



การจัดการก่อสร้างงานทำนบดิน (งานดำเนินการเอง)



ฝ่ายรถแทรกเตอร์ที่ ๗
ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องจักรกลที่ ๗
สำนักเครื่องจักรกล

คำนำ

ฝ่ายรถแทรกเตอร์ที่ 7 ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องจักรกลที่ 7 สำนักเครื่องจักรกล เป็นหน่วยงานหนึ่งของกรมชลประทานซึ่งกรมชลประทานเป็นส่วนราชการที่มีหน้าที่ในการพัฒนาแหล่งน้ำ การจัดการน้ำและป้องกันและบรรเทาภัยจากน้ำ ซึ่งตัวหลักสำคัญที่ขับเคลื่อนการปฏิบัติงานให้ลุล่วง ตามภารกิจ คือเครื่องจักรกลเครื่องจักรกลที่ใช้ในการปฏิบัติงานดินในการ ก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝ่าย ระบบส่งน้ำ ระบบระบายน้ำและงานอื่นๆ จะประกอบไปด้วย รถดัน (Bulldozer) รถขุด (Excavator) รถตัก (Wheel loader) รถเกลี่ยดิน (Motor Grade) รถบดอัด (Compacter) และรถบริการต่างๆ เป็นต้น เพื่อรองรับภารกิจของกรมชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามแผนยุทธศาสตร์และเป้าหมายของกรมชลประทาน คณะผู้จัดทำจึงขอจัดทำข้อมูลการเลือกใช้ ชนิด ขนาด จำนวนเครื่องจักรและบุคลากรที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานในกรมชลประทาน เพื่อเป็นคู่มือในการปฏิบัติงานให้บรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายของกรมชลประทานต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
บทที่ 1 บทนำ	
1.การเลือกใช้ ชนิด และขนาดของแทรกเตอร์เข้าปฏิบัติงาน	1
2.หลักในการเลือกใช้เครื่องจักรกล	1
3.ปัญหาและสาเหตุของอุบัติเหตุเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรกล	2
บทที่ 2 ทำความรู้จักกับเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน	
2.1 รถขุดไฮดรอลิค (ExcaratorBack-hoe)	3
2.2 รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ	6
2.3 รถปาดเกลี่ยดิน (motor grader)	10
2.4 รถบด (Compaction)	14
2.5 รถบรรทุกเทท้าย (Off-High way Dump Truck)	18
2.6 รถบรรทุกน้ำ (Truck Water)	19
2.7 รถดันล้อยาง (Whell Loader)	20
2.8 เครื่องจักรสับสนุน รถบรรทุกขนาด 4-6 ตัน	21
2.9 รถเครน (ปั้นจั่น)	21
2.10 เครื่องสูบน้ำ	22
บทที่ 3 กิจกรรมของงานก่อสร้าง ทำนบดิน ตามรูปแบบโดยทั่วไปของกรมชลประทาน	
3.1 ขนย้ายเครื่องจักรเข้าปฏิบัติงานห้วงงานและขนย้ายกลับ	24
3.2 งานถางป่า	24
3.3 งานเปิดหน้าดิน	26
3.4 งานดินขุดด้วยเครื่องจักรกล	28
3.5 งานบดอัดทับแน่น	33
3.6 ตัวอย่าง การพิจารณา ชนิด และขนาดของเครื่องจักรกลที่เข้าปฏิบัติงาน ของโครงการปรับปรุงความจุอ่างฯ โครงการอ่างเก็บน้ำบางวาด (เพิ่มความจุอ่างฯ) จ.ภูเก็ต	46
บทที่ 4 นิยามศัพท์เชื่อมขนาดเล็ก	54
บทที่ 5 รายละเอียดอ่างเก็บน้ำและเชื่อมขนาดเล็ก	57
บทที่ 6 วัสดุก่อสร้างเชื่อม	60
บทที่ 7 ฐานรากเชื่อม	66
บทที่ 8 การออกแบบตัวเชื่อม	69
บทที่ 9 การก่อสร้างเชื่อม	75
อ้างอิง	95

บทที่ 1

บทนำ

1. การเลือกใช้ ชนิด และขนาดของแทรกเตอร์เข้าปฏิบัติงาน

แทรกเตอร์ หมายถึง เครื่องจักรกลที่นำมาใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงในงานก่อสร้าง มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละประเภทมีขีดความสามารถ และความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละอย่างต่างกันไป ดังนั้นผู้ดำเนินการก่อสร้าง นอกจากจะต้องมีความชัดเจนเกี่ยวกับวิธีก่อสร้างเป็นอย่างดี แล้วจะต้องรู้จักเลือกใช้ประเภท ชนิด ขนาด และจำนวนให้เหมาะสมกับสภาพงานนั้นด้วย จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน

สำหรับฝ่ายรถแทรกเตอร์นั้นมีเครื่องจักรกลอยู่หลายชนิด ซึ่งจะจำแนกและอธิบายขอบเขตความสามารถของรถแทรกเตอร์แต่ละชนิดให้ทราบดังนี้

1. รถขุดไฮดรอลิค (Excavator Back – Hoe)
2. แทรกเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor)
3. รถบดชนิดต่างๆ (Compactor)
4. รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader)
5. รถบรรทุกเทท้าย (Dump Truck)
6. รถบรรทุกน้ำ (Truck water)
7. รถตักล้อยาง (Wheel Loader)

2. หลักในการเลือกใช้เครื่องจักรกล

1. เลือกขนาดเครื่องจักรกลว่าจะต้องใช้เครื่องจักรกลขนาดใด ชนิดไหน จึงจะเหมาะสมกับงานข้อนี้หมายถึงชนิดของงานและปริมาณงาน ระยะทางในการขนย้ายวัสดุ หลักสำคัญคือต้องให้เครื่องจักรกลต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กันโดยไม่ต้องหยุดรอเครื่องจักรกลบางอย่าง ในขณะที่เครื่องจักรกลอื่นทำงานอยู่ ทั้งนี้จะต้องให้เครื่องจักรแต่ละอย่างทำงานอย่างเต็มกำลังความสามารถ ดังนั้น การเลือกเครื่องจักรกลจึงต้องพอเหมาะกับงานคือไม่ใหญ่หรือเล็กเกินไป

2. เลือกใช้เครื่องจักรกลแต่ละชนิดให้ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะของงานและสภาพของงาน เพื่อให้เครื่องจักรกลมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เป็นการลดต้นทุนการซ่อมบำรุงไปด้วย เช่น เครื่องจักรกลที่มีอุปกรณ์สำหรับงานดินไม่ควรนำไปใช้กับงานหิน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลนั้นสั้นลง หรือรถตักก็ไม่ควรนำไปดันหรือตักดินที่ไม่ได้รวมกองไว้ก่อน ทั้งนี้เพราะเครื่องจักรกล แต่ละชนิดได้ออกแบบเพื่อใช้งานเฉพาะแต่ละอย่างเท่านั้น ถ้านำไปใช้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ จะทำให้เกิดผลเสียมากกว่าผลดี

3. ใช้เครื่องจักรกลให้เต็มความสามารถ แต่ต้องไม่เกินขีดความสามารถเป็นอันขาด ทั้งนี้เพื่อให้ได้ประโยชน์มากที่สุดจากการใช้เครื่องจักรกลเหล่านั้น บางเครื่องอาจต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษบางอย่างช่วยให้เหมาะสมกับลักษณะงาน เช่น ใช้รีเปอร์ติดท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อขุดทำลายสภาพของดินแข็งหรือหินที่ไม่แข็งมากนัก หรือเกินกว่าจะใช้ใบมีดรถแทรกเตอร์ ไถดินโดยตรงลักษณะเช่นนี้ย่อมจะทำงานให้ง่ายขึ้นและยังช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลยาวนานขึ้นอีกด้วย

4. ใช้เครื่องจักรกลตามข้อแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดเพื่อรักษาเครื่องจักรกลให้อยู่ในสภาพที่ดีจะช่วยลดการสึกหรอ ของเครื่องจักรกลได้ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงจะต่ำลง ทั้งนี้จะต้องเลือกผู้ที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องจักรกลนั้นๆเป็นอย่างดี โดยกำหนดหน้าที่เป็นพนักงานบังคับมาตลอดจนมีผู้ดูแลและบำรุงรักษาประจำรถหรือเครื่องจักรกลต่างๆ

5. ในงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมควรทำความเข้าใจถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่เครื่องจักรกลบ้างตามสมควร ถ้าเกิดการชำรุดเพียงเล็กน้อยก็ควรหยุดเพื่อตรวจสอบแก้ไข เพื่อป้องกันการเสียหายมากขึ้น จนต้องหยุดซ่อมบำรุงเป็นเวลาหลายวัน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น การทำงานต้องชะงักลงด้วย และแผนการทำงานของโครงการต้องล่าช้ากว่าปกติ

3. ปัญหาและสาเหตุของอุบัติเหตุเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรกล

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเด็น คือ

1. ปัญหาด้านแรงงาน พนักงานผู้ควบคุมเครื่องจักรและผู้ปฏิบัติงาน

- แรงงานส่วนใหญ่เป็นชาวไร่ ชาวนา มีการศึกษาไม่สูงนัก ขาดความรู้ทักษะในการทำงานที่ใช้เครื่องจักรกล
- ขาดระเบียบในการทำงานของเครื่องจักรกล โดยมักจะไม่สวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล(PPE)
- ทางผู้รับผิดชอบหรือองค์กรไม่มีการจัดฝึกอบรมให้กับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องจักรกล

2. ปัญหาด้านเครื่องจักรกล

- การใช้เครื่องจักรกลผิดประเภท กับงานที่ทำเครื่องจักรกลแต่ละชนิด จะถูกออกแบบและกำหนดแนวทางใช้เฉพาะงาน
- การใช้เครื่องจักรกลเกินขีดความสามารถ
- มีการแก้ไขดัดแปลงเครื่องจักรกลเอง โดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์
- ไม่มีมาตรการและออกกฎระเบียบในการใช้เครื่องจักรกลนั้น
- ไม่มีการบำรุงตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ประกอบตามระยะเวลาที่ผู้กำหนด

ผลิต

บทที่ 2

ทำความรู้จักกับเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน

2.1 รถขุดไฮดรอลิก (Excavator Back-hoe)



รถขุดไฮดรอลิกเป็นเครื่องจักรกลอีกประเภทหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายวัสดุซึ่งสามารถทำการขุดและตักแล้วเคลื่อนย้ายไปเท โดยทั่วไปจะมีแขนยื่นบั้งกีหรือที่จับออกไปขุดและตัก และจะหมุนส่วนบนของตัวรถไปยังตำแหน่งที่ต้องการ แล้วก็จะเทวัสดุออกจากบั้งกีหรือที่จับ ส่วนด้านล่างของตัวรถที่สัมผัสกับพื้นจะไม่เคลื่อนย้ายสำหรับการทำงานและวงจรรถขุดตัก

ลักษณะของการทำงาน

1. ขุดดิน หิน ทลาย



2. ขุดลอก ขุดขยาย คู คลอง



3. ถางป่า ล้มต้นไม้



4. เคลื่อนย้ายวัสดุ อุปกรณ์



ความสามารถของรถขุดไฮดรอลิก (Excavator Back-hoe)



รถขุดไฮดรอลิก ขนาด 200 แรงม้า สามารถขุดตักถูกรังได้ 600 ลบ.ม./วัน



รถขุดไฮดรอลิก ขนาด 200 แรงม้า สามารถขุดตักดินได้ 930 ลบ.ม./วัน



รถขุดไฮดรอลิก ขนาด 200 แรงม้า สามารถขุดลอกได้ 800 ลบ.ม./วัน

2.2 รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ

1 รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor)



ข้อดีของรถแทรกเตอร์ตีนตะขาบเมื่อใช้ในงานก่อสร้างก็คือ

- สามารถใช้กำลังในการขับเคลื่อนได้สูง เนื่องจากจะไม่เกิดการลื่นไถลได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานบนพื้นที่ไม่แน่นอน
- สามารถทำงานบนพื้นที่เป็นดินและบริเวณที่มีหินแหลมคมได้ เพราะหินแหลมคมจะไม่ทำให้ชุดสายพานตีนตะขาบชำรุดได้ง่าย
- สามารถทำงานในพื้นที่ขรุขระได้ดี จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่ในการทำงาน
- สามารถทำงานในพื้นที่ลุ่มได้ดี เพราะมีการลอยตัว (floatation) ดีหรือความดันที่กดลงบนพื้น (ground pressure) ต่ำนั่นเอง

รถดันดินตะขาบ ก็คือเครื่องจักรกลที่เปลี่ยนกำลังของเครื่องยนต์ให้เป็นกำลังขับเคลื่อน โดยส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อเฟือง (sprocket) เพื่อไปขับเคลื่อนสายพานดินตะขาบให้เคลื่อนที่ไปและทำให้แผ่นดินตะขาบซึ่งติดอยู่กับสายพานดินตะขาบตะกุกตะกวยไปบนพื้น ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่ไป

2. รถแทรกเตอร์ดินตะขาบกว้าง (Low Ground)



สามารถทำงานในพื้นที่ลุ่มได้ดี เพราะมีการลอยตัว (floatation) ดีหรือความดันที่กดลงบนพื้น (ground pressure) ต่ำนั่นเอง

3. รถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper)



เครื่องทำลายที่ติดกับรถดันดินตะขาบจะใช้ในการขุดหิน ที่ไม่แข็งนักแทนการระเบิด โดยทั่วไป ความแข็งของหินจะนิยามวัดโดยใช้เครื่องมือ seismograph ซึ่งจะวัดความเร็วของคลื่นเสียงผ่านหินชนิดต่างๆ สำหรับความเร็วของคลื่นเสียงจะมีค่าตั้งแต่ 300 เมตร/วินาที ในดินอ่อนจนถึง 6,000 เมตร/วินาทีในหินแข็ง คราดจะทำงานได้ดีสำหรับหินที่มีค่าความเร็วของคลื่นเสียง 1,000 -2,000 เมตร/วินาที และหินควรจะมีรอยแตกหรือรอยแยกเปราะและเป็นชั้นๆ กรมชลประทานมีใช้อยู่ประเภทเดียว คือรถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย(Ripper)ใช้ในงานประเภทดิน หิน

ความสามารถของรถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper)

1. สามารถขุดหรือขุด หิน ที่แข็งไม่มากนักแทนการระเบิด
2. สามารถขุดดินขุดยากที่มีพื้นที่กว้างและหินที่มีความแข็งไม่มากนัก
3. สามารถขุดหินผุที่เป็นพื้นที่ลาดชัน หรือพื้นที่แคบๆ แทนการระเบิด

กิจกรรมการทำงาน

1. ถางป่า



รถดันดินตะขาบ ขนาด 270 แรงม้า สามารถทำงานได้ 3.50 ไร่/วัน

2. งานดินและตัก



รถดันดินตะขาบ ขนาด 140 แรงม้า สามารถทำงานได้ 560 ลบ.ม./วัน



รถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper)
ขนาด 270 แรงม้า สามารถทำงานได้ 560 ลบ.ม./วัน

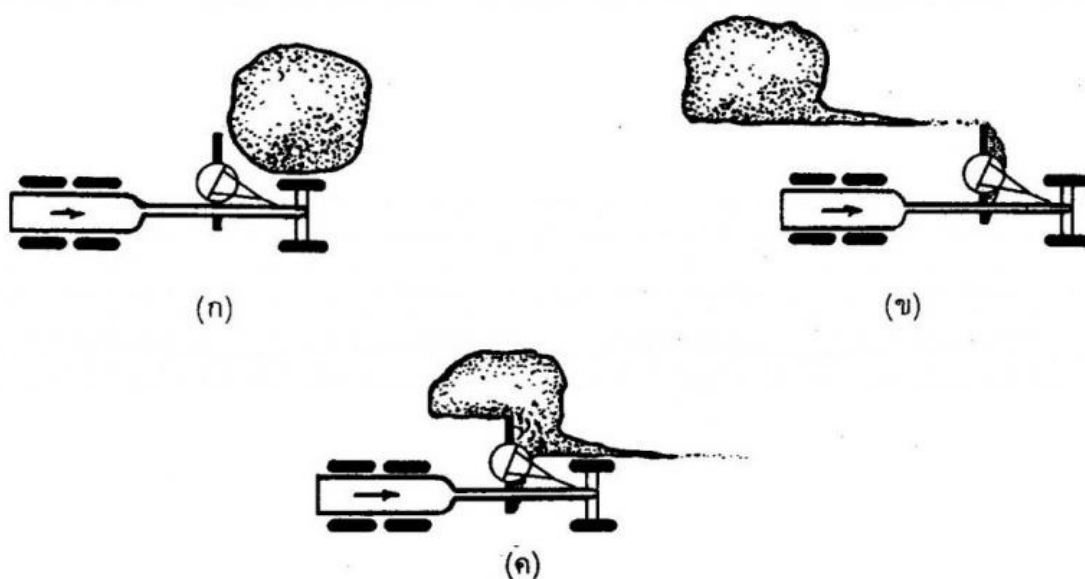
2.3 รถปาดเกลี่ยดิน (Motor grader)



รถเกลี่ยดินเป็นเครื่องจักรกลอีกประเภทหนึ่งของเครื่องจักรกลงานดิน ซึ่งจะใช้งานขุด เกลี่ย และตบแต่งผิว สำหรับงานสร้างถนนหรืองานปรับระดับพื้น รถเกลี่ยจะเป็นเครื่องจักรกลล้ออย่างแบบ ขับเคลื่อนด้วยตัวเอง มีทั้งแบบ 4 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อ และ 4 ล้อ แบบ 6 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อ, 4 ล้อ และ 6 ล้อ ขนาดของตัวรถซึ่งนิยมกำหนดด้วยขนาดของเครื่องยนต์มีให้เลือกตั้งแต่ขนาด 50 แรงม้าจนถึง 350 แรงม้า

ลักษณะของงานที่รถเกลี่ยดินสามารถทำได้นั้น มีหลายลักษณะงานด้วยกัน แต่ที่สำคัญ ๆ นั้นได้แก่

1. การกระจายกองวัสดุ (spreading a pile)



ภาพแสดงการทำงาน

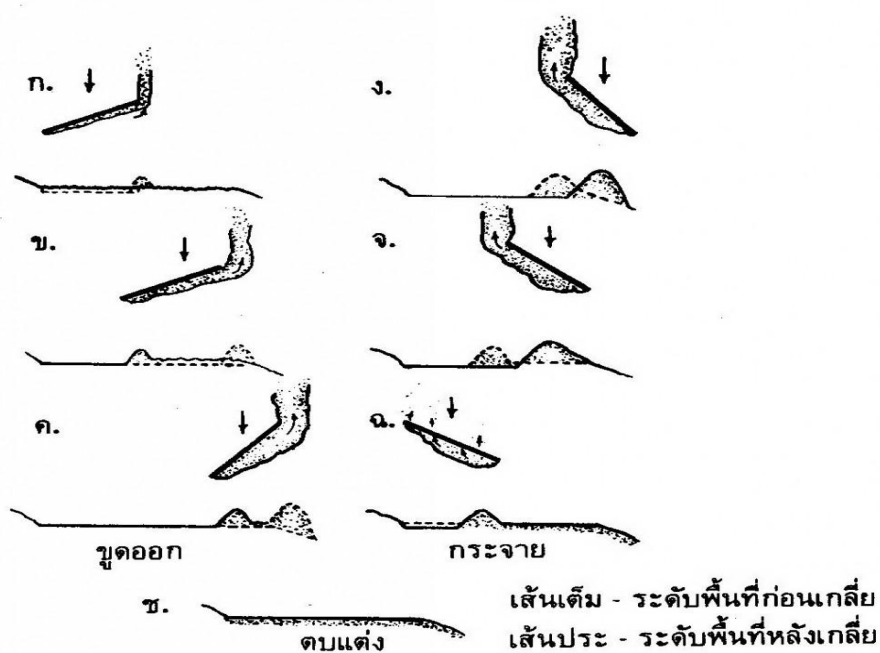
สามารถทำได้โดยการเลื่อนใบมีดออกด้านข้าง แล้วเข้าไปดันให้กองวัสดุกระจายออกทีละน้อย ซึ่งล้อของรถเกลี่ยจะไม่ป็นกองวัสดุ และในขณะที่ดันกองวัสดุออกก็ค่อย ๆ ยกใบมีดขึ้นเพื่อจะเกลี่ยวัสดุ ด้านหน้าของใบมีดให้กระจายออก

2. การปรับระดับพื้นที่ขรุขระ



การปรับระดับพื้นที่ขรุขระ เช่น การซ่อมถนนลูกรังหรือถนนดินประเภทอื่น การปรับระดับสามารถกระทำได้ โดยการขูดผิวพื้นเดิมที่ขรุขระออก ซึ่งในการขูดนั้นใบมีดของรถเกลี่ยจะลดลงและเอียงให้วัสดุที่ถูกขูดออกไหลไปกองไว้ด้านข้าง หลังจากนั้นก็จะเกลี่ยกองวัสดุนั้นยัง บริเวณที่ถูกขูดออกอีก และปรับให้ได้ระดับ

การปรับระดับของพื้น



3. การตัดร่องน้ำ (cutting gutter)



โดยทั่วไปแล้วในการสร้างถนน ขอบของถนนจะตัดเป็นร่องน้ำ ซึ่งรถเกลี่ยจะทำการตัดร่องน้ำโดยการกดใบมีดด้านที่จะตัดลง และยกใบมีดอีกด้านหนึ่งขึ้นพร้อมกับเสียงใบมีดเพื่อให้วัสดุที่ถูกตัดออกมากองด้านข้าง การตัดนี้จะค่อยๆ ทำหลายๆ ครั้งจนได้ความลึกและความกว้างตามต้องการ ซึ่งการตัดอาจกระทำสลับกับการเกลี่ยกองวัสดุที่ถูกตัดออกขึ้นมาบนพื้นถนน

การตัดร่องน้ำ



กิจกรรมการทำงาน

1. งานถางป่า



กิจกรรมถากถาง (ป่าโปร่ง) ใช้รถปาดเกลี่ยดินขนาด 150 แรงม้า
สามารถทำงานได้ 8 ไร่/วัน

2. งานพื้นที่ทางหินคลุก



รถปาดเกลี่ยดินขนาด 120 แรงม้า สามารถทำงานได้ 290 ลบ.ม./วัน

รถมอเตอร์เกรดขนาด 120 แรงม้า สามารถทำงานได้

1. งานถางป่าล้มต้นไม้ สามารถทำได้ 3.50 ไร่ ต่อวัน
2. งานลูกรังบดอัดแน่น สามารถทำได้ 600 ลบ.ม. ต่อวัน
3. งานผสมหินคลุก สามารถทำได้ 290 ลบ.ม. ต่อวัน
4. งานบดอัดแน่น 85% (งานทั่วไป) สามารถทำได้ 660 ลบ.ม.ต่อวัน
5. งานบดอัดแน่น 95% (งานทั่วไป) สามารถทำได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน
6. งานบดอัดแน่น 95% (งานเขื่อน) สามารถทำได้ 640 ลบ.ม.ต่อวัน
7. งานบดอัดแน่น 98% (งานเขื่อน) สามารถทำได้ 575 ลบ.ม.ต่อวัน

2.4 รถบด (Compaction)

ในงานก่อสร้างที่มีการนำวัสดุมาถมเพื่อทำเป็นคัตหรือถมที่ต่ำให้สูงขึ้นหรือทำเป็นฐานของถนน จำเป็นที่จะต้องมีการบดอัด ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุที่นำมาถมนี้สามารถรับแรงได้โดยไม่มีการทรุดตัว ในข้อเท็จจริงขณะที่เครื่องจักรกลต่าง ๆ ทำงานถมวัสดุดังกล่าว ในการดัน การเกลี่ย และการปรับแต่ง เครื่องจักรกลก็จะทำการบดอัดไปด้วยอยู่แล้ว แต่ยังไม่เป็นการเพียงพอ จำเป็นที่จะต้องมีการบดอัดเพิ่มเติมโดยเครื่องบดอัดเพื่อให้ได้ความแน่นตามต้องการ การบดอัดสามารถ ทำได้หลายลักษณะโดยเครื่องบดอัดประเภทต่าง ๆ ซึ่งการเลือกใช้รถบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับ ชนิด ประเภท และคุณสมบัติของวัสดุที่จะทำการบดอัด

ชนิดของดิน (soil types) ที่นำมาบดอัด

วัสดุที่จะทำการบดอัดจะเป็นวัสดุที่เรียกรวม ๆ กันว่าดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ตามขนาดและสมบัติคือ

1. กรวด (gravel) กรวดก็คือหินที่มีขนาดเล็ก โดยปกติหินที่เรียกว่ากรวดนั้นจะมีขนาด ตั้งแต่ 2 – 75 มิลลิเมตร
2. ทราย (sand) ทรายก็คือกรวดขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 2 – 0.074 มิลลิเมตร ทราย จะมีคุณสมบัติที่แต่ละเม็ดของทรายจะไม่มีการยึดตัวติดกัน และความแข็งของเม็ดทรายจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปียก
3. ทรายละเอียด (silt) ทรายละเอียดก็คือทรายที่ถูกป่นจนมีขนาดเล็กคล้ายแป้ง ขนาดของทรายละเอียดจะมีขนาดตั้งแต่ 0.074 มิลลิเมตรลงไป
4. ดินเหนียว (clay) จะเป็นดินที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งจะประกอบด้วยสารที่ยึดเหนี่ยวกันไว้ จนทำให้โคลนมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นได้ เมื่อแห้งจะแข็งมาก
5. อินทรีย์สาร(organic matter) ได้แก่พวกสารที่มีชีวิตต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในดิน เช่น พืช เป็นต้น อินทรีย์สารเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและจะทำให้เกิดช่องว่างในดิน

