โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 5 / 2553

เรื่อง

การศึกษาการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ในเขตพื้นที่ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

The study of Protection of River Bank in Tambon Bangrakam, Amphoe Banglane, Nakornpathom.

โดย

นางสาวปานทิพย์ มีถาวร

นายอภิรัฐ ปล้องมาก

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา - ชลประทาน)

พุทธศักราช 2553

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

เรื่อง : การศึกษาการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ในตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

The study of Protection of River Bank Erosion in Tambon Bangrakam, Amphoe Banglane, Nakornpathom.

นามผู้ทำโครงงาน : นางสาวปานทิพย์ มีถาวร

นายอภิรัฐ ปล้องมาก

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(อ.ดร. วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ. สันติ ทองพำนัก)

...../...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ในเขตพื้นที่ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

The study of Protection of River Bank Erosion in Tambon Bangrakam, Amphoe Banglane, Nakornpathom.

โดย : นางสาวปานทิพย์ มีถาวร
นายอภิรัฐ ปล้องมาก

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : .....
(อ.ดร. วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ)
...../...../.....

บทคัดย่อ

สภาพแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม มีความคดเคี้ยวมากประกอบกับมีเรือสัญจรไปมา ทำให้เกิดคลื่นน้ำซัดเข้าตลิ่งเสี่ยงต่อการกัดเซาะตลิ่ง โครงงานนี้จึงได้ทำการศึกษาหาแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันปัญหาการกัดเซาะตลิ่ง จากผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆของวิธีการป้องกันตลิ่งทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles และวิธีการป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion พบว่า การป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและสามารถทำได้รวดเร็วไม่ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญมากนักในการก่อสร้าง โดยวิธีดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นตาข่ายบิดคู่รูปหกเหลี่ยม ผลิตจากลวดเคลือบสังกะสีหรือ PVC-U เคลือบสังกะสี มีอายุการใช้งานยาวนาน 40-60 ปี

Abstract

Title : The study of Protection of River Bank Erosion in Tambon Bangrakam, Amphoe Banglane, Nakornpathom.

By : Miss. Pantip Meetaworn
Mr. Apirat Plongmak

Project Advisor : ……..
(Mr. Wisuwat Taesombat)
Date……/……./……

Thachin River in an area of Tambon Bangrakum, Amphoe Banglen, Nakhon Pathom which is so meandered and has a lot of boat transport causes the water wave to its river banks and faced later with river bank erosion. Therefore, this engineering project is aimed to study and select the suitable method to protect this problem. Three methods namely Retaining walls, Jet grouted piles, and Rock Gabion were selected to compare their characteristics for the most suitable method in this area. The results found that Rock Gabion method is suitable for the protection of river bank erosion in this area. This method is obviously convenient and has a rapid construction process without any experts' need. In addition, this method comprises of the hexagonal mesh galvanized with wire zinc coated or PVC-U coated galvanized wire and has a mean time around 40-60 years.

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอกราบขอพระคุณ อาจารย์ ดร. วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมชลประทาน รองศาสตราจารย์สันติ ทองพำนัก คณะกรรมการสอบโครงงานซึ่งได้ให้คำปรึกษาข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี อีกทั้งอยากตรวจสอบแก้ไขโครงงานวิศวกรรมชลประทานให้มีความถูกต้องจนกระทั่งลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณมาเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบลบางระกำทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อมูลของตำบลและอำนวยความสะดวกในการเดินทาง ในการทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย ที่ให้เครื่องมือ GPS ในการเก็บพิกัดจุดต่างๆของพื้นที่ริมสองฝั่งแม่น้ำท่าจีน ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

ขอขอบคุณ อาจารย์ชูพันธุ์ ชมพูจันทร์ ที่ให้ข้อมูลแผนที่ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และสอนเทคนิคการใช้โปรแกรม GIS.

ขอขอบคุณ นายสุรพล เจริญชีพ (ลุงตุ๋ย) และเพื่อนนิสิตชลประทานรุ่น 63 ทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือจนโครงงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายพงษ์รัตน์ อ่อนละมุน ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆของตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดารวมทั้งพี่น้องและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้เวลาในการให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจในการจัดทำโครงงานนี้จนทำให้โครงการนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน คณาจารย์และบุคลากรทุกท่านที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำโครงงานนี้ ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของโครงงานวิศวกรรมชลประทานในเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดีโดยตลอด

นายอภิรัฐ ปล้องมาก
นางสาวปานทิพย์ มีถาวร
มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
คำนิยม	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญรูปผนวก	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1	
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2	
การตรวจเอกสาร	2
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับตำบลบางระกำ	2
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการพังทลายของตลิ่ง	3
2.2.1 ประเภทของตลิ่ง	3
2.2.2 สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง	4
2.2.3 ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง	8
2.2.4 แนวทางการแก้ไขปัญหาการพังทลายของตลิ่ง	10
2.3 การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet grouted plies	11
2.4 การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion	12
2.5 การป้องกันตลิ่งโดยวิธีเขื่อนป้องกันตลิ่ง	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
อุปกรณ์	16
วิธีการดำเนินงาน	16
บทที่ 4 ผลการศึกษา	17
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก.	33

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 1	แผนที่แสดงขอบเขตตำบลบางระกำ อ.บางเลน จ.นครปฐม	2
รูปที่ 2	ตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม	3
รูปที่ 3	ตัวอย่างการพังทลายเนื่องจากกัดเซาะของตลิ่ง	4
รูปที่ 4	รูปตัดลำน้ำและการกัดเซาะจากสาเหตุต่างๆ	5
รูปที่ 5	ผลของระยะทางเปิดที่มีผลต่อการกัดเซาะลำน้ำจากคลื่นลม	6
รูปที่ 6	กลไกการวิบัติของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพของความลาด	7
รูปที่ 7	การพังทลายบริเวณผิวลาด	8
รูปที่ 8	การพังทลายเป็นระนาบ	9
รูปที่ 9	การพังทลายแบบเลื่อนหมุน	9
รูปที่ 10	ลักษณะการพังทลาย	10
รูปที่ 11	Vegetated Rock Gabion Section View	12
รูปที่ 12	ตัวอย่างวัสดุที่ใช้เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ	14
รูปที่ 13	เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ	15
รูปที่ 14	การเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำ	17
รูปที่ 15	แนวการป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิม	18
รูปที่ 16	แนวการป้องกันใหม่	18
รูปที่ 17	ขอบเขตตำบลบางระกำและแม่น้ำท่าจีน	19
รูปที่ 18	ลักษณะตาข่าย Gabion	22
รูปที่ 19	ลักษณะการวางกล่อง Gabion	23
รูปที่ 20	การประกอบกล่อง Gabion	24
รูปที่ 21	การพันลวดเพื่อประกอบกล่อง Gabion	24
รูปที่ 22	การเชื่อมต่อกล่อง Gabion เข้าด้วยกัน	25
รูปที่ 23	การร้อยกล่อง Gabion	25
รูปที่ 24	การยึดกล่อง Gabion	26
รูปที่ 25	ลักษณะกล่อง Gabion ที่ทำการบรรจุหิน	27
รูปที่ 26	การบรรจุหิน	27
รูปที่ 27	ลักษณะการบรรจุหิน	28
รูปที่ 28	เครื่องมือในการติดตั้งกล่อง Gabion	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		**หน้า**
รูปที่ 29	การรั้งกล่อง Gabion	30
รูปที่ 30	Small fill	30

สารบัญรูปผนวก

รูปภาพผนวก **หน้า**

รูปผนวก ก.
รูปที่ 1-12 บริเวณที่มีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิมและเป็นลักษณะริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนฝั่งซ้ายเมื่อหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำ 34
รูปที่ 13-18 บริเวณที่มีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิมและเป็นลักษณะริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนฝั่งขวาเมื่อหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำ 36

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	ประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธีสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง	14
ตารางที่ 2	การประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles.	15
ตารางที่ 3	การประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion.	15
ตารางที่ 4	คุณสมบัติของลวดที่ใช้ในการทำกล่อง Gabion	16

บทที่ 1

คำนำ วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยของเรามักเกิดปัญหาการกัดเซาะตลิ่งบ่อยครั้ง ซึ่งสาเหตุสำคัญของการเกิดปัญหาการกัดเซาะตลิ่งเนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลเร็ว การไหลผ่านคลองที่มีความโค้งมากๆ และการเกิดคลื่นจากการสัญจรไปมาของเรือทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณตลิ่งได้ ซึ่งสร้างความเสียหายกับถนนในบริเวณพื้นที่ริมคลอง และบริเวณที่มีชุมชนตั้งอยู่ ทำให้ที่ดินของชาวบ้านลดน้อยลงไปทุกๆ ปี

ตำบลบางระกำเป็นตำบลหนึ่งที่มีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน ซึ่งมีความโค้งและคดเคี้ยวค่อนข้างมาก และเสี่ยงต่อปัญหาการกัดเซาะตลิ่ง จึงจำเป็นต้องมีการหาวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งด้วยวิธีต่างๆ

ในโครงงานนี้ได้ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะตลิ่งด้วยกัน 3 วิธี คือ การป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles และวิธีการป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาและวิเคราะห์จุดเสี่ยงที่เกิดการกัดเซาะตลิ่ง

2. เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1 ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพของแม่น้ำท่าจีนในปี ค.ศ. 2004 และ ปี ค.ศ. 2007 โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม

2. วิเคราะห์จุดเสี่ยงต่อการกัดเซาะตลิ่งโดยอาศัยหลักการไหลของน้ำและความโค้งของแม่น้ำ

3. ศึกษาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง 3 วิธี คือ การป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles และวิธีการป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion

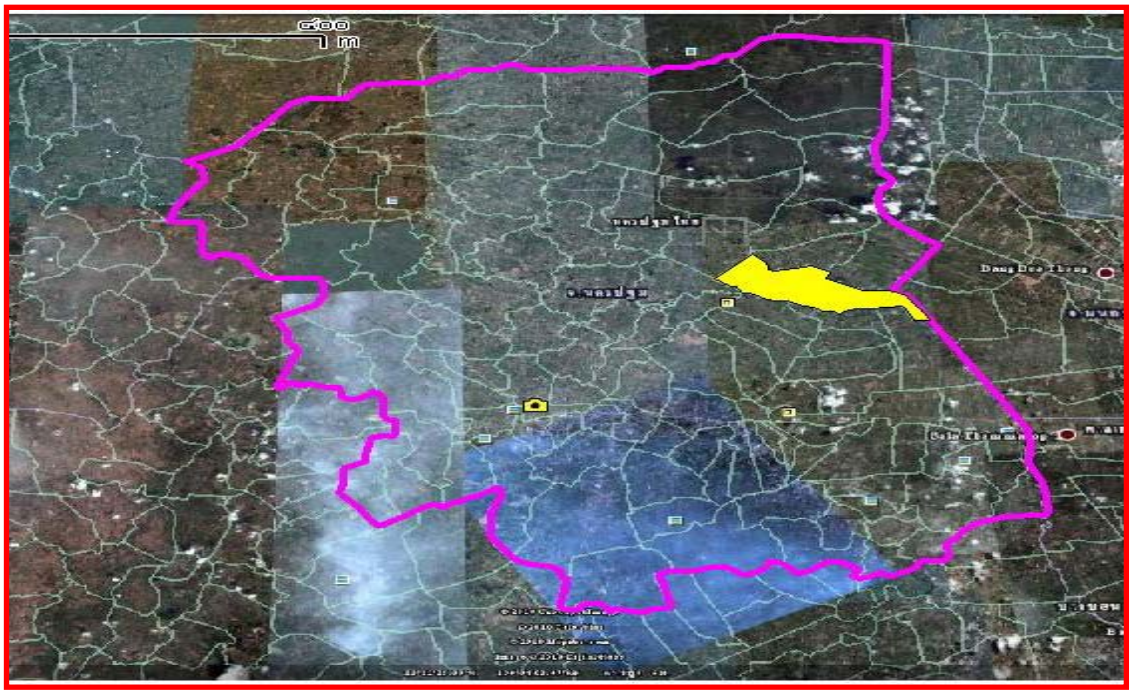
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

