

# คู่มือ

การจัดการด้านวิศวกรรมเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่



กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

## คำนำ

การทำเหมืองแร่ในอดีตที่ผ่านมามักประสบปัญหาเรื่องการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่ พื้นที่ถูกทิ้งร้างไว้ โดยขาดการจัดการการฟื้นฟูที่เหมาะสม โดยที่ผู้ประกอบการอาจจะเลยหรือขาดความรู้ความเข้าใจ ในการจัดการพื้นที่ภายหลังสิ้นสุดการทำเหมืองแร่ ส่งผลให้พื้นที่เกิดการพังทลาย เป็นพื้นที่เสี่ยง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมข้างเคียง ทั้งทรัพยากรน้ำ ป่าไม้ พื้นดินและชุมชนในบริเวณใกล้เคียง

สำนักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ในฐานะเป็นหน่วยงานหลักในการกำกับดูแลการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำเหมืองแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงได้จัดทำเอกสารคู่มือเล่มนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความรู้ในด้านต่างๆ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่ คู่มือต่างๆประกอบด้วย คู่มือการจัดการด้านวิศวกรรมเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่ คู่มือการจัดการด้านภูมิสถาปัตย์เพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่ คู่มือการจัดการด้าน

สิ่งแวดล้อมเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่ทำเหมืองแร่ คู่มือการติดตามตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของพื้นที่ทำเหมืองแร่ที่ผ่านการฟื้นฟูแล้ว และคู่มือประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการฟื้นฟูพื้นที่ทำเหมืองแร่

คู่มือการจัดการด้านวิศวกรรมเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่เล่มนี้ มีเนื้อหาเน้นหนักไปในการจัดการด้านการฟื้นฟูเชื่อมกักเก็บตะกอน และการจัดการด้านเสถียรภาพและธรณีเทคนิคบ่อเหมืองและกองดิน ซึ่งเป็นสิ่งก่อสร้างหลักของเหมืองแร่ที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องและยาวนาน หากไม่มีการจัดการที่ดีพอ

สำนักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ มุ่งหวังที่จะเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ประกอบการและผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งความรู้เหล่านี้ไม่ได้มีประโยชน์ในการฟื้นฟูเฉพาะพื้นที่ภายหลังสิ้นสุดการทำเหมืองแร่เท่านั้น หากสามารถนำไปใช้ตั้งแต่เริ่มการวางแผนการทำเหมืองแร่ ก็จะเป็นประโยชน์ในการจัดการฟื้นฟูพื้นที่เป็นอย่างมาก เพราะนอกจากเป็นการลดค่าใช้จ่ายโดยรวมแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านอื่นๆอีกด้วย หากเหมืองแร่มีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีจะเป็นการพัฒนาภาพลักษณ์ของการทำเหมืองแร่ให้เป็นที่ยอมรับของสังคม และสามารถดำเนินกิจการได้อย่างกลมกลืนกับสังคมรอบข้าง

สำนักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม  
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

## สารบัญ

## หน้า

## คำนำ

## สารบัญ

I

## สารบัญตาราง

II

## สารบัญรูป

III

|       |                                                                            |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | การจัดการด้านการฟื้นฟูเชื่อมกักเก็บตะกอน                                   | 1  |
| 1.1   | พื้นฐานการออกแบบเชื่อมกักเก็บตะกอน                                         | 1  |
| 1.2   | หลักการเบื้องต้นในการออกแบบฟื้นฟูเชื่อมกักเก็บตะกอน                        | 7  |
| 1.3   | ขั้นตอนการออกแบบฟื้นฟูเชื่อมกักเก็บตะกอน                                   | 8  |
| 2.    | การจัดการด้านเสถียรภาพและธรณีเทคนิคบ่อเหมืองและกองดิน                      | 22 |
| 2.1   | ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพของบ่อเหมือง                                          | 22 |
| 2.2   | ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพของกองที่ทิ้งดินหิน                                   | 26 |
| 2.3   | ขั้นตอนการดำเนินการให้เกิดเสถียรภาพ                                        | 27 |
| 2.4   | แนวทางการป้องกันหรือปรับปรุงเสถียรภาพ                                      | 28 |
| 2.5   | การควบคุมการกร่อนหรือการพังทลายของดินในพื้นที่เหมืองแร่                    | 30 |
| 2.5.1 | การกร่อนของดิน (Soil Erosion)                                              | 30 |
| 2.5.2 | การเคลื่อนที่ของดินแบบกลุ่มก้อน<br>(Mass Washing or Mass Movement of Soil) | 35 |
| 2.5.3 | การควบคุมการกัดเซาะดิน                                                     | 39 |

## ภาคผนวก ก แบบบันทึกการตรวจสอบสภาพเชื่อมกักเก็บตะกอน

---

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                 | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1-1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเขื่อนกักเก็บตะกอนรูปแบบต่างๆ<br>(แปลจาก Vick 1983) | 6    |
| 1.3-1 แสดงองค์ประกอบที่ต้องตรวจสอบและรายการตรวจสอบ                                       | 10   |
| 1.3-2 การจัดจำแนกขนาดเขื่อน Tailing Dam                                                  | 11   |
| 1.3-3 การจัดลำดับความเสี่ยงภัย (Hazard potential classification)                         | 12   |
| 1.3-4 สรุปลักษณะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงของตัวเขื่อน Tailing Dam                   | 16   |
| 1.3-5 สรุปลักษณะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงของอาคารระบายน้ำล้น                        | 18   |
| 2.3-1 อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินในประเทศ                                     | 28   |
| 2.5-1 คุณสมบัติของฝนชนิดต่างๆ                                                            | 32   |

## สารบัญรูป

| รูปที่                                                                                                                       | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1-1 เชื่อนแบบ Ring Dike (Adapted from Cooper 1988)                                                                         | 1    |
| 1.1-2 เชื่อนแบบ Cross valley (Fell et al. 1992)                                                                              | 2    |
| 1.1-3 เชื่อนแบบ Sidehill (Coffey & Partners 1982)                                                                            | 2    |
| 1.1-4 เชื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Water Retention Embankment (Klohn 1980)                                                          | 3    |
| 1.1-5 เชื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Upstream Embankment (Klohn 1980)                                                                 | 4    |
| 1.1-6 เชื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Downstream Embankment (Klohn 1980)                                                               | 4    |
| 1.1-7 เชื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Centerline Embankment (Klohn 1980)                                                               | 5    |
| 1.3-1 การพังของเขื่อนดินแบบต่างๆ (ASCE/USCOLD 1975)                                                                          | 14   |
| 1.3-2 ระบบระบายน้ำที่ผิวลาดเขื่อนและตีนเขื่อน (Fell et al. 1992)                                                             | 15   |
| 1.3-3 การเพิ่มความมั่นคงด้วยการปรับลาดเขื่อนและการเพิ่มน้ำหนักถ่วง                                                           | 20   |
| 1.3-4 การเพิ่มความมั่นคงด้วยวิธีระบายน้ำ                                                                                     | 21   |
| 1.3-5 ระบบระบายน้ำและลดแรงดันน้ำ                                                                                             | 21   |
| 2.1-1 ลักษณะของการพังแบบต่างๆ ในระนาบเอียง (Hoek & Bray, 1981)                                                               | 22   |
| 2.1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินเนื้อแน่น (Hoek & Bray, 1981)                              | 24   |
| 2.1-3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินที่มีรอยแตก 1 แนว เป็นแผ่นหรือเป็นชั้น (Hoek & Bray, 1981) | 24   |
| 2.1-4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินแข็งที่มีรอยแตกและมีการแตกเป็นบล็อก (Hoek & Bray, 1981)    | 25   |
| 2.1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินที่มีรอยแตกมากหรือกองหิน (Hoek & Bray, 1981)               | 26   |
| 2.1-6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับดินหรือดินเหนียว (Hoek & Bray, 1981)                          | 26   |
| 2.4-1 การป้องกันการพังทลายโดยใช้หินถมและการ Grouting                                                                         | 29   |
| 2.4-2 การป้องกันการพังทลายโดยใช้ Bolting หรือ Cable                                                                          | 29   |
| 2.4-3 การป้องกันการพังทลายโดยใช้ตาข่าย                                                                                       | 30   |
| 2.4-4 การป้องกันการพังทลายโดยใช้คอนกรีต                                                                                      | 30   |
| 2.5-1 การเซาะกร่อนแบบต่างๆ                                                                                                   | 33   |
| 2.5-2 หินถล่ม                                                                                                                | 36   |
| 2.5-3 แผ่นดินเลื่อนถล่ม                                                                                                      | 36   |
| 2.5-4 ดินถล่มเป็นแอ่ง                                                                                                        | 37   |
| 2.5-5 โคลนไหล                                                                                                                | 37   |

---

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                  | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| 2.5-6 Solifluction                                      | 38   |
| 2.5-7 Soil Creep                                        | 38   |
| 2.5-8 อัตราการเคลื่อนตัวของดินในรูปแบบต่างๆ             | 39   |
| 2.5-9 คันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำ                            | 41   |
| 2.5-10 ร่องเบี่ยงเบนทางน้ำ                              | 42   |
| 2.5-11 คูและคันผันน้ำ                                   | 43   |
| 2.5-12 คูผันน้ำรอบพื้นที่                               | 44   |
| 2.5-13 การระบายน้ำทั้งจากบ่อดักตะกอนแบบดิน              | 46   |
| 2.5-14 การระบายน้ำทั้งจากบ่อดักตะกอนแบบท่อ              | 47   |
| 2.5-15 การระบายน้ำทั้งจากบ่อดักตะกอนแบบกรวดและหิน       | 47   |
| 2.5-16 ภาพตัดขวางของทางระบายน้ำมีหญ้าปกคลุม             | 48   |
| 2.5-17 ภาพตัดขวางทางระบายน้ำเรียงหินกลางร่องน้ำ         | 49   |
| 2.5-18 รูปแบบขั้นบันได (Bench Terrace)                  | 50   |
| 2.5-19 การปลูกต้นไม้หรือพืชสลับเป็นแถบ (Strip Cropping) | 51   |

## คู่มือการจัดการด้านวิศวกรรมเพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองแร่

งานวิศวกรรมจะเกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูพื้นที่ในเรื่องหลักๆ คือ เสถียรภาพของโครงสร้างต่างๆ ที่ถูกทิ้งไว้ภายหลังการปิดเหมือง เช่น เขื่อนกักเก็บตะกอน ผังบ่อเหมืองเก่า ที่ทิ้งดิน กองมูลดินทราย และปล่องหรืออุโมงค์ใต้ดิน ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้หากไม่มีการจัดการที่ดีเพียงพอ อาจส่งผลกระทบต่อ การฟื้นฟูพื้นที่ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ ซึ่งอาจทำให้พื้นที่ที่ไม่มีเสถียรภาพเกิดการพังทลาย ทำให้การฟื้นฟูไม่สามารถดำเนินการให้มีประสิทธิภาพได้ ดังนั้นการฟื้นฟูพื้นที่เหล่านี้จึงควรคำนึงถึงข้อกำหนดและขั้นตอนของงานวิศวกรรมด้วย ซึ่งคู่มือการจัดการด้านวิศวกรรมนี้ประกอบด้วยรายละเอียดข้อมูลพื้นฐาน ขั้นตอน และวิธีการเพื่อใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ ดังนี้

### 1 การจัดการด้านการฟื้นฟูเขื่อนกักเก็บตะกอน

#### 1.1 พื้นฐานการออกแบบเขื่อนกักเก็บตะกอน

เขื่อนกักเก็บตะกอนเป็นโครงสร้างหนึ่งของบ่อกักเก็บตะกอน ที่สร้างขึ้นเพื่อการกักเก็บตะกอนที่ได้จากการทำเหมือง โดยเขื่อนจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงในแง่ของ Slope Stability และการควบคุมการไหลซึมไม่ให้เกิดแรงดันน้ำสูงเกินไปจนเกิดการกัดเซาะ รวมทั้งต้องมีการป้องกันการกัดเซาะของสันเขื่อนและลาดเขื่อนเนื่องจากลมและน้ำฝน

##### 1) รูปแบบของบ่อกักเก็บตะกอน

รูปแบบของบ่อกักเก็บตะกอนขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ โดยทั่วไปมีอยู่ 3 รูปแบบดังนี้

รูปแบบที่ 1 การสร้างคันโดยรอบ (Ring Dike) ดังแสดงในรูปที่ 1.1-1 เหมาะสำหรับกรณีพื้นที่ราบ ไม่มีปัญหาการระบายน้ำฝนจากพื้นที่ภายนอก สามารถจัดเฟสการก่อสร้างและใช้งานในทางราบได้

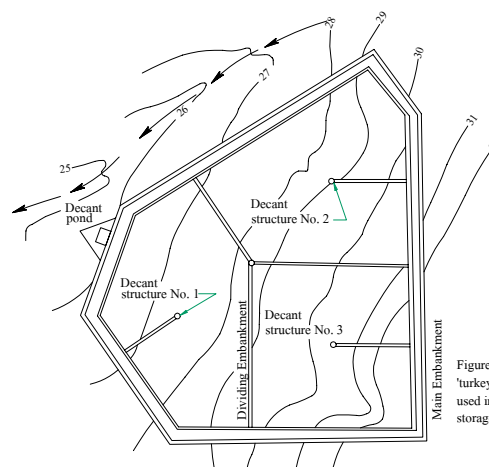
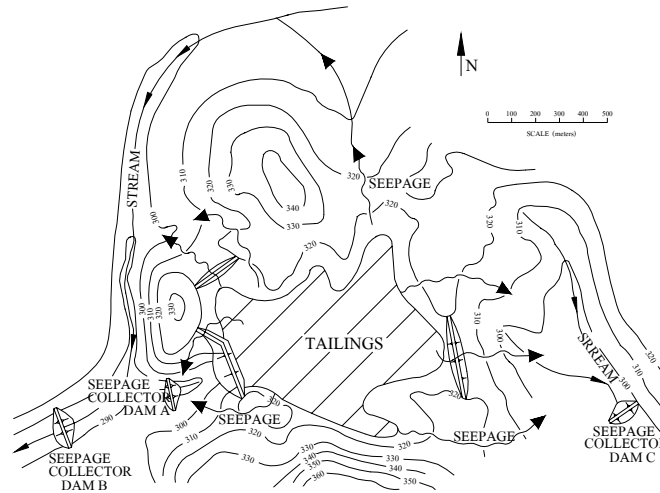


Figure 17.40. Ring dike or 'turkey's nest' configuration as used in Paddy's Flat tailings storage (adapted from Cooper 1988)

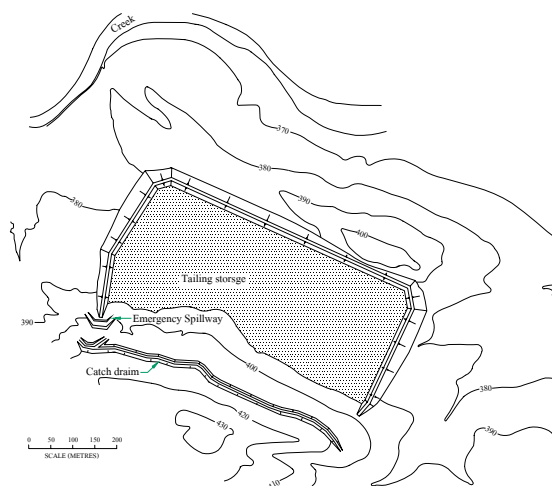
รูปที่ 1.1-1 เขื่อนแบบ Ring Dike (Adapted from Cooper 1988)

รูปแบบที่ 2 การสร้างคันปิดช่องเขา (Cross Valley) ดังแสดงในรูปที่ 1.1-2 เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีช่องเขาแคบ ซึ่งจะมีปริมาณงานน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 สามารถจัดเฟสงานก่อสร้างและใช้งานตามความสูงเขื่อน



รูปที่ 1.1-2 เชื่อนแบบ Cross valley (Fell et al. 1992)

รูปแบบที่ 3 การสร้างคันข้างเนินเขา (Side Hill) ดังแสดงในรูปที่ 1.1-3 เหมาะสำหรับกรณีที่เนินเขาค่อนข้างราบมีความลาดชันไม่เกิน 10 % ไม่เช่นนั้นจะทำให้ปริมาตรของวัสดุถมเขื่อนสูงมาก ในหลายกรณีมักจะต้องมีการป้องกันไม่ให้น้ำฝนจากภายนอกเข้ามาในพื้นที่

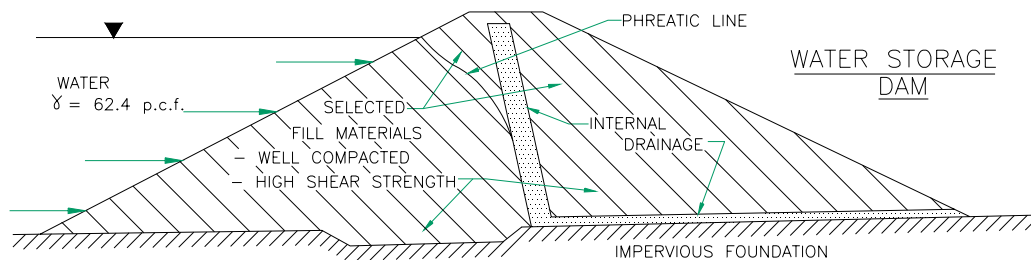


รูปที่ 1.1-3 เชื่อนแบบ Sidehill (Coffey & Partners 1982)

## 2) รูปแบบของเขื่อนกักเก็บตะกอน

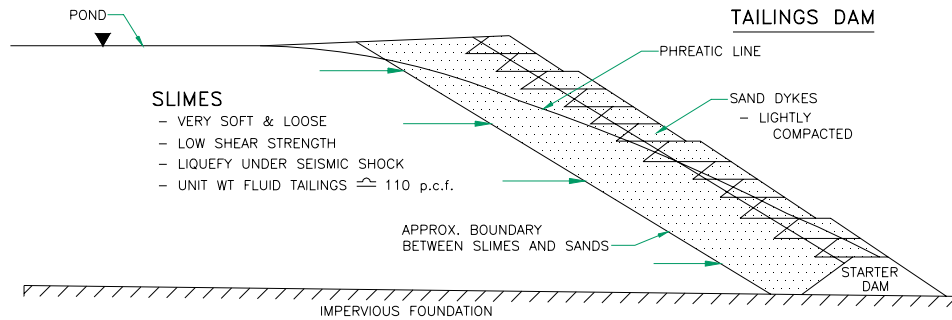
รูปแบบของเขื่อนกักเก็บตะกอนสามารถแบ่งได้ตามวิธีการก่อสร้าง ซึ่งมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอน อัตราการผลิต สภาพอากาศ สภาพภูมิประเทศ สภาพการเกิดแผ่นดินไหว ปริมาณวัสดุถมและอื่นๆ เช่น ดินเหนียว ดินลูกรังหรือหินผุ การก่อสร้างเขื่อนกักเก็บตะกอนทุกวิธีมักจะก่อสร้างเสริมความสูงเขื่อนขึ้น (Staged Construction) ตามอัตราการผลิต วิธีการก่อสร้างเขื่อนกักเก็บกักตะกอนโดยทั่วไปมีด้วยกัน 4 วิธี ดังนี้

(1) เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Water Retention Embankment มีรูปแบบเหมือนเขื่อนเก็บน้ำทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 1.1-4 วัสดุถมเขื่อนใช้จากแหล่งบ่อขุดดิน โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน (Internal Drainage) เพื่อช่วยลดแรงดันน้ำในตัวเขื่อนและฐานราก ซึ่งจะช่วยให้เส้นระดับผิวน้ำในตัวเขื่อน (Phreatic Line) ลดต่ำลง การก่อสร้างเขื่อนจะสร้างเพียงครั้งเดียวจนได้ระดับสันเขื่อนที่ต้องการ



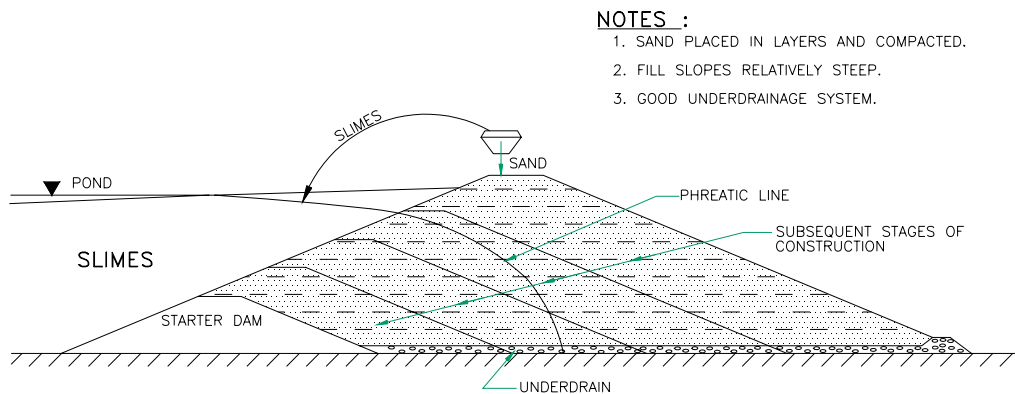
รูปที่ 1.1-4 เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Water Retention Embankment (Klohn 1980)

(2) เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Upstream Embankment ดังแสดงในรูปที่ 1.1-5 วัสดุถมเขื่อนใช้จากแหล่งบ่อขุดดินหรือใช้ทรายที่ได้จากการทำเหมืองหรือแต่งแร่ก็ได้ โดยทั่วไปเส้นระดับผิวน้ำในตัวเขื่อน (Phreatic Line) จะสูงเข้าใกล้ลาดผิวเขื่อนซึ่งทำให้เสถียรภาพของลาดเขื่อนไม่ดี การควบคุมเส้นระดับผิวน้ำทำได้โดยการเพิ่มความกว้างจากจุดที่เก็บน้ำจนถึงสันเขื่อน (Beach Width) การก่อสร้างเขื่อนจะสร้างโดยเสริมความสูงเขื่อนขึ้นเรื่อยๆ (Staged Construction) ตามอัตราการผลิต ซึ่งจะใช้ปริมาณวัสดุถมเขื่อนน้อยมาก การก่อสร้างจะเริ่มจากการก่อสร้างเขื่อนเริ่มต้น (Starter Dam) ก่อน



รูปที่ 1.1-5 เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Upstream Embankment (Klohn 1980)

(3) เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Downstream Embankment ดังแสดงในรูปที่ 1.1-6 วัสดุถมเขื่อนใช้จากแหล่งบ่อยืมดินหรือใช้ทรายที่ได้จากการทำเหมืองหรือแต่งแร่ก็ได้ โดยทั่วไปเส้นระดับผิวน้ำในตัวเขื่อน (Phreatic Line) จะไม่สูง การควบคุมเส้นระดับผิวน้ำทำได้โดยการออกแบบให้มีระบบระบายน้ำที่ฐานเขื่อน (Underdrain) การก่อสร้างเขื่อนจะสร้างโดยเสริมความสูงเขื่อนขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราการผลิตซึ่งจะใช้ปริมาณวัสดุถมเขื่อนมาก การก่อสร้างจะเริ่มจากการก่อสร้างเขื่อนเริ่มต้น (Starter Dam) ก่อน



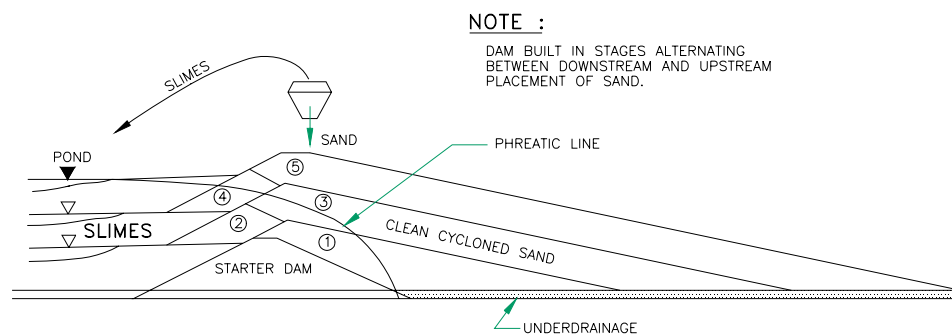
NOTES :

1. SAND PLACED IN LAYERS AND COMPACTED.
2. FILL SLOPES RELATIVELY STEEP.
3. GOOD UNDERDRAINAGE SYSTEM.

DOWNSTREAM COMSTRUCTION USING HEAVILY COMPACTED  
CYCLONED SAND

รูปที่ 1.1-6 เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Downstream Embankment (Klohn 1980)