1. รถบดล้อยาง (Rubber Tire Roller compactor)



รถบดถนนแบบล้อยางส่วนใหญ่ประกอบด้วยล้อยางบดคู่หน้าหลังและล้อยางบดระบบไฮดรอลิก เนื่องจากอุปกรณ์เกียร์ที่ใช้ รถบดถนนล้อยางบดคู่หน้าหลังเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณภาพในการอัดสูงสำหรับงานที่ต้องการคุณภาพสูงเช่นทางหลวง, สนามบิน, สร้างถนนและฐานโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการอัดพื้นยางมะตอยชั้นสุดท้ายบนทางหลวง เครื่องยนต์ Cummins ที่ใช้ทำให้รถบดนี้มีพลังงานที่สูง

รถบดถนนล้อยางบดแบบระบบไฮดรอลิกติดตั้งเครื่องยนต์ของCummins ระบบขับเคลื่อนไฮดรอลิกแบบเปลี่ยนเกียร์โดยไม่ต้องเหยียบ, ยางหน้า 5 เส้น และหลัง 6 เส้น เหมาะกับงานที่ต้องการคุณภาพสูงเช่นทางหลวง, สนามบิน, สร้างถนนและฐานโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะการอัดพื้นยางมะตอยชั้นสุดท้ายบนทางหลวง

ความสามารถในการทำงานของรถบดล้อยางRubber Tire Roller compactor)

1. งานลูกรังบดอัดทับแน่น สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน
2. งานบดอัดทับแน่นหินคลุก สามารถทำงานได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน
3. งานบดอัดทับแน่น 85% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 660 ลบ.ม.ต่อวัน
4. งานบดอัดทับแน่น 95% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน
5. งานบดอัดทับแน่น 95% (งานเขื่อน) สามารถทำงานได้ 640 ลบ.ม.ต่อวัน
6. งานบดอัดทับแน่น 98% (งานเขื่อน) สามารถทำงานได้ 575 ลบ.ม.ต่อวัน

2. รถบดล้อหนามแบบสั่นสะเทือน (steel wheel rollers)



เป็นทั้งเครื่องกลและไฮดรอลิกขึ้นอยู่กับระบบขับเคลื่อน เครื่องจักรประเภทนี้เหมาะสำหรับกองวัสดุที่ไม่ยึดติดกันเช่น ดินลูกรัง, ก้อนกรวด, หินปนทราย, ดินทราย, หินก้อนเล็กและอื่นๆ พร้อมกับแรงหนีศูนย์กลางบนฐาน, ชั้นรองฐาน, การสร้างเขื่อน, ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดกับการสร้างที่ต้องการคุณภาพสูงเช่น ทางด่วน, สนามบิน, ท่าเรือ, เขื่อนและฐานของโรงงานอุตสาหกรรม และยังมีรถบดถนนล้อเหล็กหน้าที่เหมาะกับใช้งานบนความสูงมากกว่า 4,000 เมตร อีกด้วยขึ้นอยู่กับดีไซน์และความต้องการรถบดถนนล้อเหล็กหน้านี้มีห้องขับที่ปิดมิดชิดและแข็งแรงเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอลเพื่อการันตีคุณภาพอีกด้วย

ความสามารถในการทำงานรถบดล้อหนามแบบสั่นสะเทือน (steel wheel rollers)

1. งานลูกรังบดอัดทับแน่น สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน
2. งานบดอัดทับแน่นหินคลุก สามารถทำงานได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน
3. งานบดอัดทับแน่น 85% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 660 ลบ.ม.ต่อวัน
4. งานบดอัดทับแน่น 95% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน

3. รถบดล้อเหล็กเรียบแบบสันสะเทือน (steel wheel rollers)



เป็นทั้งเครื่องกลและไฮดรอลิกขึ้นอยู่กับระบบขับเคลื่อน เครื่องจักรประเภทนี้เหมาะสำหรับกองวัสดุที่ไม่ยึดติดกันเช่น ดินลูกรัง, ก้อนกรวด, หินปนทราย, ดินทราย, หินก้อนเล็กและอื่นๆ พร้อมกับแรงหนีศูนย์กลางบนฐาน, ชั้นรองฐาน, การสร้างเขื่อน, ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดกับการสร้างที่ต้องการคุณภาพสูงเช่น ทางด่วน, สนามบิน, ท่าเรือ, เขื่อนและฐานของโรงงานอุตสาหกรรม และยังมีรถบดถนนล้อเหล็กหน้าที่เหมาะกับใช้งานบนความสูงมากกว่า4,000เมตร อีกด้วยขึ้นอยู่กับดีไซน์และความต้องการ

ความสามารถรถบดล้อเหล็กเรียบแบบสันสะเทือน (steel wheel rollers)

1. งานลูกรังบดอัดทับแน่น สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน
2. งานบดอัดทับแน่นหินคลุก สามารถทำงานได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน
3. งานบดอัดทับแน่น 85% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 660 ลบ.ม.ต่อวัน
4. งานบดอัดทับแน่น 95% (งานทั่วไป) สามารถทำงานได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน

4. รถบดล้อหนามขนาดใหญ่ (Sheepsfoot Rollers)



การบดอัดดินเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่จะเพิ่มความหนาแน่นหรือความต้านทานของดินขึ้น โดยพยายามไม่ให้มีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ และขับไล่น้ำให้ออกไปจากช่องว่างเหล่านั้น เพื่อให้พื้นดินเกิดความมั่นคงสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น

เหมาะสำหรับดินประเภททรายที่มีลักษณะคละกั้นของตะกอนกรวดและดินเหนียว ไม่เหมาะกับพื้นที่เป็นทรายหรือดินเหนียวที่อ่อนนุ่ม

2.5 รถบรรทุกเทท้าย (Off-High Way Dump Truck)



รถบรรทุก (truck) จะทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ในงานก่อสร้าง เช่น ใช้งานร่วมกับรถตักในการเคลื่อนย้ายดินไปเทในที่ไกลๆ หรือลำเลียงวัสดุมาใช้ในการทำถนน หรือใช้ในการขนวัสดุมาใช้ในการก่อสร้าง

เป็นรถยนต์สำหรับการขนถ่ายสิ่งของ เช่น หิน ดิน ทราย หรืออุปกรณ์ก่อสร้าง เป็นต้น มีระบบยกเทแบบไฮดรอลิคดันใต้ท้องกระบะ กระบอกไฮดรอลิคเป็นกระบอกไฮดรอลิคที่มีคุณภาพสูงได้รับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เพื่อการใช้งานได้อย่างปลอดภัยและทนทาน ออกแบบและผลิตจากโรงงานที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ มอก.

ลักษณะการทำงานเคลื่อนย้ายวัสดุ

รถบรรทุกขนาด 300 แรงม้า จำนวน 2 คัน ระยะทาง 1 กม.สามารถขนย้าย ดิน ทราย หิน กรวด ได้ 1,200 ลบ.ม.ต่อวัน เพิ่มจำนวนรถ 1 คัน ทุกๆ ระยะทางที่เพิ่มขึ้น 1 กม.

2.6 รถบรรทุกน้ำ Truck Water



รถบรรทุกน้ำเป็นรถที่ใช้ในการให้ความชื้นกับดิน ในการบดอัดแน่น งานเขื่อนและงานถนน ใช้รดน้ำในทางลำเลียง เพื่อไม่ให้เกิดฝุ่นในระหว่างรถบรรทุกดินทำงาน

ลักษณะของการทำงาน

ให้ความชื้นกับดินในงานดัดแน่นใช้รดทางลำเลียงในระหว่างรถบรรทุกทำงาน ใช้ในงานอุปโภค บริโภค

2.7 รถดักล้อยาง (Wheel Loader)



การเลือกชนิดขนาดและจำนวนรถดักลที่สามารถตักหินหรือหินให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ ในทางปฏิบัติพบว่ารถดักลขนาดใหญ่จะทำงานได้ดีกว่ารถดักลขนาดเล็กหลายคันและงานขุดตัก ถ้าใช้รถดักลจำนวนมากเกินไปค่าใช้จ่ายในการตักสูงแต่ถ้าใช้จำนวนน้อยจะทำให้เกิดการรอคอยหรือคอขวด (Bottom neck) ที่งานตัก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการตักสูงขึ้นเช่นกัน

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกขนาดและชนิดของรถดักล ได้แก่

1. การเลือกชนิดรถดักลและขนาดของบั้งก็ร์รถดักลนั้นจะต้องสัมพันธ์กับขนาดปากโมที่รับหินได้ เนื่องจากจะทำให้หินขนาดใหญ่เกินไปไม่ติดค้างที่ปากโม
2. ขนาดของบั้งก็ร์รถดักลจะต้องสัมพันธ์กับขนาดของรถบรรทุกจำนวนครั้งของการตักจะต้องพอดีกับความสามารถของรถที่บรรทุกได้
3. ความสูงในการตักจะต้องเหมาะสม
4. ความคล่องตัวและความปลอดภัยในการทำงาน
5. ความสามารถในการขจัดสิ่งกีดขวาง
6. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการตักพร้อมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

ความสามารถในการทำงานรถดักล้อยาง (Wheel Loader)

รถดักลขนาด 120 แรงม้า สามารถดินและตักดิน หิน และ ทรายเป็น 560 ลบ.ม.ต่อวัน

2.8 เครื่องจักรสนับสนุนรถบรรทุกขนาด 4-6 ตัน



จะใช้ในการลำเลียงวัสดุ สำหรับส่วนที่สำคัญของรถบรรทุกจะประกอบด้วย เครื่องยนต์นิยมใช้เครื่องยนต์ดีเซล ระบบถ่ายทอดกำลังโดยทั่วไปจะใช้คลัตช์แบบแห้งแผ่นเดียว ห้องเกียร์เป็นห้องเกียร์แบบธรรมดา ระบบเบรกจะเป็นแบบน้ำมันโดยใช้ลมช่วยหรือเป็นแบบเบรกกลมมีเบรกไอเสียช่วย

2.9 รถเครน (ปั้นจั่น)



เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการอำนวยความสะดวก ส่วนมากจะใช้สำหรับการยกของและเคลื่อนย้ายวัสดุต่างๆ รถเครน (ปั้นจั่น)มีอยู่ 3 แบบ คือรถตีนตะขาบ รถบรรทุก และรถล้อยาง ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

ลักษณะของการทำงาน

อำนวยความสะดวกในการยก ขนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ ระหว่างปฏิบัติงาน



งานขนย้ายวัสดุ

2.10 เครื่องสูบน้ำ



เครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบท่อ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้น อาจได้จากเครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้าแรงลมหรือพลังงานแหล่งอื่นๆ

ในปัจจุบันเครื่องสูบน้ำมีการพัฒนาและผลิตออกจำหน่ายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไป โดยมีสถาบันด้านชลศาสตร์หลายสถาบัน ได้ทำการจำแนกเครื่องสูบน้ำออกเป็นกลุ่มโดยยึดเอาหลักการใดหลักการหนึ่งเป็นพื้นฐาน ทำให้เกิดการแยกประเภทเครื่องสูบน้ำขึ้นหลายแบบ

ลักษณะของการทำงาน

ลักษณะของการทำงาน คือ สูบน้ำระหว่างก่อสร้าง สูบน้ำเพื่อการเกษตร และสูบน้ำแก้ปัญหาน้ำท่วม
พื้บติ หมายเหตุ ปริมาณน้ำในการสูบขึ้นอยู่กับขนาดท่อและขนาดเครื่องยนต์

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

เครื่องสูบน้ำ รุ่น APD 145 C

1. เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ
2. ขนาดเครื่อง 5,900 ซีซี
3. ความจุน้ำมันดีเซล 195 ลิตร
4. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 30 ลิตร/ชั่วโมง Load 100 %
5. กระแสไฟฟ้า 400/230 โวลต์
6. ความเร็วรอบ 1,500 รอบ / นาที
7. กำลังขับสูงสุด 130 KW

บทที่ 3

กิจกรรมของงานก่อสร้างงานดิน ตามรูปแบบโดยทั่วไปของกรมชลประทาน

3.1 ขนย้ายเครื่องจักรเข้าปฏิบัติงานห้วงงานและขนย้ายกลับ

เครื่องจักรกลที่ใช้ปฏิบัติงาน รถเทลเลอร์ , รถเครนขนาดไม่ต่ำกว่า 50 ตัน



3.2 งานถางป่า

งานถางป่า คืองานถากถางและล้มต้นไม้บริเวณห้วงงานก่อสร้าง บริเวณบ่อยืมดิน และแนวก่อสร้างทางลำเลียง โดยการชุด ดันหรือตัก เอาเศษดิน หญ้า ไม้พุ่ม รากไม้ ตอไม้ หรือวัสดุที่ไม่พึงประสงค์ออกไปจากบริเวณที่จะดำเนินการก่อสร้างโดยครอบคลุมพื้นที่ก่อสร้างทั้งหมด พร้อมขนย้ายไปทิ้งหรือฝัง หรือเผาทำลาย นอกพื้นที่ก่อสร้าง ในการคำนวณหาปริมาณงาน หากไม่ระบุใช้อย่างอื่น ให้คำนวณปริมาณงานเต็มพื้นที่งานก่อสร้างชลประทานต่างๆ ที่แสดงไว้ในแบบโดยมีปริมาณเป็นไร่

ชนิดของงานถางป่า

1.1 งานถางป่าโปร่ง คือ ป่าที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ 160-240 ต้น/ไร่ (ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 ซม.)

1.2 งานถางป่าทึบ คือ ป่าที่มีความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่า 240 ต้น/ไร่ (ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 ซม.)

เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานถางป่า

1. รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ



รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ ซึ่งมีอยู่หลายขนาดตั้งแต่ 140-285 แรงม้า สามารถถางป่าได้ประมาณ 2 ไร่/ชั่วโมง

2. รถขุดตีนตะขาบไฮดรอลิก



รถขุดตีนตะขาบไฮดรอลิกชนิดบั้งก็่ดักเข้าแขนมาตรฐาน ความจุบั้งก็่ 0.8 ลบ.ม. มีอยู่หลายขนาด แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นขนาดมาตรฐานความจุ 0.8 ลบ.ม. เครื่องยนต์ขนาด 110-153 แรงม้า สามารถถางป่าและขุดตักวัชพืชใส่ภาชนะบรรทุกเพื่อขนย้ายได้ด้วย สามารถถางป่าได้ประมาณ 1.5ไร่/ชั่วโมง

3. รถบรรทุกเท้าย



รถบรรทุกเท้าย 10 ล้อ (ขับเคลื่อน 2 เพลา) ขนาด 10 ลบ.ม. ขนาด 170 – 320 แรงม้า
ประสิทธิภาพในการทำงาน 35 – 55 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง
หมายเหตุ ขนย้ายระยะทางไม่เกิน 1 กิโลเมตร

3.3 งานเปิดหน้าดิน

บริเวณที่จะทำการก่อสร้าง อาคาร หรืองานก่อสร้างอื่นๆ จำเป็นต้องขุดเปิดหน้าดินเพื่อนำดินที่ไม่
มีคุณภาพ หรือสิ่งเจือปน หรือดินอ่อนที่ไม่สามารถรับน้ำหนักของตัวอาคารได้ โดยทำการขุดเปิดหน้าดิน
ด้วยเครื่องจักรกลชนิด แทรคเตอร์ตีนตะขาบหรือรถขุดไฮดรอลิก ให้มีความลึกตามที่กำหนดไว้ในแบบ
พร้อมขนย้าย

เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานขุดเปิดหน้าดิน พร้อมขนย้าย

1. รถขุดไฮดรอลิก



รถขุดไฮดรอลิก โดยทั่วไปจะใช้แบบแกนมาตรฐานขนาดความจุ้มัก 0.8 ลบ.ม.
ขนาดเครื่องยนต์ 110-153 แรงม้า สามารถขุดได้ 35-45 ลบ.ม./ชม.

2. รถดันดินตะขาบ



รถดันดินตะขาบขนาด 140-285 แรงม้า สามารถขุดเปิดหน้าดินได้ 41-206 ลบ.ม./ชม.
ที่ความลึกประมาณ 0.30 ม.

3. รถเกลี่ยดิน



รถเกลี่ยดินขนาด 125-150 แรงม้า สามารถทำงานได้ 385-693 ลบ.ม./ชม.
ที่ความลึกประมาณ 5-15 ซม.

4. รถบรรทุกเทท้าย 10 ล้อ



รถบรรทุกเทท้าย ขนาด 170-320 แรงม้า ขนาดความจุกระบะรถบรรทุก 10 ลบ.ม.

สามารถขนย้ายวัสดุได้ 35-55 ลบ.ม./ชม. ที่ระยะทาง 1 กม.

3.4 งานดินชุดด้วยเครื่องจักร

1. งานดินชุดธรรมดา เป็นงานชุดที่มีปริมาณมาก เช่น ดินธรรมดา ดินทราย ฯลฯ โดยสามารถใช้รถชุดแบบแขนมาตรฐาน ทั้งในลักษณะชุดขึ้นมากอง หรือชุดตักขึ้นรถบรรทุกเพื่อขนย้ายไปทิ้ง แยกตามลักษณะงาน ดังนี้

2. งานดินชุดคลองส่งน้ำ โดยปกติงานก่อสร้างคลองส่งน้ำ จะมีระดับต่างๆ และ Side Slope กำหนดไว้แน่นอนในแบบ มีมิติสม่ำเสมอในแต่ละช่วงที่ตัดแบ่ง

สำหรับกรณีที่เป็นงานก่อสร้างคลองลาดคอนกรีต การคำนวณปริมาณงาน การคำนวณปริมาณงานดินชุดจากแบบก่อสร้าง ต้องแยกเป็นงานดินชุดด้วยเครื่องจักร และงานชุดตกแต่งด้วยแรงคน ดังตัวอย่างที่แสดงตามภาพ



* เนื่องจากเป็นงานที่ต้องการความละเอียด หากตกแต่งด้วยเครื่องจักรจะทำให้ต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก รวมถึงจะไม่ได้คุณภาพงานตามมาตรฐาน

3.3.1 งานขุดคลองระบายน้ำ

งานขุดคลองระบายน้ำ โดยปกติงานคลองก่อสร้างคลองระบายน้ำ จะมีระดับความลึกและกว้างมาก โดยอาจแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ คลองขุดใหม่(ขุดดินตัก) จะมีมิติสม่ำเสมอในแต่ละช่วงที่ตัดแบ่ง (Cross section) ส่วนอีกลักษณะหนึ่งคือการขุดขยายคลองธรรมชาติเดิม ซึ่งส่วนใหญ่จะมีมิติไม่สม่ำเสมอและมักมีความกว้างและลึกมาก ซึ่งการคำนวณปริมาณจำเป็นเพิ่มความถี่ช่วงตัดแบ่ง และอาจต้องแยกโซนเพื่อหาปริมาณงาน

ทั้งนี้ หากคลองมีความกว้างมาก เกินกว่าพิกัดของเครื่องจักรกล (รถขุดไฮดรอลิค ขนาดบั้งก็ประมาณ 1.2 ลบ.หลา จะมีระยะขุดประมาณ 5 – 6 เมตร) จำเป็นต้องมีการขุดทยอยดินกรณีที่ขุดดินตามแนวคันคลองหรือจะต้องมีกิจกรรมขนย้ายดินไปทิ้ง ดังตัวอย่างที่แสดงตามภาพ



ภาพแสดงวิธีการขุดดินกรณีที่ขุดดินตามแนวคันคลอง



ภาพแสดงวิธีการขุดดินกรณีขนย้ายดินทิ้งนอกแนวคันคลอง

ลักษณะขุดขยายคลองธรรมชาติ

เนื่องจากการขุดขยายคลองธรรมชาติเดิม เป็นคลองระบายน้ำ ส่วนใหญ่แบบก่อสร้างไม่กำหนดมิติที่ชัดเจน เช่น “ความกว้างไม่น้อยกว่า” ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่หรือสภาพคลองธรรมชาติเดิม นอกจากนี้ คลองธรรมชาติเดิมจะมีตะกอนดินหรือดินเลน และตลิ่งเป็นดินอ่อนมีความกว้างและความลึกมาก ทำให้การคำนวณปริมาณจำเป็นต้องเพิ่มความถี่ช่วงตัดแบ่ง (Cross section) ให้มีความถี่มากขึ้น (20 – 50 เมตรต่อช่วง) เพื่อความแม่นยำในการคำนวณปริมาณงานดินขุด และอาจต้องแยกโซนเพื่อหาปริมาณงานดินขุด ดินขุดทยอย ดินขุดลอก โดยก่อนการคำนวณปริมาณงานจะต้องสำรวจสภาพพื้นที่ สภาพดินจากพื้นที่จริงก่อน โดยมีข้อควรคำนึงหรือประเด็นที่ต้องใช้ประกอบในการคิดปริมาณงาน ดังนี้

1. คลองธรรมชาติเดิมมีตะกอนดินหรือดินเลน หรือมีน้ำไหลผ่านระหว่างก่อสร้างหรือไม่ หากมีจำนวนมากให้แบ่งพื้นที่จากหน้าตัดคลองในส่วนท้องคลองเป็นอัตราค่างานขุดลอกคลองธรรมชาติ

2.สภาพพื้นที่ข้างคลองมีข้อจำกัดด้านใดหรือไม่ เช่น สภาพดินและความต้านทานน้ำหนักของดิน เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องจักรกลได้อย่างเหมาะสม เช่น หากมีสภาพดินที่อ่อนเครื่องจักรกลบางชนิดที่มีแรงกด (Ground pressure) สูงจะไม่สามารถทำงานได้ รถล้อยาง(เช่นรถบรรทุกเทท้าย) ไม่สามารถเข้าถึงได้ รวมถึงไม่สามารถกำหนดวิธีการปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม

3.กรณีที่คลองมีความกว้างและความลึกมาก เกินพิสัยของรถขุด (Work range) การคำนวณปริมาณงาน ต้องแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นส่วนๆ (Zone) เพื่อหาปริมาณงานดินขุด ดินขุดทอย ดินขุดลอก



Zone A = งานดินขุด 1 ครั้ง และตักใส่รถบรรทุก 1 ครั้ง

Zone B = งานดินขุด 1 ครั้ง ขุดทอย 1 ครั้ง และตักใส่รถบรรทุก 1 ครั้ง

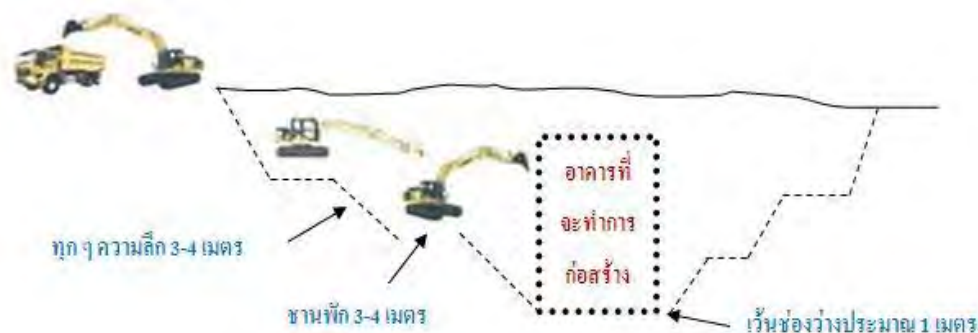
Zone C = งานดินขุดลอกคลอง 1 ครั้ง ขุดทอย 2 ครั้ง และตักใส่รถบรรทุก 1 ครั้ง

ภาพแสดงวิธีการขุดดินทอยดินและขนย้ายดินทั้งโดยการตัดแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อแยกคำนวณดิน

3.3.2 งานดินบ่อก่อสร้าง

การขุดบ่อก่อสร้างของงานอาคารชลประทานในกรณีที่มีบ่อก่อสร้างมีความลึกมากๆ จะต้องขุดบ่อก่อสร้าง โดยมี ขานพัก (Waste Berm) มีความกว้างอย่างน้อย 3 เมตร ที่ความลึกทุกๆ 3 เมตร ตามปกติ จะทำการตากถางแต่งดินชั้นล่างสุดของบ่อก่อสร้างด้วยแรงคน โดยจะใช้เครื่องจักรขุดดินส่วนบนออก จนถึงระดับประมาณ +0.10 เมตร เหนือระดับฐานรากอาคาร แล้วขุดแต่งด้วยแรงคนจนถึงระดับที่ต้องการ

ดังนั้น ในการคำนวณปริมาณงานจะต้องแบ่งงานดินขุดบ่อก่อสร้าง เป็นงานขุดด้วยเครื่องจักรและงานขุดด้วยแรงคนตามภาพตัวอย่างการแบ่งพื้นที่หน้าตัดดินขุดด้านล่างนี้



ภาพแสดงการวางแผนวิธีการขุดดินและคำนวณปริมาณงานดินขุดบ่อก่อสร้าง

3.3.3 งานดินขุดลอก

งานดินขุดลอกด้วยรถขุด หรืองานดินขุดลอกคลองธรรมชาติการขุดเลนโคลนที่ตื้นเขินของคลองให้ได้ระดับที่ต้องการโดยใช้รถขุดทำการขุด และเดินบนคันคลอง ความกว้างคลองตั้งแต่ 8 ถึง 35 เมตร ลึกไม่เกิน 4 เมตร ขุดขึ้นมาวางกองและปรับแต่งคันคลองโดยรถขุด หรือขนย้ายและปาดเกลี่ยให้เป็นไปตามแบบ

เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานดินขุดด้วยเครื่องจักร

1. รถขุดไฮดรอลิก



รถขุดไฮดรอลิก โดยทั่วไปจะใช้แบบแขนมาตรฐานขนาดความจุ้มัก 0.8 ลบ.ม.
ขนาดเครื่องยนต์ 110-153 แรงม้า สามารถขุดได้ 35-45 ลบ.ม./ชม.

