นมาได้

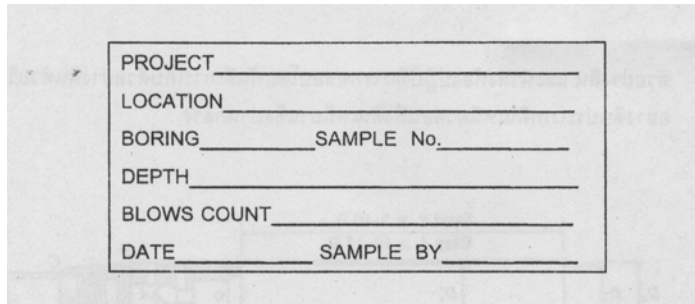
โดยทั่วไป ตัวอย่างดินจะถูกนำออกจากกระบอกผ่าโดยเร็ว เพื่อจำแนกลักษณะดินเบื้องต้น ตัวอย่างดินที่ได้จะถูกเก็บใส่ลงขวด ปิดฝาให้มิดชิด เพื่อป้องกันความชื้นของดินระเหยออกจากขวด ก่อนจะถูกนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป



รูปที่ 4 : แสดงชุดเก็บตัวอย่างแบบไม่คงสภาพโดยใช้ Split-spoon

นอกจาก 2 วิธีดังกล่าวข้างต้นแล้ว การเก็บตัวอย่างดินยังสามารถทำได้อีกหลายวิธี เช่น โดยใช้ Piston sample, Core sample และ Block sample ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัด และการรบกวนตัวอย่างดินที่แตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และคุณภาพของตัวอย่างที่ต้องการ

ในการเก็บตัวอย่างดินทุกชนิด จำเป็นจะต้องมีการติดฉลาก ทุกตัวอย่างเพื่อเป็นการป้องกันการสลับตัวอย่างดิน โดยในฉลากข้อมูลระบุถึง รายละเอียดของตัวอย่างดินนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.5



PROJECT	_____
LOCATION	_____
BORING	_____ SAMPLE No. _____
DEPTH	_____
BLOWS COUNT	_____
DATE	_____ SAMPLE BY _____

รูปที่ 5 : แสดงรายละเอียดของฉลากที่ใช้ติดตัวอย่างดิน

1.2 การทดสอบตัวอย่างดิน

การทดสอบตัวอย่างดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ในการบ่งบอกถึงลักษณะ และคุณสมบัติของดิน เพื่อง่ายต่อการจำแนกชั้นดิน และวิเคราะห์ออกแบบระบบฐานราก โดยการทดสอบตัวอย่างดินนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทการทดสอบใหญ่ ๆ ดังนี้

1.2.1 การทดสอบดินในสนาม

การทดสอบดินในสนาม ส่วนใหญ่จะเป็นการทดสอบทางด้านกำลังของดินโดยจะทำการทดสอบในบริเวณหลุมเจาะที่กำลังทำการเจาะสำรวจอยู่โดยมีการทดสอบดังนี้

(1) การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

การทดสอบ Standard Penetration Test เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย เพราะระหว่างการทดสอบสามารถเก็บตัวอย่างดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าการหาค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินได้ด้วย ดังนั้น จุดประสงค์ของการทดสอบ SPT จึงนอกจากจะใช้ในการประมาณค่า consistency ของดินที่มีความเชื่อมแน่น (cohesive soil) แล้ว ยังสามารถใช้ในการหาค่าความแน่นสัมพัทธ์ และมุมเสียดทานภายในโดยประมาณของดินทราย (cohesionless soil) ได้อีกด้วย การทดสอบวิธีนี้ทำได้โดยการตอกกระบอกผ่าด้วยลูกตุ้มเหล็กหนัก 63.50 กิโลกรัม (140 ปอนด์) ยกสูง 0.762 เมตร (30 นิ้ว) ให้กระบอกผ่าจมลงไปในชั้นดินจนหลุมเจาะ เพื่อให้แน่ใจว่าการตอก SPT ครั้งนี้ได้กระทำในชั้นดินคงสภาพ แล้วจึงทำการตอกกระบอกผ่านี้ให้จมลงไปในชั้นดินที่ต้องการทดสอบ โดยการแบ่งนับจำนวนการตอกออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) จนกระบอกผ่าจมลงดิน 3 ช่วงรวม 18 นิ้ว จำนวนครั้งที่ตอกลง 2 ช่วง (12 นิ้ว) สุดท้ายนี้เรียกว่า Standard Penetration Resistance (N-Value) มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อฟุต (blows/foot)



รูปที่ 6 : แสดงวิธีทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

การทดสอบนี้ เป็นเพียงการวัด consistency ของดินเท่านั้น แต่ก็ได้มีผู้รู้หลายท่านได้พยายามหาความสัมพันธ์ เพื่อเปลี่ยนค่า N ไปเป็นคุณสมบัติของดินด้านต่างๆ เช่น กำลังรับแรงเฉือนของดิน เป็นต้น

ตารางที่ 1 : แสดงสัมพันธ์ระหว่าง SPT N-Value, Consistency, Relative Density (Dr.)

ประเภทดิน					
Cohesive Soil			Cohesionless Soil		
SPT N-Value	Consistency	UC.Test (ksc.)	SPT N-Value	Consistency	Dr.(%)
0-1	Very Soft	0.00-0.25	0-4	Very Loose	0-15
2-4	Soft	0.25-0.50	5-10	Loose	15-35
5-8	Medium	0.50-1.00	11-30	Medium	35-65
9-15	Stiff	1.00-2.00	31-50	Dense	65-85
16-30	Very Stiff	2.00-4.00	>50	Very Dense	85-100
>30	Hard	>4.00			

ค่า N ที่ได้จากการทดสอบในสนาม อาจมีค่าผิดพลาดอันเนื่องมาจากสภาพเครื่องมือ สภาพดินที่ทดสอบ แรงดันของน้ำใต้ดินและค่า Overburden Pressure ที่เกิดขึ้นในดินที่ทดสอบ จึงต้องมีการปรับแก้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบในสนามดังนี้

Terzaghi & Peck ได้เสนอการปรับแก้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบในสนาม สำหรับดินประเภท Fine Sand และ Silty Sand ที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ความผิดพลาดของค่า N จะเกิดจากแรงดันของน้ำในดิน โดยได้เสนอการปรับแก้ดังนี้

$$N' = 15 + 0.5 (N-15) \quad \text{ถ้า } N > 15 \quad \dots\dots\dots(1.2-1)$$

$$N' = N \quad \text{ถ้า } N \leq 15 \quad \dots\dots\dots(1.2-2)$$

Peck, Hanson & Thornburn (1974) ได้เสนอการปรับแก้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบในสนาม ในดินประเภท Cohesionless Soil ความผิดพลาดของค่า N อันเนื่องมาจากค่า Overburden Pressure โดยได้เสนอการปรับแก้ดังนี้

$$N' = C_n N \quad \dots\dots\dots(1.2-3)$$

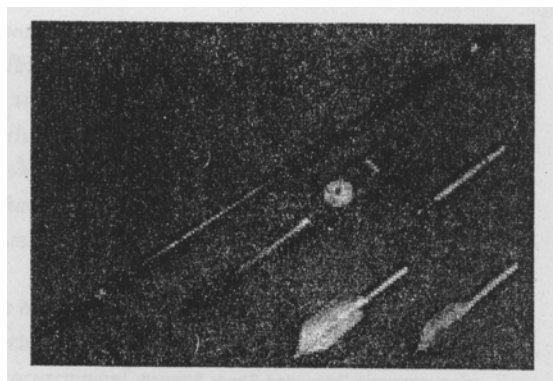
เมื่อ $C_n = \text{Correction Factor}$

$$= \frac{0.77 \log_{10} 20}{\sigma'_{vo}} \quad \dots\dots\dots (1.2-4)$$

และ $\sigma'_{vo} = \text{Effective Overburden Pressure}$

(2) การทดสอบ Field Vane Shear Test

การทดสอบ Field Vane Shear เป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, S_u) ทำได้ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Soft to Medium clay) ในสภาพธรรมชาติ ปราศจากการกระทบกระเทือนต่อโครงสร้างดิน ทำโดยกดใบ Vane ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบาง ๆ รูปสี่เหลี่ยมคล้ายใบมีด 4 อัน เชื่อมติดอยู่ด้วยกัน มีความสูงต่อความกว้างของใบเท่ากับ 2:1 กดลงไปในพื้นที่ที่ต้องการทราบค่า Shear Strength จากนั้นติดตั้งเครื่องส่งถ่ายแรงบิตเข้ากับก้านของใบ Vane แล้วทำการหมุนใบ Vane ให้ตัดมวลดิน จนดินขาดออกจากกัน(failure) นำค่าที่อ่านได้สูงสุดมาเข้าสมการหาค่า Undrained Shear Strength, S_u หากต้องการหาค่า Remolded Shear Strength ก็ให้หมุนใบ Vane ประมาณ 25 รอบ เพื่อกวนชั้นดินจากนั้นให้ดำเนินการทดสอบหมุนใบ Vane อีกครั้งหนึ่งโดยนำค่าแรงบิตที่อ่านได้เข้าสมการเพื่อหาค่า Remolded Shear Strength ปัจจุบันได้มีการแปลงค่าแรงบิตที่อ่านได้ เป็นค่าของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากเกจที่ติดตั้งกับตัวเครื่องมือ ทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 7 : แสดงเครื่องมือทดสอบ Field Shear Vane Borer (Geonor H – 70)



รูปที่ 8 : แสดงการทำ In situ Field Vane Shear Test (Geonor Vane)

จากค่า Shear Strength และค่า Remolded Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบ Field Vane Shear ทำให้สามารถหาค่า Sensitivity ของชั้นดินได้

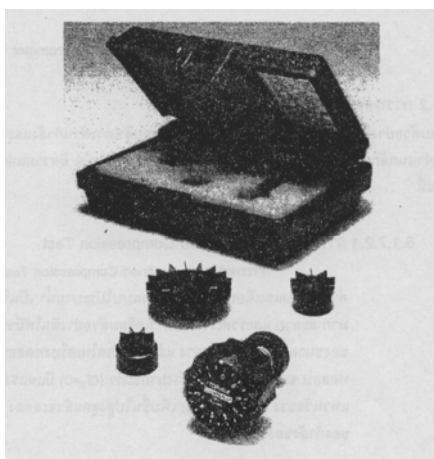
$$\text{Sensitivity (St)} = \frac{\text{Peak Shear Strength}}{\text{Remolded Shear Strength}} \dots\dots\dots(1.2-5)$$

ตารางที่ 2 : แสดงการจำแนกความไว (Sensitivity, St.) ของดินเหนียวตามขนาดของความไว (Bowles, 1979)

การจำแนกความไว	ความไวของดิน
ดินเหนียวที่ไม่มีความไว (Insensitive Clay)	< 2
ดินที่มีความไวอยู่ในขั้นปานกลาง	2 – 4
ดินเหนียวที่มีความไว (Sensitive Clay)	4 – 8
ดินเหนียวที่มีความไวสูง (Very Sensitive Clay)	8– 16
ดินเหนียวที่มีความไวสูงมาก (Quick Clay)	> 16

(3) การทดสอบ Pocket Shear Vane Device (Torvane)

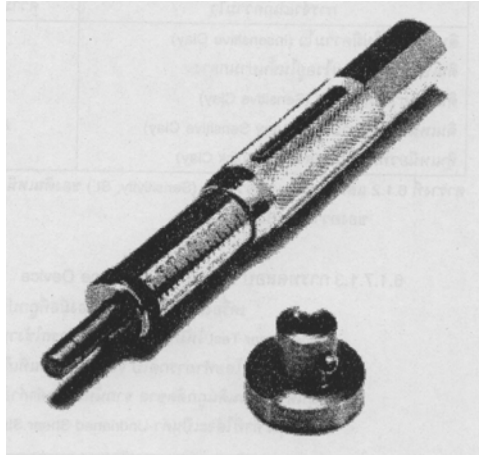
เครื่องมือชนิดนี้ เป็นเครื่องมือที่ถูกปรับปรุงขึ้นมาจากเครื่องทดสอบ Vane Shear Test ให้มีขนาดเล็กลงสามารถใช้งานได้ในห้องปฏิบัติการทดสอบและในสนาม ใช้สำหรับทดสอบดิน Very soft to Stiff clay (ประมาณ 0.0-1.0 ksc.) โดยทำการกดใบ Vane ลงในดินที่เก็บขึ้นมาจากกระบอกบาง แล้วหมุนด้วยมือจนดินถูกตัดขาด จากนั้นก็อ่านค่ากำลังของแรงเฉือนที่ด้านบนตรงที่ด้ามหมุน ค่าที่ได้จะเป็น Undrained Shear Strength ขนาดของใบ Vane มีหลายขนาด ขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ทำการทดสอบ โดยใบใหญ่สุดใช้ทดสอบ remold sample ใบขนาดปานกลางใช้กับดินทั่วไป และใบขนาดเล็กสุดใช้กับดินที่ค่อนข้างแข็ง เป็นต้น



รูปที่ 9 : เครื่องทดสอบ Pocket Shear Vane Device (Torvane)

(4) การทดสอบ Pocket Penetrometer

เป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ในห้องปฏิบัติการทดสอบและในสนาม มีขนาดกะทัดรัดคล้ายปากกา ใช้กดลงไปในตัวอยางดินที่เก็บมาจากกระบอกบาง หรือกระบอกผ่าจนถึงขีดที่กำหนด โดยมีสปริงรับแรงอยู่ข้างใน จากนั้นทำการอ่านค่ากำลังรับแรงเฉือนได้ที่ด้ามจับ ค่าที่ได้จะเป็นค่า Unconfined Compressive Strength (Up) ซึ่งเมื่อจะแปลงเป็นค่า Undraind Shear Strength จะต้องนำค่า Up ไปหาร 2 เสียก่อน



รูปที่ 10 : เครื่องมือทดสอบทดสอบ Pocket Penetrometer test

การทดสอบทั้ง 2 วิธี คือ Pocket Shear Vane Device (Torvane) และ Pocket Penetrometer นิยมทดสอบรวมกับการทดสอบแบบอื่น เช่น Unconfined Compression Test เพื่อหาความสอดคล้องของการทดสอบ และนำเชื่อถือมากขึ้น

1.2.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ และด้าน ปรจุวิศวกรรมของดิน เพื่อใช้จำแนกลักษณะ ว่าเป็นดินประเภทใด และมีคุณสมบัติด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างไร เช่น คุณสมบัติด้านกำลัง (Strength Properties) คุณสมบัติด้านการยุบอัดตัว (Consolidation Properties) หรือ คุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำ (Permeability Properties) ของดิน เป็นต้น

(1) การทดสอบ Unconfined Compression Test

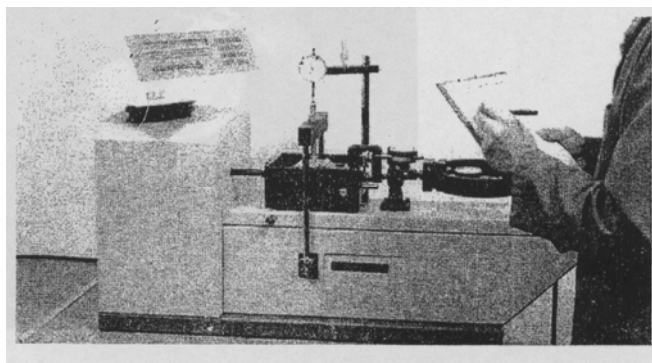
การทดสอบ Unconfined Compression Test เป็นการทดสอบวัดหาค่ากำลังรับแรงเฉือน ของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันมาก สะดวก และรวดเร็ว โดยการเตรียมตัวอย่างดินให้มี ขนาดความสูงเป็น 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แล้วนำไปกดในเครื่องทดสอบ โดยขณะที่ทำการทดสอบ จะไม่มี แรงดันทางข้างมากระทำ ($\sigma_3=0$ มีแต่แรงในแนวตั้งเท่านั้น) เมื่อวงแหวนวัดแรง (Proving ring) เพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วจะ ลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังของดินแล้ว เนื่องจากการทดสอบนี้จะทำแบบเร็ว และน้ำยังไม่มีโอกาสระบาย ออกไปได้ จึงเป็นการ Undrained ซึ่งปกติเป็นดินอิ่มตัว และค่ามุมเสียดทานภายในถูกสมมติว่าเป็นศูนย์ ดังนั้นค่า กำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงกดสูงสุด



รูปที่ 11 : เครื่องมือทดสอบ Unconfined Compression Test

(2) การทดสอบ Direct Shear Test

การทดสอบ Direct Shear Test เป็นการทดสอบวัดหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งดินเหนียวและดินทราย ปัจจุบันนิยมทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่เป็นดินทราย หรือทรายปนดิน โดยนำตัวอย่างทรายมาเตรียมในกล่องทดสอบ (Shear Box) ให้ความหนาแน่นตามต้องการแล้วจึงนำไปทดสอบ Direct Shear



รูปที่ 12 : เครื่องมือทดสอบ Direct Shear

(3) การทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (consolidation Test)

ทำโดยใช้เครื่อง Oedometer โดยบรรจุตัวอย่างดินในวงแหวนเตรียมตัวอย่าง ดินตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวตลอดเวลา วัดการยุบตัวเมื่อขึ้นน้ำหนัก ในช่วงเวลาต่างๆ จากมาตรวัด (Dial gauge) จนกว่าการยุบตัวจะมีค่าคงที่สำหรับน้ำหนักกดนั้นๆ หรือใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักกดขึ้นอีกจำนวนหนึ่ง เป็น 2 เท่าของน้ำหนักกดที่กระทำอยู่ก่อน แล้ววัดการยุบตัวเช่นเดียวกัน จนกระทั่งได้น้ำหนักกดครอบคลุมถึงน้ำหนักกระทำที่ต้องการ จากนั้นทำการลดน้ำหนักกดลงจำนวนหนึ่ง วัดการขยายตัวหรือบวมตัวของดิน ต่อไปลดน้ำหนักกดลงอีก แล้ววัดเช่นเดิม จนกระทั่งดินไม่บวมตัวอีก แล้วจึงนำดินตัวอย่างออก ซึ่งหาน้ำหนักและปริมาณน้ำในดิน แล้วนำผลทดสอบไปเขียนกราฟ คำนวณหาค่าต่างๆ

ผลที่ได้จากการทดลองในชั้นต้น จะประกอบด้วย ข้อมูลการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนัก ต่างๆกัน และข้อมูลความหนาแน่น และความชื้น ก่อน/หลังการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ เกี่ยวกับการยุบอัดตัวของดิน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวเชิงปริมาตร (m_v) , Comprssion Index (C_c), Comprssion Ratio (CR), Recompression Ratio (RR) และ Maximum Past Pressure (σ'_{vm}) เป็นต้น



รูปที่ 13 : เครื่องมือทดสอบ Consolidation

(4) การทดสอบ Natural Moisture Content

การทดสอบหาความชื้นของดินตามธรรมชาติ เป็นพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลดินเกี่ยวกับสภาพ ดิน เช่น แร่เหนียว อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัว เป็นต้น ทำโดยการนำดินตัวอย่างที่ทราบค่าน้ำหนักไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนดินแห้งสนิทและมีน้ำหนักคงที่ นำดินแห้งนำไปหา น้ำหนักโดยการชั่งหาน้ำหนัก แล้วคิดค่าปริมาณความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้ง เป็นเปอร์เซ็นต์

$$M = \frac{(w - w_s)}{w_s} 100 = \frac{w_w}{w_s} 100 \quad (1.2-6)$$

เมื่อ

M	=	ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น
W	=	น้ำหนักดินทั้งหมด
W_s	=	น้ำหนักดินแห้ง
W_w	=	น้ำหนักในมวลดิน

(5) การทดสอบ Atterberg's Limits

จากสภาพทั่วไปของดิน ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบ (Phase Relation) ของดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินและน้ำ ถ้าดินมีน้ำผสมอยู่มาก สภาพของดินจะอยู่สภาพเป็นของเหลว (Liquid State) และมีปริมาตรอยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อความชื้นหรือน้ำในมวลดินลดลงจนสถานะของดินเปลี่ยนเป็นพลาสติก (Plastic State) ปริมาตรของดินก็จะลดลงมาในระดับหนึ่ง และเมื่อความชื้นหรือน้ำในมวลดินลดลงอีก จนสถานภาพ ของดินเปลี่ยนสภาพเป็นกึ่งของแข็ง (Semi-solid State) ซึ่งปริมาตรของดินก็จะลดลงอีกระดับหนึ่ง และเมื่อความชื้นใน มวลดินลดลงอีก สภาพของดินก็จะเปลี่ยนเป็นสภาพของแข็ง (Solid State) ซึ่งปริมาตรของดินเมื่อลดลงมาถึงระดับนี้ แล้ว หากมีการสูญเสียความชื้นหรือน้ำในมวลดินต่อไปอีก ปริมาตรของดินก็จะอยู่คงที่

ดังนั้นปริมาณความชื้นจึงเป็นตัวกำหนดสถานะภาพของมวลดิน โดยแสดงในรูปของค่าพิกิตต่าง ๆ ดังนี้

- Liquid Limit (L.L.) ทำโดยใช้เครื่องมือของ Casagrande ที่เรียกว่า Liquid Limit Aparatus โดยนำดินเปียกมาใส่ในถ้วยทองเหลือง ปาดผิวหน้าให้เรียบ แล้วแบ่งดินเป็น 2 ส่วนด้วย Grooving tool หมุนให้ถ้วยยกกระแทกกับฐานเครื่องมือ ด้วยความเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที ระยะที่ตกกระแทกเท่ากับ 10 มม. จนกระทั่งดินที่แบ่งไว้ 2 ส่วนเคลื่อนเข้ามาติดกันประมาณ 1 ซม. บันทึกจำนวนครั้งที่ตกกระแทกและนำดินนั้นไปหาปริมาณความชื้น ทำซ้ำเช่นนี้ 4-5 ครั้ง โดยให้ดินมีปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน แล้วนำผลไปเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้ง กับความชื้นในกราฟ semi-log จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งปริมาณความชื้นที่ 25 ครั้ง Liquid Limit ของดิน ซึ่ง A.cassagrande ได้ให้ความเห็นว่าเท่ากับความชื้น ณ จุดที่กำลังของดินเท่ากับ 25 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเปรียบเทียบไว้ว่าการเคาะแต่ละครั้งเท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อมวลดิน มีค่าประมาณ 1 กรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 14 : เครื่องมือทดสอบ Liquid Limits

- Plastic Limit (P.L.) การหา Plastic Limit (P.L.) ทำโดยนำดินขึ้นมากลึงด้วยฝ่ามือบนแผ่นกระจก จนเป็นเส้นต้ายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) แล้วเริ่มเก็ตรอยร้าว ปริมาณความชื้นที่จุดนั้น คือ Plastic Limit ของดิน

- Shrinkage Limit(S.L.) ทำโดยนำดินมาผสมน้ำจนอยู่ในสภาพเป็นพลาสติกจากนั้นทำเป็นก้อนทรงกลมแบน ซึ่งหาหน้าหนักของมวลดิน และวัดปริมาตรในปรอท แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตรอีกครั้ง จะเห็นว่าดินเปลี่ยนจากสภาพพลาสติกเป็นสภาพแห้งนั้น จะต้องผ่าน Shrinkage Limit เสียก่อน โดยที่มีการสูญเสียความชื้นอีกต่อไปหลังจาก Shrinkage Limit แล้วปริมาตรดินก็ไม่ลดลง

(6) การทดสอบ Total Unit Weight

เป็นการทดสอบหาค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรของมวลดิน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าหน่วยแรงกดทับของชั้นดินในระดับความลึกต่างๆ (Overburden Pressure) การทดสอบนี้ทำโดยการดันดินออกจากกระบอกบาง หรือกระบอกผ่าแล้วทำการตัดแต่งตัวอย่าง วัดขนาด ส่วนสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร สำหรับทราย การหาค่า Total Unit Weight ทดสอบได้ลำบาก เพราะการเก็บตัวอย่างทราย แบบไม่รบกวนทำได้ยาก

(7) การทดสอบ Grain Size Analysis

เป็นการทดสอบหาขนาดเม็ดของดินและการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) เพื่อประโยชน์ในการจำแนกดิน (Soil Classification) และเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของดิน การทดสอบสามารถแบ่งเป็น 2 วิธี ขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน ได้แก่

(1.1) สำหรับดินที่มีเม็ดดินหยาบ การทดสอบทำโดยวิธีร่อนด้วยตะแกรง (Sieve Analysis หรือ Mechanical analysis) ทำโดยนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงในตะแกรงมาตรฐาน แล้วเขย่า ตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด ตั้งแต่เบอร์ 4 (ขนาด 4.75 มม.) ถึง เบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มม.) โดยเรียงตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กสุด เมื่อร่อนและนำมาชั่งก็จะคำนวณหาส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักทั้งหมด

(1.2) สำหรับดินเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. เช่น ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay) หรือดินตะกอนทราย (Silt) ใช้วิธีตกตะกอน (Hydrometer Analysis) ทำโดยการนำดินมาละลายน้ำแล้วใส่ลงในหลอดแก้วให้เม็ดดินหรือตะกอนกระจายแขวนตัวลอยอยู่ในน้ำ แล้วใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน หรือวัดค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำตามความลึกที่กำหนดที่ช่วงเวลาต่างๆ โดยอาศัย Stoke's Law ที่ว่า ความเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลวและขนาดของเม็ดดิน กล่าวคือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าดินเม็ดเล็ก ดังนั้น เมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอนก็สามารถคำนวณหาขนาดของตะกอนได้

เมื่อนำผลทดสอบเพื่อหาขนาดของเม็ดดิน ทั้งดินเม็ดหยาบที่ได้จากการร่อนด้วยตะแกรงและดินเม็ดละเอียดที่ได้จากวิธีตกตะกอน มาเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินกับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่าโดยน้ำหนัก(%fine) ในกระดาษ semi-log ก็จะได้เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ตะแกรง คือ ปริมาณของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับการกระจายของเม็ดดิน เช่น Uniformity Coefficient (C_u) และ Coefficient of Concavity (C_c) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์นั้นบอกเพียงปริมาณของดินที่มีขนาดเป็นดินเหนียวซึ่งไม่ได้บ่งชี้ถึงสมบัติทางด้าน Plasticity ได้แน่นอนเหมือน Liquid limit และ Plastic Limit

(8) การทดสอบ Specific Gravity

เป็นการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ซึ่งดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดต่างๆ ดินแต่ละที่ก็มีแร่ธาตุต่างกันไป เป็นผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน ค่าความถ่วงจำเพาะของดินเป็นข้อมูล ที่ใช้ในการหาค่าสถานะความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของดิน เช่น ความพรุน (Porosity) อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ความอิ่มตัวของน้ำ (Saturation) ความหนาแน่นของดิน (Density) และยังสามารถนำค่าความถ่วงจำเพาะของดินไปคำนวณการตกตะกอนของเม็ดดินในการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

1.3 การจำแนกชั้นดิน

การจำแนกชั้นดินเป็นจัดกลุ่มของตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โดยจัดตัวอย่างดินที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน หรือใกล้เคียงกัน โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ เช่น ประเภทของดินความสามารถรับแรงเฉือน ปริมาณความชื้นของดินตามธรรมชาติและ consistency ของดิน เป็นต้น ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน การจำแนกดินในเบื้องต้นต้องอาศัยประสาทสัมผัส (Visual Soil Classification) เช่น ตา ดู มือ จับ ตม กลิ่น เป็นต้น จากนั้นจึงพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อจำแนกดินโดยละเอียดอีกชั้นหนึ่ง

1.3.1 การจำแนกดินด้วยตาเปล่า (Visual Soil Classification)

เป็นการจำแนกดินชั้นต้น เพื่อให้ทราบว่าเป็นดินชนิดใด โดยดูด้วยตาเป็นส่วนใหญ่ และอาศัยการสัมผัสด้วยมือ หรือใช้อุปกรณ์อย่างง่าย ๆ ประกอบ เช่น ตะแกรง เพื่อดูชนิดของดินอย่างคร่าว ๆ และเป็นข้อมูลชั้นต้นในการเลือกชนิดการทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป

การจำแนกดินด้วยวิธีนี้ มักทำในสนาม โดยการสังเกตสีของดิน ยึดเอาสีหลัก ๆ ที่ปรากฏเห็นได้ชัดเจนเพียง 1-2 สีเท่านั้น จากนั้นจึงทำการจำแนกว่าตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาเป็นดินประเภทใด ดินเม็ดหยาบหรือเม็ดละเอียด โดยสังเกตจากชนิดดินจำพวกหลัก ๆ เช่น กรวด ทราย หรือดินเหนียว ในกรณีที่ตัวอย่างดินเป็นดินชนิดละเอียดอาจจะทำการแยกดินได้ลำบากว่าเป็นดินประเภทตะกอนทราย หรือดินเหนียว ให้ทำการปั้นดินเป็นทรงต่าง ๆ เมื่อดินถูกปั้นเปลี่ยนรูปทรงได้ โดยไม่แตกร้าวง่าย แสดงว่าตัวอย่างดินนี้เป็นดินประเภทดินเหนียว บางครั้งอาจต้องมีการดมกลิ่นของตัวอย่างดิน เพื่อที่จะทำการจำแนกว่าตัวอย่างดินมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่หรือไม่ โดยดินที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่มากมักจะมีสีดำและมีกลิ่น เช่น Peat หรือ Muck การจำแนกดินในสนามอาจมีข้อผิดพลาดได้ในเรื่องของประเภทดิน โดยเฉพาะดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก เช่น ดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) หรือ ทรายปนดินเหนียว (Clayey Sand) การจำแนกดินจำพวกนี้ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากห้องปฏิบัติการทดสอบ เป็นข้อมูลในการจำแนกอีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 3 : แสดงขนาดของเม็ดดินแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASTM

ชนิดของดิน	ขนาดของเม็ดดิน (มม.)
Boulders	> 300
Cobbles	300 ถึง 76
กรวด (Gravel)	76 ถึง 4.75
ทรายหยาบ(Coarse Sand)	4.75 ถึง 2.00
ทรายหยาบปานกลาง(Medium Sand)	2.00 ถึง 0.425
ทรายละเอียด(Fine Sand)	0.425 ถึง 0.074
ดินตะกอนทราย(Silt)	0.075 ถึง 0.002
ดินเหนียว(Clay)	< 0.002

จากรูปที่ 15 เป็นอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในสนาม ประกอบด้วย หมวกนิรภัย เพื่อป้องกันอันตราย อันอาจเกิดขณะทำการเจาะสำรวจ เครื่องมือทดสอบตัวอย่างดินในสนาม (Pocket Shear Vane Device และ Pocket Penetrometer) ที่ปาดดิน(Spatula) สมุดเทียบสีดิน และ Field Log Test



รูปที่ 15 : แสดงอุปกรณ์ประกอบในสนาม จากซ้ายไปขวาประกอบด้วย หมวกนิรภัย, เครื่องมือทดสอบ Pocket Shear Vane Device, Field Log Test, Pocket Penetrometer, Spatula และสมุดเทียบสีดิน

ในการบันทึกการจำแนกดินด้วยตาเปล่าในสนามลงใน Field Log Test นั้น โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ข้อมูลรายละเอียดของตัวอย่างดิน (เช่น ความลึก และชนิดของการเก็บตัวอย่าง), ผลทดสอบในสนาม (เช่น SPT, กำลังรับแรงเฉือนของดิน ฯลฯ) และการจำแนกดินเบื้องต้น โดยพิจารณา consistency ของดิน, สี, ชนิดของดิน และสิ่งเจือปน เช่น Soft Dark Grey Silty Clay หมายถึง ตัวอย่างดินที่ได้มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนมีตะกอนทรายปนอยู่บ้าง และมีสีเทาเข้ม เป็นต้น

ซึ่งข้อมูลใน Field Log Test จะประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ เช่น ผลทดสอบในสนาม และการจำแนกดินเบื้องต้น จุดเปลี่ยนของชั้นดิน เป็นต้น (ดังแสดงในรูปที่ 2.15) เพื่อเป็นข้อมูลในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และเป็นตัวกำหนดความหนาตลอดจนเป็นประโยชน์ในการจัดกลุ่มของชั้นดิน อีกด้วย

PROJECT		BORING LOCATION		WATER LEVEL OBSERVATION				ABBREVIATIONS							
LOCATION				WL		WS or WD		FI - FISH TAIL		R.E. ROCK BIT					
				WL		SCR		WD - WASH-OUT		WS - WHOLE SAMPLING					
				WL		AB		SI - SHELBY TUBE		WD - WHOLE DRILLING					
				WL		24 Hr AB		SA - SPLIT SPKON		SOIL BEFORE CASING REMO.					
				WL		4.50		DB - DIAMOND BIT		JACKER AFTER CASING REMO.					
				WL		24 Hr AB		FL - POWER AUGER A.B.		AFTER BORING					
SAMPLE NO	DEPTH		SAMPLE METHOD	STANDARD PENETRATION TEST			MER. 140° DROP: 30'			R	WEATHER	SHEET	OF		
	FROM	TO		SPLIT SPOON - BLOWS		UP-AND-DOWN FIELD VANE SHEAR	PENE. NO. METRIC TEST	VS. (knc.)	LENGTH RECOVER m					BORING No.	SURFACE ELEV. m
				6"	6"										
1	1.50	1.95	SR	1	2	1	1.50	0.30		Medium dark brown silty clay		1			
2	3.00	3.45	SR	2	2	3	1.50	0.2		Medium					
3	4.50	4.95	SR	4	5	8	1.50	0.2		Stiff					
4	6.00	6.45	SR	5	8	10	1.50	0.2		Very stiff grey and brown silty clay					
5	7.50	7.95	SR	7	10	14	2.00	0.2							
6	9.00	9.45	SR	10	14	15	3.75	0.2		Very stiff light greyish brown silty clay					
7	10.50	10.95	SR	10	11	13	3.25	0.2		Very stiff yellow and red silty clay					
8	12.00	12.45	SR	13	17	21	4.50	0.2		trace brown, laterite					
9	13.50	13.95	SR	12	18	18	4.50	0.2		Hard light gray and yellowish red silty clay					
10	15.00	15.45	SR	16	22	24	4.50	0.2		Hard dark and light gray yellow red clay					
11	16.50	16.95	SR	21	28	30	4.50	0.2		Hard yellowish brown silty clay					
11	16.50	16.95	SR	21	28	30	4.50	0.2		Hard light yellow and brown red					

รูปที่ 16 : แสดงตัวอย่าง Field Log Test

1.3.2 การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม

การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม อาศัยการจำแนกดินด้วยตาเปล่า และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยนำคุณสมบัติต่าง ๆ จากการทดสอบมาประกอบกัน หลักเกณฑ์ในการจำแนกดินโดยละเอียดมีหลายมาตรฐานด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะ Unified Soil Classification ซึ่งนิยมใช้กับงานฐานรากทั่วไป เท่านั้น

การจำแนกดินด้วยระบบ Unified Soil Classification การจำแนกดินด้วยวิธีนี้จะทำการจำแนกดินเสียก่อนว่าเป็นดินชนิดเม็ดหยาบ หรือดินชนิดเม็ดโดยอาศัยข้อมูลจากทดสอบ Sieve Analysis โดยดูว่ามีดินค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 อยู่เท่าไร ถ้ามีดินค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 เกิน 50 % ถือว่าเป็นดินจำพวกเม็ดหยาบ ดินจำพวกนี้ได้แก่ ตะกอนทราย (Silt) หรือดินเหนียว (Clay)

ในการจำแนกชั้นดินจะได้สัญลักษณ์ อักษรตัวหน้าของดินจะบอกชนิดของดิน เช่น

กรวด (Gravel)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “G”
ทราย (Sand)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “S”
ตะกอนทราย (Silt)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “M”
ดินเหนียว (Clay)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “C”
ดินมีสารอินทรีย์ปน(Organic)	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “O”
Peat	อักษรตัวหน้าก็จะเป็น “Pt”

ส่วนอักษรที่สอง ซึ่งเป็นตัวบอกลักษณะของดิน ซึ่งหาได้จากการกระจายของเม็ดดิน และการทดสอบหาค่าความชื้นเหลวของเม็ดดิน (Atterberg's Limit) เช่น

- ดินเม็ดหยาบมีขนาดเม็ดคละกัณฑ์ (Well graded) ตัวอักษรที่สองเป็น “W”
- ดินเม็ดหยาบมีขนาดเม็ดคละกัณฑ์ไม่ดี (Poorly graded) ตัวอักษรที่สองเป็น “P”
- ดินเม็ดละเอียดที่มีพาสติกชิตสูง (High Plastic) ตัวอักษรที่สองเป็น “H”
- ดินเม็ดละเอียดที่มีพาสติกชิตต่ำ (Low Plastic) ตัวอักษรที่สองเป็น “L”

หากดินพวกเม็ดหยาบมีส่วนที่เป็นเม็ดละเอียดปนอยู่ อักษรตัวที่สองอาจมีการเปลี่ยนจาก W หรือ P เป็น C หรือ M ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของดินเม็ดละเอียดผสมอยู่ ชิดจำกัดความชื้นเหลว และค่าพลาสติคชิตของดินเม็ดละเอียดที่ผสมอยู่พอที่จะสรุปได้ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ผ่าน เบอร์ 200	สัญลักษณ์ของกลุ่มดิน
< 5%	GW, GP, SE, SP
5% - 12%	GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC
>12%	GC, GM, SC, SM

ในกรณีดินพวกเม็ดหยาบที่มีส่วนที่เป็นเม็ดละเอียดปนอยู่มากกว่า 12% แต่ไม่ถึง 50% โดยปกติแล้วสัญลักษณ์ของกลุ่มดินจะอยู่ใน GC, GM, SC, SM หากค่าพลาสติคชิตอยู่ระหว่าง 4-7 สัญลักษณ์ของกลุ่มดินถูกเปลี่ยนเป็น GM-GC หรือ SM-SC

ส่วนในดินเม็ดละเอียดสัญลักษณ์ของกลุ่มดินอาจจะเป็น ML, MH, OL, OH, CL, CH หรือ CL-ML ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพิกิตความชื้นเหลว และค่าพลาสติคชิต

การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification นี้ สามารถจำแนกดินได้ตามผังการจำแนกดิน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 16

Classification of Soils for Engineering Purposes ASTM Designation D-2487					
Major Divisions	Group Symbols	Typical Names	Classification Criteria		
Coarse-Grained Soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	GW	Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3	
		GP	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting both criteria for GW	
		GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4	
		GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7	
	Sands More than 50% of coarse fraction passes No. 4 sieve	SW	Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3	
		SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines	Not meeting both criteria for SW	
		SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4	
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7	
	Fine-Grained Soils 50% or more passes No. 200 sieve	Sands with Fines	ML	Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands	Plasticity chart for classification of fine-grained soils and fine fraction of coarse-grained soils. Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols. Equation of A-line: $P_I = 0.73(100 - LL)$
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
OL			Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
MH			Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts		
CH			Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
OH			Organic clays of medium to high plasticity		
Highly organic soils		PT	Peat, muck and other highly organic soils	Visual-manual Identification	

รูปที่ 17 : ผังการจำแนกดินด้วยระบบ Unified Soil Classification

ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน และผลทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนผลการจำแนกดิน จะถูกนำมาเขียนลงใน Summary of Test Results (แสดงในรูปที่ 2.1(18)) เพื่อเป็นการสรุปคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ จากนั้นจึงทำการแบ่งชั้นดินตามประเภทของดิน และคุณสมบัติที่ได้ต่อไป ซึ่งการแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้น ๆ นี้ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ฐานราก และง่ายต่อการศึกษาสภาพชั้นดิน โดยจะแสดงลักษณะชั้นดินไว้ใน Boring Log อีกทางหนึ่ง (แสดงในรูปที่ 18

1.4 การอ่านข้อมูลดิน

ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน นอกจากจะนำไปใช้เพื่อการออกแบบฐานรากทั้งแบบตื้นและแบบใช้เสาเข็มแล้ว ยังสามารถนำผลการทดสอบ มาวิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาสาเหตุความเสียหาย พร้อมกันเสนอแนวทางการแก้ไขได้ด้วย เช่น การวิเคราะห์การวิบัติของเชิงลาดเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำต่างๆ เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่ต้องใช้ข้อมูลสภาพของชั้นดินบริเวณนั้นทั้งสิ้น รายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินจะใช้ประโยชน์ได้สูงสุดก็ต่อเมื่อผู้อ่านสามารถเข้าใจค่าต่างๆ ในรายงานได้อย่างครบถ้วน เพื่อประโยชน์ในการนำค่าต่าง ๆ ไปใช้ในการออกแบบต่อไป

ส่วนประกอบหลักของรายงานการเจาะสำรวจดิน โดยทั่วไป จะประกอบด้วย

- 1.) ลักษณะภูมิประเทศและข้อมูลทั่วไปของโครงการ
- 2.) ตำแหน่งหลุมเจาะและระดับปากหลุม
- 3.) ระดับน้ำใต้ดิน
- 4.) ลักษณะชั้นดิน
- 5.) การวิเคราะห์ทางปฐพีวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินหรือเสาเข็ม เป็นต้น
- 6.) สรุปผลและข้อเสนอแนะ
- 7.) เอกสารแนบท้าย ซึ่งประกอบด้วย ภาพถ่ายและผังบริเวณพื้นที่ทำการเจาะสำรวจ ตารางสรุปผลการทดสอบดินจากห้องปฏิบัติการ(Summary of Test Results) Boring Log และผลการทดสอบอื่นเพิ่มเติม (ถ้ามี) เช่น ผลการตอกหยั่ง (Sounding Test) เป็นต้น

ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลดินใน Summary of Test Result และ Boring Log มีดังนี้

1.4.1 การอ่านตารางสรุปผลการทดสอบของตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ (Summary of Test Results)

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

ช่องที่ 1 เป็นรายละเอียดและข้อมูลทั่วไปของหลุมเจาะ เช่น ชื่อโครงการ ,สถานที่ตั้งโครงการ,เลขที่หลุมเจาะ,ระดับปากหลุมเจาะสำรวจ ,ระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะต่ำจากระดับปากหลุม ,ผู้ทดสอบ, วิศวกรผู้คำนวณ และผู้ตรวจรับรองผลการทดสอบ ,วันเดือน ปีที่ทำเจาะสำรวจชั้นดิน และรหัสงานที่ทดสอบในปัจุบันประมาณ

ช่องที่ 2 (Depth)

แสดงระดับความลึกของตัวอย่างดินที่เก็บตัวอย่างในแต่ละชั้น

ช่องที่ 3 (Sample type)

แสดงชนิดของวิธีการเก็บตัวอย่าง เช่น ถ้าใช้กระบอกบางเก็บตัวอย่าง

จะใช้อักษรย่อว่า ST (Shelby tube sampling) แสดงถึงตัวอย่างดินแบบคงสภาพ

และถ้าเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าอักษรย่อจะใช้ SS (Split spoon sampling)

จะเป็นตัวอย่างดินชนิดไม่คงสภาพ

ช่องที่ 4 (Group symbol)

แสดงชื่อหรือชนิดของดินที่จำแนกตามวิธีของ Unified soil classification system เช่น

OL – ML หมายถึง ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทราย

อินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ หรืออาจเป็นตะกอนทรายอินทรีย์

และทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทราย

หรือ ดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย

CL หมายถึง ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดิน

เหนียวปนตะกอนทราย

SM หมายถึง ทรายมีตะกอนทรายปน

ช่องที่ 5 (Atterberg's limits)

แสดงค่า Atterberg' s limits ซึ่งประกอบด้วย ค่าขีดจำกัดเหลว(Liquid limits) ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limits) และค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index)

ช่องที่ 6 (Moisture content)

แสดงค่าปริมาณความชื้นมวลดินตามธรรมชาติ

ช่องที่ 7,8 (Unconfined compressive(UC), Pocket penetrometer test(UP))

แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ Unconfined compressive Test และ Pocket penetrometer test ตามลำดับ

ช่องที่ 9 (Unit weight)

แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดิน(Bulk unit weight)

ช่องที่ 10 (SPT)

แสดงค่า Standard Penetration Test (SPT) ที่ได้จากการจดบันทึกจากการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า โดยใช้ผลรวมระยะฝังลึก 30 ซม.สุดท้าย มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งของการจมต่อฟุต (blows/foot)

ช่องที่ 11 (Specific gravity)

แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

ช่องที่ 12 (Vane shear strength)

แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแบบ Vane Shear Test ซึ่งควรต้องระบุให้ชัดเจนอีกครั้งว่าเป็นที่ได้จาก Insitu Vane Shear หรือ Torvane device

ช่องที่ 13 (Direct shear test)

แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ Direct shear test (C)และแสดงค่ามุมเสียดทานภายใน ϕ (Angle of internal friction)

ช่องที่ 14 (Grain size analysis)

แสดงค่าปริมาณของดินที่ผ่านการทดสอบร่อนผ่านตะแกรง(Sieve analysis) เบอร์ 4 และเบอร์ 200 ตามลำดับ

โครงการ สถานที่ หลุมเจาะที่			①	สำนักควบคุมการก่อสร้าง กรมโยธาธิการและก่อสร้าง										ผู้ทดสอบ วิศวกร หัวหน้ากลุ่มงานปฐพี-4											
ระดับปากหลุม				100.235	เมตร	SUMMARY OF RESULT										วันที่ทดสอบ									
						ระดับน้ำใต้ดิน					-4.50					เมตรจากผิวดิน									
DEPTH ② (m)		SAMPLE ③ TYPE		GROUP ④ SYMBOL		ATTERRBURG'S LIMITS ⑤ (%)			MC ⑥ %	LC ⑦ REL.	LP ⑧ REL.	UNI. WEIGHT ⑨ GAL.		SPT ⑩ blow/bl.		Sp.Gr. ⑪	VANE SHEAR STRENGTH ⑫ KG.			DIRECT ⑬ SHEAR TEST			GRAIN SIZE ⑭ (% finer)		
FORM	TO	No.				LL	PL	PI				γ _t	γ _d				PS	RS	ST	C	φ	No. 4	No. 200		
0.00	1.50	PA																							
1.50	1.95	SS- 1		CL		26.80	16.76	10.04	22.36	-	-	1.68	1.37	3	-	-	-	-	-	-	-	94.12	67.10		
3.00	3.45	SS- 2		ML		22.04	19.57	2.47	22.13	+	+	1.77	1.45	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4.50	4.95	SS- 3		OL-ML		46.30	28.47	17.83	32.85	+	1.25	1.75	1.32	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6.00	6.45	SS- 4		OL-ML		34.60	25.83	8.77	28.19	+	1.50	1.79	1.40	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7.50	7.95	SS- 5		CL		49.35	19.89	29.46	26.03	2.64	3.00	2.06	1.63	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9.00	9.45	SS- 6		CL-ML		36.40	32.35	4.05	22.70	2.36	3.75	2.07	1.69	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10.50	10.95	SS- 7		GC-GM		31.40	24.72	6.68	14.83	+	3.75	2.02	1.76	24	-	-	-	-	-	-	-	46.28	32.78		
12.00	12.45	SS- 8		OL-ML		34.70	25.10	9.60	19.41	2.50	4.50	2.09	1.75	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
13.50	13.95	SS- 9		CL		26.55	9.97	16.58	18.85	2.97	4.50	2.07	1.74	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15.00	15.45	SS- 10		OL-ML		46.10	28.76	17.34	24.79	-	4.50	2.05	1.64	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16.50	16.95	SS- 11		CL		40.40	22.46	17.94	18.51	4.50	4.50	2.16	1.82	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
End of Boring																									

รูปที่ 18 : แสดงตัวอย่าง Summary of Test Result

1.4.2 การอ่าน Boring log

เป็นส่วนที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะการวางตัวของชั้นดิน และแสดงคุณสมบัติของชั้นดินและคุณสมบัติของดินเมื่อเทียบกับความลึกที่จะสำรวจ

ช่องที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของหลุมเจาะ และรายละเอียดของโครงการ เช่น ชื่อโครงการ สถานที่ตั้งโครงการ หมายเลขหลุมเจาะ ระดับปากหลุมเจาะ ระดับน้ำใต้ดิน เป็นต้น

ช่องที่ 2 (Soils description)

แสดงลักษณะของชั้นดิน(Soils description) ที่ความลึกต่างๆ ว่าเป็นดินชนิดอะไร มีสี หรือ consistency อย่างไร เช่น Soft to Medium dark brown silty clay หมายถึงเป็นชั้นดินอ่อนถึงปานกลางสีน้ำตาลเข้มดินเหนียวปนซิลท์ เป็นต้น

ช่องที่ 3 (Soil profile)

แสดงแถบสัญลักษณ์ของชั้นดิน ซึ่งจะมีรูปแบบเป็นลักษณะเฉพาะตัวตามชนิดของดิน

ช่องที่ 4 (Depth)

แสดงความลึกของชั้นดิน ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเริ่มจากระดับปากหลุมเจาะจนถึงสิ้นสุดความลึกหลุมเจาะ

ช่องที่ 5 (Sample type No.)

แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดิน และหมายเลขตัวอย่างที่เก็บ ตามแบบชนิดของการเก็บ
ตัวอย่าง เช่น SS (Split Spoon Sample) หรือ ST (Shellby Tube Sample) หรือ PA
(Power Auger) ซึ่งหมายถึง การใช้สว่านเจาะนำ เป็นต้น

ช่องที่ 6 (LL, PL, W_p)

แสดงความเป็นพลาสติกขีดของดิน โดยพิจารณาเปรียบเทียบ ค่าปริมาณความชื้นในดินแต่
ละชั้นตามระดับความลึก กับค่าขีดจำกัดเหลว และขีดจำกัดความเป็นพลาสติกของดิน

ช่องที่ 7 (1/2UC, 1/2UP, Vane shear test)

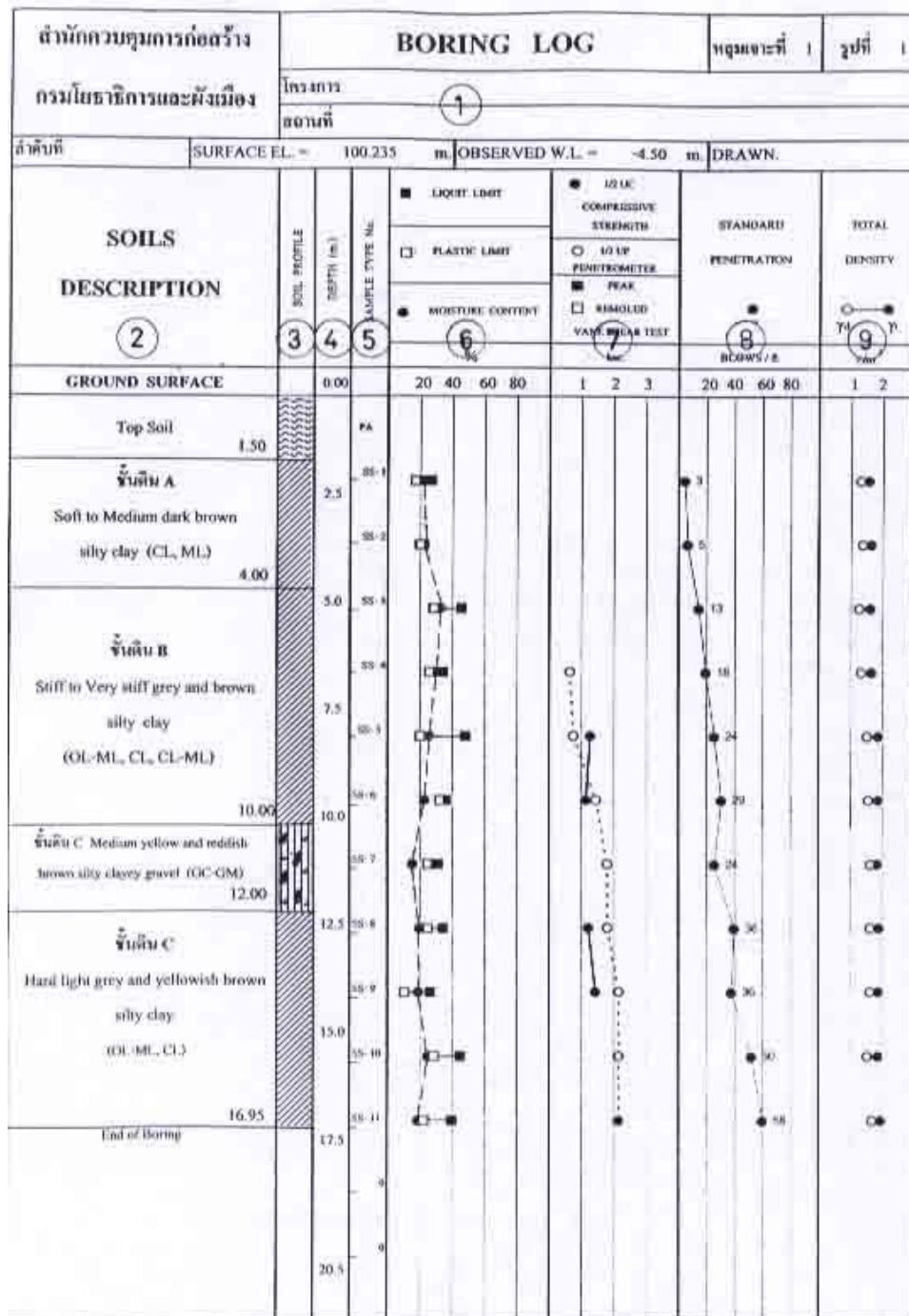
แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ที่ระดับความลึกต่างๆ กัน สำหรับการ
ทดสอบด้วยวิธี Unconfined compressive test, Pocket penetrometer
test และ วิธี Vane shear test ค่ากำลังรับแรงเฉือนๆ นี้ มีทั้งค่าแบบ peak
strength และ remolded strength ซึ่งใช้ในการบอกถึงความไวตัวของดิน (Sensitivity)

ช่องที่ 8 (Standard penetration test)

แสดงค่า SPT ที่จุดบันทึกซึ่งมักทำร่วมกับการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกผ่า มีหน่วยเป็น
blows/foot

ช่องที่ 9 (Total density; γ_T , γ_d)

แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของดินเปียก (γ_T) และหน่วยน้ำหนักดินแห้ง (γ_d) ในแต่ละชั้นดินนั้น



รูปที่ 19 : แสดงตัวอย่าง Boring Log

กล่าวโดยสรุปแล้ว การได้มาซึ่งข้อมูลดินที่ถูกต้องแม่นยำ และเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ออกแบบก่อสร้าง สำหรับโครงการต่างๆ นับเป็นเป้าหมายหลักของการหาคุณสมบัติดิน ซึ่งการรบกวนตัวอย่างดิน ความเที่ยงตรงของเครื่องมือ ทักษะและความชำนาญของผู้ทำการเจาะสำรวจและทดสอบ ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าว ดังนั้น ในการเจาะสำรวจและทดสอบตัวอย่างดินจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการเจาะสำรวจ เพื่อกำหนดขอบเขตการเจาะสำรวจ และการทดสอบตัวอย่างดินเอาไว้ในเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางให้การทำงานในแต่ละขั้นตอนมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางเอาไว้

และโดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ และคุณสมบัติของดินที่ได้จากการทดสอบ ตัวอย่างดินในสนามและห้องปฏิบัติการ จะถูกนำมารวบรวมไว้ในตารางสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของดิน (Summary of test results) และถูกนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้ในสนามจากตารางบันทึกในสนาม (Field Log Test) เพื่อแสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน (Soil stratum) แสดงค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของดิน (Soil properties) เมื่อเทียบกับความลึกที่เจาะสำรวจ ลงใน Boring Log อีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะข้อมูลต่างๆ จะถูกนำไปวิเคราะห์ออกแบบทางด้านวิศวกรรมต่อไป เช่น ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดิน (Bearing Capacity Analysis) การวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Allowable Pile Load Capacity Analysis) การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด (Slope Stability Analysis) การวิเคราะห์การทรุดตัว (Settlement Analysis) เป็นต้น

1. มณเฑียร กังคศิเทียม "กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม" (2533)
2. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ "วิศวกรรมปฐพี" (2540)
3. ดร.วรารกร ไม่เรียง, อ.จิรพัฒน์ โชติภักไกร, อ.ประทีป ดวงเดือน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ "ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ" (2525)
4. กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย "มาตรฐานงานช่าง"
5. Al-Khafaji&Andersland, 1992 "Geotechnical Engineering & Soil Testing"
6. เอกสารประกอบการบรรยาย "งานเชื่อมป้องกันตลิ่งสำหรับวิศวกร" สถาบันพัฒนาช่างมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง (2542)
7. เอกสารประกอบการบรรยาย "การเจาะสำรวจชั้นดิน" สถาบันพัฒนาช่างมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง (2548)
8. "แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่องานฐานราก" วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2545)

บทที่ 2 : การสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 การเตรียมตัวเพื่อการสำรวจสถานที่	2-1
1.2 การตรวจสอบสภาพพื้นที่บริเวณที่จะออกแบบ	2-2
1.3 การพิจารณาข้อมูลและเตรียมออกแบบเบื้องต้น	2-4
1.4 การสรุปข้อมูลการสำรวจเบื้องต้น	2-5
1.5 การสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง	2-6
1.5.1 การสำรวจเบื้องต้น	
1.5.2 การสำรวจเพื่อการออกแบบ	
1.6 แบบตัวอย่างการเขียนโครงการสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง	2-19
เอกสารอ้างอิง	

บทที่ 2 : การสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

นายพลทรัพย์ สมบูรณ์ปัญญา
วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง
นายธีรภูมิ ประพันธ์
นายช่างโยธา 6
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งให้สามารถป้องกันการพังทลายของตลิ่งได้นั้น เขื่อนดังกล่าวจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหายและสามารถป้องกันตลิ่งเดิมให้คงสภาพไว้ได้ ซึ่งการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งเพื่อป้องกันตลิ่งเดิมที่เคยเกิดการพังทลายไปแล้วนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงสภาพพื้นที่ที่แท้จริงตลอดแนวตลิ่งที่จะทำการป้องกันนั้นๆ ข้อมูลหลายๆ อย่างที่เกี่ยวข้องจะมีความจำเป็นเพื่อให้การออกแบบเขื่อนมีความมั่นคงแข็งแรง เช่น ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไป สภาพภูมิประเทศ สภาพชุมชน โครงสร้างบริเวณใกล้เคียง การใช้พื้นที่ข้อมูลเกี่ยวกับ ลำน้ำ เช่น ความกว้าง ความลึก ทิศทางการไหล ลักษณะรูปร่างของลำน้ำ การสัญจรทางน้ำ ปัญหาการกัดเซาะของตลิ่ง ลักษณะการกัดเซาะ ความลาดชันของตลิ่ง อัตราการกัดเซาะ ความยาวของพื้นที่ตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะ ความเร็วของกระแสน้ำ คุณภาพน้ำ คลื่น ระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ประเภทของดินริมตลิ่ง ดินท้องน้ำ น้ำใต้ดิน วัสดุที่จะนำมาใช้งาน เป็นต้น นอกจากนี้แล้วการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งยังต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยหรือสภาพการใช้งานตามเดิมหรือเพิ่มเติมใหม่ๆ ให้สอดคล้องกับกิจกรรมของพื้นที่นั้นๆ การออกแบบที่ดีจึงควรที่จะนำเอาความจำเป็นในการใช้งานและความต้องการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์มาประกอบ เพื่อช่วยในการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่มากที่สุด ภายในขอบเขตของงบประมาณและความจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งนี้ว่า ได้ออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งให้บรรลุวัตถุประสงค์หรือไม่ องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของผู้ออกแบบนั้นจะต้องเป็นผู้มีประสบการณ์โดยตรงในการออกแบบเขื่อนซึ่งเป็นส่วนสำคัญเกินกว่า 50% จึงจะสามารถออกแบบได้ดีและมีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย ส่วนเครื่องมือ ตำรา หรือคู่มือต่างๆ จะมีความจำเป็นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะช่วยให้การออกแบบสมบูรณ์