โครงงานนี้ได้ทำการตรวจเอกสารเกี่ยวกับตำบลบางระกำ และการพังทลายของตลิ่ง รวมไปถึงวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ตำบลบางระกำ

ตำบลบางระกำถูกเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (รูปที่ 1) ตั้งอยู่ทิศทางใต้ของอำเภอบางเลน ระยะห่างจากอำเภอบางเลนประมาณ 17 กิโลเมตร มีพื้นที่รับผิดชอบประมาณ 30 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 18,750 ไร่ เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน แบ่งตำบลออกเป็นสองฝั่ง คือ ฝั่งตะวันตก และฝั่งตะวันออก พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีเขียว มีความอุดมสมบูรณ์ราษฎรในพื้นที่ตำบลบางระกำประกอบอาชีพด้านการเกษตร ทำให้มีรายได้จากการทำการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นอาชีพรับจ้าง และธุรกิจส่วนตัว



รูปที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตตำบลบางระกำ อ.บางเลน จ.นครปฐม

2.2 การพังทลายของตลิ่ง

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายของตลิ่ง รวมถึงสาเหตุและลักษณะของการพังทลายโดยสังเขป เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาและประเมินสาเหตุการพังทลายของตลิ่งได้อย่างถูกต้อง อันจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมต่อไป

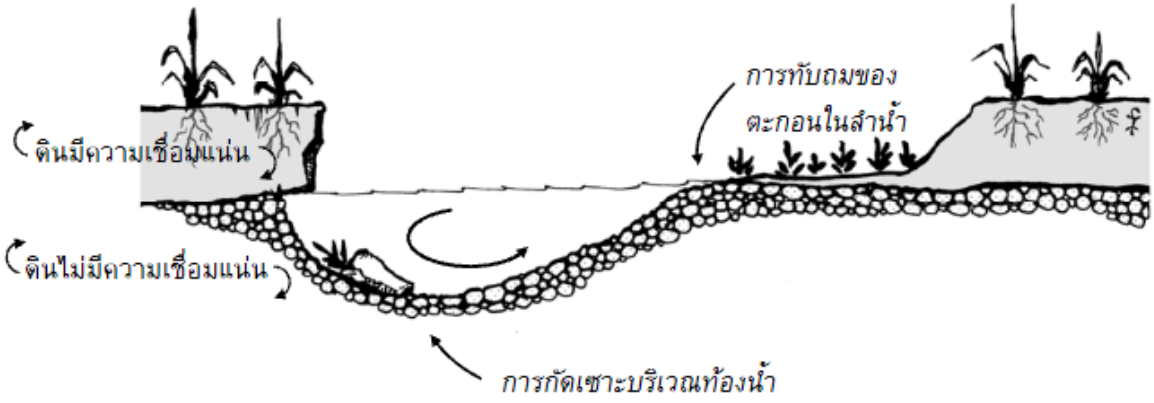
2.2.1)ประเภทของตลิ่ง

ตลิ่งของลำน้ำต่างๆ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะของดินได้ดังต่อไปนี้

(1) ตลิ่งที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) หรือดินเหนียวเป็นสำคัญ ตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำได้ดี

(2) ตลิ่งที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non-Cohesive Banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่น(Non-Cohesive Soil) เช่น ทราย หรือกรวด การยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินอาศัยเพียงแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคเป็นหลัก ตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำต่ำ

(3) ตลิ่งแบบผสม (Composite Banks) เป็นตลิ่งที่พบเห็นได้ทั่วไปในแม่น้ำที่มีการนำพาตะกอน ตลิ่งประเภทนี้ประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่นและไม่มีความเชื่อมแน่นวางตัวเป็นชั้นๆ ดังในรูปที่ 5 ที่แสดงตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม ชั้นล่างของตลิ่งเป็นดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่นที่ถูกกัดกร่อนและพัดพาได้ง่าย เช่น ทราย หรือกรวด ส่วนชั้นบนของตลิ่งเป็นดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนและทับถมของอนุภาคละเอียดจากการไหลหลากของน้ำบนผิวดิน



รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม

2.2.2) สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง

สาเหตุการพังทลายของตลิ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 สาเหตุ ดังนี้

(1) การกัดเซาะตลิ่ง (Bank Erosion) การกัดเซาะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำผ่านผิวตลิ่ง ซึ่งการไหลของน้ำทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนกระทำกับผิวตลิ่ง หากหน่วยแรงดังกล่าวมีขนาดสูงเกินกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของผิวดิน จะเกิดการพัดพาหรือกัดเซาะเอาผิวดินไหลหลุดออกไปได้ การกัดเซาะนี้เกิดขึ้นได้ทั้งบริเวณลาดตลิ่งและท้องน้ำการกัดเซาะท้องน้ำบริเวณตีนตลิ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ตลิ่งเกิดการพังทลาย และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและทิศทางการไหลของแม่น้ำ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณตะกอนในลำน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย

รูปที่ 3 ตัวอย่างการพังทลายเนื่องจากกัดเซาะของตลิ่ง

(2) การขาดเสถียรภาพทางเทคนิคธรณี (Geotechnical Instabilities) การพังทลายของตลิ่งจากการขาดเสถียรภาพเกิดขึ้นเมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินไม่เพียงพอที่จะต้านหน่วยแรงที่กระทำกับตัวตลิ่งได้ สาเหตุการพังทลายของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพที่สำคัญ ได้แก่

(ก) การลดระดับน้ำในลำน้ำอย่างกะทันหัน ทำให้แรงดันน้ำในดินสูง กำลังของดินลดลง

(ข) ตลิ่งที่มีชั้นดินทรายบางๆ อาจเกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง จนเกิดการกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรง (Piping) ส่งผลให้ดินส่วนบนพังทลายตามลงมา

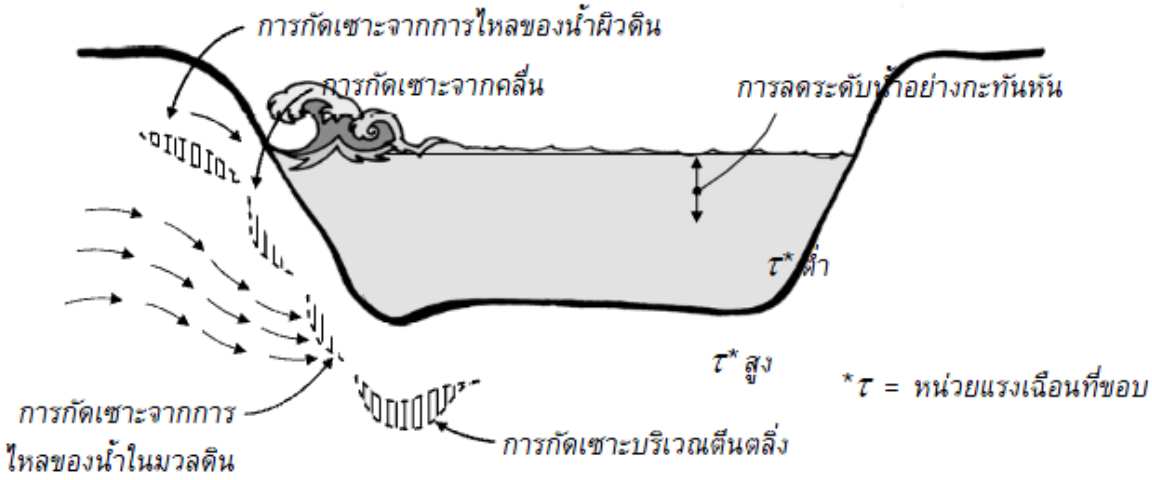
(ค) แรงตึงผิว (Capillary) สามารถทำให้ตลิ่งประเภทดินทรายมีความชันสูงกว่าความชันธรรมชาติของตัวตลิ่งได้แต่เมื่อตลิ่งแห้งตัว แรงตึงผิวดังกล่าวจะหายไป ทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพและพังทลายลงมา

(3) การพังทลายของตลิ่งในรูปแบบที่ (1) และ (2) รวมกัน การพังทลายของตลิ่งส่วนใหญ่เริ่มเกิดจากการกัดเซาะและผลจากการกัดเซาะทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพและพังทลายลงมา

การกัดเซาะตลิ่ง

การกัดเซาะตลิ่งเกิดขึ้นเมื่อแรงกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำเกินกว่าแรงต้านทานของดินริมตลิ่ง ทำให้เม็ดดินถูกพัดพาไหลหลุดออกมา อันอาจจะนำไปสู่การพังทลายของตลิ่งได้ สาเหตุการกัดเซาะของตลิ่งที่สำคัญสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

(1) **การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำ (Erosion by Current Flow)** ความรุนแรงของกระแสน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณการไหลของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ขนาดและความลาดเอียงของลำน้ำ รวมทั้งรูปร่างความคดเคี้ยวของลำน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกัดเซาะ ลำน้ำที่มีความคดเคี้ยวมากการกัดเซาะจะเป็นไปอย่างรุนแรง



รูปที่ 4 รูปตัดลำน้ำและการกัดเซาะจากสาเหตุต่างๆ

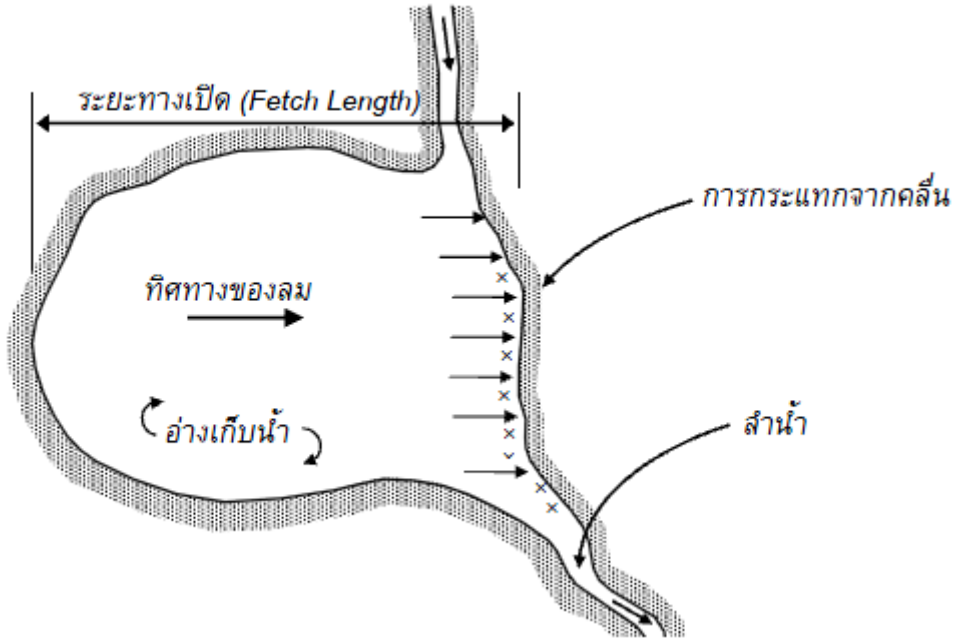
(ก) ลำน้ำตรง (Straight Channels) การไหลของกระแสน้ำในลำน้ำตรงทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวดินและน้ำ ซึ่งเรียกหน่วยแรงเฉือนดังกล่าวว่า หน่วยแรงเฉือนที่ขอบ (Boundary Shearing Stress) ซึ่งขนาดของหน่วยแรงเฉือนขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำ รูปร่างของหน้าตัด ความลาดเอียง และระดับความลึกในลำน้ำ

(ข) ลำน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular Channels) ลำน้ำที่มีความไม่สม่ำเสมอ (เช่น ลำน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัด การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลำน้ำ เป็นต้น) ทำให้เกิดการไหลของกระแสน้ำรอง ซึ่งการไหลดังกล่าวทำให้การไหลตามยาวในลำน้ำหรือการไหลหลักเกิดการปั่นป่วน อันมีผลต่อการกระจายของค่าหน่วยแรงเฉือนที่ขอบ