2. รถบรรทุกเทท้าย



รถบรรทุกเทท้าย ขนาด 170-320 แรงม้า ขนาดความจุ้มักระเบรถบรรทุก 10 ลบ.ม.
สามารถขนย้ายวัสดุได้ 35-55 ลบ.ม./ชม. ที่ระยะทาง 1 กม.

3. รถดันดินตะขาบ



รถดันดินตะขาบขนาด 140-285 แรงม้า สามารถขุดเปิดหน้าดินได้ 41-206 ลบ.ม./ชม.

4. รถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย



รถดันดินตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper) ขนาด 140 – 285 แรงม้า
ประสิทธิภาพในการทำงาน 137 – 206 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

3.5 งานบดอัดทับแน่น

งานบดอัดดินเป็นงานก่อสร้างที่สำคัญอีกงานหนึ่งในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่นงานก่อสร้างคันดิน(Ruised embankment) งานถมดินหลังกำแพงดิน งานก่อสร้างเขื่อนกันน้ำ งานก่อสร้างถนนชนิดต่างๆ งานบดอัดกลบดินเพื่อการก่อสร้างอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งการบดอัดดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างมีความจำเป็นอย่างมาก ดังนั้นผู้รับผิดชอบงานจะต้องเข้าใจถึงหลักการและวิธีการเป็นอย่างดี

จุดประสงค์ของการบดอัดแน่น

1. เพิ่มความแน่น
2. เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน ทำให้เพิ่มกำลังแบกทาน(Bearing Capacity)ของดิน
3. เพิ่มโมดูลัสความเค้น-ความเครียด หมายถึงลดการทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlements)
4. เพิ่ม Stiffness ของดิน จึงลดการทรุดตัวในระยะยาว (Long – term Settlements)
5. ลดช่องว่างระหว่างดิน และการซึมผ่านน้ำ(Permeability)

3.4.1 การบดอัดดินในสนาม

เป็นขั้นตอนหนึ่งในการก่อสร้างพื้นทาง เขื่อนดิน คันดินถม ในบางกรณี อาจใช้บดอัดดินถมเพื่อปรับระดับพื้นที่ก่อสร้าง

- บดอัดเป็นชั้นๆ หนาประมาณชั้นละ 75 – 450 มม.
- แต่ละชั้นบดอัดตามมาตรฐานโดยใช้รถบดหรือเครื่องสั่นสะเทือน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการบดอัดดิน ประกอบด้วย

1.ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

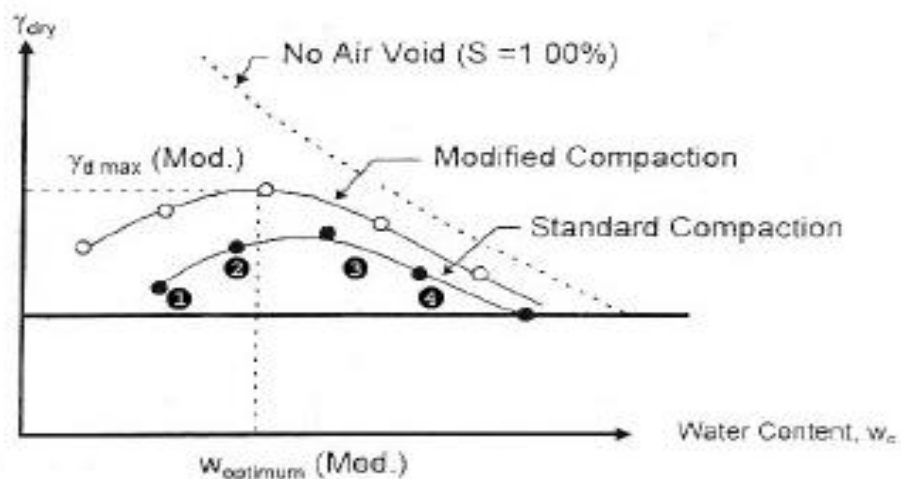
Hogentogler(1936) อธิบายว่า หากปริมาณความชื้นน้อย แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคดินสูง มีความฝืด หรือแรงเสียดทานมาก ดังนั้นจึงบดอัดยาก หากเพิ่มความชื้นอนุภาคดินจัดเรียงตัวดีขึ้น บดอัดง่ายขึ้น หากปริมาณน้ำเกินปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดแรงผลักดันระหว่างน้ำกับอนุภาคดิน ทำให้อนุภาคดินไม่สามารถเรียง หรืออัดตัวกันได้ดีเท่าที่ควรและบวมตัว (Swell) หากปริมาณน้ำมากเกินไป จนเข้าไปแทนที่ช่องว่าง ระหว่างอนุภาคดินทำให้ดินไถลอัดตัวด้วยน้ำ (Saturation)

การบดอัดดินจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ของดินสูงขึ้น ขณะที่ช่องว่าง หรือโพรงอากาศระหว่างเม็ดดินลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของดินสูงที่สุด (Maximum Dry Density) เรียก “Optimum Moisture Content, OMC”

R.R.Proctor(1933) กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของดินที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ เป็นที่ยอมรับ และนิยมใช้เป็นวิธีทดสอบแบบมาตรฐาน เรียกว่า วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ต่อมาในงานวิศวกรรมต้องการบดอัดดินโดยใช้พลังงาน

มากขึ้น จึงได้พัฒนาวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น ซึ่งเรียกวิธีทดสอบว่า วิธีดัดแปลง (Modified Proctor Test)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งและช่วงที่ดินอืดด้วยน้ำ



รูปเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นที่ทดสอบโดยวิธีมาตรฐานและวิธีดัดแปลง และแสดงเส้นที่ดินปราศจากโพรงอากาศ หรืออืดไปด้วยน้ำ

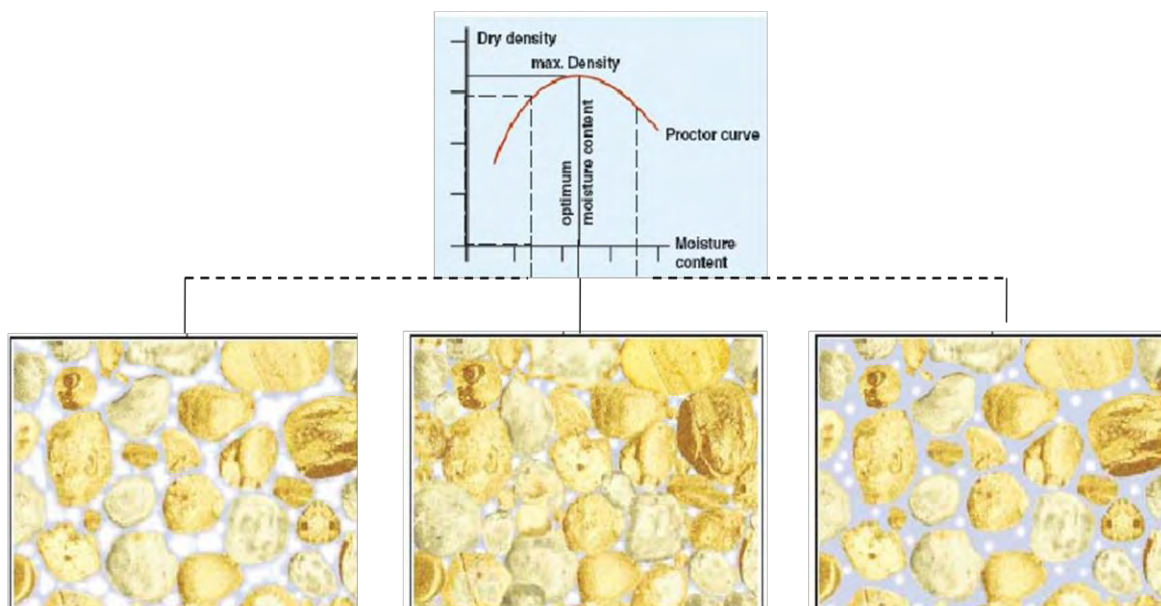
(Non-Air Void, NAV หรือ Zero Air Void, ZAV)

2. ปริมาณความชื้นในดิน (Moisluru Comtutmt)

อิทธิพลของน้ำที่มีต่อการบดอัด

Soil compaction

Influence of water content on compactability



ลักษณะความชื้นต่ำ

- แรงเสียดทานภายในสูง
- ความหนาแน่นต่ำ

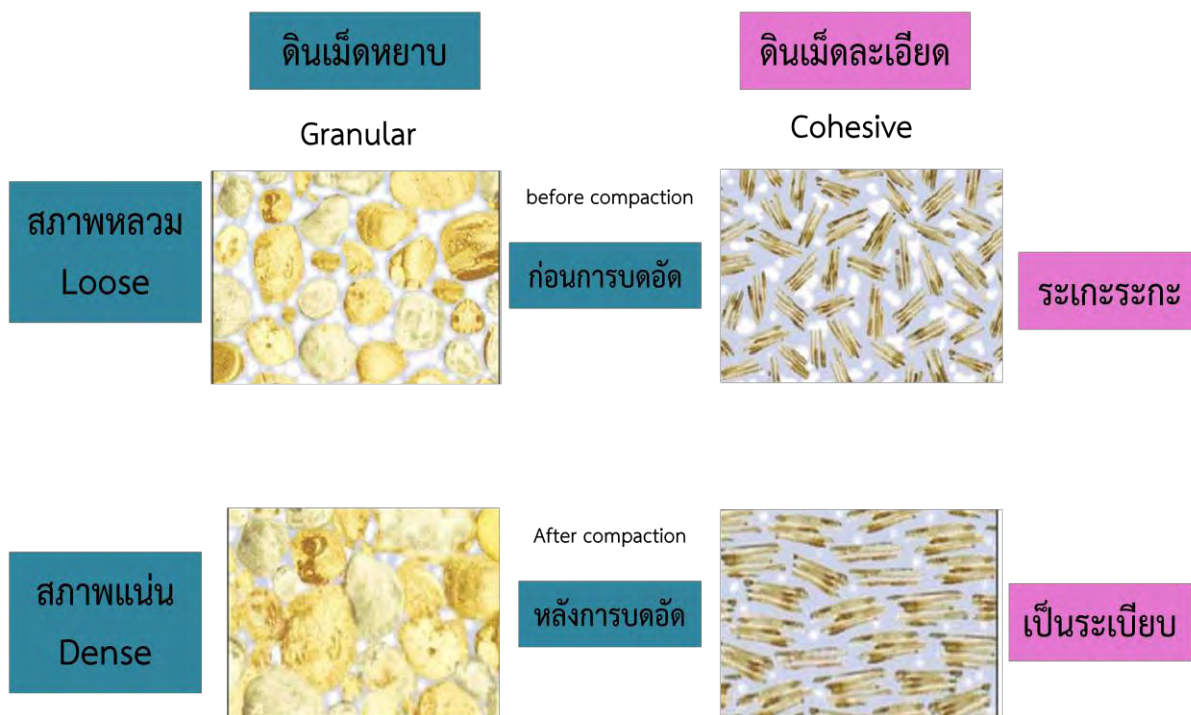
ลักษณะความชื้นที่เหมาะสม

- การอัดแน่นที่ดีที่สุด
- ความหนาแน่นสูงสุด

ลักษณะความชื้นสูงสุด

- แรงดันน้ำสูง
- ความหนาแน่นต่ำ

การจัดเรียงตัวของดินก่อนและหลังการบดอัด



3. ผลกระทบเนื่องจากพลังงานบดอัด (Amount of Compaction)

แอมพลิจูด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของการสั่นสะเทือนส่งผลอย่างไรต่อการบดอัด
 ความถี่การสั่นสะเทือน คือความเร็วของการสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น รอบการสั่นสะเทือนต่อนาที (vibration per minute) หรือ Hz โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1200 ถึง 4000 รอบต่อนาที หรือ 20 ถึง 66 Hz

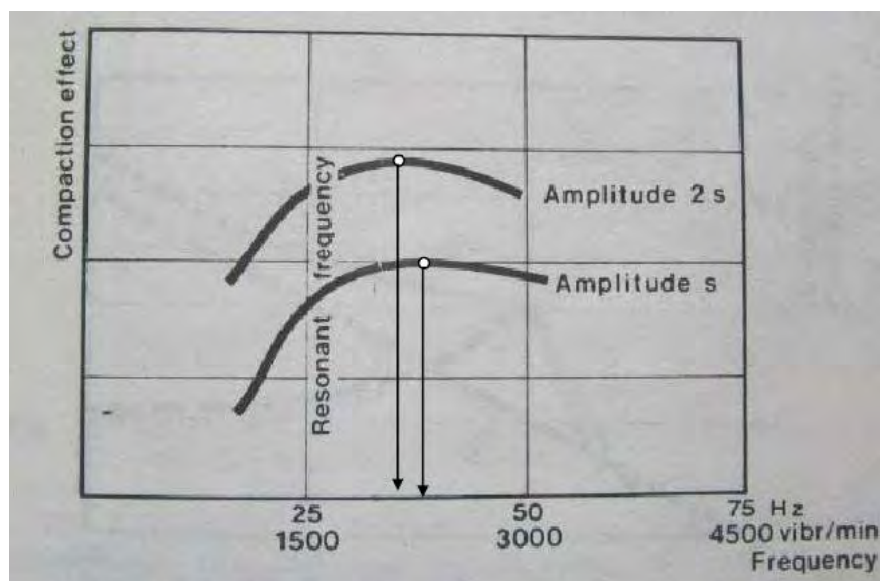
แอมพลิจูดการสั่นสะเทือน คือระยะการเคลื่อนที่ของตัวสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0 ถึง 2 มิลลิเมตร

บริษัทผู้ผลิตรถบดอัดแนะนำว่าควรเลือกใช้แอมพลิจูด และ ความถี่การสั่นสะเทือน ให้เหมาะสมกับสภาพของดินกล่าวคือ

ดินในสภาพหลวม ควรใช้ค่าแอมพลิจูดสูง และ ความถี่การสั่นสะเทือนต่ำ

ดินในสภาพแน่น ควรใช้ค่า แอมพลิจูดต่ำ และ ค่าความถี่การสั่นสะเทือนสูง

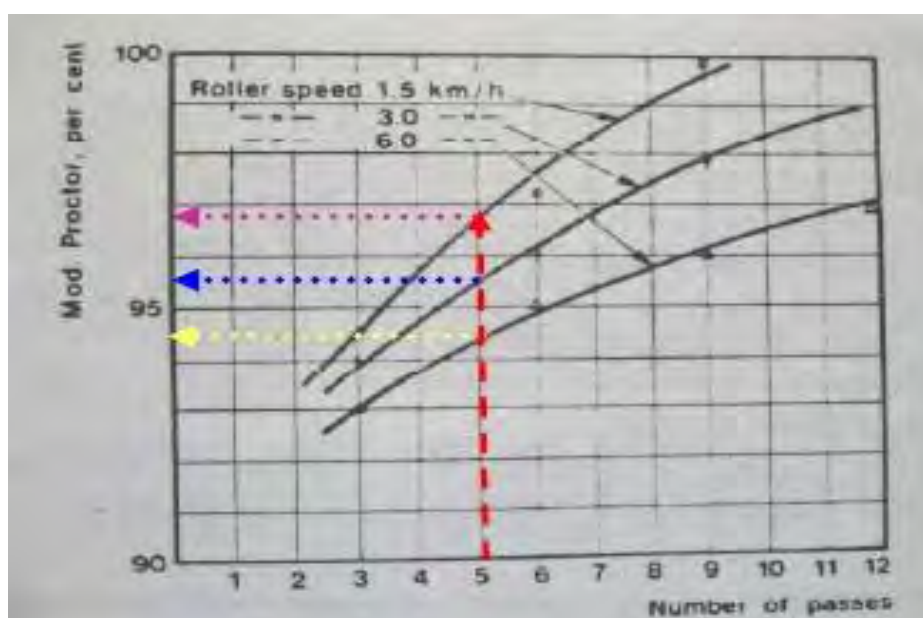
แอมพลิจูด และความถี่ การสั่นสะเทือน ส่งผลต่อการบดอัดมากน้อยอย่างไร



- แอมพลิจูดสูง ส่งผลต่อการบดอัดมากกว่า แอมพลิจูดต่ำ
- ความถี่สูง ไม่ส่งผลต่อการบดอัดมากกว่า ความถี่ต่ำ เสมอไป

ดังนั้น จึงใช้แอมพลิจูดเป็นตัวกำหนดหลักในการบดอัด และความถี่ที่ส่งผลต่อการบดอัดมากที่สุดเป็นตัวกำหนดรองลงไป

ความเร็ว ของรถบดอัด มีผลต่อการบดอัดอย่างไร



ความเร็วของรถบดอัด มีความสัมพันธ์กับ ความหนาแน่นของดิน แบบแปรผกผันกล่าวคือ รถบดอัดที่เคลื่อนที่ช้า หรือมีความเร็วต่ำ จะบดอัดดินและทำให้มีสภาพความหนาแน่นสูงกว่ารถบดอัดที่เคลื่อนที่เร็ว

*ความเร็วที่เหมาะสมของการบดอัดดิน คือ 2 ถึง 4 กิโลเมตร/ชั่วโมง

การใช้รถบดกับสภาพการบดอัด

รถบดขนาดเล็ก (Light weight)

1.รถบดขนาดเล็ก (Light weight)



3.แรงทำให้ดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน ปริมาตรลดลง ความหนาแน่นสูงขึ้น

รถบดขนาดใหญ่ (Heavy weight)

2.ส่งกระจายแรงลงไปได้ในระดับลึก



4.แรงที่ทำอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่ทำให้ความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น หรือดินอยู่ในสภาพการบดอัดที่เกินความพอดี(Over-compaction)

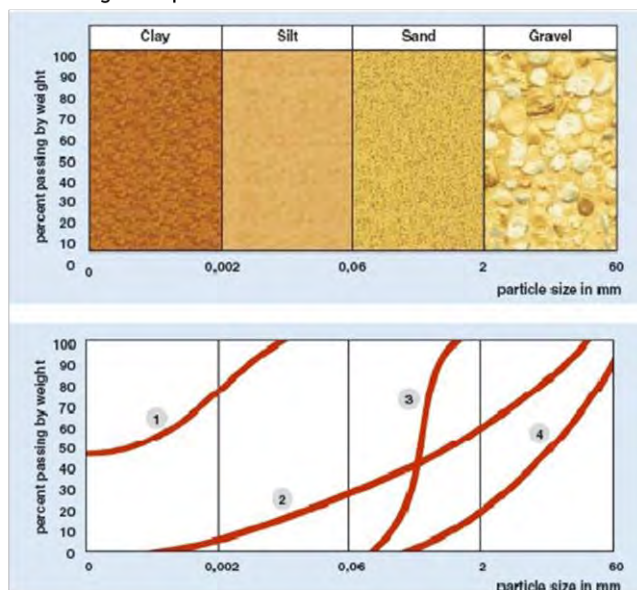
4. ผลกระทบเนื่องจากชนิดของดิน(Sol Type)

ชนิดและขนาดเม็ดดินในธรรมชาติ

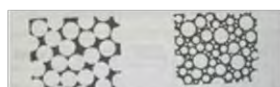


- 1.Silty clay
- 2.Gravel - silt
- 3.Uniform sand
- 4.Gravel - sand

Sieving and particle size distribution

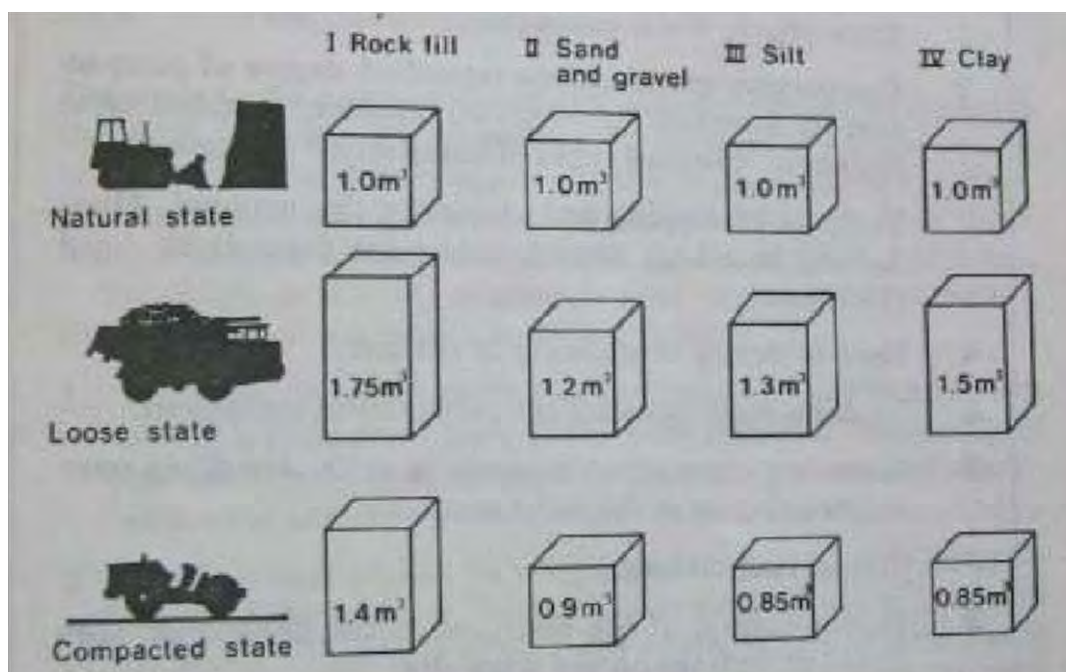


ขนาดเดียว



หลายขนาดคละกัน

ปริมาตรวัสดุในสภาพธรรมชาติ, สภาพหลวม และสภาพบดอัดแล้ว



หิน

ทรายและกรวด

ตะกอนทราย

ดินเหนียว

ตัวอย่างกรณี **ดินเหนียว** ควรเผื่อปริมาณดินสำหรับการบดอัด
 อย่างน้อยเท่ากับ $1/0.85 = 1.17$ เท่าหรือประมาณร้อยละ 20 เป็นอย่างน้อย

ธรรมชาติการบดอัดวัสดุ

1. วัสดุเม็ดละเอียด (Fine aggregate) ประกอบด้วยดินจำพวก ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay) สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

- 1.1 บดอัดได้ยาก เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเหนียว หรือความเชื่อมแน่นของดิน
- 1.2 การบดอัดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดินเป็นสำคัญ
- 1.3 ใช้พลังงานสูงในการบดอัด เพื่อทำลายแรงเชื่อมระหว่างเม็ดดินและจัดเรียงโครงสร้างใหม่



ดินเหนียว



ตะกอนทราย

2. วัสดุเม็ดหยาบ(Coarse aggregate) ประกอบด้วยดินจําพวกทราย(Sand) และกรวด(Gravel) สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

2.1 การบดอัด ขึ้นอยู่กับขนาดผลของวัสดุ กล่าวคือ ถ้าวัสดุมีขนาดเม็ดเล็ก การบดอัดต้องใช้พลังงานในการบดอัดสูงกว่าวัสดุที่มีขนาดเม็ดใหญ่

2.2 การบดอัดที่มากเกินไปจนความพืด (Over compaction) อาจทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของดิน และสิ้นเปลืองพลังงาน หรือจนประมาณโดยไม่เกิดประโยชน์



ทราย



กรวด

3. วัสดุประเภทหิน (Rock fill) ประกอบด้วยหินจําพวก Cobbles ที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 นิ้ว และ Boulders ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 นิ้ว สภาพการบดอัดมีลักษณะดังนี้

3.1 ความหนาของชั้นหินบดอัด ควรมีค่ามากกว่า 3 เท่าของขนาดโตสุดของหิน

3.2 ใช้พลังงานสูงในการบดอัด

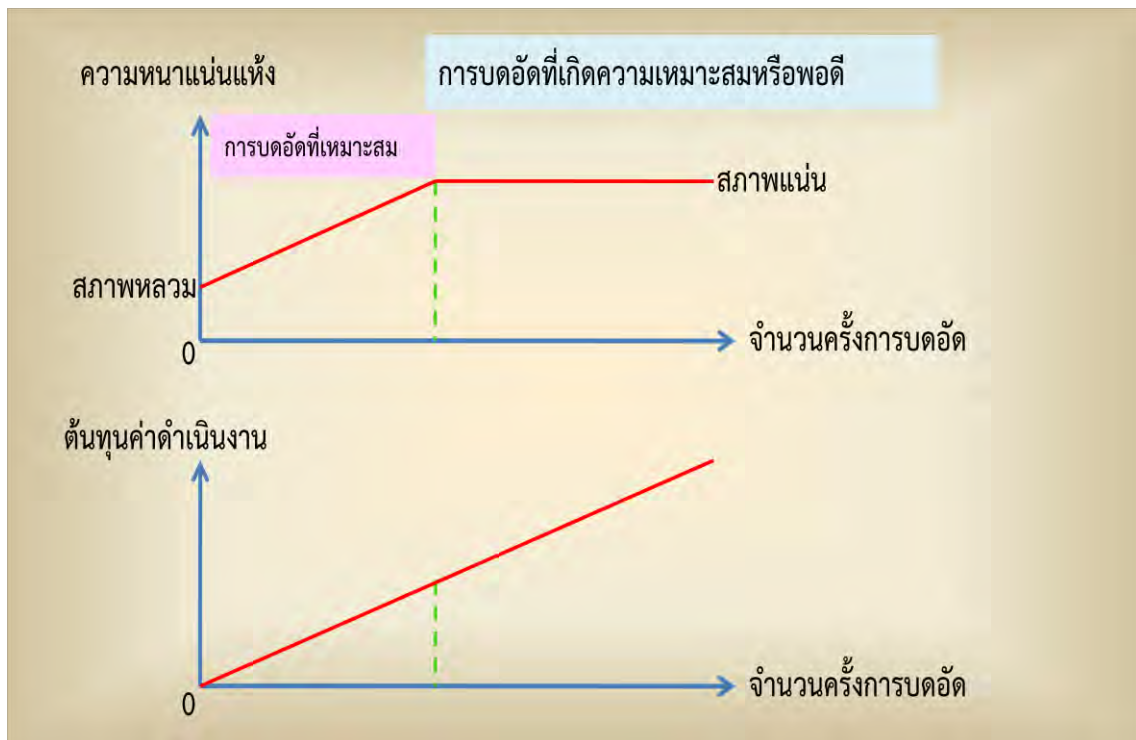


Cobbles



Boulders

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและต้นทุนกับจำนวนครั้งการบดอัด