1.1 การเตรียมตัวเพื่อการสำรวจพื้นที่

การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งในแต่ละบริเวณให้มีความมั่นคงแข็งแรง เหมาะสมและประหยัดครอบคลุมสภาพตลิ่งที่ถูกกัดเซาะ เป็นความจำเป็นที่ผู้ออกแบบควรจะต้องเดินทางไปตรวจสอบสถานที่ที่จะออกแบบ ตรวจสอบพื้นที่เพื่อค้นหาข้อจำกัดต่างๆ ตลอดจนความต้องการประโยชน์ใช้สอยหรือสภาพการใช้งานที่เดิม พร้อมทั้งเก็บรายละเอียดต่างๆ เบื้องต้นเพื่อนำมาประมวลไว้สำหรับการออกแบบ ซึ่งการออกไปตรวจสอบสถานที่ในแต่ละแห่งนั้น ควรจัดเตรียมเอกสารหรือจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อช่วยให้การสำรวจสถานที่ในเบื้องต้นมีความสมบูรณ์ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ควรจัดเตรียมไป เช่น

- (1) กล้องถ่ายรูปพร้อมฟิล์มอย่างเพียงพอ
- (2) สมุดจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ภาคสนาม
- (3) แผนที่สังเขป ตามคำขอหรือข้อมูลอื่นๆ ที่มีอยู่ แผนที่ภูมิประเทศ
- (4) ค้นคว้าเอกสารหรือข้อมูลงานก่อสร้างเขื่อนบริเวณใกล้เคียง เพื่อให้ทราบถึง

รูปแบบของเขื่อนเดิม ปัญหาที่เกิดขึ้นและผู้ออกแบบเดิม

- (5) ตรวจสอบจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของโครงการตามความเห็นของเจ้าหน้าที่ส่วนท้องถิ่น เช่น กำนัน, ผู้ใหญ่บ้าน, ส.ส., นายอำเภอ, จังหวัด อื่นๆ เป็นต้น
- (6) ความยาวเขื่อนที่จะต้องออกแบบตามค่าของงบประมาณ หรือตามงบประมาณที่ได้รับ
- (7) งบประมาณที่ได้รับทั้งหมดสำหรับการก่อสร้างโครงการดังกล่าว
- (8) เทปวัดระยะทาง
- (9) ข้อมูลอื่นๆ เช่น ชื่อแม่น้ำลำคลอง, หมู่บ้าน, อำเภอ, ตำบล, จังหวัด
- (10) ข้อมูลสภาพธรณีวิทยาบริเวณที่จะออกแบบหรือบริเวณใกล้เคียงที่มีผลการศึกษาไว้แล้ว
- (11) ประเมินรูปแบบเบื้องต้นที่คาดว่าจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่หลายๆ รูปแบบ

1.2 การตรวจสอบสภาพพื้นที่บริเวณที่จะออกแบบ

เมื่อเดินทางไปถึงสถานที่ที่จะออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งแล้ว ก่อนดำเนินการตรวจสอบสถานที่จริงควรทำการตรวจสอบชื่อและสถานที่บริเวณดังกล่าวนั้นว่าตรงกับคำขอหรือไม่ พร้อมทั้งซื้อบ้าน หมู่ที่ ตำบล อำเภอ จังหวัด ถ้ามีความผิดพลาดควรที่จะแก้ไขให้ถูกต้องตามความเป็นจริงและถูกต้องตามงบประมาณ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการตรวจสอบสถานที่จริงต่อไป

(1) สภาพพื้นที่ปัจจุบัน

เมื่อเริ่มทำการตรวจสอบสภาพพื้นที่จริง ควรมองดูภาพรวมๆ ของพื้นที่คู้่งน้ำตลอดความยาวทั้งหมดพร้อมทั้งประเมินความยาวตามแนวตลิ่งทั้งหมดที่จำเป็นที่จะออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ถ้าเกินกว่าความยาวตามงบประมาณที่ได้รับควรที่จะกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการออกแบบเขื่อนฯ ไว้ก่อนตามความเหมาะสมด้านเทคนิค รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

(1.1) ประเมินความยาวที่เป็นตลอดคู้่งน้ำ เพื่อกำหนดจุดสิ้นสุดหรือจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมด้านเทคนิค สเก็ตลักษณะแม่น้ำ คู้่งน้ำ

(1.2) กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดตามความยาวที่ได้รับงบประมาณหรือตามความเห็นของท้องถิ่น

(1.3) ตรวจสอบความกว้างของลำน้ำ ความลึกของท้องน้ำ ความลาดชันของตลิ่งปัจจุบันโดยประมาณ สเก็ตลักษณะของคู้่งน้ำและรูปตัดตลิ่งโดยประมาณ

(1.4) ตรวจสอบแนวตลิ่งที่เกิดการพังทลายมากๆ หรือบริเวณที่เห็นว่าตลิ่งพังผิดปกติไปจากบริเวณอื่นๆ

(1.5) แนวเขตที่ดินในกรณีที่เป็นพื้นที่สวนหรือว่างเปล่า หรือแนวรั้ว ขอบเขตอาคารต่างๆ ต้นไม้ขนาดใหญ่ เป็นต้น

(1.6) ตรวจสอบกรรมสิทธิ์ที่ดินในบริเวณที่จะออกแบบพร้อมกับสอบถามความยินยอมในเบื้องต้น

(1.7) ขอบเขตของอาคารต่างๆในระยะประมาณ 20 เมตรจากแนวตลิ่ง

(1.8) ความกว้างของถนนหรือทางเท้าบริเวณเดิม ชนิดของถนนทางเท้าหน่วยงานเจ้าของถนน ลักษณะของรถยนต์ที่สัญจรไปมา

(1.9) สอบถามประวัติการพังทลายของตลิ่งในรอบหลายๆ ปีที่ผ่านมา

(1.10) สอบถามระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดในช่วงที่ผ่านมาหลายๆ ปี หรือระดับน้ำท่วมสูงสุดในปีน้ำมาก เช่น คราบน้ำท่วมและระดับน้ำในขณะทำการสำรวจ ความเร็วการไหล ลักษณะการไหลของน้ำ

(1.11) ช่วงระยะเวลาน้ำท่วม การขึ้นลงของน้ำในรอบรายปี เช่น เดือนไหนน้ำท่วม น้ำลด มีการควบคุมระดับน้ำจากเขื่อนฯ หรือประตูระบายน้ำบริเวณใกล้เคียงหรือไม่

(1.12) สภาพพื้นที่ที่เป็นอุปสรรคในบริเวณที่จะออกแบบ เช่น ท่าเทียบเรือ ทางลงน้ำ ทำน้ำเดิม กำแพงกันดิน สะพาน แนวสายไฟแรงสูง ท่อระบายน้ำ เกาะกลางน้ำ

(1.13) เขื่อนเดิมบริเวณข้างเคียงหรือต่อเนื่องกัน ชนิดของเขื่อนเดิม รูปร่าง ขนาด เสาเข็ม ความลาดชัน ทางเท้า ราวกันตก ระบบระบายน้ำ ไฟฟ้า บันไดลงทำน้ำ เป็นต้น

(1.14) การจราจรทางน้ำ เช่น ขนาดเรือ ปริมาณจราจร ความสูงคลื่น

(1.15) ข้อมูลพื้นที่ใกล้เคียง การขนส่งวัสดุเข้าหน่วยงานว่ามีข้อจำกัดอย่างไร เช่น สถานที่คับแคบ ซอยแคบไม่สามารถขนเสาเข็มเข้าหน่วยงานได้ เป็นต้น

(1.16) น้ำใต้ดินไหลออกมา (ถ้ามี) กำหนดตำแหน่งและพื้นที่ให้ถูกต้อง ท่อระบายน้ำ น้ำทิ้งต่างๆ ทั้งบ่อบำบัดและแนวท่อ เพื่อคำนวณปริมาณน้ำทิ้ง

(1.17) ระดับของท่อน้ำทิ้ง ขนาด หน่วยงานรับผิดชอบโครงสร้างที่กระทบต่อ ลำน้ำ เช่น ตอม่อ สะพาน ท่อส่งน้ำ ประตูระบายน้ำ ฝาย เป็นต้น

(2) ข้อมูลด้านเทคนิค

ข้อมูลด้านเทคนิคบางอย่างสามารถตรวจสอบได้ในขณะที่ทำการสำรวจเบื้องต้น เช่น ลักษณะของชั้นดินริมตลิ่ง แนวโขดหิน เกาะกลางลำน้ำ ชนิดของดินหลังตลิ่ง เป็นต้น เพื่อเก็บไว้ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบกับข้อมูลที่จะได้หลังจาก ทำการสำรวจหรือทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว ข้อมูลด้านเทคนิคต่างๆ ที่สามารถพบได้ เช่น

(2.1) ชนิดของพื้นที่ดินบริเวณหลังตลิ่ง เช่น ดินทราย ดินเหนียว โคลน ดินดาน โขดหิน เป็นต้น

(2.2) ลักษณะของตะกอน ท้องน้ำบริเวณริมตลิ่ง ทั้ง 2 ฝั่ง

(2.3) ความลาดชันของตลิ่งเป็นตลิ่งชันเดียว หรือหลายๆ ชัน แต่ละชั้นของตลิ่งเกิดจากอะไร ความสูงต่ำของตลิ่งกับท้องน้ำโดยประมาณ

(2.4) สภาพการกัดเซาะของตลิ่ง การตกตะกอนของดินริมตลิ่งบางแห่ง(ถ้ามี)

(2.5) คุณภาพน้ำ เช่น น้ำเค็ม น้ำกร่อย หรือเป็นน้ำเค็มเป็นบางช่วงเวลา

(2.6) ลักษณะของการวิบัติของตลิ่งเดิม มีรูปแบบอย่างไร มีสาเหตุจากอะไรเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากรูปแบบของการวิบัติมีความสำคัญเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกและใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่ง ซึ่งรูปแบบการวิบัติควรแบ่งเป็นรูปแบบต่างๆไปได้ 4 รูปแบบดังนี้

ก. การร่วงหล่น (Falls) มักจะเกิดขึ้นในมวลที่ร่วงหล่นจากหน้าผาตามแนวผิวนาบซึ่งมีเพียงเล็กน้อย หรือแทบจะไม่มีระยะขจัดเนื่องจากแรงเฉือนและส่วนใหญ่จะร่วงหล่นลงเบื้องล่าง หรือกระเด็นกระดอน หรือกลิ้งลงมา

ข. การเคลื่อนหมุน (Rotational Slides) มีลักษณะของการเคลื่อนที่มีระยะขจัดและ Strain เนื่องจากแรงเฉือนตามผิวนาบส่วนโค้ง

ค. การเคลื่อนตามแนวระนาบ (Translation Slides) มีลักษณะของการเคลื่อนที่ตามแนวผิวนาบ, แนวการเลื่อน (Faults), แนวรอยแตก หรือผิวนาบที่อ่อน

ง. การไหล (Flows) มีลักษณะของการเคลื่อนไหลมาตามแนวลาดเอียงในเอียงในลักษณะเดียวกับการไหลของวัสดุที่มีความหนืด

ถึงอย่างไรก็ตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของดินอาจไม่สามารถจัดได้ว่าอยู่ในประเภทใดประเภทหนึ่งได้อย่างชัดเจนแต่มักจะค่อนข้างที่จะเป็นหลายประเภทของ ความซับซ้อนซึ่งเรียกว่า Complex Slides***

1.3 การพิจารณาข้อมูลและเตรียมออกแบบเบื้องต้น

ในขณะที่ทำการสำรวจพื้นที่เบื้องต้นอยู่นั้น ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาแนวทางและรูปแบบเบื้องต้นที่จะใช้สำหรับการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งบริเวณดังกล่าว เพื่อให้ทราบปัญหาและอุปสรรคที่อาจคาดไม่ถึงเมื่อพบปัญหาแล้วอาจต้องทำการสำรวจเพิ่มเติมอีกครั้งหรืออาจต้องให้ทีมสำรวจเพื่อเก็บรายละเอียดช่วยทำการสำรวจให้ถูกต้องต่อไป มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

(1) กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดโครงการไว้และพิจารณาถึงสภาพพื้นที่ว่าบริเวณใดจะเหมาะสม โดยเฉพาะบริเวณท้ายน้ำอาจมีปัญหาการกัดเซาะหลังก่อสร้างเสร็จ หรือเกิดการกัดเซาะในขณะที่ทำการก่อสร้างจนอาจทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวเสียหายมาก

(2) ตรวจสอบว่าเมื่อกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดแล้วนั้นตรงตามค่าของงบประมาณหรือไม่ และสามารถที่จะป้องกันพื้นที่ริมตลิ่งได้อย่างเหมาะสมตามความจำเป็นหรือไม่ เนื่องจากบางแห่งอาจไม่จำเป็นเนื่องจากไม่มีสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญ

(3) ถ้าตรวจสอบแล้วพบว่าขอบเขตของการออกแบบตามความต้องการได้รับงบประมาณยังไม่สามารถที่จะป้องกันไว้ทั้งหมด ควรจะทำการจัดบันทึกรายละเอียดต่างๆ และความยาวที่ต้องการเพิ่มเติมจนครอบคลุมทั้งหมด

(4) เลือกรูปแบบเขื่อนต่างๆ ที่คาดว่าจะใช้เป็นรูปแบบเบื้องต้นแล้ว ให้พิจารณาถึงปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นต่อการเลือกรูปแบบในแต่ละรูปแบบนั้นๆ เช่น ปัญหาการระบายน้ำ ไม่สามารถตอกเสาเข็มได้ ดินเขตที่ดินของชาวบ้าน เป็นต้น และจะดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเหล่านั้นอย่างไร เป็นบางครั้งอาจต้องให้เจ้าของกรรมสิทธิ์ที่ดินยินยอมให้ก่อสร้าง หรืออุทิศที่ดินริมตลิ่งบางส่วน

(5) ถ้าเขื่อนที่จะออกแบบต่อเนื่องกับโครงการเดิม ควรที่จะพิจารณาเลือกรูปแบบที่เหมือนกับรูปแบบเดิมไว้ก่อน และตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น เช่น การเชื่อมต่อกับแนวเขื่อนเดิม ทิศทางที่จะเชื่อมต่อ การก่อสร้างให้ชิดกัน ระดับของสันเขื่อนเดิม ขนาดของทางเท้า ความกว้างหรือชนิดของถนน แนวรางระบายน้ำ ระบบระบายน้ำ ไฟฟ้า รูปแบบของราวกันตก บันได เป็นต้น นอกจากนี้ควรตรวจสอบถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบงานออกแบบและก่อสร้างเขื่อนฯ ดังกล่าว ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการติดตามหรือค้นคว้าแบบเดิมเพื่อเป็นแนวทางได้ และถ้าพบว่าเขื่อนเดิมบริเวณดังกล่าวมีความเสียหายเกิดขึ้นในการตรวจสอบและพิจารณาค้นหาสาเหตุต่างๆ เพื่อใช้ในการช่วยตัดสินใจต่อไป

(6) หลังจากที่ได้กำหนดรูปแบบในเบื้องต้นแล้ว จึงนำเอาส่วนประกอบต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับประโยชน์การใช้งานของพื้นที่ไปประกอบในแนวเขื่อนต่างๆ ซึ่งอาจจะต้องพิจารณาจากความต้องการของชาวบ้าน เจ้าของพื้นที่ หรือรูปแบบการใช้งานเดิม เช่น ท่าเทียบเรือบันไดลงแม่น้ำ กิจกรรมที่จะใช้ในเทศกาลต่างๆ เช่น ลอยกระทง สงกรานต์ เป็นต้น แต่ทั้งนี้รูปแบบที่เพิ่มเติมจะต้องคำนึงถึงงบประมาณค่าก่อสร้างที่จะเพิ่มขึ้นด้วย

(7) เลือกรูปแบบและการป้องกันเพื่อความปลอดภัยในขณะที่ใช้งาน เช่น แนวขอบถนนอาจต้องมีคันหิน หรือถนนเป็นทางตรงเข้าสู่แนวเขื่อนอาจต้องทำการออกแบบกันชน มีราวกันตก เป็นต้น

(8) จัดสรรพื้นที่บริเวณด้านหลังเขื่อนให้เกิดประโยชน์ เช่น จัดสวน จอดรถ สนามเด็กเล่น เป็นต้น

(9) อุปกรณ์บางชนิด เช่น ระบบไฟฟ้า ถ้าจะเพิ่มเติมจะมีหน่วยงานใดรับผิดชอบเป็นภาระค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าไฟ หลอดไฟ หรือไม่

(10) พื้นที่บริเวณทางเท้าอาจจัดม้านั่ง หรือกระถางต้นไม้ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ เพิ่มเติมหรือไม่

(11) เมื่อได้พิจารณาเลือกรูปแบบเบื้องต้นแล้ว ควรจำลองรูปแบบกับสถานที่จริง เพื่อตรวจสอบว่าจะมีปัญหาอะไรเพิ่มขึ้นกับรูปแบบที่ได้เลือกไว้แล้ว และมีทางแก้ไขได้อย่างไรให้มีความเหมาะสม และมีความมั่นคงแข็งแรง

1.4 การสรุปข้อมูลการสำรวจเบื้องต้น

หลังจากที่ได้ทำการสำรวจสภาพพื้นที่ในเบื้องต้น และสอบถามชาวบ้านหรือเจ้าหน้าที่และรับข้อมูลต่างๆ ไว้ทั้งหมดแล้ว ควรจะทำการสรุปข้อมูลที่ได้ทั้งหมดก่อนเดินทางกลับว่ามีข้อมูลใดที่ยังไม่สมบูรณ์ควรติดตามข้อมูลนั้นๆ ได้จากที่ไหน ปัญหาหรืออุปสรรคบางอย่างอาจต้องทำการตรวจสอบและประสานงานกับหน่วยงานอื่นๆ หรือบางครั้งอาจต้องให้ทีมสำรวจรายละเอียดทำการสำรวจเพิ่มเติมให้ชัดเจนในภายหลังได้และควรบันทึกไว้เพื่อป้องกันความผิดพลาดต่อไป ข้อมูลที่มักจะต้องการตรวจสอบเพิ่มเติมหลังจากสำรวจเบื้องต้นแล้ว เช่น

(1) ปัญหากรรมสิทธิ์ที่ดินบริเวณที่จะก่อสร้างนั้นมีกี่แห่ง ใครจะเป็นผู้ประสานงานและขอความยินยอมให้ทำการก่อสร้างได้ เช่น เจ้าของพื้นที่ จังหวัด ผู้ใหญ่บ้าน กำนัน เป็นต้น

(2) ข้อมูลสภาพชั้นดิน เช่น คุณสมบัติของชั้นดินที่ต้องการทราบ ตำแหน่งหลุมเจาะ จำนวนหลุมเจาะ การเจาะสำรวจชั้นดินจะแจ้งให้หน่วยงานใดดำเนินการต่อไป

(3) ปัญหาอุปสรรคในพื้นที่ เช่น แนวสายไฟแรงสูง ทำเทียบเรือ อาคารริมน้ำ สะพาน อาคาร โรงสูบน้ำ จะดำเนินการแก้ไขหรือแจ้งให้ใครดำเนินการต่อไป

(4) ทำการสำรวจรายละเอียดของสภาพตลิ่ง เช่น ทำฝังบริเวณรูปตัดลำน้ำ ระดับถนนบริเวณใกล้เคียง ระดับของเขื่อนเดิมหรือหุดหลักฐานเดิม ต้นไม้ขนาดใหญ่ ซึ่งจะต้องสรุปแจ้งให้ทีมสำรวจรายละเอียดให้ทราบเพื่อจะไม่ลืมนำรายละเอียดทั้งหมดมาให้ครบถ้วน

(5) จัดทำแผนที่สังเขป ฝังบริเวณ และอุปสรรคต่างๆ ที่พบเพื่อไว้ใช้ประกอบการออกแบบและแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องดำเนินการต่อไป

(6) ข้อมูลด้านแหล่งวัสดุที่จะนำมาใช้งาน เช่น แหล่งหิน ดิน ทราย กรวด โรงงานเสาเข็ม เป็นต้น

(7) ปัญหาการขนส่งวัสดุเข้าหน่วยงานก่อสร้างจะมีอุปสรรคหรือไม่ เช่น ซอยแคบอาจไม่สามารถใช้เสาเข็มยาวๆ ได้ หรือบางพื้นที่อาจไม่มีพื้นที่กองวัสดุได้จะต้อง เตรียมสำเร็จรูปมาจากภายนอก เป็นต้น

การสำรวจสถานที่ที่จะทำการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งในแต่ละพื้นที่จะมีหลักการการสำรวจคล้ายๆ กัน แต่จะมีความแตกต่างกันไปบ้างในรายละเอียดปลีกย่อยของแต่ละพื้นที่ในแต่ละโครงการ และตามรูปแบบที่ได้กำหนดเลือกไว้ซึ่งบางครั้งการเลือกรูปแบบเบื้องต้นอาจไม่ตรงกับรูปแบบที่ได้ออกแบบในภายหลัง เนื่องจากจะมีข้อมูลบางอย่างที่ได้รับเพิ่มเติมทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปตามความเหมาะสม ดังนั้นการเลือกรูปแบบเบื้องต้นจึงควรที่จะทำการเลือกใช้หลายๆ รูปแบบเพื่อจะได้ตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นทั้งหมดและจัดเตรียมการแก้ไขไว้แล้วในแต่ละรูปแบบ การถ่ายรูปสถานที่และปัญหาหรืออุปสรรคต่างๆ บางครั้งจะเป็นการช่วยให้เราสามารถแก้ไขปัญหาหรือนึกถึงสภาพพื้นที่ได้อย่างถูกต้องและสามารถที่จะทำการตรวจสอบกับแบบสำรวจรายละเอียดที่ทีมสำรวจได้ดำเนินการว่าถูกต้อง สอดคล้องกันหรือไม่ นอกจากนี้แล้ว บางครั้งในขณะทำการออกแบบรายละเอียดหากพบว่าได้รับข้อมูลบางอย่างยังไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจ ควรจะไปทำการสำรวจเพิ่มเติมอีกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความมั่นคงแข็งแรงเหมาะสมต่อไป

1.5 การสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

1.5.1 การสำรวจเบื้องต้น

(1) ตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งโครงการ ถูกต้องตามที่กำหนด

ตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งโครงการ โดยการก่อสร้างโดยจะกำหนดหมู่บ้าน ตำบล อำเภอเพื่อเสนอของบประมาณในการก่อสร้าง ในการสำรวจแต่ละครั้งจะต้องตรวจสอบว่าตำแหน่งที่จะทำการสำรวจตรงตามที่ขอไปหรือไม่ ส่วนมากที่พบคือบ้าน หมู่ที่แจ้งมาไม่ตรงกัน อาจจะต้องแจ้งให้ผู้รับผิดชอบทราบหรือตัดสินใจในบางครั้ง ท้องถิ่นอาจจะเปลี่ยนตำแหน่งจากที่เคยขอมาให้เปลี่ยนเป็นแห่งใหม่ เนื่องจากเกิดความเดือดร้อนมากกว่า จึงจำเป็นต้องแจ้งให้ผู้รับผิดชอบเป็นผู้ตัดสินใจ

(2) ความยาวโดยประมาณโดยมากจะยาวคลุมค้งน้ำด้านนอกทั้งหมด

ความยาว ส่วนมากผู้ขอโครงการมักจะขอความยาวไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง ซึ่งความยาวในการสำรวจควรจะยาวคลุมค้งน้ำด้านนอกทั้งหมด เพื่อประโยชน์ในการออกแบบจะได้ดูแนวของกระแสน้ำจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดโครงการเพื่อให้มีความเหมาะสมผู้สำรวจจะได้วางแผนการทำงานได้ถูกต้อง จะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการเท่าใด

(3) จุดวิกฤต เนื่องจากในการก่อสร้างต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากและจะสร้างให้คลุมพื้นที่ทั้งหมดไม่ได้ อาจจะต้องมีการก่อสร้างก่อนเป็นบางส่วนที่มีความจำเป็น

จุดวิกฤตในการสำรวจเพื่อการออกแบบในบางครั้งไม่สามารถที่จะสร้างให้คลุมพื้นที่ได้ทั้งหมด อาจจำเป็นต้องมีการก่อสร้างในส่วนก่อน ซึ่งผู้สำรวจจะต้องสอบถามทางท้องถิ่นว่าส่วนใดจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างก่อน กรณีสร้างได้ไม่ทั้งหมดซึ่งทางท้องถิ่นจะทราบปัญหาได้ดี

(4) พื้นที่บริเวณที่จะก่อสร้าง ปัญหาเรื่องที่ดิน สิ่งก่อสร้าง ที่อยู่บริเวณริมตลิ่งอาจจะต้องมีการรื้อถอน

พื้นที่บริเวณที่จะดำเนินการก่อสร้างในการก่อสร้างแนวลื่นเขื่อนจะต้องอยู่เข้ามาในแนวตลิ่งซึ่งอาจจะต้องเสียพื้นที่ริมตลิ่งไปบ้าง กรรมสิทธิ์ในที่ดินใครเป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์จะมีปัญหาหรือไม่ มีสิ่งก่อสร้างที่บริเวณริมตลิ่งอาจจะส่งผลต่อการก่อสร้างในลำน้ำ มีการดูทรายด้านท้ายน้ำหรือเหนือน้ำ บริเวณริมตลิ่งบริเวณใดที่มีน้ำใต้ดินไหลออกต้องหมายเหตุตำแหน่งเพื่อให้ผู้ออกแบบไว้พิจารณา

(5) ตรวจสอบเขื่อนบริเวณใกล้เคียง รูปแบบ ก่อสร้างในปีใด มีการชำรุดเสียหายในลักษณะใดบ้าง

เขื่อนบริเวณใกล้เคียงจะต้องดูเขื่อนบริเวณใกล้เคียงรูปแบบชนิดใด มีปัญหาเกิดความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ แนวลื่นเขื่อนมีผลกระทบต่อการระบายน้ำจะมีผลกับบริเวณที่จะออกแบบ หรือถ้ามีการออกแบบต่อจากเขื่อนเดิมจะต้องเก็บรูปแบบ แนวลื่นเขื่อนเดิม ให้อยู่พอที่ผู้ออกแบบจะได้พิจารณาในการออกแบบต่อไปได้และที่สำคัญสิ่งก่อสร้างที่อยู่เหนือน้ำที่มีผลต่อการระบายน้ำ แนวลื่นกันน้ำ แนวลื่นฝั่งตรงข้าม แนวตอม่อสะพาน (จากปัญหาที่พบบ่อยคือแนว SKEW ของแนวตอม่อ) มีผลอย่างมากต่อการระบายน้ำด้านท้าย

(6) ทิศทางการไหลของน้ำระดับน้ำสูงสุด – ต่ำสุด ระดับน้ำเมื่อเกิดอุทกภัย

ทิศทางการไหลของน้ำ กระแสน้ำมีการไหลทางเดียวหรือไหลขึ้นลง ระดับน้ำต่ำสุด – สูงสุด หรือเมื่อเกิดอุทกภัยในปีใด น้ำจืด น้ำกร่อย หรือน้ำเค็ม ความเร็วของกระแสน้ำ

(7) การพังทลายของตลิ่งในแต่ละปี

การพังทลายของตลิ่งในแต่ละปีมีการพังทลายของตลิ่งปีละเฉลี่ยเป็นเมตรลักษณะสภาพตลิ่งมี Slope โดยประมาณ (เป็นเมตร) หรือตัดเป็นหน้าผา

(8) การใช้ประโยชน์ของที่ดินบริเวณริมตลิ่ง และลำน้ำ

ประโยชน์การใช้ที่ดินบริเวณริมตลิ่ง บริเวณดังกล่าวอาจจะเป็นสวนสาธารณะหรือหน้าวัดอาจจะมีการจัดงานประจำปี หรืองานเทศกาลต่าง ๆ ลำน้ำ อาจจะมีการแข่งเรือหรืองานลอยกระทง ฯลฯ

(9) ลักษณะรูปแบบที่ชุมชนต้องการ

ลักษณะรูปแบบที่ชุมชนต้องการในบางชุมชนลักษณะเขื่อนอาจจะต้องมีทางเท้า ราวกันตก ไฟส่องสว่าง ถนนหลังเขื่อน บันได ตัว Slope อาจจะต้องทำเป็นขั้นบันได

1.5.2 การสำรวจเพื่อการออกแบบ

(1) เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

ในปัจจุบันเครื่องมือสำรวจได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วจากระบบ Manual ธรรมดาก้าวไปสู่ระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือระบบดิจิทัล (Digital) ที่ให้ความละเอียด ความถูกต้อง รวมทั้งความสะดวกสบาย ในการใช้งานต่างๆ ก็พัฒนาขึ้นตามลำดับ ทำให้งานที่ได้มีความละเอียด ถูกต้องตาม รวมถึงความสวยงามและให้ความประหยัดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจจะมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วแล้วก็ตาม อุปกรณ์เครื่องมือสำรวจที่ใช้อยู่ในรูปแบบเก่า(ระบบ Manual)บางตัวก็ยังคงได้รับความนิยมและให้ความสะดวก ความถูกต้องในระดับหนึ่งก็ยังคงได้รับความนิยมอยู่เช่นเดิม ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องมือสำรวจที่จำเป็นและยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบัน สำหรับอุปกรณ์ เครื่องมือบางตัวอาจจะเป็นของใหม่ดังต่อไปนี้

(1.1) กล้อง Theodolite

กล้อง Theodolite เป็นกล้องที่ใช้สำหรับวัดมุม โดยสามารถวัดมุมได้ทั้งมุมราบและมุมตั้ง กล้อง Theodolite มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ จากกล้องที่ให้ความละเอียดน้อยมาเป็นกล้องที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง จากระบบที่อ่านจากจานองศาโดยตรง(Direct reading หรือ Scale reading) พัฒนามาเป็นระบบ Micrometer ช่วยให้การอ่านค่ามุมได้ละเอียดขึ้นเริ่มพัฒนามาเป็นระบบ Electronic แสดงค่ามุมในระบบ Digital ให้ความสะดวกในการอ่านมุม(แสดงค่ามุมอย่างเดียว)ลดความผิดพลาดจากการอ่าน ความละเอียดขึ้นอยู่กับแต่ละบริษัทผู้ผลิต ต่อจากนั้นได้พัฒนามาเป็นกล้องระบบเบ็ดเสร็จหรือระบบประมวลผล (Electronic Theodolite Total Station) หรือที่เราเรียกกันสั้นๆว่ากล้อง Total station โดยหลักการให้กล้องแสดงผลต่างๆตามที่เรต้องการออกมาทางจอแสดงผลรวมทั้งสามารถบันทึกข้อมูลต่างๆไว้ได้ด้วยตัวของมันเองหรืออุปกรณ์ช่วยอื่นๆเป็นต้น และทำนองเดียวกันกล้องในระบบดังกล่าวก็พัฒนาขึ้นมาตามลำดับจากเริ่มแรกใช้การป้อนค่าด้วยมือเข้าไปในกล้องก็พัฒนามาเป็นกล้องระบบอัตโนมัติ พัฒนาไปถึงขั้นใช้การควบคุมด้วยระบบวิทยุหรือระบบรีโมท

(1.2) กล้องระดับ (LEVEL)

กล้องระดับเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาความสูงต่ำของจุดต่างๆ โดยการเปรียบเทียบความสูงหรือความต่ำระดับต่อเนื่องระหว่างจุดต่อจุดที่เราต้องการทราบและสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าระดับของจุดนั้นจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ร.ท.ก. หรือ Mean Sea Level = MSL) กล้องระดับมีหลายชนิดและหลายลักษณะ ซึ่งเมื่อมีการกำหนดความละเอียด(Accuracy)ของงานหรือระดับชั้นของงานระดับชั้นขึ้นมาทำให้บริษัทผู้ผลิตกล้องผลิตกล้องขึ้นมาเพื่อให้เหมาะกับงานชนิดนั้นๆ ทั้งนี้เพื่อให้ผลงานออกมาดีและประหยัด เพราะฉะนั้นผู้ใช้จะต้องเลือกใช้กล้องให้ถูกกับงาน ซึ่งจะทำให้ความผิดที่เกิดขึ้นน้อยภายใต้ข้อกำหนด นอกจากนั้นยังช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย ซึ่งข้อกำหนดนี้จะกำหนดชนิดของกล้องและไม้ Staff ให้เหมาะสมกับงานแต่ละชั้นนั้นๆ และระยะการส่อง Staff ความผิดที่ยอมรับได้แยกไว้อย่างละเอียด งานต่างๆที่เกี่ยวกับระดับจะใช้เทคโนโลยีสูงขึ้น เพราะฉะนั้นผู้เขียนจึงเขียนตามเทคนิคสมัยใหม่และข้อกำหนดสมัยใหม่ ซึ่งในเมืองไทยยังไม่แพร่หลายมากนัก รวมทั้งเครื่องมือใหม่ล่าสุด ซึ่งอนาคตอันใกล้ก็คงจะเป็นไปตามหลักการนี้

(1.3) เครื่องวัดระยะ (Electronics Distomatch Measurement)



เรานิยมเรียกกันสั้นๆว่าเครื่อง EDM เครื่องวัดระยะชนิดนี้จะต้องใช้ประกอบกับกล้อง Theodolite และจะต้องใช้คู่กับเป้าปริซึมซึ่งเป็นกระจกสะท้อนแสง(Reflector) ไม่สามารถใช้ต่างยี่ห้อกันได้เพราะค่า constant ของแต่ละยี่ห้อไม่เท่ากัน ระยะที่ได้จากการวัดจะเป็นระยะลาด(Slope distance) จึงจำเป็นจะต้องทำการอ่านมุมตั้งขณะทำการวัดระยะด้วย เพื่อนำมาคำนวณหาระยะราบหรืออื่นๆต่อไป ประสิทธิภาพของการวัดระยะจะขึ้นอยู่กับ รุ่น กำลังขยายของเครื่อง และจำนวนปริซึมที่รับสัญญาณ ตลอดจนถึงเงื่อนไขของธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่นของอากาศ เป็นต้น

เครื่องวัดระยะบางรุ่นสามารถคำนวณหาระยะราบ พิกัดและความสูงได้ โดยเราป้อนข้อมูลบางตัวเข้าไปในเครื่องวัดระยะดังกล่าว ซึ่งราคาก็จะแพงขึ้นด้วย เครื่องบางรุ่นจะให้ค่าระยะลาด (Slope distance) อย่างเดียวราคาก็จะถูกลงมา ในปัจจุบันเครื่องวัดระยะ EDM ได้ลดความนิยมลงไป เนื่องจากการพัฒนากล้องระบบเบ็ดเสร็จ หรือ กล้องระบบประมวลผล (Electronic Theodolite Total Station) หรือที่เราเรียกสั้นๆว่า Total Station นั้นเอง

(1.4) เครื่องหาพิกัด GPS (Global Positioning System)



เป็นเครื่องมือสำรวจอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมขณะนี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการสำรวจโดยใช้การสื่อสารกับระบบดาวเทียม เพื่อใช้หาพิกัดบนพื้นดิน ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จะเป็นค่าพิกัดในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) ซึ่งเป็นระบบมาตรฐานทางการแผนที่ของโลก เครื่อง GPS มี 2 ประเภท คือ ชนิดที่ให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูงและชนิดแบบมือถือ ซึ่งสะดวกสบายในการพกพา แต่มีความละเอียดน้อย ($\pm 0-50$ ม.) ใช้ประกอบกับแผนที่ ภูมิประเทศ 1 : 50000 ขึ้นไป นอกจากนั้นยังให้ค่าระดับความสูง ณ จุดนั้นๆด้วยแต่ไม่ค่อยละเอียดนัก

สำหรับเครื่อง GPS ที่ให้ความละเอียดสูงจะเป็นชนิดขาตั้ง (เหมือนขาตั้งกล้องสำรวจทั่วไป) เครื่องจะให้ความละเอียดสูงมาก การใช้งานจะประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยจะมีเครื่องตัวใดตัวหนึ่งหรือมากกว่า ตั้งอยู่เหนือจุดที่รู้ค่าพิกัด ตัวที่เหลือจะเป็นตัวเดิน(Mobilization)หรือเป็นตัวตั้ง ณ จุดที่เราต้องการทราบค่าพิกัด ในการปฏิบัติงานจะเปิดเครื่องเพื่อรับสัญญาณพร้อมกันทั้งหมดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งภายในเครื่องแต่ละตัวจะมีระบบบันทึกในตัวเสร็จแล้วจะนำไปคำนวณกับ Program สำหรับเครื่อง GPS โดยเฉพาะ ข้อมูลที่ได้จะเป็นการเทียบค่าพิกัดจากตั้งและค่าพิกัดจากการราบระหว่างหมุดที่เรารู้ค่า(หมุดหลักฐาน)กับหมุดที่เราต้องการทราบค่า เมื่อเราได้ค่าพิกัดจากตั้งและค่าพิกัดจากการราบแล้ว เราก็นำไป $\pm$ กับค่าพิกัดหมุดหลักฐาน เราก็จะได้ค่าพิกัดของหมุดที่เราต้องการ นอกจากนั้นระบบ GPS ได้พัฒนาให้สามารถใช้การสำรวจเก็บรายละเอียดต่างๆได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ บริเวณที่ตั้งเครื่อง GPS ทั้งตัวรับและตัวส่งจะต้องโล่ง สิ่งกีดขวางต่างๆจะต้องอยู่ในรัศมี ต่ำกว่า 20 องศา (มุมตั้ง)จากแนวระนาบ เครื่องจึงจะทำงานได้และมีประสิทธิภาพสูง และเช่นเดียวกันเครื่อง GPS ก็สามารถให้ค่าความสูงได้เช่นเดียวกัน แต่ไม่นิยมนำมาใช้เป็นหมุดหลักฐานทางตั้งเพราะค่าที่ได้ค่อนข้างหยาบ (เราจะนำผลต่างที่ได้ไปเปรียบเทียบกับจุดที่ใช้เป็นหมุดอ้างอิง) ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลสำหรับการจัดทำหมุดควบคุมไม่น้อยกว่า 45 นาที ต่อ 1 หมุด

ปัจจุบันการจัดทำแผนที่ต่างๆของส่วนราชการในหลายๆหน่วยงานรวมถึงภาคเอกชน ได้พัฒนามาเป็นระบบพิกัด UTM (Universal Tranverse Mercater) มากขึ้นแทนการใช้ค่าพิกัดลอยหรือค่าพิกัดสมมติ ในระบบเก่า ทั้งนี้เนื่องจากเครื่อง GPS ง่ายมีราคาถูกลง ในปัจจุบันเครื่อง GPS ได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดค่าพิกัดสำหรับใช้เป็นหมุดหลักฐานทางราบ(Horizontal control) สำหรับออกงานในแต่ละพื้นที่ แทนการใช้วิธีรังวัดด้วยกล้องโยงยึดออกมาจากหมุดที่รู้ค่าหรือหมุดหลักฐานเป็นระยะทางไกลๆ ทำให้ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และลดความผิดพลาดลงได้เป็นอย่างมาก

(1.5) เครื่องหยั่งความลึก (Sounder)



ในการหยั่งหาความลึกของท้องน้ำเพื่อนำมาใช้ประกอบการออกแบบหรือคำนวณงานดิน เช่น งานสะพาน, เขื่อนป้องกันตลิ่ง ท่าเทียบเรือ เป็นต้น วิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุดคือใช้เชือกหยั่งแล้ววัดความยาว แต่ในกรณีที่น้ำลึกและกว้าง ประกอบกับกระแสน้ำไหลเชี่ยวเราไม่สามารถหยั่งความลึกได้ตรงกับความเป็นจริงได้ เพราะฉะนั้นการ

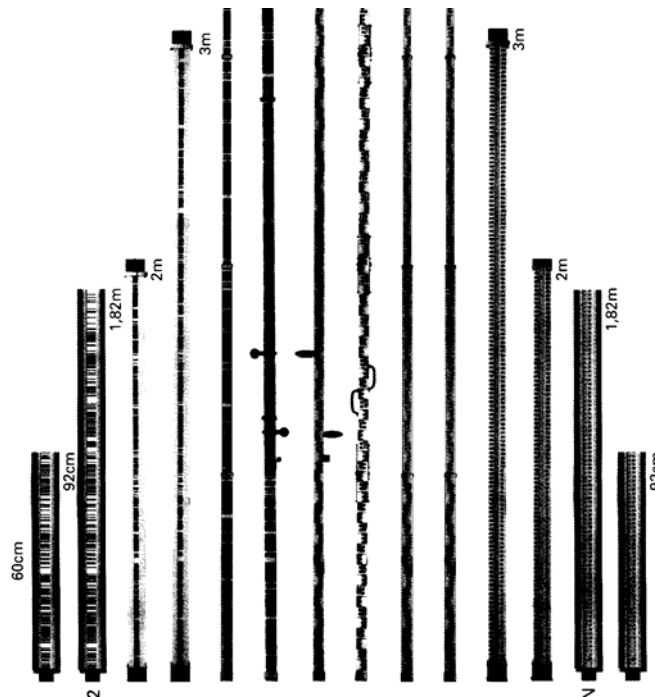
ใช้เครื่องหยั่งความลึกจึงมีความจำเป็นต่อการปฏิบัติงาน เครื่องหยั่งความลึกมีการใช้งานมานานแล้ว ซึ่งส่วนมากจะใช้กับการก่อสร้างหรือการสำรวจขนาดใหญ่หรือมีบริเวณกว้างมากเช่น งานวางแนวท่อก๊าซหรือท่อน้ำมันในทะเล การก่อสร้างท่าเทียบเรือเป็นต้น เครื่องที่ใช้เหล่านี้จะมีอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับ Plot graph แสดงลักษณะของท้องน้ำได้ชัดเจน แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้มากนักเนื่องจากเครื่องดังกล่าวมีน้ำหนักมาก เคลื่อนย้ายไม่สะดวกและมีราคาแพง ในปัจจุบันเครื่องมือขนาดเล็กพกพาสะดวก ใช้งานง่าย มีราคาถูกให้ความถูกต้องดีพอสมควร ในช่วงความลึกไม่เกิน 100 เมตร เหมาะสำหรับการสำรวจขนาดเล็ก เช่น การสำรวจรูปตัดตลิ่งเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งหรือการสำรวจรูปตัดลำน้ำในการออกแบบเพื่อการก่อสร้างสะพานที่มีความยาวไม่เกิน 300 เมตร หรือการสำรวจรูปตัดท้องน้ำในการสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างท่าเทียบเรือขนาดเล็กเป็นต้น.

(1.6) เครื่องส่องฉาก (Optical Square)



เป็นเครื่องมือสำรวจที่มีมานานแล้วอีกชนิดหนึ่งที่ยังคงใช้งานได้และมีความจำเป็นอยู่ในปัจจุบัน ประโยชน์ของเครื่องส่องฉาก ใช้สำหรับเก็บรายละเอียดในการทำแผนที่ให้ความถูกต้องพอประมาณ เหมาะสำหรับงานทำแผนที่ชั้น 3 หรือสำหรับแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1 : 500 , 1 : 1000 , 1 : 2000 โดยเฉพาะการเก็บรายละเอียดในเขตเมืองหรือชุมชนหรือในบริเวณที่มีรายละเอียดหนาแน่น ผู้คนพลุกพล่าน จะให้ความรวดเร็วกว่า การเก็บรายละเอียดด้วยวิธีอื่นจะไม่สะดวกเสียเวลามาก เช่นการเก็บรายละเอียดด้วยกล้อง Total Station เป็นต้น. รายละเอียดที่ได้จากการใช้เครื่องส่องฉาก ส่วนมากจะนำไป Plot ด้วยมือ แต่เราสามารถเขียน Program ขึ้นมาช่วยในการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบ(Format)ที่สามารถ Load เข้าสู่โปรแกรมสำรวจทั่วไปได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและสามารถตรวจสอบข้อมูลได้

(1.7) STAFF (ไม้วัดระดับ)



Staff มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Rod บริษัทผู้ผลิตจะผลิตขึ้นตามลักษณะของงานต่าง ๆ และตามมาตรฐานการวัดระยะ เช่น เป็นฟุตและเป็นเมตร แนวโน้มของกล้องส่วนใหญ่จะเป็นกล้องหัวตรง เนื่องจากการคิดระบบ Prism กลับภาพเป็นหัวตรงได้ เพราะถ้าใช้ Lens เป็นตัวกลับภาพจะได้ภาพเสมือน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดได้ Staff จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ชนิดธรรมดา ซึ่งทำด้วยไม้หรืออลูมิเนียมยาว 3 – 5 เมตร ชนิดพับ ซึ่งแบ่งออกเป็น Staff ที่ใช้งาน Topographic Map, Staff ที่ใช้กับงานวัดระยะด้วยกล้อง เรียกว่า Tacheometric Staff

นอกจากนี้ยังมี Staff ที่ทำด้วยโลหะอลูมิเนียม ซึ่งสามารถถอดออกได้เป็นท่อน ๆ หรือใช้ระบบชัก เราเรียกว่า Sectional Staff ซึ่งใช้ในงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เช่น งานก่อสร้างขนาดเล็ก หรือเฉพาะที่

ข. Invar Staff หมายถึง Staff ที่ทำด้วยโลหะอินวาร์ ซึ่งมีการขยายตัวน้อยที่สุด ประมาณ 1.3 micron ต่อเมตร ต่อ 1°C ลักษณะของ Staff ชนิดนี้ก็คือ ตรงกลางจะเป็นโลหะอินวาร์ ซึ่งมีสกรูปรับแก้ความตึงให้ได้มาตรฐาน ตัวเลขทั้งสองข้างเป็นตัวเลขที่มีหน่วยเป็นเซนติเมตร หรือเป็นเมตรก็แล้วแต่ชนิดของ Staff (สำหรับของ WILD มีหน่วยเป็นเซนติเมตร จะบอกที่ละ 2 เซนติเมตร) ผลต่างของตัวเลขทางซ้ายและทางขวามือเท่ากับ 301.55 เซนติเมตร

ค. Bar code Staff คือไม้สตาฟฟ์ที่ทำขึ้นมาเพื่อใช้กับกล้องระดับระบบ Electronic ซึ่งใช้แสง Infrared ไม้สตาฟฟ์ชนิดนี้ทำด้วยไม้ที่ไม่ยืดหดตัวผิวด้านนอกเคลือบด้วยแผ่น Polymer บนแผ่น Polymer ด้านหน้าจะเป็นแถบบาร์โค้ด (Bar code) เหมือนรหัสสินค้า ที่เราเห็นอยู่ทั่วไป

(2) วิธีเก็บรายละเอียด

ในการสำรวจเก็บรายละเอียดทำแผนที่ผังบริเวณ บริเวณที่จะออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งต้องเก็บรายละเอียดไปตามแนวริมตลิ่ง ตามความยาวของลำน้ำ โดยเก็บรายละเอียดเข้ามาจากแนวริมตลิ่งประมาณ 30-40 เมตร และจากริมตลิ่งลงไปถึงผิวน้ำว่าจะมีรายละเอียดสิ่งก่อสร้างต้นน้ำซึ่งมีผลกระทบต่อการก่อสร้างหรือมีผลกระทบต่อน้ำที่จะก่อสร้าง เช่น ต้นไม้ ร่องน้ำ ท่อระบายน้ำ เรามีวิธีในการเก็บรายละเอียดได้หลายวิธีในการเก็บรายละเอียดในแต่ละวิธีเราจะต้องตอกหมุด ทำวงรอบ วัดระยะ และมุมของวงรอบ หมุดวงรอบแต่ละหมุดต้องมองเห็นซึ่งกันและกัน อาจจะทำเป็นวงรอบเปิดหรือปิดก็ได้และทำหมุดโยงยึด หรือทำหมุดหลักฐานอย่างน้อย 1 คู่ เพื่อสะดวกในการกำหนดแนวที่จะก่อสร้างต่อไปในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเก็บรายละเอียด 2 วิธี ซึ่งคิดว่าเหมาะในการสำรวจเกี่ยวกับงานเขื่อนเนื่องจากมีลักษณะไปตามแนวยาวคือการเก็บรายละเอียดด้วยเครื่องส่องฉากและด้วยกล้อง Theobolite และ Total Station

(2.1) การเก็บรายละเอียดด้วยเครื่องส่องฉาก

การเก็บรายละเอียดด้วยวิธี Optical square หรือเครื่องส่องฉาก เป็นเครื่องมือเก็บรายละเอียดที่มีมานานแล้วเป็นเครื่องมือที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับความละเอียดที่ได้กับเครื่องมือที่ให้ความละเอียดของงานเท่ากัน Optical square ที่ใช้ในการสำรวจมีหลายชนิดซึ่งจะใช้ร่วมกับการสำรวจด้วยวิธีอื่น ๆ ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

OPTICAL SQUARE จะให้ความละเอียดมากกว่า Cross staff และการใช้ก็สะดวกกว่ามาก มีขนาดกระทัดรัด คือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. สูง 1.5 - 4 ซม. มีลักษณะเป็นตัวยาวในจะมีกระจกสองแผ่นวางทำมุมกัน 45° พอดี ด้านบนจะมีแนวหรือช่องมองทะลุได้

หลักการของ Optical square หลักการของการสะท้อนภาพของวัตถุจากด้านข้างเข้าสู่ตาของเรา มุมสะท้อนจะเป็นมุม 90 องศา กับแนวเส้นฐาน อาจจะมาจกด้านซ้ายหรือขวาก็ขึ้นอยู่กับช่องรับภาพของ Optical square บางบริษัทจะผลิตให้มีช่องสะท้อนภาพทั้งสองด้านก็มี

เรานำหลักการสะท้อนภาพของ Optical square มาใช้ในการเก็บรายละเอียด โดยให้แนวเส้นตรงของภาพจาก Optical square เข้าสู่ตาเป็นแนวเดียวกับเส้นฐานของเส้นวงรอบหรือเส้นโครงงานเราก็สามารถเก็บรายละเอียดได้ตามความต้องการ การเก็บรายละเอียดด้วย Optical square จะให้ความละเอียดถูกต้องได้ดีกว่าการเก็บด้วยวิธีการสามเหลี่ยม

ก. เครื่องมือที่ใช้ มีดังนี้

- เทปวัดระยะ 40 หรือ 50 เมตร 2 เส้น
- Pole หรือหลักขาวแดง 1 – 2 หลัก
- ห่วงคะแนน 3 – 5 อัน
- หลักไม้
- ค้อน
- สี

ข. วิธีการปฏิบัติ

- เส้นฐานที่ใช้จะเป็นเส้นฐานจากการสามเหลี่ยมหรือจากวงรอบพิกัดฉากก็ได้
- บัก Pole ไว้ที่หมุดตรงหน้า
- ลากเทปจากหมุดหลังไปยังหมุดหน้า(หรือหมุดต้นไป)หมุดปลายเรียกว่าเส้นฐาน
- ให้คนที่จะเป็นคนส่องยืนคร่อมเส้นเทป(เส้นฐาน)
- ใช้มือจับด้าม Optical square ในลักษณะสบายๆอย่าเกร็งยื่นมือที่จับออกจาก

ลำตัวพอลิเมอร์ (พยายามรักษาระยะให้คงที่) ให้ปลายด้านของ Optical square ชี้ตรงลงมายังเส้นเทป(เส้นฐาน) ในแนวตั้ง(ผู้ฝึกหัดใหม่ ๆ อาจจะใช้เชือกผูกผูกติดห้อยปลายด้านของ Optical square ก็ได้

- เล็งแนวของ Optical square ไปยังธงหน้าหรือ Pole จะทำให้แนวเล็งขนานกับเส้นฐาน
- ก่อนการส่องรายละเอียดใดๆ ควรกะมุมจากโดยประมาณก่อน เพื่อให้การหามุมฉากจริงเร็วขึ้น การเกิดมุมฉากนั้นเมื่อเราเล็งช่องมองของ Optical square ไปยังธงหน้าหรือ Pole หรือหลัก ขาวแดง ที่ใช้เป็นที่ยาวมาเล็ง ตำแหน่งของรายละเอียดที่เราต้องการเก็บจะทับกันกับหลักขาวแดงหรือ Pole พอดี
- การที่เราจะทำให้ตำแหน่งรายละเอียดทับกับ Pole พอดีนั้นเราจะใช้วิธีเดินหน้าหรือถอยหลังบนแนวเส้นฐาน เมื่อตำแหน่งทั้งสองทับกันพอดีให้หยุดนิ่งใช้ตามองลงไปตามแนวตั้งของด้าม Optical square ไปตัดยังเส้นเทปข้างล่าง(เส้นฐาน)ตำแหน่งระยะที่ได้เราเรียกว่าระยะฐาน(Base)
- จากนั้นวัดระยะจากจุดนี้ไปยังตำแหน่งรายละเอียดที่เราส่องเรียกว่าระยะฉาก(Offset)
- การจวัดระยะเส้นฐานให้เริ่มจาก 0 ไปจนหมดระยะของเส้นเทปเมื่อยังมีรายละเอียดต่อกอีกให้เขียนความยาวของเส้นเทปไว้ ถ้าใช้เทปขนาด 40 เมตร ให้เขียน 40 ถ้าใช้เทปความยาว 50 ก็ให้เขียน 50ไว้ ต่อจากนั้นก็ให้เริ่มไล่จาก 0 ใหม่ การจวัดระยะต่อเนื่องกันไปทีเดียวเลยอาจจะทำให้เกิดความสับสนผิดพลาดได้

บางครั้งตำแหน่งรายละเอียดที่เราต้องการเก็บนั้นไม่อยู่บนระยะฉากของแนวเส้นฐานหรือเส้นฐานอาจสั้นไป เราก็ใช้วิธีต่อเส้นฐานออกไปในแนวเส้นตรงแนวเดิม(ระยะให้อ่านต่อเนื่อง) หรือบางครั้งเส้นวงรอบอาจจะไม่ครอบคลุมรายละเอียดได้หมด เราสามารถสร้างเส้นฐานขึ้นมาใหม่โดยใช้ Optical square วางเส้นฉากออกจากเส้นฐานเดิมไปยังบริเวณที่ต้องการเก็บรายละเอียดแล้วตอกหลักไว้ เราเรียกเส้นนี้ว่า เส้นชอย และใช้เส้นชอยนี้เป็นเส้นฐานในการเก็บรายละเอียดได้เช่นกัน

(2.2) การเก็บรายละเอียดด้วยกล้อง Theodolite

การเก็บรายละเอียดด้วยวิธีนี้เป็นการใช้กล้อง Theodolite ร่วมกับเทปวัดระยะแล้วนำข้อมูลที่ได้อ่านค่ามา การเก็บรายละเอียดด้วยวิธีนี้จะให้ความละเอียดถูกต้องสูงกว่า 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น สามารถหาค่าพิกัดและค่าระดับได้ด้วย ในปัจจุบันกล้อง Theodolite ได้วิวัฒนาการไปไกลมากมีการผลิตเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Distance Measurement หรือ EDM) ใช้คู่กับกล้อง Theodolite ธรรมดา ต่อมาก็ผลิตกล้อง Theodolite ที่มีเครื่องวัดระยะ (EDM) อยู่ในตัวเดียวกันค่ามุมและระยะแสดงออกมาในระบบ Digital สามารถคำนวณค่าพิกัดได้แต่ต้องใช้มือช่วยป้อนข้อมูลบางตัวจึงจะแสดงค่าต่าง ๆ ออกมา เป็นกล้องระบบกึ่งอัตโนมัติ จากนั้นได้พัฒนามาเป็นกล้องระบบเบ็ดเสร็จหรือที่เราเรียกกันย่อๆ ว่า Total Station ซึ่งกล้องชนิดนี้มีความสามารถสูงมากราคาก็สูงตามความละเอียดและความสามารถด้วย วิธีการเก็บรายละเอียดด้วยวิธีนี้จะใช้การตั้งกล้องบนหมุดสำรวจหรือหมุดวงรอบ ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการเก็บรายละเอียดเหล่านี้คือ เราจะทำการเก็บรายละเอียดที่ไม่อยู่ในแนวฉากของเส้นสำรวจและตำแหน่งของรายละเอียดไม่อยู่ในระดับเดียวกันกับตำแหน่งที่ตั้งกล้องหรือมีความซับซ้อนมาก เราสามารถแบ่งการเก็บรายละเอียดออกได้ 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 : การเก็บรายละเอียดด้วยกล้อง Theodolite กับเทปวัดระยะแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาพิกัดของรายละเอียดนั้นๆ นำค่าที่ได้ไป Plot แผนที่ต่อไป การเก็บรายละเอียดวิธีนี้ไม่สามารถหาค่าระดับได้ ข้อจำกัดคือเก็บรายละเอียดได้ในระยะไม่ไกลมากนักและถ้าหากมีสิ่งกีดขวางต่อการวัดระยะก็จะทำให้มีความผิดพลาด สำหรับวิธีการปฏิบัติเราจะต้องตั้งกล้องบนหมุดที่เรารู้ค่าหรือสามารถหาพิกัดได้และหมุดที่เรา BS หรือหมุดตรงหลังที่เรา Set 0 ก็เช่นเดียวกัน การเก็บรายละเอียดด้วยวิธีนี้ควรคำนึงถึงระดับพื้นดินด้วยกล่าวคือระดับไม่ควรแตกต่างกันมากนัก ถ้าหากพื้นที่มีความต่างระดับการวัดระยะควรใช้การวัดระยะแบบขึ้นบันได ค่ามุมอ่านเพียงมุมราบอย่างเดียวแล้วนำไปคำนวณหาพิกัดเช่นเดียวกับการคำนวณหมุดปล่อยหรือ Spure line