(2) การกัดเซาะเนื่องจากคลื่น (Erosion by Wave Action) คลื่นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นในลำน้ำโดยเฉพาะในบริเวณลาดตลิ่ง สาเหตุการเกิดคลื่นในลำน้ำแยกออกได้เป็น 2 สาเหตุ ดังนี้

(ก) คลื่นที่เกิดจากลม (Wind-Generated Waves) ความแรงของคลื่นประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลม ความถี่และระยะเวลาที่ลมพัด รวมทั้งระยะทางเปิดที่ลมพัดผ่าน (รูปที่ 8)

(ข) คลื่นที่เกิดจากเรือ (Boat-Generated Waves) เกิดขึ้นจากการสัญจรของเรือในลำน้ำ ความรุนแรงของคลื่นขึ้นอยู่กับประเภท รูปร่าง ขนาด และความเร็วของเรือ รวมทั้งขนาดและรูปร่างของลำน้ำด้วย



รูปที่ 5 ผลของระยะทางเปิดที่มีผลต่อการกัดเซาะลำน้ำจากคลื่นลม

(3) การกัดเซาะทางกล (Erosion by Mechanical Action) สาเหตุการกัดเซาะทางกลมีอยู่หลายประเภท ตัวอย่าง ได้แก่

(ก) การกระแทกของเรือเมื่อเรือเทียบฝั่ง รวมทั้งการฝังหมุดเพื่อยึดเรือ

(ข) การขยายและหดตัวของดินสลับกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ดินมีสภาพชุ่มน้ำและแห้งสลับกัน ผลทำให้ดินเกิดการล้าตัวและหลุดร่อน

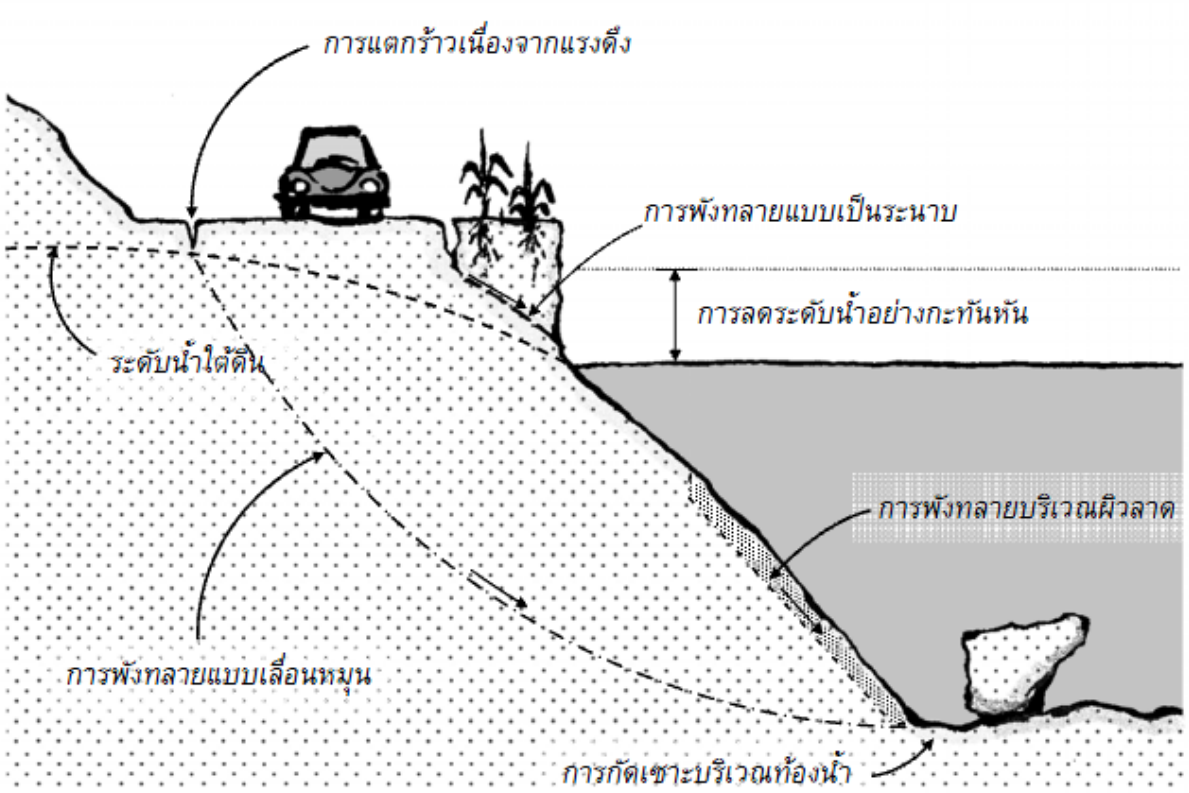
(ค) การกัดเซาะเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ การกัดเซาะประเภทนี้ได้แก่ การสร้างสิ่งก่อสร้าง เช่น สะพาน ฝายน้ำล้น ท่าเทียบเรือ สิ่งก่อสร้างเหล่านี้ทำให้เกิดผลกระทบกับลำน้ำและเกิดการกัดเซาะตลิ่งขึ้นได้ นอกจากนี้การทำลายหญ้าหรือวัชพืชปกคลุมตลิ่ง ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งได้

(4) การกัดเซาะเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Erosion Due to Seepage) การซึมผ่านนี้ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดิน ซึ่งสามารถกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรง (Piping) ได้

(5) การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดิน (Erosion due to Surface Runoff) การกัดเซาะในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฝนสูงกว่าอัตราการซึมได้ของน้ำในดิน ทำให้เกิดการไหลหลากของน้ำบนผิวดิน การที่น้ำผิวดินไหลผ่านตลิ่งอาจทำให้ผิวตลิ่งเกิดการกัดเซาะขึ้นได้ การปลูกหญ้าหรือวัชพืชคลุมตลิ่งจะทำให้ความรุนแรงของการกัดเซาะในลักษณะนี้ลดน้อยลงได้

องค์ประกอบที่มีผลต่อการขาดเสถียรภาพของตลิ่ง

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายของตลิ่งจากการขาดเสถียรภาพมีอยู่หลายประการด้วยกัน ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ (รูปที่ 6) ได้แก่



รูปที่ 6 กลไกการวิบัติของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพของความลาด

(1) ความลาดเอียงของตลิ่ง (Bank Slope Geometry) หากตลิ่งมีความลาดเอียงสูงกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติของตัวตลิ่งเอง ก็มีแนวโน้มว่าตลิ่งดังกล่าวที่จะเกิดการพังทลายเนื่องจากการขาดเสถียรภาพได้ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความลาดเอียงของตลิ่งที่สำคัญ ได้แก่ คุณสมบัติของดินตลิ่ง ระดับของน้ำใต้ดินและน้ำในลำน้ำ และการกัดเซาะบริเวณลาดตลิ่ง

(2) การไหลของน้ำ (Water Flow) แบ่งออกเป็น

(ก) การไหลซึมของน้ำในมวลดิน (Seepage) การไหลของน้ำในมวลดินเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับน้ำในลำน้ำแตกต่างกัน ถ้าผลต่างของระดับดังกล่าวสูง เช่น ในกรณีการลดระดับอย่างกะทันหันของน้ำในลำน้ำจะทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง สามารถกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรงได้ นอกจากนี้การไหลของน้ำในมวลดินยังทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณผิวตลิ่งและตีนตลิ่งได้

(ข) การซึมผ่านของน้ำผิวดิน (Infiltration) การซึมผ่านของน้ำผิวดินและน้ำฝนทำให้หน่วยความหนาแน่นและแรงดันน้ำในดินสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังของดินและเสถียรภาพของตลิ่งลดลง

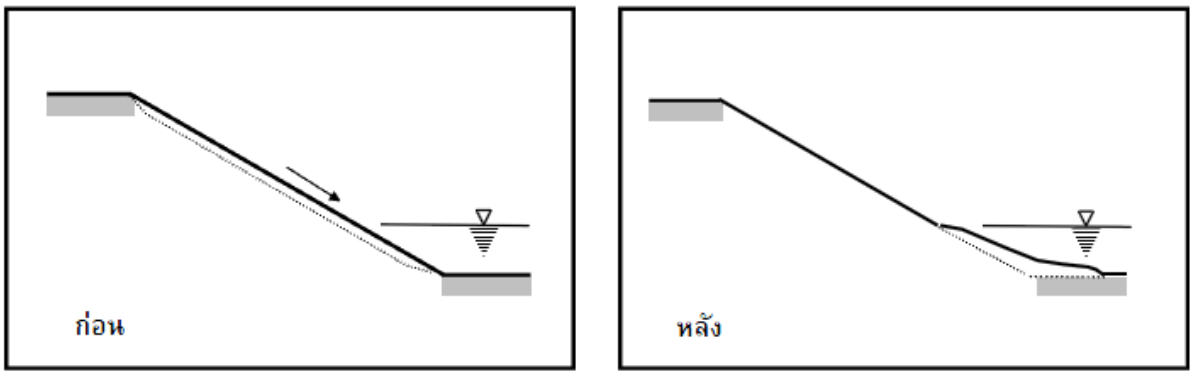
(3) น้ำหนักบรรทุกจรริมตลิ่ง (Surcharge Loads) ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกนี้ได้แก่ น้ำหนักมนุษย์ น้ำหนักจากเครื่องจักรในขณะก่อสร้าง และน้ำหนักของรถยนต์ในกรณีที่มีถนนอยู่ริมตลิ่ง

(4) การแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack) เกิดขึ้นกับดินประเภทดินเหนียว การแตกร้าวนี้ทำให้ตลิ่งลดเสถียรภาพลง โดยเฉพาะหากมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว

2.2.3) ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง

ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง สามารถจำแนกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

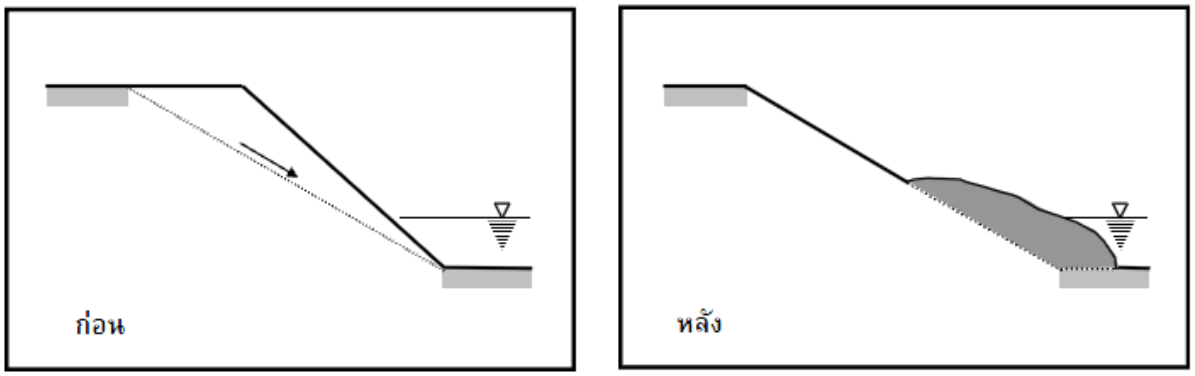
(1) การพังทลายบริเวณผิวลาด (Shallow Failure) โดยทั่วไปเกิดกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินทราย ระนาบการพังทลายจะอยู่ในระดับตื้นและขนานไปกับลาดของตลิ่ง การพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความลาดเอียงของตลิ่งสูงกว่าแรงเสียดทานภายในของเม็ดดิน โดยเฉพาะถ้ามีน้ำไหลซึมผ่านในตลิ่งทำให้การพังทลายในลักษณะนี้เกิดได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 7)