รายละเอียดของเครื่องจักร

1. รถบดสันสะเทือน Smooth Single Drum



- น้ำหนักประมาณ 5 – 8 ตัน
- เหมาะสำหรับงานบดอัดดินทราย กรวด ที่มีความชื้นต่ำกว่า 20 %
- ไม่เหมาะกับงานที่มีพื้นที่หยาบมาก หรือไม่สม่ำเสมอ

2. รถบดล้อหนามขนาดใหญ่ Sheepsfoot Rollers



- ล้อบดเหล็กหนัก 2-20 ตัน
- เหมาะสำหรับงานบดอัดดินประเภท ทราย ที่มีลักษณะคละกันของตะกอนกรวดและดินเหนียว
- ไม่เหมาะสำหรับงานบดอัดพื้นที่ที่เป็นทรายหรือดินเหนียวที่อ่อนนุ่ม

3. รถบดล้อยาง Rubber tire roller compactor



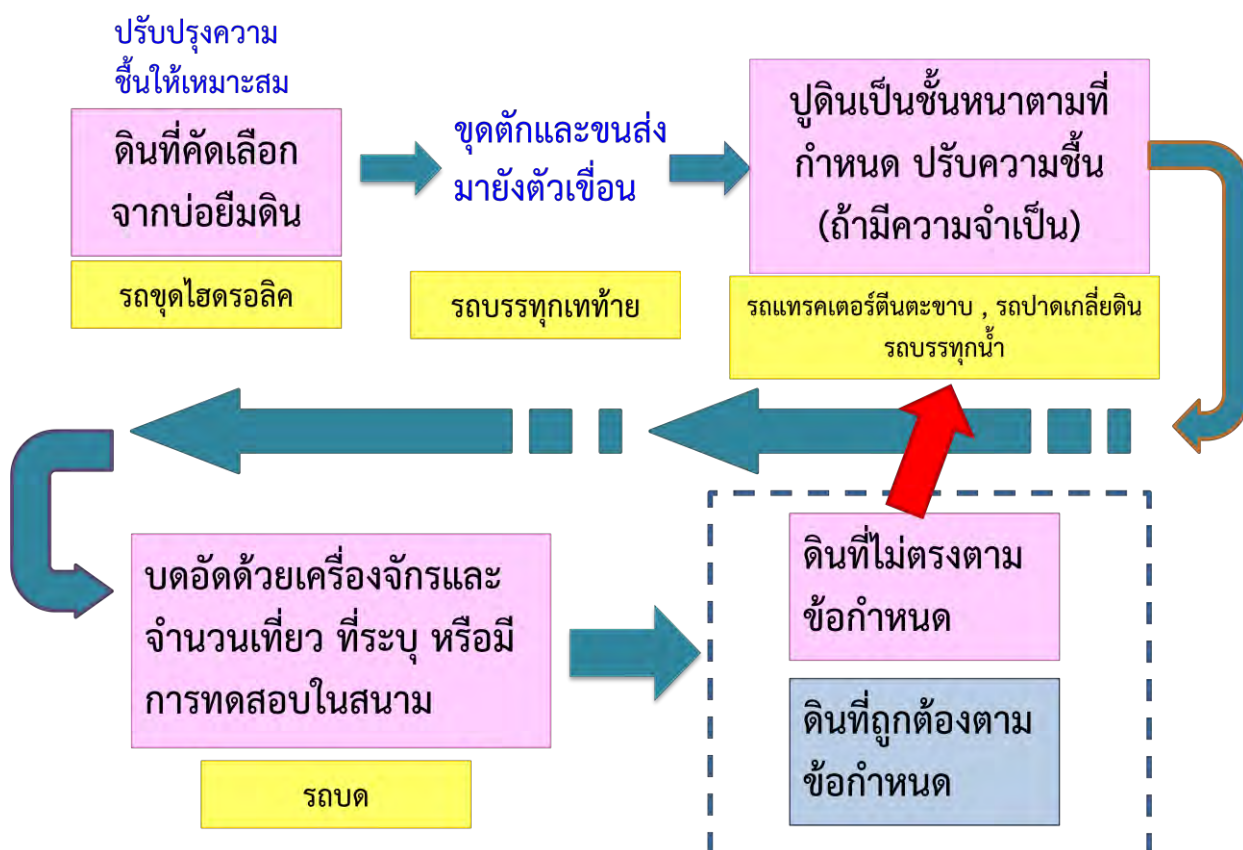
- ล้อหน้าและหลังเรียงสลับกัน เพื่อบดอัดได้เต็มพื้นที่
- ถ่วงน้ำหนักให้ได้ประมาณ 12 – 40 ตัน
- เหมาะทั้งกับดินเม็ดหยาบ และดินเม็ดละเอียด
- ไม่เหมาะกับที่มีลักษณะอ่อนมาก

4. รถบดล้อหนามแบบสันสะเทือน Pad foot Single Drum



- ถ่วงน้ำหนักให้ได้ประมาณ 12 – 40 ตัน
- เหมาะสำหรับงานบดอัดดินประเภท ทราย ที่มีลักษณะคละกั้นของ ตะกอนกรวดและดินเหนียว
- ไม่เหมาะสำหรับงานบดอัดพื้นที่ที่เป็นทรายหรือดินเหนียวที่อ่อนนุ่ม

ขบวนการในการบดอัดที่แน่น



3.4.2 งานดินถมบดทับแน่น 85%

เครื่องจักรที่ใช้ในการถมบดอัดแน่น โดยทั่วไป มีดังนี้

1. รถขุดไฮดรอลิก (Excavator Back – Hoe)



รถขุดไฮดรอลิก ใช้เพื่อขุดดินที่คัดเลือกแล้ว และตักใส่รถบรรทุกเทท้าย เพื่อนำไปทิ้งที่บริเวณต้องการบดอัด และตักดินที่ใช้ไม่ได้ เพื่อไปทิ้งที่จุดกำหนด

2. รถแทรกเตอร์ (Bulldozer Tractor)



ใช้เพื่อล้มปาดเกลี่ยดินในบริเวณที่ต้องการบดอัด เป็นการเตรียมแปลงดินให้ได้ตามความหนาที่กำหนด ก่อนที่จะทำการบดอัด และรถแทรกเตอร์ยังต้องไถดินล้มกองดินในบริเวณที่ทิ้งดินด้วย

3. รถบรรทุกน้ำ (Truck water)



ใช้ในกรณีที่ดินบดอัดมีความชื้นไม่เพียงพอ จะต้องอาศัยรถบรรทุกน้ำฉีดพรม
ให้ความชื้นที่พอเหมาะกับดินก่อนที่จะทำการบดอัดทับแน่น

4. รถปาดเกลี่ย (Motor Grader)



ในกรณีที่ความชื้นในดินต่ำเกินไป จะต้องพรมน้ำในดินปริมาณที่พอดี ถ้ามากเกินไปจะทำให้ดินและ ไม่สามารถบดอัดได้ ดังนั้นในกระบวนการนี้ จำเป็นต้องอาศัยรถปาดเกลี่ย (Motor Grader) ในการผสมคลุกเคล้า เพื่อให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอก่อนที่จะทำให้รถบดทำการบดอัด

5. รถบด (Compactor)



รถบด ใช้บดอัดดินที่มีความชื้นที่เหมาะสมหรือพอดีแล้ว และความหนาต่อชั้น
ที่ทำการบดอัดจะต้องไม่เกิน 35 – 45 ซม.

3.4.3 ปรัชญาการบดอัดเชื่อมและงานถนน

สำหรับดินฐานราก(ดินเดิม)ที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงและมีการอัดตัวต่ำ ควรทำการบดอัดดิน
ถมที่ด้านข้างของปริมาณความชื้นเหมาะสมในการบดอัดแบบนี้ นอกจากความชื้นส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น
เนื่องจากการบดอัดจะมีค่าต่ำแล้ว กำลังต้านทานแรงเฉือนรวมทั้งความแข็ง(Stiffness)

ในพื้นที่ที่ดินฐานรากเป็นดินอ่อน ควรทำการบดอัดดินถมที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้น
เหมาะสม ถึงแม้ว่าการบดอัดแบบนี้จะก่อให้เกิดความดันน้ำส่วนเกินมาก และดินบดอัดมีกำลังต้านทาน
แรงเฉือนค่อนข้างต่ำ แต่ดินบดอัดจะมีความยืดหยุ่นสูง และสมการต้านทานการทรุดตัวที่แตกต่าง
(Differential Settlement) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการทรุดตัวอย่างมากของดินฐานราก

สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการเก็บกักน้ำ ควรบดอัดดินถมด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม
เนื่องจากดินบดอัดมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำ และมีค่าต้านทานแรงเฉือนต่ำ ดังนั้นสามารถป้องกันการ
ลดลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนและมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัดเนื่องจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

มาตรฐานวัสดุถมคันทาง (Embankment : Material)

หมายถึง วัสดุที่ได้จากบ่อเฝ้าดิน หรือจากวัสดุขี้ผึ้งทางหรือที่อื่นๆแล้วนำมาใช้ก่อสร้างคันทาง คุณสมบัติวัสดุคันทางหรือเชื่อมเก็บน้ำประเภทวัสดุดินทั่วไป (Soil)

1. เป็นวัสดุประเภทรากไม้ ใบไม้หรือวัสดุอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารพองป่นอยู่ อันอาจทำให้เกิด การยุบหรือ การทรุดตัวในอนาคต
2. มีคุณสมบัติอื่นๆตามที่กำหนดใช้ในแบบก่อสร้าง เช่น ค่าCBR หรือค่าการพองตัว

มาตรฐานวัสดุลูกรัง ชนิดทำผิวจราจร

วัสดุลูกรัง หมายถึง ลูกรังหรือ soil aggregate ซึ่งนำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทาง เพื่อใช้เป็นผิวจราจร

คุณสมบัติ

1. ปราศจากดินเหนียว (clay lump) รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ
2. ขนาดวัสดุใหญ่สุดต้องไม่โตกว่า 5 ตารางเมตร
3. ขนาด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า 2/3 ของขนาด ตะแกรงเบอร์ 40

มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (crushed rock aggregate type base)

หมายถึง วัสดุซึ่งมีขนาดคละสมำเสมอ จากใหญ่ไปหาเล็กนำมาเสริมชั้นรองพื้นทางหรือชั้นดินทาง

คุณสมบัติ

1. ปราศจากก้อนดินเหนียว [clay lump] วัสดุจำพวก Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ
2. มีอัตราส่วนคละสมำเสมอประกอบด้วยส่วนหยาบและส่วนละเอียด
3. ส่วนหยาบต้องเป็นหินไม้
4. ส่วนละเอียดเป็นวัสดุชนิดเดียวกับส่วนหยาบหากจำเป็นต้องใช้วัสดุ

ส่วนละเอียดอื่นเจือปน เพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความ เห็นชอบจากห้องทดลองก่อน

3.6 ตัวอย่าง การพิจารณา ชนิด และขนาดของเครื่องจักรกล เข้าปฏิบัติงานของโครงการปรับปรุงความ จุอ่าง โครงการเก็บน้ำบางวาด(เพิ่มความจุอ่างฯ) จังหวัดภูเก็ต

ถ้าเราได้พิจารณาแผนงานก่อสร้าง จะแบ่งกิจกรรมหลักได้ 5 กิจกรรม ประกอบด้วย

1.กิจกรรมทางลำเลียงวัสดุ ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมย่อยดังนี้

1.1 งานถางป่า จำนวน 105,000 ตร.ม.

ในงานถางป่ามีเครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติหลายชนิด เช่น

1.รถขุดไฮดรอลิก (Excavator Back – Hoe)



ใช้ถางป่า ขุดต่อไม้ รากไม้ หรือตักแยกหน้าดินและตัก
สิ่งที่ไม่ต้องการใส่รถบรรทุกเพื่อขนย้ายไปทิ้ง

2.รถแทรกเตอร์ (Bulldozer Tractor)



ใช้ดันวัตถุหรือดิน หิน ที่ไม่ต้องการ ให้รวมเป็นกอง
เพื่อตักใส่รถบรรทุกขนย้ายทิ้ง

3.รถบรรทุกเทท้าย (Dump Truck)



เพื่อรับวัสดุที่ไม่ต้องการจากรถขุดไฮดรอลิก
แล้วขนย้ายไปเทที่จุดที่กำหนด หรือเททิ้งในจุดที่กำหนด

4.รถปาดเกลี่ย (Motor Grader)



ใช้ปรับพื้นที่ที่ถมแล้วให้เรียบเสมอ ซึ่งจะกระทำในขั้นตอนสุดท้าย
รวมถึงใช้เกรดปรับทางลำเลียงให้รถล้อยางได้ทำงานสะดวก

1.2 งานก่อสร้างทางลำเลียงชั่วคราว

งานก่อสร้างทางลำเลียงชั่วคราว หมายถึงการก่อสร้างทางชั่วคราว เพื่อใช้ในการสัญจรไปมา หรือเพื่อการขนย้ายวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างหรือเพื่อขนส่งเครื่องจักรกลหรือสิ่งที่เป็นที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการก่อสร้าง และเมื่องานก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะต้องรื้อย้ายปรับสภาพให้อยู่ในสภาพที่กำหนดใช้ในรูปแบบแปลงงาน

วิธีการก่อสร้างทางลำเลียงชั่วคราว กระทำได้ดังนี้

1. เปิดป่าครุยทางทางและเปิดหน้าดินออกให้ได้ตามขนาด และแนวที่ต้องการจะทำทางลำเลียงชั่วคราว
2. ใช้วัสดุดินถม นำมาคลุกเคล้ากับน้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม (Mix proetor) แล้วทำการปรับเกลี่ย แต่ง และบดอัดให้ได้ตามรูปแบบ ความหนาแต่ละชั้นไม่ควรเกิน 20 – 30 ซม.
3. ถ้าต้องการให้ทางลำเลียงนั้นมีความแข็งแรงคงทน ก็ให้ใช้ลูกรังมาปูทับอีกชั้นและบดอัดทับแน่นด้วยรถบด

เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างทางลำเลียงชั่วคราว

1. รถขุดไฮดรอลิค (Excavator Back – Hoe)



2. แพรคเตอร์ตีนตะขาน (Bulldozer Tractor)



3. รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader)



4. รถบด (Compactor)



5. รถบรรทุกน้ำ (Truck water)



บทที่ 4

นิยามศัพท์เชื่อมขนาดเล็ก

4.1 นิยามศัพท์เชื่อม

- เชื่อมขนาดเล็ก	เชื่อมดินสูงไม่เกิน 15 เมตร
- อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก	ความจุอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 1,000,000 ลูกบาศก์เมตร
- การขุดหิน	การขุดที่ต้องใช้วิธีการระเบิดหิน
- การขุดหิน	การจำแนกดินทางวิศวกรรม ส่วนมากใช้วิธี Unified Soil Classification System (USCS)
- การวัดพฤติกรรมงานเชื่อม ด้าน	การติดตามพฤติกรรมเชื่อมโดยการติดตั้งเครื่องมือเฉพาะ
- แกนเชื่อม	ระนาบในแนวตั้งที่ผ่านแนวศูนย์กลางของสันเชื่อม
- ขอบอ่างเก็บน้ำ	เส้นขอบเขตที่น้ำในอ่างท่วมถึง ตามระดับเก็บกักปกติ
- ชั้นระบายที่ตีนเชื่อม	ชั้นกรวดทรายระบายน้ำที่ตีนเชื่อมด้านท้ายน้ำ
- ชั้นระบายที่ลาดเชื่อม	ชั้นกรวดทรายระบายน้ำที่ผิวลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ
- ชั้นระบายน้ำ	ชั้นกรวดหรือทรายที่ใช้ในการระบายน้ำออกจากตัวเชื่อมและ ฐานราก
- ฐานยัน(Abutment)	ส่วนของไหล่เขาที่เชื่อมสร้างเข้าบรรจบหรือส่วนของเชื่อมที่ ประชิดกับไหล่เขา
- ท้ายน้ำ	พื้นที่นับจากแกนเชื่อมไปด้านตามน้ำ
- ที่ตั้งเชื่อม	ตำแหน่งหรือพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่บอกตำแหน่งเชื่อม
- ปริมาณน้ำใช้	ปริมาณที่เก็บกักระดับน้ำถึงระดับเก็บกักปกติซึ่งสามารถ ประโยชน์ได้
- ปริมาตรอ่างเก็บน้ำ	ปริมาณน้ำทั้งหมดที่เก็บกักได้ในอ่างจนถึงระดับเก็บกักปกติ
- ผังโครงการ	แผนผังบริเวณโครงการเชื่อมและอ่างเก็บน้ำแสดง
- ลาดเชื่อม	พื้นที่ผิวเชื่อมที่มีความชัน
- สันเชื่อม	ส่วนบนสุดของเชื่อมที่ใช้เป็นถนนในระหว่างการก่อสร้าง บำรุงรักษา
- หน้าเชื่อม	สวนของเชื่อมจากแกนเชื่อมไปด้านทวนน้ำ
- หลังเชื่อม	สวนของเชื่อมจากแกนเชื่อมไปด้านตามน้ำ
- เหนือน้ำ	พื้นที่นับจากแกนเชื่อมไปด้านทวนน้ำ

4.2 ภาพประกอบงานเขียน



รายละเอียดอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

บทที่ 5

รายละเอียดอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

5.1 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

อ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก จำแนกองค์ประกอบได้ 2 ลักษณะ คือ

1. องค์ประกอบจำเป็น

- ตัวเขื่อน (Dam Embankment) คือโครงสร้างที่ใช้ปิดกั้นลำน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำ
- อาคารระบายน้ำล้น (Spillway) คือโครงสร้างฝายบังคับระดับน้ำล้นออกจากอ่างเก็บน้ำเมื่อเกินระดับน้ำเก็บกัก เพื่อระบายน้ำหลากที่เกินกว่าปริมาณเก็บกักให้ไหลออกได้โดยสะดวกและไม่เกิดอันตรายต่อตัวเขื่อน
- อาคารส่งน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) คือโครงสร้างการระบายน้ำลงลำน้ำเดิมเพื่อให้ลำน้ำเดิมมีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะรักษาสภาพทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของลำน้ำ
- อาคารส่งน้ำใช้งาน (Service Outlet) คือโครงสร้างการส่งน้ำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ เช่น ด้านการเกษตรกรรม ด้านการอุปโภค บริโภค เป็นต้น
- อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือ พื้นที่เหนือเขื่อน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้เก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์

2. องค์ประกอบอื่นๆ มีตามความจำเป็น

- ตัวเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ (Saddle Dam) คือโครงสร้างปิดกั้นช่องเขาหรือภูมิประเทศที่ระดับต่ำกว่าระดับสันเขื่อนหลักเพื่อไม่ให้น้ำรั่วออกจากอ่างเก็บน้ำ
- ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) คือโครงสร้างเพื่อช่วยระบายน้ำที่หลากมามากจนเกินความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น

5.2 ชนิดของเขื่อนและอาคารประกอบ

ชนิดของเขื่อน

ตามมาตรฐานนี้จะกำหนดชนิดของเขื่อนขนาดเล็กเฉพาะเขื่อนดิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1 เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous earth dam) เขื่อนประเภทนี้ประกอบด้วยดินที่มีทั้งความเหนียวและความแข็งแรงอยู่ตัว เช่น กลุ่มของดินเหนียวปนทราย (SC) ดินเหนียวปนกรวด (GC) ดินเหนียวปานกลาง (CL) เป็นต้น นำมาบดอัดเป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้นส่วนของหินก้อนคลิ่นกวดเศษหาดทราย หินน้ำ และชั้นระบายน้ำในตัวเขื่อน

2 เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth zoned dam) เขื่อนประเภทนี้จะมีแกนกลางเขื่อนเป็นดินเหนียวทึบน้ำ (Impervious core) เพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านตัวเขื่อน ส่วนวัสดุด้านนอกที่ประกอบเป็นตัวเขื่อนหุ้มแกนดินเหนียวทั้งสองข้าง เรียกว่า สวนเปลือกของเขื่อน (Shell) ประกอบด้วยดินเม็ดหยาบกว่าและมีกำลังสูงกว่าหรือดินคละขนาดที่สามารถหาได้ในพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้เขื่อนเกิดความมั่นคงสูงขึ้น โดยมีชั้นระบายในแนวเอียงคั่นระหว่างแกนดินเหนียวและดินสวนเปลือกนอก

5.3 ระดับและความสูงที่เกี่ยวกับงานเขื่อน

ความสูงของเขื่อน คือ ความสูงทั้งหมดจากระดับกันร่องน้ำลึกที่ตำแหน่งแนวแกนเขื่อนตัดผานไปจนถึงระดับสันเขื่อน ไม่นับรวมขอบทางเท้าหรือผนังกันคลื่น

ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำประกอบด้วยระดับต่างๆ ดังนี้

1 ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด (ร.น.ต.) คือระดับน้ำต่ำที่สุดที่สามารถส่งผ่านท่อส่งน้ำ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระดับน้ำที่ต่ำกว่านี้เป็นน้ำตายสำหรับการใช้ในการเก็บตะกอนกอนอ่าง

2 ระดับน้ำเก็บกักปกติ (ร.น.ก.) คือระดับน้ำเก็บกักเต็มความจุของอ่าง ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับสันของทางระบายน้ำล้น

3 ระดับน้ำสูงสุด (ร.น.ส.) คือระดับน้ำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำที่สูงพ้นระดับสันทางระบายน้ำล้นจะ ระบายลงท้ายน้ำจนเท่ากับ ร.น.ก.