วิธีที่ 2 : การเก็บรายละเอียดด้วยกล้อง Theodolite คู่กับการใช้เครื่องวัดระยะ(EDM) การวัดระยะจะต้องใช้ Prism (ตัวสะท้อนแสง Infrared) ไปตั้งยังจุดที่เราต้องการ เราจะต้องวัดระยะ(ระยะที่ได้จะเป็นระยะ

ลาด) อ่านค่ามุมราบและมุมตั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้อ่านไปทำการคำนวณต่อไป การคำนวณจะคำนวณแบบเดียวกับการคำนวณค่าพิกัดจากทั่วไปได้เพียงแต่ก่อนการคำนวณจะต้องแปลงระยะ(ที่วัดได้)จากระยะลาดเป็นระยะราบเสียก่อน และจากการที่เราอ่านค่ามุมตั้งของรายละเอียดทำให้เราสามารถคำนวณหาผลต่างทางตั้งระหว่างกล้องกับรายละเอียดได้ นั่นคือถ้าเรารู้ความสูงของแกนกล้อง เราก็หาค่าระดับของจุดนั้นๆได้ ดังนั้นถ้าหากเราต้องการคำนวณระดับเราจะต้องทำการ BS จาก BM ที่เรารู้ค่าระดับด้วย โดยในการอ่านค่า BS เราจะต้องอ่านค่ามุมตั้งและระยะลาดของ BS ด้วย ข้อควรระวังในกรณีที่ทำการเก็บรายละเอียดที่ต้องการค่าระดับด้วย ความสูงของเสาหลัก Prism หรือ Pole Prism ที่ใช้อ่านค่า BM จะต้องคงที่ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงของเสาหลัก Prism จะต้องจดไว้ ทั้งนี้เพื่อนำไป บวก – ลบ ค่าระดับที่ได้นั่นเอง

วิธีที่ 3 : การใช้กล้อง Electronics Theodolite Total Station หรือเรียกสั้นๆว่ากล้อง Total station กล้องชนิดนี้กำลังเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ความละเอียดมีทุกเกรด ซึ่งราคาก็จะแพงตามไปด้วย คุณสมบัติหลักของกล้องชนิดนี้คือวัดระยะได้ทุกลักษณะ(ระยะราบหรือระยะลาด)ให้ค่าพิกัดและค่าระดับของตำแหน่งรายละเอียดได้ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาพื้นที่ และคำนวณหาปริมาตรเพื่อใช้ในการกำหนดหรือการปักผังได้ด้วย สำหรับวิธีการใช้จะแตกต่างกันไปแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต คุณสมบัติพิเศษคือตัวกล้องจะมีระบบบันทึกข้อมูลในตัวได้ ใช้ Load ข้อมูลสู่เครื่อง Computer ได้เลยหรือใช้การจดบันทึกข้อมูลจากภายนอกด้วยเครื่องบันทึก Electronics Field Book ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก เหมาะสำหรับการเก็บรายละเอียดงาน Topographic Map ที่มีพื้นที่จำนวนมากและสภาพภูมิประเทศมีความแตกต่างกันมาก เช่นที่เนิน ภูเขา จะประหยัดเวลากว่าการเก็บรายละเอียดแบบธรรมดาประมาณ 5-10 เท่า และเหมาะสำหรับการปักผังการก่อสร้างหรือกำหนดจุดใดๆที่สลับซับซ้อนได้ดี วิธีการปฏิบัติก็คล้ายกับ ข้อ 2) เพียงแต่เราไม่ต้องทำการคำนวณ รายละเอียดวิธีการใช้กล้องประเภทนี้จะแตกต่างกันออกไป ตามแต่ละยี่ห้อ

(2.3) วิธีการปฏิบัติงานด้วยกล้อง Total Station

ในที่นี้จะกล่าวถึงภาพรวมหรือขั้นตอนการปฏิบัติงานในสนามเท่านั้นส่วนวิธีการใช้จะแตกต่างกันไปแล้วแต่กล้องแล้วแต่ยี่ห้อที่ใช้หรือแม้แต่กล้องยี่ห้อเดียวกันในแต่ละรุ่นหรือแต่ละซีรีส์วิธีการใช้ก็แตกต่างกันออกไปอีก นอกจากนี้กล้องเหล่านี้มีการพัฒนาที่รวดเร็วมากประสิทธิภาพ สมรรถภาพในการใช้งานก็ยิ่งสูงขึ้น จนกลายมาเป็นระบบคอมพิวเตอร์ย่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตหลายรายทำให้เกิดการแข่งขันกันสูงมาก ดังนั้นผู้เขียนจะไม่นำวิธีการใช้กล้องแต่ละยี่ห้อมากล่าวไว้ ณ ที่นี้ สำหรับผู้ที่คิดจะใช้กล้องประเภทนี้ถ้าหากไม่มีประสบการณ์ก็อาจจะได้ของที่ไม่ดีหรือไม่เหมาะกับการใช้งานได้ ไม่ควรฟังข้อเสนอแนะจากตัวแทนจำหน่ายเพียงฝ่ายเดียวควรสอบถามจากผู้รู้หรือมีประสบการณ์ในการใช้ประกอบกันด้วยและจะต้องศึกษาวิธีการใช้กล้องที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและให้ผลคุ้มค่า ถ้าหากไม่รู้ถึงวิธีการใช้เครื่องมือดังกล่าวแล้วเราอาจจะนำกล้อง Total Station มาใช้สำหรับอ่านมุมและวัดระยะอย่างเดียวยังได้ ซึ่งไม่ต่างจากการใช้กล้องอ่านมุม Digital ธรรมดาและเครื่องวัดระยะ EDM ทั่วไปเท่านั้นเอง

ก. การปฏิบัติงานในสนาม

การปฏิบัติงานในสนามโดยทั่วๆ ไปจะมีแนวทางปฏิบัติอยู่ 2 วิธี คือ

- การทำงานในลักษณะวงรอบเปิด โดยมากมักจะเป็นงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องมากนัก เช่น การเก็บรายละเอียดหรือระดับทั่วๆ ไป หรือการสำรวจเพื่อการก่อสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดเล็กหรือเขื่อนป้องกันตลิ่งเป็นต้น พื้นที่ที่ไม่มากกว้างมากนัก การปฏิบัติงานจะใช้วิธีตอกหมุดเดินกล้องไปได้เลย การเก็บรายละเอียดอาจจะเก็บในรูปของค่าพิกัด (N E Z D) หรือเก็บในรูปของค่ามุมราบ ,มุมตั้ง, ระยะลาด ก็ได้ ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ (Load)เข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้เลย หรืออาจจะเป็นการปฏิบัติงานในลักษณะวงรอบปิดที่ไม่คำนึงกับค่าความถูกต้องของวงรอบมากนักเพราะค่าที่ได้ถ้าหากมีความผิดพลาดคอมพิวเตอร์(Program) ที่เราใช้จะทำการปรับแก้ให้เราเสร็จ

- การทำงานในลักษณะวงรอบปิดหรือการปฏิบัติงานในลักษณะการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูงจำเป็นต้องมีการทำวงรอบปิดการคำนวณวงรอบเราจะต้องทำการตรวจสอบ ความละเอียดก่อนการนำค่าพิกัดหรือ Azimuth ไปใช้ ว่าความละเอียดของวงรอบมีความถูกต้องตามข้อกำหนดหรือไม่จนกว่าความละเอียดจะได้ตามเกณฑ์ ซึ่งบางครั้งถ้าเป็นงานเร่งด่วนเวลาจำกัดและพื้นที่มีความกว้างมาก ถ้ามีตัวเครื่องรอบให้เรียบร้อยก่อนอาจจะทำให้งานล่าช้าได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติการเก็บรายละเอียดจะเริ่มลงมือพร้อมๆกันกับการทำวงรอบเลยแต่การจดบันทึกจะจดบันทึกในรูปของมุมราบ, มุมตั้ง, ระยะลาด เท่านั้น (การบันทึกข้อมูลรายละเอียดด้วยวิธีนี้ค่าพิกัดที่ได้จะเป็นไปตามค่าวงรอบหลักที่ป้อนเข้าไป) จริงอยู่แม้ว่าระบบ Program ภายในตัวกล้องที่ใช้จะมีคำสั่งให้ปรับแก้วงรอบได้ก็จริงแต่บางครั้งความละเอียดหรือความผิดพลาดของวงรอบที่คำนวณได้อาจจะต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทำการคำนวณวงรอบต่างหากเพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องก่อนแล้วจึงนำค่าที่ได้เข้าสู่ Program ตามขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าหากว่างานนั้นๆ มีพื้นที่ไม่มากนักมีระยะเวลาในการปฏิบัติงานเพียงพอและมีกล้องเพียงชุดเดียว ก็จำเป็นรอการคำนวณวงรอบก่อนเมื่อได้แล้วจึงทำการเก็บรายละเอียดต่อไป

ข. ข้อควรคำนึงในการใช้กล้อง Total Station

- ในการวัดมุมหรือเดินวงรอบให้ใช้ Plate เป็นตัว BS และ FS ทุกครั้ง หลีกเลี่ยงการใช้ Pole
- การรบกวนกันแดดให้กล้องทุกครั้ง
- เมื่อลักษณะอากาศครึ้มฟ้าครึ้มฝนให้หยุดปฏิบัติงานทันทีเพราะ ความชื้นในอากาศจะมีผลต่อระบบการวัดระยะและอาจทำให้กล้องรวนได้
- เมื่อปฏิบัติงานในขณะที่อากาศชื้นมากๆ เมื่อนำกล้องกลับถึงที่พักให้นำกล้องออกมาผึ่งลมให้แห้งก่อนนำเก็บทุกครั้ง
- หลีกเลี่ยงการตั้ง Plate หรือ Pole ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง เช่นใบไม้ เป็นต้น
- การตั้ง Plate หรือ Pole (เป้า Prism) เมื่อมองจากกล้องแล้ว Plate หรือ Pole (เป้า Prism) ที่มองเห็นจะต้องอยู่สูงกว่าระดับพื้นไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการหักเหของแสงหรืออาจจะมีสิ่งกีดขวางใดๆที่อยู่ในแนวตั้งกล้องที่สามารถสะท้อนแสงกลับได้จะทำให้ได้ระยะผิดไปจากความจริงได้
- ห้ามส่องกล้องไปยังเป้าที่อยู่ทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์เพราะจะทำให้แสงจากดวงอาทิตย์ทำลายระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในกล้องเสียหายได้
- การเดินวงรอบเปิดเพื่อเข้าไปยังรายละเอียดที่ต้องเก็บสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงให้เปิดได้ไม่เกิน 1 มุม กับ 2 ระยะ (ไม่จำกัดความยาว)
- ในการย้ายจุดตั้งกล้องแต่ละครั้ง ให้ถอดกล้องออกจากฐาน(ขากล้อง) แล้วหิ้วกล้องด้วยมือทุกครั้ง
- ในการส่องวัดระยะใดๆ ถ้าหากระดับของจุดตั้งกล้องกับจุดที่ตั้ง Plate หรือ Pole มีความสูงต่างกันมาก ให้นำการเล็งเป้า(Prism)กลับมายังกล้องจะต้องให้ขนานกับแนวเล็งกล้อง(Line of sight) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ มิฉะนั้นระยะที่ได้จะผิดความจริงซึ่งจะมีผลต่อวงรอบด้วย

(3) การทำระดับ

ในการทำระดับในงานออกแบบ ก่อสร้างเขียนโดยมากเราจะกำหนดค่า BM ขึ้นมาใช้เฉพาะในงานในส่วนนั้น ตำแหน่ง BM ควรจะอยู่บนสิ่งก่อสร้างที่ถาวรและสังเกตได้ง่าย ควรมีการกำหนดและเขียนให้ชัดเจนว่าตำแหน่งอยู่ที่ใด (หรือถ้าหาว่า BM ที่มีค่า M.S.L ได้ก็จะเป็นการดี) ในการทำระดับจะมีระดับ 2 ส่วนคือระดับที่อยู่บนพื้นดิน และระดับที่อยู่ในน้ำโดยมากในการทำระดับเราจะทำ Cross Section โดยกำหนดเป็น STA แต่ละ STA ไม่ควร

ห่างเกิน 25 เมตร และแนว Cross Section ควรจะมีแนวตั้งฉากกับลำน้ำในแต่ละ STA ที่ต้องการค่าระดับคือ พื้นดินที่มีค่าระดับแตกต่างกัน ตำแหน่งที่เส้นสำรวจขอบถนน ศูนย์กลางถนน ริมตลิ่ง และค่าระดับผิวน้ำ STAnั้นตัดผ่าน (เพื่อเป็นการตรวจเช็ค) ระดับที่อยู่บนพื้นควรจะห่างจากแนวริมตลิ่งเข้าไปประมาณ 40 เมตร ระดับส่วนที่อยู่ในน้ำเนื่องจากการได้ตำแหน่งในแต่ละ Cross Section ที่อยู่บริเวณริมน้ำแล้ว วิธีการหยั่งความลึกน้ำใช้เชือกยาวประมาณ 100-200 เมตร โดยที่เชือกทำที่หมายไว้ห่างกันประมาณ 5 เมตรแล้วลากเชือกข้ามไปยังอีกฝั่งของแม่น้ำ (พยายามให้ตั้งฉากกับตลิ่ง) จากนั้นเริ่มหยั่งความลึกของแม่น้ำถ้ามีเครื่องวัดความลึกใช้วัดความลึกตามตำแหน่งของเชือกที่ทำเครื่องหมายไว้ ถ้าไม่มี (Sonder) ให้ใช้เชือกผูกลูกตุ้มที่มีน้ำหนักพอแทนก็ได้ โดยยี่ระดับผิวน้ำเป็นเกณฑ์ดำเนินการเช่นนี้ ตลอดความกว้างของลำน้ำในการหยั่งความลึกของลำน้ำจะต้องตรวจเช็คระดับน้ำอยู่ตลอดเวลาว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพื่อที่จะเอาค่าระดับผิวน้ำมาใช้ให้ถูกต้อง

(3.1) การหาค่าระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุด

การออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งในการกำหนดค่าระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุดผิดไปจากความจริงอาจจะทำให้การก่อสร้างมีความเสียหาย เช่น ถ้ามีการกำหนดระดับน้ำสูงสุด ต่ำจากความจริงเมื่อน้ำหลากก็จะทำให้ตัวเขื่อนจมน้ำได้ ถ้ากำหนดระดับน้ำต่ำสุดผิดไปจากความเป็นจริงในการก่อสร้างดินเขื่อนอาจจะก่อสร้างไม่ได้

การพิจารณาค่าระดับน้ำสูงสุด- ต่ำสุด

ก. โดยการขอข้อมูลจากหน่วยราชการที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่มีการก่อสร้างสะพานอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีการจัดเก็บข้อมูลระดับน้ำเราจะใช้ข้อมูลของหน่วยราชการดังกล่าวมาใช้ เช่น กรมเจ้าท่า กรมชลประทาน กรมการพลังงาน หรือกรมอุตุฯ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เป็นต้น

ข. โดยการสอบถามจากชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ

ค. โดยการอาศัยดูจากคราบน้ำที่ติดอยู่ตามสิ่งก่อสร้างหรือต้นไม้

ปัญหาที่สำคัญอีกกรณีหนึ่ง คือระดับน้ำต่ำสุดในกรณีที่ขณะลงมือสำรวจระดับน้ำขณะนั้นยังไม่ลงต่ำสุด ดังนั้นค่าระดับที่ได้โดยมากมักจะได้รับการคาดเดาหรือจากการสอบถามทำให้ค่าที่ได้มีโอกาสผิดพลาดได้ ดังนั้นนอกจากการสอบถามแล้วจะต้องใช้การเปรียบเทียบจากแบบก่อสร้างใกล้เคียงที่ได้ดำเนินการก่อสร้างไปแล้ว (ถ้ามี) นอกจากค่าระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุดปกติแล้วจะต้องระบุค่าระดับน้ำที่ผิดปกติไว้พร้อมทั้งปีที่เกิดขึ้นด้วยและให้ระบุค่าระดับน้ำขณะทำการสำรวจไว้ด้วยเช่นกัน

(4) การเขียนแผนที่

(4.1) การเขียนแผนที่ด้วยมือ (BY MANUAL)

การเขียนแผนที่ด้วยมือนี้เป็นการเขียนแผนที่ระดับพื้นฐาน ซึ่งใช้สำหรับผู้ที่ใช้เครื่อง Computer ไม่เป็นหรือไม่มีอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งการเขียนด้วยมือก็ยังใช้ได้ดีแต่มีข้อเสียคือ ถ้าหากแผนที่ต้นฉบับเสียหายจำเป็นจะต้องเขียนขึ้นใหม่ เพราะส่วนใหญ่ออกแบบมักจะใช้การออกแบบทับลงบนแผนที่ต้นฉบับเลย เพราะถ้าหากใช้การถ่าย ซีร็อกซ์ (Xerox) หรือ ซีเปีย (Sepia) แผนที่ที่ได้มาจะมีการยืดหดตัวสูง ทำให้การออกแบบมีการคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับการใช้ Computer เขียน สามารถจัดเก็บไว้เมื่อต้องการก็สามารถเรียกขึ้นมาพิมพ์ใหม่ได้หรือทำการย่อ - ขยายได้ตามต้องการ

ก. การเขียนแผนที่ด้วยมือมีขั้นตอนดังนี้

- การ Plot ข้อมูลต่าง ๆ ลงบนต้นร่างกระดาษธรรมดาหรือกระดาษกราฟก็ได้
- การคัดลอกลงกระดาษใบ

สำหรับขั้นตอนที่ 2 คงไม่มีปัญหาเพราะเป็นขั้นตอนการคัดลอกเท่านั้น สำหรับขั้นตอนการ Plot ข้อมูลลงบนกระดาษกราฟหรือกระดาษธรรมดานั้นจะแบ่งการ Plot ออกเป็น 3 วิธี ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรายละเอียดนั้นๆ ด้วยเครื่องมือหรือวิธีอะไร เช่น การ Plot รายละเอียดด้วยวิธีการ Offset ออกจากเส้นสำรวจหรือเส้นฐาน , การ Plot ด้วยค่าพิกัด

ข. การ Plot รายละเอียด

• การ Plot รายละเอียดด้วยวิธีการ Offset

วิธีการ Plot แบบนี้ จะใช้การ Offset รายละเอียดต่าง ๆ จากเส้นสำรวจหรือเส้นวงรอบเป็นหลักและการเก็บรายละเอียดจะใช้การเก็บด้วย Optical square หรือ เครื่องส่องฉาก สำหรับขั้นตอนการ Plot มีดังนี้

- เตรียมกระดาษกราฟหรือกระดาษอะไรก็ได้ ถ้าเป็นกระดาษกราฟจะง่าย เพราะมีตารางกริด สำเร็จรูป ถ้าเป็นกระดาษธรรมดาเราจะต้องตีกริด (Grid line) ตามมาตราส่วนที่เราต้องการก่อน
- นำค่าพิกัดวงรอบที่เราคำนวณได้ มาทำการ Plot ตำแหน่ง เขียนชื่อกำกับมุม พร้อมลากเส้นระหว่างมุมด้วย
- นำค่าระยะต่าง ๆ ในสมุดจดรายละเอียดมา Plot โดยให้แนวเส้นตรงระหว่างมุมเป็นแนวเส้นฐาน (Base line) วัดระยะตามแนวมุมที่เราสำรวจ แล้วลากเส้นตั้งฉากออกไปจากแนวเส้นฐานออกไปทางซ้ายหรือขวามือตามที่เรากำหนดซึ่งเราเรียกว่าเส้นฉากหรือเส้น Offset วัดระยะตามรายละเอียดที่จดมา เราจะได้ตำแหน่งของรายละเอียดที่เราวัดมา เส้นเหล่านี้ควรลากเบาๆ ให้มองเห็นเป็นแนวเท่านั้น

• การ Plot รายละเอียดด้วยค่าพิกัด

การ Plot ด้วยวิธีนี้กระดาษที่จะใช้จะต้องตีกริด(Grid line)ก่อน

ถ้าได้กระดาษกราฟก็จะดีมาก จากนั้นเราก็นำค่าพิกัดของแต่ละจุดที่เราคำนวณมาได้หรือได้จากกล้อง Total station มา Plot เราจะได้ตำแหน่งที่เราต้องการ โดยมากค่าพิกัดที่ได้มาจะได้จากการสำรวจรายละเอียดด้วยกล้อง Theodolite ประกอบกับเครื่องวัดระยะ (EDM) หรืออาจจะใช้การวัดระยะด้วย tape ก็ได้หรืออาจจะได้จากกล้อง Total Station ในกรณีที่ไม่ได้ทำการบันทึกภายในกล้องหรือบันทึกด้วย Electronic field book

เมื่อเราดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งเรียบร้อยแล้ว เราก็ใช้กระดาษไข มาคัดลอกจากแผ่นต้นร่างที่เรา Plot สำหรับการ Plot ทั้ง 3 วิธี ถ้าหากมีค่าระดับเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าระดับ Profile หรือ Cross Section หรือ Spot height เราก็ Plot ค่าระดับลงไปตามตำแหน่งพิกัดที่เราจดมา ซึ่งการลอกเราจะลอกค่าระดับลงไปด้วย เสร็จแล้วนำไปถ่ายพิมพ์เขียวก่อนแล้วนำมาคำนวณลากเส้น Contour ที่หลัง แต่ถ้ารายละเอียดน้อยเราอาจจะลากเส้น Contour ไปในแผ่นต้นร่างเลยก็ได้ เมื่อคัดลอกเสร็จแล้วแผ่นต้นร่างจะต้อง เก็บไว้ตรวจสอบด้วย

(4.2) การเขียนแผนที่ด้วย PROGRAM สำรวจ

ในปัจจุบัน Program สำรวจมีหลาย Program เช่น Geocomp หรือ Softdesk เป็นต้น สำหรับ Program บาง Program อาจจะไม่สามารถเขียน Contour ได้ เขียนได้เฉพาะรูปเท่านั้นสำหรับ Program ทั้ง 2 ตัวข้างบนสามารถเขียน Contour เขียนรูปตัด Profile รูปตัด Cross section และอื่นๆได้อีกมากมาย ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถนำมากล่าวในที่นี้ได้หมด

ข้อมูลที่ใช้กับ Program เหล่านี้ส่วนใหญ่จะมาจากกล้อง Total Station เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่ได้(ที่บันทึกในตัวกล้อง) Load เข้าสู่เครื่อง Computer ทำการ RUN Program ได้เลย บางครั้งอาจจะใช้จากกล้อง Theodolite ธรรมดาพร้อมกับเครื่องวัดระยะ (EDM) แล้วจดบันทึกลงใน Electronic field book ก็ได้แล้วเวลาใช้ Program จะมีให้เลือกลักษณะให้ตรงกับข้อมูลที่จะป้อนเข้าสู่เครื่อง เช่น อาจจะอยู่ในรูป มุมราบ, มุมตั้งและระยะลาด (Slope distance) หรือในรูป(Format) PNEZD ก็ได้ซึ่งมีความหมายดังนี้.

- P = Point Number ของจุดรายละเอียด
- N = ค่าพิกัด N ของรายละเอียด
- E = ค่าพิกัด E ของรายละเอียด
- Z = ค่าระดับของจุดหรือรายละเอียด
- D = Description รายละเอียดของจุดนั้นๆ เช่น เสาไฟฟ้า หรือต้นไม้

เป็นต้น นิยมใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรย่อ(Code)

ในทางปฏิบัติบางหน่วยงานไม่มีเครื่องมือสมัยใหม่ เช่น เครื่องวัดระยะ หรือกล้อง Total Station เราสามารถที่จะแปลงการเก็บรายละเอียดด้วยเครื่องมือธรรมดา เช่น ด้วย Optical square หรือการโยงยึดหรือระยะสก็อตก็ได้ หรือใช้กล้อง Theodolite ธรรมดาคู่กับ Tape วัดระยะธรรมดาก็ได้หรือใช้ร่วมกับไม้ Staff ดังได้กล่าวมาแล้วในเรื่องการทำระดับด้วยตรีโกณ ซึ่งผู้เขียนได้เขียน Program ง่าย ๆ ใช้กับเครื่องคำนวณของ CASIO รุ่น Fx-880P และรุ่น PB-1000 และได้เขียนสำหรับเครื่อง Computer ทั่วไปใน Program Microsoft Excel WINDOW 95 ขึ้นไป ซึ่งค่าที่ได้จาก Program เสร็จเหล่านี้จะเป็นด้วยมือ (Manual) ก็ได้ ถ้ารายละเอียดมีน้อย แต่ถ้ามากๆ สำหรับเครื่อง CAS10 FX-880P และ PB-1000 เวลาคำนวณจะต้องคัดลอกรายละเอียดที่คำนวณได้แล้วนำมาพิมพ์ใน EXCEL โดยมีรูปแบบ (Format) ดังนี้ PNEZD หรือ NEZD ก็ได้ แล้ว Save ลงแผ่น Disk. ในรูปของ **EXCEL FORMAT TEXT** หรือ **print file(.pm)**

สำหรับท่านที่ใช้กับเครื่อง Computer ใน Microsoft EXCEL ก็จะสามารถ SAVE ลงแผ่นได้เลยหรือใช้การ Move ไปยัง program ได้เลย ซึ่งจะทำให้ความถูกต้องมากกว่าเพราะสามารถลดขั้นตอนการจดการพิมพ์ลงไป 2 ขั้นตอน

1.6 แบบตัวอย่างการเขียนโครงการสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ข้อมูลเบื้องต้น

โครงการสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

1. ชื่อโครงการ _____
2. สถานที่ตั้งโครงการ
 - 2.1 บริเวณที่จะออกแบบก่อสร้าง
หมู่ที่ _____ บ้าน _____ ตำบล _____
อำเภอ _____ จังหวัด _____
 - 2.2 ฝั่งตรงข้ามบริเวณที่จะออกแบบก่อสร้าง
หมู่ที่ _____ บ้าน _____ ตำบล _____
อำเภอ _____ จังหวัด _____
3. สภาพทั่วไปของบริเวณที่ตั้งโครงการ
 - 3.1 ลักษณะภูมิประเทศทั่วไป
บริเวณที่จะออกแบบก่อสร้าง _____
ฝั่งตรงข้ามบริเวณที่จะออกแบบ _____
 - 3.2 ลักษณะดินริมตลิ่ง
บริเวณที่จะออกแบบก่อสร้าง _____
ฝั่งตรงข้ามบริเวณที่จะออกแบบ _____
4. ข้อมูลลำนํ้าบริเวณที่ตั้งโครงการ
 - 4.1 ความเร็วของกระแสนํ้าในหน้านํ้า – ฤดูน้ำหลาก
☐ ไม่เชี่ยว ☐ เขียวปานกลาง ☐ เขียวจัด
 - 4.2 ระดับนํ้า
ระดับนํ้าสูงสุด _____
ระดับนํ้าต่ำสุด _____
ระดับนํ้าขณะสำรวจ _____ เมื่อวันที่ _____
 - 4.3 คุณภาพนํ้า
☐ น้ำจืด ☐ เค็ม
 - 4.4 การกัดเซาะตลิ่งของกระแสนํ้า
☐ ไม่มี
☐ มี _____ เมตรต่อปี

5. รายละเอียดเขื่อนเดิม

5.1 เหนือหน้า

5.1.1 ลักษณะเขื่อนเดิมเป็นแบบ _____

5.1.2 หน่วยงานได้รับผิดชอบ _____

5.1.3 ก่อสร้างเสร็จในปี พ.ศ. _____

5.1.4 มีความเสียหายในลักษณะ _____

5.2 ท้ายน้ำ

5.1.1 ลักษณะเขื่อนเดิมเป็นแบบ _____

5.1.2 หน่วยงานได้รับผิดชอบ _____

5.1.3 ก่อสร้างเสร็จในปี พ.ศ. _____

5.1.4 มีความเสียหายในลักษณะ _____

6. ข้อมูลเบื้องต้นของเขื่อนที่จะทำการก่อสร้าง

6.2.1 รูปแบบของเขื่อน _____

6.2.2 การใช้ประโยชน์บริเวณสันเขื่อน _____

6.2.3 การใช้ประโยชน์ลำน้ำหน้าเขื่อน _____

บทที่ 3 : การออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรม

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 การออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมในงานออกแบบพื้นที่ริมน้ำ	3-1
1.2 ความจำเป็นของงานภูมิสถาปัตยกรรมในงานออกแบบพื้นที่ริมน้ำ	3-1
1.3 ข้อกำหนดหลักในการออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรม	3-2
1.4 การออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรม	3-2
1.5 ปัจจัยในการออกแบบ	3-3
1.6 ลักษณะกิจกรรมใช้งานในพื้นที่ริมน้ำที่ปรากฏ	3-3
1.7 รูปแบบของการป้องกันพื้นที่ริมน้ำ	3-8
1.8 ลักษณะรูปแบบของสิ่งก่อสร้างที่ปรากฏ	3-8
1.9 การใช้พรรณไม้ในงานออกแบบบริเวณพื้นที่ริมน้ำ	3-13
1.10 การคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานและผู้พิการ	3-24
1.11 บทสรุปทางภูมิสถาปัตยกรรมการป้องกันพื้นที่ริมน้ำ	3-25
1.12 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	3-25
เอกสารอ้างอิง	

บทที่ 3 : การออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรม

นายสัจจา พุกสุขสกุล

ภูมิสถาปนิก 8ว

สำนักสถาปัตยกรรม

1.1 การออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมในงานออกแบบพื้นที่ริมน้ำ

เนื่องจากรูปแบบของการป้องกันพื้นที่ริมน้ำโดยการใช้รูปแบบโครงสร้างเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินการก่อสร้างนั้น เปรียบเหมือนการนำสิ่งแปลกปลอมต่อธรรมชาติเข้ามาแก้ไขปัญหา ซึ่งนอกเหนือจากวัตถุประสงค์ที่จะป้องกันการพังทลายของพื้นที่ริมน้ำแล้ว ซึ่งที่ยังต้องคำนึงถึงที่สำคัญไม่น้อยกว่ารูปแบบลักษณะทางวิศวกรรมที่เลือกใช้คือ ลักษณะรูปแบบทางกายภาพที่ปรากฏ ดังนั้นในการออกแบบการป้องกันพื้นที่ริมน้ำที่สมบูรณ์จะต้องมีการวางแผน การร่วมปรึกษาหารือ การวิจัยค้นคว้า จากผู้เชี่ยวชาญในหลายๆฝ่าย เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมแต่ละพื้นที่ต่อไป การใช้งานไม่ได้ถูกจำกัดแต่เพียงหน้าที่ในการป้องกันพื้นที่ริมน้ำเท่านั้น แต่ความจริงที่ปรากฏในปัจจุบัน คือ มีการใช้งานโดยตรงทั้งบริเวณด้านหน้าของสิ่งก่อสร้าง(ในลำน้ำ) บนตัวสิ่งก่อสร้าง และที่สำคัญที่สุด คือ พื้นที่ด้านหลังสิ่งก่อสร้าง ดังนั้นในการดำเนินการพัฒนาพื้นที่ริมน้ำจึงจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเข้ามาร่วมและมีบทบาทในการดำเนินงาน เพื่อให้ได้งานก่อสร้างที่มีคุณภาพเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ต่อไป

1.2 ความจำเป็นของงานภูมิสถาปัตยกรรมในงานออกแบบพื้นที่ริมน้ำ

เนื่องจากแต่เดิมการออกแบบสิ่งก่อสร้างเพื่อการป้องกันพื้นที่ริมน้ำนั้นถูกมองเพียงมิติเดียว คือ การออกแบบทางด้านลักษณะโครงสร้างทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการป้องกันการพังทลายของพื้นที่ริมน้ำโดยคลื่นและกระแสน้ำเท่านั้น ซึ่งเป็นเพียงการแก้ไขปัญหาลักษณะที่มุ่งเพียงแต่การป้องกันพื้นที่ริมน้ำเท่านั้น ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่ริมน้ำส่วนใหญ่เดิมจะมีรูปแบบลักษณะทางวิศวกรรมที่เป็นเพียงรูปแบบลักษณะหลักทางโครงสร้างวิศวกรรมเท่านั้น เช่น เสาเข็ม แผงคอนกรีต การเรียงหิน หรือชั้นบันได ซึ่งมักจะพบว่าทำให้ทัศนียภาพเปลี่ยนแปลงไปจากลักษณะเดิมก่อนก่อสร้างมาก ถึงแม้ว่าจะในการก่อสร้างย่อมต้องมีการเปิดพื้นที่เพื่อทำการก่อสร้างซึ่งต้องมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อยู่แล้ว แต่ในความจริงที่ปรากฏเราสามารถสร้างความกลมกลืนกลับคืนกับสภาพพื้นที่ได้โดยการนำเอาแนวทางการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นความจำเป็นในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมจึงได้เข้ามามีบทบาท โดยเฉพาะการออกแบบด้านภูมิสถาปัตยกรรมซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับหน้าที่ดังนี้

สำหรับในปัจจุบันเริ่มมีการตื่นตัวและให้ความสำคัญต่อรูปแบบและการใช้งานของสิ่งก่อสร้างสำหรับการป้องกันพื้นที่ริมน้ำ โดยได้เน้นถึงคุณประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของพื้นที่ในบริเวณริมน้ำและใกล้เคียง ทั้งทางด้านประโยชน์ใช้สอยและสุนทรียภาพมากขึ้น จะสังเกตได้ว่าการพัฒนาพื้นที่ริมน้ำโครงการสำคัญๆมักจะมีการนำเอาแนวความคิดในการปรับปรุงภูมิทัศน์เข้าไปมีส่วนร่วมในการก่อสร้างมากขึ้น ความน่าดูน่าชมของสถานที่ก่อสร้างมีมากขึ้น ประโยชน์ใช้สอยในพื้นที่ก่อสร้างมีมากขึ้น การเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่น้ำด้านหน้าแนวเขื่อนป้องกันตลิ่งและพื้นที่ดินหลังแนวเขื่อนเริ่มมีความสัมพันธ์มากขึ้น เขื่อนป้องกันตลิ่งในปัจจุบันจึงไม่เพียงแต่เพียงโครงสร้างเพื่อป้องกันการพังทลายของแนวตลิ่งเพียงอย่างเดียว แต่กลับเป็นองค์ประกอบที่สร้างความมีเอกลักษณ์ที่ดีของพื้นที่ สร้างบ้านเมืองให้น่าอยู่ น่าชม ไม่แปลกแยกกับสภาพแวดล้อม ดังนั้นในการพัฒนาพื้นที่ริมน้ำจึงให้ความสำคัญระหว่างการออกแบบป้องกันแนวตลิ่ง รูปแบบและประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่บริเวณนั้นๆในน้ำหนักที่ไม่น้อยกว่ากัน

“งานพัฒนาพื้นที่ริมน้ำ ในแง่ภูมิสถาปัตยกรรมอาจแบ่งเป็นแนวทาง ในการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม อันจะเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมริมน้ำ และแนวทางในการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี ได้แก่ทัศนียภาพ ความร่มรื่น พื้นที่รองรับกิจกรรมทางสังคมและวัฒนธรรม พื้นที่สันทนาการ เป็นต้น ในต่างประเทศการพัฒนาพื้นที่ริมน้ำเป็นกระแสที่ร่วมสมัยมาก โดยเฉพาะโครงการในเมืองหลวงและเมืองใหญ่ มนุษย์ทุกชาติทุกภาษาย่อมมีความรู้สึกที่จะใกล้ชิดและเข้าถึงน้ำ ดูตัวอย่างโครงการจัดสรรที่ดิน (พร้อมบ้าน) ในหน้าหนังสือพิมพ์ทุกวันนี้ก็ได้ ถ้าโครงการใดมีน้ำ (เล็ก) มีสไตล์เวนิเซีย (Venesia) ที่เอาตัวอย่างมาจากเมือง เวนีส ประเทศอิตาลี จะได้รับความสนใจเป็นพิเศษ ยิ่งน้ำสะอาดในเมืองหลวงจะหายากเพียงใด จิตใจของมนุษย์ก็โหยหาน้ำมากเท่านั้น พื้นที่สันทนาการและพื้นที่สีเขียวก็เช่นกัน เราท่านคงเคยได้ยินคำว่า Green Belt หรือ Green Corridor กันมาแล้ว พื้นที่ริมน้ำสามารถเป็นแกนกลางของพื้นที่สีเขียวเหล่านี้ได้ดี โดยเฉพาะในตัวเมืองที่พื้นที่ริมน้ำสาธารณะตามกฎหมายเหลือเพียงไม่กี่เมตรจากขอบน้ำการออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อกำหนดการใช้พื้นที่ริมน้ำนั้นก็ยิ่งสำคัญขึ้น”¹

จากข้อความดังกล่าวจะเห็นถึงความสำคัญของพื้นที่ริมน้ำโดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นที่สาธารณะ สำหรับในที่นี้จะขอกล่าวถึงงานภูมิสถาปัตยกรรมในลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างที่อยู่ในประเทศเท่านั้นเพื่อให้เห็นภาพได้ชัดยิ่งขึ้น

1.3 ข้อกำหนดหลักในการออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape criteria)

ข้อกำหนดหลักในการออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape criteria) มีข้อกำหนดดังนี้

- (1) ลักษณะพื้นที่ริมน้ำ ลักษณะทางธรณีสัณฐาน ธรณีวิทยา
- (2) ลักษณะเส้นทางน้ำ กระแสน้ำ ความกว้างลำน้ำ
- (3) ค่าระดับน้ำต่ำสุด ระดับน้ำเฉลี่ย และระดับน้ำสูงสุด
- (4) ความลาดเอียงของพื้นที่ริมน้ำ และรูปตัดลำน้ำ
- (5) ลักษณะพื้นที่ที่เกี่ยวข้องโดยรอบ
- (6) มุมมอง ทัศนียภาพ
- (7) ทิศทาง แสงแดด
- (8) ต้นไม้เดิม

ข้อกำหนดต่างๆที่กล่าวมาจะมีผลต่อการกำหนดรูปแบบโดยการนำข้อกำหนดเหล่านี้มาเป็นข้อมูลหลักในการออกแบบ โดยจะนำมาวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสียเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบต่อไป

1.4 การออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape design)

- (1) รูปแบบทางกายภาพ (PHYSICAL FORM & AESTHETIC)
- (2) กิจกรรมและประโยชน์ใช้สอย (FUNCTION & LAND USE)

¹ ผศ.อริยา อรุณินท์ / อาษา วารสารสถาปัตยกรรม สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ มีนาคม-เมษายน 2538

1.5 ปัจจัยในการออกแบบ

1.5.1 ลักษณะทางพื้นที่และสภาพแวดล้อม

ลักษณะทางพื้นที่และสภาพแวดล้อม มีดังนี้

- (1) การใช้ประโยชน์ที่ดิน
- (2) การใช้ประโยชน์พื้นที่ในอนาคต
- (3) สิ่งก่อสร้างเดิมในพื้นที่
- (4) ระบบสาธารณูปโภคในพื้นที่
- (5) ต้นไม้เดิม
- (6) สภาพพื้นที่ข้างเคียง

1.5.2 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม มีดังนี้

- (1) รูปแบบสิ่งก่อสร้างที่มีลักษณะเด่น มีคุณค่าทางสถาปัตยกรรม
- (2) รูปแบบประเพณีและกิจกรรมท้องถิ่น

1.6 ลักษณะกิจกรรมการใช้งานในพื้นที่ริมน้ำที่ปรากฏ

1.6.1 พื้นที่ส่วนบุคคล

- (1) เพื่อการพักอาศัย เช่น อาคาร บ้านเรือน



(2) เพื่อการเกษตรกรรม



(3) เพื่อประโยชน์การใช้งานเฉพาะ เช่น ร้านอาหาร รีสอร์ท โรงแรม

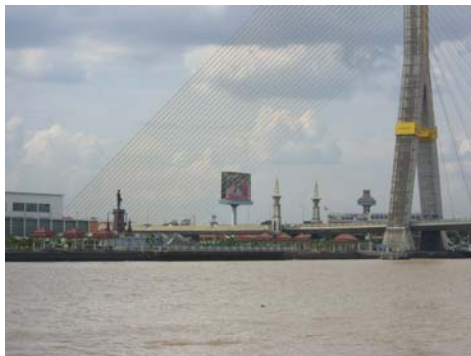


1.6.2 พื้นที่สาธารณะ

(1) เพื่อการคมนาคม การสัญจร



(2) เพื่อการพักผ่อนและนันทนาการ







(3) เพื่อประโยชน์การใช้งานเฉพาะ เช่น ทำเรือ



1.7 รูปแบบของการป้องกันพื้นที่ริมน้ำ (ที่เกี่ยวข้องในด้านภูมิสถาปัตยกรรม)

1.7.1 ด้วยลักษณะวิธีทางธรรมชาติ

(1) การใช้ความลาดเอียงของพื้นที่ เพื่อลดการกัดเซาะพังทลายของแนวตลิ่งทั้งพื้นที่ด้านบนและด้านล่าง เนื่องจากทั้งกระแสน้ำและคลื่นผิวน้ำจะค่อยๆ ลดแรงลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลาดเอียงที่ใช้ โดยทั่วไปจะเป็นการปรับสภาพพื้นที่ตามแนวตลิ่งให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาและการใช้งาน

(2) การลดความรุนแรงของกระแสน้ำเพื่อลดการกัดเซาะพื้นที่ด้านล่างจากบริเวณแนวผิวน้ำลงมา ซึ่งการกัดเซาะประเภทนี้จะทำให้เกิดพังทลายของแนวตลิ่งรุนแรง ทั้งนี้โดยการสร้างแนวต้านความรุนแรงในกระแสน้ำที่เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนทิศทางน้ำ การถมท้องน้ำให้สูงขึ้น

(3) การลดความรุนแรงของคลื่นผิวน้ำ เพื่อลดการกัดเซาะพื้นที่ด้านบนจากบริเวณแนวผิวน้ำขึ้นไป ซึ่งการกัดเซาะประเภทนี้จะทำให้เกิดพังทลายของแนวตลิ่งรุนแรงไม่มาก ทั้งนี้โดยการสร้างแนวป้องกันคลื่นผิวน้ำที่พัดเข้าหาแนวตลิ่ง เช่น การวางท่อนลอย การวางแนวตักคลื่น

1.7.2 ด้วยสิ่งก่อสร้าง

(1) การใช้โครงสร้างแบบ RIGID เช่น เขื่อนแนวตั้ง เขื่อนกันคลื่น(jetty) การคาดหิน

(2) การใช้โครงสร้างแบบ FLEXIBLE เช่น การเรียงหิน ก่อเกเบรียล แผ่นแมสเทรส

(3) การใช้ภูมิปัญญาชาวบ้าน เช่น การปักไม้ไผ่เป็นแนว

ทั้งนี้ใน 1 และ 2 จะมีการนำเอาทฤษฎีการออกแบบเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนในรายละเอียดนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละลักษณะ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

1.8 ลักษณะรูปแบบของสิ่งก่อสร้างที่ปรากฏ (ที่เกี่ยวข้องในด้านภูมิสถาปัตยกรรม)

1.8.1 ลักษณะรูปแบบแนวลาดเอียง

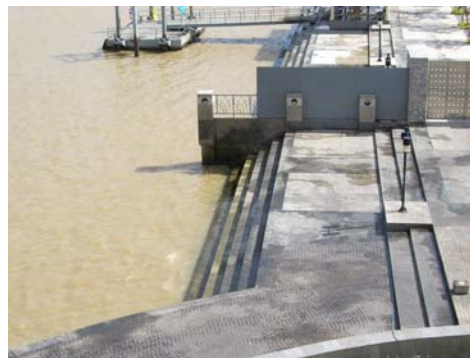
จะมักใช้กับลักษณะบริเวณที่พื้นที่ในการออกแบบมากและต้องการระยะห่างระหว่างพื้นที่ดินกับผิวน้ำพอสมควร โดยทั่วไปต้องการให้เกิดความกลมกลืนกับสภาพพื้นที่ริมน้ำเดิม และมักจะเหมาะกับพื้นที่ที่มีผิวน้ำกว้าง





1.8.2 ลักษณะรูปแบบชั้นบันได

เพื่อต้องการใช้ประโยชน์และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสัญจร เช่น บันไดลงน้ำสำหรับทำเรือ
 เพื่อต้องการใช้ประโยชน์และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องประเพณีและวัฒนธรรม เช่น เทศกาลประเพณีลอย
 กระถาง นั่งชมการแสดงการแข่งขันเรือ
 โดยทั่วไปลักษณะพื้นที่มักจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับผิวน้ำที่แตกต่างกันมาก





1.8.3 ลักษณะรูปแบบแนวตั้งตรง

จะมักใช้กับลักษณะบริเวณที่พื้นที่ในการออกแบบน้อย มีระยะกระชั้นชิด และต้องการความใกล้ชิดระหว่างพื้นที่ดินกับผิวน้ำ

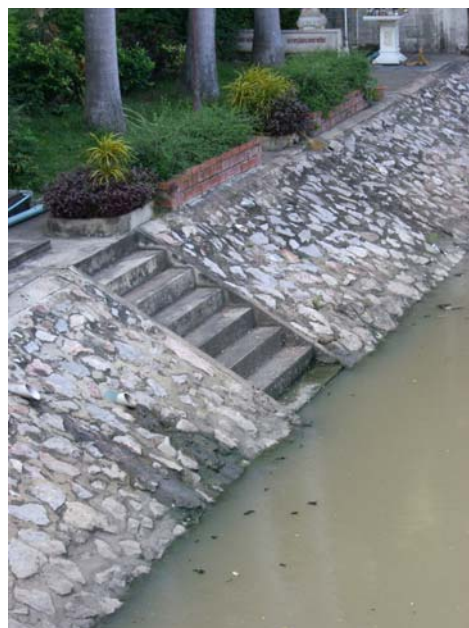
โดยทั่วไปไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับผิวน้ำที่แตกต่างกันมาก





1.8.4 ลักษณะรูปแบบผสม

มักจะเกิดขึ้นจากการออกแบบใช้งานอันเนื่องมาจากกิจกรรมประโยชน์ใช้สอยที่หลากหลาย เช่น ลักษณะรูปแบบแนวตั้งตรงกับแบบชั้นบันได ลักษณะรูปแบบแนวลาดเอียงกับแบบชั้นบันได



ทั้งนี้การเลือกใช้รูปแบบลักษณะต่างๆที่กล่าวมานี้จะต้องปรึกษาด้านวิศวกรรมโครงสร้าง เพื่อกำหนดรูปแบบที่ทำให้เกิดความเหมาะสมแก่ความปลอดภัยในการใช้งาน

1.9 การใช้พรรณไม้ในงานออกแบบบริเวณพื้นที่ริมน้ำ

การใช้พืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ริมน้ำนั้น โดยทั่วไปมักจะใช้หลักการที่สอดคล้องกับลักษณะพรรณไม้ที่เกิดขึ้นหรือที่มีอยู่ในบริเวณพื้นที่เดิม โดยทั่วไปจะเน้นไปยังไม้ยืนต้นขนาดใหญ่เป็นหลัก สำหรับพรรณไม้ขนาดเล็ก รวมถึงไม้คลุมดิน

“พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ เป็นพื้นที่ที่มีสภาพธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตอันเป็นแหล่งที่ควรอนุรักษ์ เพื่อความสมดุลของระบบนิเวศและภูมิอากาศ เป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ ได้แก่ พื้นที่ป่าทุกประเภท หมายรวมถึงป่าธรรมชาติ ป่าชุมชน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่ป่าชายเลน ป่าชายหาด พื้นที่ริมน้ำ ริมตลิ่งที่เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์น้ำ ฯลฯ พืชพรรณควรเป็นพืชพรรณท้องถิ่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและควรอนุรักษ์หรือพิทักษ์ไว้ให้คงสภาพเดิมมากที่สุด พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วทาง เป็นพื้นที่สีเขียวที่มีลักษณะพิเศษ เป็นแนวยาวไปตามเส้นทางคมนาคมทางบกและทางน้ำ เช่น พื้นที่สีเขียวตามแนวถนนรวมถึงเกาะกลางถนน ตามแนวทางรถไฟ ทางจักรยาน ทางเดินริมถนนและแม่น้ำ ลำคลอง ควรเลือกใช้ไม้ยืนต้นที่ให้ร่มเงา เป็นหลัก และควรมีสีสันเป็นมวล หรือสลับสีเป็นช่วงๆ หรือตามฤดูกาลเพื่อเพิ่มความหลากหลาย”²

1.9.1 การใช้งานในพื้นที่ลักษณะทางธรรมชาติ

โดยทั่วไปไม่มีข้อจำกัดในการใช้พรรณพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานเป็นหลัก ยกเว้นการทนน้ำท่วมขังของต้นไม้ในกรณีที่ต้องปลูกบนแนวตลิ่งที่น้ำสามารถท่วมถึง

- (1) ความร่มรื่น ความโปร่งสบาย
- (2) เอกลักษณะเฉพาะพื้นที่
- (3) บรรยากาศภาพรวม
- (4) สีและดอก (ตามฤดูกาล)
- (5) ลักษณะและนิสัยของต้นไม้
- (6) การดูแลรักษา

1.9.2 การใช้งานในพื้นที่ลักษณะบนโครงสร้างและใกล้เคียงสิ่งก่อสร้าง

โดยทั่วไปมักจะมีข้อจำกัดที่ควรคำนึงทางด้านน้ำหนักและระบบรากต้นไม้เป็นสำคัญ ส่วนการใช้งานด้านอื่นๆเช่นเดียวกันกับการนำไปใช้งานในพื้นที่ลักษณะทางธรรมชาติ

² โครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียว: เขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และพื้นที่เมืองโดยรอบ / ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมกับสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

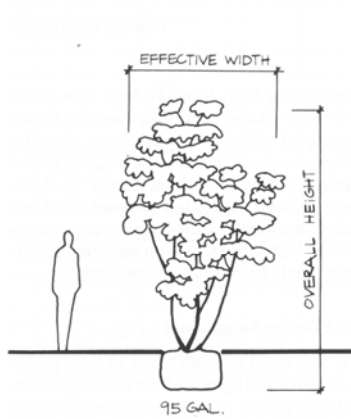


Figure 620-21 *Brassia actinophylla* (1-ft grid).

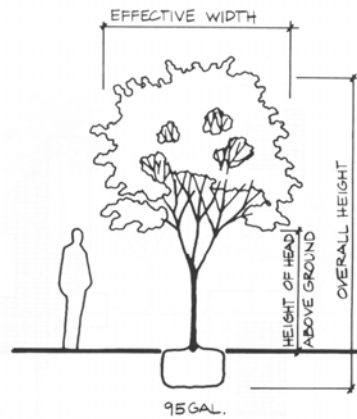


Figure 620-22 *Ficus benjamina* (standard) (1-ft grid).

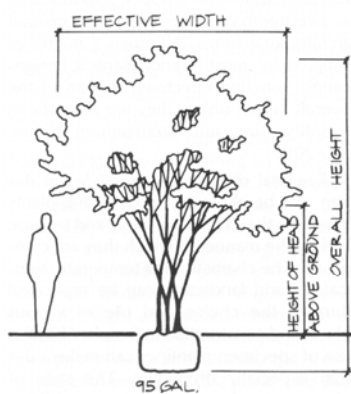


Figure 620-23 *Ficus benjamina* (multitrunk) (1-ft grid).

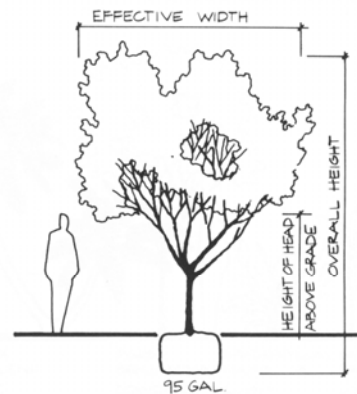


Figure 620-24 *Ficus retusa nitida* (1-ft grid).



Figure 620-25 *Phoenix canariensis* (1-ft grid).

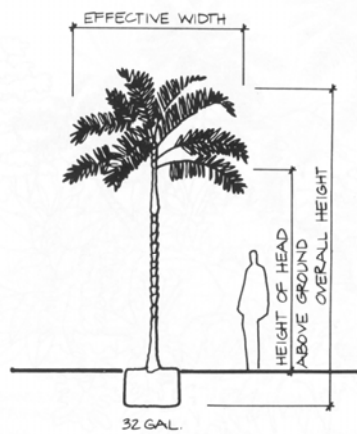


Figure 620-26 *Ptychosperma elegans* (single) (1-ft grid).

3

รูปภาพ : แสดงลักษณะการใช้พรรณไม้ที่สัมพันธ์กับสัดส่วนมนุษย์

³ time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

1.9.3 การแบ่งพรรณไม้ตามลักษณะต้นไม้

“ไม้ยืนต้น (Trees) ที่มีลำต้นเดี่ยวและมีพุ่มใบอยู่เหนือศีรษะทำหน้าที่ “หลังคา” หรือ “เพดาน” เป็นตัวกำหนดระนาบเหนือศีรษะ (Overhead Plane) และลำต้น กำหนดระนาบทางตั้งแบบโปร่ง ซึ่งยังสามารถจัดกลุ่มของไม้ยืนต้นตามขนาด เล็ก กลาง ใหญ่ได้อีก



ไม้พุ่ม (Shrubs) ที่มีความสูงตั้งแต่ระดับหัวเข่า ระดับเอว ระดับอก ระดับตา ถึงระดับทว่มหัว และมักมีลำต้นแตกแขนงไม่เป็นลำเดี่ยวชัดเจน จึงมักทำหน้าที่เป็น “กำแพง” หรือ “ผนัง” เป็นตัวกำหนดระนาบทางตั้ง (Vertical Plane) กันล้อมพื้นที่ในบริเวณที่ต้องการความเป็นส่วนตัว เช่น สวนส่วนบุคคล ไม้พุ่มจึงไม่นิยมใช้ในพื้นที่สาธารณะมากนัก เพราะจะทำให้พื้นที่โล่งเกิดจุดบอดได้





ไม้คลุมดิน (Groundcovers) มีความสูงระดับติดดิน ระดับข้อเท้าจนถึงระดับหน้าแข้ง ทำหน้าที่เป็น “พื้น” หรือ ระนาบพื้นฐาน (Base Plane) ที่รองรับการเหยียบย่ำ และมองเห็นได้จากด้านบน สี สัน และรูปแบบ ลวดลายต่างๆของพืช คลุมดิน ช่วยเพิ่มความงามให้กับพื้นที่ในระดับต่ำได้เป็นอย่างดี⁴



1.9.4 การกำหนดตำแหน่งต้นไม้

โดยส่วนใหญ่จะต้องคำนึงถึง

- (1) ขนาดและน้ำหนักของต้นไม้ โดยเฉพาะต้นไม้ขนาดใหญ่
- (2) ระบบรากของต้นไม้
- (3) น้ำหนักดินปลูก
- (4) การดูแลรักษา

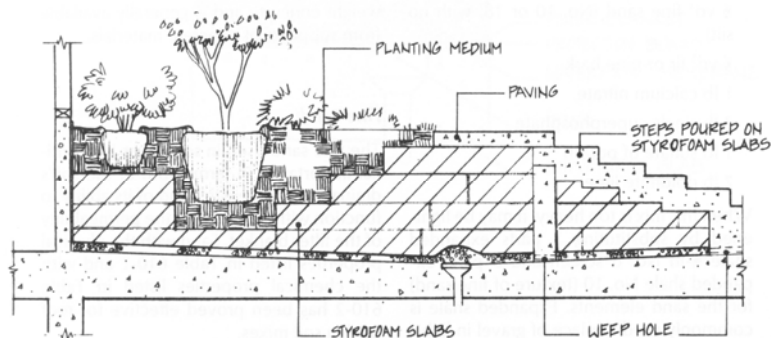


Figure 610-16 Lightweight Alternative for Raising Planting Bed. Alternative method for raising a planting bed adjacent to a building wall. A concrete wall is carried 6 in (152 mm) above the finished grade of the planting level and water-proofed. The planting medium can include lightweight Styrofoam blocks for weight reduction.

5

รูปภาพ : แสดงการลดน้ำหนักของวัสดุปลูกต้นไม้

⁴ เรื่องเดียวกัน

⁵ time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

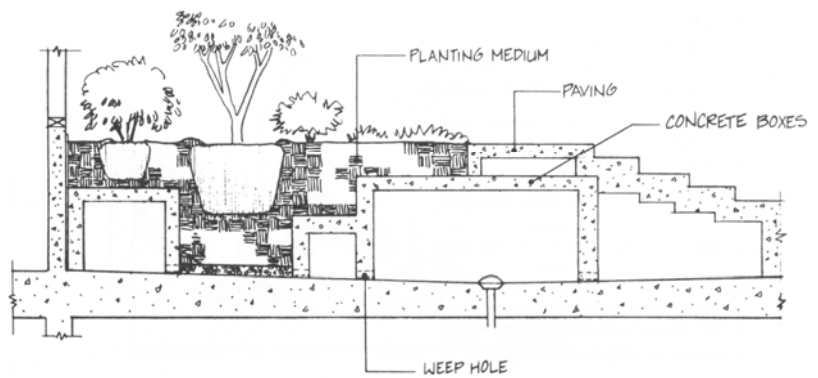


Figure 610-17 Concrete Boxes Used to Raise Beds. Concrete boxes, instead of soil or Styrofoam, are used for lightweight structural strength.

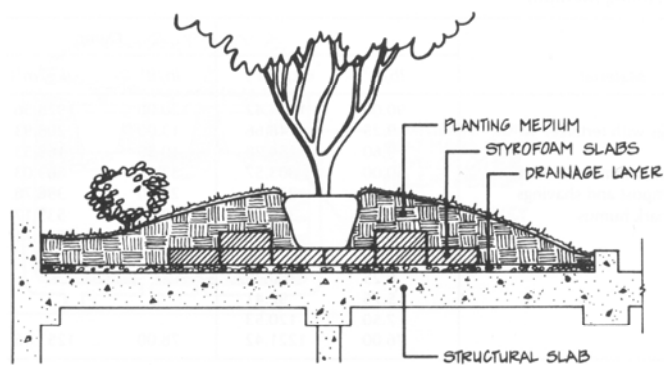


Figure 610-18 Alternative Way to Reduce Weight of Planting Medium. Styrofoam blocks placed at suitable depths reduce the weight and mass of the planting medium.