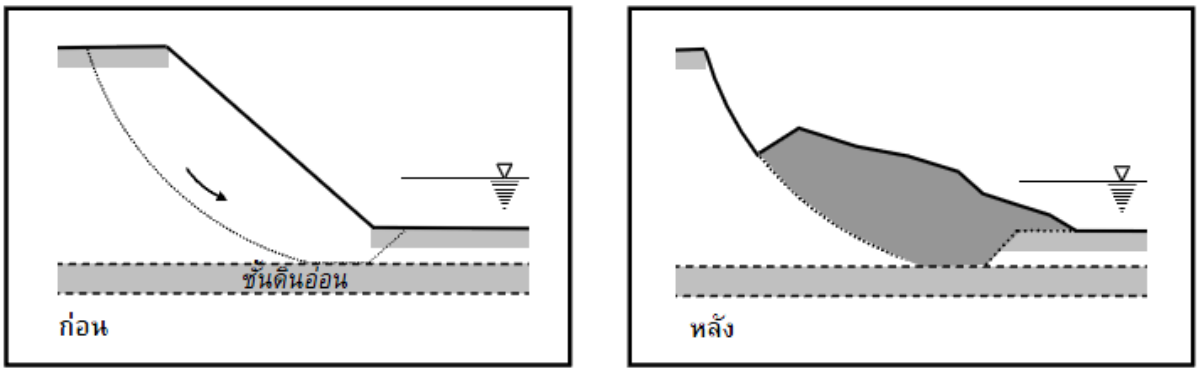
รูปที่ 7 การพังทลายบริเวณผิวลาด

(2) การพังทลายเป็นระนาบ (Planar Failure) หรือการวิบัติแบบบล็อก (Block Failure) โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นกับตลิ่งที่มีความชันปานกลาง ถ้าดินตลิ่งบริเวณผิวบนเกิดการแตกในลักษณะแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack)และมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว จะทำให้การวิบัติในลักษณะนี้เกิดได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 50)

(3) การพังทลายแบบเลื่อนหมุน (Rotational Failure) โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินเหนียวมีความสูงปานกลางถึงสูงมาก สาเหตุการพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ตลิ่งหรือท้องน้ำหรือเกิดจากการลดระดับน้ำในแม่น้ำอย่างกะทันหัน (รูปที่8)



รูปที่ 8 การพังทลายเป็นระนาบ



รูปที่ 9 การพังทลายแบบเลื่อนหมุน

(4) การพังทลายของตลิ่งแบบผสม (Failure of Composite Banks) การพังทลายของตลิ่งแบบผสมตามที่แสดงในรูปที่ 5 เกิดขึ้นเมื่อดินชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินไม่มีความเชื่อมแน่นถูกกระแสน้ำกัดเซาะ ทำให้ดินชั้นบนเกิดเป็นส่วนคอด (Undercut) และพังทลายลงมา ซึ่งการพังทลายของดินส่วนบนอาจเกิดในลักษณะการพังทลายจากแรงดึง หรือจากการหมุนตัว (รูปที่ 10)

2.2.4) แนวทางการแก้ไขปัญหาการพังทลายของตลิ่ง

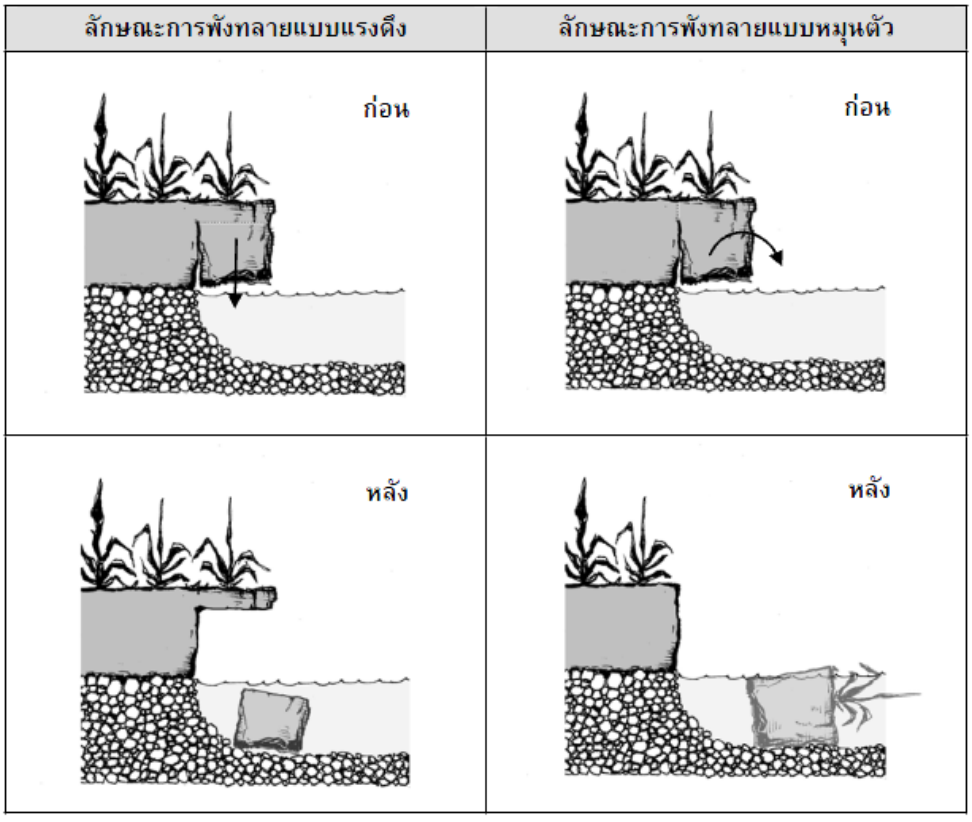
มาตรการในการแก้ไขปัญหาหรือบรรเทาความเสียหายจากการพังทลายของตลิ่งตามที่ได้กล่าวข้างต้นมีอยู่หลายมาตรการด้วยกันทั้งในเชิงรุกและเชิงรับ เช่น การอพยพประชาชนหรือรื้อสิ่งก่อสร้างออกจากพื้นที่ความเสียหาย การเปลี่ยนเส้นทางล้ำน้ำ หรือการขุดลอกลำน้ำ เป็นต้น แต่มาตรการที่ถือได้ว่าเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาตรการหนึ่งและเป็นที่นิยมนำมาใช้ปฏิบัติกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ การป้องกันตลิ่งโดยการเสริมสร้างเสถียรภาพให้กับตลิ่ง ซึ่งที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ดังต่อไปนี้

(1) การป้องกันโดยใช้เขื่อนป้องกันตลิ่ง

(2) การป้องกันโดยใช้โครงสร้างเบี่ยงเบนการไหลของกระแสน้ำ

(3) การป้องกันโดยวิธีธรรมชาติ

ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันไปแล้วแต่กรณี องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการพิจารณาความเหมาะสมของการป้องกันในแต่ละวิธีนั้น ประกอบด้วย สภาพลำน้ำ ความเสียหายของตลิ่งสภาพแวดล้อม วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นเทคนิคการก่อสร้าง วัตถุประสงค์ ประโยชน์ใช้สอย ความสวยงาม และงบประมาณของโครงการ



รูปที่ 10 ลักษณะการพังทลาย

2.3 การก่อสร้างระบบป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet Grouted Piles

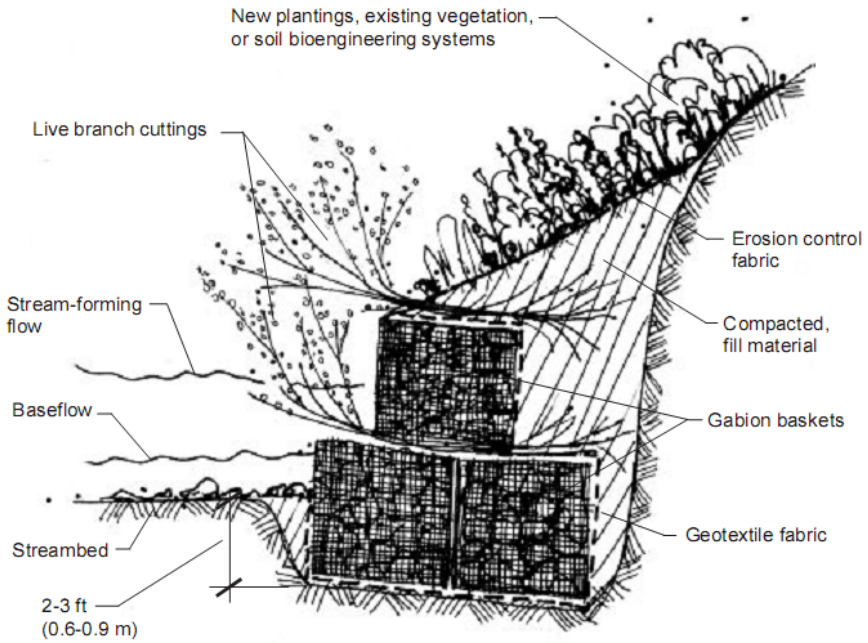
การก่อสร้างระบบป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet Grouted Piles เป็นอีกวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาด้านการพังทลายของตลิ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากทำงานได้สะดวกรวดเร็ว วิธีการทำงานและออกแบบไม่ยุ่งยากมากนัก รวมทั้งยังให้ความมั่นคงของตลิ่งไม่น้อยไปกว่าการสร้างกำแพงกันดินเมื่อเทียบกับความจำเป็นที่ต้องการ วิธี Jet Grouted Pile ถือเป็นเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ Cement Column โดยมีจุดมุ่งหมายหลักในการปรับปรุงดินอ่อนในที่ซึ่งมีคุณภาพต่ำไม่เหมาะสมที่จะใช้ในงานก่อสร้างให้มีสภาพเป็นดินที่แข็งตัว มีความทึบน้ำมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปมากขึ้น ในขณะที่หน่วยน้ำหนักจะเบาขึ้นเล็กน้อย สารผสมเพิ่มที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งดินเหนียวอ่อนและดินทราย ปกติจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง หากต้องการกำลังของดินอ่อนหลังทำการปรับปรุงให้มีกำลังสูงมากๆ ต้องเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความแข็งแรงของวัสดุผสมที่ต้องการ [2]

เทคนิคการก่อสร้าง Cement Column สามารถก่อสร้างด้วยวิธีผสมลึกทั้งแบบปั่นผสม (Rotary Mixed) และอัดฉีดแรงดันสูง (Jet Grouting) เทคนิคแบบปั่นผสมเหมาะสำหรับดินประเภท Cohesive Soils หรือดินปนกรวด หรือดินปนหินขนาดใหญ่ ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น เทคนิคแบบอัดฉีดแรงดันสูงสามารถใช้ปรับปรุงดินได้ทุกประเภท ทั้งดินประเภท Cohesive Soils โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีความเหนียวมากอย่างดินในบริเวณกรุงเทพฯ และดินประเภท Cohesionless Soils

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 ได้มีการพัฒนาเทคนิคปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Jet Grouting Technique ให้มีประสิทธิภาพสูง สามารถควบคุมคุณภาพการก่อสร้างไม่ให้เกิดความเสียหายกับสิ่งก่อสร้างข้างเคียง และช่วยแก้ปัญหาในการก่อสร้างงานประเภทต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น งานก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว (Temporary Earth Retaining Structure) งานเสริมความแข็งแรงของดินที่ก้นบ่อขุดเพื่อต้านการยกตัวในงานขุดบ่อดิน (Strengthening Bottom Floor against Base Heaving in Excavation) งานปรับปรุงดินฐานรากซึ่งเป็นชั้นดินอ่อนที่หนามากเพื่อให้สามารถรองรับคันดินถมหรือลานดินถม (Foundation Improvement for Earth Embankment) ได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดการทรุดตัวเกินเกณฑ์ที่กำหนด งานเสริมความมั่นคงให้ตลิ่งริมน้ำทั้งที่มีหรือยังไม่มีโครงสร้างกำแพงคอนกรีตป้องกันตลิ่ง (Stabilizing Soil along River Banks or Strengthening Existing Retaining Structures) และงานก่อสร้างแนวกำแพงทึบน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำผ่านเข้าไปในบริเวณที่ต้องการป้องกัน (Impervious Cut-off Wall)