5.4 น้ำหนักและแรงกระทำ

แรงกระทำต่อตัวเขื่อน อาจแยกเป็น 2 ประเภท คือ

1 แรงภายในตัวเขื่อนเอง (Internal forces) เช่น น้ำหนักของตัวเขื่อน และแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน เป็นต้น

2 แรงกระทำภายนอกตัวเขื่อน (External forces) เช่น แรงดันน้ำด้านเหนือเขื่อน (Head water) แรงดันน้ำด้านท้ายเขื่อน (Tail water) แรงจากน้ำหนักเครื่องจักรและสิ่งก่อสร้างบนสันเขื่อน

วัสดุก่อสร้างเขื่อน

บทที่ 6

วัสดุก่อสร้างเชื่อม

6.1 หลักการสำรวจและคัดเลือกวัสดุตัวเชื่อม

การสำรวจแหล่งวัสดุในงานเชื่อมมีความสำคัญในการออกแบบเชื่อม เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเชื่อม ต้องได้มาจากวัสดุตามธรรมชาติที่อยู่ใกล้ตัวเชื่อมมากที่สุด ดังนั้นการสำรวจหาแหล่งวัสดุจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1.1 สำรวจหาแหล่งวัสดุที่สามารถใช้ก่อสร้างตัวเชื่อมและอาคารประกอบ
- 1.2 ประเมินปริมาณที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
- 1.3 ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรม
- 1.4 จัดลำดับความสำคัญของแหล่งวัสดุที่จะใช้ก่อนหลังในระหว่างการก่อสร้าง
- 1.5 การประเมินราคาวัสดุก่อสร้าง

หลักการสำรวจแหล่งวัสดุโดยทั่วไปอาจทำได้ดังนี้

1. แหล่งวัสดุ

1.1 จะต้องอยู่ใกล้บริเวณตัวเชื่อมโดยคำนึงถึงเส้นทางการขนส่งที่สะดวก หากอยู่ในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ก็จะเป็นการประหยัดค่าเวนคืนหรือชดเชยที่ดิน ควรหลีกเลี่ยงบริเวณพื้นที่หวงห้ามของชุมชน หรือที่ทำกินของราษฎร

1.2 พิจารณาวัสดุที่ได้จากการก่อสร้างอยู่แล้ว เช่น วัสดุซึ่งต้องขุดจากฐานรากเชื่อมไหลเขา หรืออาคารประกอบ โดยคัดเลือกเฉพาะส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม

2. ปริมาณที่ต้องสำรวจ

จะต้องสำรวจแหล่งวัสดุ เผื่อไว้ประมาณ 2 เท่าของปริมาณที่คาดว่าจะใช้ ทั้งนี้เพราะบางส่วนจะถูกคัดทิ้งเนื่องจากคุณภาพต่ำ และบางส่วนสูญเสียไประหว่างขนส่ง

3. การดำเนินการสำรวจ

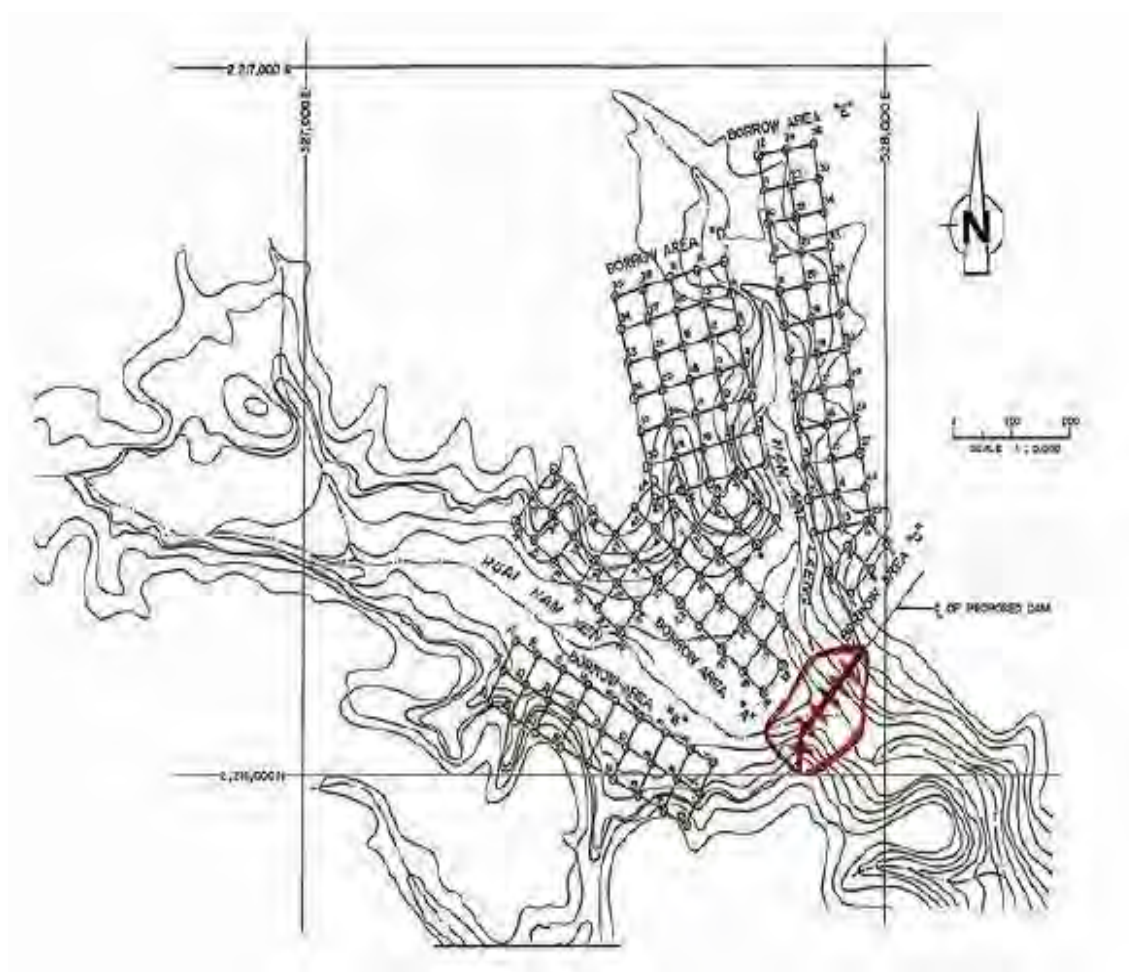
การดำเนินการสำรวจสามารถดำเนินการเองหรือจัดจ้างหน่วยงานอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของวัสดุ อุปกรณ์และบุคลากรที่มีอยู่

6.2 ดินถมตัวเขื่อน

1 วิธีการสำรวจ

การสำรวจเริ่มด้วยการพิจารณาแผนที่มาตราส่วน 1:5,000 ถึง 1:10,000 ประกอบกับลักษณะธรณีวิทยาการกำเนิดของดินและหินในบริเวณรอบตัวเขื่อนและบริเวณที่เลือกไว้ จากนั้นจึงเริ่มเจาะหรือขุดสำรวจ โดยกำหนดแปลงแต่ละบอยืมดินในการก่อสร้างเขื่อนเป็นกริด ขนาด 50x50 หรือ 100x100 เมตร คลุมพื้นที่บริเวณนั้น และมีหมายเลขกำกับทุกหลุม สวนวิธีสำรวจ อาจทำได้ดังนี้

- การเจาะด้วยสว่านมือ (Hand auger)
- การขุดหลุม Test pit



รูปที่ 5-1 ตัวอย่างแผนการเจาะสำรวจบอยืมดินในการก่อสร้างเขื่อน

2 การประเมินความเหมาะสมของดินก่อสร้างเขื่อน

ดินสำหรับการก่อสร้างตัวเขื่อน จะเป็นดินที่มีสัดส่วนของดินเหนียวปะปนกับกรวดทรายซึ่งเมื่อบดอัดด้วยเครื่องจักรที่ความชื้น ที่เหมาะสมแล้วจะมี ความหนาแน่น ทึบน้ำป้องกันการรั่วซึมของเขื่อนได้เป็นอย่างดี และมีความแข็งแรงที่เกิดจากการขัดดินเม็ดหยาบ ทำให้ไม่เกิดการพังทลายของลาดเขื่อนได้ง่าย กลุ่มดินที่เหมาะสมใน 5 ลำดับแรก ตามการจำแนกของ Unified Soil Classification System (USCS) แสดงไว้ในตาราง

ตารางความเหมาะสมของดินบดอัดถมตัวเขื่อนและดินฐานรากเขื่อน

ลักษณะดิน	กลุ่มดิน (USCS)	การรั่วซึมหลังการบดอัด	ความแข็งแรงหลังการอัดตัว	การยุบตัวหลังการอัดตัว	การบดอัด	ลำดับความเหมาะสม	
						ถมตัวเขื่อน	ฐานรากเขื่อน
กรวดผสมดินเหนียว มีทรายปน	GC	ทึบน้ำ	ดีพอใช้ - ดี	น้อยมาก	ดี	1	1
กรวดผสมทรายแป้ง มีทรายปน	GM	น้อย - ทึบน้ำ	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	2	2
ทรายผสมดินเหนียว	SG	ทึบน้ำ	ดีพอใช้ - ดี	น้อย	ดี	3	3
ทรายผสมทรายแป้ง	SM	น้อย - ทึบน้ำ	ดี	น้อย	พอใช้	4	4
ดินเหนียวความเหนียวต่ำ	CL	ทึบน้ำ	ดี	ปานกลาง	ดี	5	5

ดินที่สำรวจในสนามชั้นดินที่เหมาะสมจะต้องไม่เป็นชั้นบางกว่า 0.5 เมตร หรือมีปริมาตรจำกัด จนไม่คุ้มกับการเปิดเป็นบ่อถมดิน ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินศักยภาพของแต่ละบ่อถมดินให้ชัดเจน ก่อนการคิดปริมาณดินที่สามารถนำมาใช้ได้

6.3 กรวดทรายกรองน้ำและแผ่นใยสังเคราะห์

ชั้นกรอง (Filter) หรือ ชั้นระบายน้ำ (Drainage) เป็นส่วนสำคัญในตัวเขื่อน ทำหน้าที่รับน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากให้ไหลมารวมกัน ในบริเวณที่เตรียมไว้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายจากการกัดเซาะ หรือเกิดความดันน้ำสูงจนเกิดการกัดเซาะ คุณสมบัติหลักของชั้นกรองหรือชั้นระบายน้ำมี 2 ประการ คือ

1 ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินของตัวเขื่อนและฐานรากถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้

2 ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวกโดยไม่เกิดความดันน้ำสะสมขึ้นในตัวเขื่อนหรือชั้นกรอง

ชั้นกรองหรือชั้นระบายน้ำในตัวเขื่อนจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำที่คาดว่าจะต้องระบายออกจากตัวเขื่อนหรือฐานรากได้

แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) สามารถนำมาใช้ในการออกแบบและก่อสร้างเขื่อนได้ในลักษณะดังต่อไปนี้

1. ใช้หุ้มท่อเจาะระบายน้ำในชั้นกรองระบายน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายให้ดีขึ้น
2. ใช้เป็นวัสดุรองพื้นหินทั้งกันคลื่นและกันการกัดเซาะที่ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ
3. ใช้ปูบนดินฐานรากที่เป็นกรวดทรายละเอียดขนาดให้แยกออกจากวัสดุถมตัวเขื่อนเพื่อไม่ให้เกิดการพัดพาวัสดุตัวเขื่อนสูญหายไปบนชั้นฐานราก โดยทั่วไปแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องมีความหนา และแข็งแรงพอที่จะรับแรงดึงหรือแรงกดทะลุโดยไม่ฉีกขาดมีขนาดรูเปิดใหญ่ พอที่จะระบายน้ำได้ดี แต่ไม่ใหญ่จนทำให้วัสดุเม็ดละเอียดถูกพัดพาหลุดลอดออกไปได้

6.4 หินทิ้งกันคลื่น

หินทิ้งกันคลื่นของลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ จะต้องมีความใหญ่และมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสลายพลังงานจากการกระแทกของคลื่นได้ โดยพิจารณาจากความสูงของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ ด้านหน้าเขื่อน ดังแสดงในตาราง

ตาราง ขนาดเฉลี่ยของหินทิ้งกันคลื่นที่ลาดเขื่อน

ขนาดของหินทิ้งกันคลื่นที่ลาดเขื่อน (เมตร)									
ความชันของลาดเขื่อน	ความสูงของคลื่น (เมตร)								
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1:1.5	0.33	0.5	0.66	0.83	1.00	1.16	1.33	1.49	1.66
1:2.0	0.21	0.32	0.43	0.53	0.64	0.75	0.86	0.96	1.07
1:2.5	0.19	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.75	0.85	0.94
1:3.0	0.18	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64	0.73	0.83	0.92

6.5 การทดสอบวัสดุ

การทดสอบคุณสมบัติดินและหินในห้องทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและกำหนดการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง ซึ่งมีชนิดการทดสอบในตาราง วิศวกรต้องพิจารณาตามความจำเป็น

ตาราง การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

1. สำหรับดินแกนเขื่อน และวัสดุส่วนนอก (Core and Randam Materials)

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	ASTM D422-63	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	- Filter Design
2. Liquid Limit	ASTM D423-66	Plasticity และ "A-line " Chart	- Soil Classification เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
3. Plastic Limit	ASTM D424-59		

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
4. Natural Water Content	ASTM D2216-80	ความชื้นในธรรมชาติ	- การปรับความชื้นในการก่อสร้าง
5. Soil Classification	ASTM D2487-83	Unified Soil Group	- เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
6. Specific Gravity	ASTM D854-83	Specific Gravity	- การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน
7. Compaction	ASTM D698-75 ASTM D1557-78	Compaction Curve y_{dmax} , w_{opt}	- การควบคุมคุณภาพในสนาม - การกำหนดความแน่นในการทดสอบ ทางวิศวกรรมอื่น ๆ
8. Permeability	Earth Manual E-13	สัมประสิทธิ์ความซึม (k)	- Filter Design - Seepage Analysis
9. Direct Shear	ASTM D3080-72	ความแข็งแรงของมวลดินโดยประมาณ ($\bar{c}, \bar{\phi}$)	- วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน ในการออกแบบเบื้องต้น
10. Dispersive	ASTM D4221-83a	% Dispersion	- ตรวจสอบการกระจายตัวของดินจากบอยัม

2. สำหรับกรวดทรายที่ใช้เป็นวัสดุ

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	ASTM D422-63	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	-Filter Design
2. Specific Gravity	ASTM D854-83	Specific Gravity	การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน
3. Relative Density	Earth Manual E-12	y_{dmax} , y_{dmin}	- ควบคุมคุณภาพการบดอัดในสนาม
4. Permeability	Earth Manual E-13	สัมประสิทธิ์ความซึม (k)	- Filter Design - Seepage Analysis
5. Soundness	ASTM C88	% Soundness	- ตรวจสอบความคงทนของเม็ด กรวดทราย
6. Abrasion	ASTM C535	%Abrasion	- ตรวจสอบการกัดกร่อนจากการ ชัดสี

3.สำหรับหินทั้งกั้กัการกััดเซาะลาดเซ่เอน

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Specific Gravity	ASTM C127	Specific Gravity	- ควบคุมคุณภาพหิน
2. Absorption	ASTM C128	% Absorption	- ควบคุมคุณภาพหิน
3. Gradation Analysis	ASTM C136	การกระจายของขนาดหิน	- ควบคุมคุณภาพหิน

บทที่ 7

ฐานรากเขื่อน

ฐานรากเขื่อนเป็นชั้นดินหรือชั้นหินที่ต้องรองรับตัวเขื่อนทั้งหมด และต้องทึบน้ำเพื่อปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมลอดใต้ฐานรากจากด้านเหนือน้ำไปท้ายน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาของฐานรากเขื่อน การทดสอบคุณสมบัติและการปรับปรุงสภาพฐานรากให้เหมาะสม

7.1 การสำรวจฐานรากเขื่อน

การสำรวจสภาพทางธรณีฐานรากเขื่อนและอาคารประกอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ออกแบบหรือกำหนดระดับการขุดฐานราก
2. ออกแบบหรือกำหนดระดับหินแข็งที่จะเป็นกันร่องแกน
3. การปูชั้นดินทึบน้ำ
4. ตรวจสอบแนว ขนาด ทิศทางของโครงสร้างทางธรณีที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน
5. กำหนดตำแหน่งและชนิดของอาคารประกอบที่เหมาะสม
6. ช่วยในการวางแผนการก่อสร้างและผันน้ำ

การกำหนดตำแหน่ง ความลึก และวิธีการสำรวจด้านธรณีเทคนิคของฐานรากเขื่อนมีหลักการดังต่อไปนี้

1 ตำแหน่งและขอบข่ายในแนวราบ

- การสำรวจฐานรากเขื่อน ควรครอบคลุมพื้นที่ใต้ฐานเขื่อนทั้งหมด และขยายออกไปจากดินเขื่อนทั้งเหนือน้ำและท้ายน้ำอีกข้างละเท่าความสูงของเขื่อนโดยประมาณ

- ตำแหน่งของหลุมเจาะซึ่งเป็นวิธีสำรวจหลัก จะต้องมีย่านอย่างน้อยทุกๆ 50-200 เมตร ตามแนวแกนเขื่อนตลอดความยาว และอยู่ในบริเวณต่อไปนี้ คือ

1. จุดที่ลึกที่สุดในลำน้ำ
2. จุดที่แนวอาคารประกอบเขื่อนตัดผ่านแกนเขื่อน
3. จุดที่คาดว่าจะมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ผิดปกติ เช่น Fault, Joint ในชั้นหิน

2 ความลึกของหลุมเจาะ ควรมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ คือ

- ความลึกในการเจาะครั้งแรก ให้ลึกอย่างน้อย 75% ของความสูงเขื่อนหรืออย่างน้อยต้องถึงหินแกร่งทึบน้ำ

- สำหรับอาคารประกอบที่ไม่ต้องคำนึงถึงการปิดกั้นน้ำ ให้พิจารณาการรับแรงแบกทานของดินเพื่อรับน้ำหนักของอาคารดังกล่าวเป็นหลัก

3 การสำรวจฐานรากเขื่อน อาจทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้ ซึ่งจะมีรายละเอียด ในบทต่อไป

- การเจาะแบบ Rotary drilling ใช้ได้ทั้งฐานรากดินและหิน
- การขุดหลุมสำรวจ (Test pit)
- การเจาะแบบ Hand Auger หรือ Wash Boring ใช้ในกรณีสำรวจชั้นดิน

2 การทดสอบและประเมินคุณสมบัติของดินและหินฐานรากเขื่อน

การทดสอบและประเมินคุณสมบัติของฐานรากเขื่อน จะเป็นการทดสอบในสนาม ซึ่งผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือกว่าการทดสอบในห้องทดลอง และนอกจากดินหรือหินฐานรากไม่ได้รับการกระทบกระเทือนแล้ว ยังเป็นการทดสอบคุณสมบัติรวมของชั้นดินหรือหินที่มีรอยแตก หรือตามสภาพธรรมชาติได้ด้วย วิธีการทดสอบและประเมินคุณสมบัติ ได้แก่

- Pumping Test หรือ Field Permeability เพื่อหาอัตราการซึมน้ำ
- Standard Penetration Test (SPT) หาแรงต้านของชั้นดินหรือหินผุ
- Plate Bearing Test หาแรงต้านทานของผิวดิน/ หินต่อน้ำหนักบรรทุก

7.3 การปรับปรุงฐานรากเขื่อน

ฐานรากเขื่อนหรือตัวเขื่อนที่จุดต่ำสุด จะต้องก่อสร้างอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเขื่อนได้ โดยไม่เกิดการพังทลายจากแรงแบกทานไม่เพียงพอ ไม่มีการทรุดตัวมากเกินไป ไม่เกิดการกัดเซาะเป็นโพรงหรือมีน้ำไหลลอดมากเกินไป ดังนั้นบริเวณฐานรากเขื่อนโดยทั่วไปนอกจากร่องแกนเขื่อนจะต้องมีการขุดลอกดินหลวมออกจนถึงชั้นที่รับน้ำหนักแบกทานของเขื่อนได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) หรือ Plate Bearing Test สวนบริเวณร่องแกนเขื่อนที่ต้องขุดลงไปลึก หรือมีกำแพงทึบน้ำ เพื่อปิดกั้นการไหลซึมรอดของน้ำนั้นสามารถดำเนินการได้หลายแบบตามลักษณะทางธรณีวิทยา คือ

1 ฐานรากที่เป็นดินทรายหรือกรวด

1) การทำร่องกันน้ำ (Cutoff Trench) ในชั้นฐานรากเขื่อนที่เป็นกรวดทรายและน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับขุดร่องกันน้ำ การป้องกันการไหลซึมผ่านได้ฐานเขื่อนเมื่อมีการเก็บน้ำนั้นควรทำการก่อสร้างด้วยการขุดร่องกันน้ำ ความกว้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของระยะต่างของน้ำจากเหนือน้ำมาทำให้น้ำ ด้วยเครื่องมือขุดประเภทต่างๆ เช่น Draglines , Clamshells และ Backhoe เป็นต้น โดยขุดให้ลึกลงไปใ้ฐานรากจนถึงระดับชั้นหินหรือดินที่แน่น แล้วทำความสะอาดผิวหน้าหิน หากมี รอยแตกในหินมาก อาจต้องดำเนินการอัดฉีดน้ำปูน และหรืออุดยาผิวหน้าหินด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์แล้วจึงทำการบดอัดดินเหนียวที่น้ำขึ้นมาเป็นชั้น เช่นเดียวกับวิธีการบดอัดแกนเขื่อนตามปกติจนถึงระดับผิวดินเดิม จึงมีการบดอัดต่อเชื่อมกับตัวเขื่อนด้านบน

2) การทำผนังทึบน้ำใต้ดิน (Slurry Cutoff Wall) ในกรณีที่ชั้นกรวดทรายอยู่ในท้องน้ำที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง การขุดจะมีอุปสรรคจากการที่น้ำไหลเข้าสู่ร่องขุดจนไม่สามารถก่อสร้างได้ดังนั้นจึงนิยมขุดเป็นร่องขนาดเล็กในแนวตั้งเครื่องมือขุดและระดับพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีของร่องกันน้ำขณะที่ขุดร่องผนังอยู่นั้นจะมีน้ำโคลนเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) หล่อกันร่องขุดพัง โดยต้องให้ระดับน้ำโคลนอยู่สูงกว่าน้ำใต้ดินอยู่ตลอดเวลา น้ำโคลนเบนโทไนท์จะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย จึงมีแรงดันพอที่จะพยุงร่องขุดให้มั่นคงอยู่ได้ในระหว่างการขุด เมื่อขุดถึงความลึกที่ต้องการแล้วถมกลับด้วยดินผสมกรวดทรายและโคลนเบนโทไนท์หรือคอนกรีตที่บดน้ำ จนถึงระดับของฐานรากเขื่อนให้ต่อเชื่อมกับแกนดินเหนียว

3) ชั้นดินเหนียวที่ปูหน้าเขื่อน (Clay Blanket) การปิดกั้นน้ำที่ซึมผ่านใต้ฐานรากเขื่อน กรณีที่เป็นชั้นกรวดทรายที่มีความลึกมาก และอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินจะทำการขุดเปิดออกเป็นร่องแกนไดยาก และไม่สามารถรักษาความมั่นคงของลาดของร่องแกนได้ เนื่องจากมีน้ำไหลเข้ามาตลอดเวลา ดังนั้นวิศวกรสามารถเลือกออกแบบเป็นชั้นดินเหนียวที่ปูหน้า เขื่อนไปทางด้านเหนือน้ำโดยต้องเชื่อมต่อกับแกนดินเหนียวของเขื่อนออกไป เป็นระยะทาง 6-20 เท่าของความสูงของน้ำในอ่าง เพื่อยึดทางเดินของน้ำที่จะซึมผ่านใต้ฐานรากเขื่อน ให้ไกลออกไปทางด้านเหนือน้ำ ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณการไหลซึมลงได้มาก ในการกำหนดความยาวและความหนาของชั้นดินเหนียวนี้ จะต้องทำการวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำด้วยวิธีการเขียน Flownet หรือ โดยวิธี Finite Element Method (FEM)

2 ฐานรากที่เป็นหิน

ปกติฐานรากเขื่อนที่มีชั้นหินอยู่ในระดับตื้นจะมีกำลังแบกทานสูง ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงชั้นหิน โดยทำการขุดแต่งหิน เนื่องจากผิวหน้าของหินใต้เขื่อนส่วนใหญ่จะปกคลุมด้วยดิน กรวดทรายและหินผุ ที่คุณภาพไม่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องขุดส่วนนี้ทิ้งออกไป การขุดบริเวณหน้าหินต้องความระมัดระวังไม่ให้กระทบกับหินที่ดี หรือทำให้หินเสียคุณภาพโดยขุดลงไปจนถึงชั้นหินแข็งที่สามารถอัดปูนเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับส่วนที่ยื่นล้ำออกมาจากระดับหน้าหินปกติจะต้องถูกสกัดออกโดยใช้สิ่ว เหล็กกระแทก หรือระเบิดอ่อนๆ แต่ควรใช้การระเบิดหินให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้รอยแตกในหินมีการเปิดกว้างมากขึ้น

รอยแตกและรอยแยกที่ปรากฏ จะต้องมีการขุดหินผุหรือดินที่แทรกอยู่ออกให้หมดด้วยเครื่องจักรหรือแรงคนแล้วทำความสะอาดโดยการเป่าลม-น้ำ (Water jet) รอยแตกและรอยแยกเหล่านี้จะต้องเทคอนกรีต ปูน-ทราย หรืออัดฉีดปูนเหลวลงไปแทรกปิดรอยแตกดังกล่าวแล้วให้เก็บกวาด ล้างทำความสะอาดผิวหน้าหิน บริเวณที่ทำการอัดปูนเหลวจนแน่ใจว่ารอยต่อระหว่างฐานรากกับวัสดุแกนเขื่อนสามารถเชื่อมประสานกันไดเป็นอย่างดี

บทที่ 8

การออกแบบตัวเขื่อน

8.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเขื่อน

เมื่อกำหนดแนวแกนเขื่อนแล้วจะเป็นการออกแบบเขื่อน ซึ่งต้องมีการผสมผสานความรู้หลายสาขามาผนวกรวมกันโดยเฉพาะด้านกลศาสตร์ของดิน ธรณีวิทยา และชลศาสตร์ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1 การรวบรวมข้อมูลเพื่อการออกแบบ ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

- ข้อมูลทางด้านธรณีสัณฐานรากเขื่อน
- ข้อมูลทางด้านวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน
- ข้อมูลจากแรงและน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง
- ข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

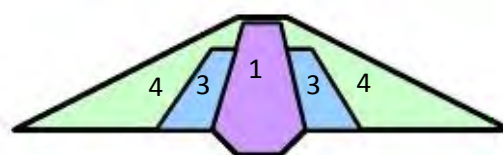
2 การกำหนดหน้าตัดเบื้องต้นของตัวเขื่อน จากการพิจารณาข้อมูลในข้อ 1. วิศวกรสามารถกำหนดหน้าตัดเขื่อนในเบื้องต้นได้ ส่วนมากจะกำหนดเป็นสองลักษณะคือเขื่อนดินเนื้อเดียว เมื่อมีวัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นดินชนิดเดียว หรือ เขื่อนดินแบ่งส่วนซึ่งประกอบด้วยดินหลายชนิด ดังแสดงในรูป

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous earth dam)



- 1 หมายถึง ดินเหนียวที่บ้น้ำ
- 3 หมายถึง ดินกึ่งพรุนน้ำ

เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth zoned dam)



- 2 หมายถึง ดินกึ่งที่บ้น้ำ
- 4 หมายถึง ททราย, กรวด ที่พรุนน้ำ หรือหินทิ้ง

รูปแบบหน้าตัดเบื้องต้นของตัวเขื่อน

3 การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก วิศวกรสามารถตรวจสอบการไหลซึมที่สำคัญของเขื่อนได้ด้วยการเขียนตาข่ายของการไหลซึม (Flow nets) ด้วยมือ หรือวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก ความดันน้ำ ความเร็วในการไหลซึม แรงดันลอยตัว และอย่างอื่นที่จำเป็น โดยนำผลการวิเคราะห์ตรวจสอบกับค่าที่ยอมรับได้ เช่น การไหลซึมไม่เกินร้อยละ 1 ของปริมาตรเก็บกักตลอดช่วงฤดูแล้ง อัตราส่วนปลอดภัยที่จะเกิด Boiling ไม่ต่ำกว่า 1.5 เป็นต้น หากหน้าตัดเขื่อนที่กำหนดไม่เหมาะสมต้องปรับเปลี่ยนหน้าตัดเขื่อนให้ค่าการไหลซึมต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์