(4) เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Centerline Embankment ดังแสดงในรูปที่ 1.1-7 วัสดุถมเขื่อนใช้จากแหล่งบ่อขุดดินหรือใช้ทรายที่ได้จากการทำเหมืองหรือแต่งแร่ก็ได้ โดยทั่วไปเส้นระดับผิวน้ำในตัวเขื่อน (Phreatic Line) จะถูกควบคุมไม่ให้สูงมาก โดยการออกแบบให้มีระบบระบายน้ำที่ฐานเขื่อน (Underdrain) และการก่อสร้างเขื่อนจะสร้างโดยเสริมความสูงเขื่อนขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราการผลิต เช่นเดียวกับเขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Downstream Embankment แต่จะใช้ปริมาณวัสดุถมตัวเขื่อนน้อยกว่า



CENTRELINE METHOD OF CONSTRUCTION USING CYCLONED SAND

รูปที่ 1.1-7 เขื่อนกักเก็บตะกอนแบบ Centerline Embankment (Klohn 1980)

ข้อดีและข้อเสียของรูปแบบเขื่อนกักเก็บตะกอนแต่ละแบบ แสดงไว้ในตารางที่ 1.1-1

**ตารางที่ 1.1-1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเขื่อนกักเก็บตะกอนรูปแบบต่าง ๆ  
(แปลจาก Vick 1983)**

| รูปแบบเขื่อน    | กากแร่ที่กักเก็บ                        | ความต้องการลดการไหลซึม                           | ความสามารถเก็บน้ำ           | อัตราการถม                          | วัสดุถม                                                      | ความต้านทานแรงแผ่นดินไหว | เปรียบเทียบราคา |
|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Water Retention | กากแร่ทุกประเภท                         | เหมาะสม                                          | เหมาะสม                     | ก่อสร้างตามความสูงที่ต้องการจนเสร็จ | ดินธรรมชาติจากบ่อขุดดิน                                      | สูง                      | สูง             |
| Upstream        | กากแร่ที่ต้องมีทรายอย่างน้อย 40-60 %    | ต้องควบคุมระยะทางจากผิวน้ำถึงสันเขื่อนให้เพียงพอ | ไม่เหมาะสม                  | น้อยกว่า 5 ม.ต่อปี                  | ทรายจากกากแร่ หรือดินหิน ที่ได้จากการทำเหมืองหรือดินธรรมชาติ | ต่ำ                      | ต่ำ             |
| Downstream      | กากแร่ทุกประเภท                         | ขึ้นอยู่กับกรออกแบบและวัสดุถมเขื่อน              | เหมาะสม                     | ไม่มีกำหนด                          | ทรายจากกากแร่ หรือดินหิน ที่ได้จากการทำเหมืองหรือดินธรรมชาติ | สูง                      | สูง             |
| Centerline      | ทราย หรือตะกอนละเอียดที่มีความเหนียวต่ำ | ต้องควบคุมระยะทางจากผิวน้ำถึงสันเขื่อนให้เพียงพอ | ไม่เหมาะสมสำหรับเก็บน้ำถาวร | ไม่มีกำหนด                          | ทรายจากกากแร่หรือดินหินที่ได้จากการทำเหมืองหรือดินธรรมชาติ   | ปานกลาง                  | ปานกลาง         |

**3) หลักการออกแบบ**

หลักการออกแบบเขื่อนประเภทเขื่อนดินถมหรือหินถม (Embankment Dam) ซึ่งเป็นรูปแบบเขื่อนที่ใช้กันทั่วไปสำหรับเขื่อนกักเก็บตะกอน โดยเขื่อนจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงทั้งในระหว่างการก่อสร้างใช้งานและภายหลังการใช้งาน ซึ่งมีเกณฑ์การออกแบบโดยทั่วไปดังนี้

- (1) ความสูงของเขื่อนต้องปลอดภัยไม่ให้น้ำไหลข้ามสันเขื่อน โดยการเผื่อระยะพ้นน้ำ (Freeboard) และกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำล้นให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าสู่บ่อกักเก็บตะกอน ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องเบี่ยงทางน้ำไม่ให้ไหลลงสู่บ่อกักเก็บตะกอน เพื่อลดขนาดของอาคารระบายน้ำล้น
- (2) ความกว้างสันเขื่อนต้องเพียงพอสำหรับการก่อสร้างและบำรุงรักษาในระหว่างการใช้งาน
- (3) ลาดเขื่อนต้องมีความมั่นคงปลอดภัย โดยการกำหนดความลาดชันของลาดเขื่อนให้เหมาะสม โดยทั่วไปมีความลาดชัน 1:2 ถึง 1:2.5 (ตั้ง:ราบ) สำหรับเขื่อนดิน และความลาดชัน 1:1.7 ถึง 1: 2 สำหรับเขื่อนหิน อย่างไรก็ตามจะต้องทำการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนเพื่อตรวจสอบ โดยทั่วไปใช้วิธีพิจารณาสมดุลย์จำกัด (Limit Equilibrium) ของมวลดินหรือหิน กล่าวคือ ต้องมีการสมมุติผิวการเคลื่อนตัวที่

น่าจะเกิดการเคลื่อนพัง แล้วพิจารณาแรงกระทำที่ทำให้เกิดการเคลื่อนพัง เปรียบเทียบกับแรงต้านทานที่เกิดจากกำลังของดิน ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, FS) ในปัจจุบันได้มีการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ

(4) ลาดเชื่อมต้องมีเสถียรภาพป้องกันการกัดเซาะ เนื่องจากลมและฝน โดยการปลูกหญ้าหรือเรียงหิน รวมทั้งกำหนดให้มีระบบระบายน้ำผิวดิน

(5) ต้องมีการควบคุมการไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก เพื่อไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัวสูงและการกัดเซาะ ในกรณีที่คุณภาพน้ำในบ่อกักเก็บตะกอนไม่ดี จะต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานรากเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้มีส่วนที่บดน้ำที่ตัวเขื่อนและฐานราก รวมทั้งจัดให้มีระบบระบายน้ำและระบบรวบรวมน้ำที่เหมาะสม การวิเคราะห์การไหลซึมเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำไหลซึมและตรวจสอบโอกาสการกัดเซาะ สามารถทำได้โดยการเขียน Flownet หรือใช้วิธีทาง Finite Element ซึ่งทำให้ทราบศักยภาพของน้ำที่จุดต่างๆ ในพื้นที่การไหล และสามารถคำนวณหาค่าความลาดทางชลศาสตร์หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ของน้ำต่อระยะการไหล (Hydraulic Gradient) ได้

(6) การบดอัดดินให้แน่นเพื่อให้เขื่อนมีความแข็งแรงและมีความทึบน้ำ ในการก่อสร้างจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของดินบดอัดให้มีความแน่นไม่น้อยกว่า 95% Standard Compaction

(7) การตรวจสอบเสถียรภาพของเขื่อนเป็นสิ่งสำคัญ จำเป็นต้องมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดที่ตัวเขื่อนและฐานราก และตรวจวัดตลอดอายุการใช้งานของเขื่อน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดในการออกแบบ เพื่อบ่งบอกสภาพของเขื่อนว่ายังมีความปลอดภัยอยู่หรือไม่ เครื่องมือการตรวจวัดพื้นฐานที่จำเป็นต้องมีได้แก่ เครื่องมือวัดความดันน้ำ (Piezometer) โดยติดตั้งทั้งในตัวเขื่อนและฐานราก และเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว (Settlement Gauge) โดยติดตั้งบนสันเขื่อนและลาดเขื่อน

## 1.2 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบฟื้นฟูเขื่อนกักเก็บตะกอน

โดยทั่วไปแล้วดินตะกอนและกากแร่ จากการทำเหมืองมักมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันมากทั้งทางกายภาพและทางเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ส่วนประกอบของเปลือกดิน ชนิดแร่และเพื่อนแร่ เป็นต้น ดังนั้นการฟื้นฟูเขื่อนกักเก็บดินตะกอนและกากแร่ อาจมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันในแต่ละเหมือง อย่างไรก็ตามการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อการฟื้นฟูเขื่อนกักเก็บกากตะกอน มีหลักการเบื้องต้นดังนี้

1) เขื่อนและอาคารประกอบ ต้องมีความมั่นคงแข็งแรงโดยพิจารณาความปลอดภัยในด้านต่างๆ ดังนี้

- ลาดเชื่อม ต้องมีเสถียรภาพเพียงพอ
- การไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานรากต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัวสูงและไม่ให้เกิดการกัดเซาะ
- ระดับสันเขื่อนจะต้องมีความสูงเพียงพอ รวมทั้งความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้นต้องเพียงพอเพื่อไม่ให้เกิดน้ำล้นข้ามสันเขื่อน

2) การฟื้นฟูจะต้องทำให้เกิดการบำรุงรักษาในระยะยาวนานที่สุด (Low Maintenance) ซึ่งจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงฟื้นฟู เพราะฉะนั้นการบำรุงรักษาเป็นประจำในระหว่างการใช้งานหรือมีการเตรียมการฟื้นฟูก่อนการปิดใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องดำเนินการ

### 1.3 ขั้นตอนการออกแบบฟื้นฟูเชื่อมกักเก็บตะกอน มีดังนี้

- 1) การรวบรวมข้อมูล
- 2) การตรวจสอบสภาพเขื่อนและอาคารประกอบ
- 3) การประเมินความเสียหายและแนวทางการปรับปรุง
- 4) การบูรณะซ่อมแซม
- 5) การปรับปรุงเพื่อเสริมความปลอดภัย

#### 1) การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพเขื่อนและอาคารประกอบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้

- (1) ข้อมูลช่วงก่อนการก่อสร้างเขื่อน ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ได้แก่
  - แผนที่ภูมิประเทศ
    - บริเวณอ่างเก็บตะกอน
    - บริเวณตัวเขื่อนและอาคารประกอบ
  - ข้อมูลสำรวจและทดสอบธรณีวิทยาฐานราก
  - ข้อมูลวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเขื่อน
  - การศึกษาทางด้านอุทกวิทยา
  - แบบเขื่อนและอาคารประกอบพร้อมรายการคำนวณ
- (2) ข้อมูลช่วงก่อสร้างเขื่อนและใช้งาน ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ได้แก่
  - วิธีการก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพระหว่างการก่อสร้าง
  - ภาพถ่ายในช่วงก่อนและระหว่างการก่อสร้าง
  - เหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น
  - สภาพท้ายน้ำ

## 2) การตรวจสอบสภาพเขื่อนและอาคารประกอบ

ตรวจสอบโครงสร้างตัวเขื่อนเพื่อตรวจสอบความมั่นคง ปลอดภัย รวมทั้งการสึกกร่อนของระบบระบายน้ำ การรั่วซึมหรือรั่วไหลของน้ำจากส่วนต่างๆ ของเขื่อน หากพบว่าเขื่อนไม่มีความมั่นคงปลอดภัย หรือมีการรั่วไหลของน้ำมากผิดปกติ หรือพบการกัดเซาะเกิดขึ้น ให้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อตรวจลักษณะของเขื่อนเก็บตะกอน ดังนี้

- (1) เพื่อทราบถึงสภาพของตัวเขื่อนและอาคารประกอบเขื่อน
- (2) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความปลอดภัย
- (3) เพื่อประเมินปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งนำข้อมูลไปใช้จัดทำงบประมาณในการซ่อมแซมหรือปรับปรุงฟื้นฟูสภาพตัวเขื่อนต่อไป

### (ก) วิธีการตรวจสอบ

วิธีการตรวจสอบสภาพเขื่อนและอาคารประกอบมี 2 วิธี

- การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) โดยสังเกตข้อบกพร่องที่ปรากฏให้เห็นภายนอกตัวเขื่อนและบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งสภาพอาคารประกอบเขื่อน เช่น การซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานราก การกัดเซาะ รอยแตกร้าว และการเสื่อมสภาพ

ข้อปฏิบัติในการตรวจสอบสภาพตัวเขื่อน และอาคารประกอบด้วยสายตา ควรใช้วิธีการเดินสำรวจตลอดพื้นที่ เช่น บนสันเขื่อนควรเดินตรวจสอบตลอดความยาวสันเขื่อน ตั้งแต่ไหล่เขาด้านหนึ่งไปยังไหล่เขาด้านหนึ่ง บนลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ การเดินตรวจสอบให้เดินขึ้นลงในลักษณะฟันปลาบนลาดเขื่อนจากไหล่เขาด้านหนึ่งไปยังไหล่เขาด้านหนึ่ง และอุโมงค์ระบายน้ำควรเข้าไปตรวจสอบด้วย เป็นต้น

- การตรวจสอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด เป็นวิธีการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ตรวจวัดชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งไว้ภายในหรือภายนอกตัวเขื่อน และอาคารประกอบ เช่น เครื่องมือวัดการทรุดตัวหรือเคลื่อนตัว เครื่องมือวัดแรงดันน้ำในตัวเขื่อน หรือที่บริเวณท้ายน้ำ เป็นต้น

### (ข) องค์ประกอบของการตรวจสอบ

องค์ประกอบที่ต้องตรวจสอบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตัวเขื่อน Tailing Dam ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นเขื่อนดินและมีอาคารระบายน้ำล้นประเภท Drop Inlet หรือ Morning glory spillway การตรวจสอบสภาพนั้นนอกจากจะตรวจสอบและเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายแล้วยังต้องเก็บข้อมูลปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปพิจารณาในการออกแบบรายละเอียดเพื่อซ่อมแซมหรือปรับปรุงองค์ประกอบนั้นต่อไป รายละเอียดดังตารางที่ 1.3-1

ตารางที่ 1.3-1 แสดงองค์ประกอบที่ต้องตรวจสอบและรายการตรวจสอบ

| ลำดับ | องค์ประกอบ                                                                                      | รายการตรวจสอบ                                                                                    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | ตัวเขื่อน (Dam Body)<br>- สภาพสันเขื่อน<br>- ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ<br>- ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ    | รอยแตกร้าว, การกัดเซาะโดยน้ำฝน, การทรุดตัว<br>การเลื่อนไถล, การไหลซึมของน้ำบนผิวเขื่อน และวัชพืช |
| 2     | ระบบระบายน้ำในตัวเขื่อนและฐานราก (Drainage System)                                              | ลักษณะของน้ำที่ไหล, สิ่งกีดขวางการระบาย,<br>ประสิทธิภาพการระบาย                                  |
| 3     | พื้นที่ท้ายเขื่อน (Downstream area)                                                             | การกัดเซาะโดยน้ำฝน, การเลื่อนไถล, การไหลซึมและ<br>วัชพืช                                         |
| 4     | พื้นที่ไหล่เขาข้างตัวเขื่อน (Abutment area)                                                     | การกัดเซาะโดยน้ำฝน, การเลื่อนไถล, การไหลซึมและ<br>วัชพืช                                         |
| 5     | อาคารระบายน้ำล้น (Spillway)<br>- อาคารรับน้ำ (Inlet)<br>- ท่อส่งน้ำ (Conduit)<br>- อาคารท้ายน้ำ | สิ่งกีดขวางการระบาย, ประสิทธิภาพการระบาย,<br>ความเสียหายของโครงสร้างอาคาร                        |
| 6     | คลองระบายน้ำ (Tailrace canal)                                                                   | สิ่งกีดขวางการระบาย, ประสิทธิภาพการระบาย,<br>การกัดเซาะคลองระบาย                                 |

#### (ค) ช่วงเวลาการตรวจสอบ

เพื่อประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ควรจัดเตรียมแผนการดำเนินงานก่อนสิ้นสุดการใช้เขื่อนกักเก็บตะกอนแต่ละแห่ง (Preventive maintenances) ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้อาจเตรียมงานซ่อมแซมปรับปรุงสภาพได้สะดวกกว่าช่วงที่เลิกใช้เขื่อนเก็บกักตะกอนแล้ว เนื่องจากยังมีเครื่องจักรและคนงานประจำเหมืองอยู่ และการเตรียมแผนการดำเนินงานฟื้นฟูสภาพช่วงก่อนสิ้นสุดการใช้เขื่อนกักเก็บตะกอนแต่ละแห่งยังส่งผลต่อการเลือกวิธีการและงบประมาณของงานซ่อมแซมปรับปรุงอีกด้วย ดังนั้นการตรวจสอบสภาพเพื่อการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ

- ระหว่างการทำเหมืองก่อนเลิกใช้เขื่อนเก็บกักตะกอนแต่ละแห่ง เพื่อให้มีการเตรียมการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพ (Preventive maintenances)
- ภายหลังจากการเลิกใช้เขื่อนเก็บกักตะกอนแล้ว ถึงจะมีการตรวจสอบสภาพ ซึ่งตัวเขื่อนและอาคารประกอบเขื่อนอาจมีความเสียหายมากทำให้ต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพสูง

### (ง) รายงานการตรวจสอบ

การตรวจสอบสภาพเขื่อนและอาคารประกอบ นอกจากจะเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายแล้ว ยังต้องเก็บข้อมูลปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนออกแบบรายละเอียด การซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพเขื่อนและอาคารประกอบเขื่อน โดยได้แสดงตัวอย่างแบบบันทึกที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเขื่อน Tailing dam ต่างๆ ไว้ในภาคผนวก ก

### 3) การประเมินความเสียหายและแนวทางการปรับปรุง

#### (ก) ระดับการประเมินความปลอดภัยเขื่อน

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation ได้แบ่งระดับการประเมินความปลอดภัยเขื่อนเป็น 2 ระดับคือ

- ระดับที่ 1 เป็นการตรวจสอบสภาพเขื่อนเพื่อจัดจำแนกชั้นความปลอดภัย ทำโดยการทบทวน ข้อมูลการสำรวจออกแบบ วิธีการก่อสร้าง ข้อมูลช่วงการใช้งานต่างๆ นำมา พิจารณาจัดทำตรวจสอบและบำรุงรักษาปกติ
- ระดับที่ 2 เป็นการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหา ใช้ในกรณีที่เขื่อนมีความเสียหายมาก รุนแรง จะต้องมีการออกแบบแก้ไขใหม่ หรือเขื่อนที่มีระดับความเสี่ยงสูงจะต้องซ่อมแซม ปรับปรุงให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย

#### (ข) เกณฑ์พิจารณาเลือกแนวทางการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพ

การเลือกแนวทางการซ่อมแซมปรับปรุงฟื้นฟูสภาพเขื่อนและอาคารประกอบให้มีความมั่นคง แข็งแรงในระยะยาว ต้องพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- ขนาดของเขื่อน เขื่อนที่มีขนาดใหญ่ย่อมมีความเสี่ยงในการพังทลายสูงกว่าเขื่อนขนาดเล็ก หากมีมาตรฐานการออกแบบการก่อสร้างเช่นเดียวกัน ดังนั้นการพิจารณากำหนดแนวทางการซ่อมแซม ปรับปรุงของเขื่อนขนาดใหญ่ จะต้องเลือกแนวทางที่ให้ความปลอดภัยสูงกว่าเขื่อนขนาดเล็ก โดยมีเกณฑ์ การจัดจำแนกขนาดเขื่อนดังตารางที่ 1.3-2

ตารางที่ 1.3-2 การจัดจำแนกขนาดเขื่อน Tailing Dam

| ขนาด           | ความสูงเขื่อน (เมตร)     | ความจุอ่างเก็บตะกอน (ล้าน ลบ.ม.) |
|----------------|--------------------------|----------------------------------|
| เขื่อนขนาดเล็ก | $\geq 7.5$ ถึง $< 12.0$  | $\geq 0.1$ ถึง $< 1.2$           |
| เขื่อนขนาดกลาง | $\geq 12.0$ ถึง $< 30.0$ | $\geq 1.2$ ถึง $< 60.0$          |
| เขื่อนขนาดใหญ่ | $\geq 30$                | $\geq 60$                        |

- ความรุนแรงของสภาพเสียหายของเขื่อนและอาคารประกอบ หากเขื่อนหรืออาคารประกอบมีความเสียหายที่รุนแรงไม่สามารถใช้งานได้ และหากปล่อยไว้ อาจเกิดการพิบัติที่รุนแรงกว่าได้จึงจำเป็นต้องพิจารณาซ่อมแซมโดยรีบด่วน

- ปริมาณการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินด้านท้ายเขื่อน (Hazard potential classification) หากมีการตั้งชุมชนมีราษฎรประกอบอาชีพต่างๆ อยู่บริเวณท้ายเขื่อน Tailing Dam การซ่อมแซมปรับปรุงจะต้องพิจารณาถึงความมั่นคงของปลอดภัยของเขื่อนเป็นสำคัญที่สุด โดยมีระดับการจำแนกความเสี่ยงภัยดังตารางที่ 1.3-3

ตารางที่ 1.3-3 การจัดลำดับความเสี่ยงภัย (Hazard potential classification)

| ลำดับ<br>(Classification)    | การสูญเสีย<br>ชีวิต (คน)<br>(Anticipated<br>loss of life) | การสูญเสียทรัพย์สิน (Economic loss)                                                                                |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ต่ำ (Low)                    | 0                                                         | น้อยมาก (ไม่มีพื้นที่เกษตรกรรม สิ่งก่อสร้าง อาจมีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติแต่มีค่าน้อย)                                |
| มีความสำคัญ<br>(Significant) | 1-6                                                       | พอประมาณ (เป็นพื้นที่ชนบท ที่อาจมีแหล่งอุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่า)    |
| สูง (High)                   | >6                                                        | มากมาย (เป็นพื้นที่เมือง มีชุมชน มีแหล่งอุตสาหกรรม มีพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่า) |

การพิจารณาเลือกแนวทางการซ่อมแซมปรับปรุงที่เหมาะสม จะทำให้ตัวเขื่อนและอาคารประกอบเขื่อนมีความมั่นคงปลอดภัยในระยะยาว และใช้งบประมาณในการลงทุนซ่อมแซมปรับปรุงสภาพไม่สูงมากนัก

#### (ค) การบูรณะซ่อมแซมและการปรับปรุงเพื่อเสริมความปลอดภัย

การบูรณะซ่อมแซมเขื่อน มี 3 ลักษณะ คือ

- การบูรณะซ่อมแซมเล็กน้อย หมายถึง การซ่อมบำรุงหรือตกแต่งส่วนที่ตรวจพบว่ามี การชำรุดเสียหาย หรือมีความผิดปกติจากสภาพเดิมไม่มากนัก

- การบูรณะซ่อมแซมประจำปี หมายถึง การซ่อมแซมใหญ่ประจำปีตลอดทั้งตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ในบริเวณที่ชำรุดเสียหายให้ดีขึ้น

- การบูรณะซ่อมแซมฉุกเฉิน หมายถึง การซ่อมแซมส่วนใดส่วนหนึ่งของตัวเขื่อนและอาคารประกอบที่ชำรุดเสียหายในทันที หากปล่อยทิ้งไว้เขื่อนและอาคารประกอบอาจเกิดความเสียหายได้ ซึ่งการซ่อมแซมนี้เป็นการซ่อมแซมไว้เพียงชั่วคราวเพราะความเร่งด่วนเท่านั้น

การปรับปรุงเพื่อเสริมความปลอดภัย มี 2 ลักษณะ คือ

- การปรับปรุงตามรูปแบบเดิม หมายถึง การก่อสร้างเพื่อปรับปรุงใหม่ทั้งหมด หรือเกือบทั้งหมดตามรูปแบบเดิม ในกรณีที่อาคารนั้นได้ก่อสร้างและใช้งานมานานจนหมดอายุหรือวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเสื่อมสภาพไปมากแล้ว
- การปรับปรุงด้วยการก่อสร้างเพิ่มเติม หมายถึง การปรับปรุงก่อสร้างเพิ่มเติมหรือแก้ไขส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือทำการก่อสร้างใหม่ทั้งหมดโดยเปลี่ยนรูปแบบไปจากเดิม

ก่อนการเลิกใช้เขื่อนกักเก็บตะกอนแต่ละแห่งนั้น ต้องมีการดำเนินการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงเขื่อน Tailing Dam และอาคารประกอบเขื่อนต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่มีความมั่นคงปลอดภัยตลอดช่วงอายุการใช้งานถึงแม้จะไม่มีโครงการดำเนินการทำเหมืองแล้วก็ตาม โดยงบประมาณที่ใช้ในการจัดการซ่อมแซมนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบและจัดการก่อสร้างเขื่อน Tailing Dam และอาคารประกอบเขื่อน ในช่วงระหว่างการทำเหมือง ซึ่งสามารถจำแนกแนวทางการบำรุงรักษาและปรับปรุงเขื่อน และอาคารประกอบเขื่อนได้ดังนี้