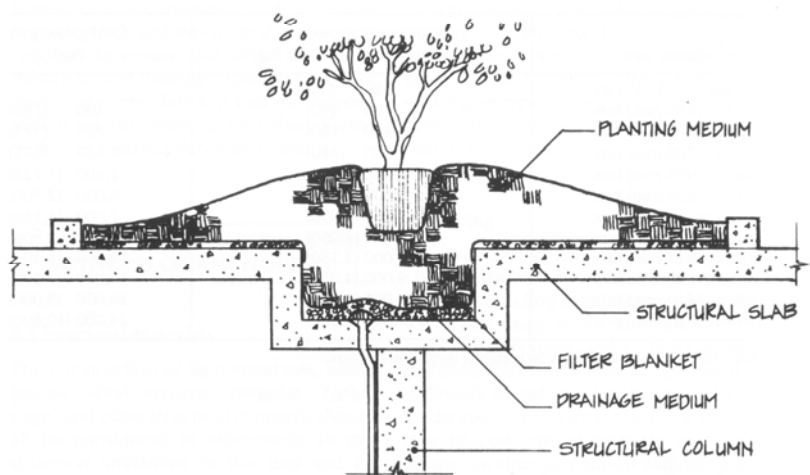


Figure 610-19 Recessed Area for Large Plants. Roof structure is designed to provide a recessed planting area over a column for a large tree.

รูปภาพ : แสดงการลดน้ำหนักของวัสดุปลูกต้นไม้

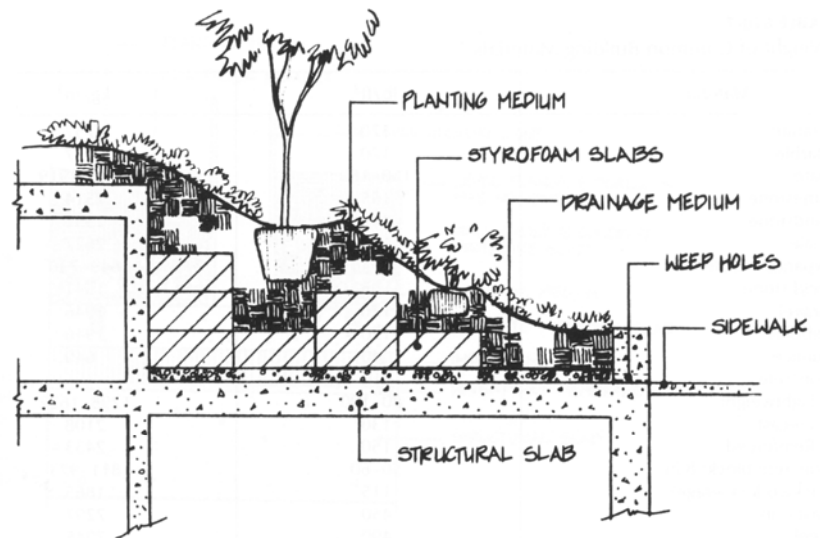


Figure 610-20 Lightweight Method for Changing Grades. Method to change grades between sidewalk and roof deck.

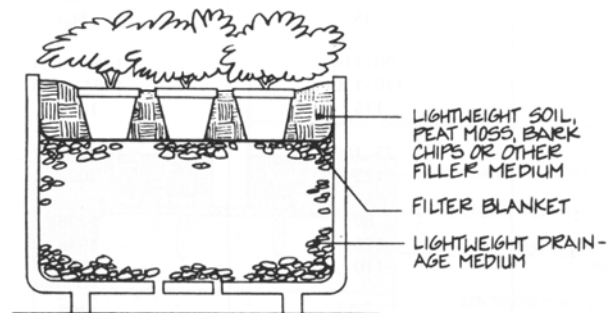


Figure 610-21 Lightweight Plant Containers. Method for stringent weight restrictions. Plastic containers are substituted for clay, and lightweight drainage medium is substituted for soil. For planting directly in soil, 8 to 10 in (205 to 255 mm) of lightweight soil is placed on drainage medium covered with a filter blanket.

6

รูปภาพ : แสดงการลดน้ำหนักของวัสดุปลูกต้นไม้

ความลึกของดินที่ต้นไม้ต้องการ

ไม้ยืนต้น ความลึกไม่ควรน้อยกว่า 0.80 ม.

ไม้พุ่ม ความลึกไม่ควรน้อยกว่า 0.50 ม.

ไม้คลุมดิน ความลึกไม่ควรน้อยกว่า 0.30 ม.

⁶ เรื่องเดียวกัน หน้า 610-9

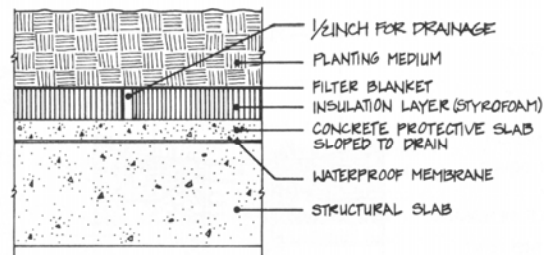


Figure 610-8 Lightweight Drainage Techniques. In small areas where a lightweight drainage medium is needed, slope the protective slab to the roof drain, and cover with 4 ft X 4 ft X 2 in (1.22 m X 1.22 m X 50 mm) Styrofoam sheets. Sheets must be square with 2-in (50 mm) spaces between for adequate drainage. Cover with filter blanket.

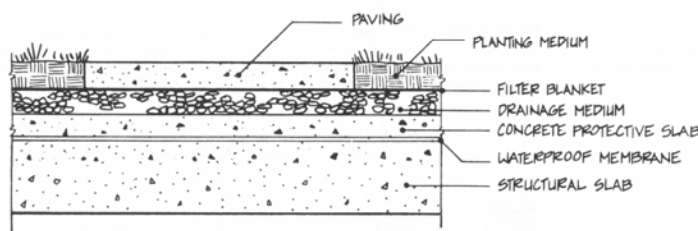


Figure 610-9 Subsurface Drainage under Paving. Paved area is placed directly on surface of the drainage medium to allow a continuous subsurface drainage layer sloped toward the roof drains. Filter blanket prevents wet concrete from penetrating drainage material. Drainpipe under the paving at intervals improves drainage.

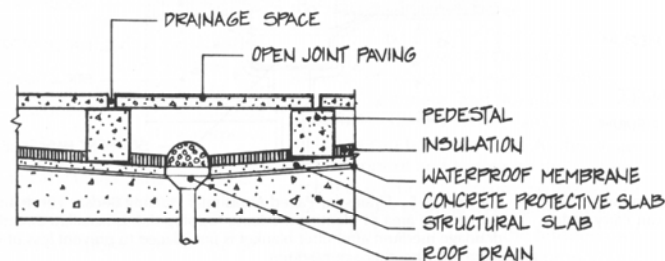


Figure 610-10 Subsurface Drainage for Paving on Pedestals. Pedestal-mounted, removable, open-joint paving provides positive drainage, adjustable heights, and easy access to the roof surface for cleaning or repair. Insulation is fitted between the pedestals.

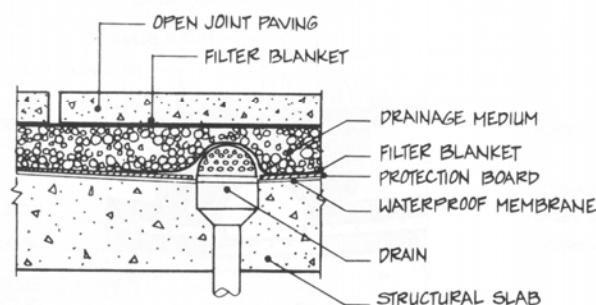


Figure 610-11 Subsurface Drainage under Paving on Grade. In open-joint paving without pedestals, where no insulation is needed, filter blanket is held to the protection board by mastic or hot tar at its outer edges to prevent seepage of silt into the drain, and the gravel drainage layer is compacted with a 400-lb (180-kg) roller.

รูปภาพ : แสดงการระบายน้ำของงานภูมิสถาปัตยกรรมบนโครงสร้าง

⁷ เรื่องเดียวกัน หน้า 610-4

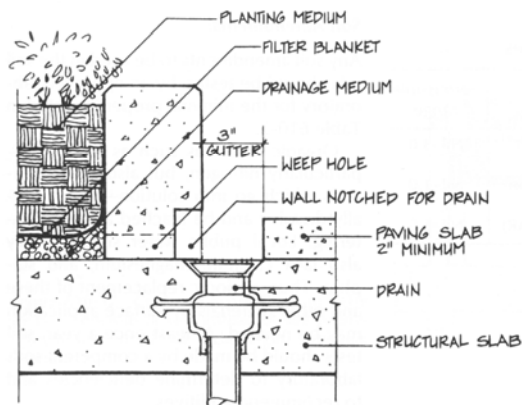


Figure 610-12 Weep Holes and Gutter to Roof Drain. Where a waterproof roof is not necessary, paving slab is poured directly onto the structural slab. Planting medium behind wall is drained through weep holes to an open gutter.

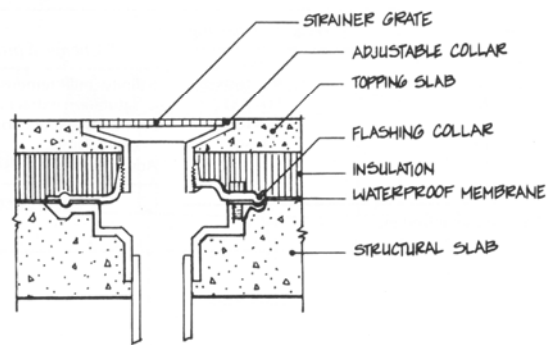


Figure 610-13 Roof Drain through Topping Slab. Basic method used to drain a roof which has a topping slab protecting the waterproof membrane. Insulation is optional. Common when roof plantings are held in pots or tubs only, or when the deck includes no plantings at all.

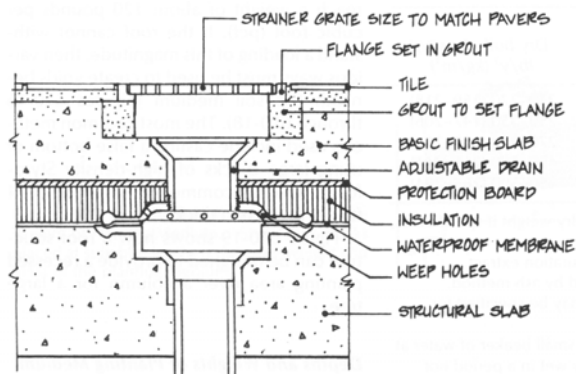


Figure 610-14 Square Surface Drain. A typical round drain is installed with its grating below the top of the basic finish slab, to allow installation of a square grill on a square-patterned surface. The finish slab is formed with an indentation for the grout.

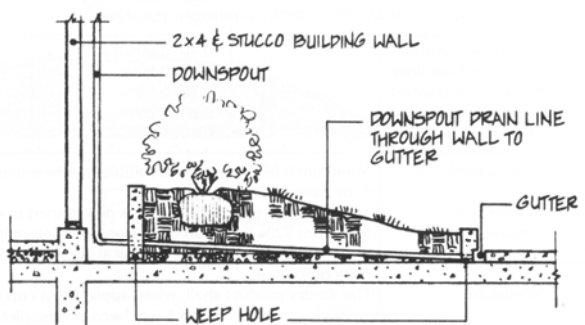


Figure 610-15 Drainage through Raised Planting Bed. Raised planting areas can be separated from a porous building wall to protect it from soil dampness. Allow clearance for repairs. Downspouts are brought through the planting bed to a walkway gutter. The back space is drained by weep holes through the drainage medium to the front gutter and/or by slope to either end of the back space.

8

รูปภาพ : แสดงการระบายน้ำของงานภูมิสถาปัตยกรรมบนโครงสร้าง

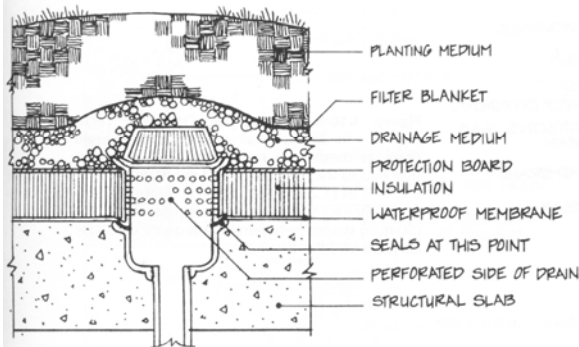


Figure 610-2 Roof Drain under Planting Area. Insulation layer placed directly on waterproof membrane with perforated protection board to prevent damage to insulation. Water reaching the insulation is carried off through the roof drain.

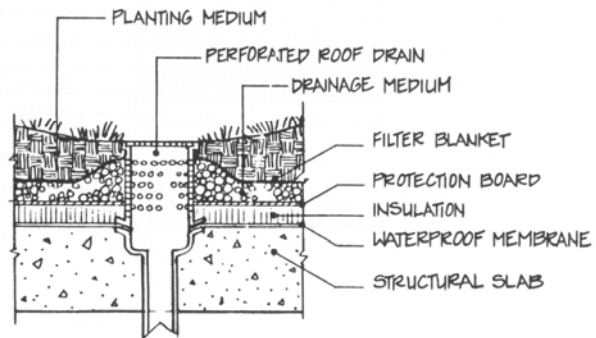


Figure 610-3 Roof Drains for Flat Planted Surfaces. On flat planted surfaces, both surface and subsurface drainage is accomplished with perforated roof drain flush with planting medium. Filter blanket prevents seepage of planting medium into the draining layer.

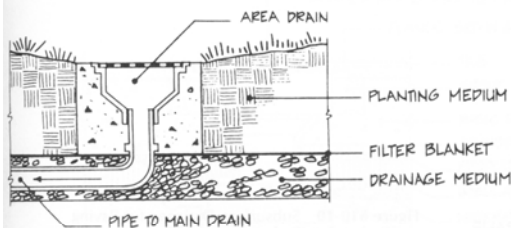


Figure 610-4 Drains for Low Areas. When low places occur on the surface not near a major subsurface drain, a lateral pipe and drain can carry water quickly to the main drain.

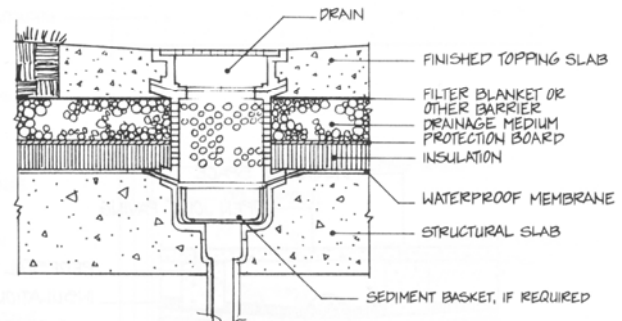


Figure 610-5 Drains for Paved Areas near Planting Beds. For drains in paving near an area of planting medium, topping slab is installed directly on the drainage medium after filter blanket is first placed to prevent loss of wet concrete into the drainage medium.

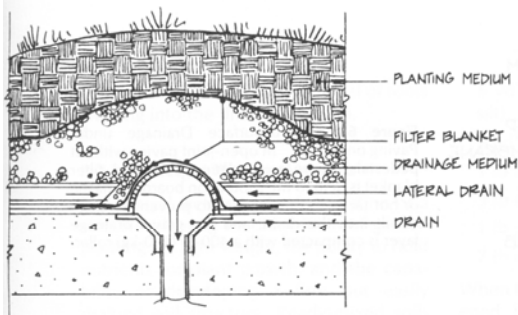


Figure 610-6 Main Roof Drain under Planting. Main roof drain can be located under a thickened section of the drainage medium, which is protected by a filter blanket. A second filter blanket over the drain strainer and the ends of the lateral drain pipes prevents plugging of drain openings by planting medium.

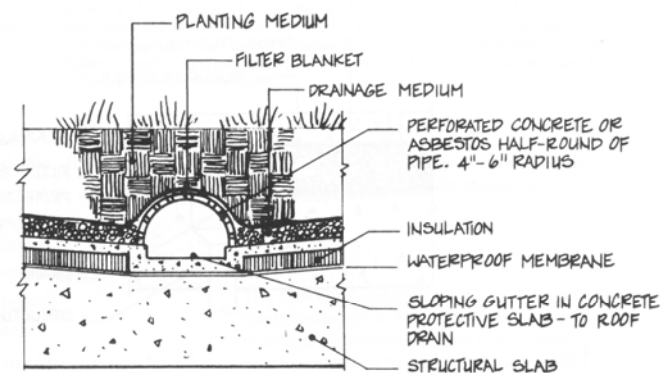


Figure 610-7 Half-Round Drainage Channel under Planting. A sloping drainage channel formed in the concrete protective slab is covered with half-round perforated pipe in 2- to 3-ft (0.6 to 0.9m) lengths and a filter blanket.

รูปภาพ : แสดงเทคนิคการระบายน้ำในลักษณะต่างๆ

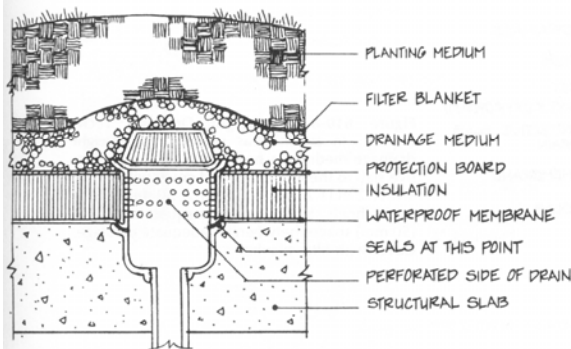


Figure 610-2 Roof Drain under Planting Area. Insulation layer placed directly on waterproof membrane with perforated protection board to prevent damage to insulation. Water reaching the insulation is carried off through the roof drain.

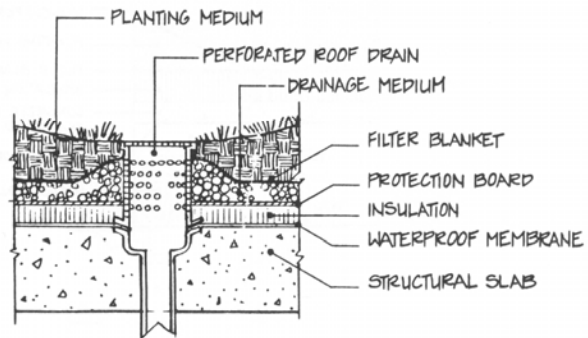


Figure 610-3 Roof Drains for Flat Planted Surfaces. On flat planted surfaces, both surface and subsurface drainage is accomplished with perforated roof drain flush with planting medium. Filter blanket prevents seepage of planting medium into the draining layer.

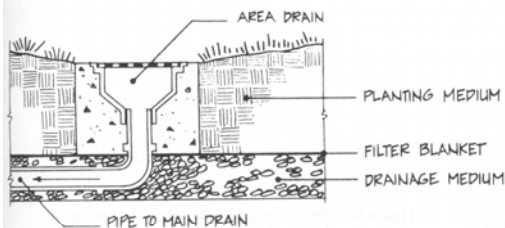


Figure 610-4 Drains for Low Areas. When low places occur on the surface not near a major subsurface drain, a lateral pipe and drain can carry water quickly to the main drain.

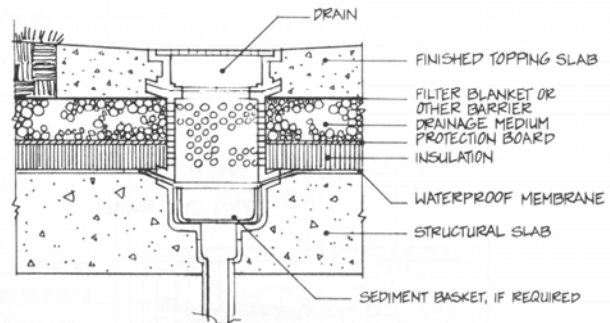


Figure 610-5 Drains for Paved Areas near Planting Beds. For drains in paving near an area of planting medium, topping slab is installed directly on the drainage medium after filter blanket is first placed to prevent loss of wet concrete into the drainage medium.

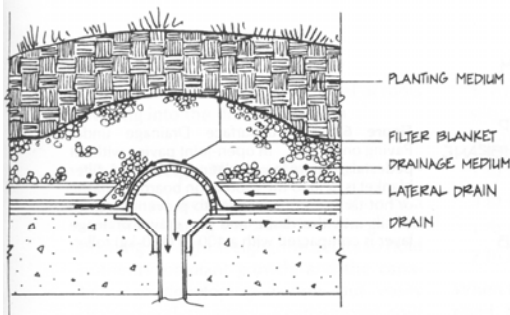


Figure 610-6 Main Roof Drain under Planting. Main roof drain can be located under a thickened section of the drainage medium, which is protected by a filter blanket. A second filter blanket over the drain strainer and the ends of the lateral drain pipes prevents plugging of drain openings by planting medium.

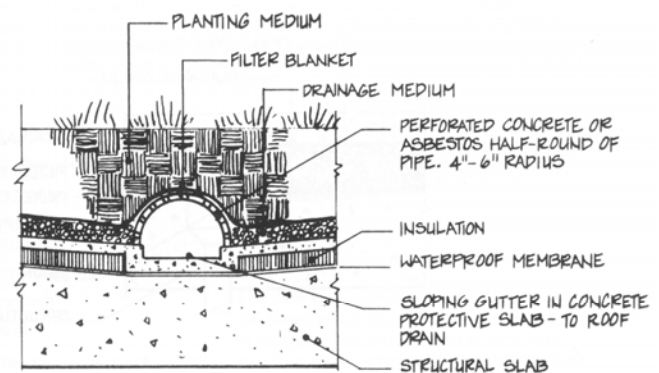


Figure 610-7 Half-Round Drainage Channel under Planting. A sloping drainage channel formed in the concrete protective slab is covered with half-round perforated pipe in 2- to 3-ft (0.6 to 0.9m) lengths and a filter blanket.

รูปภาพ : แสดงเทคนิคการระบายน้ำในลักษณะต่างๆ

1.10 การคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานและผู้พิการ

เนื่องจากปัจจุบันพื้นที่บริเวณเขื่อนป้องกันตลิ่งมักถูกออกแบบให้สามารถใช้งานในกิจกรรมต่าง ๆ ริมน้ำ ซึ่งมีทั้งประชาชนทั่วไป เด็ก และรวมถึงคนพิการต่างๆ ซึ่งเข้ามาใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการออกแบบก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานบุคคลเหล่านี้ด้วย ซึ่งในบริเวณพื้นที่ริมน้ำค่อนข้างเป็นอันตรายต่อบุคคลเหล่านี้ ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงหัวข้อดังนี้

1.10.1 ลักษณะการใช้งาน

- (1) กำหนดพื้นที่ที่สามารถเข้าใช้งานสำหรับคนพิการ (ไม่จำเป็นต้องใช้ได้ทุกพื้นที่เช่นเดียวกับคนทั่วไป)
- (2) จัดพื้นที่พิเศษสำหรับการใช้งาน และสิ่งอำนวยความสะดวกรองรับ
- (3) เมื่อมีการเปลี่ยนระดับโดยการใช้ลักษณะบันได (step) ร่วมกับการใช้ลักษณะทางลาด (ramp) เข้ามาเกี่ยวข้องในการออกแบบ
- (4) ใช้ข้อกำหนดการออกแบบต่างๆตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

1.10.2 รายละเอียดสำหรับคนพิการ

- (1) พื้นที่มีระดับต่างกันเกิน 20 มม. ให้มีทางลาดหรือลิฟท์
- (2) ถ้าต่างระดับไม่เกิน 20 มม. ต้องปรับมุม 45 องศา
- (3) พื้นที่นั่งทางลาดต้องเป็นวัสดุที่ไม่ลื่น จุดต่อเนื้อต้องเรียบไม่สะดุด
- (4) ความกว้างทางลาดไม่น้อยกว่า 900 มม. ความลาดชันทางลาดไม่เกิน $1 = 12$
- (5) กรณีความยาวทางลาดรวม เกิน 6.00 ม. ต้องมีความกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 1.50 ม. และต้องมีชานพัก
- (6) ทางลาดด้านที่ไม่มีหน้าให้ยกของสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 50 ซม. และมีราวกันตก
- (7) ทางลาดยาว 2.50 ม. ขึ้นไปต้องมีราวจับทั้งสองด้านลักษณะดังนี้
 - เป็นวัสดุผิวเรียบ, แข็งแรง, ไม่เป็นอันตราย, ไม่ลื่น
 - มีลักษณะกลม Ø 30 มม. - 40 มม.
 - สูงจากพื้น 800 มม. - 900 มม.
 - ราวจับด้านที่กันหน้า ตัดทำจากหน้าไม่น้อยกว่า 50 มม. สูงจากจุดยึดไม่น้อยกว่า 120 มม. และหน้าราวจับต้องเป็นหน้าเรียบ
 - ราวจับต้องยาวต่อเนื่องและจุดยึดต้องไม่เป็นอุปสรรคและกีดขวางการใช้งานของคนพิการทางการมองเห็น
 - ปลายราวจับต้องยื่นและจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของทางลาดไม่น้อยกว่า 300 มม.
 - มีป้ายแสดงทิศทาง ตำแหน่งหมายเลขชั้นของอาคารที่คนพิการมองเห็นและคนชราสามารถทราบความหมายได้ตั้งอยู่บริเวณทางขึ้นและทางลงของทางลาดที่เชื่อมระหว่างชั้น
 - ให้มีสัญลักษณ์รูปคนพิการไว้ในบริเวณทางลาดที่จัดไว้ให้แก่ผู้พิการและคนชรา¹¹

1.10.3 การป้องกันอันตรายและความปลอดภัยในการใช้งาน

- (1) การทำแนวกัน (rail guard)
- (2) การกำหนดระยะปลอดภัย (clearance)
- (3) การสร้างแนวป้องกันต่างๆ (buffer)

¹¹ การอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ "การออกแบบสำหรับคนพิการ" / กรมโยธาธิการและผังเมือง 2549

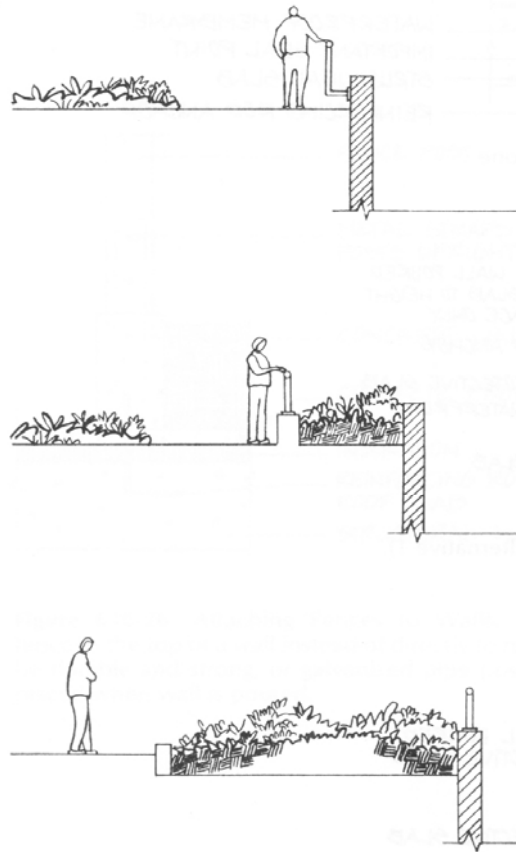


Figure 610-35 Techniques for creating safety barriers.

12

รูปภาพ : แสดงการออกแบบราวกันตกในลักษณะต่างๆ

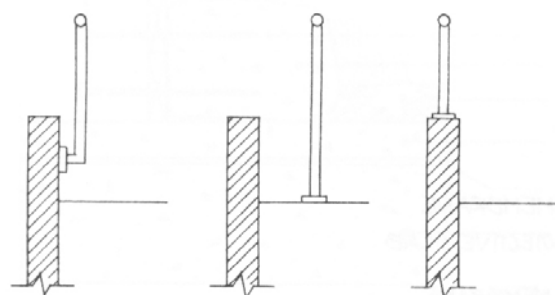


Figure 610-36 Techniques for attaching railings.

13

รูปภาพ : แสดงการออกแบบราวกันตก

¹² time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

¹³ เรือเดียวกัน

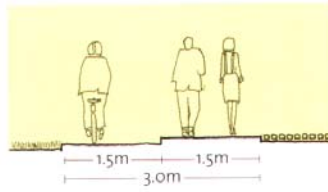
1.11 บทสรุปทางภูมิสถาปัตยกรรมของการป้องกันพื้นที่ริมน้ำ

จะเห็นได้ว่าการให้ความสำคัญต่อพื้นที่ริมน้ำที่เป็นสาธารณะนั้นนอกจากจะให้ประโยชน์คุ้มค่าต่อการใช้งานแล้ว ยังเป็นการเพิ่มคุณค่าของพื้นที่ในแง่สุนทรียภาพที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นสาธารณะอันประชาชนใช้ประโยชน์ร่วมกัน

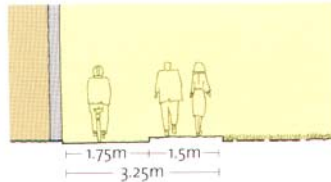
1.12 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

1.12.1 ระบุบุคคล

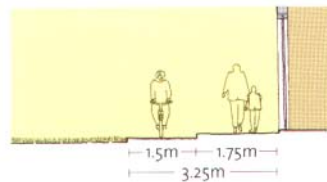
1.12.2 ระยะเดินและความกว้างทางเท้า



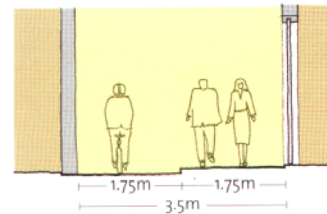
Kerb segregated facility open on both sides



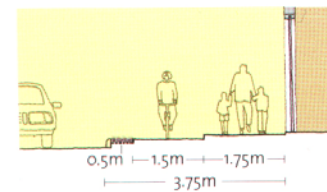
Kerb segregated facility bounded on cycle track side



Kerb segregated facility bounded on footpath side



Kerb segregated facility bounded on both sides



Kerb segregated facility bounded on footpath side with verge between cycle track and adjacent carriageway

Minimum dimensions for shared cyclist / pedestrian routes, segregated by a change in level

14

รูปภาพ : แสดงระยะต่างๆในการออกแบบทางเดิน

1.12.3 ทางจักรยาน

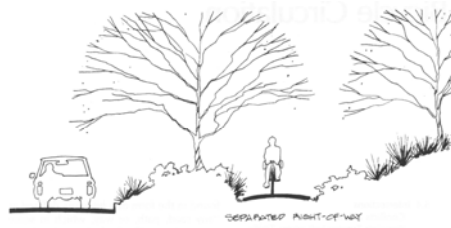


Figure 341-1 Bicycle path (Class I).

15

รูปที่ : แสดงลักษณะทางจักรยาน แบบแยก



Figure 341-2 Bicycle lane (Class II).

16

รูปภาพ : แสดงลักษณะทางจักรยาน แบบร่วมกับถนน

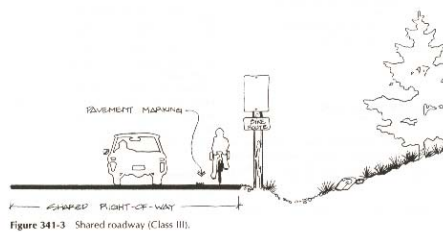


Figure 341-3 Shared roadway (Class III).

17

รูปภาพ : แสดงลักษณะทางจักรยาน แบบร่วมกับถนน

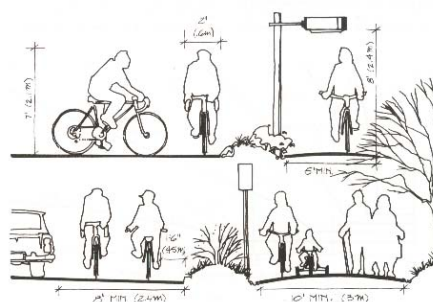


Figure 341-5 Widths of bikeways.

18

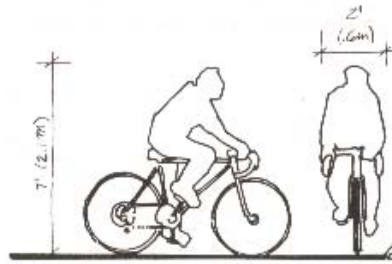
รูปภาพ : แสดงความกว้างของทางจักรยานที่สัมพันธ์กับระยะต่างๆ

15 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

16 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

17 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

18 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines



19

รูปภาพ : แสดงระยะต่างๆของจักรยาน

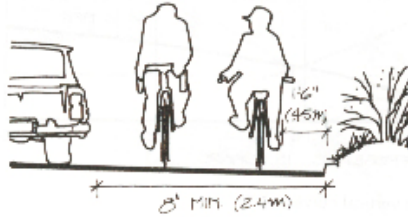
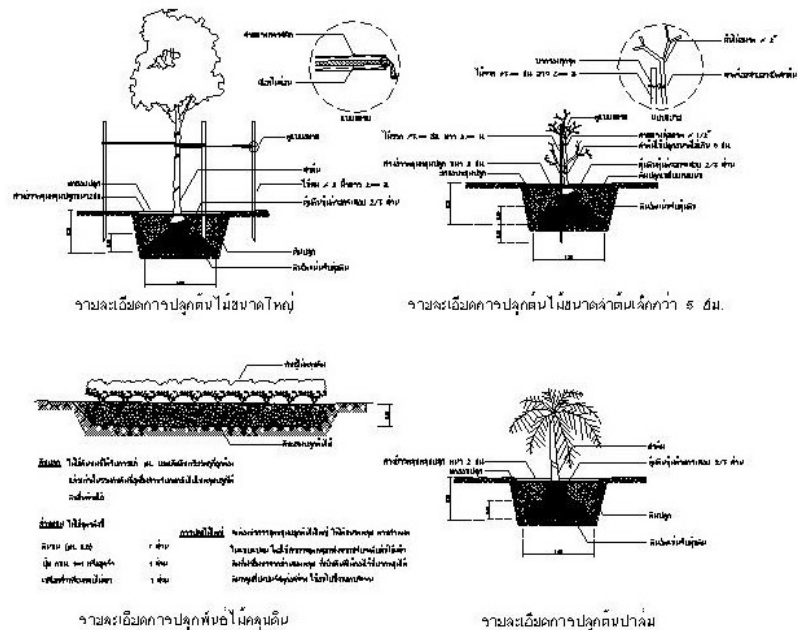


Figure 341-5 Widths of bikeways.

20

รูปภาพ : แสดงระยะความกว้างของทางจักรยาน

1.12.4 การปลูกลงต้นไม้



21

รูปภาพ : แสดงมาตรฐานการปลูกลงต้นไม้

19 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

20 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

21 แบบมาตรฐานหลุมปลูกลงต้นไม้ ของ กรมโยธาธิการและผังเมือง

1.12.5 การให้แสงสว่าง

(1) ลักษณะการให้แสงสว่าง

below (Figures 540-19 through 540-25).

Uplighting:

Uplighting for Directional Viewing: When a lighted object can be seen from one di-

well-shielded fixtures using spot lamps (Figure 540-23). By mounting lights overhead in trees or nearby structures, glare and fixture distraction can be eliminated. If ground-mounted fixtures are used, they should be concealed with shrubbery.

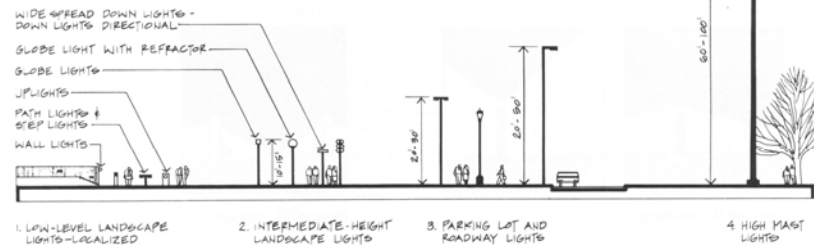


Figure 540-18 Categories of light fixtures.

22

รูปภาพ : แสดงลักษณะการให้แสงสว่าง

(2) รูปแบบการให้แสงและลักษณะบรรยากาศที่เกิดขึ้น



Figure 540-19 Uplighting (directional viewing).

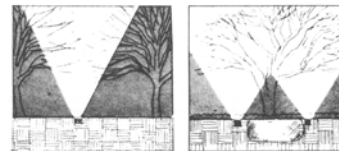


Figure 540-20 Uplighting (all-around viewing).

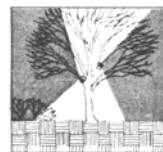


Figure 540-21 Moonlighting.



Figure 540-22 Silhouette lighting.



Figure 540-23 Spot lighting.



Figure 540-24 Spread lighting.

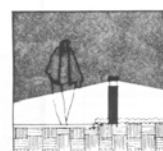


Figure 540-25 Path lighting.

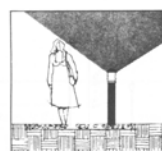


Figure 540-26 Wall lights.

23

รูปภาพ : แสดงรูปแบบการให้แสงและลักษณะบรรยากาศ

22 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

23 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines

610-11

Roof and Dec

Figure 610-22 Anchoring Light Standards to Protective Slabs. The base flange of low-level (30- to 48-in) (760- to 1220-mm) light standards can be anchored to the concrete protective slab by bolts either screwed into expansion shields set in drilled holes or fired into the slab by explosive cartridges.

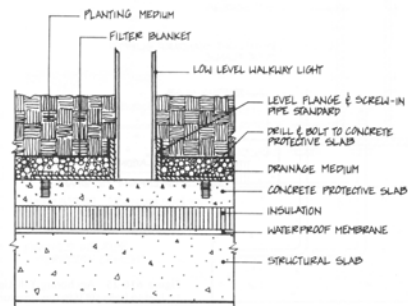


Figure 610-23 Use of Deadmen as Anchors. Deadman footings can anchor light standards.

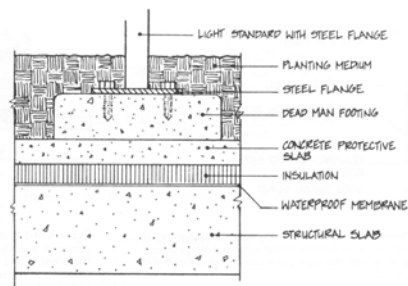
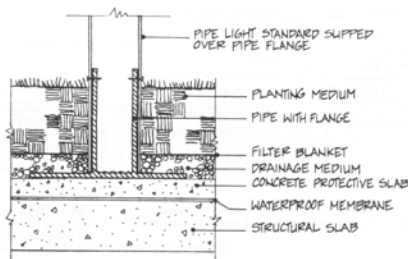


Figure 610-24 Anchoring Low-Level Light Standards. A low-level light standard held in place by the weight of soil on the flange; best-suited for areas where vandalism is negligible.



24

รูปภาพ : แสดงการติดตั้งเสาไฟในพื้นที่ปลูกต้นไม้ (softscape)

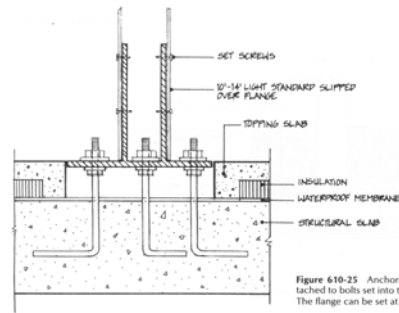


Figure 610-25 Anchoring Tall Light Standards. Tall, wind-resistant light standard attached to bolts set into the structural slab when poured. Bolts are sealed against leakage. The flange can be set at any desired grade. Also useful for shelters, benches, fences, etc.

25

รูปภาพ : แสดงการติดตั้งเสาไฟบนพื้น

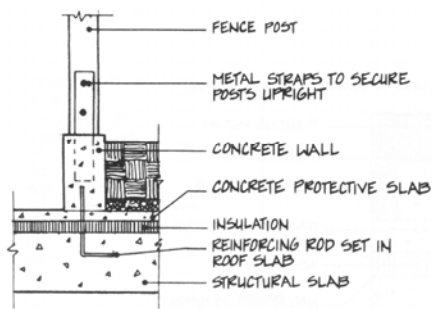


Figure 610-26 Attaching Fences to Walls. Preferred attachment of fence to the top of a wall instead of directly to roof surface. Fittings should be durable and strong, or galvanized pipe posts can be substituted and placed when wall is poured.

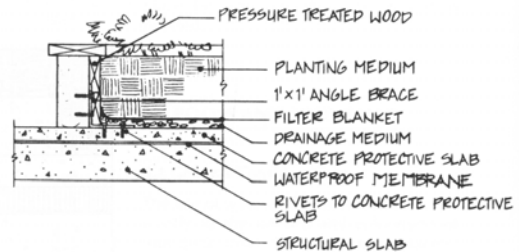


Figure 610-27 Attaching Wood to Concrete Decks. Wood posts and planks of a garden, flower bed, or sandbox attached to concrete deck. Walls not over 2 ft (0.6 m) in height are braced with 1 ft x 1 ft x 1/4 in (300 mm x 300 mm x 6.5 mm) galvanized angle braces. Small four-sided beds need only corner braces. Soil or rivets hold bed in place.

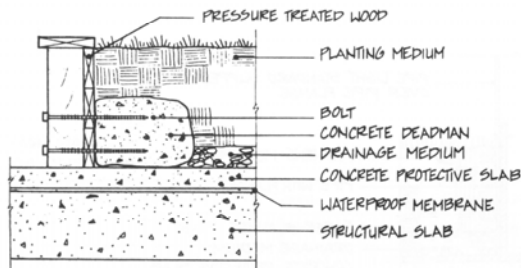


Figure 610-28 Use of Deadmen to Anchor Wood Structures. Alternative method for anchoring wood posts and plants to concrete deadmen.

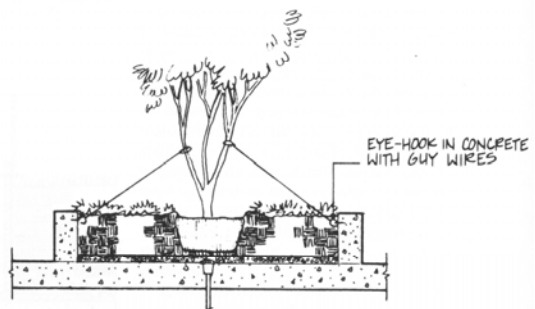


Figure 610-29 Anchoring Large Plants and Trees. Method for securing guy wires to concrete beds. Galvanized eye-hook bolts are placed when the walls are constructed. Eye bolts can also be attached to masonry building surfaces. Waterproofing is necessary at attachment points.

610-12

26

รูปภาพ : แสดงเทคนิคการก่อสร้างและการติดตั้ง

25 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines หน้า 610-12

26 time-saver standard for landscape architecture , Harris & Dines หน้า 610-12

บทที่ 4 ความรู้พื้นฐานทางด้านปฐพี กลศาสตร์

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 น้ำใต้ดิน	4-1
1.2 คุณสมบัติของดิน	4-2
1.3 คุณสมบัติขั้นพื้นฐาน	4-3
1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบ (Phase Relationships)	
1.3.2 Atterberg Limit	
1.3.3 คุณสมบัติทางด้านการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)	
1.3.4 สภาพความแน่นของเม็ดดินหายาบ	
1.4 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม	4-5
1.4.1 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (Principle of Effective stress)	
1.4.2 ด้านกำลังรับน้ำหนักของดิน (Strength of soil)	
1.4.3 คุณสมบัติทางด้านการเคลื่อนตัวของดิน (compressibility)	
1.4.4 สมบัติทางด้านการซึมของน้ำในดิน (Permeability)	
1.5 แรงดินด้านข้าง	4-7
1.6 เสถียรภาพความลาด	4-11
1.6.1 ชนิดของการพังทลาย	
1.6.2 การคำนวณหาเสถียรภาพความลาด	
เอกสารอ้างอิง	4-21

บทที่ 4 : ความรู้พื้นฐานทางด้านปฐพีกลศาสตร์

นายวิจิตร ชัยชนะศิริวิทยา
วิศวกรรมวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ)
และนายกิจวัช ตั้งบุญธินา
วิศวกรรมวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดสระบุรี

ปฐพีกลศาสตร์เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการเกิดหน่วยแรง(Stress)การรับน้ำหนัก(Strength) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(Deformation)ของมวลดินภายใต้น้ำหนักกระทำในรูปแบบและสภาวะต่างๆโดยพิจารณาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน เช่นขนาด การจัดเรียงตัวของเม็ดดิน และชนิดของดินว่าเป็นดินเหนียวหรือดินทราย เป็นต้น โดยมีปัจจัยสำคัญในมวลดินที่เป็นตัวแปรสำคัญต่อคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน คือ น้ำ ในรูปของปริมาณความชื้น การไหลของน้ำและแรงดันน้ำ

1.1 น้ำในดิน

น้ำอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินได้ใน 5 รูปแบบ ดังนี้

- (1) Ground Water : น้ำที่มาจากบาดาล
- (2) Capillary Moisture : น้ำที่ค้างในดิน เนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำ
- (3) Water Vapor : น้ำที่ปนอยู่ในอากาศในสภาพไอน้ำ
- (4) Absorbed Water :
- (5) Water of Hydration :

รูปแบบของน้ำตามข้อ 4 และ 5 มีเฉพาะในดินที่มีธาตุดินเหนียว เป็นน้ำที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางฟิสิกส์และเคมี

ปริมาณความชื้นที่ใช้ในภาคปฏิบัติ จะหมายถึงรูปแบบของน้ำตามข้อ 1-3 ดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำบาดาล จะอึดตัวด้วยน้ำ น้ำในโพรงดินจะต่อเนื่องกันและสามารถเคลื่อนตัวได้ด้วยผลการเปลี่ยนแปลงของพลังงานน้ำ แรง Capillary จะดึงน้ำขึ้นมาในดินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล อาจทำให้ดินส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลอึดตัวด้วยน้ำ หรือไม่อึดตัวด้วยน้ำ น้ำในส่วนนี้จะไม่มีการเคลื่อนตัวได้ การอึดตัวด้วยน้ำของดินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล มักจะเกิดในดินเม็ดละเอียดเพราะมีแรงดัน Capillary สูง เนื่องจากขนาดของเม็ดดินเล็กมาก และความดันของน้ำในโพรงจะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

ความดันน้ำในโพรงดินที่ต่ำกว่าบรรยากาศแล้วทำให้มีการดูดน้ำขึ้นมาด้วยแรง Capillary นี้คำนวณได้จาก

$$U = -\gamma_w hc$$

U คือ ความดันน้ำในโพรง

γ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ

hc คือ ระยะความสูงของน้ำวัดจากระดับน้ำบาดาล hc ของดินเหนียวอาจมีค่าสูงสุดเกิน 10 ม. hc ของทรายแป้งประมาณ 3 ม. และ hc ของทรายประมาณ 1 ม

1.2 คุณสมบัติของดิน

แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ คุณสมบัติชั้นพื้นฐาน และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ดังนี้

คุณสมบัติชั้นพื้นฐาน (Basic Soil Properties) ประกอบด้วย

- (1) ปริมาณความชื้น (Water Content)
- (2) อัตราส่วนโพรง (Void Ratio)
- (3) ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)
- (4) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
- (5) ขนาดและลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)
- (6) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)
- (7) พิกัด Atterberg (Atterberg Limits)

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม (Engineering Properties) ประกอบด้วย

- (1) ด้านกำลังรับน้ำหนัก
- (2) ด้านกำลังรับแรงเฉือน
- (3) ด้านความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านดิน
- (4) ด้านการเคลื่อนตัวของดิน

ข้อควรระวัง

สมบัติทางด้านวิศวกรรมดังกล่าวข้างต้น สามารถใช้วิธีการตรวจสอบได้หลายวิธี และให้ผลการทดสอบที่ไม่เท่ากัน ผู้ที่จะเอาสมบัติเหล่านี้ไปใช้ จะต้องเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงขีดจำกัดของผลการทดสอบและวิธีการทดสอบที่ใช้

1.3 คุณสมบัติชั้นพื้นฐาน

คุณสมบัติชั้นพื้นฐาน(Basic Soil Properties) หรือ เรียกว่า Index Property เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่บอกถึงลักษณะและชนิดของดิน และบ่งชี้ถึงปัญหาด้านวิศวกรรมที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบ (Phase Relationships)

ดิน ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดดิน (Solid Phase) และส่วนที่เป็นโพรง จะมีส่วนที่เป็นน้ำและอากาศประกอบกันอยู่ สัดส่วนของส่วนประกอบที่พิจารณาว่าเป็นสมบัติพื้นฐานของดินมีดังต่อไปนี้

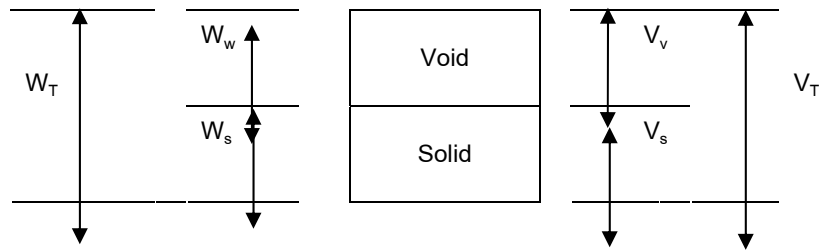
$$W \text{ (ปริมาณความชื้น)} = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (1.3-1)$$

$$e \text{ (อัตราส่วนช่องว่าง)} = \frac{v_v}{v_s} \quad \text{อาจมากกว่า 1.0 ได้} \quad \dots\dots\dots (1.3-2)$$

$$S \text{ (ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ)} = \frac{v_w}{v_v} \times 100 \leq 100 \% \quad \dots\dots\dots (1.3-3)$$

$$G_s \text{ (ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน)} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad \dots\dots\dots (1.3-4)$$

$$\gamma_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำ}$$



รูปที่ 1 : แสดงส่วนประกอบของดินที่ใช้ในการคำนวณ

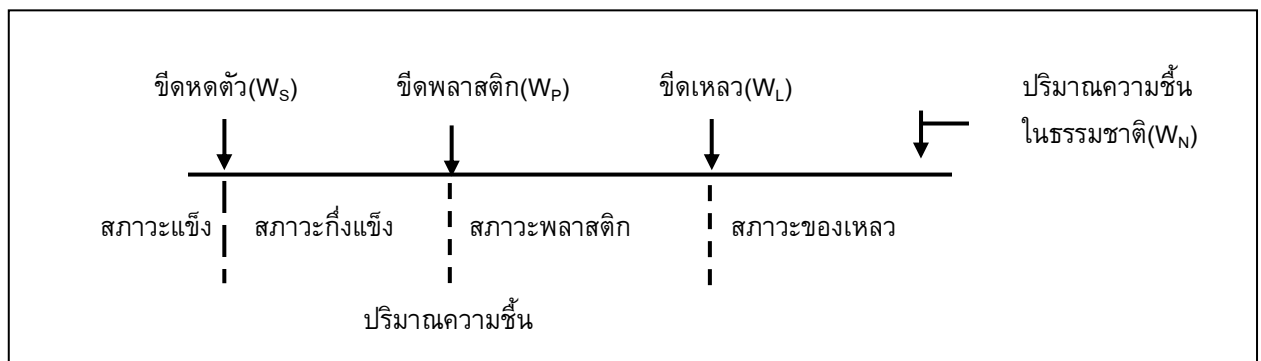
ในห้องปฏิบัติการ จะทำการทดสอบหาค่าสมบัติพื้นฐานของดินดังนี้

- (1) การหาปริมาณความชื้น
- (2) การหาความหนาแน่นรวม
- (3) การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ด

Void Ratio and Bulk Density ของดินจะแสดงสมบัติของดินได้ ดินที่มี Void Ratio เกิน 1 และมีค่า Bulk Density ต่ำ (น้อยกว่า 1.5 ตัน/ม³) มักจะเป็นดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่และมีการทรุดตัวสูง

1.3.2 Atterberg Limit

วิธีการที่จะกำหนดสถานะการมีลักษณะคล้ายของแข็งหรือของเหลวของ ดินเม็ดละเอียด อาศัยค่า ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน และมีขีดจำกัดแบ่งบอกสถานะของดิน ได้แก่



รูปที่ 2 : พิกัด Atterberg (Atterberg Limits)

(1) ค่าขีดเหลว (Liquid Limit)

- เป็นค่าพิกัดความชื้นของดิน ระหว่างสภาพพลาสติกกับสภาพของเหลว
- เป็นค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดใน “สภาวะของเหลว” ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ดินเมื่อถูกรบกวน (Disturbed) มีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 0.25 ตัน/ม²

(2) ขีดพลาสติก (Plastic Limit)

- เป็นค่าพิกัดความชื้นของดิน ระหว่างสภาวะกึ่งแข็งกับกึ่งพลาสติก
- เป็นค่าปริมาณความชื้นต่ำสุด ซึ่งดินสามารถเปลี่ยนรูปร่างโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ปริมาตรและไม่เกิดรอยแยกขึ้นในดิน ตลอดจนดินนั้นยังคงรักษารูปร่างตามสภาพที่ได้เปลี่ยนรูปไปแล้ว

(3) ชีดหดตัว (Shrinkage Limit)

- เป็นค่าพิกิตความชื้นของดิน ระหว่างสภาวะแข็งกับสภาวะกึ่งแข็ง
- เป็นค่าปริมาณความชื้นต่ำสุด ณ จุดซึ่งดินมีปริมาตรคงที่ และไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แปลงปริมาตรแม้จะถูกอบให้ดินมีความชื้นลดลงไปอีกและหากความชื้นของดินเพิ่มขึ้นจากขีดหดตัวปริมาตรของดินจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

(4) Plasticity Index

- เป็นค่าผลต่างของ Liquid Limit กับ Plastic Limit
- เป็นช่วงของปริมาณความชื้นที่ดินมีสภาพพลาสติก คือเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เกิดรอยแยกแตกร้าว
- ดินที่มี Plasticity Index สูง แสดงว่าเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวและธาตุดินเหนียวอยู่มาก จะมีการทรุดตัวค่อนข้างสูงและเป็นการทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา

(5) Liquidity Index

$$L.I. = \frac{\text{Water Content} - \text{Plastic Limit}}{\text{Plasticity Index}}$$

- L.I. - เป็นค่าที่แสดงให้รู้ว่า ดินมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับขีดเหลวเท่าใด และมีความสัมพันธ์กับ Sensitivity ของดิน

ค่า Plasticity Index and Liquidity Index ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้ประโยชน์ในการจำแนกดิน การแบ่งลักษณะของดิน และ เป็นดัชนีที่สำคัญใช้บอกสมบัติทางด้านแรงเฉือนและทางด้านการทรุดตัวของดิน

1.3.3 คุณสมบัติทางด้านการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)

Grain Size Distribution ใช้ในการจำแนกดินเม็ดหยาบ (ขนาดตั้งแต่ 0.074 มม.ขึ้นไป) ซึ่งเป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil)

- (1) การทดสอบหา Grain Size Distribution ของเม็ดดิน มี 2 วิธี ขึ้นอยู่กับขนาดของดิน ดังนี้
 - ดินเม็ดหยาบ ขนาดตั้งแต่ 0.074 มม. ขึ้นไป (No. 200 Sieve) ทดสอบโดยการทำ Sieve Analysis
 - ดินเม็ดละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 0.074 มม.) ทดสอบโดยไฮโดรมิเตอร์
- (2) ผลจากการหาการกระจาย ขนาดของเม็ดดิน จะให้ข้อมูลดังนี้
 - ปริมาณของชนิดของดิน
 - ลักษณะการกระจายของเม็ดดิน
 - ขนาดของเม็ดดินที่ใหญ่ที่สุด

1.3.4 สภาวะความแน่นของเม็ดดินหยาบ

แสดงออกโดยค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) ใช้หาสมบัติของเม็ดหยาบและดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil)

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$

ปัญหาการหาค่า D_r ในทางปฏิบัติทำได้ยาก เนื่องจากการหาค่า e ของดินในสภาพเดิม (คือ สภาพธรรมชาติ) กระทำได้ยาก ในการหาค่า D_r ของดินประเภทนี้ จึงใช้ทางอ้อม คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical Effective Stress กับ Standard Penetration Resistance และ ค่า D_r กราฟที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กราฟของ Gibbs and Holtz (1957)

1.4 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม (Engineering Properties)

1.4.1 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล(Principle of Effective Stress)

หน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Stress) คือหน่วยแรงที่ส่งถ่ายกันโดยตรงระหว่างอนุภาคเม็ดดิน ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล(σ') วัดไม่ได้ แต่คำนวณได้จากหน่วยแรงรวม (Total Stress, σ) กับแรงดันน้ำ(Pore Water Pressure, U) ที่เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\sigma = \sigma' + U \quad \dots\dots\dots (1.4-1)$$

ถ้าเป็นหน่วยแรงในแนวตั้งสมการที่ (1) เขียนได้เป็น

$$\sigma_v = \sigma'_v + U \quad \dots\dots\dots (1.4-2)$$

โดยที่ $\sigma_v = \gamma Z + q$

γ = หน่วยน้ำหนักรวมของดิน(Total Unit weight of Soil)

Z = ความลึกของจุดที่พิจารณาจากระดับผิวดิน

q = น้ำหนักแผ่กระจายภายนอกที่กระทำที่ผิวดิน(Surcharge)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผลเสนอโดย Bishop (1959) มีอยู่ 2 ข้อดังนี้

(1) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างของมวลดิน ขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผล(ผลต่างของหน่วยแรงรวมกับความดันน้ำ)

(2) กำลังรับแรงเฉือนของดิน(τ_f) ขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผล(σ'_n) ไม่ใช่หน่วยแรงรวมที่กระทำตั้งฉากกับระนาบที่พิจารณา สามารถเขียนเป็นสมการของ Coulomb ได้เป็น

$$\tau_f = C' + \sigma'_n \tan \phi' \quad \dots\dots\dots (1.4-3)$$

โดยที่ C' เป็นค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏ(Apparent Cohesion) และ ϕ' เป็นมุมต้านทานแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล จากสมการที่ (1.4-1) และ (1.4-3) สรุปได้ว่า

- ที่หน่วยแรงรวม(σ)คงที่ ถ้าค่าแรงดันน้ำ (U) ลดลง จะทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (σ') เพิ่มขึ้นตามสมการที่ (1.9.6-1) และกำลังรับแรงเฉือน (τ_f) เพิ่มขึ้นตามสมการที่ (1.4-3)

- ที่หน่วยแรงรวม(σ)คงที่ ถ้าค่าแรงดันน้ำ (U) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (σ') ลดลงตามสมการที่ (1.9.6-1) และกำลังรับแรงเฉือน(τ_f) ลดลง ตามสมการที่ (1.4-3)

1.4.2 ด้านกำลังรับน้ำหนักของดิน (Strength of Soil)

(1) กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength)

การวิบัติของดินในสภาพต่าง ๆ เช่น การรับน้ำหนักของฐานราก การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และการเลื่อนไถลของลาดตลิ่ง กลไกของสาเหตุการวิบัติที่เกิดขึ้นเนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดินไม่สามารถรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้

กำลังรับแรงเฉือนของดินเป็นไปตามทฤษฎีวิบัติของ Mohr-Coulomb มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง กับหน่วยแรงในแนวตั้งฉากกับระนาบที่วิบัติ ดังนี้

$$\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi \quad \dots\dots\dots (1.4-4)$$