4 การออกแบบขนาดคลองของชั้นกรอง ภายในตัวเขื่อนนอกจากการออกแบบการปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมผ่านแล้ว ยังต้องมีการออกแบบชั้นระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนหรือฐานรากเพื่อป้องกันการกัดเซาะพัดพาเม็ดดิน และลดแรงดันน้ำในส่วนต่างๆ ของตัวเขื่อน โดยขนาดคลองของชั้นกรองต้องสัมพันธ์กับขนาดคลองของดินตัวเขื่อนและฐานรากดังนี้

สำหรับเกณฑ์กำหนดในการออกแบบชั้นกรองสำหรับงานเขื่อนในประเทศไทยมักใช้ตาม US. Corps of Engineers (NAFAC Manual 7.1 May 1982) คือ

$$\blacksquare \frac{D_{15F}}{D_{15S}} > 5 \text{ (Drainage Requirement)}$$

$$\blacksquare \frac{D_{15F}}{D_{85S}} < 5 \text{ (Piping Requirement)}$$

$$\blacksquare \frac{D_{15F}}{D_{85S}} < 25 \text{ (Piping Requirement)}$$

เมื่อ D_{15F}, D_{50F} = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวดทรายชั้นกรองที่
เปอร์เซ็นต์ Finer 15 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

$D_{15S}, D_{50S}, D_{85S}$ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดินตัวเขื่อน หรือดินฐานรากที่
เปอร์เซ็นต์ Finer 15, 50 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

- ขนาด Filter ที่ใหญ่ที่สุดไม่เกิน 3 นิ้ว

- จะต้องไม่มีดินเหนียวปะปน หรือมีวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% โดยน้ำหนัก

5 การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน เมื่อผ่านการวิเคราะห์ในข้อ 3. แล้วจะต้องมีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำในสภาวะการก่อสร้างและเก็บน้ำในระดับต่างๆ กันโดยวิธี Modified Bishop หรือ Simple Method of Slices และต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) มากกว่าที่กำหนดในตาราง

ตาราง เกณฑ์กำหนดต่อสุดและมาตราส่วนความปลอดภัย

กรณี	สภาพการวิเคราะห์	อัตราส่วนความปลอดภัย
1	เพิ่งก่อสร้างเสร็จ (End of Construction)	1.5
2	ระดับน้ำสูงสุด (Maximum water level)	1.5
3	ระดับเก็บกักปกติ (Normal water level)	1.5
4	ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	1.3

สำหรับเขื่อนขนาดเล็กให้เลือกวิเคราะห์เฉพาะกรณีที่เป็นดังแสดงในตารางเท่านั้น หากอัตราส่วนความมั่นคงในกรณีใดก็ตามต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จะต้องมีการปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสมจนผ่านเกณฑ์ดังกล่าว

1. การคำนวณค่าคะแนนการทรุดตัว เขื่อนดินจะมีการทรุดตัวภายหลังการก่อสร้างอีกประมาณร้อยละ 1 ของความสูงของเขื่อน จึงต้องมีการคำนวณเผื่อความสูงของสันเขื่อนไว้ให้เพียงพอ เพื่อกำหนดเป็นความสูงภายหลังการก่อสร้างเสร็จ (Camber) แต่ถ้าหากเป็นเขื่อนขนาดใหญ่ จะต้องมีการคำนวณจากผลของการทดสอบการทรุดตัวของดินตัวเขื่อนโดยตรง

2. การกำหนดเครื่องมือวัดพฤติกรรมเพื่อตรวจสอบความปลอดภัย เขื่อนมีระยะเวลาการใช้งานยาวนานตามอายุของการออกแบบ (ประมาณ 50 - 100 ปี) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน เช่น มาตรวัดความดันน้ำ หมุดวัดการทรุดตัว มาตรวัดปริมาณน้ำรั่วซึม เป็นต้น ซึ่งวิศวกรจะต้องพิจารณากำหนดตามความจำเป็น

3. การเขียนแบบเขื่อนและเกณฑ์กำหนดด้านเทคนิคเพื่อการก่อสร้าง ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบเขื่อน คือ การนำเอาผลการออกแบบมาเขียนรายละเอียดที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้างประกอบคำอธิบายหรือเกณฑ์กำหนดทางด้านเทคนิคตามที่วิศวกรระบุให้ใช้ควบคู่กับแบบ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการควบคุมงานก่อสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

- แพลนแสดงที่ตั้งและองค์ประกอบเขื่อน
- ตำแหน่งของบ่อยืมดินและคุณสมบัติดิน
- ลักษณะของดินฐานรากจากการเจาะสำรวจ
- แพลนแสดงระดับการขุดฐานรากและร่องแกน
- แพลนการปรับปรุงฐานรากเขื่อน
- รูปตัดตามแนวแกนเขื่อนแสดงระดับสันเขื่อน ระดับการขุดร่องแกน
- รูปตัดตามขวางของหน้าตัดเขื่อนที่ตำแหน่งต่างๆ
- รายละเอียดของสันเขื่อนดินเขื่อนและชั้นกรอง
- รายละเอียดถนนบนสันเขื่อน การเผื่อการทรุดตัวของเขื่อน ไฟฟ้าแสงสว่างบนสันเขื่อน
- ถนนบำรุงรักษาเขื่อน
- เครื่องมือวัดพฤติกรรมของเขื่อน

8.2 ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมของการก่อสร้างเขื่อนขนาดเล็ก

ในการว่าจ้างทำการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก จำเป็น ต้องมีข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรม (Engineering Specification) เพื่อใช้ประกอบกับแบบก่อสร้าง (Construction Drawing) โดยรายละเอียดในข้อกำหนดดังกล่าวจะต้องมีความชัดเจนเพื่อให้การก่อสร้าง การควบคุมตรวจสอบคุณภาพงาน และการวัดปริมาณงานเป็นไปด้วยความถูกต้อง โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

1 หลักเกณฑ์โดยทั่วไปของเขื่อน

- 1.1 ขอบเขตของงาน
- 1.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิด
- 1.3 การปรับปรุงฐานรากเขื่อน
- 1.4 วัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน
- 1.5 การบดอัด
- 1.6 ช่วงเวลาในการก่อสร้างตัวเขื่อน
- 1.7 รอยต่อของดินถมใหม่

2 ดินที่บ้น้ำแกนเขื่อนและดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

- 2.1 ขอบเขตของงาน
- 2.2 แหล่งของดินที่บ้น้ำ
- 2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของดินที่บ้น้ำ
- 2.4 การทดสอบคุณสมบัติดินที่บ้น้ำ
- 2.5 การปรับปรุงฐานรากใต้แกนเขื่อน
- 2.6 วิธีถมดินและบดอัดดินที่บ้น้ำ
- 2.7 การควบคุมปริมาณน้ำในดิน ความแน่น และการซึมผ่านของน้ำ
- 2.8 การปรับความชื้นของดินที่แหล่งวัสดุ
- 2.9 การปรับความชื้นดินในแปลงก่อนการบดอัด
- 2.10 เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัดดินถมตัวเขื่อน
- 2.11 การบดอัดดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

3 วัสดุกรอง

- 3.1 ขอบเขตของงาน
- 3.2 คุณสมบัติของวัสดุกรอง
- 3.3 การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ
- 3.4 การปรับปรุงฐานเขื่อนใต้ชั้นกรอง
- 3.5 การปูวัสดุกรอง
- 3.6 การบดอัด

4 วัสดุถมตัวเขื่อนส่วนนอก

- 4.1 ขอบเขตของงาน
- 4.2 แหล่งวัสดุถมตัวเขื่อนส่วนนอก
- 4.3 คุณสมบัติที่ต้องการของดินถมตัวเขื่อนส่วนนอก
- 4.4 การปรับปรุงฐานรากเขื่อนใต้ชั้นถมตัวเขื่อนส่วนนอก

4.5 วิธีการถมบดอัด

4.6 การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ

5 การป้องกันน้ำกัดเซาะบนผิวลาดของตัวเขื่อน

5.1 ขอบเขตของงาน

5.2 การก่อสร้างขึ้นหินทิ้งกันคลื่น

5.3 คุณภาพของหินทิ้ง

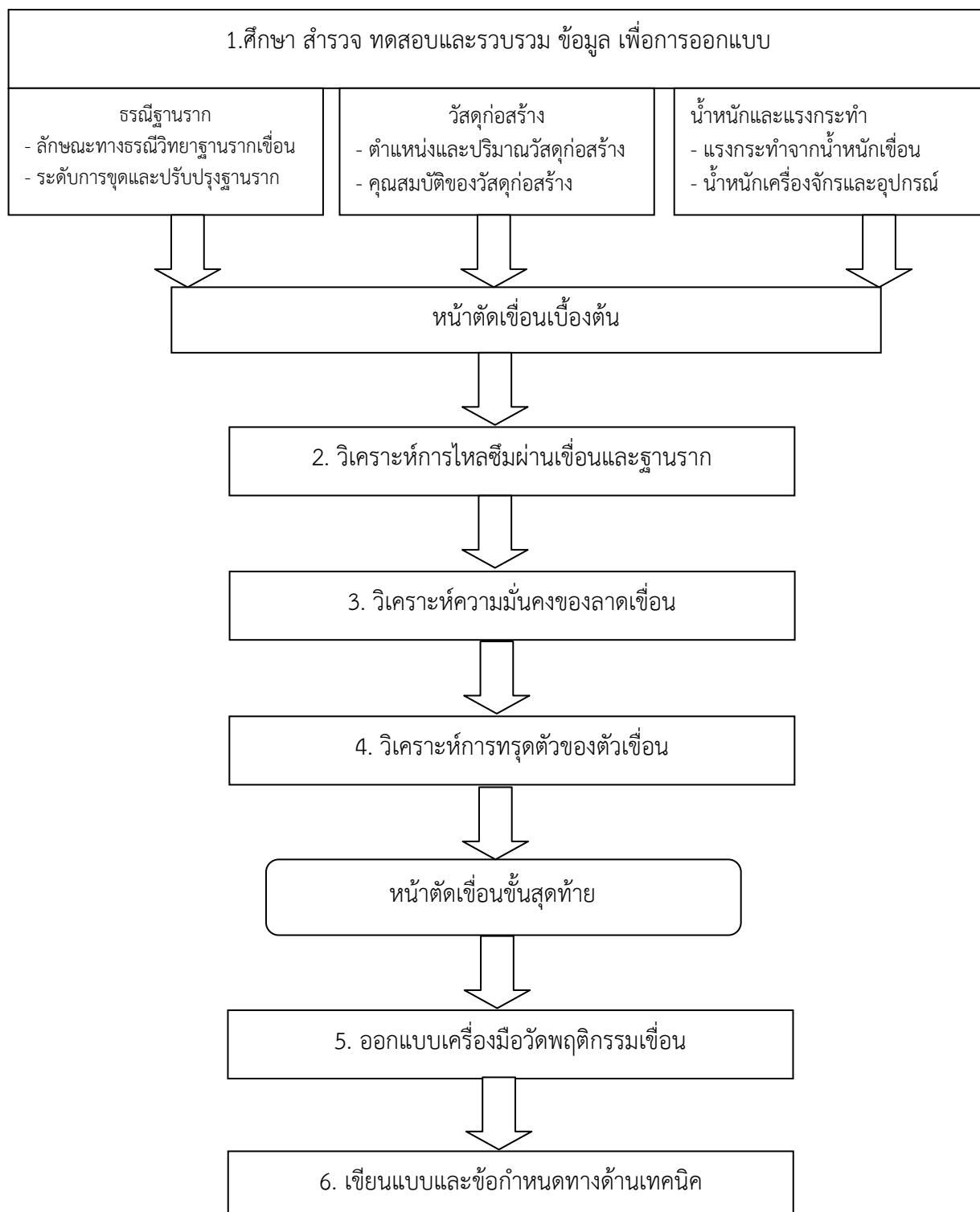
8.3 หลักการออกแบบโดยทั่วไป

การออกแบบและก่อสร้างเขื่อนดิน มีหลักเกณฑ์ทั่วไป ดังต่อไปนี้

1. ความมั่นคง (Stability) ของลาดเขื่อน ลาดเขาที่เขื่อนเกาะอยู่ และลาดดินขอบอ่างเก็บน้ำจะต้องมีเสถียรภาพไม่พังทลายในทุกสภาวะ ทั้งในขณะก่อสร้างและในระหว่างการใช้งาน
2. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและใต้ฐานเขื่อน (Seepage) จะต้องมีการปิดกั้นและการควบคุมที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำหรือการกัดเซาะพัดพาวัสดุตัวเขื่อนออกไปได้
3. การกระจายน้ำหนักของตัวเขื่อนสู่ฐานราก (Bearing Stress) จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน หรือหินฐานรากใต้เขื่อนไม่ให้เกิดการพังทลาย
4. สันเขื่อนจะต้องสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักมากพอ (Freeboard) ที่จะป้องกันไม่ให้น้ำล้นสันเขื่อนอันเนื่องมาจากน้ำหลาก หรือคลื่นซึ่งเกิดจากลมหรือแผ่นดินไหวในอ่างเก็บน้ำ
5. ทางระบายน้ำล้น (Spillway) จะต้องมีความใหญ่พอที่จะระบายน้ำส่วนที่เกินความต้องการที่จะเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์ โดยไม่ล้นสันเขื่อน
6. สันเขื่อนจะต้องเผื่อความสูงกว่าระดับที่ต้องการทางด้านวิศวกรรม (Camber) เพื่อทดแทนการทรุดตัวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของเขื่อน

8.4 สรุปขั้นตอนการสำรวจ ออกแบบและก่อสร้างเขื่อน

การออกแบบเขื่อนจะต้องเริ่มด้วยการสำรวจและรวบรวมข้อมูลดังนี้ ศึกษาข้อมูลเดิมที่มีอยู่ สำรวจทางภูมิประเทศ สำรวจด้านธรณีวิทยาฐานรากเขื่อน สำรวจวัสดุก่อสร้างแรงกระทำและน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง ต่อจากนั้นจึงทำการประมวลข้อมูลดังกล่าวนำมาออกแบบหน้าตัดเขื่อนเบื้องต้น และวิเคราะห์ออกแบบในขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูป ในกรณีที่หน้าตัดดังกล่าว ไม่เหมาะสมในขั้นตอนการวิเคราะห์ ก็จะต้องมีการปรับเปลี่ยนแล้วดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบใหม่จนได้หน้าตัดเขื่อนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดพฤติกรรมนั้น เป การพิจารณาเลือกชนิดเครื่องมือจำนวนและตำแหน่งเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อการตรวจวัดในขณะก่อสร้างและใช้งาน ขั้นตอนสุดท้ายคือการเขียนแบบรายละเอียดและข้อกำหนดทางด้านเทคนิค เพื่อใช้ในการก่อสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ



รูปที่ 7-1 ขั้นตอนการออกแบบเขื่อน

บทที่ 9

การก่อสร้างเขื่อน

ในการดำเนินการก่อสร้างเขื่อนผู้ควบคุมงานจะต้องเข้าใจถึงลักษณะของดินที่จะนำมาใช้ถมตัวเขื่อนตาม Zone ต่างๆ เป็นอย่างดี เพื่อที่จะทำให้การแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว สำหรับงานเขื่อนดินมีจุดสำคัญของงานก่อสร้างอยู่ที่การป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Seepage Control) และการจัดทางน้ำให้ไหลได้โดยสะดวกที่บริเวณด้านท้ายเขื่อน (Downstream Drains)

9.1 การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง

1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแบบก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบพร้อมด้วยรายละเอียดอื่นๆ
- จัดเตรียมค่าพิกัดค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐานเดิมตามแนวศูนย์กลางเขื่อนและบริเวณหัวงาน หรือหมุดหลักฐานอื่นในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการโยางงานและตรวจสอบ

2) การเตรียมงานในสนาม

- ค้นหาหมุดหลักฐานเดิมที่ได้จัดเตรียมไว้
- โยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานเดิม และ/หรือหมุดหลักฐานในแนวศูนย์กลาง เข่าตรวจสอบกับหมุดหลักฐานข้างเคียงที่มีสภาพดีและน่าเชื่อถือ ถ้าหมุดในแนวศูนย์กลางสูญหายหรือไม่ตรงกับแบบให้วางแนวศูนย์กลางใหม่
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร เพื่อเป็นหมุดหลักฐานหมายพยานของแนวศูนย์กลางเขื่อน โดยให้อยู่ในแนวศูนย์กลางออกไปทั้ง 2 ข้าง จนพ้นเขตก่อสร้างอย่างน้อยข้างละ 1 คู และ/หรือให้ตั้งฉากหรือขนานกับแนวศูนย์กลางอีกข้างละ 1 คู
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร เพื่อเป็นหมุดหลักฐานหมายพยานของแนวศูนย์กลางและระยะกิโลเมตรของเขื่อนและอาคารประกอบตามระยะที่เหมาะสมให้ขนานหรือตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางเขื่อนและให้อยู่นอกเขตก่อสร้าง
- โยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานข้างเคียงที่ตรวจสอบค่าแล้ว เข้ากับหมุดหลักฐานหมายพยานทั้งหมด โดยวิธีการวางรอบ (หรือการสามเหลี่ยม) และการระดับชั้นที่ 3
- ทำรั้วล้อมรอบหมุดหลักฐานถาวร พร้อมทั้งเขียนชื่อและค่าระดับของหมุด

3) การสำรวจวางแนวและรังวัดระดับ

- วางศูนย์กลางเขื่อนจาก กม.0+000 ไปจนสุดแนวปักหมุดไม้ทุกระยะ 20 ม.และทุกจุดที่ตั้งของอาคารประกอบ พร้อมทั้งเขียนเลขบอกระยะ กม. ไว้ทุกหมุดด้วย และรังวัดระดับโดยวิธีการระดับชั้นที่ 3
- วางแนวรูปตัดขวางให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางเขื่อนที่ กม.0+000 และทุกระยะ 20 เมตร พร้อมกับตอปักรูปตัดออกไปจนพ้นขอบเขตงานชุดและงานถมอย่างน้อย 10 เมตรรังวัดระดับตามแนวรูป

ตัดขวางทุกระยะ 10 เมตร และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก โดยนับระยะจากแนวศูนย์กลางเขื่อน ออกไปทั้งสองข้าง สำหรับอาคารประกอบให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับแนวเขื่อน

4) การเขียนแผนที่

- เขียนแผนที่รูปตัดตามยาวตามแนวศูนย์กลางเขื่อน มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 และทางราบ เท่ากับมาตราส่วนของแบบก่อสร้าง แสดงจุดระดับภูมิประเทศทุก 20 เมตร
- เขียนแผนที่รูปตัดขวางแนวศูนย์กลางเขื่อน มาตราส่วนทางตั้งและทางราบ 1:100 ให้ปกรูปตัด ด่วนเหนือน้ำอย่าข้ามด้านซ้ายของกระดาษ แสดงค่าระดับภูมิประเทศทุกจุดที่ทำการรังวัด เพื่อใช้ คำนวณหาปริมาตรดิน

5) การกำหนดแนวและขนาดเพื่อการก่อสร้าง

- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปกหลักไม้ทุกระยะ 20 เมตร ที่จุดขอบเขตงานชุดและงานถมของตัว เขื่อนทั้ง 2 ข้าง เพื่อถางป่าและเปิดหน้าดิน สำหรับงานก่อสร้างอาคารประกอบให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน
- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปกหลักไม้ทุก 10 เมตร ในแนวตรง และทุก 5 เมตรในแนวโค้ง กำหนด ขนาดของร่องแกนไปจนถึงตลอดแนวเขื่อน แล้วโรยปูนขาวไว้เพื่อการขุดลอกต่อไป สำหรับงานก่อสร้างอาคาร ประกอบ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน
- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปกหลักไม้ทุกระยะ 10 เมตรในแนวตรง และทุก 5 เมตร ในแนวโค้ง กำหนดขนาดเพื่อบดอัดชั้นดิน ก่อนและหลังการถมบดอัดชั้นดินทุกครั้งให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง

6) การกำหนดค่าระดับ

- รังวัดระดับรูปตัดขวางภายหลังการถางป่า และเปิดหน้าดินแล้วทุกระยะ 20 เมตรในแนวตรง และทุกระยะ 10 เมตรในแนวโค้ง ต่อปกรูปตัดขวางไปจนถึงขอบเขตงานชุดและงานถมทั้ง 2 ข้างและแสดง ค่าระดับตลอดแนวศูนย์กลางทุกระยะที่วางไว้หลังการเปิดหน้าดิน
- กำหนดค่าระดับดินตัดของร่องแกน ทุกระยะที่กำหนดในแบบ
- กำหนดค่าระดับดินถมบนหมดไม้ที่ปัก ณ จุดขอบเขตงานชุดและงานถมของเขื่อนทั้ง 2 ข้าง หลังการถมร่องแกนเสร็จทุกระยะ 10 เมตรในแนวตรง และทุกระยะ 5 เมตรในแนวโค้งก่อนและหลังการ ถมบดอัดดินทุกครั้ง
- ตรวจสอบค่าระดับ ภายหลังถมบดอัดชั้นดินตัวเขื่อนแล้ว และตรวจสอบค่าระดับในการตั้งแบบ ก่อนและหลังเทคอนกรีตทุกบล็อกของแบบก่อสร้าง โดยวิธีการระดับชั้นที่ 3 สำหรับงานก่อสร้างอาคาร ประกอบ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน

9.2 การผันน้ำระหว่างการก่อสร้าง

งานที่จะต้องรีบเร่งดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จโดยเร็วที่สุดคือ งานสร้างอาคารผันน้ำระหว่างการก่อสร้างและทำนบกั้นชั่วคราวปิดกั้นลำน้ำ (Coffer Dam) ซึ่งมีลักษณะและวิธีการดังนี้

1) **คลองผันน้ำ (Open Channel)** โดยการขุดเป็นช่องทางให้น้ำจากลำน้ำเดิมไหลผ่านไปโดยสะดวก ซึ่งควรมีขนาดกว้างพอที่จะระบายน้ำในระหว่างการก่อสร้างได้ทัน เมื่อก่อสร้างอาคารท่อน้ำเสร็จแล้วจะทำการผันน้ำผ่านอาคารดังกล่าว หลังจากนั้นขุดลอกและถมดินในส่วนที่เป็นฐานรากเขื่อนในบริเวณช่องทางผันน้ำชั่วคราวเพื่อปิดกั้นทางน้ำให้เป็นตัวเขื่อนต่อไป

2) **ท่อผันน้ำ (Cut-and-Cover Conduit)** เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำได้ และสามารถใช้เป็นท่อสำหรับส่งน้ำ (Outlet Works) อีกด้วย โดยสร้างผ่านตัวเขื่อนและวางบนฐานรากที่ดีพอเพื่อป้องกันการทรุดตัว

วิธีการผันน้ำระหว่างการก่อสร้างนี้ จะพิจารณาออกแบบตามความเหมาะสมของภูมิประเทศและส่วนประกอบอื่นๆ ว่าควรจะใช้วิธีใด ตัวอย่างแสดงการผันน้ำในระหว่างการก่อสร้างโดยวิธีขุดคลองผันน้ำ ดังแสดงในรูป



รูปแสดงการขุดคลองผันน้ำ

9.3 การขุดและปรับปรุงฐานรากเขื่อน

1) การขุดลอกหน้าดินฐานราก ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจะต้องโค่นต้นไม้พุ่มไม้ ตอไม้และวัชพืชในบริเวณตัวเขื่อนออกให้หมด แล้วจึงขุดลอกหน้าดิน โดยต้องขุดลอกให้กว้างกว่าบริเวณความกว้างของฐานเขื่อนทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่น้อยกว่า 20 เมตร ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการดำเนินการก่อสร้าง ในการขุดลอกหน้าดินดังกล่าว ผู้ควบคุมจะต้องใช้ดุลยพินิจว่า จุดใดของพื้นที่ฐานรากเขื่อนมีดินไม่ดีพอที่จะเป็นฐานรากตัวเขื่อนได้ ก็จำเป็นที่จะต้องทำการขุดทิ้งให้หมด จนถึงชั้นดินที่รับน้ำหนักได้ดี และถ้าฐานรากของตัวเขื่อนเป็นชั้นหินที่มีชั้นดินหรือชั้นทรายปิดอยู่ไม่หนามาก ฐานรากทางด้านเหนือน้ำควรจะลอกเอาดินหรือทรายนั่นออกให้หมดโดยเริ่มจากแนวร่องแกนไปจนถึงแนวขอบฐานเขื่อนด้านเหนือน้ำ

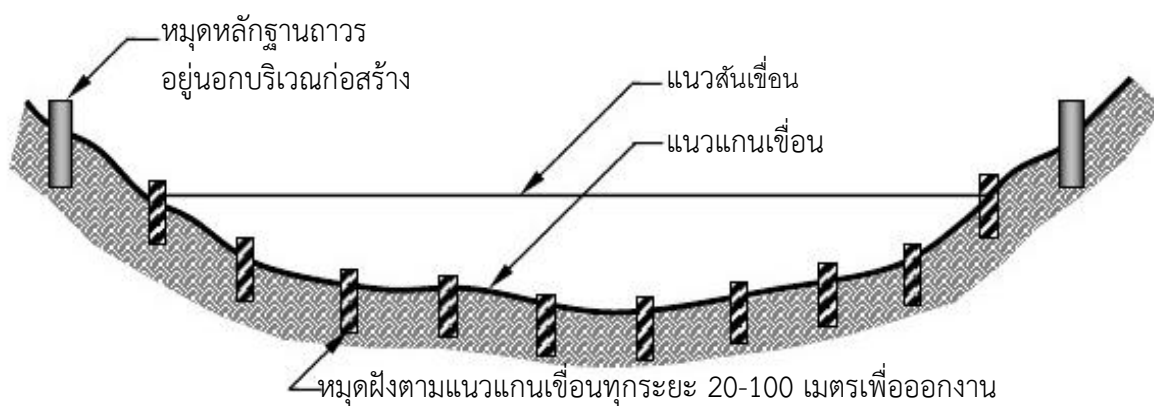
การขุดลอกหน้าดิน ควรปรับสภาพพื้นที่ดินเดิมที่มีสภาพสูงๆ ต่ำให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะถมตัวเขื่อนต่อไปได้