2.4 การก่อสร้างระบบป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion

Rock gabion เป็นองค์ประกอบในรูปแบบของบล็อกที่ทำจากลวดตาข่ายหกเหลี่ยมบิดในการเปิดหรือรอยสี่เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมเปิดซึ่งเต็มไปด้วยหินธรรมชาติเพื่อป้องกันแม่น้ำภูเขาหรือการก่อสร้าง เป็นโครงสร้างเพื่อใช้สำหรับควบคุมการพังทลายเพื่อรักษาเสถียรภาพของตลิ่ง ข้อดีของวิธีนี้คือ มีความยืดหยุ่น ทนทานและมีความจุสูง เมื่อเวลาผ่านไป มีการเจริญเติบโตของหญ้าและต้นไม้ที่เป็นตัวประสานทำให้หินมีความแน่นขึ้น และวิธีนี้ไม่ต้องใช้แรงงานที่มีความรู้มากนัก ทำได้ง่ายและรวดเร็ว



Vegetated Rock Gabion Section View

รูปที่ 11 Vegetated Rock Gabion Section View

2.5 เขื่อนป้องกันตลิ่ง

เขื่อนป้องกันตลิ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ชนิด ได้ดังนี้

(1) เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง (Slope Bank Protection)

(2) เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง (Vertical Bank Protection)

(3) เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ (Natural Bank Protection)

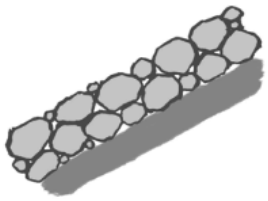
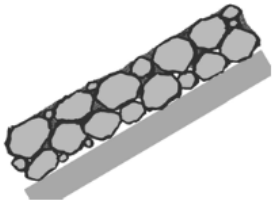
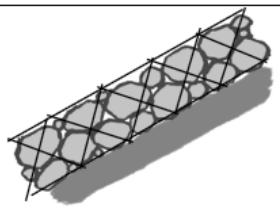
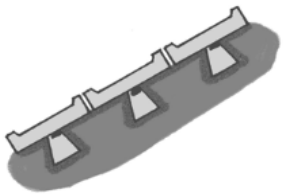
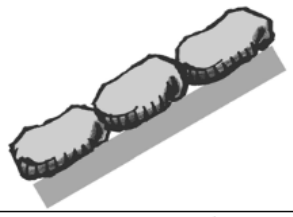
การพิจารณาเลือกรูปแบบของเขื่อนป้องกันตลิ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบ รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ ประกอบ เช่นข้อมูลทางด้านชลศาสตร์และปฐพีกลศาสตร์ สภาพของลำน้ำและแหล่งวัสดุ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรมและประโยชน์ใช้สอยอีกด้วย

2.5.1 เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง

เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง เป็นการป้องกันตลิ่งโดยการถมด้วยวัสดุที่คัดเลือกแล้วจนกระทั่งมีความลาดเอียงที่พอเหมาะทำให้ตลิ่งมีความมั่นคงแข็งแรง ความลาดเอียงของเขื่อน (อัตราส่วนระยะแนวตั้งต่อระยะแนวราบ) โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1:2 ถึง 1:3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินริมตลิ่งและวัสดุถม หลังจากนั้นจึงทำการปูทับด้วยโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งหรือ Revetment เขื่อนชนิดนี้สามารถดำเนินการก่อสร้างได้ง่าย ไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือและราคาค่าก่อสร้างไม่สูงนัก แต่ถ้าตลิ่งมีความสูงมากจะทำให้ลาดของตัวเขื่อนยื่นล้ำเข้าไปในลำน้ำมาก อันอาจจะเกิดปัญหาในการใช้ลำน้ำได้

2.5.2 เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง

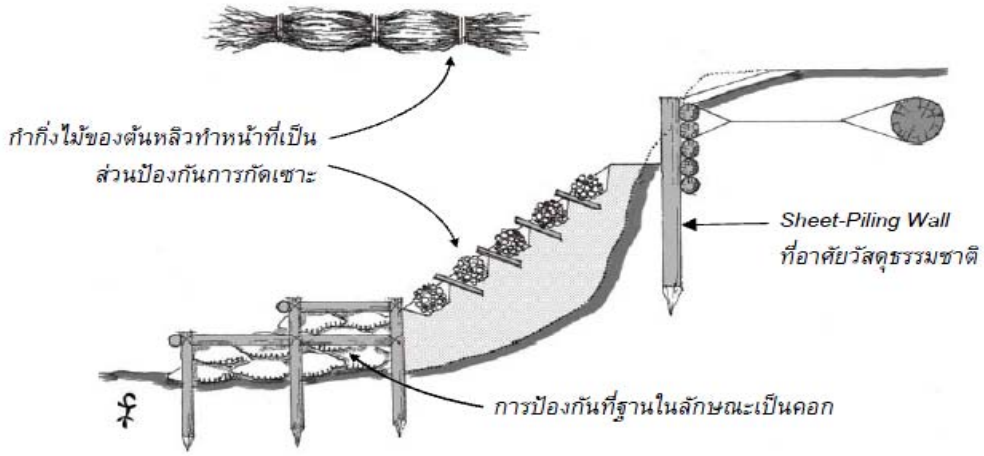
การก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียงในลำน้ำที่แคบหรือตลิ่งมีความสูงชันมาก อาจไม่เป็นการเหมาะสม เนื่องจากลาดของตัวเขื่อนจะยื่นล้ำเข้าไปในลำน้ำมาก ทำให้เกิดปัญหาในการใช้ลำน้ำได้ วิธีแก้ปัญหาวิธีหนึ่ง คือ เลือกใช้เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งสามารถจำแนกได้ออกเป็น 6 แบบ ดังนี้

เรียงหินใหญ่	
เรียงหินยาแนว	
กล่องลวดตาข่าย	
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	
กระสอบทราย	
หญ้า	

รูปที่ 12 ตัวอย่างวัสดุที่ใช้เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ

2.5.3 เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ (Natural Bank Protection)

เขื่อนป้องกันตลิ่งโดยวิธีธรรมชาติเป็นการผสมผสานระหว่างการป้องกันตลิ่งโดยวิธีธรรมชาติและการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งโดยการนำหลักการทาง Biotechnical Stabilization มาใช้กับโครงสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น พืชประเภทต่างๆ ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาถึงการใช้พืชในท้องถิ่นและการคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสม รวมทั้งยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมอีกด้วย สำหรับพันธุ์ไม้ที่นิยมนำมาใช้การป้องกันดังกล่าว ได้แก่ ต้นสน (Willow) เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ทนทรหด มีรากที่สามารถยึดติดกับสภาพตลิ่งได้ดี ตัวอย่างของเขื่อนประเภทแสดงในรูปที่ 67



รูปที่ 13 เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

เครื่อง GPS

สายวัด

โปรแกรม GIS

คอมพิวเตอร์

3.2 วิธีการดำเนินงาน

1. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสภาพแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำจากภาพถ่ายดาวเทียมในปี ค.ศ. 2004 จากโปรแกรม Google Earth และในปี ค.ศ. 2007 จากโปรแกรม Point Asia.

2. ทำการออกสำรวจภาคสนามโดยนั่งเรือสำรวจบริเวณริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนทั้งสองฝั่งแม่น้ำ พร้อมทั้งถ่ายรูปเพื่อใช้ใน การประกอบการวิเคราะห์จุดเสี่ยงการกัดเซาะตลิ่ง เป็นระยะทางทั้งหมด 3500 เมตร จากบริเวณวัดสุขวัฒนารามจนถึงอนุสรณ์สถานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช

3. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานของตำบลบางระกำเพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการกัดเซาะตลิ่ง ยกตัวอย่างเช่น แนวการป้องกันที่มีอยู่เดิม

4. ทำการ Digitizes เส้นแม่น้ำและทำการมาร์คจุดเสี่ยงตลิ่งพังโดยการวิเคราะห์จุดเสี่ยงการกัดเซาะตลิ่งจากลักษณะการไหลของน้ำในแม่น้ำและความโค้งของลำน้ำ

5. วิเคราะห์เปรียบเทียบและออกแบบการป้องกันตลิ่งทั้งหมด 3 วิธีด้วยกัน คือ การป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง การป้องกันตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles และวิธีการป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion

6. ออกแบบการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งเบื้องต้นสำหรับพื้นที่ศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

1. จากการศึกษาภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพของลำน้ำในปี ค.ศ. 2004จากโปรแกรม Google Earth และในปี ค.ศ. 2007 จากโปรแกรม Point Asia. พบว่าแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำมีการกัดเซาะเพิ่มมากขึ้น (ดังรูป 14) ซึ่งจำเป็นต้องมีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง

ปี ค.ศ. 2004 ปี ค.ศ. 2007

รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำ

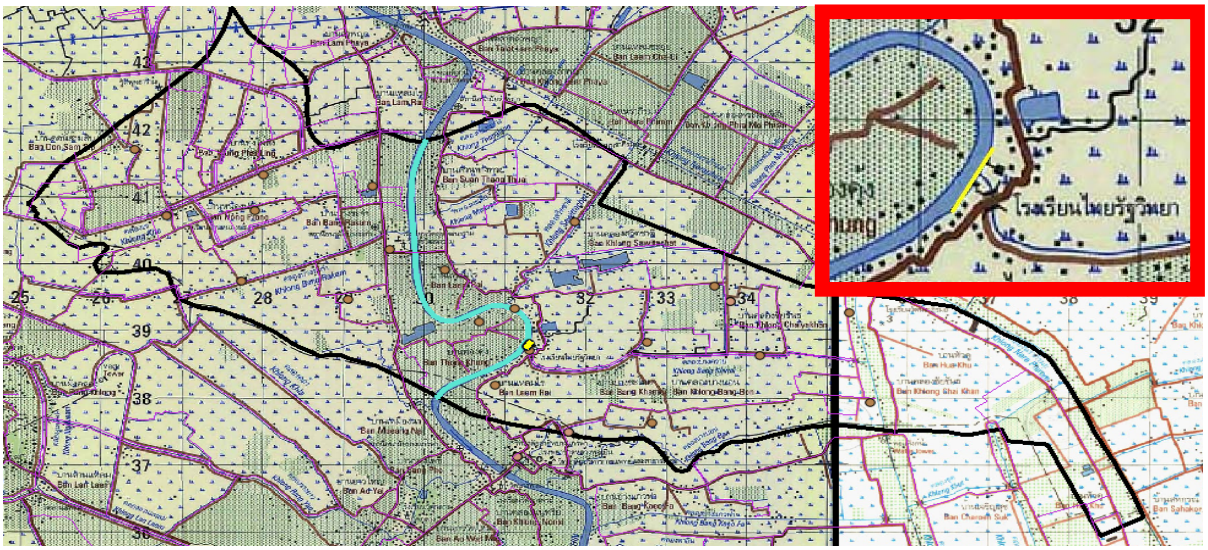
2. ผลการออกสนามในช่วงวันที่ 18 – 27 ตุลาคม 2553 ได้มีการเก็บภาพสองฝั่งแม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำ พบว่ามีบริเวณที่เป็นจุดเสี่ยงตลิ่งพังหลายจุดได้แก่ บริเวณบ้านท้องคุ้ง หมู่ที่ 2 บริเวณหน้าโรงเรียนไทยรัฐวิทยา 4 หมู่ที่ 3 ซึ่งในบางจุดที่เป็นจุดเสี่ยงตลิ่งพังได้มีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง ดังแสดงรูปถ่ายในภาคผนวก ก โดยที่แนวการป้องกันที่มีอยู่เดิมเป็นดังรูปที่ 15