เมื่อ τ_f = กำลังรับแรงเฉือนของดิน

C = ค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏ

σ_n = หน่วยแรงในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบที่วิบัติ

ϕ = เป็นมุมต้านทานแรงเฉือน

สมการที่ (1.4-4) ตามหลักการของหน่วยแรงประสิทธิผลแล้วสามารถเขียนอยู่ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผลได้ตามสมการที่ (1.4-3)

(2) กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว

ในกรณีที่มีน้ำหนักรรทุก ($\Delta\sigma$) มากระทำ (Loading) ทันทีต่อดินเหนียว (NC-Clay)

เนื่องจากดินเหนียวมีขนาดเล็กมากทำให้แรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure, Δu) ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ ($\Delta\sigma$) ระบายออกไปได้ช้า ค่า Δu ที่เกิดขึ้นจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลา ทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วย ดังนั้น ณ เวลาที่มีน้ำหนักมากระทำทันทีหน่วยแรงประสิทธิผลในดินเหนียวจึงมีค่าต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาตามหลักการของหน่วยแรงประสิทธิผลในสมการที่ (1.4-3) แล้ว ค่ากำลังรับแรงเฉือน ณ เวลาที่มีน้ำหนักมากระทำทันทีจึงมีค่าต่ำที่สุดด้วย จึงนิยมทดสอบหาลำกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวในสภาวะที่มีน้ำหนักรรทุกทันที (Short term) โดยไม่มีการระบายน้ำ (Undrained) มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมักเรียกกันว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, C_u) การทดสอบแบบไม่ระบายน้ำนี้ทันทีที่น้ำหนักมากระทำ จนวิบัติค่าหน่วยแรงประสิทธิผลไม่เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่มากกระทำเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำมีค่าคงที่ ค่ามุมต้านแรงเฉือนที่ได้เทียบกับหน่วยแรงรวม (Total Stress) ที่เป็นน้ำหนักที่มากกระทำจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ($\phi_u = 0$) การวิเคราะห์สำหรับดินเหนียวในกรณีที่มีน้ำหนักรรทุก (Loading) ทันที เช่น รานรากหรือดินถม จึงมักทำในรูปของหน่วยแรงรวมที่ $\phi_u = 0$ ตามสมการที่ (1.4-4) จะได้ $\tau_f = C_u$ คงที่ที่หน่วยแรงรวมใดๆ และปรากฏการณ์นี้จะกลับกันถ้าเป็นกรณีเอาน้ำหนักออกจากดิน (Unloading) เช่น งานดินขุด และงานดินถมใน OC Clay ที่หน่วยแรงประสิทธิผลในดินลดลงตามเวลา ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงตามเวลาด้วย ดินจึงเกิดการวิบัติในระยะยาว (Long Term) จึงต้องวิเคราะห์ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ซึ่งต้องประเมินแรงดันน้ำขณะที่เกิดการวิบัติ (U_f)

(3) กำลังรับแรงเฉือนของทราย

ทรายมีขนาดอนุภาคใหญ่ มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากทำให้การระบายน้ำดี ในกรณีที่มีน้ำหนักรรทุกต่อมวลดิน หรือน้ำหนักออกจากมวลดิน แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นสามารถระบายออกได้ทันที เนื่องจากค่าความเชื่อมแน่นของทรายไม่มี ($C'=0$) กำลังรับแรงเฉือนในรูปแบบของหน่วยแรงประสิทธิผลตามสมการที่ (1.4-3) เป็นดังนี้

$$\tau_f = \sigma'_n \tan \phi' \quad \dots\dots\dots (1.4-5)$$

1.4.3 คุณสมบัติทางด้านการเคลื่อนตัวของดิน (Compressibility)

Compressibility ของดินตามประเภทของดินเม็ดหยาบและเม็ดละเอียด สามารถอธิบาย ดังนี้

(1) กรณีเม็ดดินละเอียด

ขบวนการเคลื่อนตัวของดินจะเกี่ยวข้องกับสภาพการไหลของน้ำในโพรง เมื่อมีแรงกระทำต่อดินความดันน้ำในโพรงจะเปลี่ยนไป การระบายน้ำในโพรงออกไปต้องใช้เวลาเนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีความสามารถในการ

การระบายน้ำต่ำ ขณะน้ำในโพรงมีการไหลออกไป ส่วนของเม็ดดินก็จะค่อย ๆ ถูกอัดตัวเข้าหากันทำให้ช่องว่างในโพรงลดลงและ เม็ดดินจะรับแรงโดยตรงมากขึ้น เรียกขบวนการนี้ว่า Consolidation เมื่อขบวนการอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นแล้ว แรงที่กระทำ จะทำให้เม็ดดินมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ โดยความดันน้ำในโพรงกลับมาอยู่ในสภาพสมดุล ผลการจัดเรียงเม็ดดิน ทำให้ปริมาตรของดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง เรียกการเคลื่อนตัวลักษณะนี้ว่า การอัดตัวครั้งที่ 2 (Secondary Compression)

(2) ในดินเม็ดหยาบ

เมื่อมีแรงมากระทำ ดินจะเกิดการเคลื่อนตัวทันที (Immediate Settlement) เม็ดดินจะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่โดยเม็ดดินไม่ถูกอัดตัว ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลงและน้ำในโพรงมีการระบายออกไป ปริมาตรของดินมีการเปลี่ยนแปลงไป

1.4.4 สมบัติทางด้านการซึมของน้ำในดิน (Permeability)

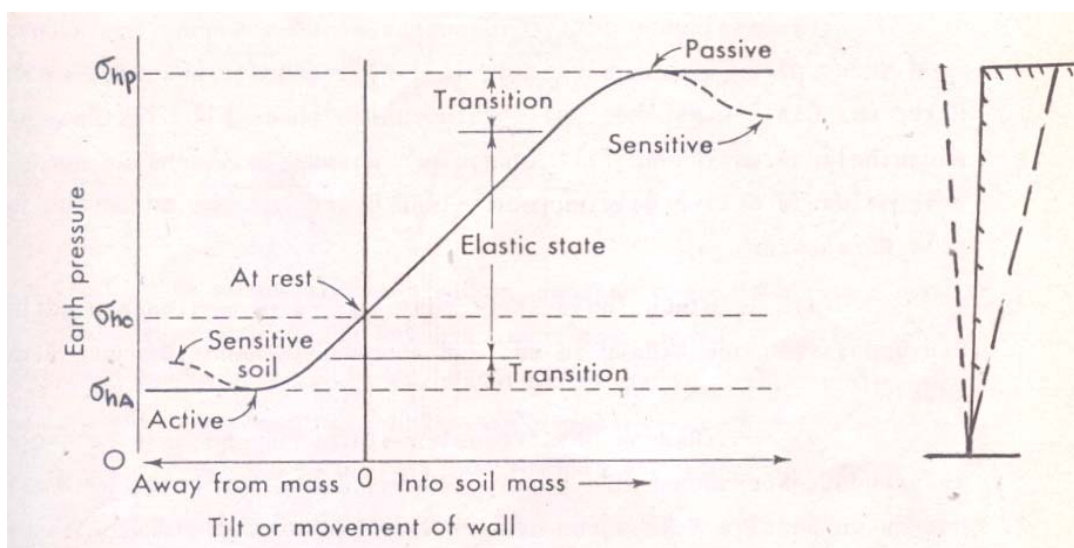
ความแตกต่างของพลังงานศักย์ ทำให้ความดันของน้ำในโพรงในจุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันด้วย น้ำในช่องโพรงระหว่างเม็ดดินจะไหลจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำกว่าอย่างช้า ๆ ปริมาณการไหลของน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ขึ้นอยู่กับสมบัติทางด้านการซึมของดิน เรียกว่าสัมประสิทธิ์การซึม (Coefficient of Permeability) การไหลของน้ำในลักษณะเป็นการไหลตามพลังงานศักย์โดยดินไม่ถูกแรงภายนอกมากระทำ ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

1.5 แรงดันดินด้านข้าง

หน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม(σ_h) ประกอบด้วยหน่วยแรงดันดินด้านข้างซึ่งถ่ายผ่านเม็ดดิน(σ'_h)และแรงดันน้ำ (U) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma_h = \sigma'_h + U \quad \dots\dots\dots (1.5-1)$$

ซึ่งตามหลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล σ'_h เรียกว่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปแบบของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) และ σ_h เรียกว่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปแบบของหน่วยแรงรวม (Total Stress)



รูปที่ 3 : แสดงชนิดของหน่วยแรงดันด้านข้างเป็นฟังก์ชันกับการเคลื่อนตัวของกำแพง

ตามรูปเมื่อ ในกรณีกำแพงเคลื่อนตัวออกไปจากดินจากสภาวะอยู่นิ่ง (At Rest) ที่จุดใด ๆ ค่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม(σ_h) ด้านหลังกำแพงจะมีค่าลดลงจากหน่วยแรงดันดินด้านข้างรวมแบบอยู่นิ่ง(σ_{ho}) ในขณะที่หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง(σ_v)ที่จุดพิจารณามีค่าคงที่ จนกระทั่งดินเกิดการวิบัติที่ซึ่ง σ_h มีค่าต่ำสุด แรงดันดินในสภาพแบบผลัดนี้เรียกว่าแรงดันดินแบบ Active (σ_{hA}) และในกรณีกำแพงเคลื่อนตัวเข้าหาดินจากสภาวะอยู่นิ่ง (At Rest) ที่จุดใด ๆ ค่าค่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม(σ_h) ด้านหน้ากำแพงจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากหน่วยแรงดันดินด้านข้างรวมแบบอยู่นิ่ง (σ_{ho}) ในขณะที่หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง(σ_v) ที่จุดพิจารณามีค่าคงที่ จนกระทั่งดินเกิดการวิบัติ ที่แรงดันดินในสภาพแบบด้านนี้เรียกว่าความดันดินแบบ Passive (σ_{hp})

จากทฤษฎีของ Rankine ที่มีรากฐานมาจากกฎการวิบัติของดินของ Mohr และ Coulomb ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดันแบบ Active (σ_{hA}) และ Passive (σ_{hp}) กับค่า C และ ϕ (C = ความเชื่อมแน่นที่ปรากฏและ ϕ = มุมต้านแรงเฉือน) ดังนี้

$$\sigma_{hA} = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \sigma_v - 2C \frac{\sqrt{1 - \sin\phi}}{\sqrt{1 + \sin\phi}} \quad \dots\dots\dots (1.5-2)$$

$$\sigma_{hp} = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \sigma_v + 2C \frac{\sqrt{1 + \sin\phi}}{\sqrt{1 - \sin\phi}} \quad \dots\dots\dots (1.5-3)$$

ดินเหนียว (Clay) ระยะเวลาที่น้ำหนักมากระทำ(Loading)มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการระบายแรงดันน้ำ (ΔU) ที่เกิดขึ้นในมวลดินจากน้ำหนักที่กระทำนั้น แรงดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) ที่ระบายออกไปทำให้หน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Stress) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนที่จะมีน้ำหนักมากระทำทันที(Short Term)โดยไม่มีการระบายน้ำ(Undrained)จึงมีค่าน้อยที่สุด และมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การคาดคะเนแรงดันน้ำในระยะยาวทำได้ยากลำบาก การวิเคราะห์แรงดันดินในดินเหนียวจึงมักทำในรูปของหน่วยแรงรวม (ใช้ TSA = การวิเคราะห์หน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis - Short Term)) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักรวม (γ) และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u) โดยที่ค่า $\phi_u = 0$ สมการที่ 1.5 -1 และ 1.5-2 กลายเป็น

$$\sigma_{hA} = \sigma_v - 2C_u \quad \dots\dots\dots (1.5-4)$$

$$\sigma_{hp} = \sigma_v + 2C_u \quad \dots\dots\dots (1.5-5)$$

หน่วยแรงรวมในแนวตั้งหาได้จาก

$$\sigma_v = \gamma Z + q \quad \dots\dots\dots (1.5-6)$$

เมื่อ Z = ความลึกของจุดที่พิจารณาจากระดับผิวดิน

q = น้ำหนักแผ่กระจายภายนอกที่กระทำที่ผิวดิน (Surcharge)

ดินทราย (Sand) เป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil) แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกระทำสามารถระบายออกไปได้ทันที จึงสามารถคำนวณหาหน่วยแรงประสิทธิผลได้ง่าย การวิเคราะห์แรงดันดินในทรายจึงทำในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (ใช้ESA =การวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis - Long Term)) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักรวม (γ) หน่วยน้ำหนักน้ำ (γ_w) และค่ามุมต้านแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (ϕ') โดยที่ค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (C') = 0 ทำให้สมการที่ 1.5-1 และ 1.5-2 มีรูปเป็น

$$\sigma'_{hA} = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} (\sigma_v - U) = K_A \sigma'_v \quad \dots\dots\dots (1.5-7)$$

$$\sigma'_{hp} = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} (\sigma_v - U) = K_p \sigma'_v \quad \dots\dots\dots (1.5-8)$$

โดยที่ $K_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} = \text{Coefficient of active earth pressure}$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} = \text{Coefficient of passive earth pressure}$$

หน่วยแรงดันด้านข้างรวม σ_{hA} และ σ_{hp} ซึ่งเป็นหน่วยแรงที่กระทำต่อกำแพงหาได้จาก

$$\sigma_{hA} = \sigma'_{hA} + U \quad \dots\dots\dots (1.5-9)$$

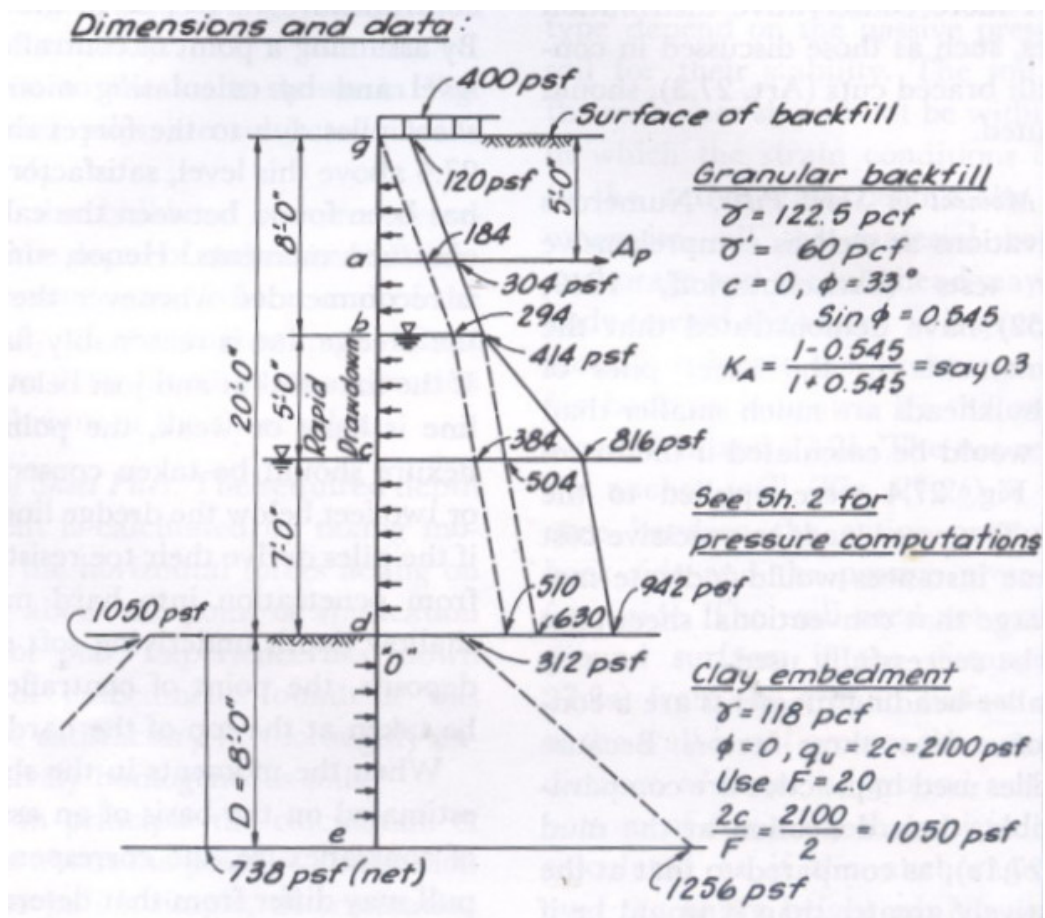
$$\sigma_{hp} = \sigma'_{hp} + U \quad \dots\dots\dots (1.5-10)$$

ค่า U ในการหาหน่วยแรงดันแบบ active และ passive ที่ความลึกเดียวกัน ไม่จำเป็นต้องเท่ากันเสมอไป ถ้ามีการไหลของน้ำเกิดขึ้น โดยทั่วไปค่า U ที่จุดใดหาได้จาก

$$U = \gamma_w h \quad \dots\dots\dots (1.5-11)$$

เมื่อ γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ และ h คือ ระยะความสูงของระดับน้ำถึงจุดที่พิจารณา

ตัวอย่าง 1 จงคำนวณแรงดันดินตามรูปต่อไปนี้ และใช้หลักการสมดุลของแรงและโมเมนต์หาแรงดึงในสมอและระยะฝัง (D) เสาค้ำฝังในดินเหนียว



Active Earth Pressure ในชั้นทรายถม(Granular Backfill)

จุด	$\sigma_v = \gamma Z + q$ ปอนด์/ตร.ฟุต	U ปอนด์/ตร.ฟุต	$\sigma'_v = (\sigma_v - U)$ ปอนด์/ตร.ฟุต	K_A	$\sigma'_{hA} = K_A \sigma'_v$ ปอนด์/ตร.ฟุต	$\sigma_{hA} = \sigma'_{hA} + U$ ปอนด์/ตร.ฟุต
g	400	-	400	0.3	120	120
a	$122.5 \times 5 + 400 = 1,012.5$	-	1,012.5	0.3	304	304
b	$122.5 \times 8 + 400 = 1,380$		1,380	0.3	414	414
c	$122.5 \times 13 + 400 = 1992.5$	$62.5 \times 5 = 312.5$	1,680	0.3	504	$504 + 312 = 816$
d	$122.5 \times 20 + 400 = 2,850$	$62.5 \times 12 = 750$	2,100	0.3	630	$630 + 750 = 1,380$ หักแรงดันน้ำ ด้านซ้ายออก คงเหลือ = 1380 $-62.5 \times 7 = 942$

Active Earth Pressure ในชั้นดินเหนียว(Clay Embedment)

จุด	$\sigma_v = \gamma Z + q$ ปอนด์/ตร.ฟุต	$2C_u$ ปอนด์/ตร.ฟุต	$\sigma_{hA} = \sigma_v - 2C_u$ ปอนด์/ตร.ฟุต
d	$122.5 \times 20 + 400 = 2,850$	2,100	750 หักแรงดันน้ำด้านซ้ายออกคงเหลือ $750 - 62.5 \times 7 = 312$
e	$122.5 \times 20 + 118 \times D + 400$	2,100	$750 + 118D$ หักแรงดันน้ำด้านซ้ายออกคงเหลือ $750 + 118D - 62.5 \times 7 = 312 + 118D$

Passive Earth Pressure ในชั้นดินเหนียว(Clay Embedment)

จุด	$\sigma_v = \gamma Z + q$ ปอนด์/ตร.ฟุต	$2C_u$ ปอนด์/ตร.ฟุต	$\sigma_{hp} = \sigma_v + 2C_u$ /F ปอนด์/ตร.ฟุต
d	0 (σ_v จริง ๆ $= 62.5 \times 7$ แต่ได้หักจากแรงดัน Active ด้านขวาแล้ว)	2,100	1050
e	118D	2,100	$1050 + 118D$

หักลบแรงดันดิน Active และ Passive ในชั้นดินเหนียวแล้ว เหลือสุทธิเท่ากับ $(1050 + 118D) - (312 + 118D) = 738$ ปอนด์/ตร.ฟุต หาโมเมนต์รอบจุด a จะได้ ค่า $D = 6.6$ ฟุต เพิ่ม 20 % เป็น 8 ฟุต และหาผลรวมของแรงในแนวราบให้เท่ากับศูนย์ จะได้แรงในสมอ $A_p = 6,493$ ปอนด์ต่อฟุต

1.6 เสถียรภาพความลาด (Slope Stability)

ดินที่เกิดจากตามธรรมชาติย่อมมีทั้งภูเขา ที่ราบหรือที่มีความลาดเอียง ดังนั้นในการก่อสร้างอาคาร เขื่อน ถนน คลองขุด จำเป็นต้องตรวจสอบเสถียรภาพของดินก่อน เพื่อไม่ให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างที่วางอยู่บนดินนั้น ๆ ได้

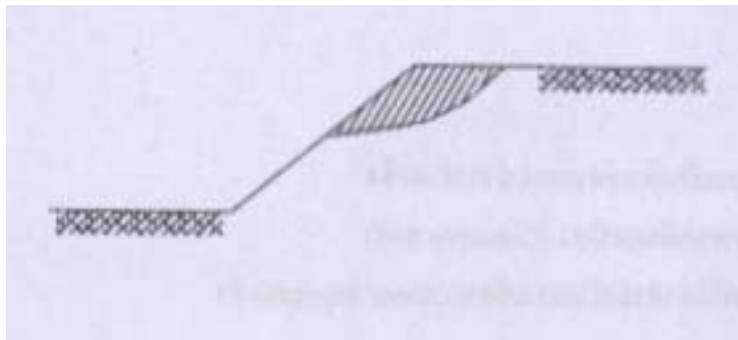
1.6.1 ชนิดของการพังทลาย (Type of failures)

การพังทลาย แบ่งออกเป็น 3 แบบ

(1) การวิบัติที่ผิวความลาด (Face Failure)

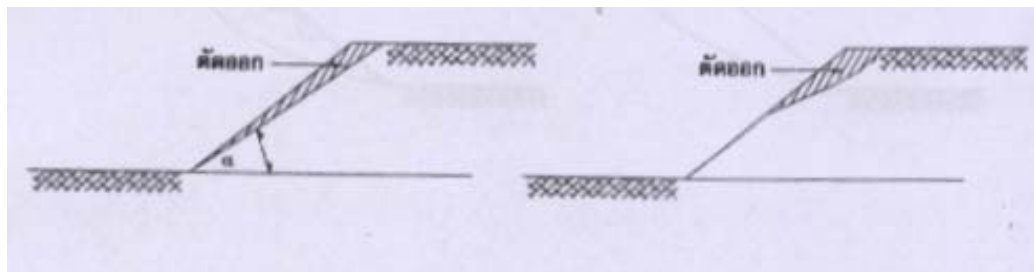
(1.1) สาเหตุ : การวิบัติที่ผิวดความลาด เกิดจาก

- ผิววัสดุเกิดการพังทลาย
- วัสดุเองเนื่องจาก Slope มากเกินไป
- มักเป็นพวก Granular Soil



(1.2) การแก้ไข

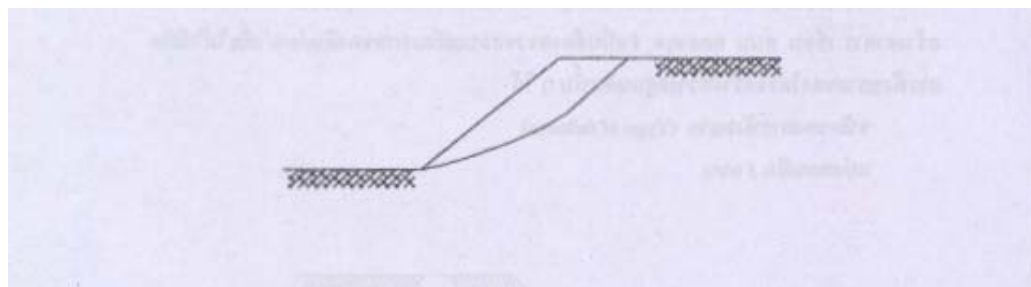
- ลดความลาดให้น้อยลง



(2) การวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face) คือ การพังทลายตรงส่วนที่ปลายฐานด้านล่างของความ ลาดตลิ่ง

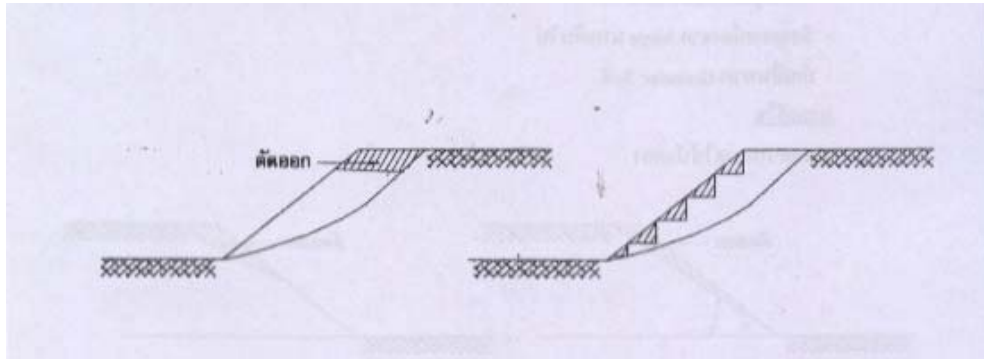
(2.1) สาเหตุ : การวิบัติปลายฐานล่าง เกิดจาก

- ดินผิวบนเป็นดินอ่อนและส่วนล่างแข็ง
- เกิดกับพวกดินเหนียว (Cohesive Soil)
- เป็นดินที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ต่ำ



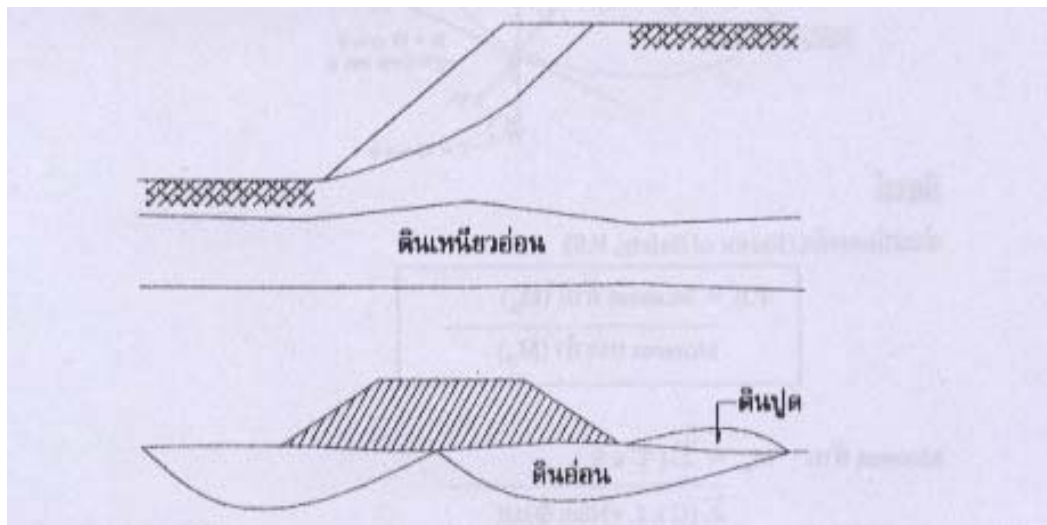
(2.2) การแก้ไข

- ลด Surcharge load ที่ผิวบนนอก
- ทำเป็นชั้นบันได
- เปลี่ยนวัสดุดินถมใหม่เป็นพวกทรายเพื่อต้องการให้น้ำระบายได้สะดวก



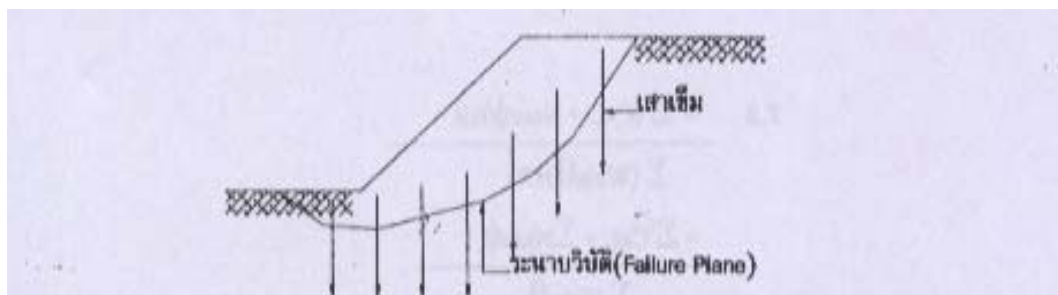
(3) การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด(Base Failure) คือ การพังทลายที่ดินใต้ความลาดของตลิ่ง

(3.1) สาเหตุ : การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด เกิดจากดินชั้นบนมีความแข็งกว่าดินด้านล่าง ซึ่งเป็นดินที่อ่อนกว่า แล้วเกิดการพังทลายเนื่องจากค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำ

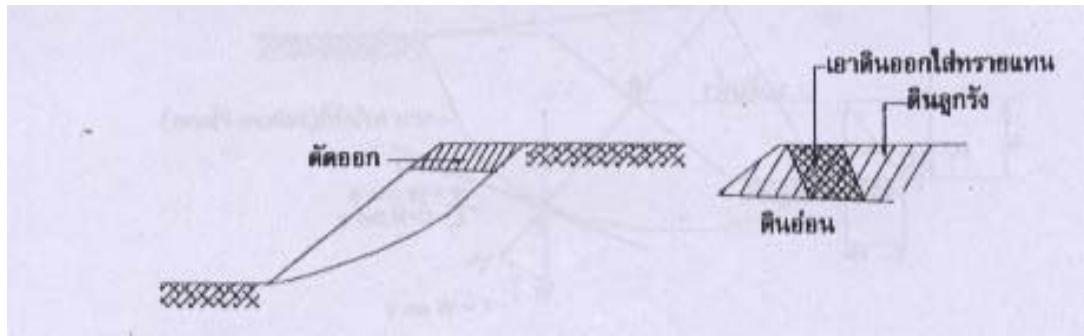


(3.2) การแก้ไข

- เพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ในดิน เช่น โดยการตอกเสาเข็มมารับแรงเฉือน



- ลด Suchange Load หมายถึง ลดดินถมบนตลิ่งออก เพื่อให้เกิดแรงกดดันน้อยลง



1.6.2 การคำนวณหาเสถียรภาพของความลาด (Slope Stability)

(1) เสถียรภาพของความลาดในดินเหนียว

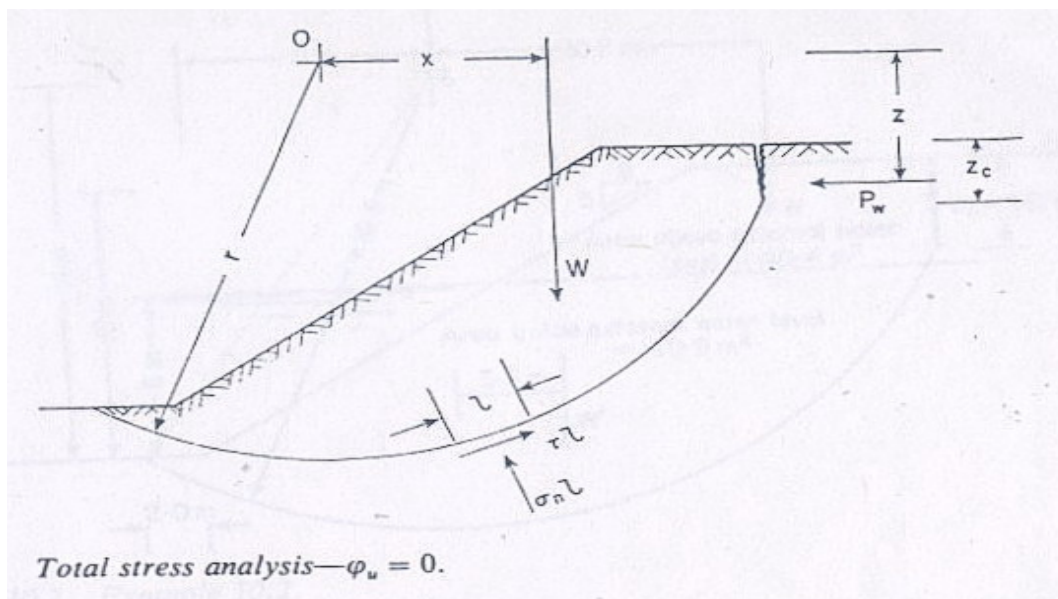
เสถียรภาพความลาดของดินเหนียว(NC-C)ในกรณีที่เป็นดินถม(Embankment) หรือ ลาดดินตามธรรมชาติที่ไม่มีการไหลของน้ำใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม(Total Stress Analysis) ซึ่งเป็นกรณีที่มีหน่วยแรงมากระทำต่อดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำทันทีโดยไม่มีการระบายน้ำ(Undrained) โดยมี $\tau_f = C_u$ และ $\sigma_u = 0$ การเลือกใช้วิธีนี้เนื่องจากเป็นกรณีที่ดินเหนียวมีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำที่สุดและการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผลกระทำไต่ยากสาเหตุจากความยุ่งยากในการประเมินแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดินเหนียว

ในกรณีนี้กำลังรับแรงเฉือนปลอดภัย $\tau = \tau_f / F.S. = C_u / F.S.$ และเกิดรอยแตกขึ้น บริเวณบนลาดมีค่าความลึก $Z_c = 1.33 C_u / \gamma$ ทำให้ส่วนของดินที่ช่วยรับแรงเฉือนตามแนวผิวที่เกิดการวิบัติที่ช่วยต้านการเคลื่อนตัวมีค่าลดลง และถ้าเกิดมีน้ำขังในรอยแตก แรงดันน้ำ P_w ที่เกิดขึ้นในรอยแตกจะเป็นตัวเพิ่มแรงดันให้ ลาดตลิ่งเกิดการเคลื่อนตัว ตามรูปเมื่อคิดโมเมนต์รอบศูนย์กลาง O จะได้

$$Wx + P_w Z = r \sum \tau l = r \sum C_u l / F.S.$$

$$F.S. = \frac{r \sum C_u l}{Wx + P_w Z}$$

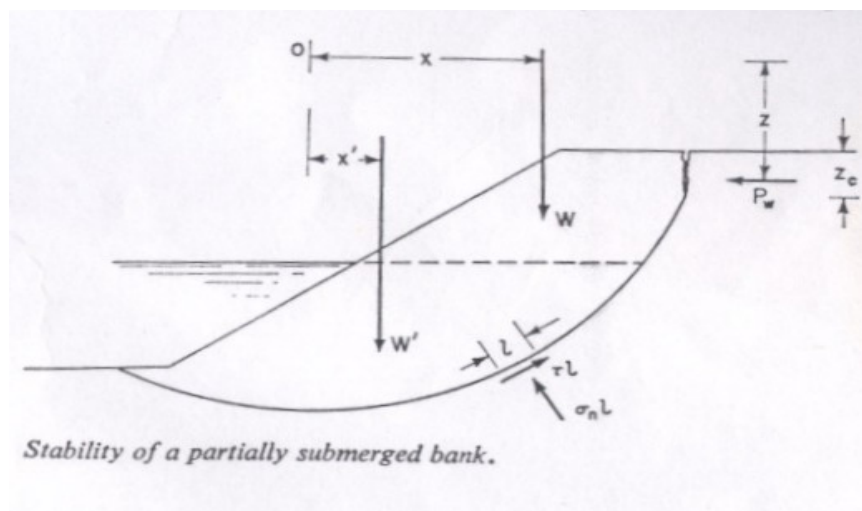
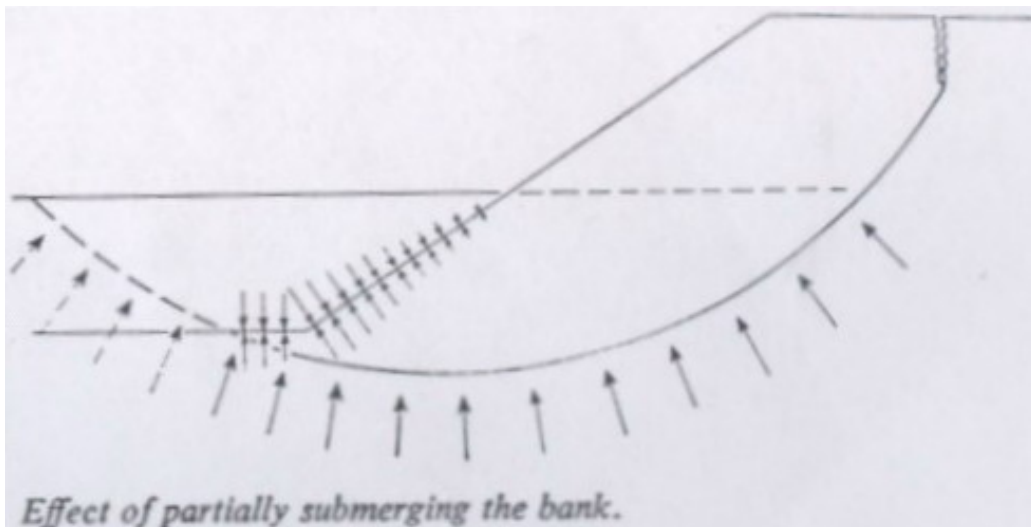
โดยที่หน่วยน้ำหนักดินในการคำนวณเป็น Bulk Unit Weight หรือ Total Unit Weight (ดิน+น้ำ)



ในกรณีที่เกิดน้ำท่วมส่วนล่างของลาดตลิ่งตามรูป แรงดันน้ำที่ส่วนล่างของลาดตลิ่งจะเป็นตัวเพิ่มแรงต้านการเคลื่อนตัว และโมเมนต์จากแรงดันน้ำที่ส่วนล่างของลาดตลิ่งรอบจุด O มีความสมดุลกับโมเมนต์จากมวลของน้ำในเนื้อดินส่วนที่อยู่ใต้ระดับน้ำและอยู่เหนือแนวผิวที่เกิดการรื้อพัง (Rupture Surface) ดังนั้นน้ำหนักดินส่วนที่อยู่ใต้ระดับน้ำจึงคำนวณโดยใช้ หน่วยน้ำหนักรวมของดินลบด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ ($\gamma - \gamma_w$) หรือ Submerged Unit Weight ดังนั้นโมเมนต์รอบศูนย์กลาง O เป็น

$$Wx + W'x' + P_w Z = r \sum C_u l = r \sum C_u l / F.S.$$

$$F.S. = \frac{r \sum C_u l}{(Wx + W'x') + P_w Z}$$

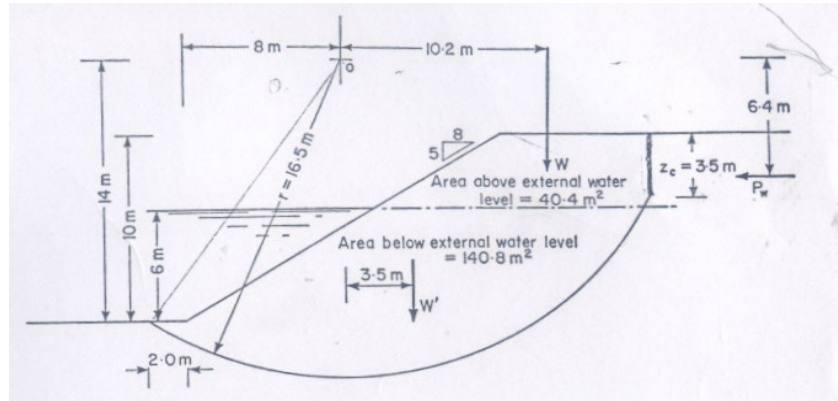


ตัวอย่างที่ 2 ลาดคันดินเหนียวลึก 10 เมตร ความลาด 8: 5 ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ $C_u = 50 \text{ kN/m}^2$

และ Bulk Density $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ จงหาอัตราส่วนปลอดภัยถ้า

(ก) ส่วนล่างของลาดตลิ่ง 6 เมตร จมน้ำ

(ข) ไม่มีน้ำที่ส่วนล่างของลาดตลิ่ง



วิธีทำ (ก) หารอยแตกบนลาดตลิ่ง

$$Z_c = 1.33 C_u / \gamma = 1.33 \times 50 / 19 = 3.5 \text{ m.}$$

$$\text{จากรูป } W = 40.4 \times 19.0 = 769 \text{ kN}$$

$$W' = 140.8 (19 - 9.81) = 1290 \text{ kN}$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 9.81 \times 3.5^2 = 55 \text{ kN}$$

$$\text{ความยาวโค้งที่เกิดการวิบัติ} = 16.5 \times 99 \times \pi / 180 = 28.6 \text{ m.}$$

$$\text{แทนค่า F.S.} = (16.5 \times 28.6 \times 50) / (769 \times 10.2 + 1290 \times 3.5 + 55 \times 6.4) = 1.85 \quad (\text{ข})$$

$$\text{F.S.} = (16.5 \times 28.6 \times 50) / (769 \times 10.2 + 140.8 \times 19 \times 3.5 + 55 \times 6.4) = 1.34$$

- เสถียรภาพความลาดของดินเหนียว(NC-C)ในกรณีที่เป็นดินขุด(Cutting Slope) ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Stress Analysis) เนื่องจากในการขุดดินเป็นการเอาน้ำหนักออกจากมวลดินเป็นกรณีกลับกันกับดินถม ทันทีกที่ขุดดินออกการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในดินเป็นลบ ค่าแรงดันน้ำในมวลดินจะเพิ่มขึ้นตามเวลา เป็นผลให้หน่วยแรงประสิทธิผลลดลงตามเวลาด้วย นั่นคือกำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงตามเวลาด้วยเช่นกัน จึงต้องประเมินค่าแรงดันน้ำที่วิบัติในระยะยาว (Long Term) เพื่อหาหน่วยแรงประสิทธิผลมาคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยใช้ค่า C' และ ϕ' ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

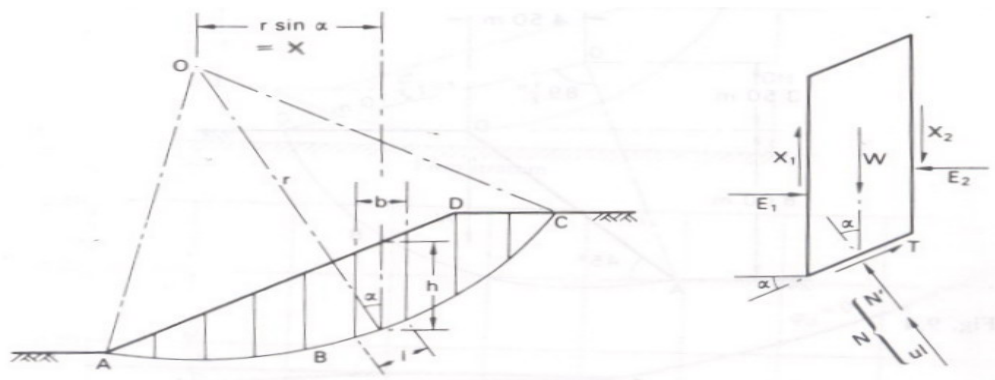
ในกรณีที่มีการไหลของน้ำในดินและการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็ว แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากกรณีดังกล่าวทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลลดลง เป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนลดลงด้วยจึงใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผลเช่นเดียวกับดินขุด

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดในดินเหนียวจึงต้องพิจารณาให้รอบคอบถึงพฤติกรรมของดินเหนียว(NC หรือ OC) ลักษณะน้ำหนักที่กระทำเป็นดินขุดหรือดินถม>Loading หรือ Unloading) และการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ

การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดแบบหน่วยแรงประสิทธิผล กำหนดให้แนวผิวการวิบัติของลาดตลิ่งเป็นวงกลมแล้วแบ่งมวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวตามแนววิบัติออกเป็นชิ้น(Slice)ตามแนวดิ่งมีการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น

(ก) วิธี Swedish Circle

วิธีนี้คิดโดย Fellenius ในปี 1926 โดยการแบ่งมวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวออกเป็นชั้นๆ ความกว้างของชั้นดินมีค่าไม่เท่ากัน ต้องปรับความกว้างเพื่อให้ฐานของชั้นดินอยู่ในตำแหน่งที่เป็นวัสดุดินที่มีคุณสมบัติเดียว พิจารณาชั้นส่วนตามรูป กำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดความสมดุลเป็น



$$\tau = \tau_r / F.S. = (C' + \sigma' n \tan \phi') / F.S.$$

หน่วยแรงรวม σn ที่กระทำที่ฐานของชั้นดิน = N / l ทำให้

$$\tau = (C' + (N/l - U) \tan \phi') / F.S.$$

หาโมเมนต์รอบจุด O จะได้ $\sum Wx = \sum \tau x l x r$

$$F.S. = r \sum (C' l + (N - Ul) \tan \phi') / \sum Wx$$

พิจารณาสมดุลของแรงที่ฐานของชั้นดิน

$$N = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha$$

ดังนั้น $F.S. = r \sum (C' l + (W \cos \alpha - Ul) \tan \phi' +$

$$\{ (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \} \tan \phi') / \sum Wx$$

เนื่องจาก ไม่มีแรงภายนอกกระทำที่ผิวหน้าของความลาด ดังนั้น

$$\sum (X_n - X_{n+1}) = 0 \quad \text{และ} \quad \sum (E_n - E_{n+1}) = 0$$

เนื่องจาก ค่า X และ E ในสมการอยู่ในรูปของ Statically Indeterminate จึงต้องวิเคราะห์โดยการ Trial & Error เพื่อให้วิเคราะห์ง่ายและสะดวก จึงกำหนดให้ผลรวม $\sum (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha = 0$ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย เมื่อแทนค่า $x = r \sin \alpha$ สมการกลายเป็น

$$F.S. = \sum (C' l + (W \cos \alpha - Ul) \tan \phi') / \sum W \sin \alpha$$

วิธีของ Fellenius จะให้ค่า F.S. น้อยกว่าความเป็นจริงประมาณ 20% และอาจเพิ่มถึง 60% ถ้าแนวผิวที่เกิดการวิบัติอยู่ลึกลงไปใต้ดินและมีแรงดันน้ำสูง สาเหตุเนื่องจากการแตกหน่วยแรงรวมจากน้ำหนัก W ซึ่งประกอบด้วยหน่วยแรงประสิทธิผลและแรงดันน้ำมาอยู่ในแนวตั้งฉากกับฐานของ

ชั้นดิน ซึ่งส่วนของแรงดันน้ำจะนำมาแตกแรงไม่ได้เพราะเป็น Hydrostatic Pressure มีค่าเท่ากันทุกทิศทาง จึงแตกแรงได้เฉพาะส่วนของหน่วยแรงประสิทธิผล

(ข) วิธีของ Bishop

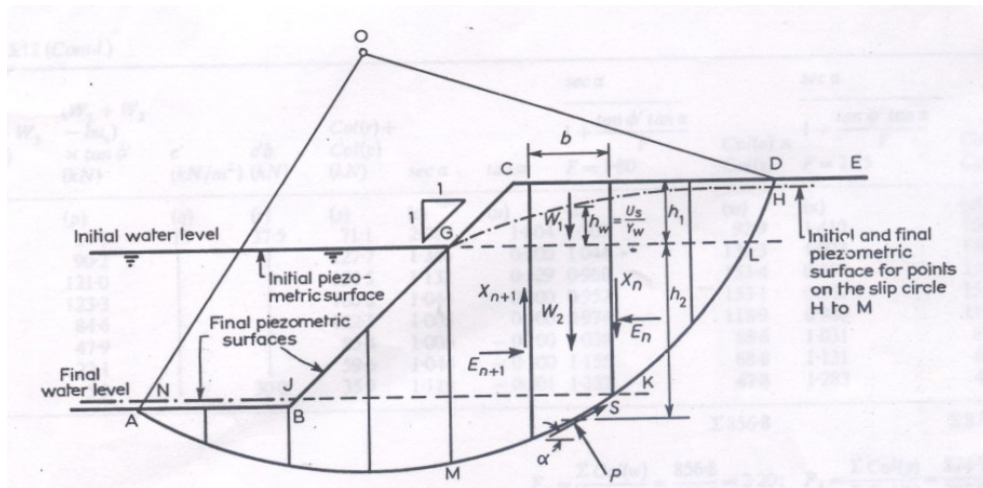
พิจารณาชั้นส่วนตามรูป กำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดความสมดุลเป็น

$$\tau = \tau_r / F.S. = (C' + \sigma' n \tan \phi') / F.S.$$

ตัวอย่างที่ 3 จากคันดินในรูปซึ่งอยู่ข้างคลองเป็นดินเหนียวมีคุณสมบัติ $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 30^\circ$ และ $C' = 15 \text{ kN/m}^2$ จงหาอัตราส่วนปลอดภัยของ Slip Circle ที่แสดง สมมุติให้ประมาณค่าความดันน้ำ (Piezometric Level) ที่จุดใด ๆ บน Slip Circle เท่ากับเส้นประไข่ปลาของ Phreatic Line

(ก) ที่ระดับน้ำเริ่มต้น (Initial Water Level)

ค่า F.S. หรือ ค่า F ได้จากการ Trial & Error โดยการสมมุติค่า F ก่อน โดยผลสุดท้ายค่า F ที่คำนวณได้ ($F=2.25$) ต้องเท่ากับค่า F ที่ได้สมมุติไว้ก่อนการคำนวณ ($F=2.25$) โมเมนต์ของน้ำในดินส่วนที่ได้ ระดับน้ำในคลอง จะสมดุลกับโมเมนต์ที่แรงดันน้ำในคลองกระทำต่อลาดตลิ่งส่วนที่จมน้ำ ดังนั้นน้ำหนักดิน W_2 ส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในคลองจึงใช้ γ_{sub} ซึ่งเท่ากับ $\gamma - \gamma_w$



Slice No.	Dimensions (m)			Slope (deg)		W_1 $= \gamma b h_1$ (kN)	W_2 $= \gamma_{\text{sub}} b h_2$ (kN)	$W_1 + W_2$ (kN)	$\sin \alpha$	$(W_1 + W_2) \sin \alpha$ $\text{Col(i)} \times \text{Col(j)}$ (kN)	h_w (m)	u_s $= 9.81 h_w$ (kN/m ²)	$b u_s$ (kN)
	b	h_1	h_2	α	ϕ'								
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)
1	2.50	1.70*	0.70*	+ 61.0	30	85.0	17.9	102.9	0.875	90.0	1.75	17.2	43.0
2	2.50	2.00	3.75	+ 42.0		100.0	95.6	195.6	0.669	130.9	1.60	15.7	39.3
3	2.50	2.00	5.50	+ 27.9		100.0	140.3	240.3	0.468	112.5	1.25	12.3	30.8
4	2.50	1.20	6.50	+ 16.7		60.0	165.8	225.8	0.287	64.8	0.50	4.9	12.3
5	2.50	0	5.75	+ 5.7		0	146.6	146.6	0.099	14.5	0	0	0
6	2.50	0	3.25	- 5.7		0	82.9	82.9	- 0.099	- 8.2	0	0	0
7	2.50	0	1.50	- 16.7		0	38.3	38.3	- 0.287	- 11.0	0	0	0
8	2.00	0	0.50	- 26.6		0	10.2	10.2	- 0.448	- 4.6	0	0	0
										Σ 388.9			

*adjusted to give correct areas $b h_1$ and $b h_2$

$(W_1 + W_2 - bu_s)$ (kN)	$(W_1 + W_2 - bu_s) \times \tan \phi'$ (kN)	c' (kN/m ²)	$c'b$ (kN)	$Col(r) + Col(p)$ (kN)		$\sec \alpha$		$\sec \alpha$		$Col(x) \times Col(s)$
						$1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}$	$\tan \alpha$	$Col(v) \times Col(s)$	$1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}$	
(o)	(p)	(q)	(r)	(s)	(t)	(u)	(v)	(w)	(x)	(y)
59.9	34.6	15	37.5	71.1	2.063	1.804	1.307	92.9	1.410	100.3
156.3	90.2			127.7	1.346	0.900	1.044	133.3	1.093	139.6
209.5	121.0			158.5	1.132	0.529	0.968	153.4	0.997	158.0
213.5	123.3			160.8	1.044	0.300	0.952	153.1	0.969	155.8
146.6	84.6			122.1	1.005	0.100	0.974	118.9	0.980	119.7
82.9	47.9			85.4	1.005	-0.100	1.038	88.6	1.031	88.0
38.3	22.1			59.6	1.044	-0.300	1.155	68.8	1.131	67.4
10.2	5.9			35.9	1.118	-0.501	1.332	47.8	1.283	46.1
Σ856.8 Σ874.9										

$$F_0 = \frac{\Sigma \text{Col}(w)}{\Sigma \text{Col}(k)} = \frac{856.8}{388.9} = 2.20; \quad F_1 = \frac{\Sigma \text{Col}(y)}{\Sigma \text{Col}(k)} = \frac{874.9}{388.9} = 2.25$$

(ข) เมื่อระดับน้ำลดมาอยู่ที่ก้นคลอง(Final Water Level)

ค่า F.S. หรือ ค่า F ได้จากการ Trial & Error โดยการสมมุติค่า F ก่อน โดยผลสุดท้ายค่า F ที่คำนวณได้ (F=1.50) ต้องเท่ากับค่า F ที่ได้สมมุติไว้ก่อนการคำนวณ(F=1.50

Slice No.	Dimensions (m)			$W_1 = \gamma b h_1$ (kN)	$W_2 = \gamma_{sub} b h_2$ (kN)	$W_1 + W_2$ (kN)	$(W_1 + W_2) \sin \alpha$ (kN)	h_w (m)	u_s (kN/m ²)	b_{us} (kN)
	b	h_1	h_2							
(a)	(b)	(c)	(d)	(g)	(h)	(i)	(k)	(l)	(m)	(n)
1	2.50	2.40	0	120.0	0	120.0	105.0	2.50	24.5	61.3
2	2.50	5.75	0	287.5	0	287.5	192.3	5.35	52.5	131.3
3	2.50	6.75	0.75	337.5	19.1	356.6	166.9	6.00	58.9	147.3
4	2.50	5.95	1.75	297.5	44.6	342.1	98.2	5.25	51.5	128.8
5	2.50	3.50	2.25	175.0	57.4	232.4	23.0	3.50	34.3	85.8
6	2.50	1.00	2.25	50.0	57.4	107.4	-10.6	1.00	9.8	24.5
7	2.50	0	1.50	0	38.3	38.3	-11.0	0	0	0
8	2.00	0	0.50	0	10.2	10.2	-4.6	0	0	0
$\Sigma 559.2$										

$(W_1 + W_2 - b u_s)$ (kN)	$\sec \alpha$ $1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}$ $F = 1.60$		$Col(v) \times Col(s)$	$\sec \alpha$ $1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}$ $F = 1.50$		$Col(x) \times Col(s)$
	(v)	(w)		(x)	(y)	
(o)	(v)	(w)		(x)	(y)	
58.7	1.250	88.9		1.218	86.6	
156.2	1.016	129.7		1.000	127.7	
209.3	0.951	150.7		0.941	149.1	
213.3	0.942	151.5		0.936	150.5	
146.6	0.970	118.4		0.968	118.2	
82.9	1.043	89.1		1.045	89.2	
38.3	1.171	69.8		1.180	70.3	
10.2	1.365	49.0		1.385	49.7	
$\Sigma 847.1$				$\Sigma 841.3$		
$F_0 = \frac{847.1}{559.2} = 1.52$				$F_1 = \frac{841.3}{559.2} = 1.50$		

(2) เสถียรภาพของความลาดของทราย

ทรายมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี จึงวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล โดยวิธีการ Swedish Circle หรือ Bishop โดยใช้ค่ามุมต้านแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (ϕ') และค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล $C' = 0$

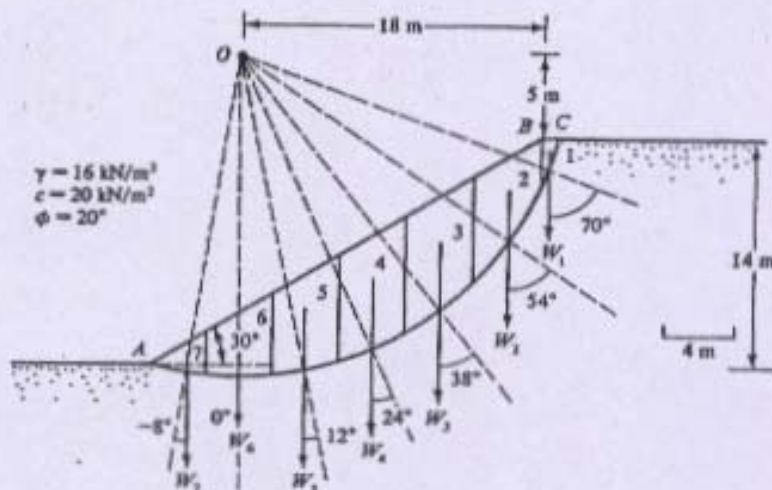
ในกรณีที่เป็นลาดที่มีความยาวไม่สิ้นสุด (Infinite Slope) ทำมุม β กับแนวราบและไม่มีการไหลของน้ำ

$$m = 0 \quad F.S. = \tan \phi' / \tan \beta$$

แต่ถ้ามีการไหลของน้ำโดยระดับน้ำขนานกับลาดดังนี้

$$m = 1 \quad F.S. = (\gamma_{sub} \times \tan \phi') / (\gamma_{sat} \times \tan \beta)$$

ตัวอย่าง ให้คำนวณหาส่วนประกอบของความถดถ่วงในแนวนอนบน Ac โดยใช้วิธีแบ่งรูปออกเป็นชิ้นเล็กๆ ดังรูปที่



วิธีทำ ให้แบ่งรูปออกเป็นชิ้นเล็กกว้างเท่าๆกันรวม 7 ชิ้นแล้วทำการคำนวณตามตารางข้างล่างนี้

Slice no. (1)	W (kN/m) (2)	α (deg) (3)	$\sin \alpha$ (4)	$\cos \alpha$ (5)	ΔL_s (m) (6)	$W \sin \alpha$ (kN/m) (7)	$W \cos \alpha$ (kN/m) (8)
1	22.4	70	0.94	0.342	2.924	21.1	6.7
2	294.4	54	0.81	0.588	6.803	238.5	173.1
3	435.2	38	0.616	0.788	5.076	268.1	342.94
4	435.2	24	0.407	0.914	4.376	177.3	397.8
5	390.4	12	0.208	0.978	4.09	81.2	381.8
6	268.8	0	0	1	4	0	268.8
7	66.58	-8	-0.139	0.990	3.232	-9.25	65.9
					$\Sigma \text{ Col. 6} =$ 30.501 m	$\Sigma \text{ Col. 7} =$ 776.75 kN/m	$\Sigma \text{ Col. 8} =$ 1638.04 kN/m

$$F_s = \frac{(\Sigma \text{ Col. 6})(c) + (\Sigma \text{ Col. 8}) \tan \phi}{\Sigma \text{ Col. 7}}$$

$$= \frac{(30.501)(20) + (1638.04)(\tan 20^\circ)}{776.75} = 1.55$$

- 1 สุรจักร สัมพันธ์รักษ์ (2530) , การคำนวณแรงดันด้านข้างและข้อมูลดินในการออกแบบ , การสัมมนาทางวิชาการเรื่องการออกแบบและก่อสร้าง SHEET PILE , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ , หน้า 51-90.
- 2 C.R. SCOTT, "Soil Mechanics and Foundations ", Applied Science Publishers Ltd ,London , 1980
- 3 LAMBE, T.W.and WHITMAN,R .V ., " Soil Mechanics " , John Wiley & Son Inc , New York ,1969
- 4 NAVFAC DM 7-1, "Soil Mechanics ", Department of navy, Naval Facilities Engineering Command , 1982
- 5 NAVFAC DM 7-2 , "Foundations and Earth Structures ",Department of navy,Naval Facilities Engineering Command , 1982
- 6 PECK,R.B. , HANSON,W.E. and THORNBURN,T.H. , "Foundation Engineering " , John Wiley & Son Inc , New York , 1974.
- 7 P.LEONARD CAPPER , W. FISHER CASSIE , C.B.E. and JAMES D. GEDDES , " Problems in Engineering Soils " , E. & F.N. Spon Ltd , London and New York , 1980
- 8 SIMON,N.E. ,and MENZIE,B.K., "A Short Course in Foundation Engineering " ,The English Language Books Society and Newes-Butterworth , London , 1975.