2) การขุดร่องแกน (Cutoff Trench) ทำการขุดให้ถึงชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง ให้มีขนาดความกว้างและความลาดเอียงด้านข้างของร่องแกนตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างซึ่งโดยมากมักจะกำหนดค่าความลาดเอียงไว้ 1:1 (ตั้ง : ราบ) สำหรับความลึกของร่องแกน ถ้าหากขุดจนถึงระดับที่กำหนดให้ในแบบแล้วยังมีชั้นดินหรือชั้นหินที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ปนอยู่อีก ก็ต้องขุดลงไปจนถึงชั้นดินหรือชั้นหินที่แน่นดีพอ ถ้ายังไม่แน่ใจก็ควรจะทำทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดิน (Bearing Test) เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักของชั้นดินหรือชั้นหินนั้นว่ามีค่าตามที่แบบกำหนดไว้หรือไม่ และในแนวร่องแกนถ้ามีหินลอย (Boulder) อยู่ก็ควรขุดออกให้หมด

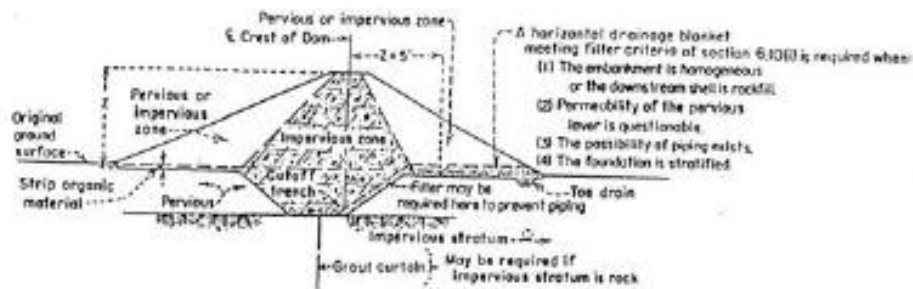
สำหรับดินในร่องแกนที่ขุดออก ควรพิจารณานำดินที่ขุดออกนั้นมาใช้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของดินนั้นว่าเป็นดินชนิดใด และจะใช้ถมส่วนใดของตัวเขื่อนได้บ้าง ตัวอย่างแสดง การขุดลอกหน้าดินและขุดร่องแกน ดังแสดงในรูป



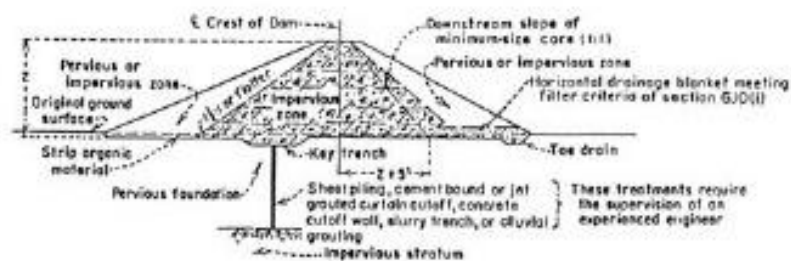
รูปแสดงการขุดลอกหน้าดินและขุดร่องแกน



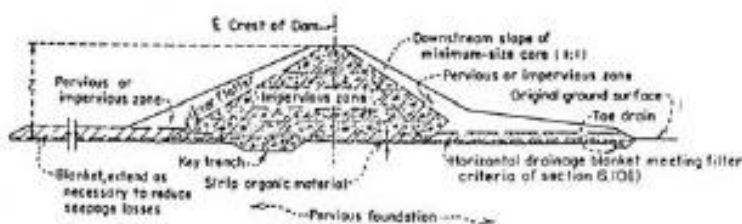
3) งานปรับปรุงฐานรากเขื่อน (Foundation Treatment) การปรับปรุงฐานรากโดยทั่วไปจะทำการขุดร่องแกนไปจนถึงชั้นดินที่บ้น้ำ ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการได้ การปรับปรุงฐานรากอาจต้องทำการตอกเข็มพีต (Sheet Pile) หรือการปูชั้นดินที่บ้น้ำ (Impervious Blanket) ยื่นไปในอ่าง แทนการขุดร่องแกน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นดินที่บ้น้ำ การปูชั้นดินที่บ้น้ำจะต้องทำการขุดลอกหน้าดิน และทำการบดอัดดิน เช่นเดียวกับดินถมตัวเขื่อน การปรับปรุงฐานรากโดยวิธีการต่างๆ ดังแสดงในรูป



(ก) กรณีฐานรากดิน ให้ใช้การ



(ข) กรณีฐานรากมีความลึกปานกลาง ให้ใช้การอัดฉีดน้ำปูนหรือตอกเข็มพืด



(ค) กรณีฐานรากมีความลึกมาก ให้ใช้การปูดินทับน้ำ

9.4 การถมบดอัดเชื่อม

การถมดินตัวเชื่อม เมื่อได้ทำการปรับปรุงฐานรากเชื่อมแล้ว ก่อนเริ่มงานถมดินควรจะมีการเตรียมงานต่างๆ ในสนาม และการถมบดอัดเชื่อม ดังนี้

1) **การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องทดลอง** การทดลองดินในห้องทดลองก่อนการถมดิน ควรเก็บตัวอย่างดินจากบ่อยืมดินที่กำหนดไว้มาทดลองในห้องทดลองก่อน เพื่อจำแนกดินทางวิศวกรรมว่าเป็นดินชนิดใดตามระบบของ Unified Soil Classification System เพื่อที่จะสามารถแบ่งแปลงบ่อยืม (Borrow Area) ในเวลาถมดินได้โดยถูกต้อง เช่น แปลงบ่อยืม A ดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินเม็ดละเอียด มีคุณสมบัติเป็นดินที่บดน้ำใช้ถมเป็นแกนเชื่อมได้ ก็กำหนดไว้ในแผนงานถมดินว่าเวลาถมดินแกนเชื่อมต้องใช้ดินจากแปลงบ่อยืม A ส่วนแปลงบ่อยืม B เป็นดินที่มีเม็ดหยาบปนมากกว่า เหมาะสำหรับใช้ถมที่ส่วนเปลือกของเชื่อม ก็ให้กำหนดว่าเวลาถมส่วนเปลือกของเชื่อมต้องใช้ดินจากแปลงบ่อยืม B นอกจากนี้ควรนำตัวอย่างดินจากแปลงบ่อยืมที่กำหนดทำการทดลองบดอัดตามวิธี Standard Proctor Compaction

Test เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ไว้ก่อน เพื่อใช้ในการควบคุมการให้น้ำที่บ่อดินและในสนาม

นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ดินกระจายตัว (Dispersive Clay) ซึ่งจะกระจายและสลายตัวเมื่อถูกน้ำ ควรเก็บตัวอย่างดินส่งให้ห้องทดลองเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ ด้วย เพราะผลการตรวจสอบดินทางกายภาพและทางวิศวกรรมต่างๆ ไป ไม่สามารถบอกได้ว่าดินเป็นดินกระจายตัวหรือไม่ ในสนามเราอาจใช้การทดลองตามวิธี Emersion Crumb Test เพื่อเป็นการทดสอบเบื้องต้นก่อน หลังจากนั้นก็ควรเก็บตัวอย่างดินที่สงสัยส่งทดสอบในห้องทดลองต่อไป เพื่อให้ได้ผลการทดลอง ที่แน่นอนและเป็นหลักฐานในการทำงาน

2) การเตรียมแปลงบ่อยืมดิน ดินที่เราจะนำมาใช้ถมตัวเขื่อน ต้องเป็นดินที่ได้รับการคัดเลือกคุณภาพแล้วว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมตามที่กำหนดในแบบ เช่น ดินที่ถมเป็นแกนเขื่อนควรเป็นดินเม็ดละเอียด ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นดินที่บีนน้ำ สวนดินที่ใช้ถมส่วนเปลือกของเขื่อนควรเป็นดินเม็ดหยาบกว่าดินที่ใช้เป็นแกนเขื่อน และควรจะมีค่าความเหนียว (Plasticity Index, PI) ประมาณ 10-20 ซึ่งดินที่มีค่าความเหนียวในช่วงนี้จะเป็นดินที่ให้น้ำและบดอัดให้แน่นได้สะดวกกว่าดินที่มีค่าความเหนียวสูง แต่ถ้าหากไม่สามารถหาดินที่มีค่าความเหนียวตามนี้ได้ก็ควรควบคุมชนิดของดินให้เป็นไปตามที่กำหนดทางวิศวกรรม (Specification) โดยทั่วไปจะหาแหล่งดินจากในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ แปลงบ่อยืมดินควรจะอยู่ใกล้ตัวเขื่อนให้มากที่สุด เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนดิน เมื่อหาแหล่งดิน ที่เหมาะสมได้แล้ว ก่อนที่จะนำดินมาใช้งานจะต้องขุดลอกหน้าดินจนถึงชั้นดินที่นำมาใช้ถมตัวเขื่อน แล้วทดลองหาความชื้นของดินตามธรรมชาติที่แปลงบ่อยืม (Borrow Area) ว่ามีความชื้นที่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่า Optimum Moisture Content ของดินชนิดนั้น ถ้าความชื้นของดินที่บ่อดินยังมีไม่พอ หรือดินมีลักษณะแห้งไปควรเพิ่มความชื้นในดินโดยการรดน้ำ (Sprinkler) ให้น้ำกับดินที่บ่อดินก่อน (Pre-Wet) โดยการแบ่งเป็นแปลงแล้วใช้รถดันดิน (Bulldozer) ลง Ripper ที่ดินให้เป็นร่อง เพื่อน้ำจะซึมลงไปถึงดินชั้นล่างได้ เมื่อดินมีความชื้นใกล้เคียงประมาณ $\pm 2\%$ ของจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม จึงนำมาใช้งานถมดินตัวเขื่อนต่อไป

3) การเตรียมงานที่ไหลเขา (Abutment) ที่ไหลเขาทั้ง 2 ข้างของตัวเขื่อน ก่อนเริ่มการถมดิน ถ้าไหลเขามีความลาดชันมาก ควรใช้รถดันดินหรือเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ แต่งให้มีความลาดชันลดลงเพื่อขณะถมดินจะได้บดทับบริเวณรอยต่อระหว่างไหลเขากับดินถมได้แน่น เพราะจุดที่เป็นรอยต่อระหว่างไหลเขาและดินถมนั้น ถ้ามีความลาดชันมาก เครื่องจักรที่ใช้ในการบดทับจะไม่สามารถบดอัดดินบริเวณรอยต่อได้แน่นเพราะเข้าไม่ถึง

4) การเตรียมงานฐานราก ก่อนถมดินต้องเตรียมงานฐานรากให้เรียบร้อย และตกแต่งให้พร้อมก่อนที่จะถมดินตัวเขื่อน ดังนี้

4.1) กรณีฐานรากที่ขุดถึงชั้นดินธรรมชาติ ควรตรวจสอบดูว่าดินเดิมที่กันร่องแกนและฐานรากทั่วไป มีความแน่นและความชื้นตามที่กำหนด โดยการทดสอบความแน่นในสนาม (Field Density Test) ซึ่งความชื้นในดินเดิมก่อนการถมดินควรมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม แต่ไม่ควรเกิน 2% ถ้าความแน่นและความชื้นของดินเดิมยังไม่ได้ตามกำหนดต้องให้น้ำเพิ่มเติม แล้วบดอัดดินเดิมด้วย ลูกกลิ้งตีนแกะ

(Sheepsfoot) จนได้ความแน่นไม่น้อยกว่า 95% ของความแน่นแห้งสูงสุดตามวิธี Standard Proctor Compaction Test

4.2) กรณีฐานรากขุดถึงชั้นหิน ก่อนถมดินร่องแวนจะต้องล้างทำความสะอาดผิวหน้าหินด้วยการใช้คนเก็บเศษหิน ดังแสดงในรูปที่ 9-5 ร่วมกับการฉีดน้ำที่มีแรงดันสูง หรือใช้กำลังลมพ่นให้หิน กรวดทราย และเศษวัสดุต่างๆ หมดไปจากบริเวณร่องแวน หน้าหินที่ทำความสะอาดแล้วดังแสดงในรูป ต้องสะอาดปราศจากเศษหินหลุดร่วงแต่หากพบว่าหน้าหินยังมีรอยแตกแยกหรือหลุมบ่ออยู่อีก ควรทำการตกแต่งด้วยการอุดด้วยปูน ทรายหรือทำคอนกรีตพ่น (Shotcrete) เมื่อตกแต่งผิวหน้าหินเรียบร้อยแล้ว ต้องทำให้ผิวหน้าหินมีความชันพอเหมาะ เพื่อให้รอยต่อระหว่างดินถมใหม่และผิวหน้าหินแนบสนิทดีจนป้องกันน้ำซึมผ่านได้



รูปแสดงการทำความสะอาดผิวหน้าหิน



รูปที่ 9-6 แสดงหน้าที่ทำความสะอาด

5) การถมดินบดอัดแน่นการถมดินตัวเชื่อมแน่นดินที่จะนำมาใช้ควรมีความชื้น(Moisture Content) ใกล้เคียงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมประมาณ $\pm 2\%$ แต่ควรให้ดินมีความชื้นมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพราะว่าดินที่มีความชื้นทางด้านเปียก (Wet) จะสามารถกักน้ำไหลซึมได้ดีกว่าดินที่ความชื้นเดียวกันแต่มีความชื้นทางด้านแห้ง (Dry) ซึ่งโครงสร้างภายในของดินเหนียวจะมีลักษณะการเกาะตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Flocculent) โดยดินที่มีความชื้นทางด้านเปียก (Wet) โครงสร้างภายในของดินเหนียวจะมีลักษณะการเกาะตัวกันอย่างเป็นระเบียบ(Dispersed)

5.1) การถมดินในร่องแกน หลังจากเตรียมงานฐานรากเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เริ่มการถมดินในร่องแกน ควรดำเนินการดังนี้

5.1.1) ฐานรากที่เป็นดิน

- ควรทำให้ผิวหน้าดินมีความขรุขระ และฉีดน้ำก่อนการเทดินชั้นแรก เพื่อให้รอยต่อระหว่างชั้นดินเดิมและดินที่นำมาถมประสานเป็นเนื้อเดียวกัน

- ดินที่นำมาถมต้องเป็นดินที่มีความชื้นใกล้เคียงกับจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม และเป็นดินที่คัดเลือกแล้วว่าเหมาะสำหรับนำมาใช้ถมอยู่ในร่องแกน

- นำดินที่จะใช้บดอัดมาเทเกลี่ยให้เป็นชั้นในแนวราบความหนาของดินแต่ละชั้นก่อนการบดอัดไม่ควรหนาเกินกว่า 30 เซนติเมตร เมื่อใช้ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepfoot) ในการบดอัด ดินที่บดอัดแล้วแต่ละชั้นต้องไม่หนามากกว่า 15 เซนติเมตร ถ้าใช้เครื่องกระทุ้งความหนาดินและชั้นเมื่ออัดแน่นแล้วต้องไม่หนามากกว่า 10 เซนติเมตร

- ถ้าดินที่นำมาทำการบดอัดมีความชื้นน้อยกว่าที่กำหนดต้องเพิ่มความชื้นให้ได้ตามเกณฑ์ โดยการพ่นน้ำเป็นฝอยพรมลงบนดินอย่างสม่ำเสมอ ณ ที่ทำการบดอัดถ้าดินมีความชื้นมากกว่ากำหนดต้องหยุดรอจนกว่าความชื้นจะลดลงมาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจึงจะทำการบดอัดต่อไป วิธีการเร่งให้ดินแห้งเร็วจนถึงระดับความชื้นที่ต้องการ อาจทำได้โดยการไถคราดผิวหน้าดินหรือทำการขุดลอกผิวหน้าที่เปียกมากเกินไปออกเสียก่อน

- ทุกกรณีก่อนที่จะถมบดอัดดินแต่ละชั้นต่อไป ผิวหน้าดินชั้นล่างที่เป็นดินถมหรือดินธรรมชาติก็ดี จะต้องทำการคราดผิวหน้าดินให้มีความขรุขระเสียก่อนทุกครั้งทั้งนี้เพื่อให้ดินชั้นใหม่และชั้นเก่าจับตัวประสานเป็นเนื้อเดียวกัน

- บริเวณที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ขนาดใหญ่ทำการบดอัดดินได้ เช่น บริเวณรอบๆอาคารคอนกรีตท่อน้ำหรือบริเวณที่มีความลาดชันมาก ต้องใช้เครื่องกระทุ้งดิน (Tamper) ทำการบดอัดแทนเพื่อให้ได้ความแน่นตามกำหนด

- การบดอัดดินด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับแนวการบดทับต้องให้เครื่องจักรวิ่ง ในทิศทางขนานกับแนวศูนย์กลางของเขื่อน เพื่อป้องกันเรื่องการบดอัดผิดพลาด ซึ่งอาจทำให้น้ำผ่านชั้นหรือแนวที่ไม่ได้บดอัดได้

5.1.2) ฐานรากที่เป็นหิน

- ก่อนถมบดอัดดินชั้นแรกจะต้องทำการปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน ความหนาประมาณ 15 เซนติเมตร การบดอัดใช้แรงคนหรือรถบดล้อเรียบขนาดเล็ก บดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 93% ของความแน่นแห้งสูงสุด ความชื้นในดินมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมประมาณ 3% ถึง 5% การปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อนแสดงในรูป



รูป แสดงการปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

- ดินที่นำมาถมชั้นแรกต้องเป็นดินที่มีความชื้นมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมแต่ไม่ควรเกิน 2% และเป็นดินที่ได้คัดเลือกแล้วว่าเหมาะสำหรับนำมาใช้ถมในร่องแกน

- นำดินที่จะใช้บดอัดมาเทเกลี่ยให้เป็นชั้นใน แนวราบความหนาของดินก่อนการบดอัดไม่ควรหนาเกินกว่า 30 เซนติเมตร

- การบดอัดดินชั้นแรกๆ ต้องใช้รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Rollers) ทำการบดอัด เพราะถ้าใช้ลูกกลิ้งตีนแกะบดอัดในชั้นแรกจะตะกุกดินชั้นมาทำให้ดินที่บดอัดไม่แนบสนิทกับพื้นหินฐานราก ควรใช้ลูกกลิ้งตีนแกะบดอัดก็ต่อเมื่อปูดินไปจนมีความหนาพอที่ลูกกลิ้งตีนแกะ จะไม่ทำให้ผิวดินถมชั้นแรกหลุดติดขึ้นมา

- การบดอัดดินชั้นต่อไปดำเนินการเหมือนกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อการถมดินร่องแกนเมื่อฐานรากเป็นดิน

5.2) การถมดินตัวเขื่อน เมื่อได้ถมดินในร่องแกนจนสูง ขึ้นมาเสมอพื้นฐานเขื่อนแล้วก็ทำ การถมดินตัว เขื่อนต่อไปซึ่งมีวิธีดำเนินการเหมือนกับการถมดินในร่องแกนแต่มีการดำเนินการเพิ่มเติมอีกดังนี้

- ถ้าเป็นเขื่อนแบบเขื่อนดินแบ่งส่วน ให้ปักหมุดแสดงถึงแนวที่ถมเป็นส่วนต่างๆ ให้ชัดเจน
- ต้องถมดินตัวเขื่อนให้เกินจากขอบเขตของลาดเขื่อนทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร เพื่อให้การบดอัดดินแน่นไปตลอดจนถึงลาดเขื่อน และดินส่วนที่ถมเกินไว้นั้น ให้ถากแต่งออกให้เข้ากับลาดตัวเขื่อนในภายหลัง

- ขนาดของพื้นที่ที่จะถมดินบดอัดแน่นแต่ละชั้นควรมีขอบเขตให้กว้างมากที่สุด เท่าที่จะทำได้ เพื่อลดรอยต่อให้น้อยที่สุด ระดับพื้นผิวของดินแต่ละชั้นควรจะรักษาให้อยู่ในแนวราบเป็นอย่างน้อยหรือมีความลาดชันประมาณ 2-4% ในทิศทางที่สะดวกในการระบายน้ำฝน

- ความลาดชันตรงจุดรอยต่อในส่วนของแกนเขื่อนไม่ควรเกิน 3:1 (ตั้ง : ราบ)ซึ่งผิวสัมผัสตรงรอยต่อจะต้องขุดตัดออกให้เป็นรอยใหม่โดยเอาดินส่วนที่หลุดหลวมออกให้หมดและไถคราดทำผิวให้ขรุขระ การบดอัดดินให้แน่นต้องทำการบดอัดเลยลึกเข้าไปในเขตที่บดอัดแล้วจนตลอดแนวรอยต่อเป็นระยะไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร

- การบดอัดดินในชั้นหนึ่งๆ ควรจะใช้เครื่องจักรเครื่องมือชนิดเดียวกันและมีน้ำหนักเท่ากันโดยตลอด รูปแสดงการถมบดอัดดินตัวเขื่อนแสดงในรูป



รูปแสดงการบดอัดดินตัวเขื่อน

6) การปูวัสดุกรอง (Filter) วัสดุกรองแนวเอียง (Chimney Drain) และวัสดุกรองแนวราบ (Blanket Drain) ที่ใส่ในตัวเขื่อน เพื่อเป็นทางให้น้ำไหลได้สะดวกจนไปเชื่อมกับระบบระบายน้ำทางด้านท้ายเขื่อน (Downstream Drain) ต้องจัดหาให้มีขนาดส่วนคละ (Gradation)ตามที่กำหนดไว้ในแบบ

6.1) วัสดุกรองแนวราบ ต้องปูลงบนพื้นดินเดิมแทรกอยู่ในตัวเขื่อนทางด้านท้ายน้ำโดยปูตามขนาดความกว้างและความยาวที่กำหนดในแบบ ควรปูทีละชั้นให้แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 30 เซนติเมตร แล้วฉีบน้ำเพื่อช่วยในการบดทับ ซึ่งอาจใช้รถล้อยางที่ทำงานอยู่หรือเครื่องมือบดทับแบบสั่นสะเทือนให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) ไม่ต่ำกว่า 70% โดยทดลองตาม มาตรฐาน ASTM D 2049 จนได้ความหนาทั้งหมดตามที่กำหนดในแบบ

6.2) วัสดุกรองแนวเอียง เมื่อปูวัสดุกรองแนวราบจนได้ความหนาตามที่กำหนดแล้วให้เทดินปิดทับแล้วบดอัดให้แน่นจนมีระดับสูงประมาณ 1.50 เมตร จากผิวบนของวัสดุกรองแนวราบ เมื่อมีดินร่วนลงไปต้องเอาออกให้หมดก่อนใส่วัสดุกรองลงไปใหม่เมื่อใส่วัสดุกรองลงไปจนเต็มร่องแล้วให้ฉีบน้ำ และใช้เครื่องสั่นสะเทือนหรือจะใช้รถบดสั่นสะเทือนขนาดเล็กบดทับให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 70% ขึ้นต่อไปปูดินปิดแล้วบดอัดจนได้ระดับความสูงประมาณ 1.50 เมตร จากผิวของวัสดุกรองที่ใส่ในร่องครั้งแรก แล้วดำเนินการตามวิธีที่กล่าวมาจนถึงระดับที่กำหนด

น้ำที่ซึมผ่านมาถึงด้านท้ายเขื่อนจะไหลไปลงระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อน (Toe Drain) ซึ่งการก่อสร้างระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อนให้ทำตามแบบที่กำหนด

7) งานปูวัสดุรองพื้น (Bedding) และหินทิ้ง (Riprap) งานปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งหากปล่อยให้ถมดินจนมีความสูงมากแล้วค่อยดำเนินการจะทำให้สิ้นเปลืองแรงงานและวัสดุมากกว่าและการแต่งหินทิ้งให้เข้ากับลาดตัวเขื่อนจะทำได้ยากลำบากกว่าอีกด้วย จึงควรดำเนินการปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งในขณะที่การถมดินตัวเขื่อนยังไม่สูงจากระดับพื้นดินเดิมมากนัก เมื่อถมดินแต่งลาดตัวเขื่อนจนได้ความ

ลาดเอียงของลาดเชื่อมตามกำหนดแล้ว ควรปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งทันที เพื่อป้องกันลาดตัวเชื่อมจากการกัดเซาะของน้ำฝนถ้าปล่อยไว้นานน้ำในอ่างอาจมีระดับสูงขึ้นทำให้ทำงานยากลำบากหรืออาจต้องปล่อยน้ำทิ้งไปเพื่อให้ระดับน้ำลดลง ซึ่งทำให้เสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

8) เครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับการถมบดอัดแน่นดินตัวเชื่อม การถมและบดอัดแน่นดินตัวเชื่อม โดยมากจะใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