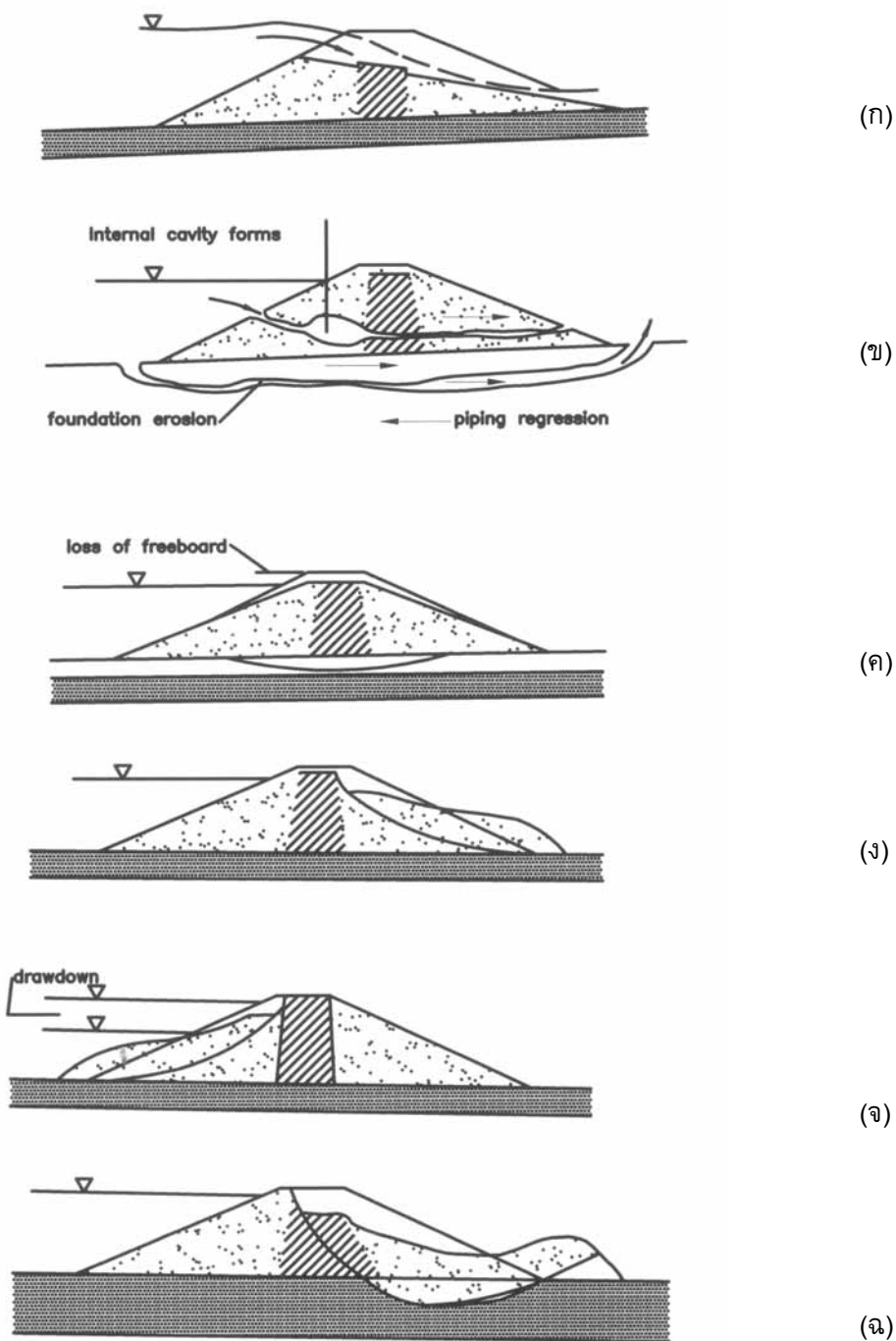
- เขื่อน Tailing dam ที่มีการออกแบบ และควบคุมงานก่อสร้างที่ดี มีมาตรฐานสูงกว่าการก่อสร้างทั่วไป โดยคาดหวังว่าจะมีการซ่อมแซมปรับปรุงน้อยที่สุดหรือไม่ต้องมีการปรับปรุงเลย เมื่อต้องเลิกใช้
- เขื่อน Tailing dam ที่มีการออกแบบ และควบคุมงานก่อสร้างที่มีมาตรฐานไม่สูงมาก เมื่อต้องปิดเหมืองจะมีการซ่อมแซมปรับปรุงเพื่อให้มีความมั่นคงปลอดภัยตามมาตรฐานตลอดช่วงอายุการใช้งาน

#### (ง) ปัญหาความเสียหายและแนวทางการแก้ไขปรับปรุง

American Society of Civil Engineers and United States Committee on Large Dams (ASCE/USCOLD) ได้สรุปเกี่ยวกับความเสียหายและสาเหตุการพังของเขื่อน ดังแสดงในรูปที่ 1.3-1 แบ่งออกได้ดังนี้

- น้ำล้นผ่านสันเขื่อน ทำให้เกิดการพัดพาดินเม็ดละเอียด สาเหตุอาจเกิดจากความสามารถของทางระบายน้ำล้นไม่เพียงพอ ดังรูปที่ 1.3-1 (ก)
- การเกิดการกัดเซาะภายในของดินเม็ดละเอียด ในตัวเขื่อน ฐานรากหรือบริเวณไหล่เขา จนเกิดเป็นรูโพรงต่อเนื่องจากด้านท้ายน้ำไปสู่ด้านเหนือน้ำดังรูปที่ 1.3-1 (ข)
- เกิดการทรุดตัวมากเกินไป ทำให้เกิดการแตกร้าวในตัวเขื่อนและยังทำให้ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) ลดลงมีโอกาสให้น้ำล้นผ่านสันเขื่อนได้ ดังรูปที่ 1.3-1 (ค)
- เกิดจากการไม่เสถียรภาพของเขื่อน เนื่องจากความชันของลาดเขื่อนมากเกินไปหรือกำลังของดินไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนพังของตัวเขื่อนบริเวณท้ายน้ำ ดังรูปที่ 1.3-1 (ง)
- เกิดจากการไม่เสถียรภาพของเขื่อน เนื่องจากการลดลงของน้ำในอ่างอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเคลื่อนพังของตัวเขื่อนด้านเหนือน้ำ ดังรูปที่ 1.3-1 (จ)

- เกิดจากการไม่เสถียรภาพของเขื่อน เนื่องจากกำลังของดินฐานรากไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักตัวเขื่อน ดังรูปที่ 1.3-1 (ก)



รูปที่ 1.3-1 การพังของเขื่อนดินแบบต่าง ๆ (ASCE/USCOLD 1975)

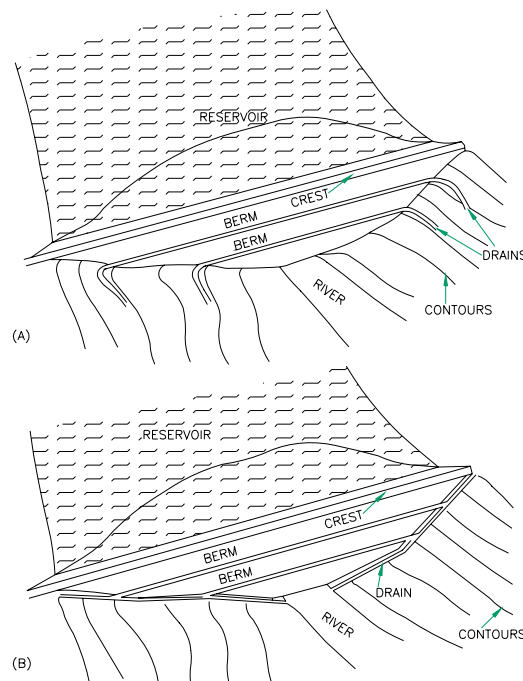
ปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้กับเขื่อน Tailing Dam สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1.3-4 และ ตารางที่ 1.3-5

#### 4) การบูรณะซ่อมแซม

ภายหลังจากการตรวจสอบสภาพเขื่อนและประเมินความเสียหาย ในกรณีที่มีความเสียหายไม่รุนแรง เช่น ความเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะเนื่องจากน้ำฝน ที่บนสันเขื่อนและลาดเขื่อน ให้ดำเนินการดังนี้

(1) บนสันเขื่อน ให้ทำการถมบดอัดแน่นดินลูกรังบนสันเขื่อน เพื่อลดการกัดเซาะเนื่องจากน้ำฝน หรืออาจทำการปลูกหญ้าบนสันเขื่อนก็ได้ หากมีการดูแลต้นหญ้าให้เจริญงอกงามก่อนการเลิกใช้งานเขื่อน เก็บกักตะกอน

(2) บนลาดเขื่อน ให้ทำการขุดตกแต่งร่องการกัดเซาะแล้วถมบดอัดแน่นดินให้ได้รูปร่างเขื่อน ดั้งเดิม หลังจากนั้นให้ป้องกันการกัดเซาะผิวลาดเขื่อนทั้งหมดโดยใช้หินเรียงวางบนกรวดทรายรองพื้นปูบน ลาดเขื่อน หรืออาจทำการปลูกหญ่าบนลาดเขื่อนก็ได้ หากมีการดูแลต้นหญ้าให้เจริญงอกงามก่อนการเลิกใช้ งานเขื่อนเก็บกักตะกอน ร่วมกับการทำ Contact Drain ในบริเวณที่ตัวเขื่อนชนกับไหล่เขาและที่บริเวณดิน เขื่อนด้านท้ายน้ำ เพื่อลดการกัดเซาะที่ตีนเขื่อนและรวบรวมน้ำระบายลงสู่คลองระบายท้ายน้ำดังแสดงใน รูปที่ 1.3-2



รูปที่ 1.3-2 ระบบระบายน้ำที่ผิวลาดเขื่อนและตีนเขื่อน (Fell et al. 1992)

ตารางที่ 1.3-4 สรุปลักษณะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงของตัวเขื่อน Tailing Dam

| ปัญหาที่เกิด                  | ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหาหรือสิ่งบอเหตุ                                                                                          | สาเหตุที่ทำให้เกิด                                                                                                           | ผลที่เกิดขึ้น                                                                                                                                                             | แนวทางการแก้ไข                                                                                                                                                |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การกัดเซาะบนลาดเขื่อน      | - สังเกตรอยกัดเซาะบนลาดเขื่อน                                                                                                  | - ไม่มีการป้องกันการชะล้างลาดดินเนื่องจากน้ำฝนและลม<br>- ไม่มีระบบรวมน้ำฝน                                                   | - ทำให้ลาดเขื่อนเกิดความเสียหายเป็นร่องน้ำ ซึ่งอาจมีความลึกของร่องระบายมากกว่า 2 เมตร<br>- เมื่อเนื้อเขื่อนถูกกัดเซาะออกไปเป็นจำนวนมาก จะส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดเขื่อนได้ | - ป้องกันการกัดเซาะบนลาดเขื่อน (Slope protection) โดยใช้หินเรียง(riprap) หรือปลูกหญ้า<br>- ปรับแต่งผิวลาดเขื่อนใหม่<br>- จัดทำระบบดักน้ำ และรวมน้ำบนลาดเขื่อน |
| 2.การเคลื่อนตัวของลาดเขื่อน   | - สังเกตพบ รอยยุบทั่วไป รอยแตก ขนานหรือตั้งฉากกับแนวสันเขื่อน หรือ รอยปูดบวมบนลาดเขื่อน                                        | - ลาดเขื่อนมีความชันมากเกินไป<br>- เส้นระดับผิวน้ำในเขื่อนอยู่สูงมาก<br>- เกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน<br>- เกิดจากแผ่นดินไหว | - เกิดการเคลื่อนพังของลาดเขื่อน (Slope Failure)                                                                                                                           | - ปรับปรุงเชิงลาดให้มีความชันน้อยลง<br>- ลดระดับผิวน้ำในเขื่อน<br>- นำวัสดุส่วนที่ไม่ดีออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม                         |
| 3.การรั่วซึมไหลออกบนลาดเขื่อน | - พบหลุมยุบ และมีน้ำไหลซึม<br>- พบพื้นที่เปียกชุ่มบนลาดเขื่อน<br>- พบวัชพืชน้ำบนลาดเขื่อน<br>- ให้สังเกตสีของน้ำที่ไหลซึมออกมา | - ระบบระบายน้ำ (filter) ไม่มีประสิทธิภาพ<br>- การบดอัดวัสดุตัวเขื่อนไม่ดีเพียงพอ<br>- วัสดุตัวเขื่อนอิ่มตัวเนื่องจากน้ำฝน    | - เขื่อนเกิดการเคลื่อนพังเนื่องจากการเกิดการกัดเซาะภายในตัวเขื่อน (Internal erosion)<br>- เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift force) กระทำต่อโครงสร้างอาคารต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงได้ | - ตรวจวัดปริมาณน้ำที่รั่วซึม และระดับน้ำที่ไหลซึมออกบนลาดเขื่อน<br>- จัดทำท่อลดแรงดันน้ำ<br>- ปรับปรุงระบบกรองน้ำ (Filter)                                    |

ตารางที่ 1.3-4 สรุปลักษณะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงของตัวเขื่อน Tailing Dam (ต่อ)

| ปัญหาที่เกิด                            | ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหาหรือสิ่งบอกเหตุ                                                                                                                                                                                         | สาเหตุที่ทำให้เกิด                                                                                                                                                                               | ผลที่เกิดขึ้น                                                                                                                                                          | แนวทางการแก้ไข                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. การเคลื่อนตัวของฐานเขื่อนTailing Dam | <ul style="list-style-type: none"> <li>- สังเกตพบการปูดของดินบริเวณฐานเขื่อนด้านท้ายน้ำ</li> <li>- พบรอยแตกตามขวางหรือตามยาวบนสันเขื่อน</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดการทรุดตัวของชั้นดินฐานราก</li> <li>- เกิด Liquefaction ของชั้นดินฐานราก</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดการแตกร้าวของตัวเขื่อน</li> <li>- อาคารประกอบเขื่อนอาจเกิดความเสียหายได้</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ปรับลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำใหม่ให้มีความลาดชันน้อยลง</li> <li>- เพิ่มน้ำหนักกดทับบริเวณฐานเขื่อน</li> <li>- ซ่อมแซมอาคารประกอบที่ชำรุดเสียหาย</li> </ul> |
| 5. การรั่วซึมของฐานรากเขื่อน            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ตรวจสอบหาการผุดขึ้นของดินและการกัดเซาะเป็นโพรงบริเวณพื้นที่ท้ายน้ำ หลุมยุบเนื่องจากดินถมเขื่อนยุบลงไปใ้รูโพรง</li> <li>- ตรวจสอบพื้นที่อ่อนตัว หรือเกิดการยุบตัวที่ผิดปกติ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การปรับปรุงฐานรากเขื่อนไม่ดีเพียงพอ</li> <li>- เกิดการทรุดตัวแตกร้าวของชั้นหินหรือชั้นดินฐานราก</li> <li>- ฐานรากเขื่อนมีคุณสมบัติไม่เหมาะสม</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความสามารถในการรับน้ำหนักของเขื่อนลดลง</li> <li>- เขื่อนอาจเกิดการเคลื่อนพังเนื่องจากมีการกัดเซาะภายในฐานรากเขื่อน</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ปรับปรุงระบบระบายน้ำฐานรากเขื่อน</li> <li>- จัดทำบ่อลดแรงดันน้ำ</li> </ul>                                                                            |
| 6. วัชพืชและต้นไม้บนลาดเขื่อน           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- สังเกตปริมาณและความสูงของวัชพืช</li> </ul>                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ระหว่าง การทำเหมืองไม่มีการดูแลบำรุงรักษาลาดเขื่อน</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่สามารถที่จะดำเนินการตรวจสอบผิวลาดเขื่อนได้อย่างชัดเจน</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ควรดำเนินการบำรุงรักษาลาดเขื่อนด้วยการตัดหญ้าในช่วงที่ยังมีการทำเหมืองอยู่</li> </ul>                                                                 |

ตารางที่ 1.3-5 สรุปลักษณะปัญหาและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงของอาคารระบายน้ำล้น

| ปัญหาที่เกิด                    | ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหาหรือสิ่งบอกร่อง        | สาเหตุที่ทำให้เกิด                                                                                                                                | ผลที่เกิดขึ้น                                                                                 | แนวทางการแก้ไข                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.การปิดกั้นการระบายน้ำ         | - สังเกตสิ่งกีดขวางต่างๆ                      | - ไม่มีตะแกรงดักเศษไม้ หรือวัสดุต่างๆ ไหลตกลงไปกีดขวางการระบาย                                                                                    | - ความสามารถในการระบายน้ำลดลง<br>- เกิดน้ำเอ่อล้นข้ามสันเขื่อน                                | - ขุดลอก เศษวัสดุต่างๆที่ตกลงไปกีดขวางการระบาย<br>- จัดทำตะแกรงดักเศษวัสดุตกลงไปกีดขวางการระบาย<br>- ขุดลอกคลองระบายท้ายน้ำ                                                                                                                                 |
| 2. อัตราการระบายน้ำไม่เพียงพอ   | - ตรวจสอบขนาดของอาคารระบายน้ำล้น              | - การออกแบบไม่ได้พิจารณาปริมาณน้ำหลากในอัตราที่เหมาะสม                                                                                            | - เกิดน้ำล้นข้ามสันเขื่อน                                                                     | - ตรวจสอบสามารถในการระบายน้ำของอาคาร หากไม่เพียงพอที่จะรับปริมาณน้ำหลากในช่วงปีการเกิดซ้ำที่เหมาะสมให้พิจารณาขยายขนาดอาคารระบายน้ำล้น หรือจัดทำทางระบายน้ำล้นฉุกเฉินเพิ่มเติม<br>- พิจารณาผันน้ำที่หลากลงบ่อดักตะกอนให้ไหลไปทางอื่นๆที่มีความเหมาะสมมากกว่า |
| 3. ความเสียหายของโครงสร้างอาคาร | - ตรวจสอบการกัดกร่อนและการแตกร้าวของโครงสร้าง | - มีแรงกระทำมากกว่าที่ออกแบบไว้<br>- ฐานรากอาคารมีการทรุดตัวที่แตกต่างกัน<br>- มีการเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนมากเกินไป<br>- การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน | - เกิดน้ำล้นข้ามสันเขื่อน<br>- เกิดการกัดเซาะดินตัวเขื่อนบริเวณรอบท่อระบายที่วางอยู่ใต้เขื่อน | - จัดสร้างอาคารระบายน้ำล้นแห่งใหม่ และปิดอาคารระบายน้ำเดิมและป้องกันการกัดเซาะดินตัวเขื่อนบริเวณรอบท่อระบาย                                                                                                                                                 |

## 5) การปรับปรุงเพื่อเสริมความปลอดภัย

ภายหลังจากการตรวจสภาพเขื่อนและประเมินความเสียหาย ในกรณีที่มีความเสียหายรุนแรงหรือมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงขึ้นในระยะยาว เช่น กรณีเกิดการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนเป็นบางบริเวณ (Local Failure) เกิดรอยร้าวตามยาวบนสันเขื่อน และเกิดการกัดเซาะเป็นรูโพรงเนื่องจากน้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก มีความจำเป็นต้องดำเนินการสำรวจเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติมเนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่เดิมมีไม่เพียงพอ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบเสริมความปลอดภัยเขื่อนและอาคารประกอบ

### (1) สำรวจข้อมูลเพิ่มเติม

การสำรวจข้อมูลที่เป็นเพิ่มเติม ได้แก่

- การประเมินปริมาณน้ำหลากออกแบบให้ทันสมัย เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้นให้เหมาะสม
- การเจาะสำรวจและทดสอบที่ตัวเขื่อนและฐานรากโดยการตอกทดลอง และทดสอบการรั่วซึมของวัสดุตัวเขื่อนและฐานราก
- เก็บตัวอย่างดินตัวเขื่อนแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาคุณสมบัติของดินตัวเขื่อน
- เก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างปรับปรุงเขื่อน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยเขื่อนจากแหล่งบ่อยืมดิน
- ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติดิน ประกอบด้วย
  - ขนาดของเม็ดดิน (Gradation)
  - ความเหนียวของดิน (Plasticity)
  - ความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity)
  - ความแน่นของดิน (Compaction)
  - ความแข็งแรงของดิน (Shear Strength)
  - ความซึมน้ำของดิน (Permeability)
  - การกระจายตัวของดิน (Dispersive)

### (2) การวิเคราะห์ออกแบบปรับปรุง

การวิเคราะห์ออกแบบปรับปรุงเขื่อนและอาคารประกอบเพื่อความปลอดภัย แบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

การวิเคราะห์ออกแบบปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้น มีขั้นตอนดังนี้

- ตรวจสอบขนาดของอาคารระบายน้ำล้น ว่าสามารถระบายน้ำหลากในรอบ 50 ปี ได้เพียงพอ โดยระดับน้ำต่ำกว่าสันเขื่อนไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร
- กรณีอาคารระบายน้ำล้นระบายน้ำได้ไม่เพียงพอ การออกแบบปรับปรุงสามารถดำเนินการได้ดังนี้

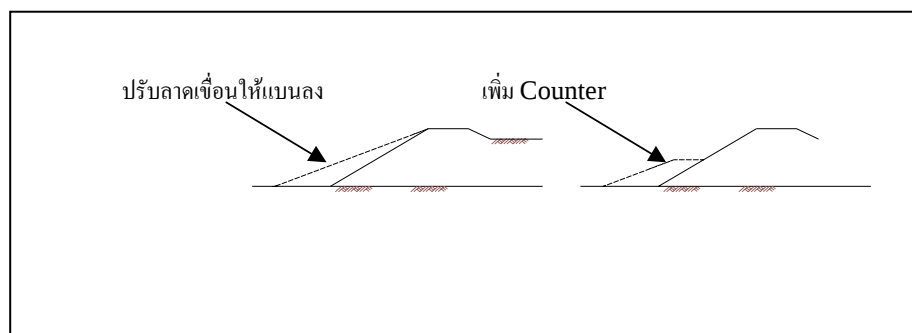
- การเบี่ยงเบนทางน้ำไม่ให้ไหลลงสู่อ่างเก็บตะกอน
- การขยายขนาดอาคารให้สามารถระบายน้ำได้เพิ่มขึ้น
- ถ้าไม่สามารถขยายขนาดอาคารได้ ให้ดำเนินการก่อสร้างอาคารระบายน้ำแห่งใหม่เพิ่มเติมในตำแหน่งที่เหมาะสม หรือเพิ่มระดับสันเขื่อนให้เพียงพอซึ่งจะต้องดำเนินการตรวจสอบเสถียรภาพของลาดเขื่อนด้วย

การวิเคราะห์ออกแบบปรับปรุงเสถียรภาพของลาดเขื่อน มีขั้นตอนดังนี้

- รวบรวมข้อมูลที่มีอยู่เดิมและที่ได้จากการสำรวจเพิ่มเติม มาทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ
- วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนเดิม มีค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่  
เกณฑ์ความปลอดภัยที่ยอมรับให้เป็นดังนี้
  - \* กรณีปกติ ระดับน้ำอยู่ที่ระดับเก็บตะกอนหรือสูงกว่าเล็กน้อย อัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับให้เท่ากับ 1.5
  - \* กรณีไม่ปกติ ระดับน้ำอยู่ที่ระดับน้ำสูงสุดขณะระบายน้ำหลากรอบ 50 ปี หรือกรณีปกติแต่เกิดแผ่นดินไหว อัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับให้เท่ากับ 1.2 มีค่าน้อยกว่ากรณีปกติเนื่องจากการเกิดระดับน้ำสูงสุดและมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นพร้อมกันมีโอกาสน้อยมาก

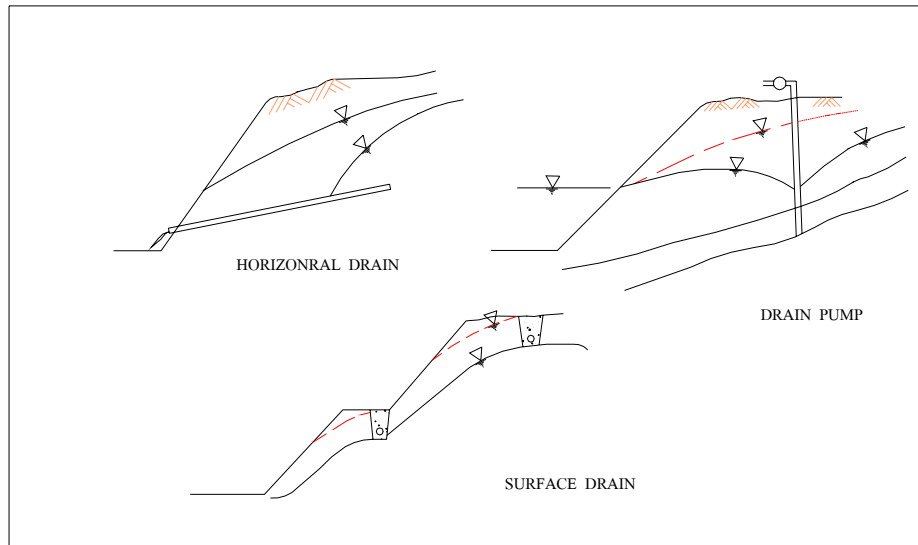
กรณีเสถียรภาพของลาดเขื่อนเดิม มีค่าความปลอดภัยน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ต้องดำเนินการออกแบบปรับปรุงเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดเขื่อน โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