บทที่ 5 : การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ด้านวิศวกรรม

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 การออกแบบโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง	5-1
1.1.1 ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง	
1.1.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง	
1.1.3 การออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะ	
1.1.4 การออกแบบชั้นกรองวัสดุกรอง	
1.1.5 โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียง	
1.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง	5-26
1.2.1 แรงที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง	
1.2.2 แรงดันดินด้านข้าง	
1.2.3 การวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง	
เอกสารอ้างอิง	

บทที่ 5 : การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ด้านวิศวกรรม

นายศุภกิจ ศิริโชคทรัพย์
วิศวกรรมวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ)
และนายเสถียร เจริญเหรียญ
วิศวกรรมวิชาชีพ 8 วช (วิศวกรรมโยธา)
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาคาร
สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

1.1 โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

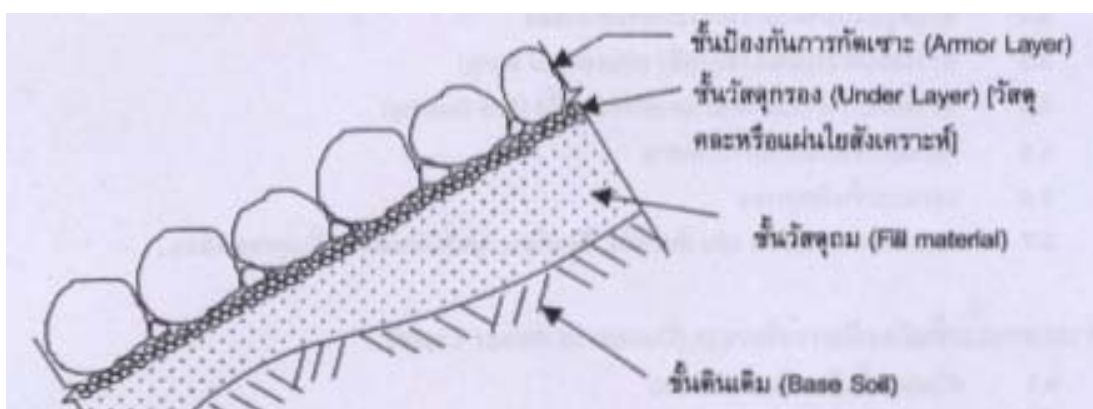
โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (Revetment) เป็นโครงสร้างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหน้าตลิ่งจากการกัดกร่อนของกระแสน้ำหรือคลื่น

โดยทั่ว ๆ ไป โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งมักจะเป็นโครงสร้างแบบผสม (Composite Structure) โดยตัวโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความมั่นคงของตลิ่ง ดังนั้น ก่อนการก่อสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะต้องมีการตรวจสอบหรือปรับปรุงคุณภาพของดินหน้าตลิ่งให้มีความมั่นคงของตลิ่ง (Stability) เสียก่อน

1.1.1 ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (Components of Revetment)

โดยปกติทั่วไปโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

- ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armor Layer)
- ชั้นวัสดุกรอง (Filter Layer หรือ Under Layer)



รูปที่ 1 : ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

นอกจากนี้โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะประกอบด้วย สันเขื่อน (Crest) ตีนเขื่อน (Toe) และจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของเขื่อน (Edge Structure) เพื่อให้โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(1) ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armor Layer)

ชั้นป้องกันการกัดเซาะนี้จะเป็นโครงสร้างส่วนที่ป้องกันการกัดเซาะโดยตรงของแรงจากกระแสน้ำ หรือคลื่นหรือแรงกระทำภายนอกที่อาจเกิดขึ้นได้ สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างของชั้นป้องกันการกัดเซาะนี้มีคุณสมบัติสำคัญที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 อย่าง คือ

(1.1) ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) เช่น แผะ ค.ส.ล. กับชั้นหินเรียงมีความสามารถในการซึมผ่านได้ต่างกัน จะมีการออกแบบที่ต่างกัน

(1.2) ความยืดหยุ่น (Flexibility) เพราะโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งเป็นโครงสร้างที่ก่อสร้างบนดิน ซึ่งมักจะมีการยุบตัวที่เป็นสาเหตุให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างได้ถ้าไม่มีความยืดหยุ่นหรือความแข็งแรงเพียงพอ

(2) ชั้นวัสดุรอง (Under Layer หรือ Filter Layer)

ชั้นวัสดุรองจะเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างดินหน้าตลิ่งหรือวัสดุถมกับชั้นป้องกันการกัดเซาะโดยมากจะเป็นวัสดุประเภท กรวดคละ, หินคละ, หรือแผ่นใยสังเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วการที่โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งเกิดการเสียหายมักจะเกิดจากการที่ชั้นวัสดุรองไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหน้าที่สำคัญของชั้นวัสดุรองคือ

(1) ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง (Filter) เพื่อป้องกันการถูกพัดพาออกไปของดินภายใต้โครงสร้าง

(2) ทำหน้าที่เป็นชั้นระบายน้ำในแนวขนานกับระนาบตลิ่ง

(3) ทำหน้าที่เป็นฐานให้กับชั้นป้องกันการกัดเซาะในกรณีที่ชั้นป้องกันการกัดเซาะเสียหายไป

บางส่วน

(4) ทำหน้าที่ช่วยสลายพลังงานที่เกิดจากคลื่นหรือกระแสน้ำที่กระทำต่อโครงสร้าง

1.1.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง

ขั้นตอนทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งมีดังนี้

(1) กำหนดข้อกำหนดในการออกแบบ (Design Condition) เช่น น้ำหนักบรรทุก

(2) หน้าที่การป้องกันหน้าตลิ่ง

(3) สมมติรูปแบบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

(4) ตรวจสอบความมั่นคงของตลิ่ง (Stability of Bank)

(5) ออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะ

(6) ออกแบบชั้นวัสดุรอง

(7) ออกแบบรายละเอียด เช่น สันเขื่อน, ดินเขื่อน, จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเขื่อนจุดสิ้นสุดของเขื่อน

1.1.3 การออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Design of Armor Layer)

(1) ชนิดของชั้นป้องกันการกัดเซาะ

ชั้นป้องกันการกัดเซาะสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ตามวัสดุที่ใช้ทำได้ดังนี้

(1.1) หิน

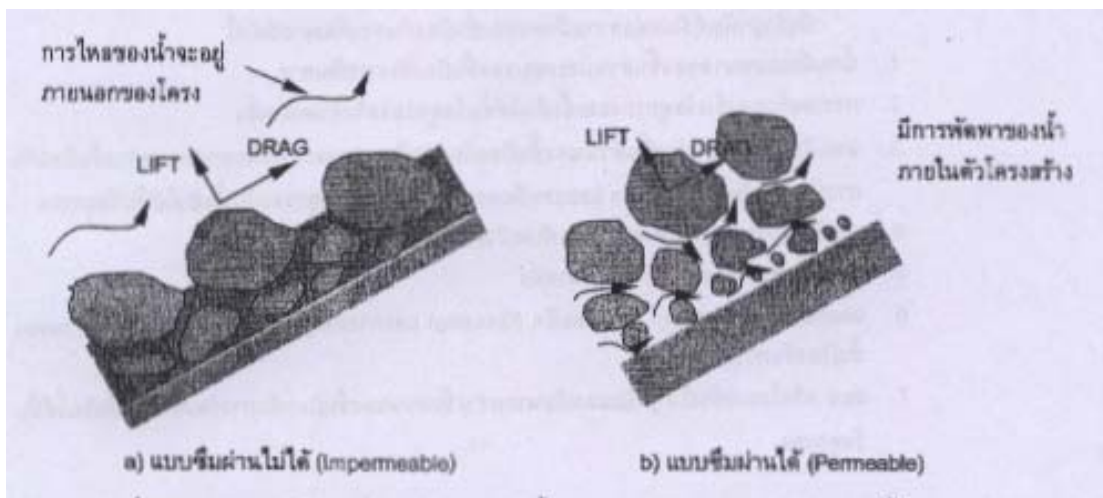
(1.2) คอนกรีต

(1.3) จีโอเทกไทล์ (Geotextile)

(1.4) แอสฟัลต์

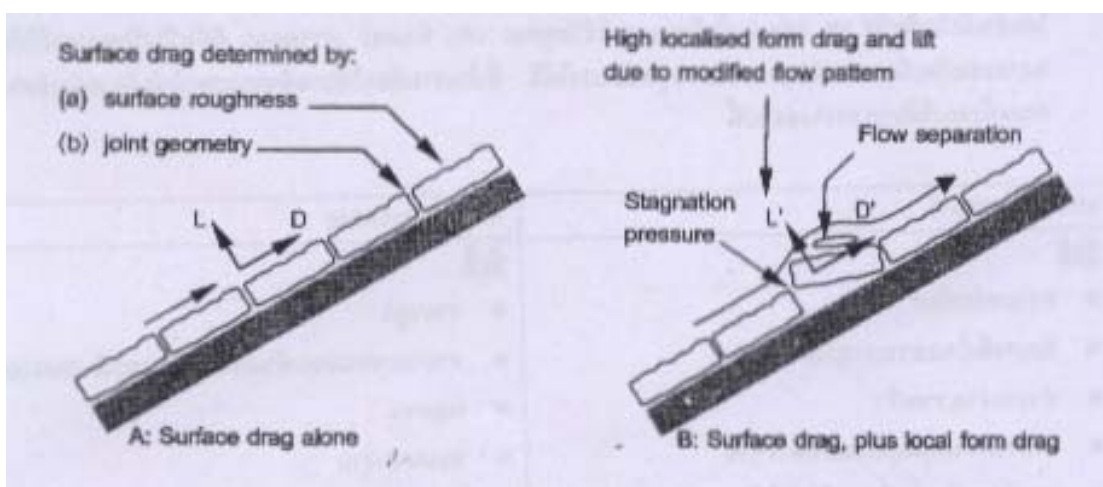
(2) ความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Stability of Armor Layer)

แรงกระทำจากคลื่นและกระแสน้ำที่กระทำต่อชั้นป้องกันการกัดเซาะจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะ ถ้าลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะเป็นแบบน้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable) แรงกระทำส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะของแรงภายนอก ดังแสดงในรูป 2(a) โดยในกรณีนี้ชั้นป้องกันการกัดเซาะจะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงกระทำจากคลื่น, การเปลี่ยนแปลงแรงดันเนื่องจากกระแสน้ำที่ปั่นป่วน, แรงลากที่ผิว(Drag Forces) เนื่องจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ถ้าลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะเป็นแบบน้ำซึมผ่านได้ (Permeable) การไหลของกระแสน้ำสามารถผ่านเข้าไปในชั้นป้องกันการกัดเซาะได้ดังแสดงในรูป 2 (b) ซึ่งลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะแบบนี้จะมีการสลายของแรงภายในชั้นป้องกันการกัดเซาะซึ่งจะเป็นสาเหตุให้การออกแบบชั้นกรองมีความยุ่งยากมากขึ้น เพราะมีผลต่อความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะมากขึ้น



รูปที่ 2 : ผลของความสามารถในการซึมผ่านได้ ของชั้นป้องกันการกัดเซาะต่อแรงกระทำของน้ำ

จากผลของการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อหาค่าแรงดันยกขึ้น (Uplift Pressure) ที่กระทำต่อชั้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากคลื่น (Blaauw et al, 1984) แสดงให้เห็นว่าความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการซึมผ่านได้เพิ่มขึ้น หรือ ความหนาหรือความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นวัสดุกรองลดลง



รูปที่ 3 : Effect of armor layer form on hydrodynamic factors on revetment

แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะดังแสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแรงดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวของชั้นป้องกันการกัดเซาะว่าราบเรียบหรือขรุขระ โดยพื้นผิวที่ขรุขระจะทำให้เกิดแรงยกขึ้นมากกว่าพื้นผิวที่ราบเรียบ สำหรับการออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะของชั้นป้องกันการกัดเซาะแต่ละประเภทจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะมีดังนี้

- (1) น้ำหนักและขนาดของชิ้นส่วนประกอบของชั้นป้องกันการกัดเซาะ
- (2) การรองรับของชั้นวัสดุรองและชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรองหรือดินหน้าตลิ่ง
- (3) แรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะและแรงเสียดทานระหว่างชั้นป้องกันการกัดเซาะกับชั้นวัสดุรอง และแรงเสียดทานระหว่างชั้นวัสดุรองกับชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรอง
- (4) แรงดันในระนาบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง
- (5) ความชันของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง
- (6) แรงขัดทาน (Interlock) , การเชื่อมยึด (Grouting) และการห่อหุ้ม (Cabling) ระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะ
- (7) สมอ หรือโครงสร้างใด ๆ ที่รับแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะกับชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรอง

1.1.4 การออกแบบชั้นชั้นวัสดุรอง

ก่อนทำการออกแบบชั้นวัสดุรองจะต้องรู้ว่าชั้นวัสดุรองที่จะออกแบบจะต้องทำหน้าที่อะไรบ้างในโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งเพราะชั้นวัสดุรองเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงของชั้นป้องกันการกัดเซาะในปัจจุบันนี้มีการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นชั้นวัสดุรองอย่างแพร่หลายเพราะสามารถทำงานได้ง่ายและทำการกรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุละ เช่น หินคละ, กรวดคละ ก็ยังเป็นวัสดุรองที่ใช้กันแพร่หลายเช่นกัน เนื่องจากวัสดุคละจะช่วยดูดซับแรงได้ดี ราคาถูก, หาได้ง่ายตามท้องถิ่น ซึ่งในการเลือกอาจพิจารณาจากข้อดีและข้อเสียของวัสดุรองทั้งสองได้จาก ตารางต่อไปนี้

แผ่นใยสังเคราะห์	หินคละ,กรวดคละ
ข้อดี	ข้อดี
● ความหนาน้อย ● รับแรงดึงในแนวระนาบได้ ● ทำงานง่าย, รวดเร็ว ● สามารถควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ ● การทำงานในพื้นที่ลาดชันทำได้ง่ายกว่า ● คุณสมบัติในระยะยาวยังไม่แน่นอน ● จะต้องทำการป้องกันในบริเวณขอบอย่างดี ● เสียหายง่าย-ซ่อมแซมยาก ● ต้องมีการออกแบบและติดตั้งอย่างระมัดระวังสำหรับการทรุดตัวและพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ	● ราคาถูก ● สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ในบางกรณี (Self-healing) ● ทนทาน ● ซ่อมแซมง่าย ● เปลี่ยนรูปร่างได้ (Deformable) ● สลายพลังงานจากแรงกระทำได้ดีกว่า ● ต้องมีการควบคุมขนาดคละและความหนาให้ถูกต้อง ● ทำงานยากในบริเวณที่มีความลาดชัน

ในการออกแบบชั้นวัสดุกรองนั้นจะต้องพิจารณาถึงการไหลของน้ำในชั้นวัสดุกรองด้วย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 : การไหลตามแนวโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (ตามทิศทางการไหลของน้ำ)

แบบที่ 2 : การไหลตามแนวชั้น – ลง ของตลิ่ง

แบบที่ 3 : การไหลในแนวตั้งฉาก หรือ เข้า – ออก กับตลิ่ง

(1) การออกแบบชั้นวัสดุกรอง (Filter Design)

หน้าที่ของชั้นวัสดุกรองคือ การป้องกันการถูกพัดพาไปของทรายถมและดินเดิมใต้ชั้นวัสดุกรอง และให้น้ำซึมผ่านได้เพื่อลดแรงดันของน้ำ

(1.1) การออกแบบชั้นวัสดุกรองโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์

คุณสมบัติในการกรองของแผ่นใยสังเคราะห์นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับตัวแผ่นใยสังเคราะห์เองแล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดินใต้ชั้นวัสดุกรองอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

ก. ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size) ซึ่งแสดงในรูปของ Sieve Size, D_n , โดย n คือ % โดยน้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า

- สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient)

โดยถ้า U มีค่ามากแสดงว่าดินมีใหญ่และเล็กคละกันแต่ถ้า $U \leq 4$

แสดงว่าดินมีขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ $U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

- ลักษณะของดินแน่นหรือหลวม (Compact or Loose)

- ประเภทของดิน (Cohesive Soil or Non-cohesive Soil)

- ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) K_b ในทิศทางการ

ไหลของน้ำ

ข. คุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นใยสังเคราะห์ มีดังนี้ คือ

- Opening Size, O_n โดย n คือ % ของรูที่เล็กกว่า

- Fabric Type (Woven or Non-woven)

- Permeability

ค. สำหรับการกำหนดขนาด Opening Size มีข้อแนะนำสำหรับแต่ละกรณีดังนี้

- สำหรับการกั้นดินในการไหลแบบคงที่ (Steady Flow)

$$O_{90} < \lambda D_{90}$$

โดย λ มีค่าอยู่ระหว่าง 1-2 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน คือ Density และ Uniformity นอกจากนี้ PIANC (1987a) ยังแนะนำอีกว่า ขนาดที่เล็กที่สุดไม่ควรเล็กกว่า 50

μm . (0.05 mm.) และ INGOLD(1984) แนะนำว่า Opening Size ที่ใหญ่ที่สุดไม่ควรเกิน 0.3 ถึง 0.5 mm.

- สำหรับการกั้นดินในการไหลแบบกลับไปกลับมา (Cyclic Flow)

$O_{98} < D_{85}$ ในกรณีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำหน้าที่ เป็นตัวกรองให้กับเม็ด ดินที่มีขนาดเล็กกว่า

$O_{98} < D_{15}$ ในกรณีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า ไม่ทำหน้าที่ เป็นตัวกรองให้กับเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า

- สำหรับค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำจะเป็นค่าซึ่งจะต้องพิจารณาถึงการอุดตัน (Clogging/ Blocking) ในระหว่างการใช้งานโดยการซึมผ่านได้ของแผ่นใยสังเคราะห์นี้ไม่ควรจะน้อยกว่าค่าการซึมผ่านได้ของดินใต้ชั้นวัสดุกรองหรือในการออกแบบอาจจะพิจารณาที่ค่าแรงดันของน้ำจะต้องไม่ลดลงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

ในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่าแผ่นใยสังเคราะห์มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อ

- หน้าที่ทางด้านวิศวกรรม (Engineering Function) เช่น คุณสมบัติการกรอง เป็นต้น
- ความทนทานในการก่อสร้าง
- ความทนทานในการใช้งานระยะยาว

โดยจะสามารถกำหนดเป็นค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นใยสังเคราะห์ได้ดังนี้

- น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (Mass per unit area)
- ความหนา (Nominal thickness)
- ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำ (Permeability)
- ขนาดช่องเปิด (Opening size)
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of friction)
- คุณสมบัติทางกล (Mechanical properties)
 - กำลังรับแรงดึง (Tensile strength)
 - ความต้านทานการฉีกขาด (Tear Resistance)
 - ความต้านทานการเจาะทะลุ (Puncture resistance)
- ความทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเลต (Resistance to Ultraviolet light)
- การกักเก็บดินหรือความชื้น
- ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความทนทานต่อการกัดกร่อนทางเคมี
- ค่าโมดูลัส (Modulus) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการยืดตัว (Extensibility)

(1.2) การออกแบบชั้นวัสดุกรองโดยใช้หินคละ, กรวดคละ

สำหรับชั้นวัสดุกรองที่ใช้หินคละหรือกรวดคละจะออกแบบโดยเลือกใช้ขนาดของวัสดุ (Particle Size) ที่เหมาะสมในบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีชั้นวัสดุกรองมากกว่า 1 ชั้น เพื่อการกรองที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีคำแนะนำสำหรับขนาดของวัสดุที่เหมาะสมดังนี้

$D_{50f} < \beta D_{50b}$ สำหรับดินที่มีค่า Uniformity Coefficient, $U < 5$

$D_{15f} < \beta D_{85b}$ สำหรับดินที่มีค่า Uniformity Coefficient, $U > 10$ (Well-graded base soil)

โดย f = filter
 b = base soil

โดยค่าสัมประสิทธิ์ β นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 3 – 5 โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลโดยถ้าเป็นการไหลแบบกลับไปกลับมาอย่างรุนแรง (Strong Cyclic Flow) ควรใช้ค่า $\beta = 3$ และสำหรับการไหลแบบคงที่ (Steady Flow) ควรใช้ค่า $\beta = 5$

เพื่อเป็นการป้องกันการแยกตัว (Segregation) ขนาดคละของทั้งดินใต้ชั้นวัสดุกรองและขนาดของวัสดุกรองควรที่จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$D_{50f} < 25D_{50b}$$

และชั้นวัสดุกรองควรมีค่าการซึมผ่านได้ของน้ำไม่น้อยกว่าค่าการซึมผ่านได้ของชั้นดินใต้ชั้นวัสดุกรองโดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$D_{15f} < 5D_{15b}$$

และเพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันควรมี D_{5f} ใหญ่กว่า $75\mu\text{m}$. (0.075 mm.)

(2) การระบายน้ำ (Drainage)

ภายใต้ชั้นป้องกันการกัดเซาะ ชั้นวัสดุกรองจะทำหน้าที่ในการระบายน้ำในระนาบเดียวกับชั้นวัสดุกรอง สำหรับวัสดุกรองที่เป็นวัสดุละเอียดจะมีค่า $D_{50f} [10D_{10f}]$ เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุถมซึ่งปกติจะเป็นวัสดุประเภททราย หลุดออกไปได้ และการระบายน้ำออกสู่ด้านหน้าของโครงสร้างมีความสำคัญมากเพราะเป็นการลดความดันของน้ำที่กระทำต่อตัวโครงสร้าง ดังนั้นในบางกรณีที่ใช้ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armor Layer), ชั้นวัสดุกรอง (Filter Layer) หรือ ชั้นดินใต้ชั้นวัสดุกรอง (Base Soil) ไม่มีคุณสมบัติในการระบายน้ำที่เพียงพอ อาจจะต้องทำการออกแบบรูระบายน้ำ (Weephole) หรือจุดเปิดระบายน้ำออกด้านหน้าโครงสร้างเพื่อเป็นการลดแรงดันน้ำ

(3) การระบายน้ำ (Downslope migration of subsoil)

การออกแบบโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะต้องคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของดินใต้ชั้นวัสดุกรองหรือดินเดิมด้วยเพราะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างได้ การเคลื่อนตัวของดินอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น แรงกระทำของคลื่น (Wave action) หรือ การลดลงของระดับน้ำ (Water level drawdown) โดยดินที่จะเกิดการเคลื่อนตัวได้ง่ายจะเป็นดินประเภทดินตะกอน (Silt) ดินตะกอนปนทราย (Sandy silt) และทรายละเอียด (Fine sand) ซึ่งดินพวกนี้จะเป็นดินที่มีลักษณะเป็นดินเม็ดละเอียด (Fine-grained) และมีค่าความเชื่อมแน่นต่ำ (Low cohesion)

1.1.5 โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียบ (Rip-rap)

การเลือกใช้โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียบเนื่องจากโครงสร้างนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น

- ไม่มีข้อจำกัดทางด้านสถานที่ก่อสร้างรวมทั้งสามารถทำการก่อสร้างใต้น้ำได้
- มีความยืดหยุ่น (Flexibility)
- มีค่า Hydraulic roughness สูง ทำให้สามารถสลายแรงกระทำจากคลื่นและกระแสน้ำได้ดี
- มีค่าบำรุงรักษาต่ำและการซ่อมแซมทำได้ง่ายและสะดวก
- มีความทนทาน

สำหรับโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียบนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การคำนวณหาขนาดของหินที่จะใช้ปิดทับหน้าโดยหินที่จะใช้จะต้องมีขนาดหรือน้ำหนักมากเพียงพอที่จะไม่ถูกพัดพาไปได้โดยกระแสน้ำ

ในการคำนวณหาขนาดของหินที่จะใช้นั้นสามารถหาได้หลายวิธีโดยมีสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของหินที่เหมาะสมดังนี้

สูตรในการคำนวณหาขนาดของหินปิดทับหน้าตลิ่ง

$$d = \frac{CV^2}{g(s-1)\Omega}$$

d = ขนาดของหิน (m.)

V = ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)

g = $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.65

C = 0.3 (low turbulence) เช่นกระแสน้ำทั่วไป

= 0.7 (high turbulence) เช่น คลื่นจากเรือ

= 1.3 (jets) เช่น กระแสน้ำจากใบพัดเรือขนาดใหญ่ หรือการเปิดประตูน้ำหรือเขื่อนอย่างกะทันหัน

$$\Omega = \left[1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi} \right]^{1/2} \quad ; \alpha = \text{Angle of bank}$$

$$; \phi = \text{Friction angle}$$

ตัวอย่าง

$$\text{ที่ } V = 2.5 \text{ m/s}$$

ความชันของโครงสร้างปิดทับหน้า 1 : 2.5

$$\alpha = 21.8^\circ$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$\Omega = 0.762$$

$$d = \frac{C \times 2.5^2}{9.81 (2.65-1) \times 0.762} = 0.507C$$

จะได้

$$d = 0.15 \text{ m. สำหรับ low turbulence}$$

$$= 0.35 \text{ m. สำหรับ high turbulence}$$

$$= 0.66 \text{ m. สำหรับ jets}$$

สมการของเบอร์รี่ (Berry's Equation)

$$\delta = 0.04139V^2$$

โดย

$$\delta = \text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม (เมตร)}$$

$$V = \text{ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)}$$

ตัวอย่างเช่น ที่ความเร็วของกระแสน้ำ 2.50 เมตรต่อวินาทีจะได้

$$\delta = 0.04139 (2.5)^2 = 0.2587 \text{ m}$$

สมการของมาวิสและลอซซี่ (Mavis and Laushey)

$$\delta = 0.04V^2/(S-1)$$

โดย

$$\delta = \text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม (เมตร)}$$

$$V = \text{ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)}$$

$$S = \text{ความถ่วงจำเพาะของหินเท่ากับ 2.65}$$

ตัวอย่างเช่น ที่ความเร็วของกระแสน้ำ 2.50 เมตรต่อวินาทีจะได้

$$\delta = 0.04 (2.5)^2 / (2.65-1) = 0.1515 \text{ m}$$

หรืออาจหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{66(vn)^2}{R^{1/3}} \quad (\text{บนพื้นราบ})$$

$$\text{เมื่อ } \delta = \text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม (เมตร)}$$

$$V = \text{ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)}$$

$$n = \text{Manning Roughness Coefficient}$$

R = ความลึกเฉลี่ยชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) (เมตร)
 $= A/P$
 A = พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (Cross Section) (m^2)
 P = ผลรวมความยาวของด้านที่สัมผัสน้ำ (m)

สำหรับพื้นเอียงจะปรับค่าโดยการหารด้วย Reduction Factor, F

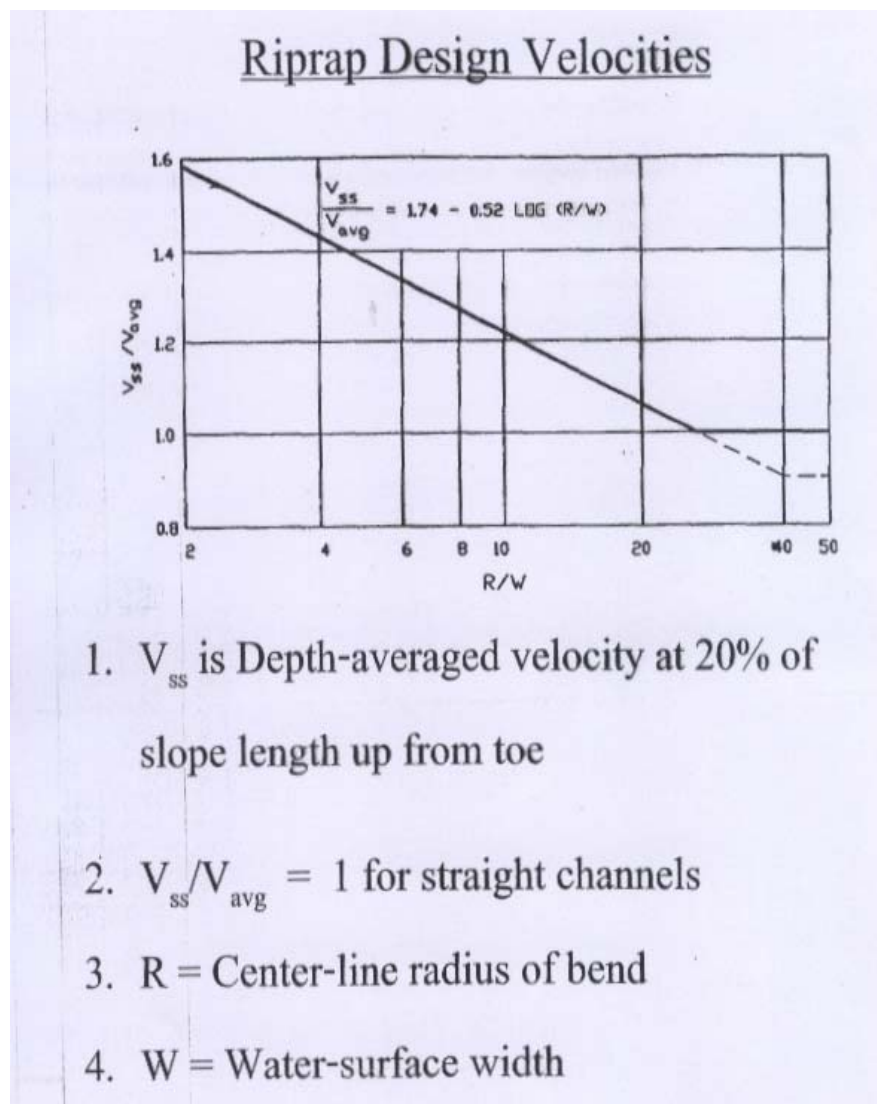
$$\text{โดย } F = 1 - \left(\frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \phi} \right)^{1/2}$$

เมื่อ ความลาดเอียงของเขื่อน (ตั้ง : ราบ) = $x : y$

$$\sin \beta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

ϕ = มุมเสถียรตามธรรมชาติของวัสดุ

การหาความเร็วของกระแสน้ำเพื่อใช้คำนวณหาขนาดหินสำหรับชั้นหินเรียง



ตัวอย่าง

สมมติ

$$\begin{aligned} R &= 200 \text{ m.} \\ W &= 20 \text{ m.} \\ R/W &= 10 \end{aligned}$$

จากกราฟจะได้

$$\begin{aligned} V_{ss}/V_{avg} &= 1.2 \\ V_{ss} &= 1.2V_{avg} \end{aligned}$$

การคำนวณหาขนาดหินสำหรับชั้นหินเรียง

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_T d \left[\left(\frac{\gamma_w}{\lambda_s - \lambda_w} \right)^{1/2} \frac{V}{\sqrt{K_1 g d}} \right]^{2.5}$$

โดย

- g = Gravitational constant, 9.81 m/s^2
- D_{30} = Stone size of which 30% finer by weight
- S_f = Safety factor (minimum = 1.1)
- C_s = Stability coefficient for incipient failure
 - = 0.30 for angular rock
 - = 0.375 for rounded rock
- C_v = Vertical velocity distribution coefficient
 - = 1.0 for straight channel, inside of bend
 - = $1.283 - 0.21 \log (R/W)$, outside of bend, [=1 for $(R/W) > 26$]
 - = 1.25, downstream of concrete channel
 - = 1.25, end of dikes
- C_T = Thickness coefficient
 - = 1.0 for thickness = $1.5D_{50}$
- d = Local depth of flow
- γ_w = Unit weight of water
- V = Local depth average velocity Use V_{ss} for side slope riprap
- K_1 = Side slope correction factor

Side slope correction factor

$$K_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}}$$

เมื่อ

- K_1 = Side slope correction factor
 θ = angle of side slope with horizontal
 ϕ = angle of repose of riprap material (normally 35 – 40 degree)

ตัวอย่าง

- C_s = 0.30 for angular rock
 C_v = $1.283 - 0.21 \log (R/W)$, outside of bend, Use $R/W = 10$ จะได้
 C_v = $1.283 - 0.21 \log 10$ = 1.083
 C_T = 1.0 for thickness = 1.5D50
 d = 8.00 m.
 γ_w = 1000 kg/m³
 γ_s = 2650 kg/m³
 V = V_{ss} = 1.2 V_{avg}
สมมติ V_{avg} = 2.5 m/s
 V_{ss} = 1.2×2.5 = 3.00 m/s
Slope 1 : 2
 θ = 26.56
 ϕ = 35
 K_1 = $\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}}$
= 0.626
จะได้
 D_{30} = $(SF)(2.6)[(0.7785)(0.428)]^{2.5}$
= $SF \times (0.166)$
ใช้ SF = 1.5
จะได้ D_{30} = 0.25 m.

สำหรับความหนาของชั้นป้องกันการกัดเซาะนั้นไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม (1.5d) ซึ่งโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.0 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม (1.8d – 2d)

สำหรับค่า Manning Roughness Coefficient, n นั้นเป็นค่าเฉพาะของแต่ละลักษณะของลำน้ำซึ่งสามารถหาได้โดยประมาณจากตารางต่อไปนี้

Manning Roughness Coefficient, n	
<u>Major Rivers (Width more than 50 m.)</u>	
1. Straight, Alluvial, sand	0.020-0.040
2. Straight, gravel	0.020-0.045
3. Irregular section	0.035-0.0100
<u>Minor Streams (Width less than 30m.)</u>	
1. Straight, short grass	0.025-0.035
2. Pasture, high grass	0.030-0.050
<u>Floodplains</u>	
1. Pasture, short grass	0.025-0.035
2. Winding, irregular	0.035-0.060
3. Cultivated, no crop	0.020-0.040
4. Cultivated, field crop	0.030-0.050
5. Light, scattered bush	0.035-0.070
6. Medium to dense bush	0.070-0.160
7. Trees land, stumps	0.050-0.080
8. Heavy stand trees	0.080-0.120
<u>Excavated Channel</u>	
1. Earth , recently completed	0.016-0.020
2. Earth with grass	0.018-0.033
3. Rock, smooth	0.025-0.040
4. Rock, jagged	0.035-0.050

การหาค่าความเร็วของกระแส น้ำ Estimation of mean flow velocity by Manning's equation (SI unit)

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

เมื่อ

n

V = mean flow velocity (m./s)

R = Hydraulic radius (m.)

= $\frac{\text{Cross sectional area (m.}^2\text{)}}{\text{Wetted perimeter (m.)}}$

S = Energy gradient

= Bed gradient under uniform flow

n = Manning's coefficient of roughness

ตัวอย่าง

สมมติ n = 0.045

s = bed slope = 1/5000

$$\text{Cross sectional area} = 100 \text{ m}^2$$

$$\text{Wetted perimeter} = 14 \text{ m.}$$

$$R = 100/14 = 7.14$$

จะได้

$$V = \frac{[(7.14)^{2/3} * (1/5000)^{1/2}]}{0.045} = 1.17 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาค่า Hydraulic roughness สำหรับชั้นป้องกันการกัดเซาะชนิดหินเรียง (riprap)

$$n = K (D_{90})^{1/6}$$

โดย

$$n = \text{Hydraulic roughness}$$

$$K = 0.034$$

$$D_{90} = \text{Size of which 90\% of sample is fines, (ft)}$$

ตัวอย่าง

$$\text{สมมติ } D_{90} = 40 \text{ cm.}$$

$$= 1.33 \text{ ft.}$$

$$\text{จะได้ } n = 0.034 (1.33)^{1/6}$$

$$= 0.036$$

การคำนวณหาขนาดของหินจากกราฟ

ตัวอย่าง

$$\text{ความเร็วของกระแสน้ำ} = 2.5 \text{ m./s.}$$

$$= 8.34 \text{ f./s.}$$

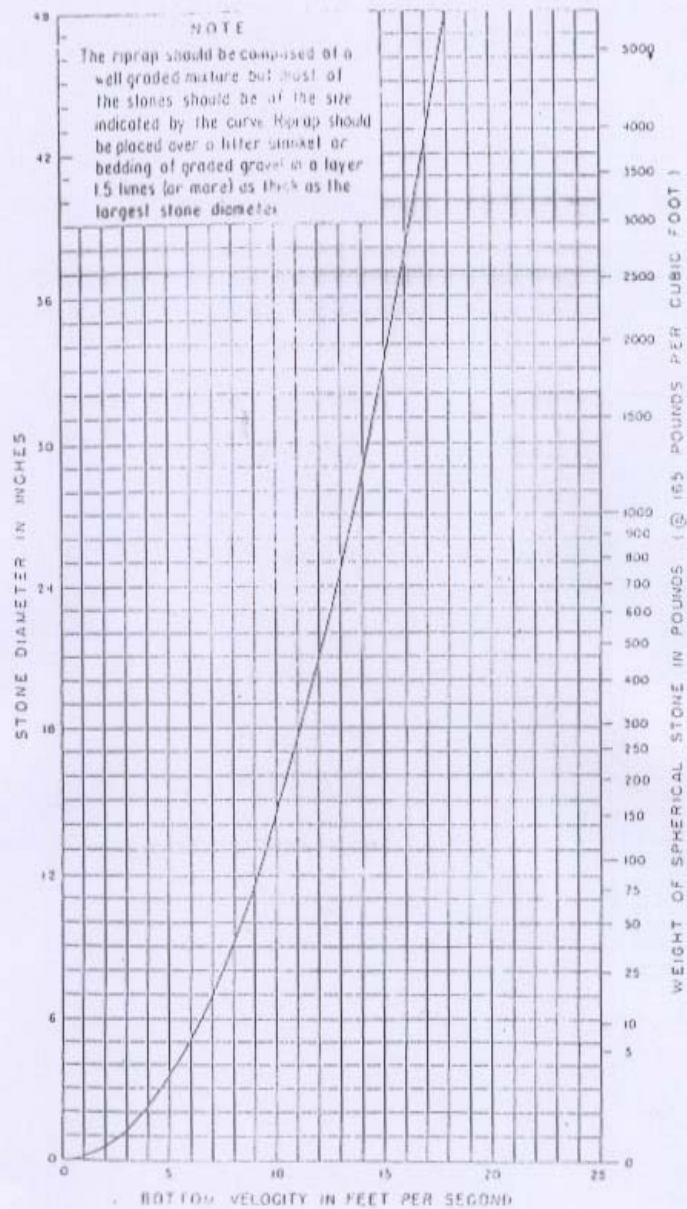
$$\text{จากกราฟได้ขนาดของหิน} = 10"$$

$$= 25 \text{ cm.}$$

$$\text{ความหนาของชั้นหินเรียง} = 1.8d - 2d$$

$$\text{ใช้ความหนาของชั้นหินเรียง} = 2d$$

$$= 2 * 25 = 50 \text{ cm.}$$

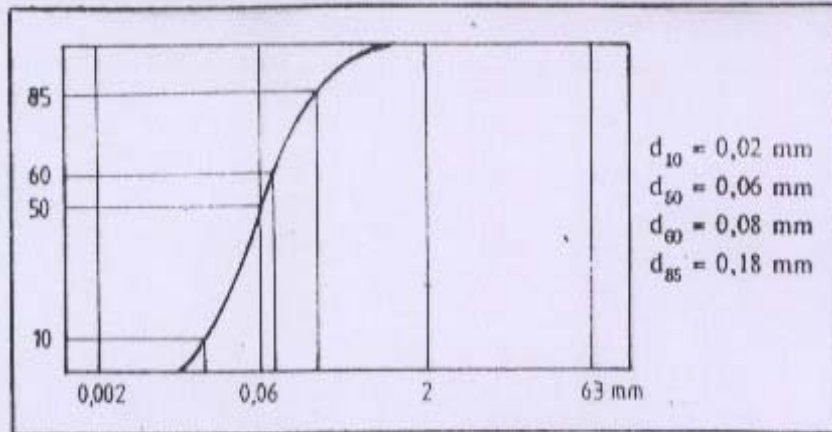


SOURCE : HYDRAULIC DESIGN OF STILLING BASINS AND ENERGY DISSIPATORS
P. 209, U. S. B. R.

CURVE TO DETERMINE MAXIMUM STONE SIZE IN RIPRAP
MIXTURE

ตัวอย่าง (การเลือกแผ่นใยสังเคราะห์)

กำหนดให้ดินเดิม(Sub soil) มีคุณสมบัติดังนี้



และความเร็วกระแสน้ำ = 2.5 m/s

Soil permeability = 0.0005 cm/s

a) Check Effective pore size (d_w)

$$U \text{ หรือ } C_u = d_{60}/d_{10} = 0.06/0.02 = 3$$

$$d_{85}/d_{50} = 0.18/0.06 = 3$$

จากตาราง 1 จะได้

$$d_w < 1.8d'_{50} = 1.8 \times 0.06 = 0.108 \text{ mm.}$$

จากตารางเลือกใช้ TS700

b) Check the Hydraulic filter stability .

$$k_g > t_g * k_s / 5 / d_{50}$$

$$> 2.6 * 0.0005 / 5 / 0.06$$

$$> 0.00433 \quad \text{cm/s}$$

จากตาราง TS 700 มีค่า $k_g = 0.4 \text{ cm/s}$

โดย

t_g = Thickness of geotextile

k_s = Soil permeability

	$d_{85}/d_{50} < 2$	$d_{85}/d_{50} < 4$	$d_{85}/d_{50} > 4$
$C_u < 3$	$D_w \leq 1,0 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 1,5 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 1,5 \cdot d_{50}$
$C_u < 6$	$D_w \leq 1,5 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 1,8 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 1,8 \cdot d_{50}$
$C_u > 6$	$D_w \leq 1,0 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 1,6 \cdot d_{50}$	$D_w \leq 2,0 \cdot d_{50}$

Table 1: Filter criteria for noncohesive soils in turbulent currents

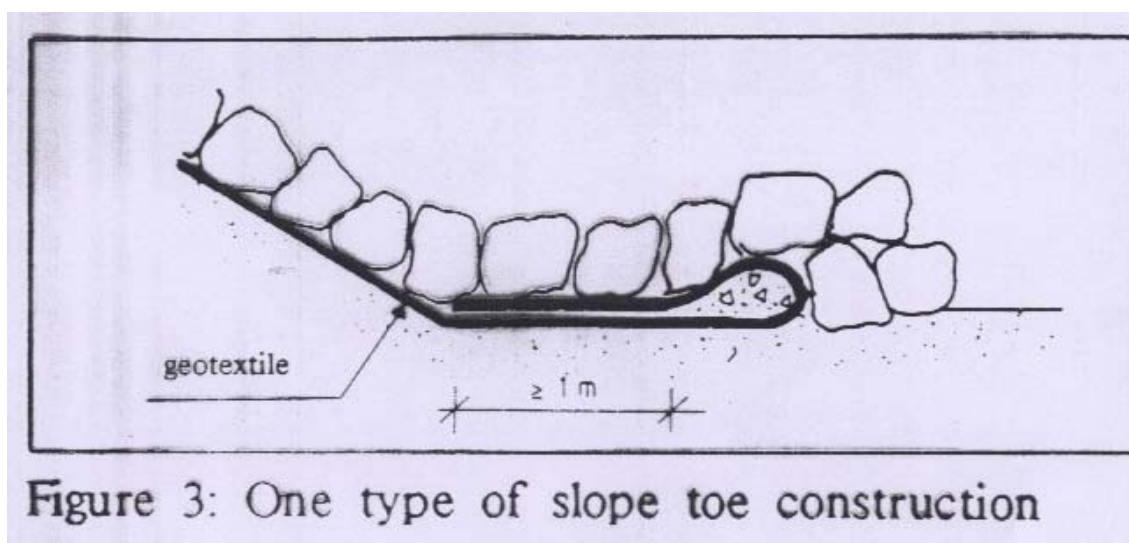
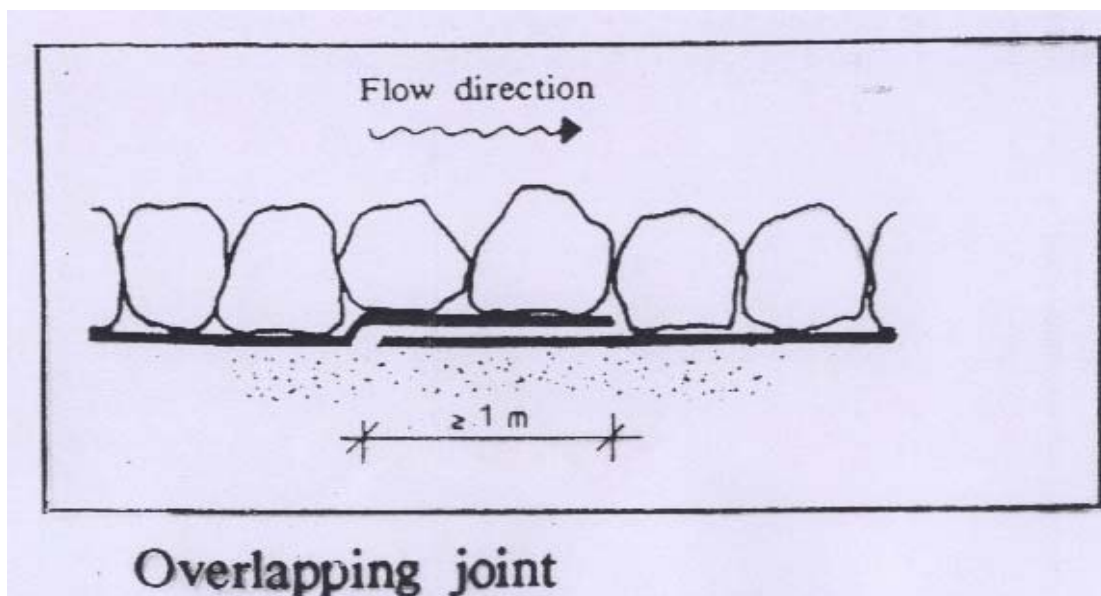
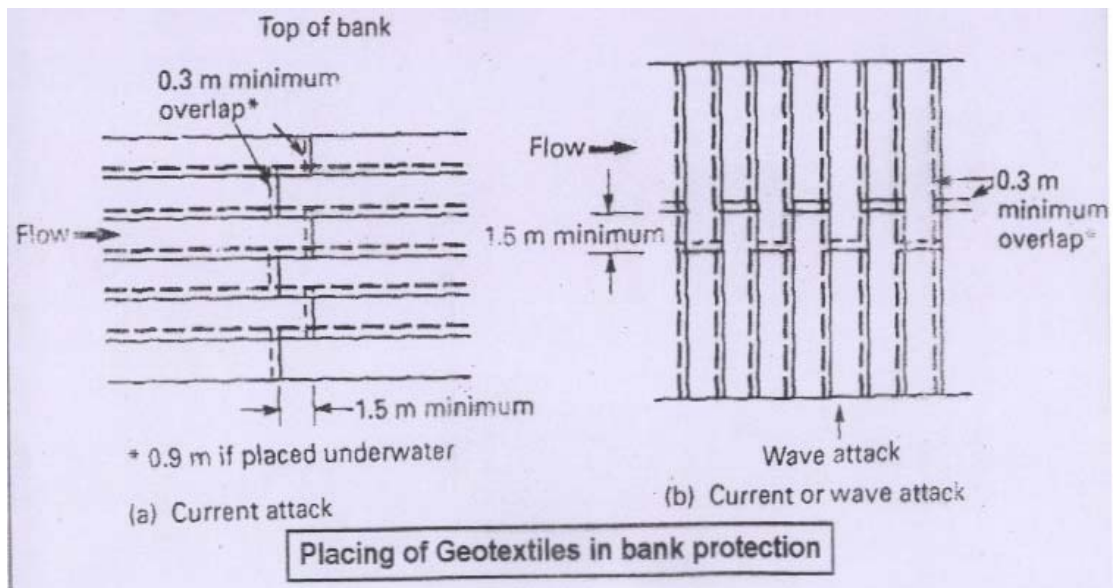
Mechanical specifications		Polyfelt – standard grades				
	dimension	TS 500	TS 600	TS 700	TS 750	TS 800
mass	g/m ²	140	200	280	350	400
thickness under 0.02 bar 1.00 bar 2.00 bar	mm	1.50 0.70 0.60	2.00 0.95 0.75	2.60 1.30 1.00	3.00 1.55 1.25	3.30 1.80 1.45
pore number e under 0.02 bar (0.2 N/cm ²)	–	8.8	8.1	7.4	6.8	6.5
CBR-Test (X-s)	N	1350	1800	2600	3000	3400
strip tensile strength	N/5 cm	450	640	900	1050	1150
strip tensile strength	N/5 cm	430	600	860	1000	1100
extension at break	%	50–80	50–80	50–80	50–80	50–80
minimum extension at 30% of strip tensile strength	%	20	20	20	20	20
grab strength	N	510	760	1080	1320	1500
grab strength	N	590	880	1200	1400	1600
grab elongation	%	50–80	50–80	50–80	50–80	50–80
tear strength	N	180	275	365	420	500
cone penetration test average value of diameter	mm	15.4	12.0	10.0	8.1	7.2

Hydraulic specifications

effective pore size Dw	mm	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07
vertical to the plane k-value under: 0.02 bar 1.00 bar 2.00 bar	cm/s (x10 ⁻²)	50 10 6	50 10 6	50 10 6	40 10 6	40 10 6
lateral within the plane k-value under: 0.02 bar 1.00 bar 2.00 bar	cm/s (x10 ⁻²)	100 20 10	100 20 9	90 10 9	80 10 9	80 10 8
vertical to the plane water permeability Q 10cm head under: 0.02 bar 1.00 bar 2.00 bar	l/s x m ²	330 140 118	250 110 80	190 80 58	130 65 55	120 60 52

Geotextiles Nonwoven

Property	Units	160N	170N	180N	1100N	1120N	1160N
MECHANICAL PROPERTIES							
Wide width tensile strength							
BS 6906 : Part 1 : 1987, ASTM D4595 : 1986							
Mean peak strength	kN/m	13.5	16.0	18.5	23.0	27.0	34.0
Extension at peak strength	%	50%	50%	60%	60%	60%	70%
CBR puncture							
BS 6906 : Part 4 : 1989, DIN 54307							
Mean peak strength	N	2,250	2,650	3,000	3,750	4,300	5,800
Extension at peak strength	%	40%	40%	40%	45%	45%	50%
Grab tensile							
ASTM D4632 : 1991							
Mean peak strength	N	800	900	1,000	1,200	1,500	1,900
Extension at peak strength	%	55%	55%	55%	60%	60%	60%
Trapezoidal tear resistance							
ASTM D4533 : 1991							
Mean peak strength	N	350	400	450	500	575	725
Drop cone							
BS 6906 : Part 6 : 1990							
D_{500}	mm	18	17	15	10	8	5
HYDRAULIC PROPERTIES							
Pore size							
BS 6906 : Part 2 : 1989							
AOS - Q_{90}	mm	0.085	0.065	<0.059	<0.059	<0.059	<0.059
CEN TC189 : 1995							
AOS - Q_{90}	mm	0.110	0.110	0.110	0.100	0.100	0.100
Water permeability							
BS 6906 : Part 3 : 1989							
Q_{100}	L/m ² .sec	220	210	200	190	180	130
PHYSICAL PROPERTIES							
Mass per unit area							
EN 965 : 1995, ASTM D5261 : 1992							
	g/m ²	200	240	280	340	410	540
Thickness							
EN 964 : 1995, ASTM D5199 : 1991							
	mm	2.0	2.4	2.7	3.4	4.0	5.4
Roll width							
	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Roll length							
	m	200	100	100	100	100	50
Roll weight							
	kg	165	100	115	140	170	115



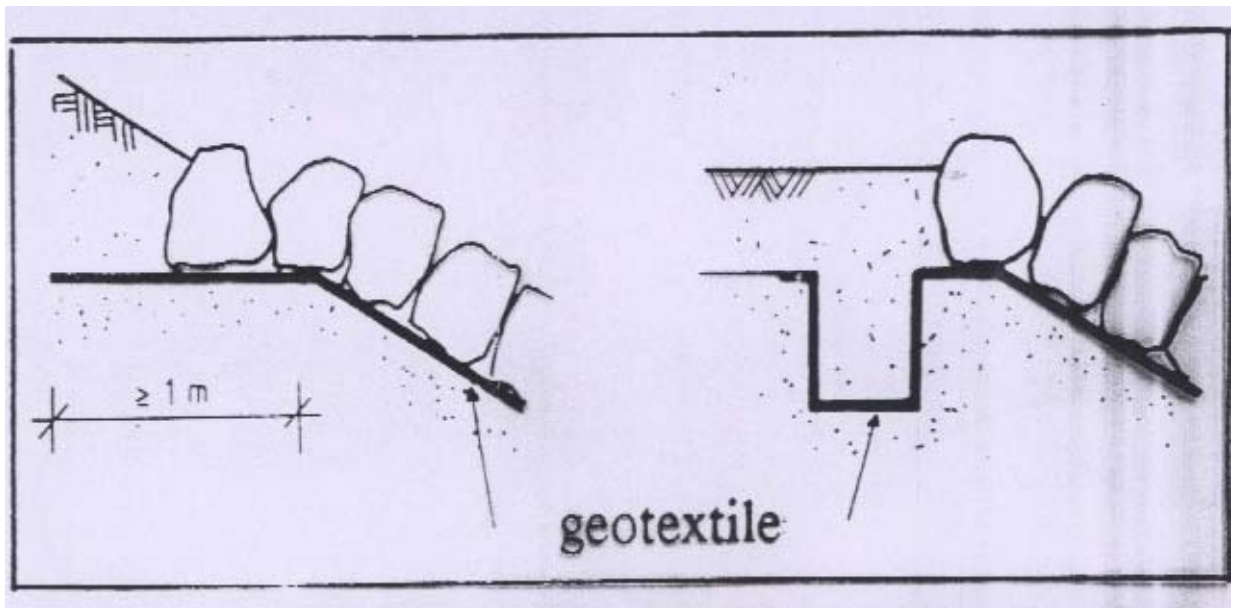
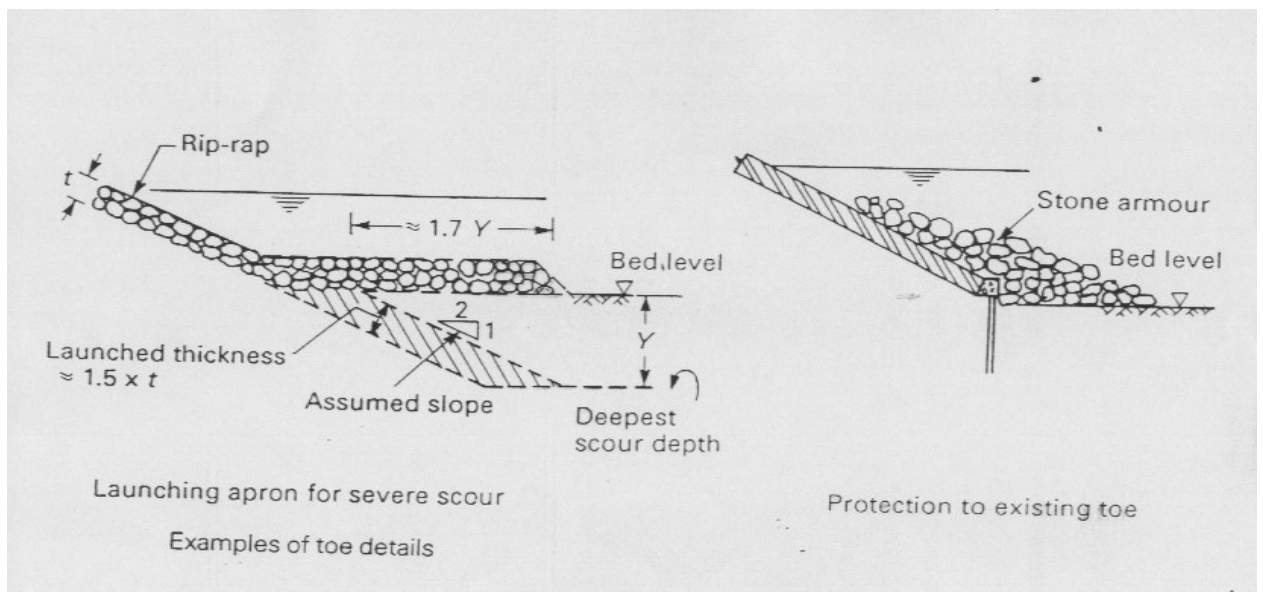