สัญลักษณ์

แนวการป้องกันเดิม

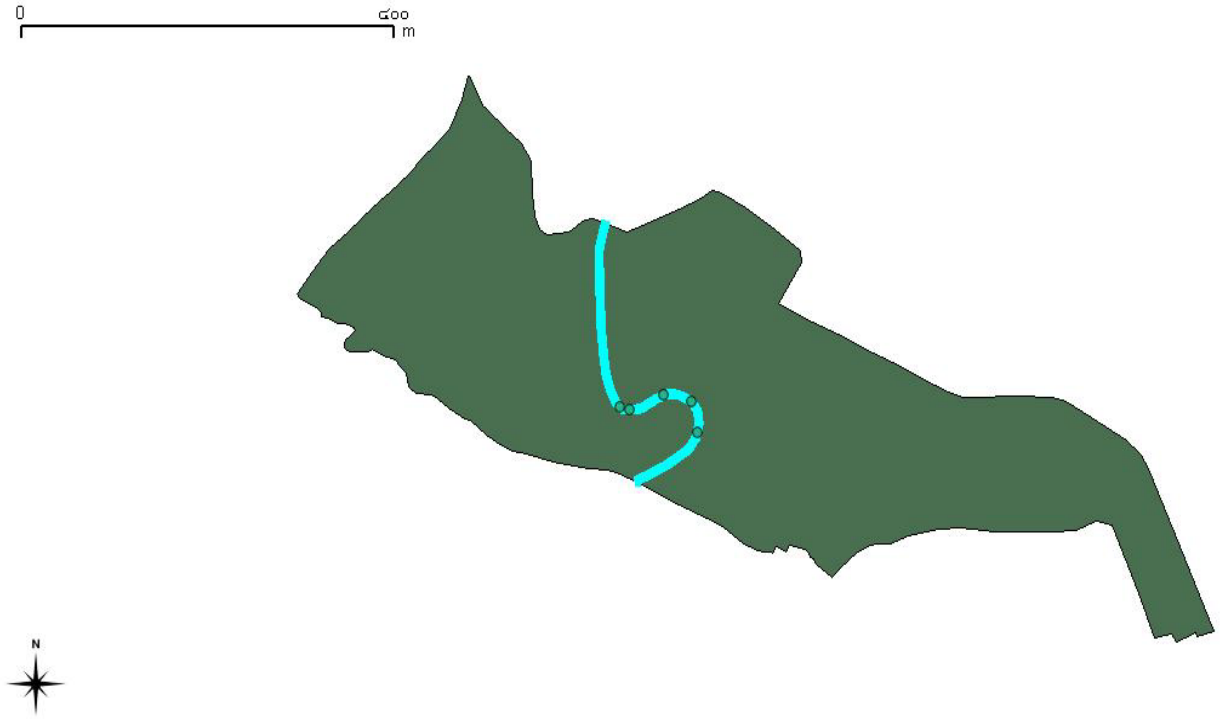
รูปที่ 15 แนวการป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิม

3. จากการรวบรวมข้อมูลต่างๆเพื่อวิเคราะห์จุดเสี่ยงตลิ่งพัง รวมไปถึงการวิเคราะห์การไหลของน้ำและความโค้งของลำน้ำ พบว่าจุดที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะตลิ่งมากที่สุดคือบริเวณหมู่ที่ 3 ซึ่งเป็นบริเวณโค้งเกิดการกัดเซาะได้ง่ายเนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลค่อนข้างเร็ว ประกอบกับการสัญจรไปมาของเรือทำให้เกิดคลื่นน้ำซัดเข้าริมฝั่งแม่น้ำส่งผลให้เกิดการกัดเซาะตลิ่ง ทั้งนี้ได้เลือกออกแบบการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งบริเวณหน้าโรงเรียนไทยรัฐวิทยา ซึ่งเป็นที่สาธารณะและสามารถสร้างประโยชน์ให้กับทางโรงเรียนได้ โดยทำการออกแบบการป้องกันเป็นระยะทาง 60 เมตร ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แนวการป้องกันใหม่

4. จากการ Digitizes เส้นแม่น้ำและทำการมาร์คจุดเสี่ยงการกัดเซาะตลิ่งโดยใช้โปรแกรม GIS ทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ขอบเขตตำบลบางระกำและแม่น้ำท่าจีน

5. ผลการออกแบบป้องกันตลิ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งทั้ง 3 วิธีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธีสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

รายละเอียดการให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง	เกณฑ์การให้คะแนน				
	10	8	6	4	2
1.ความคงทนแข็งแรง	√				
2.ความสะดวกในการก่อสร้าง			√		
3.ราคาค่าก่อสร้าง				√	
4.วัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้าง		√			
5.ระยะเวลาในการก่อสร้าง			√		
รวม	34				

ตารางที่ 2 การประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดย Jet grouted piles.

รายละเอียดการให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธี Jet grouted piles.	เกณฑ์การให้คะแนน				
	10	8	6	4	2
1.ความคงทนแข็งแรง		√			
2.ความสะดวกในการก่อสร้าง			√		
3.ราคาค่าก่อสร้าง			√		
4.วัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้าง				√	
5.ระยะเวลาในการก่อสร้าง			√		
รวม	30				

ตารางที่ 3 การประเมินและให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งวิธี Rock Gabion.

รายละเอียดการให้คะแนนวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion.	เกณฑ์การให้คะแนน				
	10	8	6	4	2
1.ความคงทนแข็งแรง		√			
2.ความสะดวกในการก่อสร้าง	√				
3.ราคาค่าก่อสร้าง		√			
4.วัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้าง			√		
5.ระยะเวลาในการก่อสร้าง			√		
รวม	38				

จากการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบป้องกันการกัดเซาะตลิ่งทั้ง 3 วิธี พบว่าการก่อสร้างระบบป้องกันตลิ่งโดยวิธี Rock Gabion เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีความคงทนแข็งแรงและราคาค่าก่อสร้างต่ำรวมไปถึงความสะดวกในการก่อสร้างอีกด้วย

6. การเลือกวัสดุในการออกแบบการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง โดยเลือกใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของ Maccaferri Agrement Certificate No. 95/3141 ซึ่งเป็นลวดตาข่ายบิดคู่หกเหลี่ยมเคลือบสังกะสีหรือ PVC-U เคลือบสังกะสี ใช้ในการสาน Gabion ซึ่งมีเงื่อนไขการใช้งานและคุณภาพเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากมีอายุการใช้งานยาวนาน มีการตรวจสอบคุณภาพโดย BBA ตามพระราชบัญญัติ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของลวดที่ใช้ในการทำกล่อง Gabion

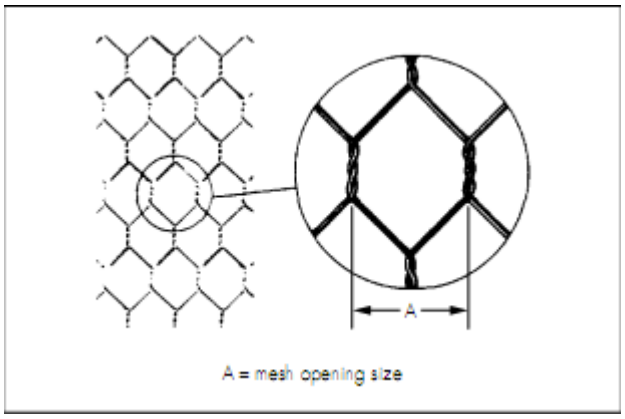
Manufacturer's reference[1]	Mesh opening size A[2] (mm)	Diameter of wires (mm)			
		Mesh	Edge and selvedge	Mesh with PVC-U	Edge and selvedge with PVC-U
Z10/2.7	100	2.7	3.4	—	—
Z10/3.0	100	3.0	3.9	—	—
P10/2.7	100	2.7	3.4	3.7	4.4
Z8/3.0	80	3.0	3.9	—	—
Z8/2.7	80	2.7	3.4	—	—
Z8/2.4	80	2.4	3.0	—	—
P8/2.7	80	2.7	3.4	3.7	4.4
P8/2.4	80	2.4	3.0	3.4	4
Z6/2.4	60	2.4	3.0	—	—
Z6/2.2	60	2.2	2.7	—	—
Z6/2.0	60	2.0	2.4	—	—
P6/2.2	60	2.2	2.7	3.2	3.7
P6/2.0	60	2.0	2.4	3	3.4
P6/2.4	60	2.4	3.0	3.4	4
Z5/2.0	50	2.0	2.4	—	—

(1) Z —galvanized wire zinc coated

P —PVC-U coated galvanized wire

2.7, 3.0, etc is the diameter of the galvanized wire for the mesh

(2) see Figure 18.



รูปที่ 18 ลักษณะตาข่าย Gabion

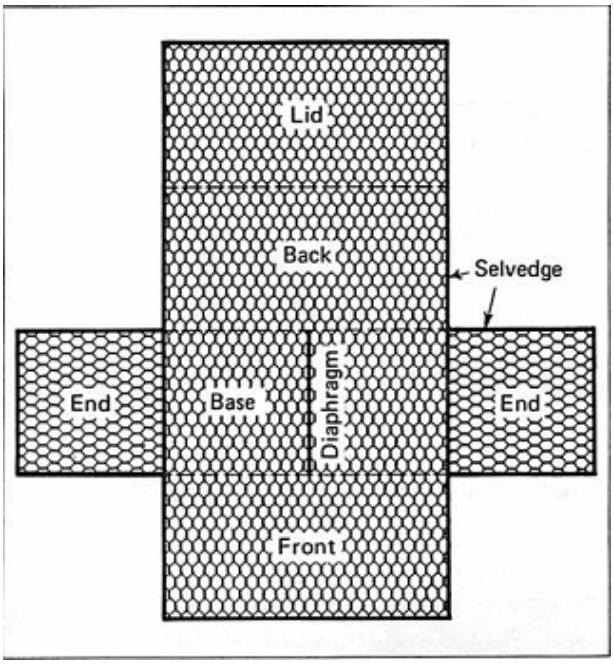
รายละเอียดโดยทั่วไป

1. การผลิตและการควบคุมคุณภาพ
   1.1 ลวดชุบสังกะสีหรือ PVC-U ผลิตโดยกลุ่ม Maccaferri.
   1.2 เป็นตาข่ายข้อต่อบิดสองครั้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่
   1.3 การควบคุมการผลิตรวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพมีการตรวจสอบขดลวดความหนาของการเคลือบสังกะสีและความหนาของสารเคลือบผิวพลาสติกตามความเหมาะสม
2. ข้อมูลการออกแบบ
   2.1 ความคงทน – ภายใต้การเคลือบสังกะสีตาข่ายลวดจะไม่ได้รับผลกระทบในทางลบ มีการตรวจสอบการติดตั้ง มีอายุการใช้งาน 40 ปี
   2.2 สำหรับตาข่ายที่ไม่ได้เคลือบสังกะสี อายุการใช้งานจะสั้นกว่าตาข่ายลวดที่เคลือบด้วยสังกะสี
   2.3 ปัจจัยอื่นๆ เป็นการใช้การเจริญเติบโตของพืชช่วยในการยึดเกาะทำให้ตาข่ายลวดมีความเชื่อมแน่นมากขึ้นและทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น

7. การติดตั้งระบบป้องกันตลิ่งในสนาม

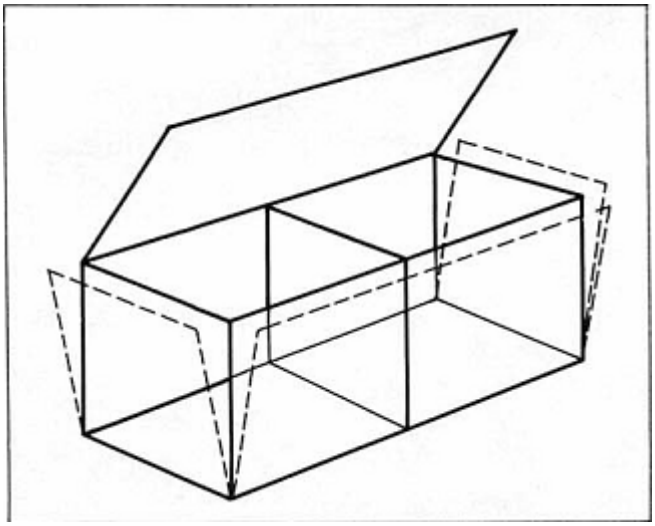
การประกอบกล่อง Gabion ที่ถูกมัดไม่ว่าขนาดใดๆ (จะมีลวดที่ใช้ยึดมากพอสำหรับทุกกล่อง Gabion ที่ส่งมา) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