- ปรับแต่งลาดเขื่อนเดิมแล้วทำการถมดินหรือหินเพื่อปรับลาดเขื่อนให้ลาดลงหรือเพิ่มน้ำหนักถ่วงบริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ (Counter Weight) โดยการถมดินหรือหิน ดังแสดงในรูปที่ 1.3-3



รูปที่ 1.3-3 การเพิ่มความมั่นคงด้วยการปรับลาดเขื่อนและการเพิ่มน้ำหนักถ่วง

- ลดระดับน้ำในตัวเขื่อนโดยใช้ระบบระบายน้ำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.3-4



รูปที่ 1.3-4 การเพิ่มความมั่นคงด้วยวิธีระบายน้ำ

(3) การวิเคราะห์ออกแบบแก้ไขการไหลซึม มีขั้นตอนดังนี้

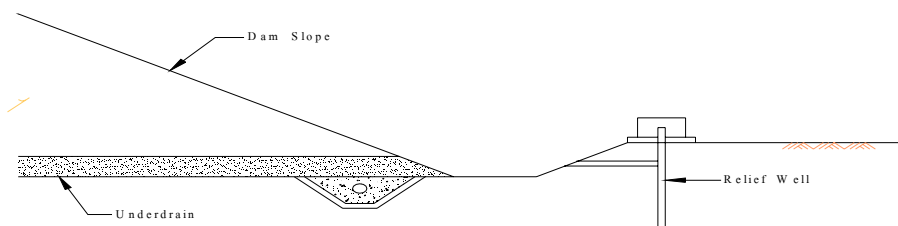
- รวบรวมข้อมูลที่มีอยู่เดิมและที่ได้จากการสำรวจเพิ่มเติม มาทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ

- วิเคราะห์การไหลซึมของเขื่อนเดิม และตรวจสอบโอกาสเกิดการกัดเซาะ โดยพิจารณาแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในรูปของความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient,  $H/L$ ) มีค่าเท่ากับความสูงน้ำ (Head,  $H$ )หารด้วยระยะทางเดินของน้ำ ( $L$ ) การตรวจสอบการกัดเซาะทำได้โดยการพิจารณาค่าความลาดทางชลศาสตร์ที่จุดทางออกหรือบริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ (Exit Hydraulic Gradient) เทียบกับค่าความลาดทางชลศาสตร์วิกฤต (Critical Hydraulic Gradient) ซึ่งมีค่าประมาณ 1 ว่ามีค่าน้อยกว่าหรือไม่ โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนปลอดภัยประมาณ 3 ถึง 4

- กรณีเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ข้างต้นแล้ว ค่าความลาดทางชลศาสตร์ที่บริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำมีค่าสูงไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ต้องดำเนินการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดแรงดันน้ำ ดังนี้

● ออกแบบให้มีระบบระบายน้ำและลดแรงดันน้ำ เช่น ระบบระบายน้ำใต้เขื่อน (Underdrain) ระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อน (Toe Drain) และ บ่อลดแรงดันน้ำ (Relief Well) ดังแสดงในรูปที่ 1.3-5

● ออกแบบให้มีน้ำหนักรัดทับร่วมกับระบบระบายน้ำดังกล่าวข้างต้น



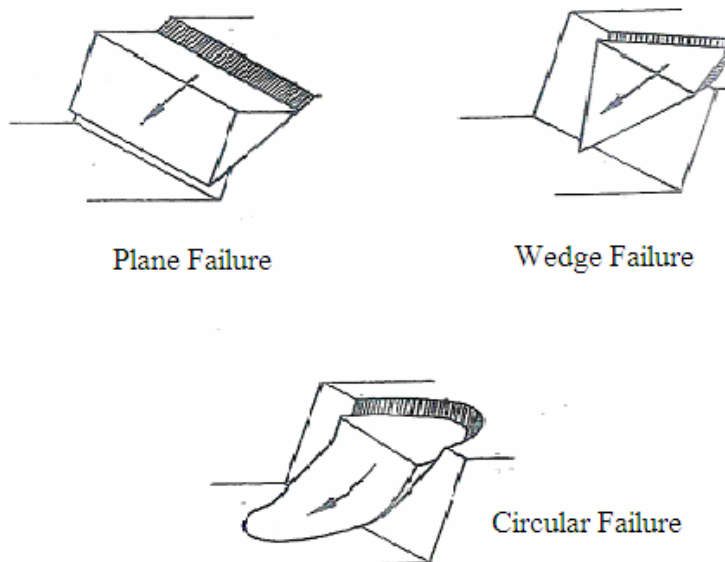
รูปที่ 1.3-5 ระบบระบายน้ำและลดแรงดันน้ำ

## 2. การจัดการด้านเสถียรภาพและธรณีเทคนิคบ่อเหมืองและกองดิน

เนื่องจากการทำเหมืองเปิดต้องมีการขุดลงไปในความลึกจนถึงชั้นแร่ธาตุ ส่วนเปลือกดินที่ปิดทับชั้นแร่ธาตุนั้นก็จะถูกขุดออกไปกองไว้ยังที่ทิ้งดิน โดยบางส่วนจะถูกถมกลับลงไปบ่อเหมือง เมื่อสิ้นสุดการทำเหมืองแล้ว มักจะยังมีบ่อที่ไม่มีมีการถมกลับเหลือทิ้งไว้ และมีกองดินที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มการทำเหมือง ดังนั้นก่อนปิดเหมืองจึงต้องดูแลและตรวจสอบบ่อเหมืองและกองดินให้เกิดเสถียรภาพและสามารถฟื้นฟูเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้

### 2.1 ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพของบ่อเหมือง

การขุดดินหรือหินเพื่อทำเหมืองมักจะมีการตัดผนังบ่อเหมืองให้เป็นระนาบเอียงหรือชันบันได ซึ่งหลังจากทำเหมืองเสร็จสิ้นแล้วผนังบ่อเหมืองก็จะถูกปล่อยทิ้งไว้ และอาจจะเกิดการพังทลายได้ง่าย ซึ่งการพังของผนังบ่อเหมืองมักพบได้เสมอแม้ในขณะดำเนินการอยู่ ลักษณะการพัง (Failure) ที่เกิดขึ้นในระนาบเอียงมีหลายรูปแบบและที่มักพบบ่อยได้แก่ การพังในแนวระนาบ (Plane Failure) การพังแบบลิ้ม (Wedge Failure) และการพังแบบโค้ง (Circular Failure) ดังแสดงในรูปที่ 2.1-1 โดยการพังแบบระนาบและแบบลิ้มนั้นมักเกิดในหิน ส่วนการพังแบบโค้งมักเกิดกับดิน หินร่วน หรือเศษหิน



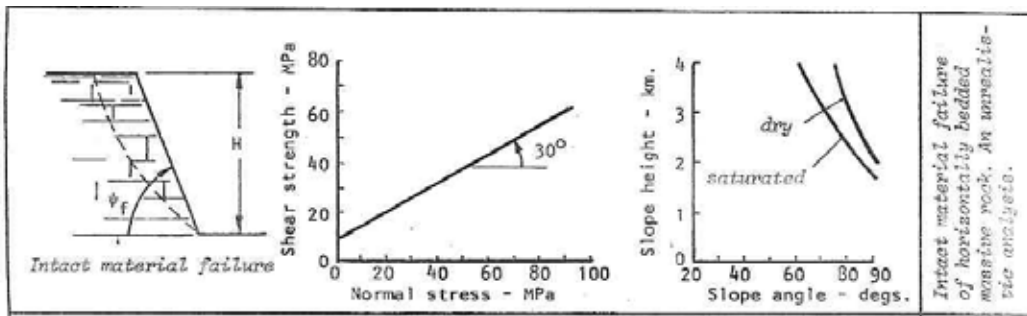
รูปที่ 2.1-1 ลักษณะของการพังแบบต่าง ๆ ในระนาบเอียง (Hoek & Bray, 1981)

โดยปกติแล้วเมื่อทำการตัดระนาบเอียงมักจะมีคำถามว่าจะตัดให้หน้าเอียงเท่าไรและสูงเท่าไร จึงจะทำให้ระนาบเอียงนั้นไม่พังลงมา ในการที่จะตอบคำถามนี้ได้จะต้องมีการเก็บข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุและของพื้นที่ที่จะตัดระนาบ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยละเอียด ซึ่งต้องอาศัยผู้ที่เชี่ยวชาญเฉพาะในเรื่องนี้ โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำมาวิเคราะห์ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำ ความแข็งแรงเฉือนของวัสดุ (Shear strength) ความฝืดหรือแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Cohesion) ความหนาแน่น (Density) มุมเสียดทานภายใน (Internal friction angle) ลักษณะโครงสร้างในหิน เช่น รอยแตก และรอยแยก ข้อมูลเหล่านี้ล้วนแต่จำเป็นที่จะช่วยชี้ว่าควรจะตัดระนาบเอียงให้สูงและเอียงเท่าไร ซึ่งความสูงและความเอียงนั้นก็มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกัน โดยจะเป็นความสัมพันธ์แบบผกผัน คือ เมื่อระนาบเอียงสูงมากก็จะต้องมีความเอียงหรือความชันต่ำ

Hoek & Bray (1981) ได้แสดงความสัมพันธ์อย่างกว้างๆ สำหรับความสัมพันธ์ของความสูงและความเอียงของระนาบเอียงไว้ โดยการใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงเฉือนของหินทำให้ได้ค่าความฝืด (Cohesion) และมุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณ ทั้งนี้ในความเป็นจริงอาจจะมีช่วงตั้งแต่ 0.5-50 MPa ค่ามุมเสียดทานที่ทดสอบได้จะมีช่วงประมาณ 10-45 องศา ความสัมพันธ์ดังกล่าวเกิดจากการประมาณโดยถือเป็นค่าวิกฤติ คือมีอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) เท่ากับ 1 ซึ่งในทางปฏิบัติจริงต้องเผื่อค่าความปลอดภัยไว้สูงกว่านี้ คือประมาณ 1.5-2.0 โดยสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในการปรับเสถียรภาพสำหรับประเภทของหินหรือดินโดยทั่วไป ที่อาจจะจำแนกได้กว้างๆ เป็น 5 ประเภทดังนี้

### 1) หินเนื้อแน่น (Intact Rock)

สำหรับหินเนื้อแน่น (Intact Rock) ที่มีลักษณะเป็นมวลหิน (Massive Rock) และเป็นชั้นในแนวระนาบ (รูปที่ 2.1-2) จะมีลักษณะการพังตามแนวที่ค่อนข้างอ่อนเป็นรอยแตกหรือรอยต่อระหว่างหินแต่ละบล็อก ในกรณีนี้เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงเฉือนของหิน (Shear Strength) แล้ว ถ้าได้ค่าใกล้เคียงกับภาพที่วิเคราะห์ได้คือ มีมุมเสียดทานภายใน (Friction Angle) ประมาณ 30 องศา และมีค่าความฝืด (Cohesion) ประมาณ 10 MPa แล้วสามารถใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงชันและความสูงได้ โดยจะพบว่า ณ ที่วัสดุมีความชื้นจนอิ่มตัว (Saturated) ได้ค่าความสูงประมาณ 4,000 เมตรโดยมีความชันประมาณ 60 องศา การวิเคราะห์สำหรับหินชนิดนี้เป็นการวิเคราะห์แบบอุดมคติ และถ้าตัดระนาบให้มีความสูงลดลงก็สามารถที่จะเพิ่มความชันได้

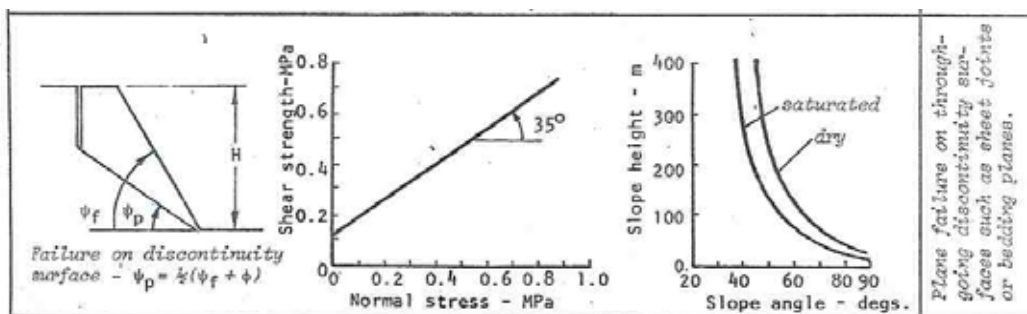


หมายเหตุ  $\Psi_f$  ความลาดชันของหน้าเหมืองหรือหน้างาน

รูปที่ 2.1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินเนื้อแน่น  
(Hoek & Bray, 1981)

## 2) หินที่มีรอยแตก 1 แนวเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น

การพังทลายของวัสดุพหุหินที่มีรอยแตกเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นนั้นมักจะพังตามรอยแตกหรือตามชั้น ถือว่าเป็นการพังทลายแบบระนาบ (รูปที่ 2.1-3) และในสภาวะที่วิเคราะห์ความแข็งแรงเฉือนของวัสดุได้ตามรูปคือ ค่ามุมเสียดทานภายในประมาณ 35 องศาและความผิดเท่ากับ 1 MPa แล้วสามารถใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมุมของระนาบเอียงได้ โดยจะต้องเลือกใช้ว่าวัสดุอยู่ในสถานะเปียกชื้นจนอิ่มตัวหรือแห้ง ในสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นและมีฝนตกมากควรใช้กราฟสำหรับวัสดุชื้น (Saturated) ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลของหินดังกล่าวจะได้ค่าความสูงประมาณ 400 เมตร โดยมีความเอียงได้ประมาณ 35 องศา



หมายเหตุ  $\Psi_f$  ความลาดชันของหน้าเหมืองหรือหน้างาน

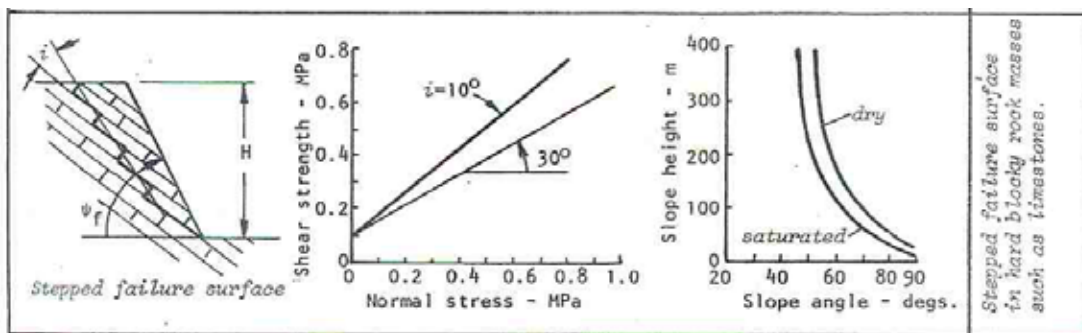
$\Psi_p$  ความลาดชันของระนาบพังทลาย

$\Phi$  มุมเสียดทานภายใน

รูปที่ 2.1-3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินที่มีรอยแตก 1 แนว เป็นแผ่นหรือเป็นชั้น (Hoek & Bray, 1981)

### 3) หินแข็งที่มีรอยแตกและแตกเป็นบล็อก

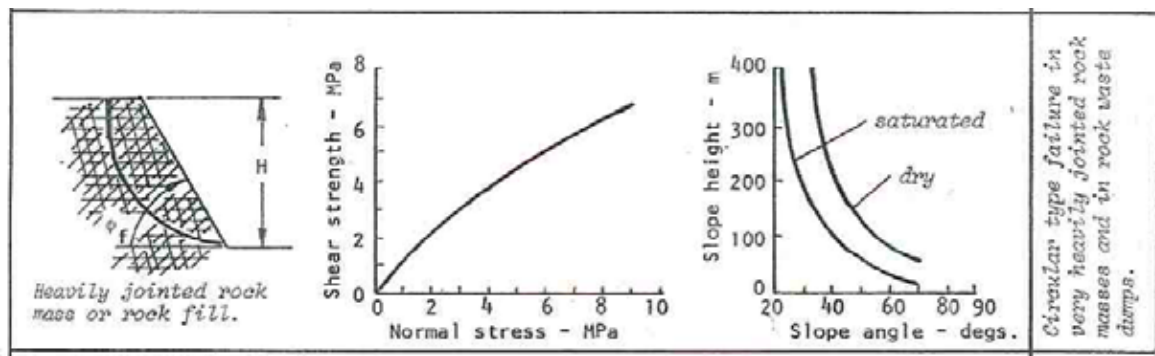
สำหรับหินแข็งที่มีรอยแตกหลายแนว ทำให้เกิดลักษณะการแตกเป็นบล็อกเช่นหินปูน ลักษณะการพังทลายมักจะเป็นแบบชั้นบันไดตามรอยต่อของบล็อก (รูปที่ 2.1-4) การตัดระนาบเอียงก็ต้องทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงเฉือน ซึ่งจะทำให้ได้ค่าของมุมเสียดทานภายในและมุมเสียดทานของรอยขรุขระด้วย และในกรณีที่ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ที่ได้ในรูป คือได้ค่าความฝืดประมาณ 0.1 MPa และมุมเสียดทานประมาณ 30 องศา สำหรับกรณีที่อึดตัวด้วยน้ำจะได้ค่าความสูงประมาณ 400 เมตร โดยมีมุมเอียงประมาณไม่เกิน 40 องศา ซึ่งถ้าลดความสูงลงมากก็จะได้ความชันมากขึ้นดังความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.1-4



รูปที่ 2.1-4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินแข็งที่มีรอยแตกและมีการแตกเป็นบล็อก (Hoek & Bray, 1981)

### 4) หินที่มีรอยแตกมากและกองหิน

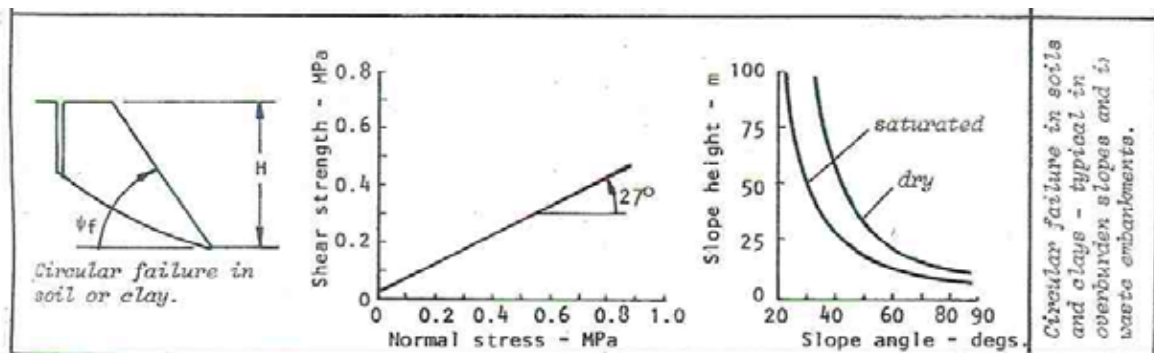
ลักษณะการพังทลายของหินชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-5 เป็นการพังแบบโคลงคล้ายๆ ดิน ในการทดสอบและวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงเฉือนนั้น ส่วนมากจะไม่พบค่าความฝืดแต่พบมุมเสียดทานภายในบ้าง ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมุมเอียงตามที่แสดงในกราฟนั้นพอประมาณได้คือ กรณีที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง มีค่าความสูงประมาณ 300 เมตร และความเอียงไม่เกิน 20 องศา และถ้าลดความสูงลงมากอาจได้มุมที่มีความเอียงสูงกว่านี้



รูปที่ 2.1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับหินที่มีรอยแตกมากหรือกองหิน (Hoek & Bray, 1981)

## 5) ดินหรือดินเหนียว

กรณีที่ดินเป็นดิน ดินเหนียว หรือดินถมที่อัดแน่น การพังทลายจะเกิดแบบโค้ง (รูปที่ 2.1-6) สำหรับการทดสอบและวิเคราะห์ที่ได้ค่ามุมเสียดทานภายในประมาณ 27 องศา และความฝืดประมาณ 0.02 MPa ทำให้สามารถประมาณค่าได้ ในกรณีที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ คือความสูงประมาณไม่เกิน 100 เมตร ค่ามุมเอียงไม่เกิน 20 องศา และเมื่อความสูงลดลงมาถึง 25 เมตร อาจทำให้มุมเอียงได้ประมาณ 40 องศา



รูปที่ 2.1-6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงและความสูงของระนาบเอียง สำหรับดินหรือดินเหนียว (Hoek & Bray, 1981)

## 2.2 ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพของกองที่ทิ้งดินหิน

สำหรับกองเปลือกดินหรือหินสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและความเอียงได้โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่กองเปลือกดินที่กล่าวถึงนี้ต้องมีการถมโดยการอัดแน่นให้ถูกต้องตามวิธีการ ซึ่งจะต้องปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะเช่นเดียวกัน

โดยทั่วไปการออกแบบที่ทิ้งดิน ควรอยู่ห่างจากขอบบ่อเหมืองไม่น้อยกว่า 100 เมตร ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของกองดินและผนังบ่อ การคำนวณขนาดพื้นที่จะขึ้นอยู่กับค่าความฟูของดินชุด ดินทั่วไปจะฟูขึ้นมา 10-60% จากสภาพอัดแน่นตามธรรมชาติ ถ้าเป็นหินแข็งที่ผ่านการระเบิดอาจจะมีปริมาณฟูขึ้น 30-45% และในการถมกลับและบดอัดจะทำให้กองดินและหินลดปริมาตรลง กองดินทั้งแบบชั้นเดียวโดยทั่วไปจะมีค่าความลาดชันตามมุม Angle of Repose ตามธรรมชาติ ซึ่งมักจะมีค่าประมาณ 34-40 องศา ขึ้นกับชนิดของดิน

การควบคุมผลกระทบจากที่ทิ้งดิน ในแง่ของเสถียรภาพกองดิน คือ

- การออกแบบด้านเสถียรภาพต้องอยู่ภายใต้การควบคุมของวิศวกร ใช้ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย 1.3-1.5
- มีระบบระบายน้ำที่ดี เพื่อป้องกันการกัดเซาะ ใช้หิน Riprap หรือปลูกพืชคลุมดินในบริเวณที่เกิดการชะล้างพังทลาย
- ห้ามถมดินลงบนพื้นที่ตามธรรมชาติที่มีความลาดชันมากกว่า 36%
- พื้นผิวด้านบนของกองดินไม่ควรมีความลาดชันเกิน 3-5%
- การทิ้งดินหลายชั้น ไม่ควรให้ความสูงของแต่ละชั้นมากกว่า 15-20 เมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะคุณสมบัติของดินและพื้นที่
- ห้ามปลูกสร้างสิ่งปลูกสร้างใดๆ บนที่ทิ้งดิน

## 2.3 ขั้นตอนการดำเนินการให้เกิดเสถียรภาพ

การดำเนินการให้เกิดเสถียรภาพของผนังบ่อเหมืองและกองดินที่ถมอัดแน่นแล้วมีดังนี้คือ

- 1) สำรวจและตรวจสอบสภาพปัจจุบันและย้อนหลังของข้อมูลผนังบ่อเหมืองและกองดินว่ามีเสถียรภาพหรือไม่ และเคยเกิดการพังทลายหรือไม่
- 2) ตรวจสอบข้อมูลด้านเสถียรภาพและการออกแบบความสูงและความชันของผนังบ่อเหมืองและกองดินจากหน่วยงานที่ได้ดำเนินการทำเหมืองมาแล้ว
- 3) เมื่อต้องการปรับเสถียรภาพของผนังบ่อเหมืองและกองดินเพื่อความปลอดภัยหรือเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านหรืออาจใช้แนวทางที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ต้องพึงระวังว่าแนวทางดังกล่าวเป็นค่าที่ได้โดยการประมาณการอย่างกว้างๆ เท่านั้น และค่าที่ได้เกิดจากการคำนวณที่คิดค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety ) วิกฤต เท่ากับ 1 ซึ่งในทางปฏิบัติจริงต้องเผื่อค่าความปลอดภัยไว้สูงกว่านี้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงไม่เหมาะสมกับเหตุการณ์จริง เพราะปัจจัยหลักที่สำคัญคือคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ ดังนั้นจึงต้องทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุก่อนนำไปคำนวณและออกแบบต่อไป
- 4) การเก็บตัวอย่างและทดสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรมนั้นควรทำอย่างถูกวิธีและถูกต้องตามหลักการและทฤษฎีในการเก็บตัวอย่างและการทดสอบนั้นๆ

5) นำผลวิเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบซึ่งส่วนมากจะเป็นค่าของความแข็งแรงของดินและหิน เช่น ความฝืด มุมเสียดทานภายใน ค่าความหนาแน่น และข้อมูลด้านน้ำมาคำนวณวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมุมเอียง (ความชัน) ของผนังบ่อเหมืองและกองดินถม ซึ่งในการวิเคราะห์และการออกแบบนั้นมักกำหนดให้ค่าอัตราความปลอดภัยมากกว่า 1 คือประมาณ 1.5 ขึ้นไป แล้วแต่ความเหมาะสมตามมาตรฐานในการใช้ประโยชน์นั้นๆ ในอนาคต เช่น ถ้าต้องการนำบ่อเหมืองไปทำที่กักเก็บน้ำต้องศึกษาวิเคราะห์ให้ละเอียดในด้านที่มีการถล่มกลับของดินที่เป็นผนังบ่อว่าได้ทำการถมให้ถูกต้องตามมาตรฐานของการถมดินเพื่อทำเขื่อนดินหรือไม่ และถ้าได้กระทำโดยถูกต้องแล้วก็อาจใช้มาตรฐานอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินในประเทศมาเปรียบเทียบได้ ดังตารางที่ 2.3-1 แสดงอัตราส่วนตัวอย่างมาตรฐานของค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของการขุดเหมืองหรือตัดลาดดินธรรมชาตินั้น BRITAIN (National Coal Board, 1970) และ CANADA (Mines Branch, CANADA, 1972) ได้แนะนำค่าระหว่าง 1.1-1.5 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของชั้นดินและสภาพแวดล้อมของความเสี่ยง

ตารางที่ 2.3-1 อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินในประเทศ

| กรณี | การออกแบบ                                     | เงื่อนไข             | เขื่อนใหญ่ | เขื่อนเล็ก |
|------|-----------------------------------------------|----------------------|------------|------------|
| 1    | เพื่อก่อสร้างเสร็จ<br>(End of Construction)   | Static<br>Earthquake | 1.3<br>1.1 | 1.5<br>-   |
| 2    | ระดับน้ำสูงสุด<br>(Maximum water level)       | Static<br>Earthquake | 1.5<br>1.1 | 1.5<br>-   |
| 3    | ระดับเก็บกักปกติ<br>(Normal water level)      | Static<br>Earthquake | 1.5<br>1.2 | 1.5<br>-   |
| 4    | ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว<br>(Rapid Drawdown)    | Static<br>Earthquake | 1.3<br>1.1 | 1.3<br>-   |
| 5    | ระดับน้ำปานกลาง<br>(Intermediate water level) | Static<br>Earthquake | 1.5<br>1.2 | -<br>-     |

หมายเหตุ\* Static คือ กรณีที่ไม่มีแผ่นดินไหว

Earthquake คือ กรณีที่นำเอาแรงจากแผ่นดินไหวมาคิดรวมด้วย

ที่มา : วรากร ไผ่เรียง 2542 วิศวกรรมเขื่อนดิน พิมพ์ครั้งที่ 2 หน้า 5-58

## 2.4 แนวทางการป้องกันหรือปรับปรุงเสถียรภาพ

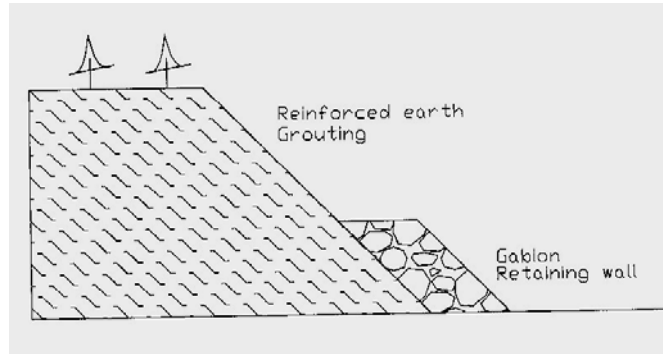
การป้องกันหรือการปรับปรุงเสถียรภาพมีอยู่ 3 วิธีการหลัก คือ

1) การระบายน้ำได้ดินออก เป็นการลดแรงดันน้ำที่กระทำต่อแนวที่ไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงเฉือนของมวลหิน การระบายน้ำกระทำได้หลายวิธี เช่น Drainage Tunnels, Pumping Well Systems, Horizontal Drains นอกจากนี้ การควบคุมและเบี่ยงเบนน้ำผิวดินออก

จากพื้นที่เสี่ยงต่อการพังทลายก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพในทางอ้อมไม่มากนักน้อย เช่นการป้องกันไม่ให้หน้าผาดินไหลลงในรอบแตก (Tension Cracks, Fissures) เป็นต้น

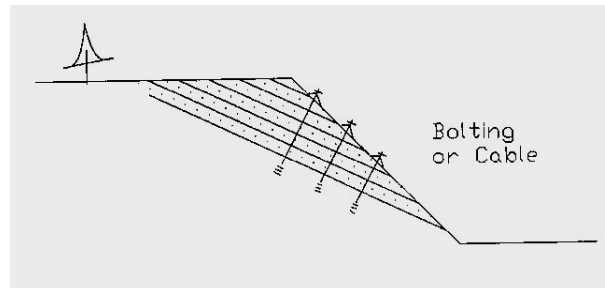
2) การใช้อุปกรณ์ยึดหรือสิ่งก่อสร้างเสริม เช่น

2.1) กำแพงกันดินหรือหิน (Toe Buttress or Retaining Wall) โดยใช้หินถมกลับ (Backfill) หรือก่อสร้างเป็นกำแพงยันบริเวณส่วนล่างของหน้าผา รูปที่ 2.4-1



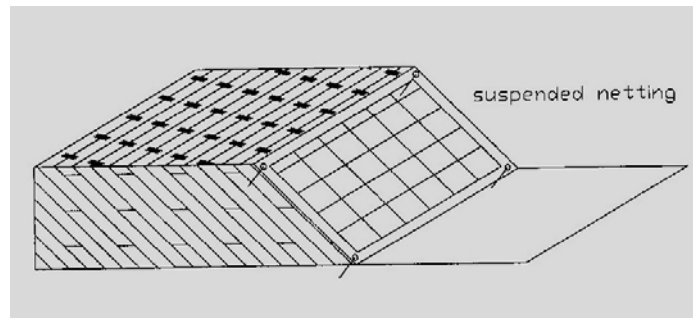
รูปที่ 2.4-1 การป้องกันการพังทลายโดยใช้หินถมและการ Grouting

2.2) การใช้อุปกรณ์ เช่น Cable Bolts, Pre-stressed Cable เป็นตัวช่วยเพิ่มความเสถียรทานให้กับหิน เพื่อทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวไม่ให้หินเลื่อนไถลงมา รูปที่ 2.4-2



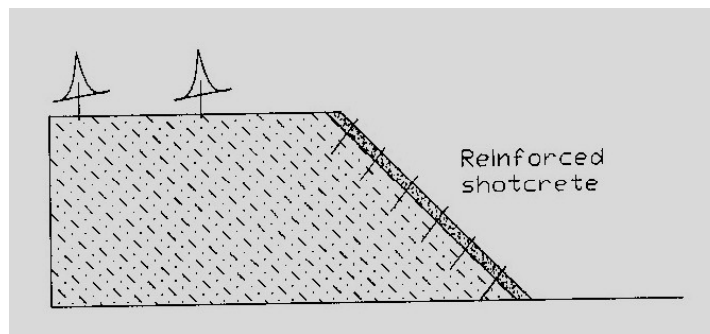
รูปที่ 2.4-2 การป้องกันการพังทลายโดยใช้ Bolting หรือ Cable

2.3) การใช้ตาข่ายเหล็ก (Steel Net) คลุมบริเวณที่ไม่เสถียรภาพ เช่นบริเวณหน้าผาหินที่มีรอยแตกกร้าว รูปที่ 2.4-3



รูปที่ 2.4-3 การป้องกันการพังทลายโดยใช้ตาข่าย

2.4) การใช้ปูนซีเมนต์หรือสารเคมีอุดช่องว่างหรือรอยแยกระหว่างหิน รูปที่ 2.4-4



รูปที่ 2.4-4 การป้องกันการพังทลายโดยใช้คอนกรีต

## 2.5. การควบคุมการกร่อนหรือการพังทลายของดินในพื้นที่เหมืองแร่

เนื่องจากเนื้อดิน (Soil) และที่ดิน (Land) ถือเป็นทรัพยากรธรรมชาติอย่างหนึ่งที่เป็นผลจากการสลายตัวของหิน มีความสำคัญต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่ดินซึ่งประกอบด้วย อินทรีย์วัตถุแร่ธาตุต่างๆ และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางการผลิตพืชผลทางการเกษตรและป่าไม้ การป้องกันและควบคุมการกร่อนหรือการพังทลายของดิน (Erosion) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้คงมีธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชอย่างสม่ำเสมอตลอดไป

### 2.5.1 การกร่อนของดิน (Soil Erosion)

การกร่อนของดินหมายถึง กระบวนการที่ดินและแร่ธาตุอาหารในดินถูกชะล้างและพัดพาไปโดยน้ำลม หรือแรงดึงดูดของโลก แบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1) การกร่อนในธรรมชาติ (Geological or Natural or Normal Erosion) เป็นการเซาะกร่อนที่เกิดขึ้นเองภายใต้สภาพแวดล้อมและสิ่งปกคลุมตามธรรมชาติ การเซาะกร่อนประเภทนี้เป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป โดยมีทั้งน้ำเป็นตัวการ เช่น การชะล้างภายใน (Leaching) แผ่นดินถล่ม (Landslides) และมีลมเป็นตัวการ เช่น การเซาะกร่อนโดยลมตามชายฝั่งทะเล หรือในทะเลทราย การเซาะกร่อนประเภทนี้ใช้เวลานับล้านปี ทำให้เกิดลักษณะต่างๆ บนพื้นผิวโลก เช่น ห้วยธาร หุบเขา กระบวนการนี้มนุษย์จะไปควบคุมหรือบังคับไม่ให้เกิดขึ้นไม่ได้

2) การกร่อนที่มีตัวเร่ง (Accelerated or Man-made Erosion) หมายถึง การกร่อนที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ส่วนใหญ่เนื่องมาจากฝีมือของมนุษย์ในการแปรเปลี่ยนสภาพสิ่งปกคลุมดิน และทำลายสภาพของดิน เช่น การแผ้วถางป่า การทำถนน การทำเกษตร การก่อสร้าง การทำเหมืองแร่ ซึ่งล้วนก่อให้เกิดการกร่อน หรือทำให้ดินพังทลายทั้งสิ้น การกร่อนที่มีตัวเร่งนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก การกร่อนสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก) การกร่อนโดยน้ำ (Water Erosion) หมายถึง น้ำเป็นตัวการสำคัญ (Erosive Agent) ที่ทำให้เกิดการเซาะกร่อนและการพัดพาดินให้สูญเสียไป กระบวนการนี้มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ขีดความสามารถในการกัดเซาะของน้ำที่เรียกว่า Detachability ซึ่งทำให้อนุภาคของดินแตกตัวหลุดออกจากกัน ต่อจากนั้นก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนย้ายเอาอนุภาคของดินที่ถูกกัดเซาะให้ไหลลอยไปกับน้ำที่เรียกว่า Transportability โดยปกติแล้ว Soil Detachability จะมีมากขึ้น ถ้าหากอนุภาคของดินมีขนาดโตขึ้น แต่ Soil Transportability จะมีมากขึ้นเมื่ออนุภาคของดินมีขนาดเล็กลง ขั้นสุดท้ายของกระบวนการกร่อนก็คือ การตกตะกอน หรือที่เรียกว่า Deposition หรือ Sedimentation เนื่องจากความเร็วของน้ำไหลช้าลงหรืออนุภาคของดินไปปะทะกับสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกั้นน้ำ หรือบริเวณปากแม่น้ำต่างๆ ทำให้เกิดการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อน หรือเกิดเป็นสันดอนตามปากแม่น้ำทั่วไป การกร่อนโดยน้ำแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

(1) การเซาะกร่อนจากความแรงของเม็ดฝน (Splash Erosion) ในเวลาที่ฝนตกความแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบผิวดินทำให้อนุภาคของดินกระเด็นหลุดออกจากกันและถูกน้ำพัดพาไหลไปในที่สุดจากการศึกษาทดลองพบว่า แรงปะทะของเม็ดฝนทำให้สูญเสียดินมากกว่าการถูกชะล้างโดยน้ำที่ไหลไปตามหน้าดิน (Surface Runoff ) ประมาณ 50-90 เท่า หากฝนตกแรงมากๆ ในบริเวณพื้นดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุม อนุภาคของดินจะถูกชะล้างให้หลุดลอยไป 40 ตันต่อพื้นที่ 1 ไร่ (Hewlett and Nutter, 1969) ขนาดของเม็ดฝนและความเร็วที่ตกลงมาปะทะดิน นับว่าสำคัญมาก เพื่อชี้ให้เห็นว่าแรงปะทะของเม็ดฝนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เม็ดดินแตกกระจาย และเป็นเหตุเริ่มต้นของการเกิดการเซาะกร่อน ไม่ใช่ น้ำที่ไหลไปตามผิวดิน ซึ่งทำหน้าที่เพียงพัดพาเอาดินที่แตกกระจายให้เคลื่อนที่ไปเท่านั้น ไม่ได้ทำหน้าที่กัดเซาะโดยตรง และถึงแม้จะมีบ้างก็น้อยกว่าการกระทำของเม็ดฝนเป็นอันมาก ดังพิจารณาได้จากตัวอย่าง และสมการต่อไปนี้ :

จากสมการพลังงานจลน์ ( Kinetic energy )

$$Ke = \frac{1}{2} W V^2$$

$$Ke = \text{พลังงานจลน์}$$

$$W = \text{น้ำหนักของน้ำ}$$

$$g = \text{ความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก}$$

$$V = \text{ความเร็ว}$$

สมมุติว่ามีฝนตกหนักลงบนพื้นที่ว่างเปล่าซึ่งมีเนื้อที่หนึ่งตารางฟุตโดยไม่มีการไหลซึมลงดินแต่อย่างใด ปรากฏว่าวัดน้ำได้สูงจากพื้นดิน 1 นิ้ว สมมุติว่าน้ำจำนวนนี้ไหลไปตามผิวหน้าดินด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงสุด 0.5 ฟุตต่อวินาที การคำนวณหาพลังงานจลน์ของฝนที่ตกกับของน้ำที่ไหลเป็นฟุต-ปอนด์ โดยค่าความเร็วของฝนที่ตกดูได้จากตารางที่ 2.5-1 ค่าความเร่งเท่ากับ 32.2 ฟุต / (วินาที)<sup>2</sup> และปริมาณน้ำ 1 ลบ ฟุต หนักเท่ากับ 62.4 ปอนด์ อธิบายได้ดังนี้

ตาราง ที่ 2.5-1 คุณสมบัติของฝนชนิดต่าง ๆ

| ชนิดของฝน   | ความหนักเบา<br>(นิ้ว/ชม.) | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง<br>ของเม็ดฝน (นิ้ว) | ความเร็ว<br>(ฟุต/วินาที) |
|-------------|---------------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| ฝนตกปรอยๆ   | <0.01                     | <0.02                                    | 14                       |
| ฝนตกปานกลาง | 0.05-0.15                 | 0.05-0.06                                | 16                       |
| ฝนตกหนัก    | 0.60-4.00                 | 0.10-0.25                                | 25                       |

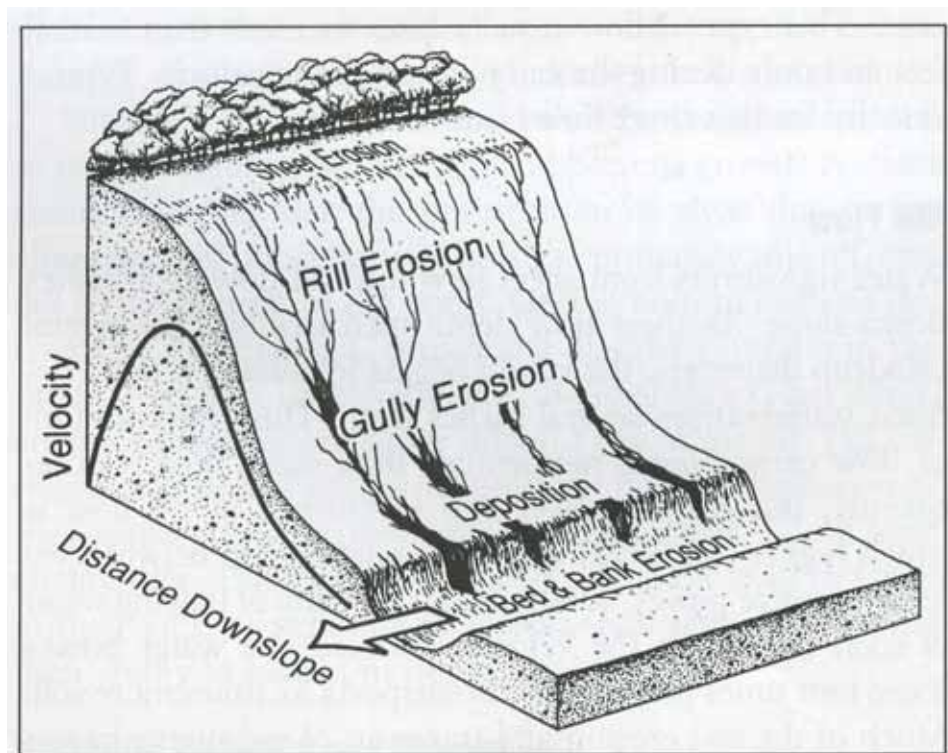
$$\begin{aligned} \text{เนื้อที่ฝนตก} &= 1 \text{ ตร.ฟุต} \\ \text{ฝนตกวัดได้} &= 1/12 \text{ ฟุต} \\ \text{ปริมาตรน้ำฝน} &= 1/12 \text{ ลบ.ฟุต} \\ \text{น้ำหนักของน้ำฝน} &= 1/12 \times 62.4 = 5.2 \text{ ปอนด์} \\ \text{พลังงานของฝน} &= 1/2 \times 5.2 \text{ ปอนด์} (25 \text{ ฟุต/วินาที})^2 \\ &= 32.2 \text{ ฟุต/(วินาที)}^2 \\ &= 50.47 \text{ ฟุต-ปอนด์} \\ \text{พลังงานของน้ำที่ไหล} &= 1/2 \times 5.2 \text{ ปอนด์} (0.5 \text{ ฟุต/วินาที})^2 \\ &= 32.2 \text{ ฟุต/(วินาที)}^2 \\ &= 0.02 \text{ ฟุต-ปอนด์} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าพลังงานจลน์ของฝนที่ตกกระทบดินมีมากกว่าของน้ำที่ไหลตามหน้าดินถึง 2,500 เท่า เมื่อระดับความลึกของน้ำเท่ากัน คือ 1 นิ้ว เป็นการอธิบายให้เห็นชัดเป็นอย่างดีว่าเม็ดฝนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ดินพังทลาย ส่วนน้ำที่ไหลตามหน้าดินทำหน้าที่เพียงพัดพาดินที่ถูกฝนกัดชะแล้วให้ไหลไปเท่านั้น

(2) การเซาะกร่อนแบบผิวหน้าเรียบ (Sheet Erosion) เกิดจากแรงปะทะเม็ดฝนประกอบกับการไหลบ่าของน้ำ ทำให้ผิวหน้าดินถูกชะล้างไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งพื้นที่ ส่วนมากหากไม่สังเกตก็จะไม่ทราบว่าเกิดการกัดเซาะ จะทราบก็ต่อเมื่อความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกชะล้างไปหมดสิ้นแล้ว โดยเฉพาะที่ดินต้นและร่วนมักจะง่ายต่อการเซาะกร่อนแบบนี้ ดังรูปที่ 2.5-1

(3) การเซาะกร่อนแบบริ้ว (Rill Erosion) เป็นขบวนการต่อเนื่องจากการเซาะกร่อนแบบที่สองเมื่อฝนตกมากๆ เข้า ปริมาณน้ำจะรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำทำให้เกิดเป็นร่องน้ำเล็กๆ มักเกิดในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความลาดเทเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอ ความกว้างและความลึกของริ้วมีขอบเขตจำกัด คือกว้างไม่เกิน 18 นิ้ว (45 ซม.) และลึกไม่เกิน 12 นิ้ว (30 ซม.) ริ้วรอยเล็กๆ ที่ถูกกัดชะนี้จะไถลกลบให้หายไปได้โดยง่ายด้วยเครื่องมือไถพรวนแบบธรรมดา

(4) การเซาะกร่อนแบบร่อง (Gully Erosion) เป็นการเซาะกร่อนที่ลึก กว้าง และรุนแรงกว่าการเซาะกร่อนแบบริ้ว เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นที่ลาดชันมาก หรือมีด้านลาดเทยาว หรืออาจเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสม สภาพดินโดยทั่วไปง่ายต่อการพังทลายเมื่อมีฝนตกแรงและนาน อำนาจการชะล้างของน้ำจึงมีมากขึ้น ทำให้ดินถูกพัดพาไปเป็นจำนวนมาก ร่องน้ำนี้เองเป็นจุดกำเนิดของลำธาร ที่เรียกว่า Intermittent Stream



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

รูปที่ 2.5-1 การเซาะกร่อนแบบต่าง ๆ

(5) การกร่อนในลำน้ำ (Stream Channel Erosion) ได้แก่ การพังทลายของดินริมตลิ่ง และดินที่อยู่ในท้องน้ำ แตกต่างไปจากการเซาะกร่อนแบบร่อง โดยการพังทลายลักษณะนี้เกิดขึ้นตอนล่างของลำน้ำ ปกติมักจะเป็นลำน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี (Perennial Stream) และมีความลาดชันน้อย การพังทลายของดินสองข้างลำน้ำอาจเกิดจากน้ำข้างบนไหลเซาะลงไป หรือเนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำกัดเซาะตลิ่งให้พังลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกร่อนโดยน้ำ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ประการ คือ

- ความสามารถของฝนในการกัดเซาะ (Precipitation Erosivity) หมายถึง การเซาะกร่อนจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝน เช่น ความหนักเบา ระยะเวลา ปริมาณน้ำฝน ขนาด ความเร็ว ชนิดและการแผ่กระจายของฝนในแต่ละฤดูกาล

- ความสามารถของดินที่ทนต่อการเซาะกร่อน (Soil Erodability) หมายถึง คุณสมบัติของดินที่ยากหรือง่ายต่อการถูกกัดเซาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน แรงจับตัวกันระหว่างอนุภาคของดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

- สภาพสิ่งปกคลุมผิวดิน (Cover Condition) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วสิ่งปกคลุมดินที่มีความหนาแน่นมากและติดต่อกันตลอด ย่อมจะป้องกันการเซาะกร่อนของดินได้ดี จากการวิจัยพบว่า เพื่อป้องกันอันตรายจากการสูญเสียดินและการไหลบ่าของน้ำหน้าดิน ควรรักษาให้มีพืชคลุมดินอย่างน้อย 70 %

- ความชันและความยาวของด้านลาด (Steepness and Length of Slopes) บริเวณใดก็ตาม ถ้าสภาพอื่นๆ เหมือนกันหมด ที่ที่มีความลาดชันมากย่อมจะเกิดการพังทลายของดินได้มากกว่าที่ลาดชันน้อย ความยาวของด้านลาดจะทวีความรุนแรงของน้ำที่ไหลบ่า ทำให้อนุภาคของดินถูกพัดพาไปได้โดยง่าย การใช้ประโยชน์ที่ดินบนภูเขาที่มีความลาดชันจึงควรจะได้พิจารณาเรื่องนี้เสียก่อน