Figure : Examples of anchoring methods of the geotextile at the top of the slope

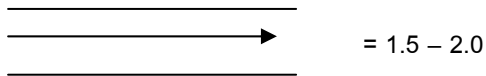


Scoured depth in non-cohesive soil

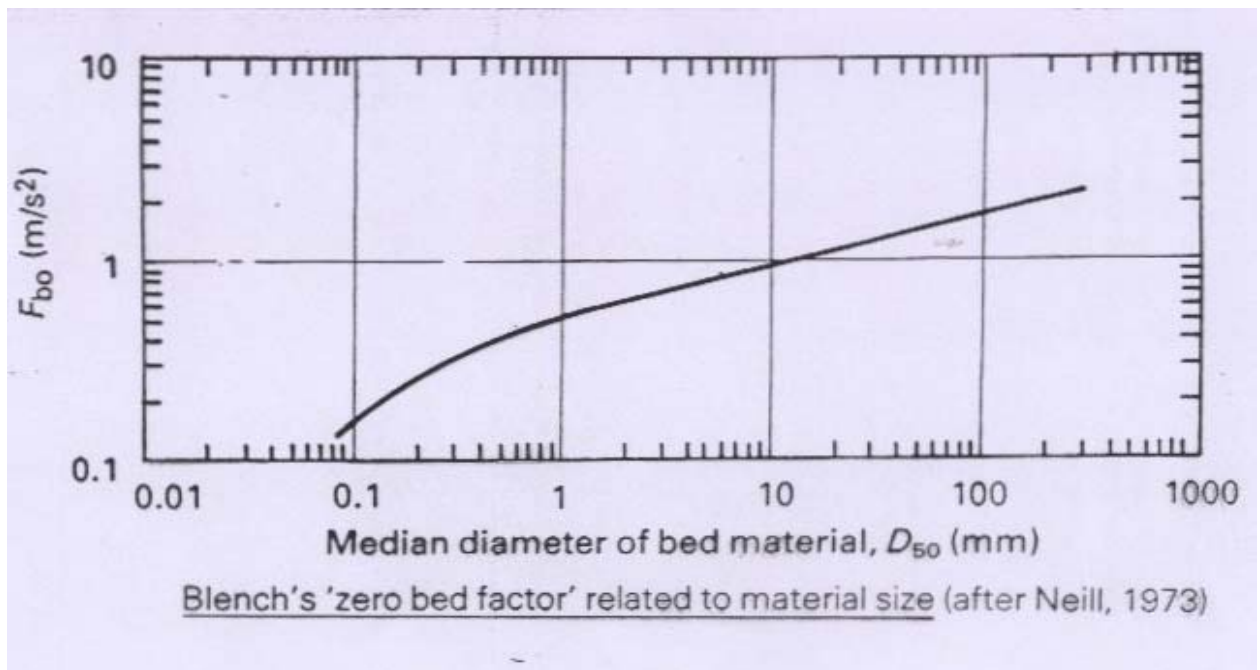
$$d_{\max} = Z \left(\frac{q^2}{F_{bo}} \right)^{1/3}$$

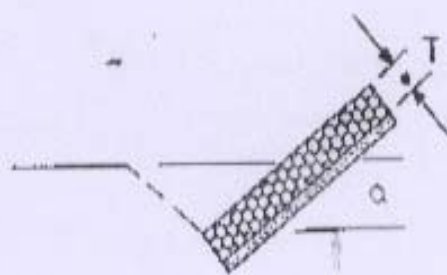
Where

- F_{bo} = Zero bed factor (from graph)
 q = Local discharge intensity ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}.\text{width}$)
 Z = Flow pattern factor

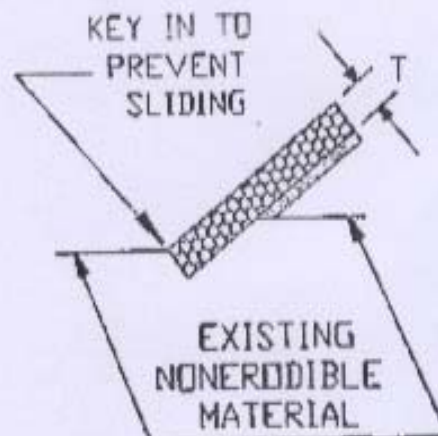


$D_{\max}$ = Maximum scoure depth (m.) (วัดจากระดับน้ำ)

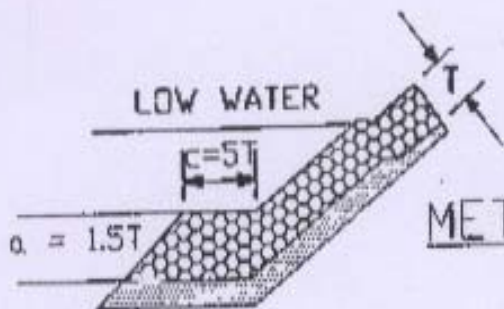




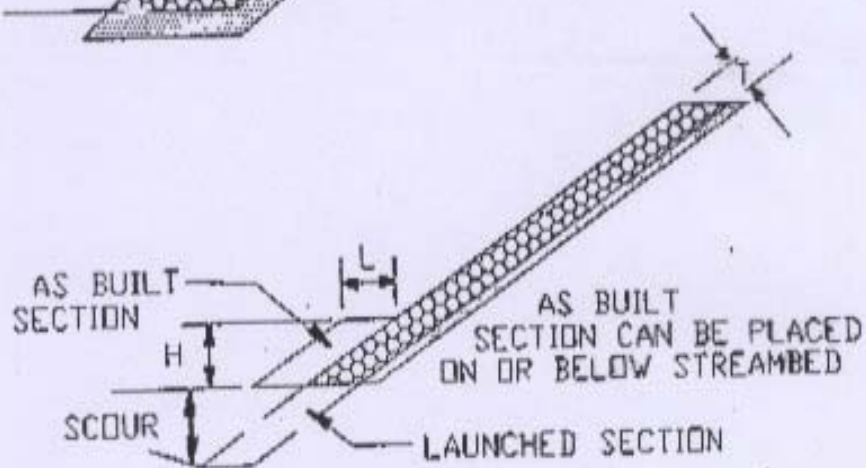
METHOD A



METHOD B



METHOD C



METHOD D

 RIPRAP

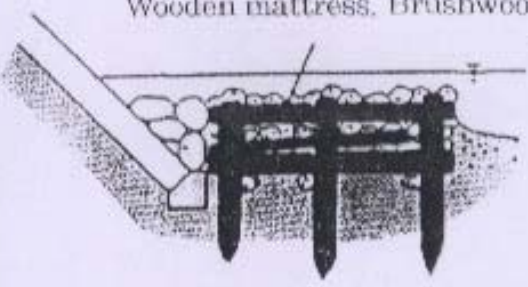
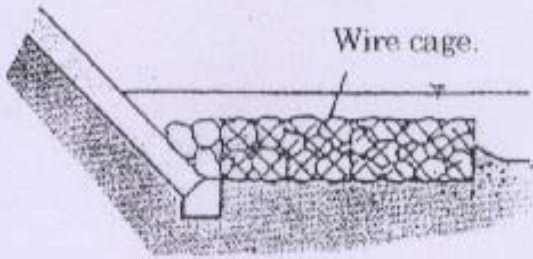
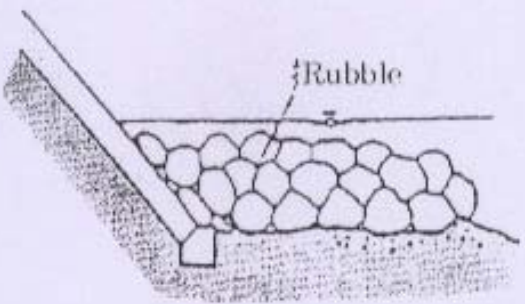
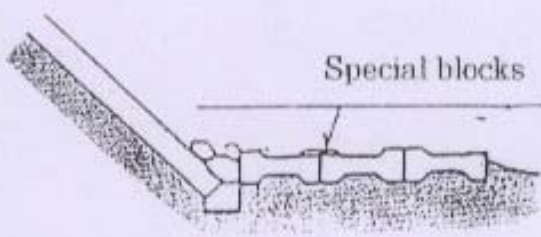
 GRANULAR FILTER OR
BEDDING OVER
FILTER FABRIC

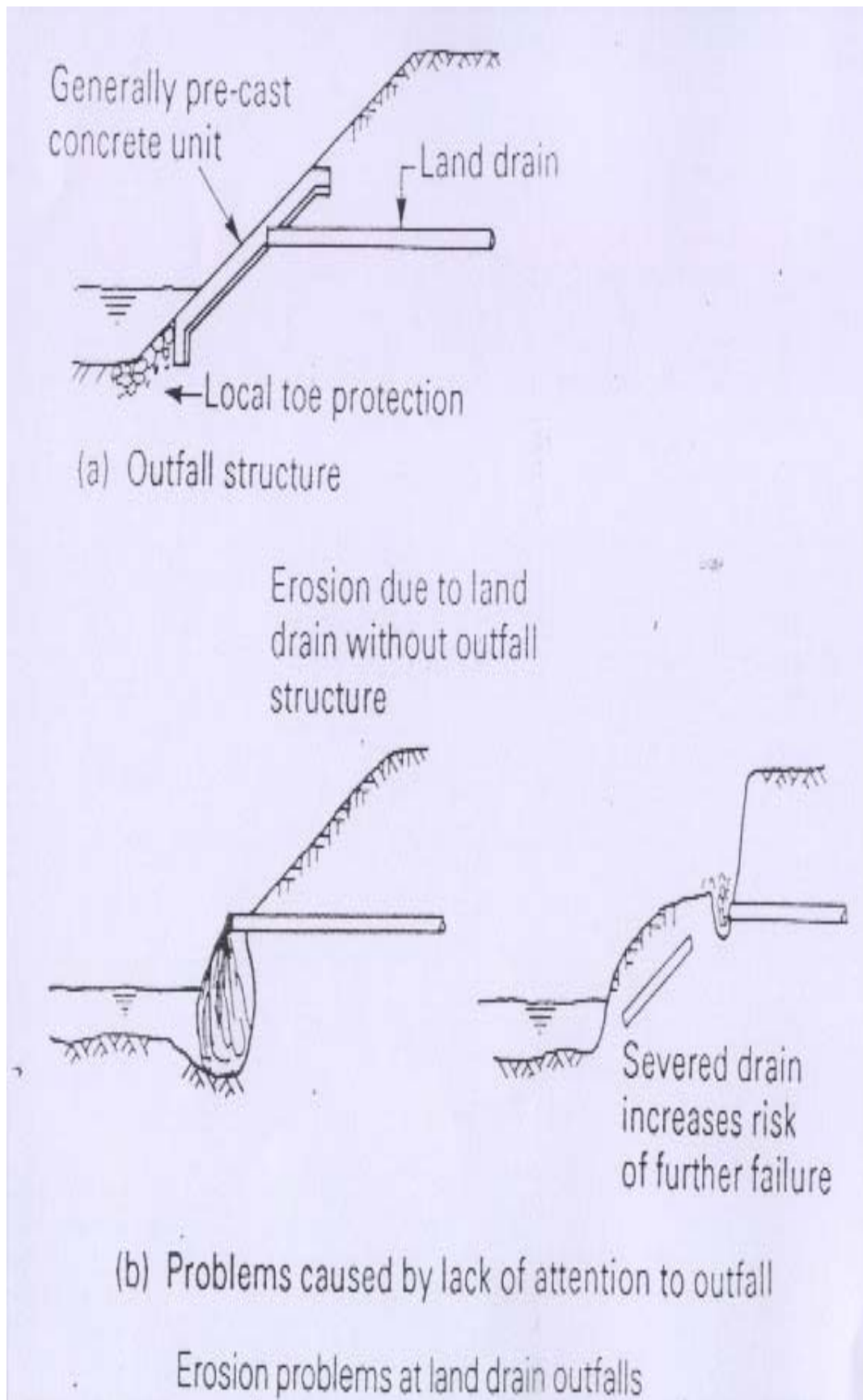
REVELMENT TOE
PROTECTION

Increase in Stone Volume for Riprap Launching Sections		
Vertical Launch Distance, ft ¹	Volume Increase Percent	
	Dry Placement	Underwater Placement
≤ 15	25	50
> 15	50	75
Note : ¹ From bottom of launch section to maximum scour.		

ตัวอย่าง การคำนวณเสาเข็มเชื่อมป้องกันตลิ่งแบบ Anchored Wall โดยวิธี FREE
EARTH SUPPORT
กำหนดให้เสาเข็มกว้าง 0.30 ม. ทุกระยะ 1.00 ม.
หาตำแหน่งสมดุลของแรงดันดิน (ระยะ Z จาก Dredge Line) :

Types of Foot Protection

	Concept Diagram of Construction Method
Wooden Type	Wooden mattress, Brushwood etc 
Basket Type	Wire cage 
Rubble Type	Rubble 
Block Type	Special blocks 



1.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดตอกเข็ม

การก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียงในลำน้ำที่แคบหรือตลิ่งมีความสูงชันมาก อาจไม่เป็นการเหมาะสมเนื่องจากลาดของตัวเขื่อนจะยื่นล้ำเข้าไปในลำน้ำมาก ทำให้เกิดปัญหาในการใช้ลำน้ำได้ วิธีแก้ปัญหามีวิธีหนึ่ง คือ เลือกใช้เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง เอกสารนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งเบื้องต้น โดยในส่วนแรกจะกล่าวถึงการจำแนกประเภทต่าง ๆ ที่กระทำกับตัวเขื่อน เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และออกแบบต่อไป สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งในเอกสารส่วนนี้จะกล่าวเฉพาะเขื่อนแนวตั้งที่นิยมใช้สองแบบข้างต้น ซึ่งการศึกษารูปแบบการวิบัติของโครงสร้างเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง เมื่อทราบกลไกของการวิบัติแล้ว ผู้ออกแบบสามารถวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรงได้ต่อไป

1.2.1 แรงที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง

การก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง เป็นการขัดต่อธรรมชาติเนื่องจากการก่อสร้างตลิ่งให้มีความชันสูงกว่าความชันธรรมชาติของตัวตลิ่งเอง ดังนั้นเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดนี้จึงต้องต้านทานแรงกระทำที่สูงกว่าเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอื่น กล่าวคือ นอกจากจะต้องต้านทานแรงเนื่องจากการกัดเซาะรูปแบบต่าง ๆ แล้ว เขื่อนชนิดนี้ยังต้องต้านทานแรงเนื่องจากแรงดันดินและน้ำ ดังนั้นราคาก่อสร้างเขื่อนชนิดนี้จึงสูงกว่าเขื่อนชนิดอื่น สำหรับแรงที่กระทำกับเขื่อนชนิดแนวตั้งนี้ ได้แก่

- (1) แรงดันดินด้านข้าง เป็นแรงกระทำในแนวราบ ประกอบด้วย แรงดันดิน เชิงรุก (active earth pressure) และแรงดันดินเชิงรับ (passive earth pressure)
- (2) แรงดันเนื่องจากน้ำ เป็นได้ทั้งแรงในแนวราบและแรงในแนวตั้ง
- (3) น้ำหนักบรรทุกจรด้านหลังเขื่อน
- (4) น้ำหนักของตัวเขื่อน
- (5) แรงกัดเซาะเนื่องจากกระแสน้ำ คลื่น และอื่น ๆ
- (6) แรงเนื่องจากการไหลของน้ำในมวลดิน
- (7) แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

จะเห็นว่าแรงที่กระทำกับตัวเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งนี้จะคล้ายคลึงกับแรงที่กระทำกับกำแพงกันดินทั่วไป ต่างกันที่เขื่อนป้องกันตลิ่งจะต้องต้านทานแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกไฮดรอลิก (Hydraulic loading) อันได้แก่ แรงจากกระแสน้ำและคลื่น รวมทั้งต้องมีการคำนึงถึงผลของการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ

1.2.2 แรงดันดินด้านข้าง (lateral earth pressure)

แรงดันดินด้านข้าง เป็นแรงในแนวราบ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\sigma_h' = K \sigma_v' \quad (1.2-1)$$

เมื่อ σ_h' เป็นหน่วยแรงดันดินด้านข้างประสิทธิผล

σ_v' เป็นหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง

และ K คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดิน หรือ earth pressure coefficient ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ดินไม่เกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ

สัมประสิทธิ์แรงดันดินในกรณีนี้จะเป็นสัมประสิทธิ์แรงดันดินหยุดนิ่ง หรือ Coefficient of at-rest earth pressure (K_0) ตัวอย่างการหาค่า (K_0) ของดินประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ดินทราย (granular soil)

$$(K_0) = 1 - \sin\phi' \quad (1.2-2)$$

เมื่อ ϕ' คือ มุมเสียดทานภายในของดิน

ดินเหนียวรืบน้ำหนักบรรทุกทุกปกติ (normally consolidated clay)

$$K_0|_{nc} = 0.95 - \sin\phi' \quad (1.2-3)$$

ดินที่เคยรืบน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าปัจจุบัน (Over consolidated clay)

$$K_0 = K_0|_{nc} \sqrt{OCR} \quad (1.2-4)$$

เมื่อ OCR คือ อัตราการรับแรงกดในอดีตเทียบกับปัจจุบัน (over-consolidation ratio)

กรณีที่ 2 ดินมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบ

สัมประสิทธิ์แรงดันดินในกรณีนี้จะเป็นสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรุก หรือ Coefficient of active earth Pressure (K_a) โดยทั่วไปสัมประสิทธิ์ K_a จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

กรณีที่ 3 ดินมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้เกิดการหดตัวในแนวราบ

สัมประสิทธิ์แรงดันดินในกรณีนี้จะเป็นสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรับ หรือ Coefficient of passive earth

Pressure (K_p) โดยทั่วไปสัมประสิทธิ์ K_p จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรุกและแรงดันดินเชิงรับที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีของ Coulomb และ วิธีของ Rankine สำหรับวิธีของ Coulomb เป็นวิธีที่พิจารณาผลของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างกำแพงและดิน ซึ่งเหมาะกับกำแพงประเภท gravity wall ที่มีรูปร่างซับซ้อน (complex geometry) ส่วนวิธีของ Rankine เป็นวิธีการวิเคราะห์แรงดันดินที่ง่ายกว่า เนื่องจากไม่ได้พิจารณาแรงเสียดทานระหว่างกำแพงและดิน ซึ่งเหมาะสำหรับกำแพงในแนวดิ่ง มีพื้นผิวเรียบและมีชั้นดินหลาย ๆ ชั้น

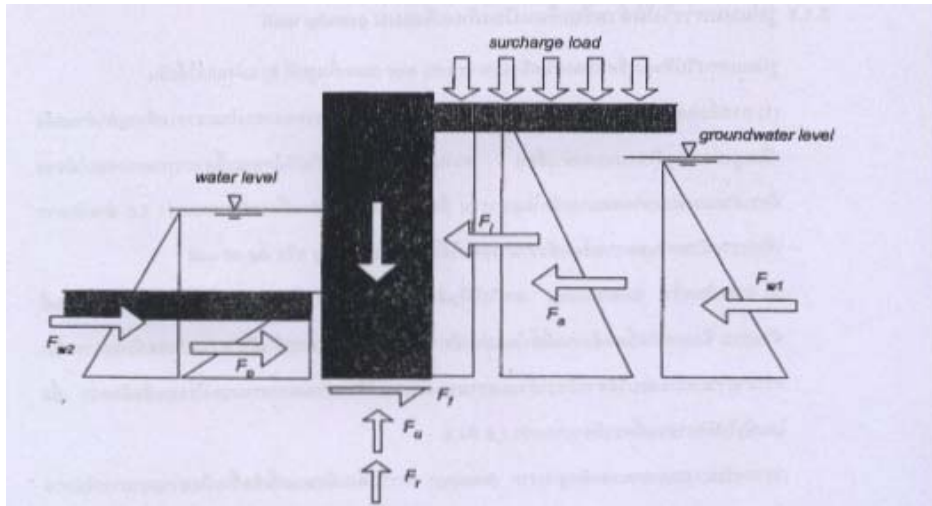
1.2.3 การวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวดิ่งรูปแบบที่นิยมใช้สองรูปแบบ คือ เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity wall และ sheet-piling wall

(1) การวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity wall

เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity wall เป็นเขื่อนที่อาศัยน้ำหนักตัวเองต้านแรงดันดินด้านหลัง เขื่อนวัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีหน่วยความหนาแน่นสูง รวมทั้งมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น คอนกรีต อิฐก่อ และ ก่อลงลอยตาข่ายเกเบียน เป็นต้น

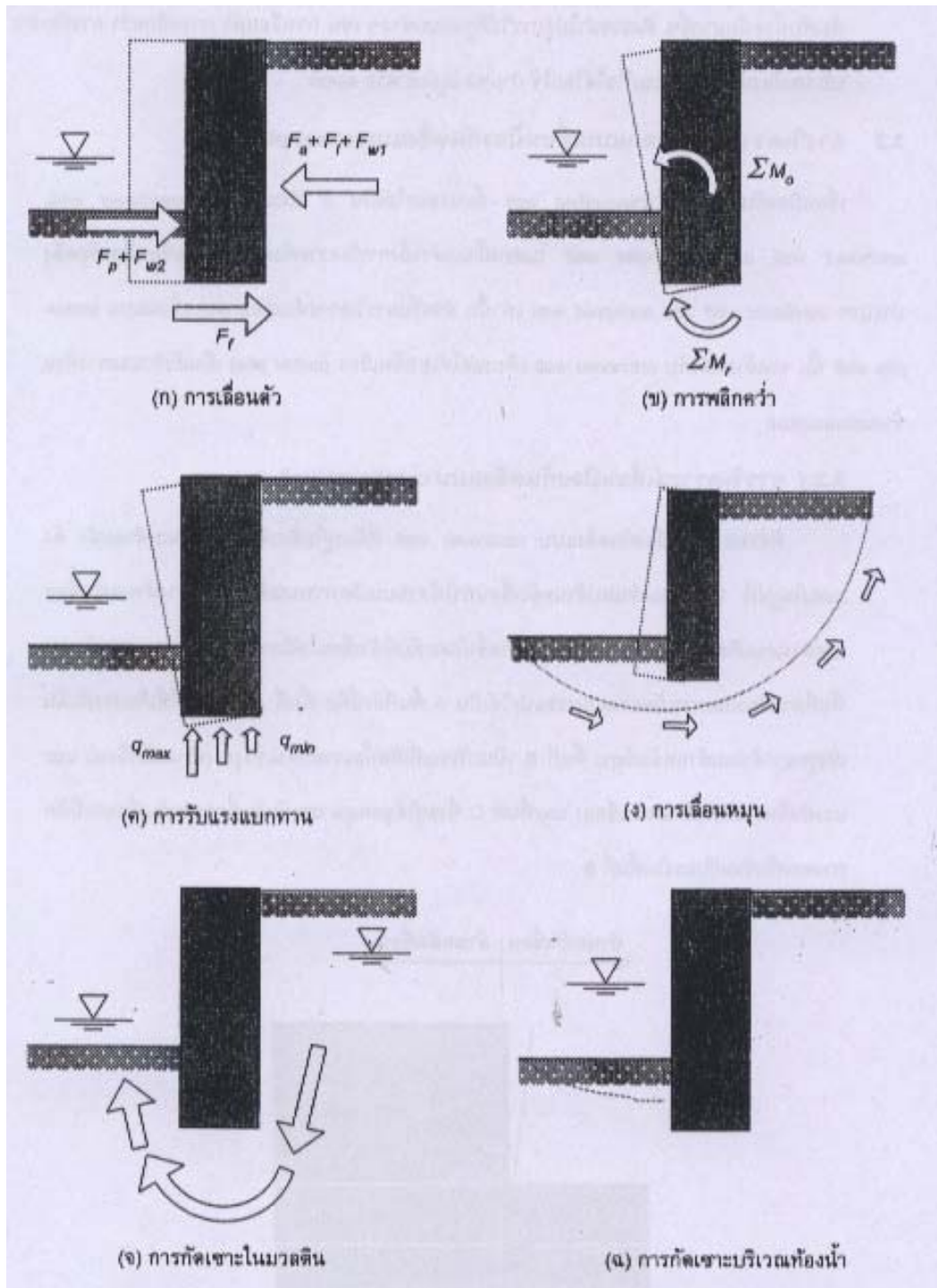
คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในการก่อสร้างเขื่อนประเภทนี้ แต่ในบางสภาวะการหล่อคอนกรีตอาจทำได้ลำบาก เช่น การก่อสร้างใต้น้ำ ซึ่งอาจต้องทำ Cofferdam แล้วสูบน้ำออก ทำให้ราคาก่อสร้างสูง การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้คอนกรีตสำเร็จรูปหรือเลือกวัสดุชนิดอื่น สำหรับการใช้ หิน อิฐก่อ หรือก่ออิฐยาแนว ซึ่งเป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้ต่ำ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องออกแบบรูปแบบและขนาดของเขื่อนที่ไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในตัวเขื่อน แรงและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับตัวเขื่อนประเภทนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 : ภาพแสดงแรงและน้ำหนักรรทุกที่กระทำกับตัวเขื่อน

แรงที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ gravity wall	
น้ำหนักของตัวเขื่อน	W
แรงดันเชิงรับด้านหลังเขื่อน	F_a
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_p
น้ำหนักของตัวเขื่อน	F
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_{w1}
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_{w2}
น้ำหนักของตัวเขื่อน	F_u
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_r
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_f

รูปที่ 5 : แรงและน้ำหนักรรทุกที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity wall



รูปที่ 6 : แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity wall

- รูปแบบการวิบัติของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ gravity wall (แสดงในรูปที่ 6) แบ่งออกได้เป็น

(1.1) การเลื่อนตัว (Sliding) การวิบัติในลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อผลรวมของแรงในแนวราบที่กระทำด้านหลังเขื่อนสูงกว่าแรงต้านทานของตัวเขื่อน ความปลอดภัยต่อการวิบัติลักษณะนี้สามารถตรวจสอบได้จากอัตราส่วนแรงต้านทานต่อแรงผลักดันในแนวราบ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนนี้ควรมีค่ามากกว่า 1.5 สำหรับการเพิ่มความต้านทานต่อการเลื่อนตัวสามารถทำได้โดยใช้ shear key หรือ share key หรือ cut-off wall

(1.2) การพลิกคว่ำ (overturning) การวิบัติในลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเมนต์พลิกคว่ำมีค่าสูงกว่าโมเมนต์ต้านทาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นหลังจากที่น้ำในแม่น้ำมีการลดระดับลงอย่างกะทันหัน ความปลอดภัยต่อการ

พลิกคว่ำสามารถตรวจสอบได้จากอัตราส่วนผลรวมของโมเมนต์ต้านทานต่อผลรวมของโมเมนต์พลิกคว่ำ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนนี้ควรมีค่ามากกว่า 1.5 ถึง 2

(1.3) การรับแรงแบกทานของดินฐานราก (bearing) การวิบัติในลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อความสามารถในการรับแรงแบกทานของดินมีน้อยกว่าแรงดันที่กระทำกับดินฐานราก ความปลอดภัยต่อการวิบัติลักษณะนี้สามารถตรวจสอบได้จากอัตราส่วนความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากต่อแรงดันดินที่เกิดขึ้นสูงสุดในการออกแบบจะให้อัตราส่วนนี้มากกว่า 3 สำหรับการแก้ไขสามารถกระทำได้โดยการขยายขนาดของฐานหรือเสาเข็มช่วย

(1.4) การเลื่อนหมุน (rotational slip) การวิบัติในลักษณะนี้จะเกิดเมื่อมีการลดระดับน้ำในแม่น้ำลงอย่างกะทันหัน หรือมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ฐานราก การตรวจสอบกระทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณเสถียรภาพของความลาดชันเดียวกับเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง

(1.5) การกัดเซาะในมวลดินที่มีลาดระดับน้ำหรือไฮโดรลิกเกรดเตี้ยสูง ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรง การแก้ไขสามารถกระทำได้โดยลดระดับน้ำดังกล่าวลง ซึ่งอาจใช้วิธีการเพิ่มระยะของการซึมผ่าน โดยการเพิ่มระยะในแนวตั้งเช่นการใช้กำแพง cut-off หรือการเพิ่มระยะในแนวราบ เช่น การใช้ apron ก็ได้ การตรวจสอบความปลอดภัยประเภทนี้สามารถตรวจสอบได้จากทฤษฎี weighted-creep ของ Land สำหรับดินฐานรากในแต่ละประเภท

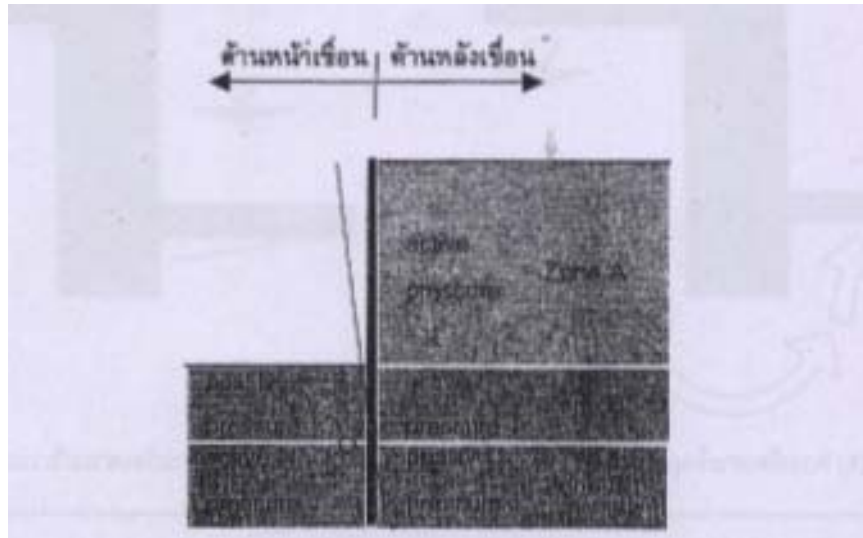
(1.6) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (scour) เป็นการกัดเซาะบริเวณหน้าเขื่อน การกัดเซาะนี้จะทำให้ตัวเขื่อนต้องรับน้ำหนักมากขึ้น อันอาจนำไปสู่การวิบัติรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเลื่อนตัว การพลิกคว่ำ การกัดเซาะ บริเวณท้องน้ำนั้นสามารถแก้ไขได้โดยใช้ กำแพง cut-off หรือ apron

(2) การวิเคราะห์และออกแบบ เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ sheet-piling wall

เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ sheet-piling wall นี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ cantilever wall anchored wall และ batter-pile wall ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ประเภท cantilever wall และ anchored wall เท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนแบบ batterpile wall นั้น จะคล้ายคลึงกับ anchored wall เพียงแต่ให้เสาเข็มเอียง (batter pile) เป็นตัวรับแรงทางด้านข้างแทนแผงเสมอ

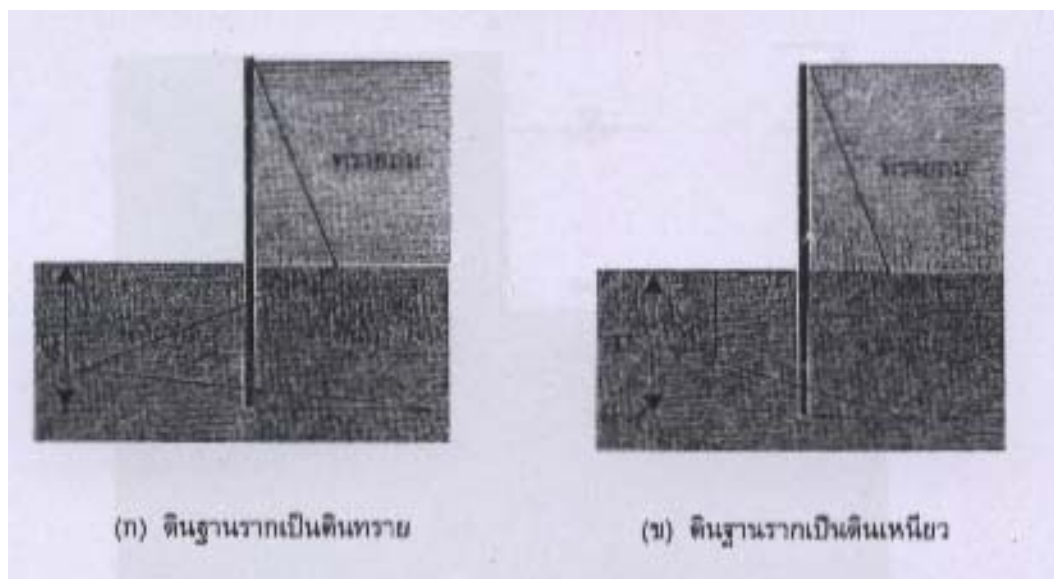
(2.1) การวิเคราะห์เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ cantilever wall

พิจารณาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ cantilever wall ที่ฝังอยู่ในดินเดิมและมีดินถมด้านหลัง ดังแสดงในรูปที่ 7 ผลของดินถมด้านหลังเขื่อนทำให้ส่วนบนเกิดการเบนตัวออกไปทางด้านหน้าเขื่อนและส่วนล่างเกิดการเอียงตัวเข้า จุดหมุนเกิดขึ้นในระดับที่ตัวเขื่อนไม่มีการเคลื่อนที่ (จุด O) ถ้าแบ่งพื้นที่ตามลักษณะการเกิดแรงสามารถแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ดังนี้คือ พื้นที่ A เป็นพื้นที่ที่เกิดแรงดันดินเชิงรุกจากดินถมด้านหลังเขื่อน พื้นที่ B เป็นบริเวณที่เกิดทั้งแรงดันดินเชิงรุก (ด้านหลังเขื่อน) และแรงดันดินเชิงรับ (ด้านหน้าเขื่อน) และพื้นที่ C ซึ่งอยู่ใต้จุดหมุนแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงในพื้นที่ B



รูปที่ 7 : แสดงการกระจายของแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever wall

การกระจายของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นสำหรับเขื่อนที่ฝังอยู่ในดินที่เป็นดินทรายสามารถแสดงได้ด้วยรูป 8ก และฝังอยู่ในดินเดิมที่เป็นดินเหนียวด้วยรูป 2.4 (8ข)



รูปที่ 8 : การกระจายของแรงดันดินของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever wall ที่มีดินฐานรากเป็นดินทรายและดินเหนียว

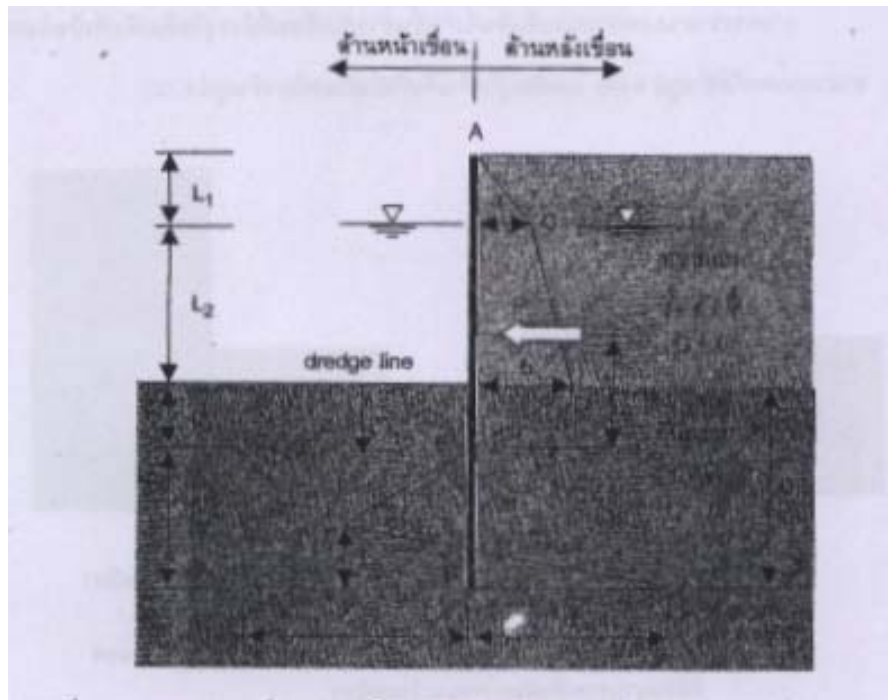
- เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever wall ที่ฝังลงในชั้นดินเดิมหรือดินฐานรากที่เป็นดินทราย

พิจารณาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ cantilever wall ที่ฝังลงในชั้นดินเดิม หรือ ดินฐานรากที่เป็นทราย สมมุติให้ดินเดิมและทรายถมเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน กล่าวคือ มีหน่วยความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับสันเขื่อนเป็นระยะเท่ากับ L_1 หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 5 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า ส่วนของดินที่อยู่เหนือ dredge line หน่วยแรงดันดินด้านหลังเขื่อนเป็นหน่วยแรงดันดินเชิงรุกซึ่งหน่วยแรงดันดินดังกล่าว อันได้แก่ หน่วยแรงดันดิน a และ b และสามารถหาได้จาก

$$a = k_a \gamma L_1 \quad (1.2-5)$$

$$b = k_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (1.2-6)$$

ส่วนดินที่อยู่ใต้ Dredge line แต่อยู่เหนือจุดหมุน หน่วยแรงดันดินเชิงรุก และหน่วยแรงดันดินด้านหน้าเขื่อนเป็นหน่วยแรงดันดินรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินทั้งสองที่ความลึก z ใด ๆ จากการ dredge line สามารถคำนวณได้จาก



รูปที่ 9 : หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นทราย

$$\sigma_a(z) = K_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma' z) = b + K_a \gamma' z \quad (1.2-7)$$

และ $\sigma_p = K_p \gamma' z \quad (1.2-8)$

เมื่อ $\sigma_a(z)$ และ $\sigma_p(z)$ เป็นหน่วยแรงดันเชิงรุกและหน่วยแรงดันเชิงรับที่ความลึก z ใด ๆ จาก dredge line ดังนั้น หน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง dredge line และจุดหมุนสามารถคำนวณได้จากผลต่างของหน่วยแรงดันดิน $\sigma_a(z)$ และ $\sigma_p(z)$ หรือ

$$\sigma(z) = \sigma_a(z) - \sigma_p(z) = b - (K_p - K_a) \gamma' z \quad (1.2-9)$$

สำหรับความลึกที่หน่วยแรงดันดินมีค่าเท่ากับศูนย์ (zero pressure) หรือ ระยะ L_3 ได้ dredge line สามารถคำนวณได้จากการแทนค่าหน่วยแรงดันของค่าสุทธิในสมการ (7) เท่ากับศูนย์ และความลึก z เท่ากับ L_3 หรือ ได้ dredge line สามารถคำนวณได้จากการแทนค่าหน่วยแรงดันสุทธิในสมการ (7) เท่ากับศูนย์ และความลึก z เท่ากับ L_3 หรือ

$$\sigma(L_3) = \sigma_p(L_3) - \sigma_a(L_3) = 0 \quad (1.2-10)$$

หรือ $b - (K_p - K_a) \gamma' L_3 = 0 \quad (1.2-11)$

จะได้ $L_3 = b / [\gamma' (K_p - K_a)] \quad (1.2-12)$

จากรูปที่ 2.5(9) และ สมการ (2.4.2-12) จะสังเกตได้ว่า การกระจายหน่วยแรงดันดินสุทธิ DEF มีความลาดเอียงเท่ากับ $\gamma' (K_p - K_a)$

ดังนั้นหน่วยแรงดันดิน c ที่ปลายเข็มด้านหน้าเขื่อนสามารถคำนวณหาได้จาก

$$C = \gamma' (K_p - K_a) \quad (1.2-13)$$

สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินในส่วนบน กล่าวคือ ด้านหลังเขื่อนจะเกิดแรงดันดินเชิงรับ และด้านหน้าเขื่อนจะเกิดแรงดันดินเชิงรุก ดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเข็ม ด้านหลังเขื่อนมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = K_p (\gamma' L_1 + \gamma' L_2 + \gamma' D) - K_a \gamma' D \quad (1.2-14)$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว ก็สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากได้โดยอาศัยสมมูลย์ของโมเมนต์รอบจุดใดๆ ดังนี้

(i) ผลรวมของแรงในแนวราบ

$$\text{พื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE} - \text{พื้นที่ EFHB} + \text{พื้นที่ FHBG} = 0 \quad (1.2-15)$$

$$\text{หรือ } P - 0.5 c L_4 + 0.5 L_5 (c + d) = 0$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดัน ACDE

(ii) ผลรวมของโมเมนต์รอบปลายเข็ม (จุด B)

$$P(L_4 + \bar{Z}) - (0.5 c L_4)(L_4/3) + 0.5 L_5 (c + d)(L_5/3) = 0 \quad (1.2-16)$$

เมื่อ $\bar{Z}$ คือ ระยะจากจุด E ถึงตำแหน่งที่แรงลัพธ์ P กระทำ

จากสมมูลย์ในสมการ(14) และ (15) สามารถแก้สมการเพื่อหาความยาว L_4 และ L_5 หลังจากนั้นความลึกของเข็มฝังที่ฝังในดินฐานรากหรือ D สามารถหาได้จาก

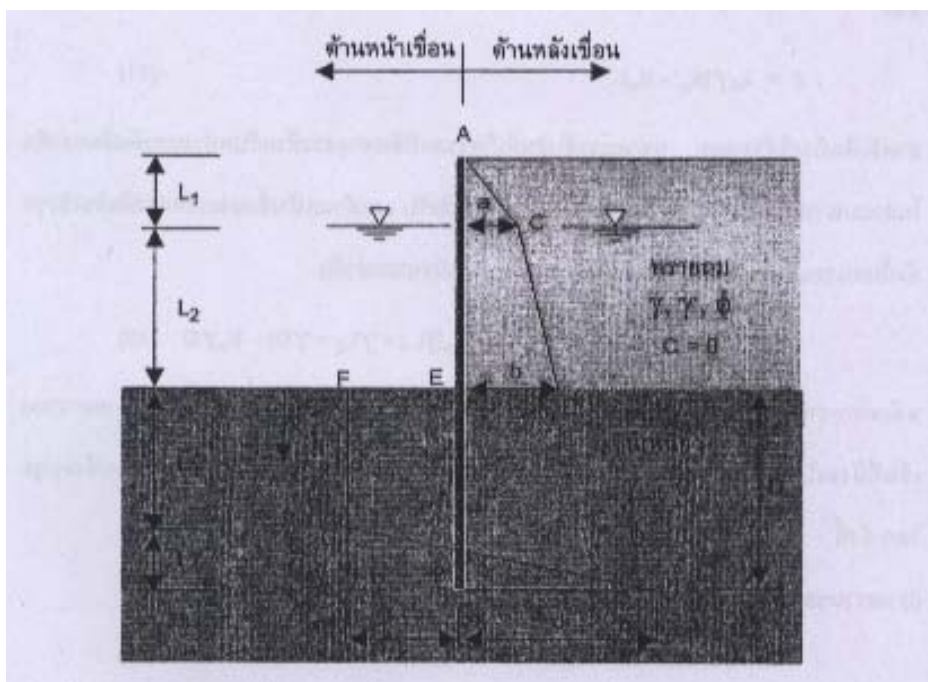
$$D = L_3 + L_4 \quad (1.2-17)$$

การกำหนดความปลอดภัยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ เพิ่มความลึก D อีกประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 หรือลดค่า K_p ที่ใช้ในการคำนวณลงประมาณร้อยละ 40 ถึง 50

- เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ cantilever wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว

พิจารณาเขื่อนตลิ่งแบบ Cantilever wall เช่นเดียวกับกรณี (1) แต่ดินฐาน

รากในที่นี้เป็นดินเหนียวที่มีความเชื่อมั่นแน่น เท่ากับ c การกระจายของแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 10



รูปที่ 10 : หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว

หน่วยแรงดัน a และ b สามารถคำนวณหาได้เช่นเดียวกับกรณี (1) หรือสมการ (3) และ (4) สำหรับดินที่อยู่ใต้ dredge line แต่อยู่เหนือจุดหมุน ด้านหลังเขื่อนจะเกิดแรงดันดินเชิงรุก และด้านหน้าเขื่อนเกิดแรงดันดินเชิงรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินดังกล่าวที่ความลึกใดๆ จาก dredge line สามารถคำนวณได้จาก

$$\sigma_a(z) = K_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} z) - 2C\sqrt{K_a} \quad (1.2-18)$$

$$\text{และ } \sigma_p(z)_p = K_p (\gamma_{sat} z + 2C\sqrt{K_p}) \quad (1.2-19)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรุกและเชิงรับสำหรับดินเหนียวที่ไม่มีค่ามุมเสียดทานภายในจะมีขนาดเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นหน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง dredge line และจุดหมุน สามารถคำนวณได้จากผลต่างของสมการ 1.2-17 และ 1.2-18 และให้ค่า K_a และ K_p เท่ากับหนึ่ง จะได้

$$\sigma(z) = \sigma_p(z) - \sigma_a(z) = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (1.2-20)$$

สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินที่อยู่เหนือจุดหมุน ดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเขื่อนจะมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = 4C + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (1.2-21)$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากได้เช่นเดียวกับกรณี (1) คือ อาศัยสมดุลย์ของแรงตามแนวราบและสมดุลย์ของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ

(2.2) การวิเคราะห์เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ anchored wall

วิธีการวิเคราะห์เขื่อนประเภท anchored wall ที่นิยมใช้ได้แก่วิธี free earth support และวิธี fixed earth support ซึ่งวิธี free earth support เปรียบเสมือนโครงสร้างเป็นคานอย่างง่าย (simply supported beam) โดยปลายด้านที่ทำการยึดสายสมอและดินที่ปลายล่างของกำแพง เปรียบเสมือนเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน ส่วนวิธี fixed earth support เปรียบเสมือนเป็น propped cantilever คือ ปลายด้านที่ทำการยึดสายสมอ เปรียบเสมือนเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน ส่วนอีกด้านเป็นปลายแบบยึดแน่นที่ฝังลงในดิน การวิเคราะห์โดยวิธี free earth support เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายกว่า ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์โดยวิธีนี้เท่านั้น

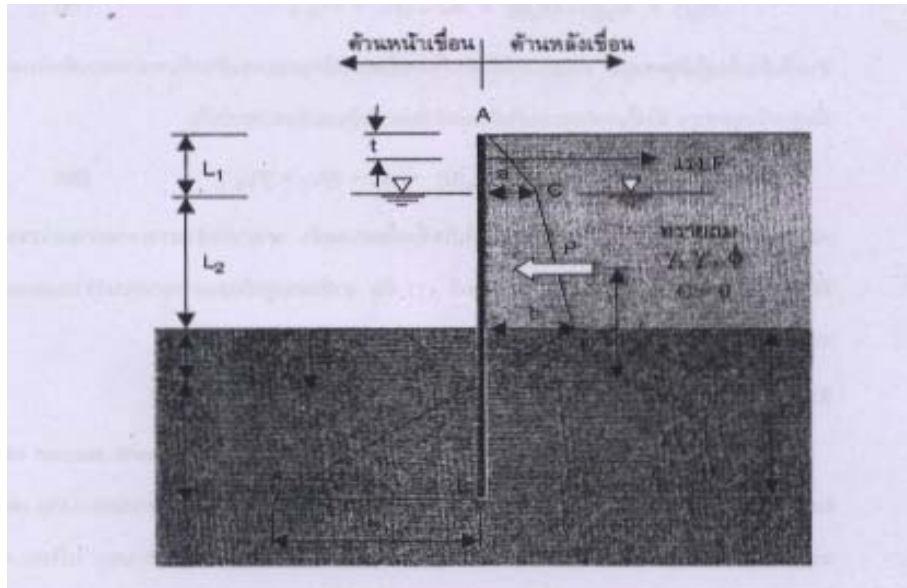
- เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินทราย

พิจารณาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ anchored sheet piling ที่มีวัสดุถมหลังเขื่อนและดินฐานรากเป็นดินทราย สายสมอ (tie rod) อยู่ต่ำกว่าระดับดินถมหลังเขื่อนเป็นระยะ t สมมุติให้จุดหมุนของเขื่อนอยู่ที่ระดับของสายสมอ การกระจายของหน่วยแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 7 เช่นเดียวกับกรณี 3.2.1 ความลึกที่หน่วยแรงดันดินมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือระยะ L_3 ใต้ dredge line สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 1.2-10 หรือ

$$L_3 = b / [\gamma'(K_p - K_a)]$$

ที่ปลายเสาเข็มด้านล่าง (ความลึก $z = D$) หน่วยแรงดันสุทธิที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับ

$$C = \gamma'(K_p - K_a) L_4 \quad (1.2-22)$$



รูปที่ 11 : หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเชือกแบบ anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินทราย

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว ความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากและแรงดึงที่เกิดขึ้นในสายสมอ (แรง F) สามารถหาได้จากสมมูลย์ของแรงในแนวราบและสมมูลย์ของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ

(i) สมมูลย์ของแรงในแนวราบ

$$\text{พื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE} - \text{พื้นที่ EBF} - F = 0 \quad (1.2-23)$$

$$\text{หรือ } P - \frac{1}{2}CL_4 - F = 0 \quad (1.2-24)$$

$$\text{หรือ } P - \frac{1}{2}[\gamma'(K_p + K_a)] L_4^2 - F = 0 \quad (1.2-25)$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE

(ii) สมมูลย์ของของโมเมนต์ที่ระดับสายสมอ

$$-P[(L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{Z} + t)] + \frac{1}{2}[\gamma'(K_p + K_a)] L_4^2 (L_1 + L_2 + L_3 - t + \frac{2}{3} L_4) = 0 \quad (1.2-26)$$

จากสมการ (24) และสมการ (25) เราสามารถหาความยาว L_4 และแรงดึงในสายสมอ F โดยการลองผิดลองถูก (trial-and-error method)

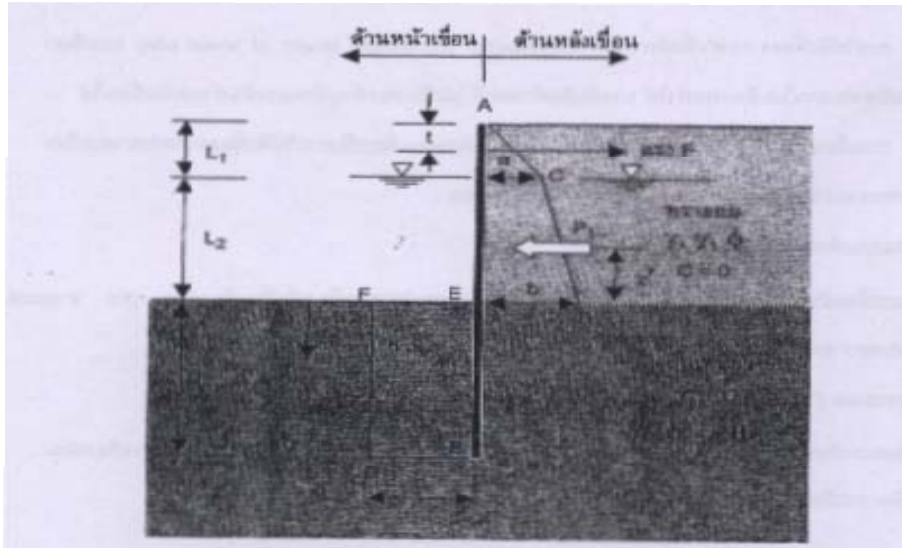
• เชือกป้องกันตลิ่งแบบ anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวรากในที่พิจารณาเชือกป้องกันตลิ่งแบบ anchored wall เช่นเดียวกับกรณี (1) แต่ดินฐานราก ในที่นี้เป็นดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่นเท่ากับ C การกระจายของหน่วยแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 8 หน่วยแรงดันดินที่อยู่เหนือ dredge line จะเหมือนกับกรณี (1) ต่างกันที่หน่วยแรงดันนี้มีขนาดเท่ากับ

$$C = 4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (1.2-27)$$

จากสมมูลย์ของแรงในแนวราบ จะได้

$$P_1 - CD - F = 0 \quad (1.2-28)$$

เมื่อ P_1 คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE



รูปที่ 12 : หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว

จากสมมูลย์ของของโมเมนต์ที่ระดับสายสมอ จะได้

$$-P[(L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{Z} + t)] - CD(L_1 + L_2 + t + D/2) = 0 \quad (1.2-29)$$

เช่นเดียวกับกรณี anchored wall ที่ฝังในชั้นดินเดิมที่เป็นดินทราย ความยาวของเข็มฟัดและแรงดึงที่เกิดขึ้นในสายสมอสามารถหาได้จากสมมูลย์ของแรงในแนวราบและสมมูลย์ของโมเมนต์รอบจุด B ในสมการที่ (1.2-28) และ (1.2-29)

(2.3) รูปการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ sheet-piling wall

การวิบัติของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ sheet-piling wall (แสดงในรูปที่ 13) สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

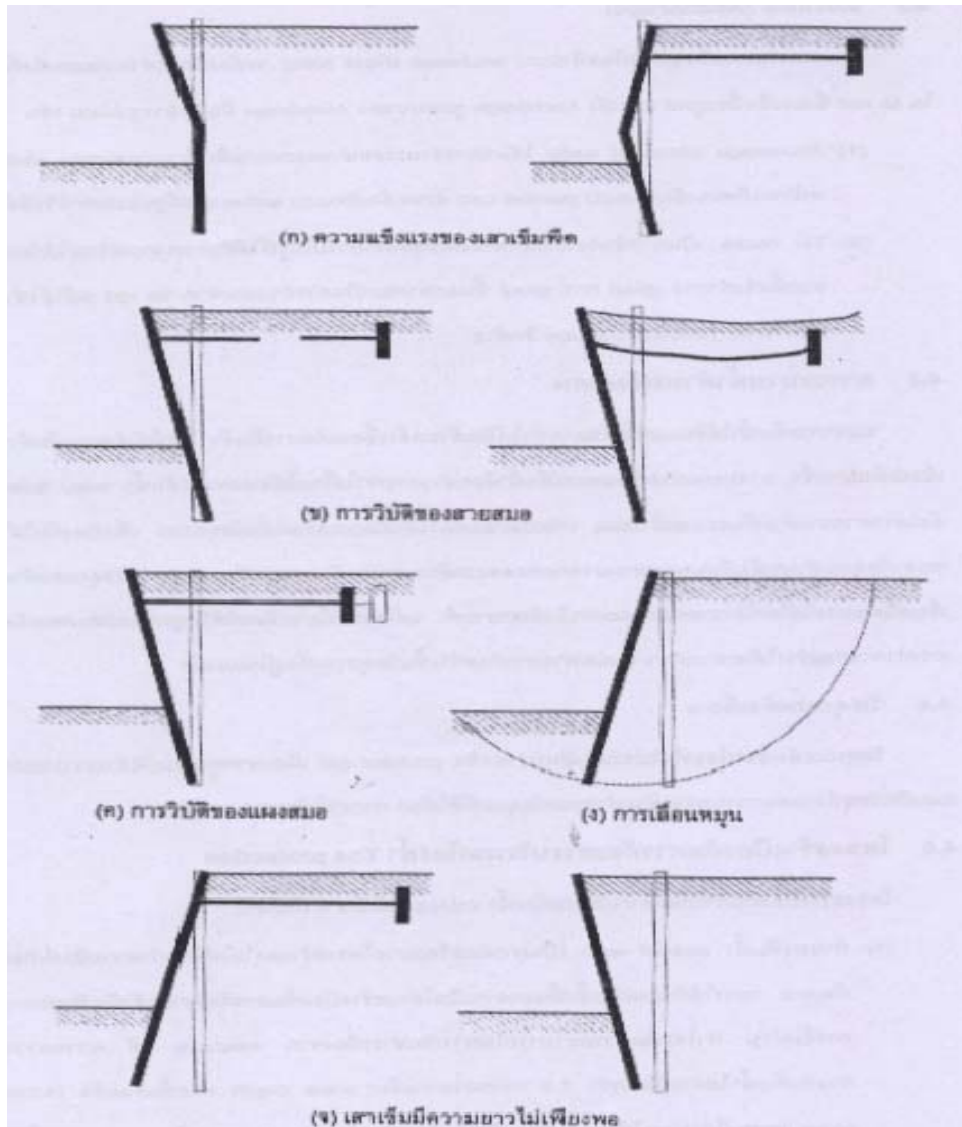
1. การวิบัติเนื่องจากความแข็งแรงของเสาเข็มฟัด (failure of sheet pile) เกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มฟัดที่ออกแบบไว้ไม่แข็งแรงเพียงพอในการต้านทานแรงที่เกิดขึ้น
2. การวิบัติของสายสมอ (failure of tie rod) เกิดขึ้นเนื่องจากสายสมอไม่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ หรือเนื่องมาจากการหลุดตัวของดินด้านหลังเขื่อน อันทำให้สายสมอหย่อนหรือขาด
3. การวิบัติของแผงสมอ (failure of anchorage) เกิดขึ้นเนื่องจากแผงสมอไม่สามารถต้านแรงดึงจากสายสมอได้
4. การวิบัติเนื่องจากเสาเข็มมีความยาวไม่เพียงพอ (insufficient length of sheet pile) การที่เสาเข็มมีความยาวไม่เพียงพอทำให้ แรงดันดินด้านหน้าไม่เพียงพอที่จะต้านแรงดันดินด้านหลังเขื่อนได้
5. การเลื่อนหมุน (slope failure) เป็นการวิบัติในลักษณะเดียวกับการวิบัติเนื่องจากการขาดเสถียรภาพของความลาดของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบลาดเอียง

1.2.4 การออกแบบส่วนประกอบอื่น ๆ

การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งต้องพิจารณาถึงส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น สายสมอ แผงสมอ และ ระบบระบายน้ำ เป็นต้น

(1) สายสมอ (Tie rod)

สายสมอเป็นชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับดินและน้ำ จึงควรทำการป้องกันสายสมอไม่ให้เกิดการกัดกร่อนหรือเป็นสนิม การป้องกันอาจทำได้โดยเคลือบผิวด้วยสารประกอบ asphaltic



รูปที่ 13 : แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet-piling wall

(2) แผงสมอ (Anchorage)

ในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ anchored sheet piling จะต้องมีการคำนวณแรงดึงที่เกิดขึ้นใน tie rod ซึ่งแรงดึงนี้จะถูกถ่ายไปยัง Anchorage รูปแบบของ Anchorage มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น

- Anchorage plates of walls ได้แก่การคำนวณขนาดและความลึกที่เหมาะสมของ plate ส่วนหน้าจะเกิดแรงดันดินแบบ passive และ ส่วนหลังเกิดแบบ active และมีรูปแบบการวิบัติดังรูป
- Tie backs เป็นการนำท่อนเหล็กหรือเคเบิลสอดเข้าไปในรูที่ได้ทำการเจาะเตรียมไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการ grout การ grout นี้ นอกจากจะเป็นการถ่ายเทจาก tie rod แล้วยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนของตัว tie rod อีกด้วย

(3) การระบายน้ำด้านหลังเขื่อน

ผลจากระดับน้ำใต้ดินและน้ำฝนอาจทำให้ดินด้านหลังเขื่อนเกิดการอิ่มตัว ทำให้เกิดแรงดันด้านหลังเขื่อนเพิ่มมากขึ้น การออกแบบเพื่อลดแรงดันน้ำดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้ท่อลดแรงดันน้ำ weep holes ท่อดังกล่าวควรห่างกันอย่างสม่ำเสมอ บริเวณท่อลดแรงดันนี้ควรเตรียมวัสดุกรอง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำชะเอาวัสดุถม

ด้านหลังเขื่อนหลุดผ่านมาทางท่อลดแรงดันและป้องกันการอุดตันของท่อ วัสดุกรองด้านหลังเขื่อนนี้สามารถใช้ได้ทั้ง กรวดคละและแผ่นใยสังเคราะห์ แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้วัสดุกรองประเภทหลังเนื่องจากทำการก่อสร้างได้สะดวกกว่า โดยเฉพาะการก่อสร้างชั้นวัสดุกรองที่อยู่ในแนวดิ่ง

(4) วัสดุถมหลังเขื่อน

วัสดุถมหลังเขื่อนโดยทั่วไปจะเป็นดินทรายหรือ granular soil เนื่องจากคุณสมบัติด้านการระบายน้ำและเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการบดอัด ตัวอย่างของวัสดุถมที่ดีได้แก่ ทรายที่ผสมคอนกรีต

(5) โครงสร้างป้องกันการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ Toe protection แบ่งออกได้ 2 ประเภท

(5.1) กำแพงทึบน้ำ (cut-off wall) เป็นการต่อหรือขยายโครงสร้างลงไปให้ลึกกว่า ความลึกที่เกิดการกัดเซาะ การใช้กำแพงทึบน้ำนั้นนอกจากเป็นโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะแล้วยังเพิ่มระยะของการซึมผ่าน ทำให้เพิ่มความสามารถในการกัดเซาะเนื่องจาก seepage ได้ ความยาวของกำแพงทึบน้ำไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของความลึก scour depth หรือชั้นดินแข็ง (ความลึก scour depth นี้คำนวณได้จากคุณสมบัติของวัสดุท้องน้ำ รูปแบบและการไหลของการระบายน้ำ)

(5.2) แผงป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าเขื่อน (armour skirt หรือ apron) โครงสร้างส่วนนี้มีคุณสมบัติอ่อนตัวสามารถปรับตัวให้เข้ากับท้องน้ำบริเวณที่มีการกัดเซาะได้ ความยาวของ armour skirt ขึ้นอยู่กับความลึก scour depth และความลาดเอียงของโครงสร้างป้องกันตลิ่ง

การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง

การเขียนแบบเบื้องต้น

การเขียนแบบ ผู้เขียนแบบควรเป็นผู้ที่มีความรู้ด้านช่าง สำเร็จการศึกษาด้านช่าง ซึ่งโดยทั่วไปมีการสอนวิชาช่างและเขียนแบบในสถาบันการศึกษาต่างๆ เป็นวิชาช่างที่มีวัตถุประสงค์ให้เป็นผู้ปฏิบัติงานด้านช่างที่เกี่ยวข้องทั่วไปได้เข้าใจ และสามารถเขียนแบบได้ถูกต้องตามหลักวิชาช่าง ตามเทคนิค วิธีการและมาตรฐานงานช่าง การเขียนแบบที่ดี ผู้เขียนแบบควรพยายามเรียนรู้ เพื่อให้การเขียนแบบถูกต้องมีมาตรฐาน

การเขียนแบบเป็นภาษาของช่างอย่างหนึ่ง เป็นภาษาสากลของงานด้านช่าง เพื่อถ่ายทอดความคิดของผู้ออกแบบ วิศวกร และนำไปเขียนแบบให้ถูกต้อง ในการเขียนแบบผู้เขียนแบบควรมีความเข้าใจและประสานการปฏิบัติงานร่วมกับ ผู้ออกแบบ วิศวกร เพื่อให้งานสำเร็จถูกต้องสมบูรณ์ และนำไปดำเนินการก่อสร้างต่อไป

จัดทำ

นายสุภกรรณ์ สายสมบูรณ์ นายช่างเขียนแบบ 6

นายวิจิตร เป้นโสม นายช่างเขียนแบบ 7

การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง

การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง เป็นวิธีการเขียนแบบในลักษณะงาน เฉพาะหน่วยงานที่มีหน้าที่ภารกิจงานเขียนป้องกันคลัง ดังนั้น หลักวิธีการเขียนแบบ รูปแบบและรายละเอียดจึงต้องเรียนรู้จากหน่วยงานนั้นๆ โดยที่งานเขียนป้องกันคลัง เป็นการเขียนแบบรวมกันกับแบบสำรวจ แบบสำรวจมีหลักวิธีการเขียนแบบ รูปแบบและรายละเอียดเฉพาะต่างจากแบบทั่วไป ความเป็นจริงในหน้าที่ปฏิบัติงานสำรวจกับงานออกแบบ งานเขียนแบบเขียนป้องกันคลังต่างแยกกัน ผู้เขียนแบบจึงต้องเรียนรู้และเข้าใจกับแบบสำรวจด้วย จึงจะสามารถเขียนแบบได้ถูกต้อง

การเขียนแบบเขียนป้องกันคลังมีขั้นตอน ส่วนประกอบและรายละเอียด คือ

1. การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง กับ การ
 - 1.1 การเขียนแบบด้วยมือ (Free Hand)
 - 1.2 การเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer)
 2. การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง กับ ส่วนประกอบและการกำหนด ต่างๆเพื่อใช้ในการเขียนแบบ โดยหน่วยงานจะกำหนดการใช้
 - 2.1 สัญลักษณ์ หน่วยและค่าประกอบ ที่ใช้เขียนแบบ เขียนป้องกันคลัง
 - 2.2 สัญลักษณ์ หน่วยแผนที่ ที่ใช้เขียนแบบ สำรวจ
 - 2.3 มาตรฐานงานก่อสร้าง กรมโยธาธิการและผังเมือง ที่เกี่ยวข้องและใช้ในการเขียนแบบ
 - 2.4 กระดาษเขียนแบบ
 3. การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง กับ การ แสดงแบบที่เขียนแบบแล้วเสร็จสมบูรณ์
1. การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง กับ การ

โดยที่การเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง เป็นการเขียนแบบร่วมกับแบบสำรวจ มีขั้นตอน ลักษณะและวิธีการ คือ

- 1.1 การเขียนแบบด้วยมือ (Free Hand)

เป็นการเขียนแบบโดยนำกระดาษแบบสำรวจ ผังบริเวณ-แปลน, รูปตัดคลัง ทำการเขียนแบบเขียนป้องกันคลัง

แบบสำรวจที่นำมาใช้เขียนแบบเขียนป้องกันคลังด้วยมือ (Free Hand) อาจเป็นแบบลักษณะ

 - แบบสำรวจที่เขียนแบบด้วยมือ ที่ทำการสำรวจโดยใช้กล้องธรรมดา คือกล้องระดับ (Leveling) และ กล้องวัดมุม (Theodolite) นำค่าแผนที่ที่ทำการสำรวจแบบสำรวจด้วยมือ แล้วจึงนำแบบสำรวจนั้น มาทำการเขียนแบบเขียนป้องกันคลังด้วยมือ
 - แบบสำรวจที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ (Plotter) ที่ทำการสำรวจโดยใช้กล้องอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ดิจิตอล (Electronic Theodolite Total Station หรือเรียกสั้นๆว่า กล้อง Total Station) แล้วนำกระดาษแบบสำรวจ มาทำการเขียนแบบเขียนป้องกันคลังด้วยมือ
- 1.2 การเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer)

เป็นการเขียนแบบคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AutoCAD หรืออื่นๆ โดยการนำ File ผังบริเวณ-แปลน, รูปตัดคลังจากแบบสำรวจ ที่สำรวจโดยใช้กล้อง อิเล็กทรอนิกส์ หรือดิจิตอล นำค่า Data เข้าโปรแกรม Softdesk , Land Development หรืออื่นๆ ที่หน่วยงานใช้ แล้วจึงนำ File สำรวมนั้น เข้าคอมพิวเตอร์ AutoCAD ทำการเขียนแบบเขียน ป้องกันคลังด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

2. การเขียนแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง กับ

2.1 สัญลักษณ์แบบ หน่วยและคำประกอบ ของ การเขียนแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ระยะศูนย์กลาง
	ระยะริม หรือ ขอบ
	แนวเสา (Grid)
	ระดับ
	ทราย
	ดิน
	คอนกรีต
	หิน
	เสาสูงขึ้นตลอด
	เสาสิ้นสุดชั้นนั้น, ระดับนั้น
	เสาตงบนคาน
	พื้น ค.ส.ถ
	คาน
	เสา
	ฐานราก

2.2 สัญลักษณ์แบบ หมายเหตุ ของ แบบสำรวจ

เครื่องหมาย :



	อาคารไม้ชั้นเดียว		แนวรั้วไม้
	อาคารคอนกรีตชั้นเดียว		แนวรั้วคอนกรีต
	ต้นไม้		แนวรั้วลวดหนาม
	บ่อพักน้ำเสีย		ถนน
	เสาไฟฟ้า ค.ส.ถ		แม่น้ำ, ลำคลอง
	หมุดสำรวจ, หมุด P1		เส้นชั้นความสูง
	หลักเขตที่ดิน		

หมายเหตุ :

BM1 ระดับสมมุติ = 100.000 เมตรอยู่ที่หัวตลับโคนต้นหูกวาง
BM2 ระดับสมมุติ = 99.568 เมตรอยู่ที่หัวตลับโคนต้นมะเคื่อ
ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ย = 99.092 เมตร
ระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ย = 86.836 เมตร
ระดับน้ำขณะทำการสำรวจ = 87.906 เมตร
ตำแหน่งระดับตรงกับจุดหน้าตัวเลขบอกระดับ

2.3 มาตรฐานงานก่อสร้าง กรมโยธาธิการและผังเมือง

ในการเขียนแบบ ระยะต่างๆที่กำหนดต่างๆที่ไม่ได้เขียน แสดง ระบุ หรือกำหนดในแบบ ในรายการประกอบนั้นๆ โดยทั่วไปแล้วจะให้ใช้ ให้เป็นไปตามมาตรฐานงานก่อสร้าง กรมโยธาธิการและผังเมือง ในที่นี้จะแสดงพอเป็นสังเขป ดังนี้

ส่วนหมุ่คอนกรีต ถ้ามิได้แสดงไว้ในแบบรายละเอียดแล้ว ให้ใช้ส่วนหมุ่คอนกรีตจากผิวไม้แบบ ถึงผิวนอกเหล็กเสริมดังนี้

พื้น	1.5	เซนติเมตร
คาน-เสา	2.5	เซนติเมตร
เสาตอม่อ	4.0	เซนติเมตร
ฐานราก	5.0	เซนติเมตร

-เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

เหล็กเส้นกลม (Plain Round Bar)

เหล็กเส้นขูด (Deformed Bar)

การต่อเหล็กเสริม

เหล็กเสริมคาน-พื้น นอกจากที่เป็นคานยื่นหรือพื้นยื่น หรือที่ระบุไว้ในแบบรายละเอียด จะต้องต่อในตำแหน่งดังต่อไปนี้

เหล็กกลางของคาน-พื้น ให้ต่อตรงบริเวณหัวเสาหรือหัวคาน

เหล็กบนของคาน-พื้น ให้ต่อตรงบริเวณกลางคาน-พื้น

สำหรับเหล็กเสา ให้ต่อตรงจุดหลังพื้น และให้เป็นไปตามภาคผนวก

รอยต่อของเหล็กเสริม แต่ละเส้นที่อยู่ข้างเคียงต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกันและความเหลื่อมกันประมาณ

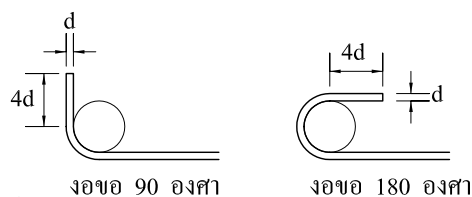
1.00 เมตร หากไม่จำเป็นจริงๆห้ามต่อเหล็ก

ผนวก ก. มยธ. 103

การตัด และการต่อเหล็กเส้น

1. การงอขอปลายเหล็ก

1.1 การงอขอให้ใช้วิธีตัดเย็น ดังรูป



งอขอ 90 องศา

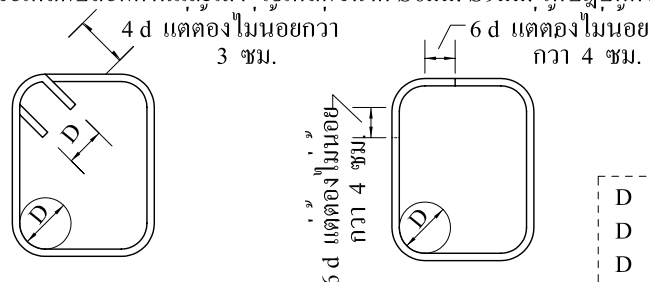
งอขอ 180 องศา

ไม่น้อยกว่า 4d สำหรับเหล็กเส้นกลม

ไม่น้อยกว่า 5d สำหรับเหล็กเส้นขูด SD-30, SD-40, SD-50

1.2 การงอขอ 90 องศา ใช้ได้ในเหล็กขูดทุกขนาด และเหล็กเส้นกลมขนาดตั้งแต่ 15 มม. ขึ้นไป

1.3 การงอขอเหล็กปลอกคานและเสา ใช้เหล็กขนาด Ø6 มม. Ø9 มม. ให้ปฏิบัติดังนี้



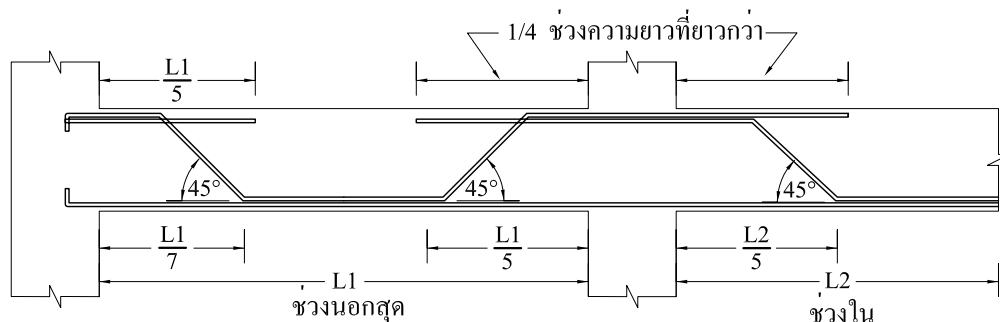
4 d แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 ซม.

6 d แต่ต้องไม่น้อยกว่า 4 ซม.

D = 4 ซม. สำหรับ
D = 5 ซม. สำหรับ
D = 2 ซม. สำหรับ

- D = 4 ซม. สำหรับเหล็กแกนขนาดใหญ่กว่า $\varnothing 25$ มม.
 D = 5 ซม. สำหรับเหล็กแกนขนาด $\varnothing 19$ มม. - $\varnothing 25$ มม.
 D = 2 ซม. สำหรับเหล็กแกนขนาด $\varnothing 12$ มม. - $\varnothing 16$ มม.

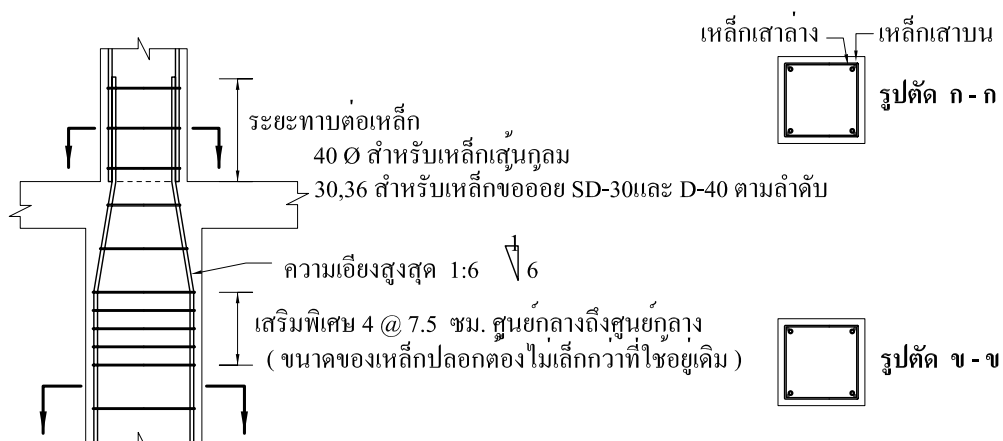
2. การตัดเหล็กคอดำ ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบรายละเอียดแล้ว ให้ปฏิบัติดังนี้



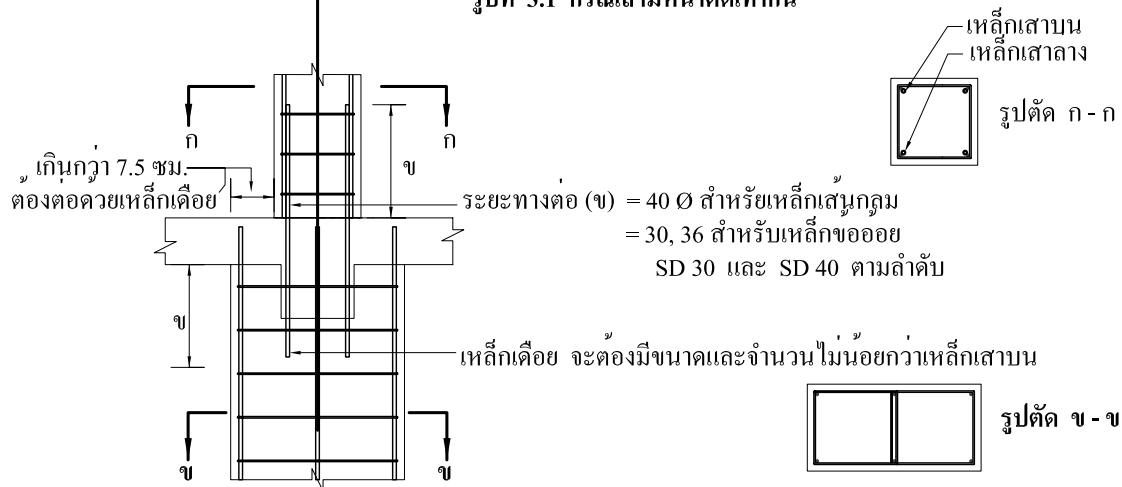
หมายเหตุ ก. รูปที่แสดงเป็นการแสดงการเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย ถ้าเป็นเหล็กเส้นกลมธรรมดา ปลายเหล็กต้องงอขอ ตามข้อ 1.

ข. ในกรณีที่คานามีความลึกมากกว่า $1/10$ ของความยาวช่วงตำแหน่งต่างๆ ของเหล็กคอดำจะใช้ตามรูปข้างบนนี้ไม่ได้

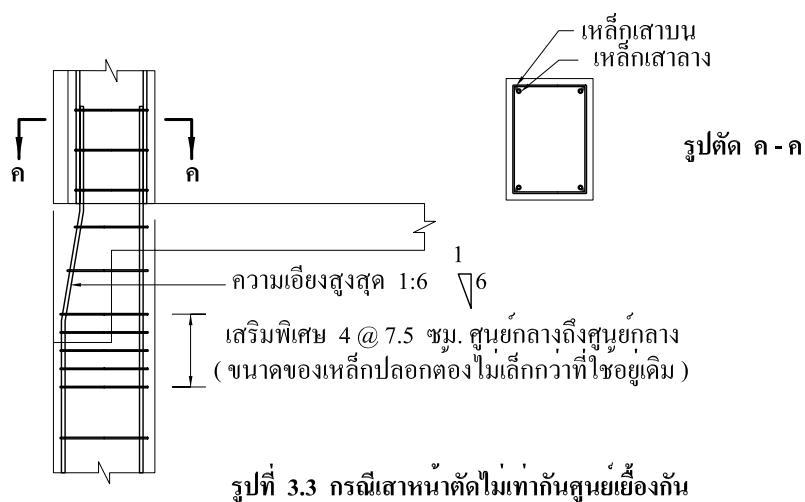
3. การต่อเหล็กเสา ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบรายละเอียด ให้ปฏิบัติดังนี้



รูปที่ 3.1 กรณีเสามีหน้าตัดเท่ากัน



รูปที่ 3.2 กรณีเสามีหน้าตัดไม่เท่ากันศูนย์ตรงกัน



2.4 กระดาษเขียนแบบ

2.4.1 ปัจจุบันการเขียนแบบโดยทั่วไปจะใช้กระดาษขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน โดยเฉพาะการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์- พิมพ์งานด้วยเครื่องพิมพ์ (Plotter) ซึ่งขนาดกระดาษ มี ดังนี้

A0 = 841 x 1189 mm.

A1 = 594 x 841 mm.

A2 = 420 x 594 mm.

A3 = 297 x 420 mm.

A4 = 210 x 297 mm.

2.4.2 ในกรณีที่แบบมีความยาวกว่าปกติ ให้ใช้หน้ากว้างกระดาษตามมาตรฐาน ความยาวเป็นไปตามงานแบบนั้นๆ

2.4.3 กระดาษเขียนแบบ จะมีกรอบ ช่องแสดงงาน (Head หรือ Title) ซึ่งจะแสดง

- ชื่อหน่วยงาน
- ชื่องานโครงการ, สถานที่ตั้งโครงการ
- ชื่อผู้ออกแบบ ผู้เขียนแบบ และหัวหน้าหน่วยงาน
- มาตราส่วน
- วัน เดือน ปี ของงาน
- เลขที่แบบ
- ลำดับ แผ่นที่, จำนวนแผ่น (รวมปริมาณงาน)

3. การเขียนแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง กับ การแสดงแบบที่เขียนแล้วเสร็จสมบูรณ์
ในที่นี้แสดงแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ที่เขียนแบบแล้วเสร็จสมบูรณ์ เพื่อนำไปดำเนินการก่อสร้าง โดยจะแสดงแบบรายละเอียด ลักษณะแบบที่ใช้งาน การจัดลำดับแผน รวมแผนเป็นปริมาณงาน ที่ใช้ในการปฏิบัติโดยทั่วไป จะมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 แผนปก
แสดงชื่อหน่วยงานที่ออกแบบ เจ้าของงานโครงการ โครงการก่อสร้างและสถานที่ตั้งโครงการ

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

แบบเขื่อนป้องกันตลิ่งริมคลองมอญ
เทศบาลตำบลทุ่งเสลี่ยม อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย

ความยาว 126.00 เมตร

กลุ่มงานวิศวกรรมโครงสร้างพิเศษ

2. สารบัญแบบ

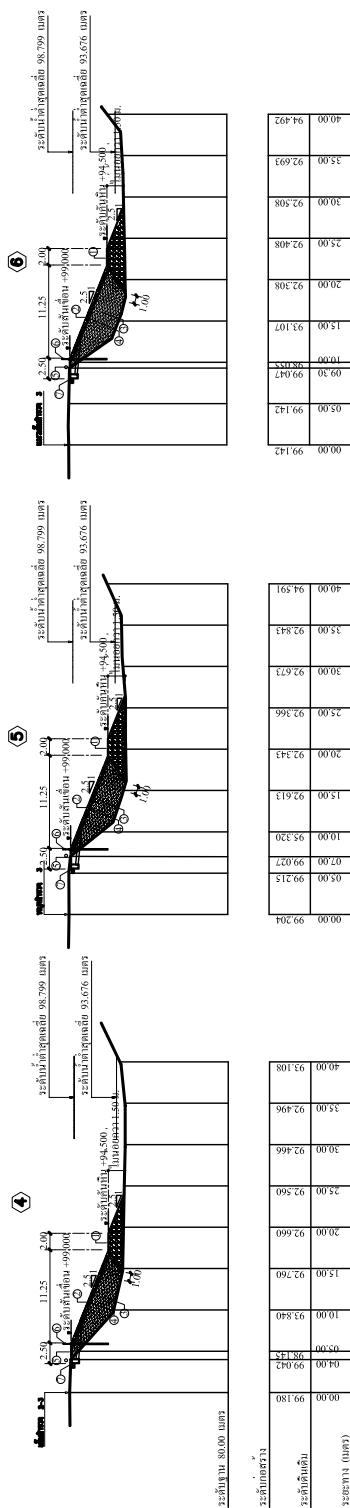
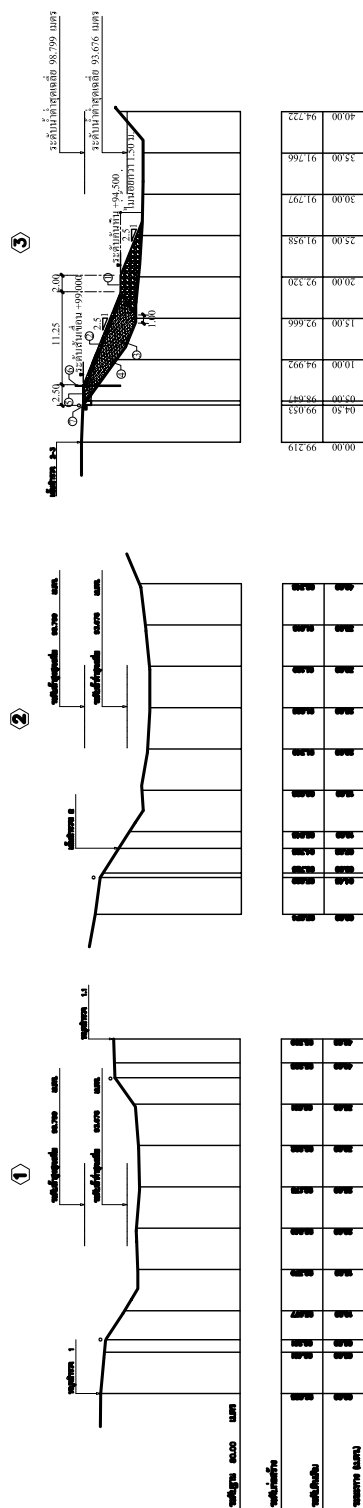
แสดงการจัดลำดับแผน รายละเอียดแบบแต่ละแผน เลขที่แบบของแผน และปริมาณงานทั้งโครงการ

ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ

แผ่นที่	แสดงแบบ	แบบเลขที่
01	สรบัญแบบ	ส. 0001
02	ผังบริเวณ, แผนผังโครงการ	ส. 0002
03	รูปตัดตอน 1 - 6	ส. 0003
04	ขอขรูปตัดตอนทั่วไป	ส. 0004
05	รายการประกอบแบบเพื่อนำไปตั้งคันล้ง	ส. 0005
06	รูปด้านหน้าทางวันตก, ขอขรายละเอียด	ส. 0006
07	แปลนบ่อพักและท่อระบายน้ำ, ขอขรายละเอียด	ส. 0007
08	รายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของท่อส่งน้ำดิบและแม่ทพรส, ขอขรายละเอียดของงานโยธาและแม่ทพรส	ส. 0008
จำนวนแผ่นทั้งหมด		รวม 8 แผ่น

[illegible]

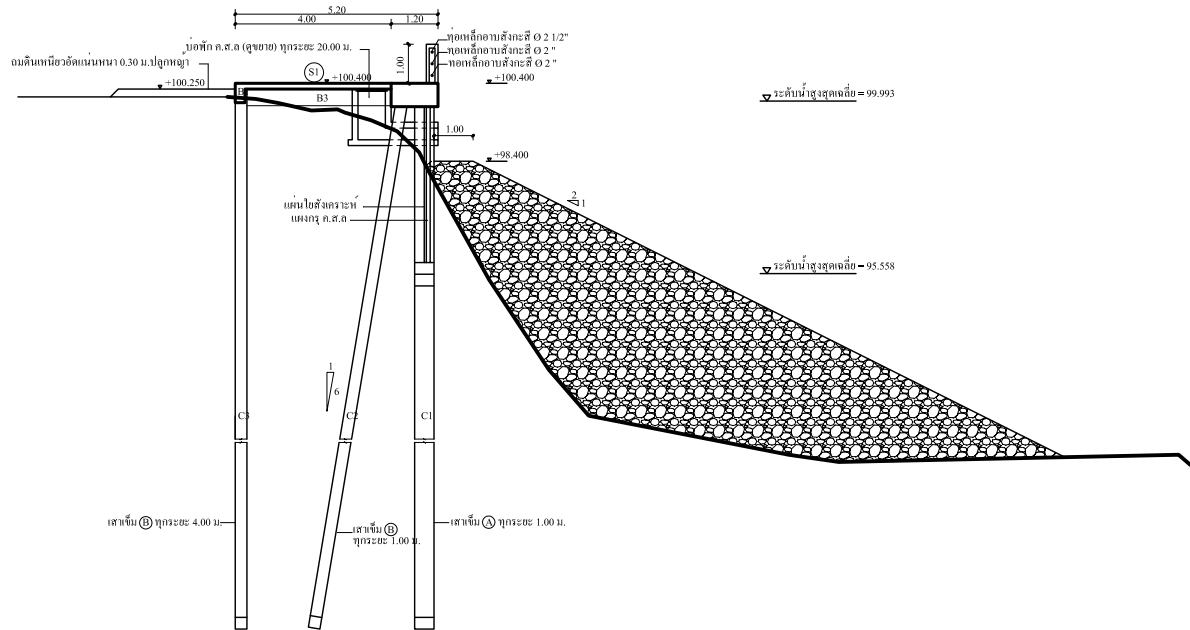
4. รูปตัดเขื่อน, รูปตัดเขื่อนทั่วไป (มาตรฐาน 1:250)
เป็นแบบสำรวจ หรือ แบบ File สำรวจ ที่นำมาใช้ เขียนแบบรูปตัดเขื่อน



มาตราส่วน 1:250

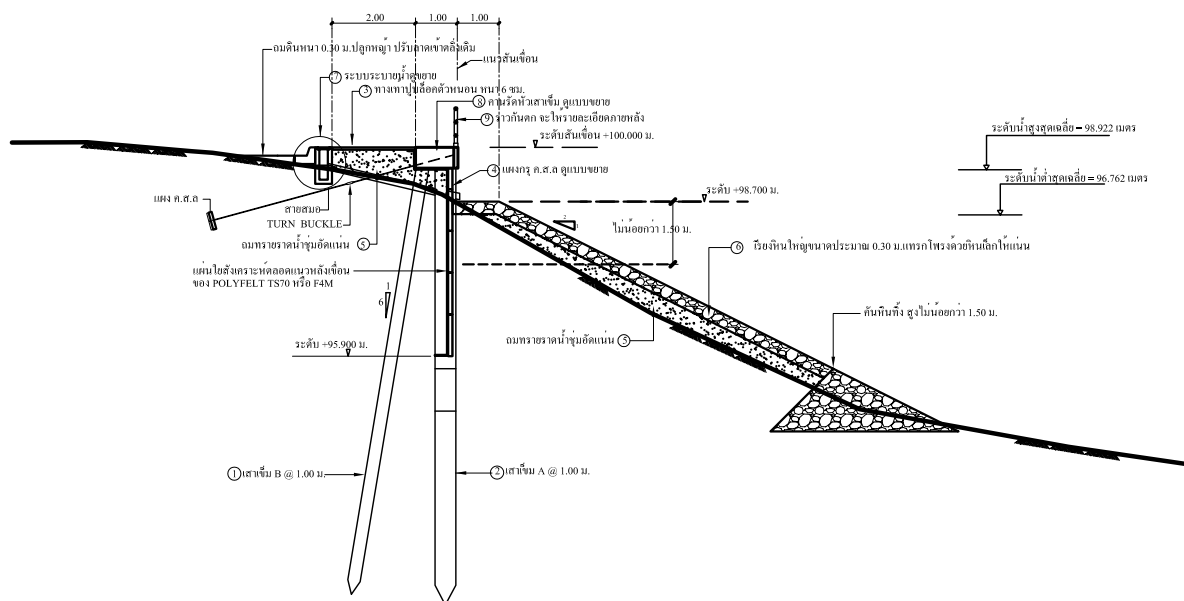
[illegible]

3. เขื่อนป้องกันตลิ่ง ชนิดตอกเสาเข็ม



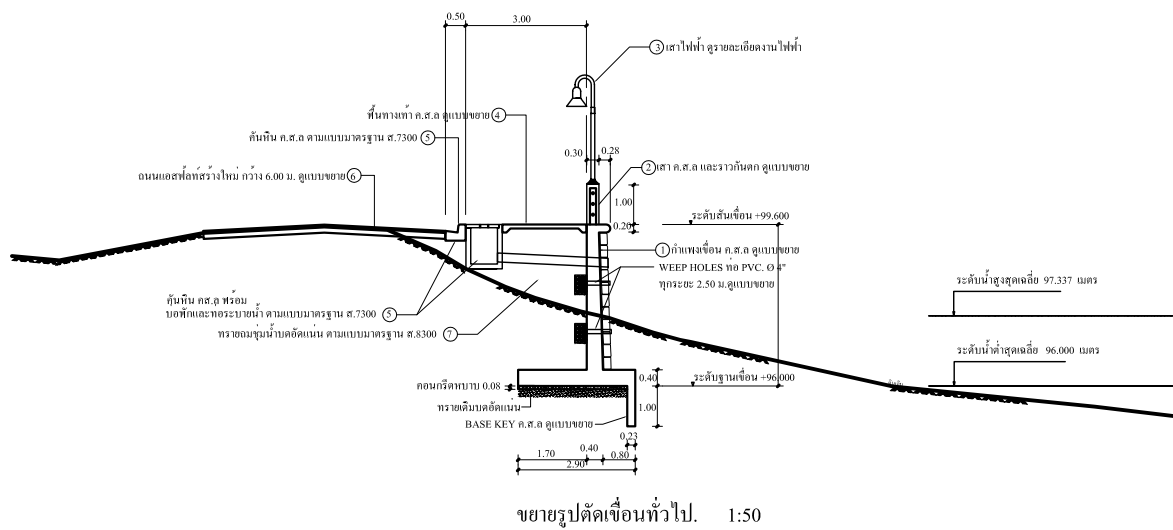
ขยายรูปตัดเขื่อนทั่วไป 1:50

4. เขื่อนป้องกันตลิ่ง ชนิดตอกเสาเข็ม มีสายสมอ



ขยายรูปตัดเขื่อนทั่วไป 1:50

5. เชื้อนป้องกันตลิ่ง ชนิดริมทะเล



บทที่ 7 : การประมาณราคาค่าก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.1 วิธีการประมาณราคา	7-1
1.2 ตัวแปรที่มีผลต่อราคาค่าก่อสร้าง	7-1
1.3 หลักเกณฑ์การถอดแบบหาปริมาณวัสดุงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง	7-2
1.4 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง	7-3
1.5 การกำหนดแหล่งและราคาวัสดุ	7-6
1.6 รายการประมาณราคาต่อหน่วยของงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง	7-6

บทที่ 7 : การประมาณราคา

นายพลทรัพย์ สมบูรณ์ปัญญา
วิศวกรวิชาชีพ 8วช (วิศวกรรมโยธา)
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง
นายธีรภูมิ ประพันธ์
นายช่างโยธา 6
สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

1.1 วิธีการประมาณราคา

การประมาณราคาค่าก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง มีขั้นตอนการประมาณราคา ดังนี้

- (1) ถอดแบบ : หาปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนทั้งหมด ตามหลักเกณฑ์ โดยมีเกณฑ์การเผื่อวัสดุต่างๆ ในงานแต่ละประเภท
- (2) กำหนดงาน ปริมาณงาน : ไว้ให้เป็นแต่ละงาน เช่น งานหินเรียง งานคอนกรีตเสริมเหล็ก งานวัสดุถม เป็นต้น
- (3) กำหนดราคาวัสดุ : เมื่อได้ปริมาณงานครบตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างแล้ว จะเป็นการกำหนดราคาวัสดุที่ใช้ในการประมาณราคา ข้อมูลราคาวัสดุคือราคาจากท้องถิ่นหรือใกล้เคียงที่จะทำการก่อสร้างโดยใช้ราคาจากโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดที่ได้จัดทำส่งมาเพื่อประกอบการพิจารณากำหนดราคาวัสดุ เช่น
$$\text{ราคาหินเรียงใหญ่} = \text{ราคาที่แหล่ง} + \text{ค่าขนส่งจากที่แหล่งถึงสถานที่ก่อสร้าง} \text{ เป็นต้น}$$
- (4) หาค่าแรงงาน : โดยใช้บัญชีค่าแรงงาน สำหรับมาตรฐานงบประมาณประกอบการประมาณราคา ร่วมกันกับการกำหนดค่าแรงงานตามความเป็นจริงหรือใกล้เคียงมากที่สุด
- (5) คำนวณราคาต้นทุน : เมื่อได้ค่างานเป็นราคาวัสดุ + ค่าแรงงานรวมกันแล้ว คือเป็นราคาต้นทุนจะต้องมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าอำนวยความสะดวกและดำเนินการ ค่าดอกเบี้ย ความผันผวน กำไร ภาษี รวมกันเป็น FACTOR บวกเข้ากับราคาต้นทุนจะเป็นราคาก่อสร้างทั้งหมด
- (6) แบ่งงวดงาน : การแบ่งงวดงาน คือ ขั้นตอนการทำงานของการทำงานก่อสร้าง การประกาศประกวดราคาจัดซื้อจัดจ้าง งวดงานแต่ละงวดตัวเลขของแต่ละงวดงานที่ทำจะเป็นตัวเลขเป็น % (เปอร์เซ็นต์)

1.2 ตัวแปรที่มีผลต่อราคาค่าก่อสร้าง

- (1) ชนิดของเขื่อน
- (2) สภาพชั้นดิน เช่น ดินอ่อน ทำให้โครงสร้างของเขื่อนต้องออกแบบเป็นพิเศษเป็นผลให้ค่าก่อสร้างสูง
- (3) สภาพตลิ่ง ตลิ่งที่มีการถล่มของวัสดุทรายถล่มสูงก็เป็นผลให้ค่าก่อสร้างเพิ่มสูงตาม
- (4) แหล่งหินใหญ่ ทรายถม กล่าวคือหากแหล่งวัสดุอยู่ห่างไกลจากพื้นที่ก่อสร้างมากก็จะมีราคาเพิ่มสูงตาม
- (5) ค่าแรงงาน ค่าแรงงานจะขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจของแต่ละท้องถิ่น

1.3 หลักเกณฑ์การถอดแบบหาปริมาณวัสดุของงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ในการคำนวณหาปริมาณ ให้คิดตามรูปแบบของแต่ละรายการ โดยมีเกณฑ์การเผื่อวัสดุต่างๆ ในงานแต่ละประเภทไว้ดังนี้

(1) งานคอนกรีต

(1.1) คอนกรีตผสมเสร็จ เผื่อ 5%

(1.2) คอนกรีตหล่อในที่ เผื่อ 5%

สำหรับคอนกรีตหยาบ (1:3:5)

- ปูนซีเมนต์ Type I	252 กก.
- ทรายหยาบ	0.62 ลบ.ม.
- หิน 1-2	0.97 ลบ.ม.

สำหรับ คอนกรีตโครงสร้าง (1:2:4:)

- ปูนซีเมนต์ Type I	336 กก.
- ทรายหยาบ	0.54 ลบ.ม.
- หิน 1-2	1.3 ลบ.ม.

(2) งานเหล็กเสริม

(2.1) ขนาด Ø 6 มม เผื่อ 5%

(2.2) ขนาด Ø 9 มม เผื่อ 7%

(2.3) ขนาด Ø 12 มม เผื่อ 9%

(2.4) ขนาด Ø 16 มม. เผื่อ 11%

(2.5) ขนาด Ø 19 มม. เผื่อ 13%

(2.6) ขนาด Ø 20 มม. เผื่อ 13%

(2.7) ขนาด Ø 25 มม. เผื่อ 15%

(2.8) ขนาด Ø 28 มม. เผื่อ 15%

- สำหรับการลวดผูกเหล็กใช้ 20 กก./เหล็ก 1 เมตรกตัน

(3) งานหินใหญ่ ถมทราย ถมดิน

(3.1) หินใหญ่ดินเขื่อน (ดินทั่วไป) เผื่อ 20%

(3.2) หินใหญ่ปิด (หัว-ท้าย) เขื่อน เผื่อ 20%

(3.3) หินใหญ่หน้าเขื่อน (เรียงหิน) เผื่อ 15%

(3.4) หินคละรองใต้พื้นหินใหญ่ เผื่อ 15%

(3.5) กรวดคละรองใต้พื้นหินใหญ่-หลังแผง เผื่อ 15%

(3.6) หินใหญ่ในกล่องแกเบียน-แมทเทรซ เผื่อ 15%

(3.7) เรียงหินใหญ่บันได เผื่อ 15%

(3.8) ถมทราย เผื่อ 20%

(3.9) ถมดิน เผื่อ 20%

(4) งานไม้แบบ

งานไม้แบบ ให้ใช้ดังนี้

(4.1) ค่าแรงไม้แบบ คิดให้ 50% ของปริมาณค่าแรงไม้แบบ

(4.2) ไม้แบบ หน้า 1" เนื้อที่ 1 ตร.ม. ใช้ไม้ปริมาตรประมาณ 1 ลบ.ฟ.

(คิดให้ 15% ของค่าแรงไม้แบบ)

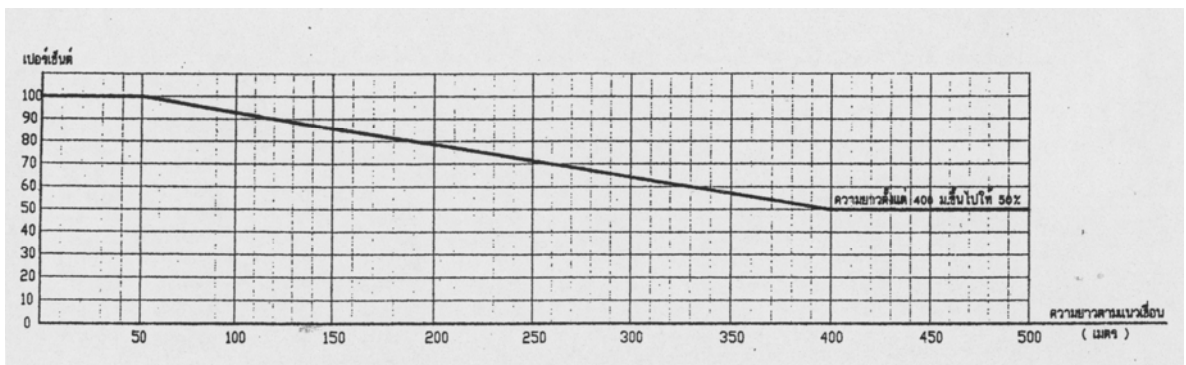
(4.3) ไม้เคร้ายึดไม้แบบ คิด 15% ของปริมาณไม้แบบ

(4.4) ไม้ค้ำยันไม้แบบ

- ไม้ค้ำยันท้องคาน ประเภทคาน คิด 1 ต้น/ความยาว 1 ม.

- ไม้ค้ำยันท้องพื้นและงานประเภทพื้น คิด 1 ต้น/ตร.ม.

(4.5) ตะปูยึดไม้แบบ คิด 0.20 กก./ไม้แบบ 1 ตร.ม.



รูปที่ 1 : กราฟแสดง เปอร์เซนต์งานนั่งร้านตอกเสาเข็ม/ความยาวตามแนวเขื่อน

1.4 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

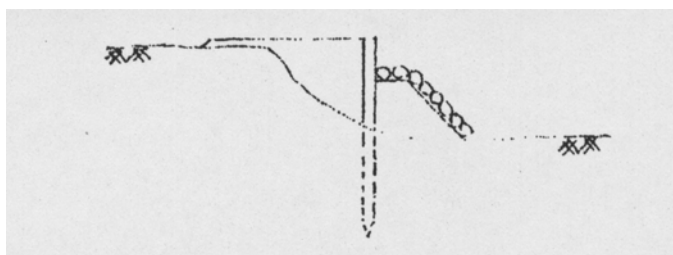
การถอดแบบคำนวณปริมาณงานเขื่อน

(1) งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(1.1) นั่งร้านตอกเสาเข็ม (ตร.ม.) ให้พิจารณาการคิดปริมาณงานนั่งร้าน ตามกราฟแสดง เปอร์เซนต์ งานนั่งร้านตอกเสาเข็ม/ความยาวตามแนวเขื่อน (ภาคผนวก ก)

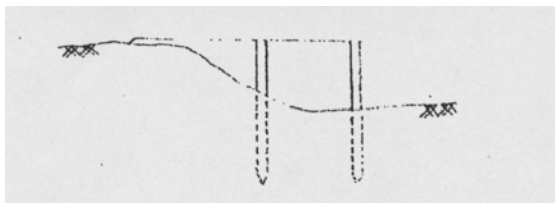
แบบเขมเดียว

- คิดพื้นที่นั่งร้าน กว้าง 4.00 ม. X ความยาวตามแนวเขื่อน



แบบโต้ะ

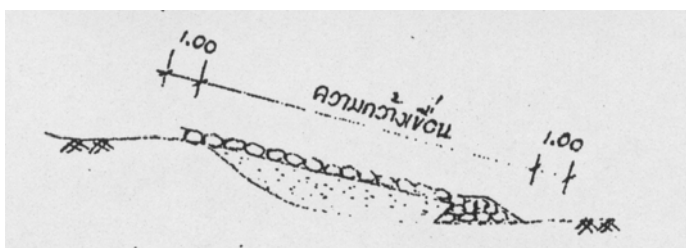
- คิดพื้นที่ตามความกว้างของโต้ะ x ความยาวตามแนวเขื่อน (ถ้าความกว้างน้อยกว่า 4.00 ม. ให้คิด 4.00 ม.)



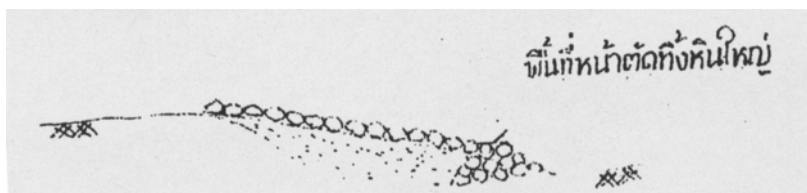
- (1.2) เสาเข็ม (ต้น)
- (1.3) สกัดหัวเสาเข็ม (ต้น)
- (1.4) แผงกันดิน (แผง)
- (1.5) คาน ค.ส.ล. ยึดหัวเสาเข็ม (เมตร)
- (1.6) แผงสมอ ค.ส.ล. (เมตร)
- (1.7) สายสมอพร้อมเกลียวเร่ง (ชุด)
- (1.8) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิดสันเขื่อน (เมตร)
- (1.9) บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ (แห่ง)
- (1.10) บันได ค.ส.ล. (แห่ง)
- (1.11) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. หน้าเขื่อน (แห่ง)
- (1.12) คันหิน ค.ส.ล. (เมตร)
- รายการที่ 2-12 ให้นับจำนวนตามแบบ

(2) งานหินเรียง

- (1.1) ปรับพื้นที่ (ตร.ม.)
 - คิด (ความกว้างของเขื่อน + 2) x ความยาวตามแนวเขื่อน

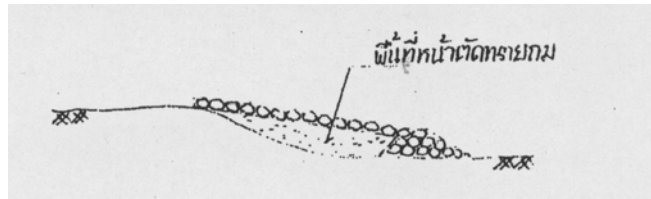


- (1.2) หักหินใหญ่ตื้นเขื่อน (ลบ.ม.)
 - คิดพื้นที่หักหินใหญ่ตื้นเขื่อน x ความยาวตามแนวเขื่อน (คิดทุกรูปตัด)



- (1.3) ก่อลวดตาข่ายแมทเทรสดินเขื่อน (กล่อง)
 - นับจำนวนตามแบบหินใหญ่ในกล่องแมทเทรสดินเขื่อน (ลบ.ม.)
 - ปริมาณหินในแต่ละกล่อง x จำนวนกล่อง
- (1.4) ถมทรายอัดแน่น (ลบ.ม.), ซุดดินปรับระดับ

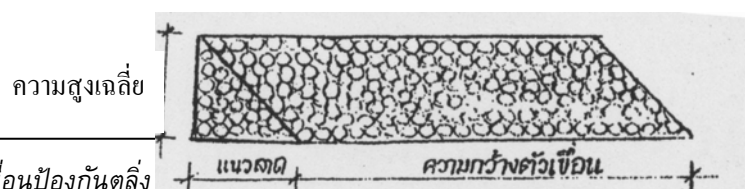
- คิดพื้นที่รวมแต่ละหน้าตัด (m^2) x ระยะห่างระหว่างหน้าตัด (ม.)



- (1.5) ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (ตร.ม), วัสดุกรอง
 - คิดความกว้างที่ปูตามแบบ x ความยาวตามแนวเขื่อน (คิดเผื่อการซ้อนทับตามแบบ)
 - (1.6) เรียงหินใหญ่พร้อมแทรกโพรงหินเล็กหน้าเขื่อน (ลบ.ม.)
 - คิดความกว้างตามแนวเอียง x ความหนา x ความยาวตามแนวเขื่อน
 - (1.7) คาน ค.ส.ล.รับราวกันตก (เมตร)
 - ราวเหล็กกันตก (เมตร)
 - (1.8) บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ (แห่ง)
 - (1.9) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิด (เมตร)
 - (1.10) คันหิน ค.ส.ล. (เมตร)
- รายการที่ (7) –(10) ให้นับจำนวนตามแบบ
- (1.11) บันไดหินเรียงยาแนว (แห่ง)
 - คิดแยกแต่ละแห่ง
 - ถอดแบบหาปริมาณหินใหญ่ตามรูปแบบ
 - คิดพื้นที่ยาแนวตามรูปแบบ
 - (1.12) อัจฉจันทร์หินเรียงยาแนว (แห่ง)
 - ถอดแบบหาปริมาณหินใหญ่เฉพาะส่วนที่เป็นอัจฉจันทร์
 - คิดพื้นที่ยาแนวตามรูปแบบ
 - (1.13) ทางเท้า (ตร.ม.)
 - คิดพื้นที่ตามความกว้างของทางเท้า x ความยาวตามแนวเขื่อน
 - (1.14) ถมดินลูกรังบดอัดแน่น (ลบ.ม.)
 - คิดพื้นที่รวมแต่ละหน้าตัด (ม) x ระยะห่างระหว่างหน้าตัด (ม.) (ลบ.ม.)



- (1.15) ทิ้งหินใหญ่ปิดหัว – ท้ายเขื่อน (ลบ.ม.)
 - คิดความสูงโดยเฉลี่ยระดับดินเดิมและระดับก่อสร้าง
 - คิดความกว้างของแนวลาดตามแบบกำหนด
 - คิดความกว้างของตัวเขื่อนตามรูปแบบ



- ปริมาณวัสดุ = $\frac{1}{2}$ x ความสูงเฉลี่ย x แนวลาด x ความกว้างตัวเขื่อน

1.5 การกำหนดแหล่งและราคาวัสดุ

สำหรับราคาของวัสดุ มีแหล่งข้อมูลอ้างอิงได้ ในการนำมาพิจารณาประกอบการประมาณราคา คือ ราคาของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ และข้อมูลราคาวัสดุจากสำนักงานโยธาธิการจังหวัด เมื่อพิจารณาแล้ว เห็นว่าข้อมูลราคาวัสดุจากสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัด น่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงมากกว่า เพราะครอบคลุมวัสดุที่จะใช้ในการประมาณราคามากกว่า เช่น ราคาดินถม,ทราย,หิน, ลูกกรัง และเป็นราคาที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้การประมาณราคาได้ใกล้เคียงถูกต้องกับความเป็นจริงมากกว่า

1.6 รายการประมาณราคาต่อหน่วยของงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

(1) งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(1.1) นั่งร้านตอกเสาเข็ม	บาท/ตร.ม.
(1.2) งานเสาเข็ม คสล.ขนาด (สำเร็จรูป)	บาท/ต้น
งานเสาเข็ม คสล.ขนาด(หล่อในที่)	บาท/ต้น
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.3) งานสกัดหัวเสาเข็ม	บาท/ต้น
(1.4) งานแผ่กันดิน คสล.	บาท/แผ่
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.5) งานคาน คสล.ยึดหัวเสาเข็ม	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.

- เสาค้ำไม้แบบ	ตัน
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.6) งานแผงสโม คสล.	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.7) งานสายสมอพร้อมเกลียวเร่ง	บาท/ชุด
(1.8) งานรางระบายน้ำ คสล. พร้อมฝาปิดสันเขื่อน	บาท/เมตร
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.9) บ่อพัก คสล.พร้อมท่อ	บาท/เมตร
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	ตัน
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
- ปูนทราย	บาท
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.10) งานบันได คสล.	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.11) งานรางระบายน้ำ คสล. ออกหน้าเขื่อน	บาท/แห่ง

- งานขุดดินหรือทราย	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	ตัน
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(1.12) งานขัดหิน คสล.	เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท

(2) งานหินเรียง

(2.1) งานปรับพื้นที่	บาท/ตร.ม.
(2.2) งานทิ้งหินใหญ่ดินเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(2.3) งานกล่อกลวดตาข่ายแมทเทรสดินเขื่อน	บาท/กล่อ
งานหินใหญ่ในกล่อกลวดตาข่ายแมทเทรสดินเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(2.4) งานทรายอัดแน่น	บาท/ลบ.ม.
(2.5) ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (วัสดุกรอง)	บาท/ตร.ม.
(2.6) เรียงหินใหญ่พร้อมแทรกโพรงด้วยหินเล็กหน้าเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(2.7) คาน คสล.รับราวกันตก	บาท/เมตร
ราวกันตก	บาท/เมตร
(2.8) บ่อพัก คสล.พร้อมท่อ	บาท/แห่ง
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่ำ	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(2.9) งานวางระบายน้ำ คสล.พร้อมฝาปิดสันเขื่อน	บาท/เมตร
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.

- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่าว	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(2.10) งานคั่นหิน คสล.	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่าว	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(2.11) งานบันไดหินเรียงยาแนว	บาท/แห่ง
(2.12) งานอัฒจันทร์หินเรียงยาแนว	บาท/แห่ง
(2.13) งานทางเท้าปูนซีเมนต์บล็อคฯ	บาท/ตร.ม.
(2.14) งานถมดินลูกรังอัดแน่น	บาท/ลบ.ม.
(2.15) งานทาสีหินใยปิดหัว-ท้ายเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(2.16) งานปลูกหญ้า	บาท/ตร.ม.

ใบประมาณราคาจ้างเหมาทำการก่อสร้างเขื่อน
สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง
งบประมาณปี

สถานที่ก่อสร้าง..... อำเภอ.....

ยาว เมตร จังหวัด.....

ประมาณราคาวัดที่..... แบบเลขที่.....

ลำดับ ที่	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
	<u>งานคอนกรีตเสริมเหล็ก</u>				
1.	นั่งร้านตอกเสาเข็ม	ตร.ม.			
2.	งานเสาเข็ม				
	2.1 เสาเข็ม ค.ส.ล. ขนาด.....	ต้น			
	2.2 เสาเข็ม ค.ส.ล. ขนาด.....	ต้น			
3.	งานสกัดหัวเสาเข็ม				
	3.1 หัวเสาเข็ม ขนาด.....	ต้น			
	3.2 หัวเสาเข็ม ขนาด.....	ต้น			
4.	แผ่ก้นดิน ค.ส.ล.	แผ่			
5.	คาน ค.ส.ล. ยึดหัวเสาเข็ม	เมตร			
6.	แผ่สมอ ค.ส.ล.	เมตร			
7.	สายสมอพร้อมเกลียวเร่ง	ชุด			
8.	วางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิดสันเขื่อน	เมตร			
9.	บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ	แห่ง			
10.	บันได ค.ส.ล.	แห่ง			
11.	วางระบายน้ำ ค.ส.ล. หน้าเขื่อน	แห่ง			
12.	คันหิน ค.ส.ล.	เมตร			
	<u>งานหินเรียง</u>				
13.	ปรับพื้นที่	ตร.ม.			
14.	ทิ้งหินใหญ่ตื้นเขื่อน	ลบ.ม.			
15.	กล่องลวดตาข่ายแมทเทรสดินเขื่อน	กล่อง			
16.	หินใหญ่ในกล่องแมทเทรสดินเขื่อน	ลบ.ม.			
				ยอดยกไป	

ผู้ประมาณราคา
(.....)

หัวหน้าฝ่ายประมาณราคา
(.....)

ลำดับที่	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
17.	ถมทรายอัดแน่น	ลบ.ม.			
18.	ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (วัสดุกรอง)	ลบ.ม.			
19.	เรียงหินใหญ่พร้อมแทรกโพรงหินเล็กหน้าเขื่อน	ลบ.ม.			
20.	คาน ค.ส.ล. รับราวกันตก	ลบ.ม.			
21.	ราวเหล็กกันตก	ลบ.ม.			
22.	บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ	ลบ.ม.			
23.	รางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิด	ลบ.ม.			
24.	คันหิน ค.ส.ล.	ลบ.ม.			
25.	บันไดหินเรียงยาแนว	ลบ.ม.			
26.	อัมพจรรย์หินเรียงยาแนว	ลบ.ม.			
27.	ทางเท้าชนิด.....	ลบ.ม.			
28.	ถมดินลูกรังบดอัดแน่น	ลบ.ม.			
29.	ทิ้งหินใหญ่ปิดหัว – ท้ายเขื่อน	ลบ.ม.			
	<u>งานอื่นๆ</u>				
30.	งานถนน				
	30.1 ถนนลูกรังหลังเขื่อน	ตร.ม.			
	30.2 ถนน ค.ส.ล. หลังเขื่อน	ตร.ม.			
	30.3 ถนนแอสฟัลท์หลังเขื่อน	ตร.ม.			
31.	ฐานเสาไฟฟ้า ค.ส.ล.	จุด			
32.	เสาไฟฟ้าดงโคม	จุด			
33.	งานอื่นๆ ที่ปรากฏในแบบและรายการ	ลบ.ม.			
	รวมค่างานต้นทุนเป็นเงิน				
	FACTOR F =				
	รวมเป็นเงินค่าก่อสร้างทั้งสิ้น				

ผู้ประมาณราคา
(.....)

หัวหน้าฝ่ายประมาณราคา
(.....)

(งานเขียน)

ปร. 5

แบบฟอร์มการประมาณราคางานเขียน

สรุปผลการประมาณราคาค่าก่อสร้าง

ส่วนราชการ ฝ่าย..... กอง.....
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

ประเภทงาน

สถานที่ก่อสร้าง

เจ้าของงาน กรมโยธาธิการและผังเมือง ออกแบบและรายการ

แบบเลขที่

ประมาณการตามแบบ ปร.4 จำนวน แผ่น

ประมาณราคา เมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.

ลำดับที่	รายการ	รวมค่างาน ต้นทุน	FACTOR F	รวมค่าก่อสร้าง	หมายเหตุ
	ประเภทงานเขียน				FACTOR F - เงินล่วงหน้าจ่าย.....% - ดอกเบี้ยเงินกู้.....% - เงินประกันผลงานหัก...%
สรุป	รวมเป็นเงินค่าก่อสร้าง				
	เป็นเงินค่าก่อสร้างประมาณ				
	ตัวอักษร (.....)				

ความยาวตามแนวเขียน.....เมตร

เฉลี่ยราคาเมตรละ.....บาท

ผู้ประมาณราคา

()

คณะกรรมการกำหนดราคากลาง

1.

()

ตรวจ

2.

(หัวหน้าฝ่ายประมาณราคา)

()

เห็นชอบ.....

3.

(ผู้อำนวยการกอง.....)

()