8.1) ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepfoot Roller or Tamping Roller) ลูกกลิ้งตีนแกะ 1 ลูกจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.50 เมตร ความยาวไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร จำนวนตีนแกะมีอย่างน้อยที่สุด 1 อัน ต่อพื้นที่ผิวลูกกลิ้ง 645 ตารางเซนติเมตร ความยาวของตีนแกะประมาณ 0.23 เมตร หรือ 9 นิ้ว พื้นที่หน้าตัดของตีนแกะมีขนาดไม่น้อยกว่า 45 ตารางเซนติเมตร และไมมากกว่า 65 ตารางเซนติเมตร ภายในลูกกลิ้งจะบรรจุด้วยทรายหรือน้ำซึ่งมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 6,000 กิโลกรัมต่อความยาวของลูกกลิ้ง 1 เมตร ในการทำงานมักนิยมใช้ลูกกลิ้งตีนแกะแบบ 2 ลูก ซึ่งในขณะทำงานบดอัดดินโดยการลากจูงหรือด้วยอุปกรณ์ในตัวเอง จะใช้ความเร็วไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ลูกกลิ้งตีนแกะนี้เหมาะที่สุดสำหรับการบดอัดดินเหนียว (Cohesive Soils)

8.2) รถบดล้อยาง (Pneumatic-tired Roller) รถบดล้อยางชนิดลากจูงจะประกอบด้วย ล้อยางชนิดสุบลมไม่น้อยกว่า 4 เส้น ล้อยางแต่ละเส้นรับน้ำหนักได้ประมาณ 11,400 กิโลกรัม (25,000 ปอนด์) ส่วนประกอบทั้งชุดของรถบดล้อยางจะต้องสามารถเลี้ยวกลับเป็นมุม 180 องศา รถบดล้อยางชนิดเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง (Self-Propelled Rubber Tires Roller) จะต้องมียี่ห้อจำนวน 9 หรือ 10 ล้อ มีขนาดความกว้างของหน้าบดอัด (Rolling Width) ตั้งแต่ 1.75-2.15 เมตร ในขณะปฏิบัติงานต้องมีน้ำหนักระหว่าง 12,000 ถึง 13,600 กิโลกรัม ในขณะทำการบดอัดจะต้องใช้ความเร็วไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

8.3) รถบดสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) มีหลายแบบหลายขนาด สามารถบดอัดได้ความหนาแน่นสูง จึงนิยมใช้บดอัดพวกทรายหรือกรวดปนทราย ซึ่งต้องการความหนาแน่นสูงมาก ความสามารถในการบดอัดของรถนอกจากจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของรถแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความถี่และความเร็วอีกด้วย

การบดอัดวัสดุที่ไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวดและทราย ควรใช้รถบดแบบเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง ซึ่งมีความถี่ในการสั่นสะเทือนสูงประมาณ 2,100-3,000 รอบต่อนาที ส่วนวัสดุที่มีดินเหนียวปนมากควรใช้รถบดที่มีขนาดหนักและมีความถี่ต่ำราว 1,000-2,100 รอบต่อนาที

8.4) เครื่องกระทุ้งดิน (Tamper) มีทั้งแบบใช้ลมและแบบใช้เครื่องยนต์ ซึ่งทำงานภายใต้การควบคุมด้วยมือ (Hand-operated Mechanical Equipment) เพื่อใช้กับงานบดอัดดินบริเวณรอบๆ หรือขิดติดกับอาคาร หรือบริเวณที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปบดอัดได้ สำหรับดินเหนียวเมื่อใช้เครื่องกระทุ้งบดอัดควรปูดินแต่ละชั้นก่อนการบดอัดไม่ให้หนามากกว่า 20 เซนติเมตร

9.5 การเตรียมฐานรากอาคารประกอบเขื่อน

การทำงานฐานรากงานฐานรากจะต้องดำเนินการเป็นอันดับแรกก่อนการก่อสร้างเขื่อนดินและอาคารต่างๆ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ให้สร้างหมุดหลักฐานสำหรับแนวศูนย์กลางเขื่อนและอาคารและหมุดหลักฐานระดับก่อน หมุดดังกล่าวควรหล่อด้วยคอนกรีตแล้วฝังลงดินให้มั่นคงแข็งแรงในบริเวณที่จะไม่ถูกรบกวนขณะมีการทำงาน

2. ปักหมุดไม้เล็กๆ เพื่อกำหนดเขตแสดงความกว้างของฐานเขื่อนและหมุดแสดงความก้าวหน้าของกันร่องแกนเป็นระยะตลอดแนวเขื่อน

3. ทำการถากเปิดหน้าดินต่อไม่และรากไม้บริเวณฐานที่จะรองรับตัวเขื่อนให้หมด ด้วยแทรกเตอร์และรถหน้าดินแล้วขนย้ายดินที่ถากออก ต่อไม่ และรากไม้รวมกองไว้ทางด้านท้ายน้ำนอกเขตตัวเขื่อน เพื่อรอกการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป

สำหรับเขื่อนดินที่มีขนาดความสูงไม่มากนัก ผิว ฐานรากที่ถากออกจะหนาประมาณ 30-50 เซนติเมตร

4. ในการขุดร่องแกนของเขื่อน ควรจะขุดให้ได้ขนาดความกว้างและความลึกตามที่กำหนดในแบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่กันร่องแกนที่ก่อสร้างด้วยเครื่องจักร จะกว้างประมาณ 4 เมตรเป็นอย่างน้อยและกว้างไม่น้อยกว่า 2 เมตร สำหรับการขุดด้วยแรงคน ส่วนความลึกของร่องแกนจะให้หยั่งลงไปถึงชั้นดินที่บหรือดินดานที่มีอยู่ด้านล่างเสมอ เพื่อจะได้ถมดินประเภทเดียวกับตัวเขื่อนลงไปจนเต็มสำหรับป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านใต้เขื่อนได้ง่าย ดังนั้นร่องแกนของตัวเขื่อนที่จะขุดลงไปถึงระดับใด ควรจะต้องพิจารณาถึงลักษณะดินที่กันร่องแกนนั้นประกอบด้วยเสมอ

5. ควรให้ลาดด้านข้างของร่องแกนให้เอียงประมาณ ตั้ง : ราบ เท่ากับ 1 : 1 ทั้งนี้เพื่อให้ดินบริเวณข้างร่องแกนทรงตัวอยู่ได้โดยไม่เลื่อนทลายลง และเพื่อให้ดินที่ถมกลับลงไปเ็นร่องแกนนั้นสามารถบดทับได้แน่นแนบกับลาดร่องแกนดี

6. กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน หรือการขุดร่องแกนที่บริเวณลำน้ำ น้ำในดินมักจะไหลออกมาทำให้ขุดดินออกไปได้ลำบากยิ่งขึ้น หรือลาดของร่องแกนอาจจะพังทลายลงได้จึงจำเป็นต้องหาทางลดระดับน้ำใต้ดินทั่วบริเวณนั้นให้ต่ำลงเสียก่อนเช่น ควรสร้างบ่อดักน้ำที่ด้านเหนือและด้านท้ายน้ำของร่องแกนและบริเวณอื่นๆ อีกตามความจำเป็น บ่อดักดังกล่าวจะมีระดับกันบ่อยุ่ต่ำกว่าพื้นร่องแกนที่จะขุดถึงแล้วสูบน้ำออกจากบ่เพื่อรักษาระดับน้ำให้ต่ำอยู่ตลอดเวลาซึ่งน้ำใต้ดินในบริเวณข้างเคียงจะลดระดับลงและสามารถขุดดินออกจากร่องแกนต่อไปได้จนถึงระดับที่ต้องการ

งานฐานรากจัดว่าเป็นงานที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะเขื่อนที่ต้องขุดร่องแกนให้ลึกลงไปถึงชั้นดินที่บน้ำผ่านดินปนทรายหรือดินทรายชั้นบน ซึ่งถ้าหากทำการขุดดินทรายออกไม่ถึงชั้นที่บน้ำ แล้วถมดินแบบเดียวกับตัวเขื่อนลงไป อาจไม่สามารถกันน้ำที่จะลอดผ่านใต้เขื่อนได้หรือเมื่อได้เก็บกักน้ำไว้ที่ระดับสูง น้ำอาจจะไหลลอดผ่านใต้เขื่อนออกไปทำให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งแก่ตัวเขื่อนดังที่ไดกล่าวมาแล้ว

9.6 การก่อสร้างอาคารระบายน้ำฝน

การก่อสร้างอาคารระบายน้ำฝนจะกล่าวเฉพาะการก่อสร้างอาคารระบายน้ำแบบทางระบายน้ำและแบบรางเท มีแนวทางการดำเนินงาน ดังนี้

1. ปักหมุดแสดงแนวและเขตความกว้างทางน้ำ หรือบ่อก่อสร้างที่จะขุดดินออกให้ได้ระดับ พร้อมไปกับการเริ่มงานก่อสร้างตัวเขื่อน

2. ขุดดินทางระบายน้ำ หรือบ่อก่อสร้างของอาคารระบายน้ำฝนแบบรางเทให้ลึกถึงระดับที่ต้องการโดยให้มีลาดด้านข้างและแนวตามที่กำหนด

ดินที่ขุดออกนั้น ควรคัดหน้าดินที่เป็นทรายทิ้งไป แล้วนำดินที่มีคุณภาพดีไปถมตัวเขื่อนที่บริเวณท้ายเขื่อนด้านนอกให้หมด

3. สำหรับอาคารระบายน้ำฝนแบบทางระบายน้ำ ควรแต่งพื้นทางระบายน้ำให้เรียบและมี ความลาดตามที่กำหนด ซึ่งอาจใช้กล้องส่องระดับมือช่วยตรวจสอบความถูกต้องด้วยหลังจากนั้นจึงนำหญ้าเป็นแผ่นมาปลูกให้เต็มพื้นที่ที่ลาดด้านข้างและพื้นที่ระบายแล้วหมั่นรดน้ำให้หญ้าขึ้นจนงอกงาม ซึ่งจะช่วยป้องกันการกัดเซาะทางระบายน้ำได้ดีพอสมควร

4. สำหรับอาคารระบายน้ำแบบรางเท เมื่อได้ขุดดินบริเวณร่องฝาย บ่อรางเทและพื้นที่ท้ายรางเทจนได้ระดับและมีลาดด้านข้างตามที่กำหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปควรตกแต่งผิวดินให้เรียบก่อนที่จะเริ่มงานหินก่อหรือคอนกรีตล้นต่อไป

5. การทำงานหินก่อ ควรเริ่มจากพื้นส่วนล่างที่ต่อจากปลายรางเทให้เสร็จ แล้วจึงปูหินก่อตามลาดของรางเทขึ้นไปหาช่องฝายและลาดตลิ่งทั้งสองฝั่ง ต่อจากนั้นจึงปูหินก่อบนพื้นฝายและลาดด้านข้างเหนือช่องฝายเป็นอันดับสุดท้าย

การทำงานหินก่อ ควรดำเนินการด้วยความประณีตที่สุด ให้ได้หินก่อที่มีความทึบแน่นดี เช่นเดียวกับคอนกรีต เพราะไม่ต้องการให้น้ำใต้พื้นรางเทตอนล่างและพื้นส่วนล่างที่ต่อท้ายรางเทซึมผ่านออกมา บางกรณีอาจใช้คอนกรีตแทนหินก่อได้ แต่จะต้องบ่มคอนกรีตด้วยการชั่งหรือฉีดน้ำไว้หลายๆ วันเพื่อไม่ให้คอนกรีตร้าวในขณะที่กำลังแข็งตัว

6. ท้ายอาคารระบายน้ำฝนแบบรางเท จะต้องขุดทางระบายน้ำที่มี ความลึกไปจนบรรจบกับลำน้ำธรรมชาติ โดยขุดให้ได้ขนาด และเลือกดินที่มีคุณภาพดีไปถมตัวเขื่อน หลังจากนั้นจึงทิ้งหินที่ท้องน้ำและลาดตลิ่งสองฝั่งสำหรับการกัดเซาะ

9.7 การติดตั้งประตูน้ำและบานระบาย

การติดตั้งประตูน้ำและบานระบายน้ำ จะเป็นงานเกี่ยวกับการก่อสร้างท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ มีวิธีดำเนินการดังนี้

1. งานก่อสร้างท่อระบายน้ำ ควรจะก่อสร้างให้เสร็จก่อนการถมดินตัวเขื่อนในบริเวณนั้น เพื่อไม่ให้งานถมดินตัวเขื่อนต้องหยุดรอ

2. ท่อระบายน้ำส่วนใหญ่ จะวางอยู่ต่ำกว่าผิวดินธรรมชาติเล็กน้อย หรือวางอยู่บนฐานรากของ

เขื่อนที่ได้ขุดลากจนถึงดินแข็งตามที่ต้องการ

3. ปกหมดตามแนวศูนย์กลางอาคารให้เรียบร้อย แล้วเริ่มขุดรองและแต่งพื้นที่จะวางท่อให้เรียบ
4. ท่อระบายน้ำที่มีขนาดเล็กตามแบบในรูปที่ 9-9 จะเทคอนกรีตจากพื้นหุ้มขึ้นมาถึงแนวศูนย์กลางท่อ โดยวางท่อบนแท่นคอนกรีตเล็กๆ ให้ได้แนวและระดับตามที่ต้องการก่อนแล้วจึงเทคอนกรีตที่พื้นให้แทรกเข้าไปใต้ท่อ และสูงขึ้นมาถึงแนวศูนย์กลาง
5. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวดีแล้ว จึงถมดินรอบท่อให้แน่นที่สุด ตลอดความกว้างเขื่อนที่ท่อผ่าน
6. ส่วนการก่อสร้างท่อระบายน้ำ ที่มีขนาด 15-30 เซนติเมตร ตามแบบในรูปที่ 9-10 นั้นหลังจากขุดรองจนได้ระดับและตกแต่งพื้นจนราบเรียบดีแล้ว ให้วางท่อแอสเบสตอลบนแท่นคอนกรีตเล็กๆ ให้ได้แนวและระดับที่ต้องการ แล้วจึงผูกเหล็กเสริมพร้อมกับตั้งแบบด้านนอกเพื่อเตรียมเทคอนกรีตต่อไป
7. ท่อระบายน้ำที่มีคอนกรีตหุ้มนั้น คอนกรีตส่วนล่างใต้จะแนบติดแน่นกับฐานไปตลอดความกว้างของเขื่อน ทำให้น้ำไม่ไหลแทรกไปตามรอยสัมผัส ส่วนดินถมข้างท่อสามารถกระทุ้งอัดแน่น ได้สะดวกจนแนบสนิทกับผิวคอนกรีตไปตลอดเช่นกัน
8. หลังจากก่อสร้างตัวท่อเสร็จเรียบร้อยดีแล้ว จึงติดตั้งตะแกรงหุ้มปลายท่อที่ยื่นเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ และติดตั้งประตูบังคับน้ำที่ปลายท่อด้านท้ายเขื่อนให้เรียบร้อย
9. บริเวณต่อจากปลายท่อด้านท้ายเขื่อน ควรสร้างบ่อพักน้ำก่อนที่จะปล่อยน้ำให้ไหลเข้าไปยังคูน้ำทันที โดยมีขนาดกันบ่อประมาณ 1 เมตร x 1 เมตร เป็นอย่างน้อย และมีลาดข้างบ่อประมาณ 1:1 ส่วนระดับกันบ่อนั้นก็ควรจะต่ำกว่าระดับกันคูส่งน้ำน้อยกว่า 50 เซนติเมตร เมื่อได้ขุดบ่อและแต่งผิวดินเรียบร้อยแล้วให้ปูหินก่อหรือคากคอนกรีตไว้เพื่อป้องกันน้ำกัดเซาะแล้วจึงขุดคูส่งน้ำออกไปตามแนวและขนาดที่ต้องการ



รูป งานก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเท



รูป งานก่อสร้างท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

9.8 การตรวจสอบคุณภาพการก่อสร้าง

การควบคุมคุณภาพของงานในระหว่างการก่อสร้างเขื่อนดินแบ่งออกเป็น

1) การควบคุมคุณภาพงานดิน

1.1) ดินที่นำมาใช้ถมตัวเขื่อนต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตรงตามข้อกำหนด ต้องบันทึกการนำดินจากบ่อยืมดินมาถมว่าเป็นดินจากบ่อไหน นำมาถมส่วนใดของตัวเขื่อน ตรงกับที่กำหนดไว้ในแผนงานหรือไม่

1.2) ดินถมแต่ละชั้นต้องบดอัดให้มีความแน่นและความชื้นไม่ต่ำกว่าที่กำหนดการถมดินตัวเขื่อน จะกำหนดค่าความแน่นของดินไว้น้อยกว่า 95% ของค่าความแน่นสูงสุดเมื่อดินแห้ง จากการบดอัดที่ระดับความชื้นที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นไม่เกินกว่า $\pm 2\%$ โดยการทดสอบตามวิธี Standard Proctor Compaction Test

สำหรับการหาความแน่นของดินในสนามใช้วิธี Sand-cone Method ตามEarth Manual E24 ซึ่งจะได้อุณหภูมิความแน่นของดินเปียก (Wet Density) ในสนาม แล้วนำตัวอย่างดินมาหาความชื้นโดยใช้เตา Microwave ตามมาตรฐาน ASTM D4643-93 เพื่อใช้คำนวณหาความแน่นแห้ง (Dry Density) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การบดอัด รูปแสดงการทดสอบหาความแน่นดินในสนามดังแสดงในรูป



รูปแสดงการทดสอบความแน่นดินในสนาม

1.3) ถ้าผลการทดลองปรากฏว่าความแน่นหรือความชื้นไม่ได้ตามกำหนด ต้องทำการแก้ไข แล้วทดลองหาความแน่นและความชื้นใหม่

1.4) ถ้าผลการทดลองต่ำกว่าข้อกำหนดมากและไม่สามารถแก้ไขได้ ให้รื้อดินถมชั้นนั้นออกทั้งชั้น แล้วดำเนินการบดอัดใหม่

1.5) การตรวจสอบเพื่อควบคุมความแน่นของการบดอัด ดิน ควรจะถือเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- ทำการตรวจสอบทุกวันที่มีการบดอัดดิน
- ทำการตรวจสอบความแน่นทุกชั้น
- ทำการตรวจสอบความแน่นพื้นที่ในบริเวณที่สงสัยว่าความแน่นหรือความชื้นจะต่ำกว่า

กำหนด

- ทำการตรวจสอบความแน่นในจุดที่มีการถมบดอัดพิเศษ (Special Compaction) เช่น ที่บริเวณลาดชันหรืองานดินถมข้างอาคารท่อส่งน้ำ

1.6) บริเวณที่ควรตรวจสอบความแน่น

- บริเวณที่สงสัยว่าจะปูดินหนากว่าที่กำหนด
- บริเวณที่สงสัยว่าความชื้นของดินไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม
- บริเวณที่สงสัยเกี่ยวกับจำนวนเที่ยวที่บดอัด
- บริเวณที่เป็นจุดเลี้ยวกลับของลูกกลิ้งตีนแกะและเครื่องกระทุ้งดิน
- บริเวณที่มีการควบคุมการบดอัดพิเศษ เช่น บริเวณที่ลาดชัน บริเวณรอบๆ อาคารคอนกรีต

และบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมระหว่างไหลเข้ากับดินถม เป็นต้น

1.7) ต้องจัดทำรายงานผลการตรวจสอบความแน่นทุกเดือน ซึ่งควรมีผลการทดลองดังนี้

- ผลการทดลองการตรวจสอบความแน่นของทุกจุด
- ผลการทดลองการบดอัดของดินที่นำมาถม

- การจำแนกชนิดของดินที่นำมาถม
- ผลการทดลองความชื้นน้ำในสนาม

1.8) วัสดุรองน้ำ วัสดุรองพื้น และหินทิ้งที่นำมาใช้งานต้องมีการตรวจสอบคุณภาพให้ได้ตามข้อกำหนด

- วัสดุรองน้ำต้องบดอัดให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 70%

2) การควบคุมคุณภาพงานคอนกรีต

- 2.1) ควบคุมวัสดุที่นำมาใช้งานให้ได้คุณภาพตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม
- 2.2) ควบคุมส่วนผสมของคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดวิศวกรรม
- 2.3) ควรทำการทดสอบการยุบตัว (Slump Test) เพื่อควบคุมจำนวนน้ำในคอนกรีต
- 2.4) กรณีใช้สารเคมีผสมคอนกรีต ต้องวัดอากาศในคอนกรีตโดยเครื่องมือวัดฟองอากาศ (Air-Meter)
- 2.5) ต้องเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดลองแรงอัดโดยการหล่อแท่งคอนกรีต Φ 15 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จากคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จำนวน 6 แท่ง ซึ่งเก็บในเวลาเดียวกัน และมีความเหลวเท่ากัน โดยเก็บวันละ 1 ชุด เป็นอย่างน้อย
- 2.6) การพิจารณากำลังของคอนกรีตจะพิจารณาที่อายุ 28 วัน
- 2.7) ผลการทดลองแรงอัดของคอนกรีตต้องรายงานและเก็บไว้เป็นหลักฐาน

3) การตรวจสอบปริมาณงาน

ในระหว่างการดำเนินงานก่อสร้าง จะต้องตรวจสอบปริมาณงานที่ได้ดำเนินการของงานก่อสร้างทุกประเภท เพื่อเปรียบเทียบกับแผนงานก่อสร้างที่วางไว้ว่าบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่วางแผนไว้หรือไม่ หากปริมาณงานที่ได้มีความก้าวหน้าน้อยกว่าที่วางแผนไว้ จะต้องหาสาเหตุที่ทำให้งานก่อสร้างล่าช้า แล้วรีบดำเนินการแก้ไขทันที เพื่อให้งานก่อสร้างแล้วเสร็จตามแผนงาน

การตรวจสอบผลงาน แบ่งออกได้เป็นขั้นตอนดังนี้

- 3.1) การตรวจสอบผลงานประจำวัน เช่น งานดินจะต้องมีการบันทึกจำนวนที่ย้ายดินที่ขนเพื่อคำนวณปริมาณงานดินถมอัดแน่นที่สามารถทำได้แต่ละวัน โดยหักค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของดินออก แล้วตรวจสอบกับปริมาณงานดินที่กำหนดในแผนงานถมดินตัวเขียน เพื่อเป็นการควบคุมการทำงานดิน เช่น ถ้าหากการทำงานดินมีความคืบหน้าของงานมากกว่าเป้าหมายที่วางแผนไว้ ควรตรวจสอบถึงผลที่ต่อเนื่องต่อไปด้วยว่างานก่อสร้างอื่นจะดำเนินการตามทันหรือไม่ และควรตรวจสอบค่าใช้จ่ายที่ใช้ด้วยว่าเพิ่มขึ้นเท่าใด เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายได้ตามงบประมาณ
- 3.2) การตรวจสอบผลงานประจำเดือน สำหรับงานดินถมจะต้องตรวจสอบ Profile และ Cross Section เพื่อหาปริมาณดินถมที่เพิ่มขึ้นจริงเปรียบเทียบกับรายงานผลงานประจำวันเพื่อตรวจสอบผลงานที่ได้ สำหรับงานก่อสร้างส่วนอื่นต้องมีการตรวจสอบถึงผลงานประจำเดือนด้วยเช่นกัน เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขแผนงานให้เข้ากับสภาพความเป็นจริง

การตรวจสอบประจำเดือน ควรรวมถึงงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง เช่น

- จำนวนเงินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละเดือน
- จำนวนวัสดุที่ใช้และที่คงเหลืออยู่
- จำนวนเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้ และที่อยู่ระหว่างการซ่อม
- จำนวนคนงานที่มีและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทั้งหมดนี้เป็นวิธีการและหลักการทำงานเพียงบางส่วนของงานก่อสร้างที่ดินเท่านั้น ไม่ได้เน้นว่าเป็นงานทำเองหรืองานจ้างเหมา ถ้าเป็นงานจ้างเหมา หลักการในการควบคุมใกล้เคียงกับที่กล่าวมาแล้ว แต่จะมีรายละเอียดปลีกย่อยอยู่ที่การวัดปริมาณงานที่ทำได้เพื่อจ่ายเงินตามงวดงานให้แก่ผู้รับจ้าง ซึ่งรายละเอียดจะต้องพิจารณาจากข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ในแต่ละงานนั้น

อ้างอิง

1. กองวิทยาการธรณี กรมชลประทาน, 2531. มาตรฐานการสำรวจทางวิทยาการธรณีเขื่อนกักเก็บน้ำและอาคารประกอบ.
2. เกษตรศาสตร์, 2541. โครงการฐานข้อมูลเขื่อนเพื่อประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษาของสำนักงาน ชลประทานที่ 9, รายงานสรุปโครงการ.
3. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ, แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ, 2545.
4. ปราโมทย์ ไม่กล้า, 2524. คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย. พิมพ์ครั้งที่ 2.นนทบุรี : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน.
5. ปราโมทย์ ไม่กล้า, 2526. การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน.
6. วรากร ไม่เรียง, 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไลบรารีนา.
7. วรากร ไม่เรียง, 2546. เอกสารการสอนชุดวิชา เทคนิคการก่อสร้างขนาดใหญ่หน่วยที่ 16 งานเขื่อน.
8. วรากร ไม่เรียง, 2547. โครงการงานศึกษาความเหมาะสมโครงการปรับปรุงเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์, รายงานความก้าวหน้า.
9. สวนสำรวจภูมิประเทศ, 2542. หลักการสำรวจและทำแผนที่. สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.
11. รศ.ดร.วรากร ไม่เรียง , ศูนย์วิจัยวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์
12. คู่มือการพิจารณาเครื่องมือ – เครื่องจักร กรณีงานดำเนินการเอง กรมชลประทาน
13. องค์ความรู้การควบคุมการบดอัดในสนาม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน
14. เครื่องจักรกลงานก่อสร้าง รศ.วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร
15. Razgar Baban. Design of Diversion Weirs, JOHN WILEY & SONS,1995.