7.1 แกะกล่อง Gabion แต่ละกล่องลงบนพื้นผิวที่แข็งและเรียบ แผ่กล่องออกและกดตรงที่มีรอยบิดงอให้เรียบ ตรวจสอบว่าทุกรอยพับอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องในการประกอบเป็นกล่อง ด้านหนึ่งอยู่ที่ขอบของปลายแผ่นไม้ และแผ่น Diaphragm แต่ละแผ่น ดังรูปที่ 19



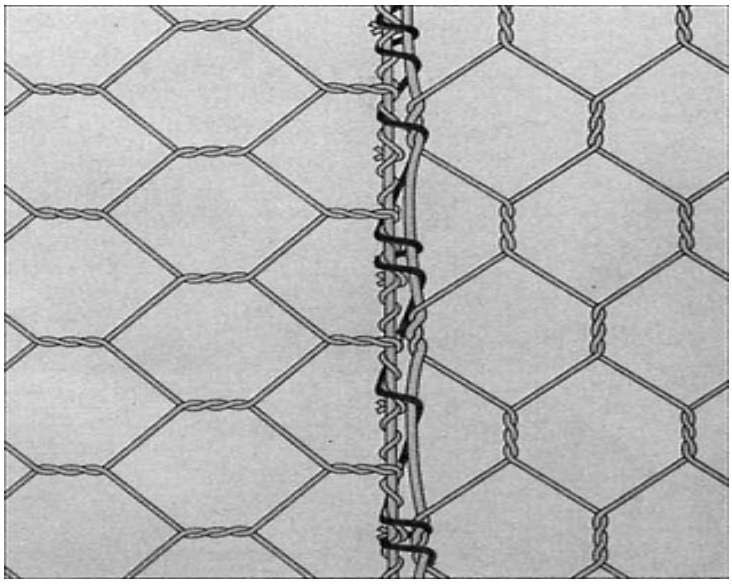
รูปที่ 19 ลักษณะการวางกล่อง Gabion

7.2 ห่อแต่ละข้างและปลายแผ่นไม้ไปยังตำแหน่งที่ตั้งตรงเพื่อสร้างกล่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ต่อมุมบนของกล่องเข้าด้วยกันด้วยสายผ้าที่ทอขึ้นมาอย่างหนา ยึดจากมุมของแผ่นไม้แต่ละแผ่น ตรวจสอบว่ายอดทั้งสี่ด้านของกล่องนั้นเท่ากัน ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 การประกอบกล่อง Gabion

7.3 เริ่มพันลวดโดยยึดลวดที่ใช้ยึดที่มุมบนของแผ่นไม้ซึ่งถูกเชื่อมโดยการร้อยผ่านและบิดเข้าด้วยกัน จากนั้นร้อยลวดรอบผ้าที่ใช้ยืนเป็นวงเดี่ยวและสองวงโดยร้อยเมื่อช่องว่างมีความกว้าง 100 mm (4 นิ้ว)สุดท้าย คาดลวดยึดไว้ตรงมุมล่าง และดันตรงปลายที่หลวมด้านในของกล่อง Gabion ต่อมา ดึงแผ่น Diaphragm ไปตรงตำแหน่งในแนวดิ่ง และผูกลวดไปยังด้านของแผ่นไม้ในแบบเดียวกันดังรูปที่ 21

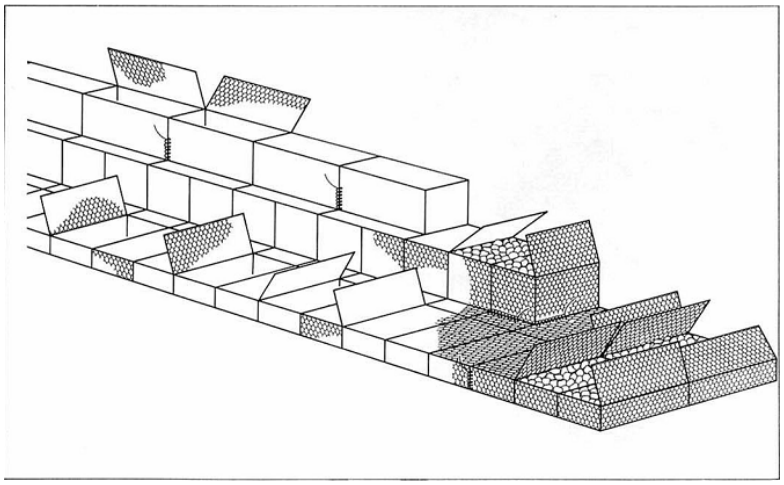


รูปที่ 21 การพันลวดเพื่อประกอบกล่อง Gabion

7.4 เชื่อมต่อกล่อง Gabion เข้าด้วยกัน เพื่อความสมบูรณ์แข็งแรง วิธีง่ายกว่าของการพันลวดแต่ละข้างโดยเฉพาะเมื่อต้องทำในน้ำทำให้พื้นราบให้ได้มากที่สุดที่โครงสร้าง Gabion จะถูกสร้างก่อนจะวางลงในตำแหน่งของกล่อง Gabion ที่ว่าง เมื่อกล่อง Gabion ที่ว่างอยู่ตามตำแหน่งแล้ว จะเป็นการยากที่จะกำจัดวัสดุที่ไม่ต้องการออกจากด้านล่าง (ข้างใต้) ดังรูปที่ 22

รูปที่ 22 การเชื่อมต่อกล่อง Gabion เข้าด้วยกัน

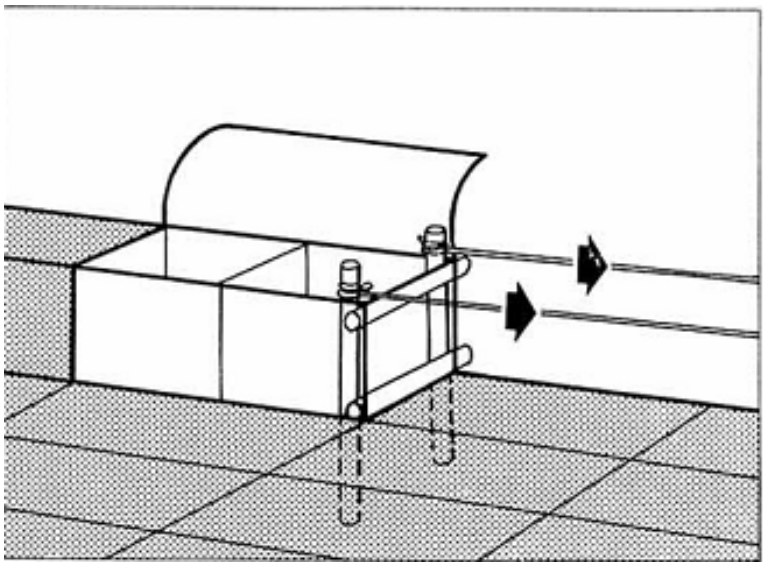
7.5 ร้อยกล่อง Gabion เข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีเดียวกับการประกอบกล่อง Gabion เดียว วางลงโดยให้ด้านหน้าชนด้านหน้า ด้านหลังชนด้านหลัง ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การร้อยกล่อง Gabion

7.6 ดังนั้นคู่ของด้านที่ชนกันจะสามารถถูกพันลงไปอีกด้านหนึ่งได้ แผ่นกล่อง Gabion ก่อนการบรรจุหินลงในกล่อง

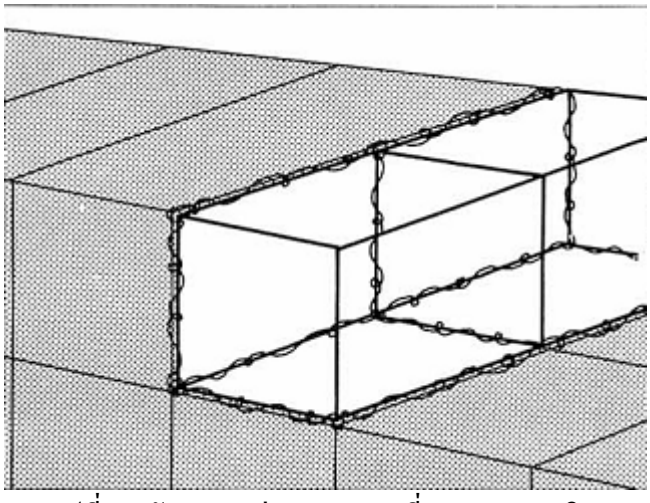
7.7 วางกล่อง Gabion ที่ว่าง หรือ ในตำแหน่งยึดจุดปลายจากจุดที่เริ่มโดยแท่งที่ผ่านมุมทั้งสองลงไปยังพื้นและยึดอย่างมั่นคงกับหลักยึดที่ดี เป็นสิ่งสำคัญที่หลักยึดจะต้องอยู่อย่างน้อยที่ความสูงของกล่อง Gabion เพื่อป้องกันการพังทลาย กล่อง Gabion ที่ว่างที่เหลือจะถูกนำไปร้อยเข้าด้วยกันตามกระบวนการ แผ่ด้านตรงข้ามหรือปลายกล่องโดยแทรกไม้เข้าไปที่มุมล่าง และยกมันขึ้นไปทางด้านหน้า ยอดและฐานจะแผ่อยู่อย่างนั้นจนกว่ากล่อง Gabion จะถูกบรรจุโดยยึดเข้ากับจุดยึด เช่น หมุดที่ปักลงพื้น และร้อยอยู่กับกล่อง Gabion ข้างใต้ ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 การยึดกล่อง Gabion

7.8 ในขณะที่แผ่กล่อง Gabion ตรวจสอบว่าเส้นลวดที่ร้อยอยู่ด้วยกันนั้นเป็นระเบียบและไม่ดึงแยกจากกัน ถ้าไม่เช่นนั้นในส่วนนั้นจะต้องร้อยขึ้นมาใหม่

7.9 เมื่ออยู่บนโครงสร้าง ร้อยกล่อง Gabion ยึดไปตามด้านข้างและด้านปลายกับ Gabion ที่อยู่ติดกันกับกล่อง Gabion ที่ถูกบรรจุแล้วที่อยู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 25



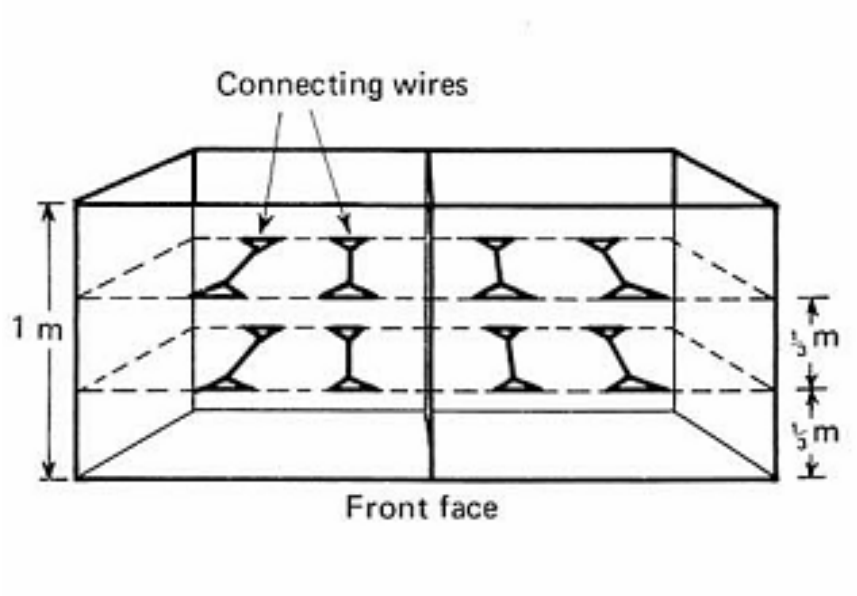
รูปที่ 25 ลักษณะกล่อง Gabion ที่ทำการบรรจุหิน