**ข) การเซาะกร่อนโดยลม (Wind Erosion)** การเซาะกร่อนโดยลมไม่เหมือนกับการเซาะกร่อนโดยน้ำ อัตราการเซาะกร่อนแตกต่างกันไปตามความรุนแรงของลม และสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นๆ ปกติมักจะเกิดขึ้นตามชายฝั่งทะเล และบริเวณที่เป็นทะเลทราย การเซาะกร่อนโดยลมแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ การกระดอน (Saltation) การฟุ้งกระจาย (Suspension) และการกลิ้งไปบนผิวดิน (Surface Creep) การเซาะกร่อนทั้ง 3 ชนิด จะเกิดเป็นขบวนการต่อเนื่องกัน อนุภาคของดินที่ถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปนี้ จะเกิดการกระดอนขึ้นลง สูงจากพื้นดินไม่เกิน 3 ฟุต ถ้าสูงกว่านี้จะเคลื่อนที่ด้วยการฟุ้งกระจาย การเคลื่อนที่ของอนุภาคของดินทั้ง 3 ชนิดนี้ จะเกิดขึ้นใกล้ๆ กับผิวดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า ดินจะสูญเสียไปโดยการกระดอนมากที่สุด คือ ระหว่างร้อยละ 55 ถึง 72 โดยการฟุ้งกระจายระหว่างร้อยละ 3 ถึง 38 และโดยการกลิ้งไปบนผิวดินระหว่างร้อยละ 7 ถึง 25 ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเซาะกร่อนโดยลม ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดิน และพืชคลุมดิน สำหรับสภาพภูมิประเทศที่มีอิทธิพลต่อขบวนการเซาะกร่อนโดยลมเป็นส่วนน้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) สภาพภูมิอากาศ มีอิทธิพลต่อการเซาะกร่อนโดยลม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ลม และฝน ปริมาณและการกระจายของฝนที่มีอิทธิพลต่อความชื้นในดิน นับว่ามีความสำคัญเป็นอันดับแรก ส่วนอุณหภูมิความชื้นและลมเป็นปัจจัยที่ช่วยให้เกิดการระเหยและการคายน้ำ เป็นเหตุให้ความชื้นในดินลด

น้อยลง ทำให้ง่ายต่อการชะกร่อนโดยลมยิ่งขึ้น ส่วนลักษณะของลมที่มีผลโดยตรงต่อการสูญเสียดิน ได้แก่ ความเร็วของกระแสลม ระยะเวลาที่ลมพัด และการหมุนเวียนปั่นป่วน (Turbulence) ของลม

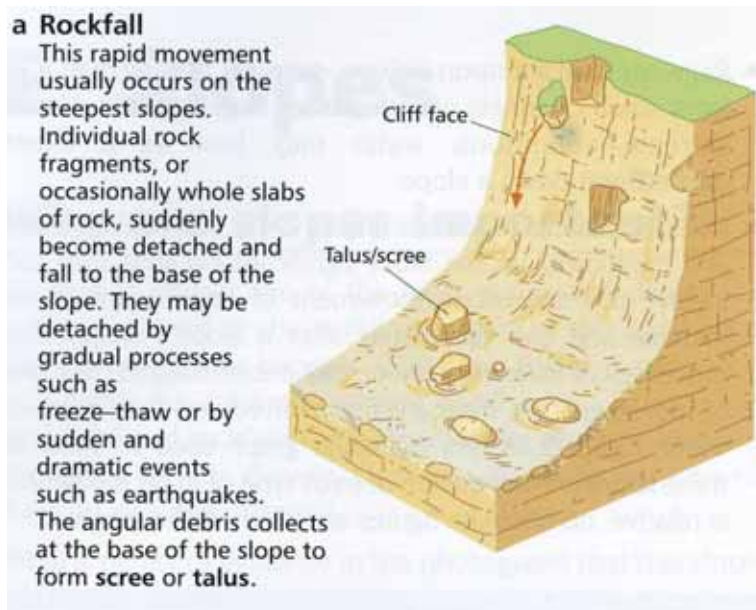
(2) คุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการชะกร่อนโดยลม ได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้าง แรงดึงดูดระหว่างดินกับน้ำในดิน ความโปร่งซุย (Bulk Density) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความชื้นของผิวดิน และลักษณะของผิวน้ำดิน ความชื้นที่ผิวดินนับว่าสำคัญยิ่ง เพราะว่าดินแห้งเท่านั้นที่ลมจะพัดพาได้ง่าย

(3) พืชคลุมดิน ลักษณะของพืชคลุมดินที่สำคัญ ได้แก่ ความสูงและความหนาแน่นของพืชคลุมดิน ชนิด และฤดูกาลเจริญเติบโตของพืช ระบบรากและเรือนยอดของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ มีอิทธิพลในการป้องกันการชะกร่อนได้ดีกว่าพวกเศษเหลือของพืชที่ใช้คลุมดิน การใช้พืชในการป้องกันลมที่ได้ผลนั้น การทำเป็นแบบแนวป้องกันลม (Windbreak or Shelter Belts) แนวป้องกันลมนี้หมายถึง สิ่งกีดขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลม เช่น แนวป่า หรือแนวต้นไม้ที่ปลูกเป็นแถวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม เป็นการสกัดกั้นความเร็วของกระแสลม ป้องกันไม่ให้อนุภาคของดินต้องถูกพัดพาไป รวมทั้งยังรักษาความชุ่มชื้นของดิน และลดอุณหภูมิของอากาศในบริเวณนั้นให้ต่ำลง แนวป้องกันลมมีอิทธิพลสามารถป้องกันการสูญเสียดิน การระเหยน้ำ และอุณหภูมิของบริเวณที่อยู่ด้านหลัง (Leeward) ของแนวกันลมได้ไกลถึง 20 เท่าของความสูงของแนวกันลมนั้น

## 2.5.2 การเคลื่อนที่ของดินแบบกลุ่มก้อน (Mass Washing or Mass Movement of Soil)

การกัดเซาะหรือการกร่อนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากน้ำที่มีต่อพื้นดินที่เป็นที่ลาด จะมีผลกระทบต่อพื้นดินก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวในลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

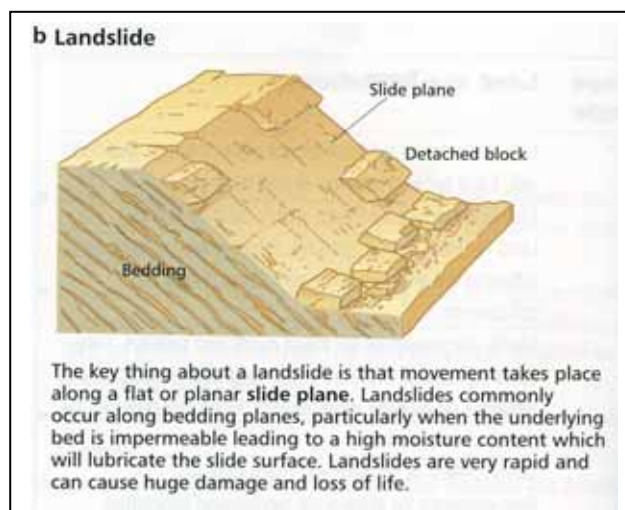
1) หินถล่ม (Rock Fall) เป็นลักษณะการเคลื่อนตัวของผิวดิน/หิน ที่รวดเร็ว ปกติมักเกิดกับพื้นผิวดินที่ลาดชันมาก รวมถึงหน้าผาหรืออาจจะเป็นแผ่นหินทั้งแผ่นที่เกิดการหลุดจากการเกาะตัวกับตัวภูเขา และจะตกลงมากองที่ตีนเขา การหลุดจากการยึดเกาะของก้อนหินและดินอาจจะเป็นขบวนการช้าๆ ของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ความชื้น น้ำกัดเซาะ หรืออาจเป็นการเคลื่อนไหวที่ฉับพลัน เช่น การเกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น รูปที่ 2.5-2



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

### รูปที่ 2.5-2 หินถล่ม

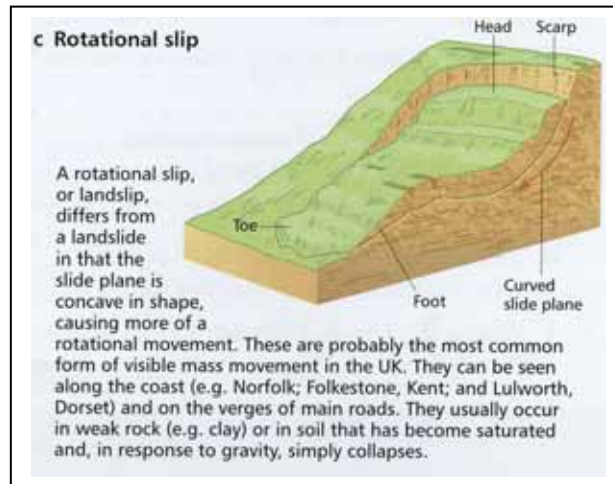
2) แผ่นดินเลื่อนถล่ม (Landslide) เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหลของชั้นแผ่นพื้นดินไปตามระนาบที่ราบเรียบ (Slide Plane) มักเกิดตามผิวดินระหว่างชั้นของดิน โดยเฉพาะชั้นดินสองชั้นที่มีดินชั้นล่างมีความหนาแน่นมากจนกระทั่งน้ำซึมผ่านได้ยาก ทำให้เกิดการสะสมตัวของความชื้นที่สูงมาก ทำให้กลายเป็นตัวหล่อลื่นให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหลของแผ่นพื้นที่อยู่ด้านบน การเกิดดินเลื่อนถล่มมักจะเกิดในช่วงเวลาที่สั้นมาก และสามารถสร้างความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินได้มากมายมหาศาล รูปที่ 2.5-3



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

### รูปที่ 2.5-3 แผ่นดินเลื่อนถล่ม

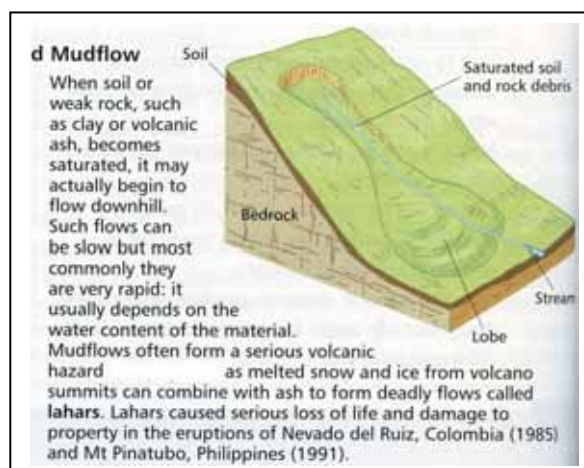
3) ดินถล่มเป็นแอ่ง (Rotational Slip) เป็นการเคลื่อนตัวของผิวดินในลักษณะของการหมุนเลื่อนไหลตัวของผิวดินเว้าลงเป็นแอ่งปกติเกิดขึ้นกับพื้นดินที่อุ้มน้ำไว้มากๆ จนถึงจุดหนึ่งที่ดินไม่สามารถรับน้ำหนักที่มีน้ำอึดตัว มันจะละลายตัวมันเองลงกลายเป็นแอ่ง **รูปที่ 2.5-4**



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

**รูปที่ 2.5-4 ดินถล่มเป็นแอ่ง**

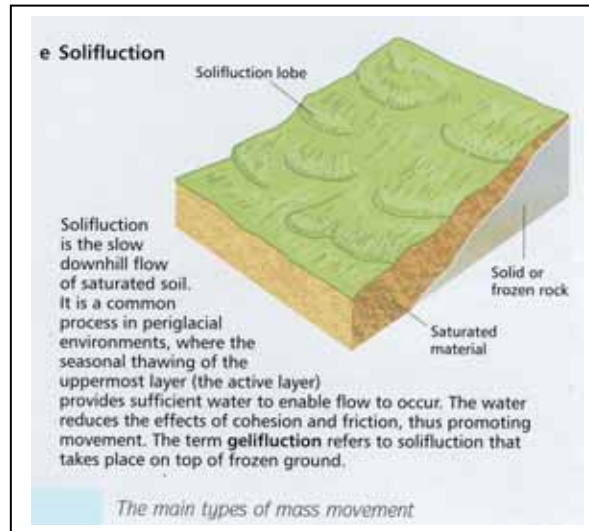
4) โคลนไหล (Mudflow) เมื่อพื้นดินที่มีสภาพอ่อนนุ่ม หรือมีความหนาแน่นน้อย เมื่อมีน้ำเติมเข้าไปตัวมันจะดูดซึมจนตัวเองถูกละลายกลายเป็นของเหลว จากนั้นมันก็จะไหลลงสู่ที่ต่ำตามความลาดของผิวดิน การไหลของโคลนนี้ บางทีอาจเป็นไปอย่างช้าๆ แต่โดยมากมักจะเป็นไปอย่างรวดเร็วทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน **รูปที่ 2.5-5**



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

**รูปที่ 2.5-5 โคลนไหล**

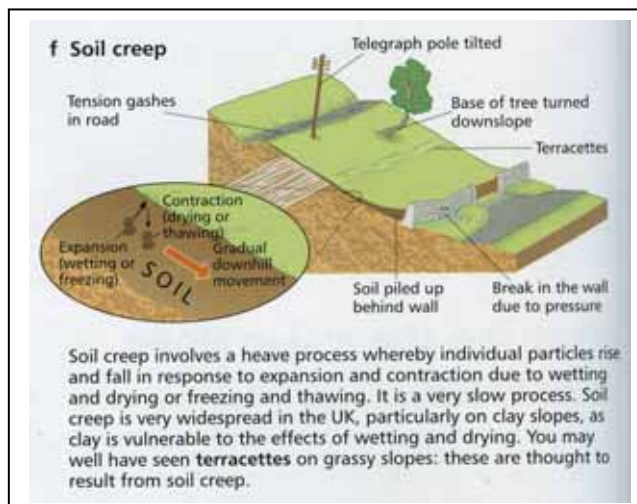
5) Solifluction คล้ายกับกรณีโคลนไหลแต่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีหิมะ ดินส่วนบนที่อิ่มตัวจะเลื่อนไถลลงมาอย่างช้าๆ รูปที่ 2.5-6



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

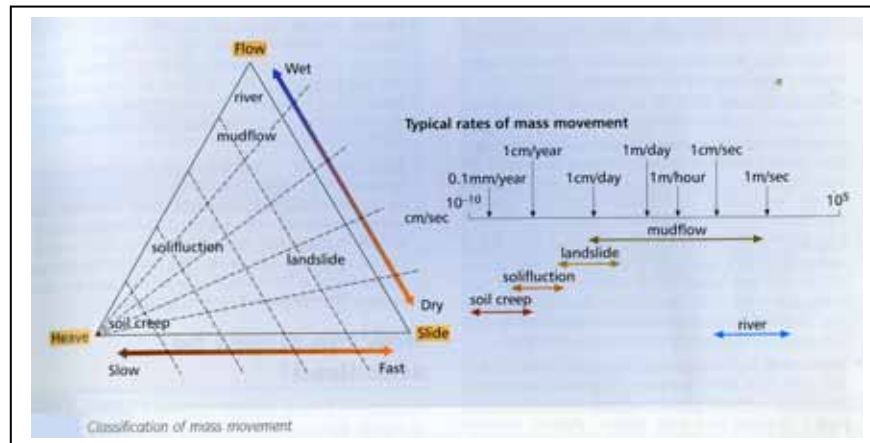
#### รูปที่ 2.5-6 Solifluction

6) Soil Creep การเคลื่อนเขยิบตัวของดินจะเกี่ยวข้องกับการพองตัวของดิน (Heave) โดยเกิดจากการที่มวลดินมีการหดตัวและขยายตัวเนื่องจากได้รับความชื้นน้ำ และการแห้งตัว หรือแข็งตัวแน่นเพราะอุณหภูมิลดต่ำและละลายตัวเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ มักจะเกิดกับพื้นดินที่เป็นดินเหนียวที่มีความลาดชัน รูปที่ 2.5-7 ถึง รูปที่ 2.5-8



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

#### รูปที่ 2.5-7 Soil Creep



ที่มา : Essential as Geography, Nelson Thrones Publisher, 2000

## รูปที่ 2.5-8 อัตราการเคลื่อนตัวของดินในรูปแบบต่าง ๆ

### 2.5.3 การควบคุมการกัดเซาะดิน

การกร่อนหรือการกัดเซาะดินที่เกิดจากน้ำเกิดได้ 5 ลักษณะ ซึ่งเป็นกิจกรรมต่อเนื่องนับจากการกร่อนจากเม็ดฝน การกร่อนแบบผิวหน้าเรียบ การกร่อนแบบริ้ว การกร่อนแบบร่อง และการกร่อนในลำน้ำ มาตรการการควบคุมป้องกันหรือบรรเทาการกัดเซาะ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) **วิธีการทางวิศวกรรม** ซึ่งเป็นวิธีการทางกายภาพโดยตรงในการผัน/ลดความรุนแรงของน้ำ แบ่งออกเป็น

#### ก) การควบคุมพื้นที่ที่ถูกรบกวน

โดยการเปิดพื้นที่ทำเหมืองแร่เท่าที่จำเป็น และต้องมีการวางแผนเปิดหน้าดินเพื่อให้พื้นที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด

#### ข) การควบคุมน้ำผิวดิน (Surface Water Management)

โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทน้ำผิวดินที่อยู่ในพื้นที่ทำเหมืองแร่ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

(1) น้ำผิวดินที่มาจากพื้นที่ที่ยังไม่มีการขุดทำเหมืองแร่ จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำผิวดินที่มาจากพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบที่ไม่ได้ทำเหมืองแร่ น้ำส่วนนี้ควรจะผันไปรอบๆ เหมืองหรือห่างออกไปจากพื้นที่ทำเหมืองแร่ หรืออาจจะผันไปเก็บไว้ใช้สำหรับการบริโภคอุปโภคของเหมืองก็ได้

(2) น้ำผิวดินที่มาจากพื้นที่ทำเหมืองแร่ทั้งหมด รวมทั้งจากกองดินหิน ถนน และพื้นที่ฟื้นฟู น้ำส่วนนี้จะมีการปนเปื้อนจากตะกอนดิน หิน และแร่

(3) น้ำจากโรงซ่อมแซมเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งมักปนเปื้อนด้วยน้ำมัน น้ำมันหล่อลื่น จารบี จำเป็นต้องมีการบำบัดแยกของเสียออกเสียก่อนการนำไปใช้ประโยชน์หรือรวมกับน้ำประเภทอื่น

(4) น้ำล้างจากเชือกกันเก็บตะกอน ควรจะเก็บแยกไว้ต่างหาก ไม่ปนกับน้ำประเภทอื่น น้ำนี้ มักจะมีสารปนเปื้อนจากสารเคมี แร่ และโลหะ หลังจากบำบัดตามความเหมาะสมของการปนเปื้อนแล้วให้นำน้ำกลับมาใช้ในขบวนการแต่งแร่อีกครั้ง

วิธีการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและโครงสร้างที่ใช้ในการควบคุมน้ำผิวดินเพื่อป้องกันและบรรเทาการชะล้างดิน เพื่อไม่ให้มีผลกระทบตอสภาพแวดล้อมโดยรอบที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ได้แก่

- (1) โครงสร้างเพื่อเบี่ยงเบนทางน้ำและตะกอน (Diversion Structures)
- (2) โครงสร้างเพื่อดักตะกอน (Sediment Basin, Sediment Trap)
- (3) ทางระบายน้ำที่มีหญ้าปกคลุม (Grassed Waterways)

การเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่ทำเหมืองแร่ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่จะควบคุมแพร่กระจายของตะกอนดินจากการชะล้างพังทลายบริเวณเหมืองแร่มักจะประยุกต์ใช้จากวิธีการเหล่านี้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้ได้ทั่วไป

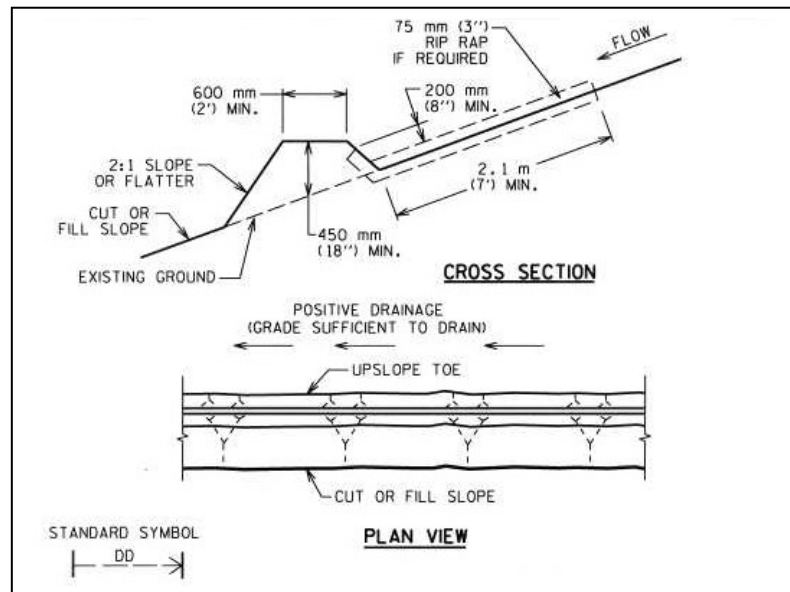
#### (1) โครงสร้างเพื่อเบี่ยงเบนทางน้ำและตะกอน (Diversion Structures)

การสร้างสิ่งก่อสร้างเพื่อเบี่ยงเบนทางน้ำจะเป็นการควบคุมการไหลของน้ำ ซึ่งมีทั้งแบบชั่วคราวและถาวร วัตถุประสงค์หลักคือ การควบคุมมิให้น้ำที่มีตะกอนดินไหลออกจากบริเวณทำเหมืองแร่ หรือการควบคุมการไหลบ่าของน้ำเข้ามาในพื้นที่เหมืองแร่ ลักษณะการก่อสร้างมีหลายรูปแบบ เช่น คันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำ (Diversion Dike or Ridge) ร่องหรือคูเบี่ยงเบนทางน้ำ (Diversion Ditch or Channel) หรือรูปแบบผสมระหว่างคันทำนบและร่อง และแนวเบี่ยงเบนทางน้ำรอบพื้นที่ (Perimeter Diversion Dike) สิ่งก่อสร้างเพื่อการเบี่ยงเบนทางน้ำมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

- เพื่อป้องกันมิให้น้ำที่ยังไม่สัมผัสกับพื้นที่เหมืองแร่ในบริเวณรอบขอบเขตเหมืองแร่เข้ามาสัมผัสกับบริเวณเหมืองแร่ โดยเฉพาะบริเวณหน้าเหมือง ที่ทิ้งมูลดินทราย บริเวณถนนในเหมือง
- เพื่อป้องกันมิให้น้ำที่ไหลและชะล้างจากหน้าเหมือง ซึ่งจะมีตะกอนดินปะปนอยู่ไหลออกจากบริเวณที่ทำเหมืองโดยไม่ผ่านกระบวนการตกตะกอนก่อน
- เพื่อป้องกันบริเวณส่วนล่างของเชิงเขาหรือฐานรากของถนนในเหมืองหรือกองเศษดินไม่ให้ถูกชะล้างจากการไหลของน้ำผิวดิน
- ในการเลือกโครงสร้างเบี่ยงเบนทางน้ำไหลเหมืองแร่ใดเหมืองแร่หนึ่งจะต้องพิจารณาจากองค์ประกอบที่สำคัญคือ ความยากง่ายในการก่อสร้างหรือการรื้อถอน ปริมาณน้ำที่ต้องจัดการความลาดชันของพื้นที่และอายุการใช้งาน

### (1.1) คันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำ (Diversion Dike or Ridge)

คันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำมีลักษณะเป็นสันดินสร้างขึ้นโดยการบดอัดดินจนแน่น ก่อสร้างขวางทางเดินของน้ำตามแนวความลาดชันของพื้นที่ และอยู่เหนือพื้นที่ที่ต้องการควบคุม คันทำนบนี้มีทั้งการก่อสร้างแบบชั่วคราวและแบบถาวร ดังรูปที่ 2.5-9



ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

### รูปที่ 2.5-9 คันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำ

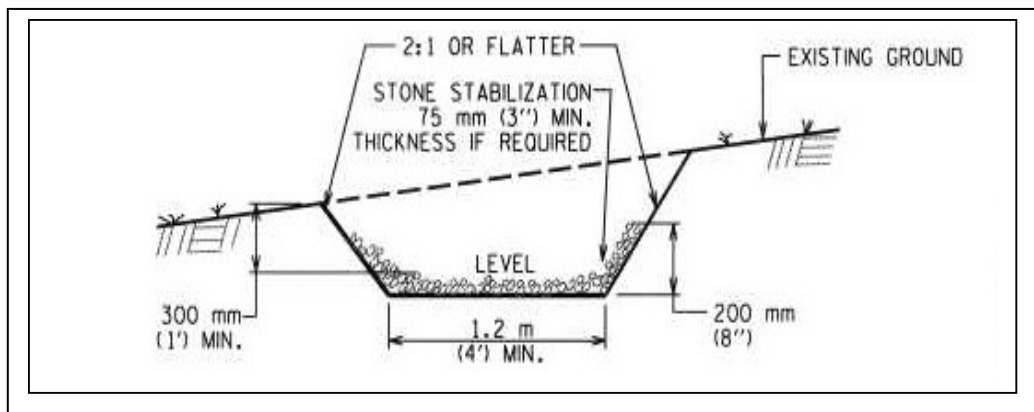
โครงสร้างแบบชั่วคราวจะใช้กับการควบคุมทางน้ำเพียงระยะสั้นๆ และปริมาณน้ำค่อนข้างน้อย โดยทั่วไปมักจะสร้างส่วนบนของที่เก็บกักเศษดินถมใหม่ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการชะล้างตามพื้นที่ลาดชันกว่าจะได้มีการระบายน้ำที่ค่อนข้างถาวรเกิดขึ้นในบริเวณนี้ หรือจนกระทั่งพืชขึ้นปกคลุมและยึดเกาะดินได้แล้ว การสร้างคันทำนบดินนี้จะต้องอยู่ในบริเวณที่ไม่ลาดชันมากนัก เมื่อความลาดชันของพื้นที่มั่นคงดีแล้ว ก็จะทำกรรือทิ้ง

โดยทั่วไปการสร้างคันทำนบเบี่ยงเบนทางน้ำจะก่อสร้างให้ความกว้างส่วนบนไม่น้อยกว่า 2 ฟุต ความสูงวัดจากพื้นดินเดิมจนถึงยอดคันทำนบดินอย่างน้อย 18 นิ้ว ค่าความชันขึ้นอยู่กับภูมิประเทศแต่ต้องมีค่าการไหลเป็นบวก น้ำที่ถูกผันจากบริเวณที่ยังไม่ถูกรบกวนจากกิจกรรมเหมืองแร่จะถูกเบี่ยงเบนให้ไหลไปสู่บริเวณที่ไม่มีกิจกรรม และน้ำที่ผ่านบริเวณหน้าเหมืองหรือกิจกรรมเหมืองแร่จะต้องบังคับให้ไหลไปยังบริเวณที่สำหรับดักตะกอน เช่น บ่อดักตะกอน หรือปล่อยให้น้ำไหลไปยังบริเวณที่มีการป้องกันเป็นอย่างดี

## (1.2) ร่องเบี่ยงเบนทางน้ำ (Diversion Ditch or Channel)

ร่องเบี่ยงเบนทางน้ำเป็นทางระบายน้ำที่ถูกขุดขึ้น และเป็นร่องระบายน้ำชั่วคราวหรือถาวรที่อาจจะอยู่เหนือหรือใต้บริเวณที่มีกิจกรรมเหมืองแร่ ซึ่งน้ำที่มีตะกอนดินสะสมอยู่จะถูกผันโดยร่องเบี่ยงเบนแนวทางน้ำไปยังบริเวณที่เตรียมไว้เพื่อการบำบัดต่อไป ดังรูปที่ 2.5-10 นอกจากนี้จะเป็นการผันน้ำขึ้นขึ้นจากการทำเหมืองแล้ว ร่องเบี่ยงเบนยังสามารถใช้ผันน้ำสะอาดไม่ให้ไหลไปปะปนในบริเวณเหมืองแร่ด้วยรูปแบบของโครงสร้างร่องเบี่ยงเบนทางน้ำ ควรมีความกว้างพื้นร่องอย่างน้อย 7 ฟุต ความลึกอย่างน้อย 1 ฟุต มีค่าความชันอย่างน้อย 1 % ความลาดด้านข้าง 2:1 หรือน้อยกว่า ระยะห่างระหว่างร่องระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ดังนี้

| ความลาดชันของพื้นที่ (%) | ระยะห่างสูงสุดระหว่างร่อง (ฟุต) |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1                        | 300                             |
| 2                        | 200                             |
| 3-5                      | 150                             |
| 5 หรือมากกว่า            | 100 (หรือน้อยกว่า)              |

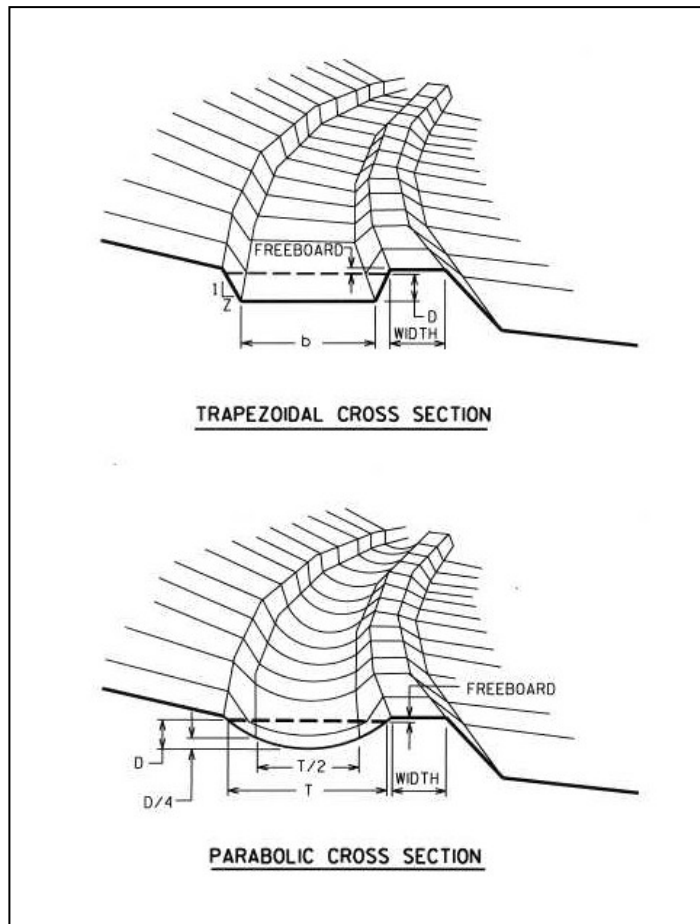


ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

รูปที่ 2.5-10 ร่องเบี่ยงเบนทางน้ำ

### (1.3) คูและคันผันน้ำ (Diversion)

เป็นทางระบายน้ำถาวรหรือชั่วคราวที่ถูกสร้างขึ้นโดยการขุดดินลงไปเพียงตื้นๆ ตามเชิงเขา และหน้าดินที่ได้จากการขุดจะนำมาสร้างเป็นคันดินตามแนวขอบด้านล่าง ซึ่งจะเป็นลักษณะผสมระหว่างการสร้างร่องเบี่ยงเบนทางน้ำและคันทำนบ ดังรูปที่ 2.5-11 การควบคุมการไหลของน้ำก่อนข้างถาวรตามแนวความลาดชันที่มีปริมาณน้ำไหลค่อนข้างแรง โดยทั่วไปมักสร้างบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน 15% หรือน้อยกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการผันน้ำหรือเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำให้เป็นไปตามทิศทางที่ต้องการ โดยเฉพาะตามแนวถนนในเหมือง ทั้งนี้เพื่อผันน้ำที่ไหลให้ไปรวมกันในบริเวณที่เตรียมไว้



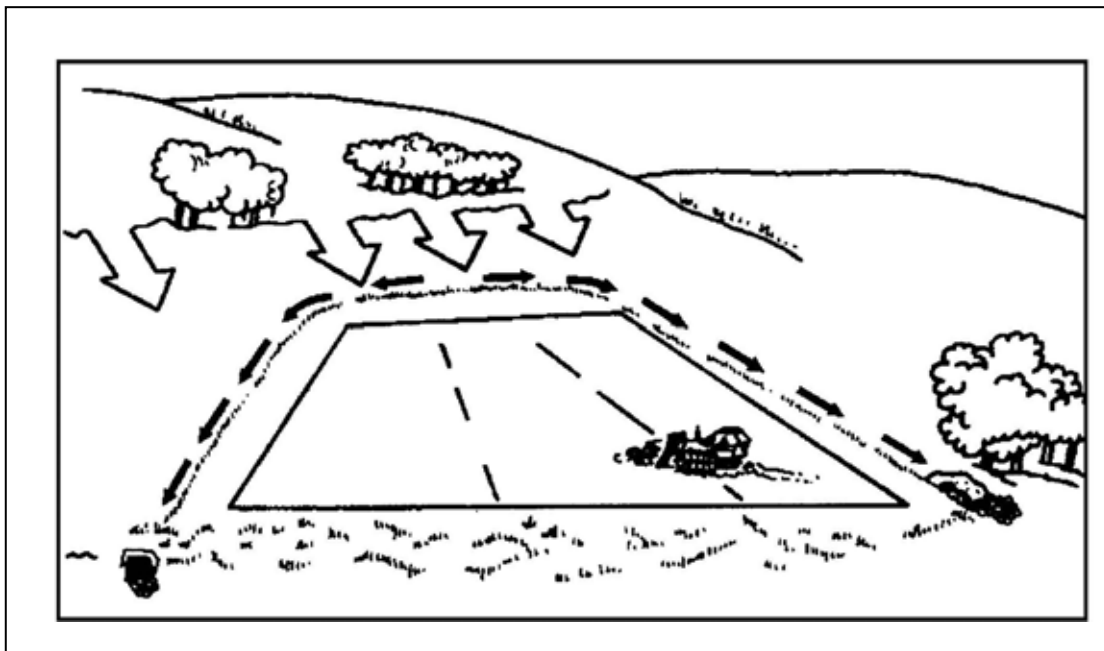
ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

รูปที่ 2.5-11 คูและคันผันน้ำ

คูผันน้ำจะมีลักษณะ Parabolic หรือ Trapezoidal ก็ได้ แต่ความลาดชันด้านข้างต้องน้อยกว่า 2:1 และต้องมีความราบเพียงพอที่ง่ายต่อการซ่อมแซมและหญ้าสามารถขึ้นปกคลุม ส่วนบนของสันทำนบจะต้องกว้างอย่างน้อย 4 ฟุต และควรจะมี ความสูงเผื่อไว้อย่างน้อย 0.3 ฟุต ส่วนทางปล่อยน้ำออกจะต้องมีความแข็งแรง โดยอาจจะต่อเชื่อมกับทางน้ำธรรมชาติได้ในกรณีผันน้ำสะอาด แต่จะต้องเลือกตำแหน่งที่จะปล่อยน้ำออกไปสู่สภาพแวดล้อมธรรมชาติหรือบริเวณที่ต้องการนำน้ำไปบำบัดต่อไป ความเร็วสูงสุดของน้ำที่สอดคล้องกับความชันของร่องน้ำควรมีอัตราดังนี้

| ความชันของร่องน้ำ (%) | อัตราความเร็ว (ฟุต/วินาที) |
|-----------------------|----------------------------|
| 0 - 5.0               | 6                          |
| 5.1 - 10.0            | 5                          |
| มากกว่า 10.0          | 4                          |

ลักษณะของการใช้งานอีกรูปแบบหนึ่งคือ การใช้คูและคันผันน้ำรอบพื้นที่ (Perimeter Diversion Dike) (รูปที่ 2.5-12) ซึ่งมีลักษณะการขุดคูและ/หรือก่อสร้างคันดินล้อมพื้นที่ โดยหากเป็นด้านบนของพื้นที่ก็จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำจากภายนอกพื้นที่เข้ามาบกรบกวนภายในพื้นที่ หากเป็นด้านล่างของพื้นที่ก็จะเป็นการผันน้ำไปยังพื้นที่ที่ต้องการ



ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

รูปที่ 2.5-12 คูผันน้ำรอบพื้นที่

## (2) โครงสร้างเพื่อดักตะกอน (Sediment Basin, Sediment Trap)

โครงสร้างเพื่อดักตะกอนในที่นี้จะหมายถึง บ่อตกตะกอน (Sediment Basin) หรือแอ่งดักตะกอน (Sediment Trap) เพื่อทำหน้าที่รองรับน้ำจากบริเวณเหมืองแร่ โดยทั่วไปจะสร้างตรงบริเวณทางน้ำธรรมชาติที่เป็นร่องเขาหรือหุบเขา ที่ตั้งควรเลือกบริเวณที่สามารถกักเก็บน้ำไว้มากที่สุด เพื่อลดปัญหาการบวกรวมจากการก่อสร้างให้น้อยที่สุด บ่อหรือแอ่งจะสร้างโดยใช้ดินปิดกั้นทางน้ำธรรมชาติหรือโดยการขุด หรือทั้งสองวิธีร่วมกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมตะกอนดินที่มาพร้อมน้ำเพื่อมิให้การตกตะกอนนอกพื้นที่เหมืองแร่ บ่อหรือแอ่งตกตะกอนต้องมีความจุเพียงพอที่จะให้ตะกอนดินตกตะกอนเพื่อเป็นการลดปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำ

สำหรับเหมืองที่อยู่บนภูเขาอาจต้องใช้บ่อหรือแอ่งตกตะกอนหลายบ่อ ลดหลั่นตามสภาพภูมิประเทศลงมา การใช้บ่อหรือแอ่งตกตะกอนหลายบ่อจะมีข้อดีกว่าใช้บ่อหรือแอ่งตกตะกอนขนาดใหญ่เพียงบ่อเดียว เพราะ

- คุณภาพน้ำจะมีการปรับปรุงเมื่อไหลจากบ่อหนึ่งไปยังอีกบ่อหนึ่ง
- คุณสมบัติของดินตะกอนตามบ่อที่เรียงกันอยู่
- ง่ายต่อการขุดลอก
- สะดวกต่อการพัฒนาภายหลังการทำเหมืองแร่สิ้นสุด

อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบการเลือกเอาแบบหลายบ่อ หรือบ่อใหญ่บ่อเดียวในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศรวมทั้งการใช้แรงงาน และงบประมาณในการก่อสร้าง

บ่อตกตะกอนยังสามารถปรับปรุงไปเป็นบ่อกักเก็บน้ำได้ในอนาคต เมื่อการพัดพาตะกอนจากกิจกรรมเหมืองแร่สิ้นสุดลง

บ่อตกตะกอนใช้ได้ดีสำหรับอนุภาคทรายหรือตะกอนหยาบอื่นๆ การตกตะกอนอนุภาคเล็กๆ เช่น ดินเหนียว อาจจะไม่ค่อยได้ผลนัก

การก่อสร้างบ่อตกตะกอนควรจะต้องสร้างตั้งแต่เริ่มแรกกิจกรรมเหมืองแร่ เพื่อให้สามารถรองรับการพัดพาของตะกอนได้

การก่อสร้างบ่อหรือแอ่งดักตะกอนมีความคล้ายคลึงกัน ความแตกต่างระหว่างบ่อหรือแอ่งดักตะกอนอยู่ที่ขนาดของความสามารถในการรับตะกอน โดยที่แอ่งดักตะกอนจะออกแบบให้มีความสามารถในการดักตะกอนในพื้นที่ไม่เกิน 5 เอเคอร์ (ประมาณ 12.6 ไร่) อายุการใช้งานไม่เกิน 1 ปี

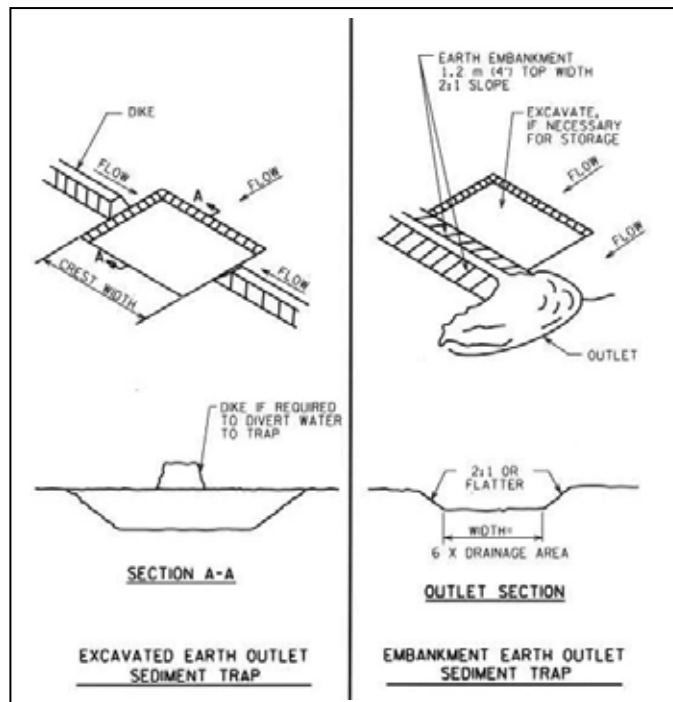
การก่อสร้างความลาดชันของบ่อไม่ควรเกิน 2:1 (ราบ:ตั้ง) รูปร่างบ่อควรมีความยาว : ความกว้างอย่างน้อยมากกว่า 2:1 ในกรณีทั่วไปอาจจะใช้สัดส่วน 4:1 ก็ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน การใช้แผ่นกั้นทางน้ำ (Baffles) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น ความสูงของเขื่อนกั้นจะต้องไม่เกิน 5 ฟุต โดยวัดจากระดับต่ำสุดของพื้นที่ ส่วนยอดของสันเขื่อนจะต้องกว้างมากกว่า 4 ฟุต และให้มีการบดอัดดินด้วยเครื่องมือในระหว่างก่อสร้าง

การคำนวณปริมาณบ่อหรือแอ่งดักตะกอนโดยปกติคำนวณจากสภาพภูมิประเทศจริง จากการรังวัดพื้นที่ หรือคำนวณจากภาคตัดขวางพื้นที่ สามารถคำนวณคร่าวๆ ได้จาก

ปริมาตรแอ่งน้ำ = 0.4 (ค่าเฉลี่ยรูปร่างพื้นที่หน้าตัด) X พื้นที่ผิวของแอ่ง X ความลึกสูงสุด

เมื่อพบว่ามีตะกอนสะสมอยู่ครึ่งหนึ่งของความลึกของบ่อ ให้นำเอาเศษตะกอนดินออก

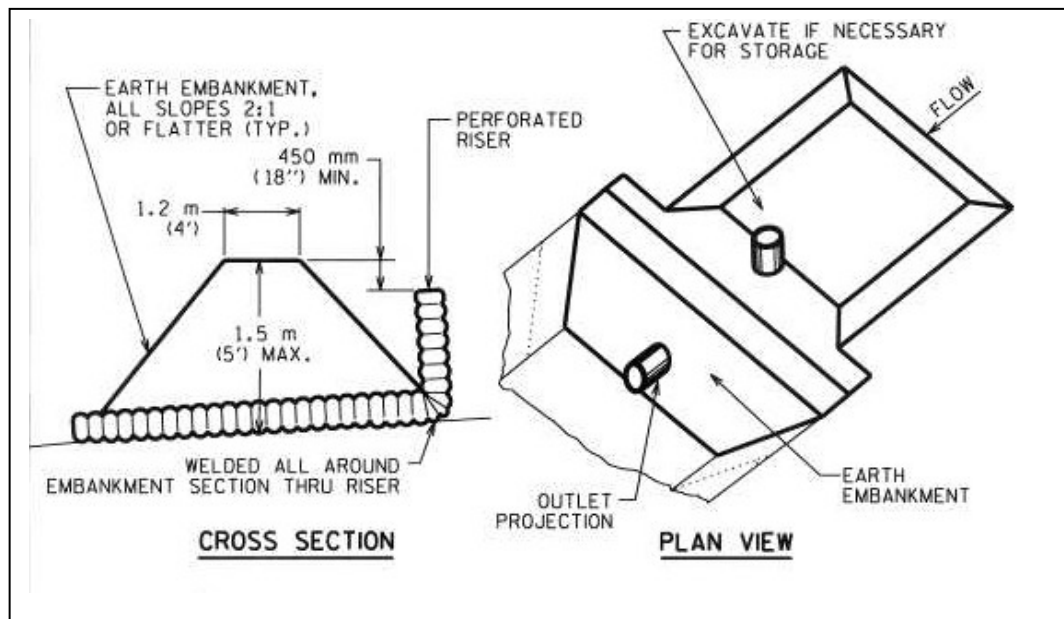
จุดระบายน้ำออกจากบ่อหรือแอ่งดักตะกอนมีหลายรูปแบบ เช่น แบบดิน ท่อ และหิน เป็นต้น จุดระบายน้ำแบบดิน แสดงดังปรากฏในรูปที่ 2.5-13



ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

### รูปที่ 2.5-13 การระบายน้ำทิ้งจากบ่อดักตะกอนแบบดิน

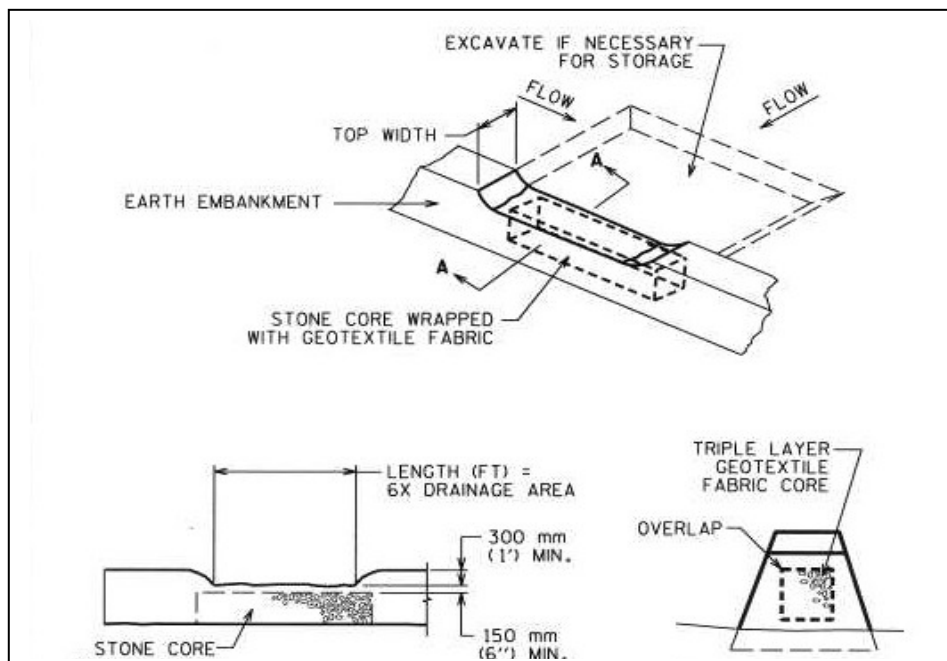
ในการสร้างทางระบายน้ำจากที่ดักตะกอนโดยความกว้างของทางออกน้ำทิ้ง (ฟุต) จะมีขนาดเป็น 6 เท่าของพื้นที่ระบายน้ำ ท่ออาจจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับปลายท่อ หรือใหญ่กว่าท่อน้ำทิ้งได้ ท่อภายในบริเวณที่ดักตะกอนจะต้องอยู่ในระดับต่ำกว่าจุดสูงสุดของเขื่อนกั้นน้ำอย่างน้อย 1-1.5 ฟุต และอย่างน้อย 2/3 ของท่อควรตั้งรูปที่ 2.5-14



ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

### รูปที่ 2.5-14 การระบายน้ำทิ้งจากบ่อดักตะกอนแบบท่อ

ความยาวของปลายท่อจะต้องมีอย่างน้อย 6 เท่าของสันที่ระบายน้ำ และส่วนบนสุดของจุดปล่อยออกจะอยู่ต่ำกว่าจุดสูงสุดของเขื่อนกั้นน้ำอย่างน้อย 1 ฟุต ดังรูปที่ 2.5-15 คันที่อยู่เหนือรอบท่อน้ำออกจะต้องอัดแน่นให้แต่ละชั้นมีความหนา 4 นิ้ว และรวมกันความหนาอย่างน้อย 2 ฟุต



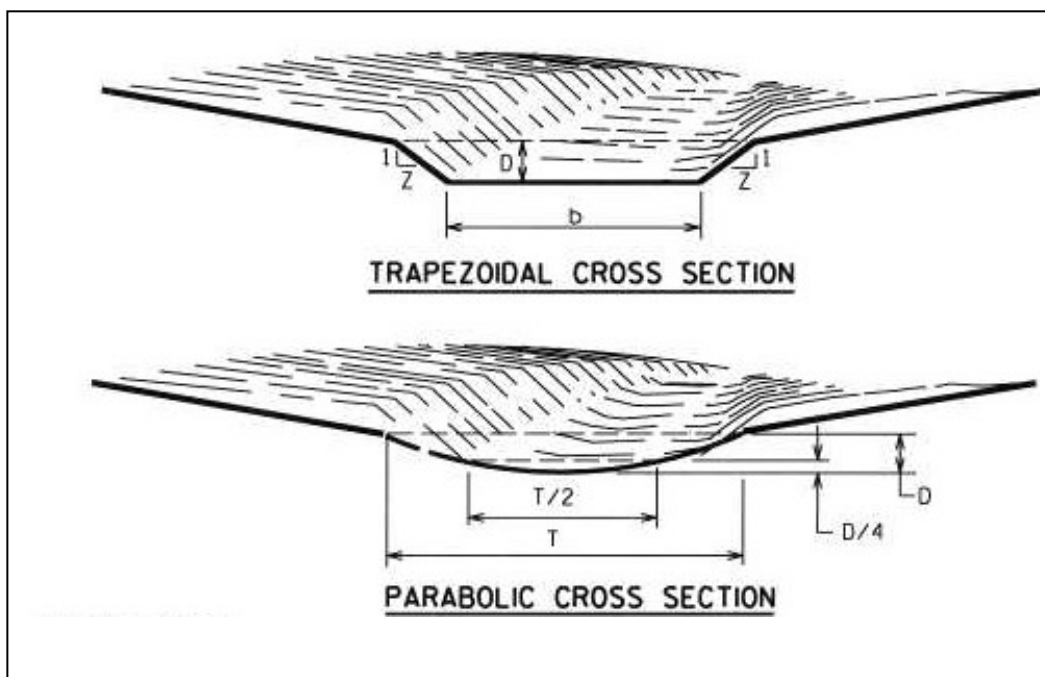
ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

### รูปที่ 2.5-15 การระบายน้ำทิ้งจากบ่อดักตะกอนแบบกรวดและหิน

### (3) ทางระบายน้ำ (Lined or Glassed Waterway)

#### 3.1) ทางระบายน้ำมีหญ้าปกคลุม (Grassed Waterway)

เป็นร่องน้ำธรรมชาติหรือขุดขึ้นมาเพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ และมีหญ้าปกคลุมผิวหน้า ใช้สำหรับรองรับการไหลของน้ำหลาก โดยไม่เกิดการกัดเซาะดิน ทางน้ำที่มีหญ้าใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำให้กับทางน้ำเดิมหรือเพื่อการควบคุมการพังทลายหรือเพื่อให้ทางน้ำเดิมมีมั่นคงอยู่เสมอ



รูปที่ 2.5-16 ภาพตัดขวางของทางระบายน้ำมีหญ้าปกคลุม

ทางระบายน้ำประเภทนี้ควรมีความลาดชันต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีหน้าดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้า การก่อสร้างทางระบายน้ำประเภทนี้จำเป็นต้องให้เวลากับการเจริญเติบโตของหญ้าเสียก่อนจึงจะมีประสิทธิภาพเต็มที่ ความเร็วในการไหลของน้ำไม่ควรเกิน 1.5 เมตร/วินาที โดยทั่วไปจะมีลักษณะพื้นที่ภาพตัดขวางเป็นรูป Parabolic หรือ Trapezoidal ดังรูปที่ 2.5-16 ความลาดชันไม่ควรเกิน 3:1 ในทางปฏิบัตินิยมใช้ความลาดชัน 4:1

#### 3.2) ทางระบายน้ำแบบบุด้วยวัสดุ (Lined Waterway)

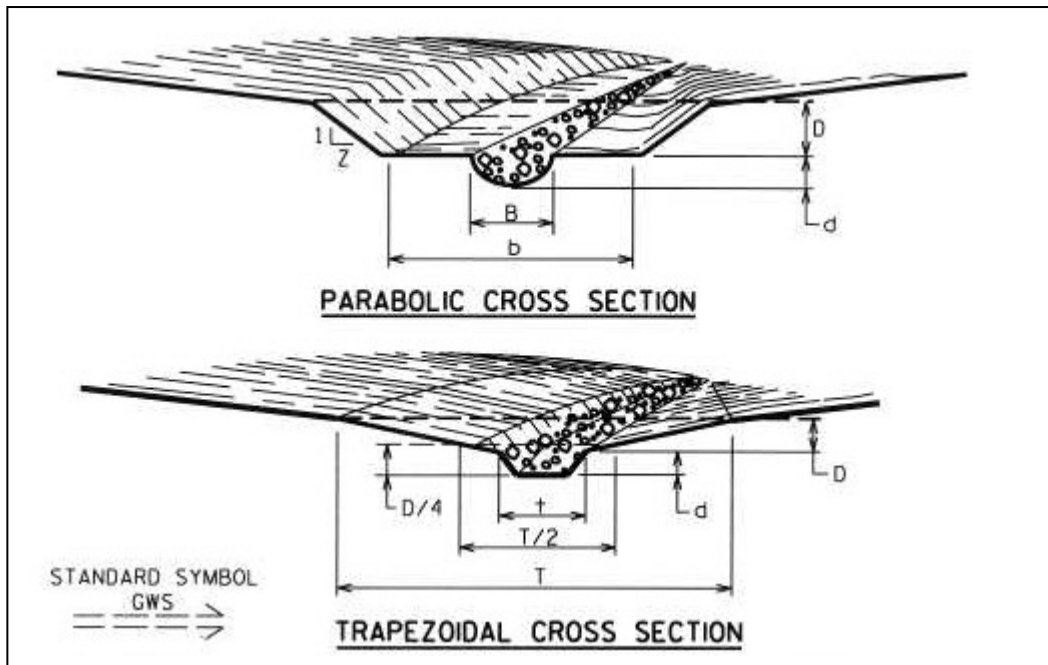
ใช้ในกรณีที่ทางระบายน้ำแบบหญ้าไม่สามารถทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำไหลได้ หรือพื้นดินของรางระบายน้ำไม่เหมาะสมที่จะให้หญ้าเจริญเติบโต การใช้วัสดุประเภทหินเรียง (Riprap) จะเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดของประเภทวัสดุที่นำมาบุผิวทางระบายน้ำ นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นต่อการ

ทรุดตัวของทางระบายน้ำ และช่วยลดความเร็วของน้ำจากความขรุขระของผิวหน้าของหินอีกด้วย และลดปริมาณน้ำไหลโดยการซึมผ่านช่องว่างของหิน

ทางระบายน้ำที่ใช้คอนกรีตบุมีข้อดีในการระบายน้ำได้ในปริมาณสูงโดยไม่เกิดการกัดเซาะ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างมาก

การใช้รางระบายน้ำผสมผสานแบบเรียงหินกลางร่องน้ำและหญ้าบริเวณด้านข้าง (รูปที่ 2.5-17) ใช้ได้ดีในกรณีที่ความเร็วของน้ำที่เหมาะสมไม่เกิดการกัดเซาะผนังด้านข้างที่มีหญ้าอยู่

ลักษณะพื้นที่ภาพตัดขวางเป็นรูป Parabolic หรือ Trapezoidal หรือสามเหลี่ยมก็ได้ ในกรณีของการใช้หินเรียงความลาดชันผนังด้านข้างจะอยู่ที่ 2:1

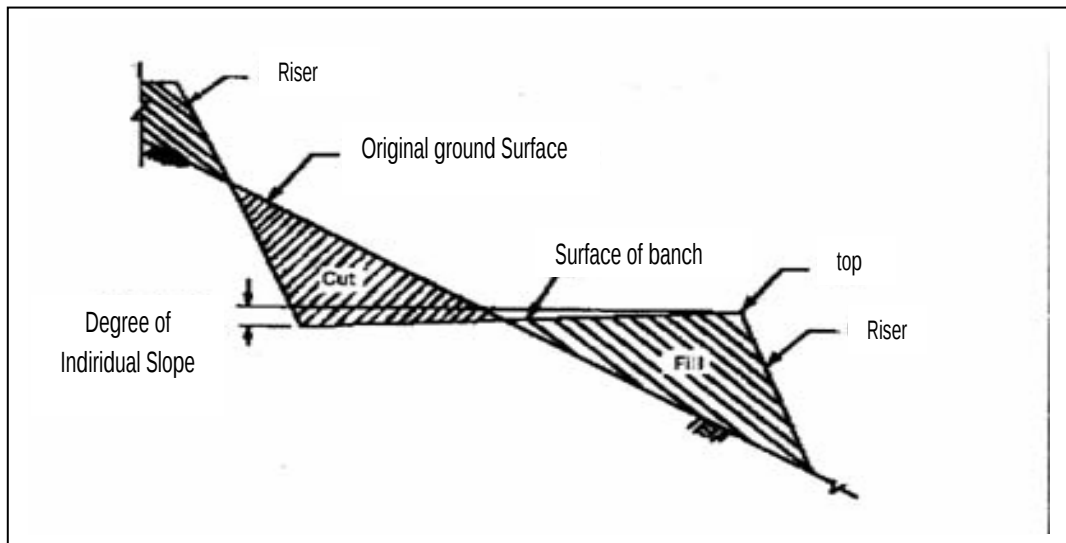


ที่มา : Standard Details, Series 600, Department of Public Works, City of Austin, Texas, U.S.A.

รูปที่ 2.5-17 ภาพตัดขวางทางระบายน้ำเรียงหินกลางร่องน้ำ

#### ค) การทำขั้นบันได (Bench Terrace)

การทำขั้นบันไดดังรูปที่ 2.5-18 เป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการป้องกันการกร่อนของดินโดยการสร้างคันดินหรือหินขวางความลาดเทของพื้นที่ การทำขั้นบันไดต้องผสมผสานกับวิธีอื่น เช่น การปลูกต้นไม้หรือพืช จึงจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดเซาะได้ดี การทำขั้นบันไดช่วยทำให้ความยาวของความลาดเทลดลง ซึ่งจะลดความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าทำให้ปริมาณการสูญเสียดินน้อยลง แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ



รูปที่ 2.5-18 รูปแบบขั้นบันได (Bench Terrace)

(1) ขั้นบันไดแคบ เป็นการลดความลาดชันของพื้นที่ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดชันเกินกว่า 15%

(2) แบบขั้นบันไดกว้าง เป็นขั้นบันไดที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบแรก แต่มีความกว้างของขั้นบันไดมากกว่า ปกติจะสร้างในบริเวณที่มีความลาดชันน้อยเป็นการช่วยในเรื่องการระบายน้ำและการเก็บรักษา น้ำ การสูญเสียดินและน้ำในบริเวณที่มีการทำขั้นบันไดขึ้นอยู่กับความยาว ระยะห่าง และความกว้างของขั้นบันได คุณสมบัติของดิน และความเร็วของกระแสที่ไหลบ่า ความยาวของขั้นบันไดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝนและอัตราการซึมของน้ำสู่ดิน ถ้าหากความยาวมากเกินไปจะต้องทำทางระบายน้ำเป็นระยะๆ เพื่อลดปริมาณและอัตราการไหลของน้ำ

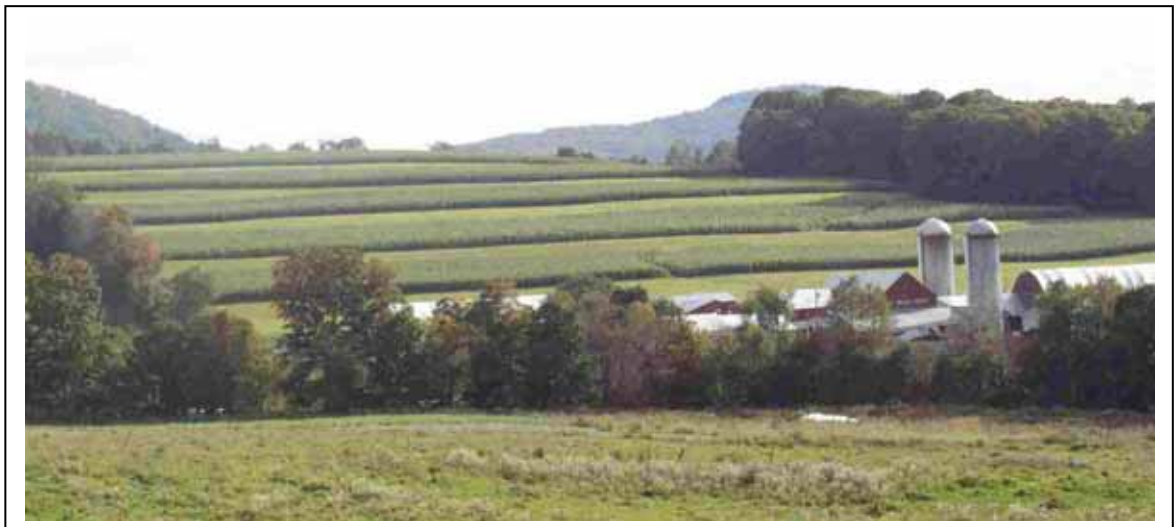
## 2) วิธีการทางปฐพีวิทยา

(ก) การปลูกพืชคลุมดิน ( Cover Cropping ) หมายถึง การปลูกพืชที่มีใบหนาแน่น หรือมีระบบรากลึกและแน่นสำหรับคลุมดินเพื่อป้องกันแรงปะทะของเม็ดฝนซึ่งเป็นสาเหตุแรกเริ่มของการพังทลายของดินและยังให้พืชเหล่านี้ดูดเก็บธาตุอาหารไว้ มิฉะนั้นแร่ธาตุต่างๆ อาจถูกชะล้างไปโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ พืชคลุมดินยังช่วยทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ชนิดของพืชที่ใช้คลุมดินควรมีคุณสมบัติดังนี้ เช่น ต้องไม่เป็นพืชล้มลุก ปลูกแล้วมีอายุอยู่ได้นานหลายปี ควรเป็นไม้เถาหรือไม้เลื้อยเพื่อที่จะได้คลุมดินได้ทั่วถึงและรวดเร็ว ควรเป็นพืชตระกูลถั่วจะได้ตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ควรมีรากผอมหนาแน่น เพื่อประโยชน์ในการยึดดิน และต้องทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ตลอดจนแมลงได้ดีอีกด้วย

(ข) การคลุมดิน ( Mulching ) การคลุมดิน หมายถึง การนำเอาวัสดุใดๆ เช่น หญ้าแห้ง ขี้เลื่อย ฟาง ไปคลุมไว้บนดินเพื่อป้องกันการชะกร่อนด้วยการลดแรงปะทะของเม็ดฝนและแรงลม ทำให้ดินเพิ่มความสามารถในการรักษาความชื้นและลดการไหลบ่าของน้ำ เพิ่มความสามารถของจุลินทรีย์ในดิน เป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำในเวลาเดียวกัน การคลุมดินเป็นวิธีการชั่วคราวใช้ในขณะที่พืชคลุมดินยังไม่เติบโตสมบูรณ์

(ค) การปลูกพืชตามแนวระดับ (Contour Cultivation or Contouring) การปลูกพืชตามแนวระดับ หมายถึง การไถ พรุน หว่าน และปลูกพืชไปในแนวนานกับแนวระดับเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อลดอัตราการพังทลายของดิน จากน้ำปกติที่ไหลชะจากยอดเขาลงสู่ตีนเขา ประสิทธิภาพของการปลูกพืชตามแนวระดับขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชัน และสภาพลมฟ้าอากาศ การปลูกพืชตามแนวระดับ ถ้าใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดชันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์แล้ว จะช่วยลดความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินน้อยลง ดินกักเก็บน้ำได้มากขึ้น เมล็ดและกล้าพืชจะถูกน้ำชะพาไปได้น้อย จึงทำให้พืชอยู่รอดได้มากขึ้น แต่ถ้าหากวิธีนี้นำไปใช้กับพื้นที่ที่ลาดชันมาก ดินที่ง่ายต่อการชะล้าง อีกทั้งผสมกับการมีปริมาณฝนตกชุกแล้ว อาจจะทำให้เกิดการชะกร่อนแบบร่องได้

(ง) การปลูกต้นไม้หรือพืชสลับเป็นแถบ (Strip Cropping) ดังรูปที่ 2.5-19 หมายถึง การปลูกต้นไม้หรือพืชต่างชนิดกันสลับกันเป็นแถบๆ (Band or Strip) ขวางกับความลาดชันของพื้นที่หรือตามแนวระดับ (Contour) การปลูกพืชแบบนี้มักจะดำเนินการในพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และความยาวของความลาดเทเกินกว่า 15 เมตร การปลูกพืชสลับเป็นแถบนี้อาจย่อยออกได้อีกเป็น 3 ชนิด คือ



รูปที่ 2.5-19 การปลูกต้นไม้หรือพืชสลับเป็นแถบ (Strip Cropping)

- ชนิดแรก ได้แก่ การปลูกสลับเป็นแถบตามแนวระดับ (Contouring Strip Cropping) เป็นการปลูกพืชแต่ละชนิดเป็นแถบๆ สลับกันไปตามแนวระดับ ส่วนชนิดของพืชที่จะนำมาปลูกให้อาศัยหลักการของการปลูกพืชหมุนเวียน

- ชนิดที่สอง ได้แก่ การปลูกพืชสลับเป็นแถบบนเนิน (Field Strip Cropping) เป็นการปลูกพืชเช่นเดียวกับชนิดแรก แต่เนื่องจากพื้นที่ไม่สม่ำเสมอจึงจัดปลูกเป็นแถบเป็นแนวนานอย่างมีระเบียบ (Uniform Width) ตัดขวางความลาดเทโดยไม่คดเคี้ยวไปตามเส้นระดับ

---

- ชนิดที่สาม ได้แก่ การปลูกพืชสลับเป็นแถบพร้อมฉนวน (Buffer Strip Cropping) เป็นการปลูกพืชสลับเป็นแถบโดยมีการปลูกพืชพวงหญ้าหรือพืชตระกูลถั่วเป็นฉนวนชั้นระหว่างแถบ ความกว้างและลักษณะของฉนวนไม่จำเป็นต้องเป็นระเบียบ เพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องมือไถพรวน วิธีนี้มักใช้ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดเทไม่สม่ำเสมอ

ภาคผนวก ก

แบบบันทึกการตรวจสอบสภาพเชือกักเก็บตะกอน

ภาคผนวก ก. แบบบันทึกการตรวจสอบสภาพเขื่อนกักเก็บตะกอน

แบบบันทึกการตรวจสอบสภาพ

1. รายละเอียดทั่วไป

โครงการ : \_\_\_\_\_

ตำบล : \_\_\_\_\_ อำเภอ : \_\_\_\_\_ จังหวัด : \_\_\_\_\_

ชื่อเขื่อน : \_\_\_\_\_

เริ่มก่อสร้างเมื่อ : \_\_\_\_\_ หยุดใช้งานเมื่อ : \_\_\_\_\_

ตรวจสอบเมื่อ วันที่ \_\_\_\_\_ เดือน \_\_\_\_\_ พ.ศ. \_\_\_\_\_

สภาพอากาศ : \_\_\_\_\_

ผู้ร่วมคณะทำการตรวจสอบ

รายชื่อ

- |          |           |
|----------|-----------|
| 1. _____ | 6. _____  |
| 2. _____ | 7. _____  |
| 3. _____ | 8. _____  |
| 4. _____ | 9. _____  |
| 5. _____ | 10. _____ |

2. สถานะภาพการใช้งานเมื่อขณะตรวจสอบ

2.1 อ่างเก็บตะกอน

ระดับเก็บกักเมื่อตรวจสอบ : \_\_\_\_\_ ม.

ความจุเก็บกักเมื่อตรวจสอบ : \_\_\_\_\_ ลบ.ม.

2.2 การระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำล้น 1 อัตราการระบายน้ำเมื่อตรวจสอบ : \_\_\_\_\_ ลบ.ม./วินาที

อาคารระบายน้ำล้น 2 อัตราการระบายน้ำเมื่อตรวจสอบ : \_\_\_\_\_ ลบ.ม./วินาที

3. ตัวเขื่อน

3.1 สันเขื่อน กว้าง : \_\_\_\_\_ ม. ยาว : \_\_\_\_\_ ม. ระดับสันเขื่อนเมื่อตรวจสอบ : \_\_\_\_\_ ม.

สภาพสันเขื่อน : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

### 3.2 ความเสียหายของสันเขื่อน

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|-----------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว          |            |                       |
| - การทรุดตัว          |            |                       |
| - การกัดเซาะ          |            |                       |
| - วัชพืช              |            |                       |
| - อื่นๆ _____         |            |                       |

### 3.3 ลาดเขื่อนด้านเหนือหน้า ความชัน (แนวดิ่ง: แนวนราบ) 1: \_\_

สภาพลาดเขื่อน : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

### 3.4 ความเสียหายของลาดเขื่อนด้านเหนือหน้า

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|-----------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว          |            |                       |
| - การทรุดตัว          |            |                       |
| - การกัดเซาะ          |            |                       |
| - วัชพืช              |            |                       |
| - อื่นๆ _____         |            |                       |

3.5 ลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ ความชัน (แนวดิ่ง: แนวราบ) 1: \_\_

สภาพลาดเชื่อม : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

3.6 ความเสียหายของลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย                 | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|---------------------------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว                          |            |                       |
| - การทรุดตัว/การ<br>เคลื่อนตัว(Slide) |            |                       |
| - การกัดเซาะจาก<br>น้ำฝน              |            |                       |
| - การไหลซึม                           |            |                       |
| - วัชพืช                              |            |                       |
| - อื่นๆ _____                         |            |                       |

### 3.7. ระบบระบายน้ำด้านท้ายเขื่อน

สภาพการระบาย : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

### 3.8 ความเสียหายของระบบระบายน้ำด้านท้ายเขื่อน

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย     | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|---------------------------|------------|-----------------------|
| - ปริมาณน้ำไหล            |            |                       |
| - สิ่งกีดขวางการ<br>ระบาย |            |                       |
| - ประสิทธิภาพ<br>การระบาย |            |                       |
| - ความขุ่นของน้ำ          |            |                       |
| - วัชพืช                  |            |                       |
| - อื่นๆ _____             |            |                       |

#### 4. พื้นที่ด้านท้ายน้ำ ระยะห่างจากสันเขื่อนประมาณ เท่ากับความสูงเขื่อน

สภาพพื้นที่ : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

##### 4.1 ความเสียหายของพื้นที่ด้านท้ายน้ำ

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย                 | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|---------------------------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว                          |            |                       |
| - การทรุดตัว/การ<br>เคลื่อนตัว(Slide) |            |                       |
| - การกัดเซาะจาก<br>น้ำฝน              |            |                       |
| - การไหลซึม                           |            |                       |
| - วัชพืช                              |            |                       |
| - อื่นๆ _____                         |            |                       |

## 5. พื้นที่บริเวณไหล่เขาทั้ง 2 ด้าน

สภาพพื้นที่ : \_\_\_\_\_  
(วาดรูป)

### 5.1 ความเสียหายของพื้นที่ไหล่เขา

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย                 | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|---------------------------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว                          |            |                       |
| - การทรุดตัว/การ<br>เคลื่อนตัว(Slide) |            |                       |
| - การกัดเซาะจาก<br>น้ำฝน              |            |                       |
| - การไหลซึม                           |            |                       |
| - วัชพืช                              |            |                       |
| - อื่นๆ _____                         |            |                       |

## 6. อาคารระบายน้ำฝน

ที่ตั้ง : \_\_\_\_\_

ขนาดปากทางรับน้ำ : \_\_\_\_\_

ขนาดท่อส่งน้ำ : \_\_\_\_\_

ขนาดปลายทางระบายน้ำ : \_\_\_\_\_

สภาพอาคารโดยทั่วไป : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

### 6.1 ความเสียหายของอาคารระบายน้ำฝน

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย          | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|--------------------------------|------------|-----------------------|
| - รอยแตกร้าว<br>ของโครงสร้าง   |            |                       |
| - การทรุดตัว/การ<br>เคลื่อนตัว |            |                       |
| - สิ่งกีดขวางการ<br>ระบาย      |            |                       |
| - ประสิทธิภาพ<br>การระบาย      |            |                       |
| - อื่นๆ _____                  |            |                       |

## 7. คลองระบายน้ำ

ที่ตั้ง : \_\_\_\_\_

ขนาดคลองระบายน้ำ : \_\_\_\_\_

สภาพอาคารโดยทั่วไป : \_\_\_\_\_

(วาดรูป)

### 7.1 ความเสียหายของคลองระบาย

| ลักษณะ<br>ความเสียหาย     | รายละเอียด | ปริมาณความ<br>เสียหาย |
|---------------------------|------------|-----------------------|
| - การกัดเซาะ              |            |                       |
| - สิ่งกีดขวางการ<br>ระบาย |            |                       |
| - ประสิทธิภาพ<br>การระบาย |            |                       |
| - อื่นๆ _____             |            |                       |

## เอกสารอ้างอิง

วรกร ไม้เรียง, 2537, วิศวกรรมเขื่อนดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และโครงการซ่อมแซมและปรับปรุง  
เขื่อนมูลบน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ASCE/USCOLD Committee on Failure and Accident to Large Dam, 1975, Lesson from dam  
incident in USA.

EPA, 1995, Tailing Containment, Environment Protection Agency.

Fell, R. and et al., 1992, Geotechnical Engineering of Embankment Dam, A.A. Blakema,  
Rotterdam, Netherlands.

ICOLD, 1989, Tailing Dam Safety, International Commission on Large Dams Bulletin 74.

Klohn, E.J., 1980, The Development of Current Tailings Dam Design and Construction Methods,  
Paper Presented at Seminar on Design and Construction of Tailings Dams, Colorado  
School of Mines Denver, Colorado.

Hoek, E. and J. Bray, 1981, Rock Slope Engineering, 3<sup>rd</sup> Edition, IMM, London, 402pp.