การบรรจุ

7.10ใช้วัสดุที่จะบรรจุลงไปโดยมีขนาดไม่เกิน 250 mm (10 นิ้ว) และไม่ต่ำกว่าขนาดของตาข่าย ซึ่งช่วงขนาดที่ดีที่สุดคือ 125 mm – 200mm (5-8 นิ้ว) เปอร์เซนต์เล็กน้อยที่เล็กกว่าวัสดุประมาณ 5-7% สามารถใช้ได้ บรรจุกล่อง Gabion โดยมือหรือเครื่องจักร ตรวจสอบว่าหินนั้นบรรจุอย่างแน่นหนาและมีช่องว่างที่น้อยที่สุด หากเป็นไปได้ ปล่อยให้ Gabion กล่องสุดท้ายว่าง ซึ่งมันจะทำให้ต่อกับกล่องถัดไปได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 26

รูปที่ 26 การบรรจุหิน

7.11 บรรจุทุกชิ้นส่วนด้านนอกของกล่อง Gabion สูง 1 เมตร เพียงแค่ 1/3 ของความสูงสำหรับในตอนแรก จากนั้นซ่อมลวดที่ใช้รั้งในแนวขวางในกล่อง Gabion โดยตรงเหนือระดับของหินในส่วนเหล่านั้นและ Spanish เครื่องกว้านลวดที่ใช้รั้งเพื่อทำให้ผิวหน้าเสมอกันและเป็นอิสระจากการขยายขนาดจากนั้นบรรจุเป็น 2/3 และทำการรั้งอีกครั้งสุดท้าย บรรจุด้านบน กล่อง Gabion ขนาด 500 mm ถูกบรรจุโดยการยกสองครั้ง และการรั้งที่ความจุครึ่งเดียว ไม่จำเป็นต้องทำการรั้งกับกล่อง Gabion 330 mm ปรับระดับการบรรจุเป็น 25 mm- 50 mm (1-2 นิ้ว) เหนือผิวตาข่ายเพื่อให้เกิดการปักหลัก ซึ่งใช้ได้ดีกับวัสดุขนาดเล็กตามทางที่กระแสน้ำไหลของฝาย และในที่ๆ คล้ายกันซึ่งน้ำจะไหลโดยตรงไปยังกล่อง Gabion ทำให้ลวดรั้งในแนวตั้งระหว่างผิวและก้นตาข่ายพอดี ดังรูปที่ 27



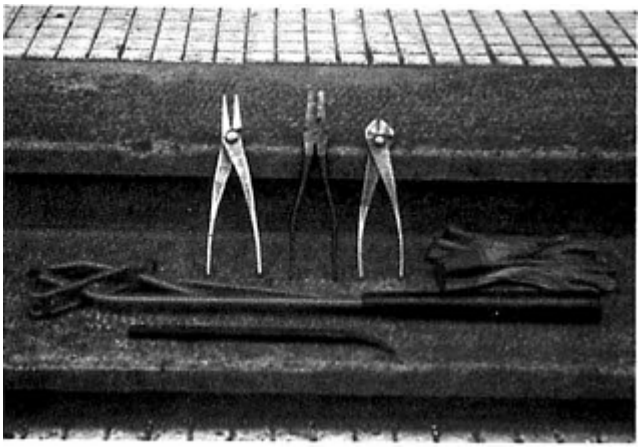
รูปที่ 27 ลักษณะการบรรจุหิน

7.12 แผ่ตัวรั้งอย่างแน่นหนาเหนือรูบรรจุและพันตัวรั้ง มุมต่างๆ ควรจะถูกยึดแบบชั่วคราวก่อนในตอนแรก เพื่อทำให้แน่ใจว่าจะมีตาข่ายมากพอที่จะคลุมพื้นที่ทั้งหมด บางรูบรรจุอาจถูกนำออกไปจากผิวของกล่อง Gabion เพื่อป้องกันตัวรั้งจากการยืดมากเกินไปซึ่งเครื่องมือในการติดตั้งมีดังนี้

A คีม (ควรเป็นคีม ที่มีปากคีมยาวสิบนิ้ว)

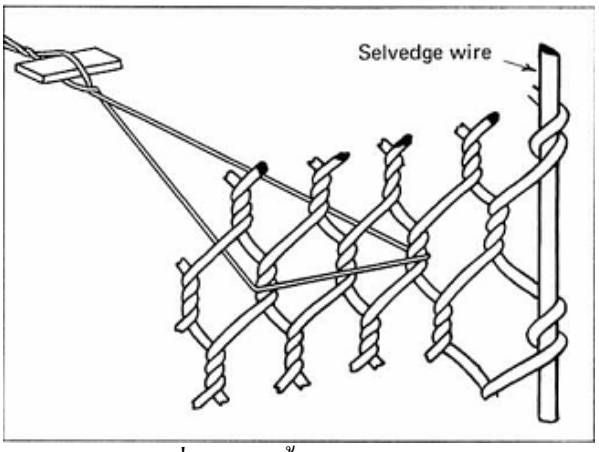
B ชะแลง (ปิดตัวรั้ง)

C ตัวปิดที่รั้ง เครื่องมือพิเศษของ Maccaferri สำหรับการวาดแบบ (ดังรูปที่ 28)



รูปที่ 28 เครื่องมือในการติดตั้งกล่อง Gabion

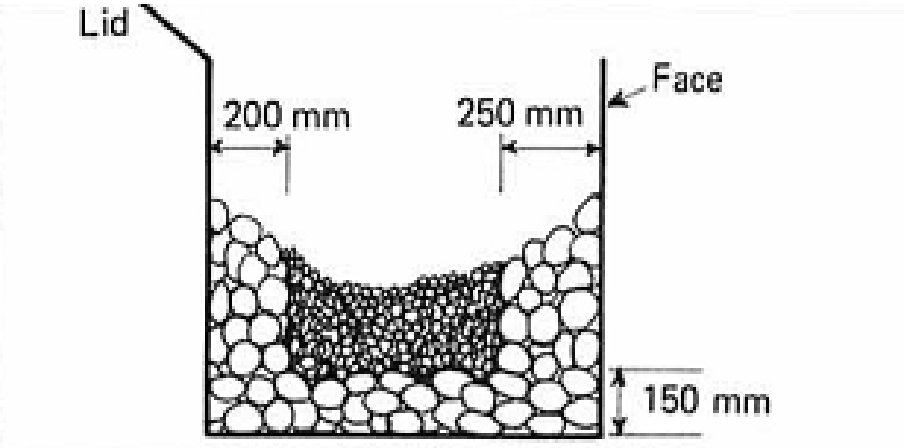
ตัวรั้งยึดกับแผ่นไม้ด้านข้างเข้าด้วยกันทำให้ร้อยเชือกได้ง่ายและเร็ว ปลายแถวของลวดที่อยู่ก่อนหน้ากับกล่อง Gabion ที่ว่าง จะถูกยึดอย่างแน่นกับหลักยึดที่ดี และปลายอีกด้านเชื่อมอยู่กับ Tirfor ซึ่งก็คือแท่งไม้และคานกระจาย เมื่อมีแรงดึงมากพอใช้กับความยาว (ถึง 30m) Gabion จะถูกพันลงไปยังเส้นทางด้านล่าง ลากนั้นก็ถูกบรรจุ (ถ้าเป็นเส้นทางช่วงที่ 2 หรือมากกว่านั้น) หรือถูกบรรจุในทันที (ถ้ากล่อง Gabion ต่อเป็นช่วงฐาน) ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การรั้งกล่อง Gabion

Small fill

ในพื้นที่ที่ทำการบรรจุขนาดใหญ่ได้ลำบาก ชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกกำหนดบริเวณขอบด้วยวัสดุขนาดใหญ่และบรรจุชิ้นส่วนภายในด้วยวัสดุที่เล็กกว่า ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 Small fill

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

แม่น้ำท่าจีนบริเวณตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม พบปัญหาเกี่ยวกับการกัดเซาะตลิ่งในโครงงานวิศวกรรมนี้ได้เข้าไปสำรวจสภาพปัญหาดังกล่าว และหาทางแนวทางแก้ไข ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งทั้ง 3 วิธีจึงได้เลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ วิธีการป้องกันตลิ่งแบบ Rock Gabion หรือที่รู้จักกันในรูปของการนำหินขนาดต่างๆ มาเรียงใส่ตะกร้าที่สานด้วยลวดเคลือบสังกะสีหรือ PVC-U เคลือบสังกะสี มีลักษณะเป็นตาข่ายคู่บิดหกเหลี่ยม มีความแข็งแรงทนทาน อายุการใช้งานยาวนานถึง 40-60 ปี ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถก่อสร้างได้ง่ายและไม่ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญมากนักในการก่อสร้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งบริเวณหน้าโรงเรียนไทยรัฐวิทยา 4 หมู่ที่ 3 ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม พบว่าปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงงานนี้มีหลายประการดังนี้

1. การวัดความยาวของแม่น้ำอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากเรือไม่สามารถขับให้อยู่กลางแม่น้ำได้ตลอดการวัดระยะทาง
2. การสอบถามปัญหาเกี่ยวกับการพังทลายของตลิ่งจากชาวบ้านเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากช่วงนั้นเกิดน้ำท่วม จึงทำให้การเดินทางเข้าไปสอบถามปัญหาเป็นไปได้ยาก ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร
3. หากผู้ที่สนใจจะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งควรเก็บข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของดินบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาและความชันของบริเวณตลิ่งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

เอกสารอ้างอิง

FAO. 1999. Flood Management and Mitigation in the Mekong River Basin. RAP publication 1999/14. Food and Agriculture Organization, United Nations Development Program and Department of Irrigation, Ministry of Agriculture and Forestry, Lao PDR.

Rutherford, I. and P. Bishop. 1996. Morphology and Bank Protection of the Mekong River in the Vientiane – Nong Kai Reach, Lao PDR and Thailand. Report prepared for the Mekong River Commission.

UNDP. 1992. Fisheries in the Lower Mekong Basin (Review of the Fishery Sector in the Lower Mekong Basin). Annexes. Interim Committee for Coordination of Investigations of the Lower Mekong Basin. United Nations Development Program 16 ก.ย. 2553

- คู่มือความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง 2553
opens.dpt.go.th/dpt_subkm01/index.php?option...id..../19 ก.ย.2553

- ทิพวรรณ หล่อสุวรรณรัตน์. 2544. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ

ธวัช บุรีรักษ์ และ บัญชา คูเจริญไพบูลย์. การแปลความหมายในแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ. สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา. 272 น.

Burrough, P.A. & R.A. McDonnell. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press.

Heywood, I et al. 1998. An Introduction to Geographical Information System. Longman, New York.

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก.

การสำรวจพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนในพื้นที่ตำบลบางระกำ

ระหว่างวันที่ 18–27 ตุลาคม 2553

รูปที่ 1

รูปที่ 2

รูปที่ 3

รูปที่ 4

รูปที่ 5

รูปที่ 6

รูปที่ 7

รูปที่ 8

รูปที่ 9

รูปที่ 10

รูปที่ 11

รูปที่ 12

รูปที่ 1-12 :แสดงบริเวณที่มีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิมและเป็นลักษณะริมฝั่งแม่น้ำท่าจีน ฝั่งซ้ายเมื่อหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำ

รูปที่ 13

รูปที่ 14

รูปที่ 15

รูปที่ 16

รูปที่ 17

รูปที่ 18

รูปที่ 13- 18 : แสดงบริเวณที่มีการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งที่มีอยู่เดิมและเป็นลักษณะริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนฝั่งขวาเมื่อหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำ