

การศึกษาความเสี่ยงในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

ของกำแพงป้องกันน้ำท่วมก่อสร้างหลังปี พ.ศ. 2554

Study of Risk Management in Engineering and Economics

Aspects of Flood Protection Walls Construction After 2011

กรวิทย์ อานุกาพภราดร¹ และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ²

¹สาขาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-Mail: ¹performance_mix@hotmail.com, ²soralump_s@yahoo.com

บทคัดย่อ

โดยปกติทั่วไปแล้วการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธาต่างๆ ผู้ลงทุนมักจะเน้นพิจารณางบลงทุนเพื่อการก่อสร้างเป็นหลัก โดยขาดการพิจารณางบประมาณในการบำรุงรักษา ซึ่งมักจะทำให้โครงสร้างขาดการดูแลและอาจเกิดความเสียหาย ทำให้ค่าใช้จ่ายบานปลายในภายหลัง งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประเมินความเสี่ยงและความเหมาะสมของต้นทุนตลอดการใช้งาน (เงินทุนเริ่มต้นบวกกับค่าบำรุงรักษา) ของโครงสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วมรูปแบบเข็มพืดคอนกรีตแบบตัวโอ และรูปแบบคันดินกันน้ำ วิธีการประเมินความเสี่ยงได้จากการประเมินโอกาสเกิดความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้ในโครงสร้างแต่ละรูปแบบ ซึ่งใช้ตัวแปรต่างๆ ในการประเมิน ได้แก่ โอกาสการเกิด ระดับผลกระทบ ความยาก/ง่ายในการดูแลรักษา รวมถึงการควบคุม/แก้ไข ส่วนการหาความเหมาะสมของต้นทุนเริ่มแรกสามารถหาได้จากหลักการคำนวณต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลหาเงินทุนที่แท้จริงก่อนเริ่มโครงการว่าควรนำค่าบำรุงรักษา มาคิดหรือไม่ ซึ่งจากการศึกษาสรุปได้ว่า โครงสร้างกำแพงรูปแบบเข็มพืดคอนกรีตแบบตัวโอ มีค่าก่อสร้างที่ต่ำ แต่ค่าบำรุงรักษาที่สูง ขณะที่โครงสร้างกำแพงแบบคันดินกันน้ำ รูปแบบแผงตาข่ายรังผึ้ง มีค่าก่อสร้างสูงและค่าบำรุงรักษาที่ต่ำ และโครงสร้างกำแพงแบบคันดินกันน้ำ รูปแบบดาดคอนกรีต มีค่าก่อสร้างสูงและค่าบำรุงรักษาสูง สามารถนำไปใช้เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจก่อสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วมได้ในอนาคต

คำสำคัญ :

โครงสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วม ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

Abstract

Normally, general investors emphasize only investment cost but don't concern with maintenance cost in civil engineering construction work. The maintenance cost might mainly causes increase of the construction budget and might progress to lack of the construction project due to out of construction damage plan. These directly lead to purpose of this research, which is study on the risk assessment and the appropriateness of cost usage; initial capital and maintenance cost; for

flood protection of I-walls and Embankment dike type. The risk assessment was derived from potential damage of each type. There are 4 variable of the risk assessment: cause, effect, difficulty in maintenance, and repair. Moreover, suitability of initial cost can be obtained from the principle calculation of life time using cost (life cycles) in order to analysis and summary. Therefore, the results of this study can confirm that building cost of I-walls type is low, but maintenance cost of that high. The embankment dike can divided to 2 type: with geocell and with concrete slab. First type, building cost of geocell embankment dike is high, but maintenance cost of that is low. On the hand, building and maintenance cost of concrete slab embankment dike is high. Finally, the advantage of this study is simply determinable type of flood protection construction for investor.

Keywords :



flood protection walls, life cycle cost

1. บทนำ (Introduction)



จากปัญหาอุทกภัยในปีพ.ศ. 2554 [1] ได้ระบุไว้ว่าเป็นอุทกภัยรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำโขง เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 และสิ้นสุดเมื่อวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2555 มีราษฎรได้รับผลกระทบกว่า 12.8 ล้านคน จัดเป็นภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายมากที่สุดเป็นอันดับที่สี่ของโลก ส่งผลให้เกิดความเสียหายทั้งทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม เศรษฐกิจและสังคม

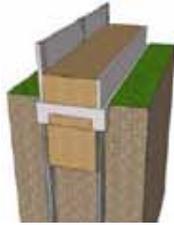
ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายในอนาคต และเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับนักลงทุนชาวไทยและต่างชาติ ทางภาครัฐจึงได้ให้ความช่วยเหลือด้านงบประมาณในการก่อสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วม เป็นจำนวนเงิน 2 ใน 3 ของงบประมาณ การก่อสร้างแกันคมอุตสาหกรรมที่ประสบปัญหาอุทกภัยในการสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วมนี้ มีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการออกแบบกำแพงป้องกันน้ำท่วม โดยนำวัสดุหลากหลายประเภท เช่น เข็มพืดคอนกรีต (Concrete Sheet Pile) ตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) และแผงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell)

เป็นต้น มาใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งวัสดุแต่ละประเภทมีปัจจัยเกี่ยวข้องกับความเสถียรของโครงสร้าง ราคาการลงทุน และราคาการบำรุงรักษาที่จำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกันในการตัดสินใจเลือกประเภทของกำแพง การพิจารณาว่าจะเลือกใช้กำแพงประเภทใดหรือวัสดุชนิดไหน ไม่ควรพิจารณาเฉพาะงบประมาณในการลงทุนเริ่มแรก แต่ควรพิจารณางบประมาณในการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างมาเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจด้วย เพราะกำแพงป้องกันน้ำท่วมนี้ จะต้องได้รับการดูแลให้มีความปลอดภัยเสมอ

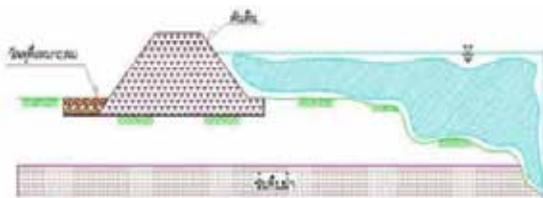
2. รูปแบบกำแพงป้องกันน้ำท่วม



รูปแบบโครงสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วมมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะโครงสร้างแบบเท่านั้น โดย [2, 3] ได้ศึกษาแล้วว่ารูปแบบโครงสร้างกำแพงป้องกันน้ำท่วม ประกอบด้วยโครงสร้างป้องกันการลอดใต้ เช่น กำแพงคอนกรีตกันน้ำลอดในดินไปถึงชั้นดินที่น้ำไม่สามารถลอดผ่านได้ เป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 1 และโครงสร้างป้องกันการไหลผ่านและไหลล้นข้าม เช่น คันดินถม โดยมีความกว้างของฐานเพียงพอต่อการป้องกันน้ำรั่วซึม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การออกแบบระบบป้องกันน้ำท่วม
ม.เกษตร, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ (2555)



ภาพที่ 2 รูปแบบกำแพงป้องกันน้ำท่วมแบบคันดิน,
ชูโชค อายุพงศ์ (2550)

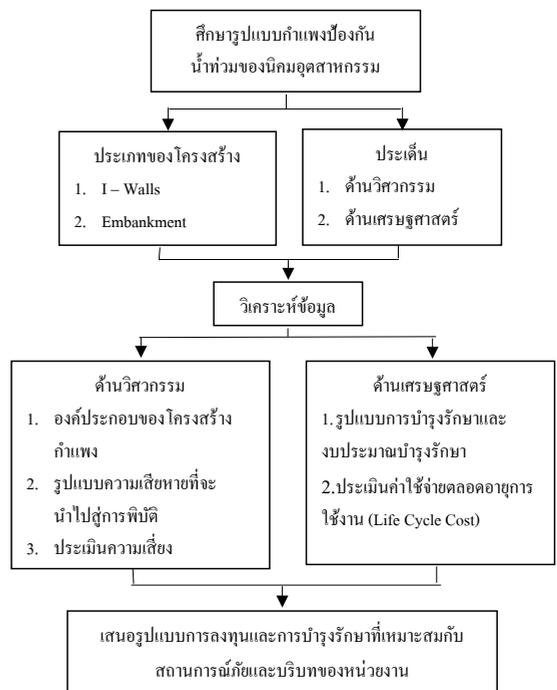
ทั้งนี้โครงสร้างป้องกันน้ำท่วมก็เหมือนโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธาอื่นๆ ที่ต้องบำรุงรักษา ซึ่งการบำรุงรักษาสามารถทำได้จากการสังเกตความเสียหายที่เกิดขึ้น โดย [4] ศึกษาลักษณะความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ความเสียหายที่พบบ่อย เช่น รอยร้าว และการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ เป็นต้น และ [5] ได้ศึกษาลักษณะความเสียหายของโครงสร้างคันดิน ความเสียหายที่พบบ่อย เช่น การทรุดตัว เป็นต้น เมื่อทราบถึงการบำรุงรักษาที่จำเป็นแล้ว สามารถประเมินเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น การหาความเหมาะสมของต้นทุนเริ่มแรก สามารถหาได้จาก [6] การคำนวณต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) สามารถเขียนอธิบายในรูปสมการ ดังนี้

$$LCC = CI + CO + CM - CS \quad (1)$$

เมื่อ LCC คือ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, CI คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน, CO คือ ค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่อปี, CM คือ ค่าบำรุงรักษาต่อปี และ CS คือ มูลค่าซาก

3. วิธีการศึกษา

เริ่มจากการศึกษารูปแบบกำแพงป้องกันน้ำท่วมของนิคมอุตสาหกรรมที่ก่อสร้างใหม่หรือก่อสร้างทดแทนภายหลังปี พ.ศ. 2554 ซึ่งพบว่า มีประเภทหลักๆ 2 ประเภท ได้แก่ ประเภท I-Walls และประเภท Embankment Dike จากนั้นจึงได้รวบรวมข้อมูลทั้งทางเอกสารและการเข้าสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล 2 ด้าน หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงสรุปผล/เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาของโครงสร้างแต่ละรูปแบบ เพื่อจัดลำดับความเสี่ยง และจัดลำดับการบำรุงรักษาของโครงสร้าง แล้วจึงเสนอรูปแบบการลงทุนและการบำรุงรักษาที่เหมาะสมกับสถานการณ์ภัยและบริบทของหน่วยงานต่างๆ ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา

4. ผลการศึกษา

หลังจากออกukyปี พ.ศ. 2554 พบว่านิคม-อุตสาหกรรมในพื้นที่น้ำท่วมได้มีการก่อสร้างหรือปรับปรุงคันกันน้ำเดิม โดยเก็บข้อมูลนิคมอุตสาหกรรมจำนวน 3 นิคมฯ พบว่ารูปแบบโครงสร้างป้องกันน้ำท่วมมีด้วยกันอยู่ 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ 1) โครงสร้างเข้มน้ำคอนกรีต แบบตัวไอ (I – Walls) 2) โครงสร้างคันดินกันน้ำ (Embankment Dike)

ในบทความนี้จะใช้ข้อมูลจากทางนิคม-อุตสาหกรรมมาเป็นตัวแทนในการศึกษา โดยกำแพงโครงสร้างประเภท I-Walls จะใช้ข้อมูลจากนิคมฯ โรจนะ และกำแพงประเภท Embankment Dike รูปแบบตาดคอนกรีตใช้ข้อมูลจากนิคมฯ บางปะอิน และกำแพงประเภท Embankment Dike รูปแบบแพ่งตาข่ายรังผึ้ง (Geocell) ใช้ข้อมูลจากนิคมฯ ไฮเทค โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้

1) ข้อมูลค่าก่อสร้าง และข้อมูลค่าบำรุงรักษาที่ได้ดำเนินการตามจริง แสดงดังตารางที่ 1

2) ข้อมูลองค์ประกอบที่บำรุงรักษาและวิธีการบำรุงรักษาตามจริง แสดงดังตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษา (ตามจริง)

| ประเภทโครงสร้าง | ระยะทาง (ม.) | ค่าก่อสร้างต่อเมตร (บาท/ม.) | ค่าบำรุงรักษาเฉลี่ย/ปี (ล้านบาท) | ค่าบำรุงรักษาต่อเมตร/ปี (บาท/ม.) |
|------------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| I-Walls | 76,275 | 35,399 | 10 | 131 |
| Embankment รูปแบบตาดคอนกรีต | 9,885 | 50,582 | 3 | 304 |
| Embankment รูปแบบแพ่งตาข่ายรังผึ้ง | 10,490 | 53,194 | 3 | 286 |

*ข้อมูลจากนิคมอุตสาหกรรมโรจนะ บางปะอินและไฮเทค (ข้อมูลหลังจากหมดประกันผลงานการก่อสร้าง)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบที่ต้องบำรุงรักษาและวิธีการบำรุงรักษาตามจริง

| ประเภทโครงสร้าง | องค์ประกอบที่ต้องบำรุงรักษา | วิธีการบำรุงรักษา |
|------------------------------------|---|---|
| I-Walls | 1. เกิดการฉีกขาดของวัสดุอุดรอยต่อ 2. คันดินเกิดรอยแตก 3. เกิดรอยแตกร้าว | 1. ใช้วัสดุอุดรอยต่อฉีดเข้าระหว่างรอยต่อ 2. ยังไม่ได้กำหนดวิธีการซ่อมแซม 3. ใช้คอนกรีตฉาบปิดทับ |
| Embankment รูปแบบตาดคอนกรีต | 1. แผ่นคอนกรีตแตกหรือหลุด 2. เกิดการฉีกขาดของวัสดุอุดรอยต่อ | 1. เทคอนกรีตควดหน้า 2. ใช้วัสดุอุดรอยต่อฉีดเข้าระหว่างรอยต่อ |
| Embankment รูปแบบแพ่งตาข่ายรังผึ้ง | 1. หมุดล๊อคแฉงตาข่ายรังผึ้งสูญหาย 2. คันดินเกิดการทรุดตัวต่างระดับ 3. ต้นไม้ / หญ้าสูงและพบการกัดเซาะผิวดิน | 1. ตรวจสอบด้วยตาเปล่าทุกวัน 2. ถมดินปรับระดับ 3. ตัดต้นไม้และหญ้าสูง |

อย่างไรก็ตามข้อมูลด้านราคาและวิธีการบำรุงรักษาดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้ประเมินความเสี่ยงรวมถึงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานได้อย่างเหมาะสม เนื่องด้วยเหตุผล ได้แก่

1) ข้อมูลการบำรุงรักษาเก็บในช่วงเวลา 2 ปี หลังจากก่อสร้างเสร็จ ซึ่งยังอยู่ในช่วงประกันผลงานการก่อสร้างของผู้รับจ้าง ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถประเมินได้อย่างครบถ้วน เพราะการดำเนินการของผู้รับจ้าง บางรายการก็ไม่ได้มีค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้น เพราะใช้ทรัพยากรของผู้รับจ้างเอง และไม่ได้มีการเก็บบันทึกไว้อย่างเป็นระบบ

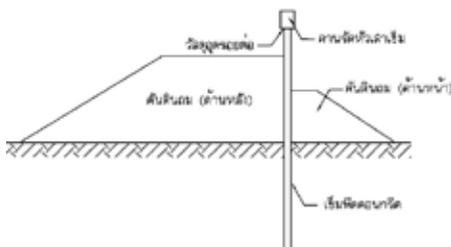
2) ในระยะเวลา 2 ปี วัสดุบางประเภท อาจจะยังไม่ถึงเวลาที่ต้องซ่อมแซมหรือเปลี่ยน ทำให้ราคาที่ได้ข้อมูลมาไม่ครบถ้วน

ดังนั้นเพื่อให้การประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของกำแพงถึงหน้าที่ความสำคัญ ความเสี่ยงหากบกพร่องตลอดอายุการใช้งานขององค์ประกอบนั้นๆ และวิธีการบำรุงรักษา เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบอย่างยุติธรรมต่อไป ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การประเมินองค์ประกอบความเสี่ยง

โครงสร้างป้องกันน้ำท่วมนั้นเมืองประกอบที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการป้องกันน้ำอยู่หลายองค์ประกอบ ดังนั้นการกำหนดแผนการบำรุงรักษา จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงความสำคัญขององค์ประกอบต่างๆ เพื่อการกำหนดแผนการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ วิธีการหนึ่ง คือการประเมินผล ความเสี่ยงที่จะเกิดหากองค์ประกอบต่างๆ ทำงานไม่สมบูรณ์

4.1.1 โครงสร้างเข้มน้ำคอนกรีตแบบตัวโอ (I-Walls) ของนิคมฯ ไรจนะ มีลักษณะเป็นแบบเข้มน้ำคอนกรีต โดยใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการป้องกันน้ำท่วม และมีคันดินค้ำยันไว้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของโครงสร้าง เพื่อป้องกันการเอนเอียงและเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันน้ำให้กับเข้มน้ำ เพราะดินถมจะปิดรอยต่อระหว่างเข้มน้ำ ทำให้น้ำรั่วซึมได้ยากขึ้น ซึ่งองค์ประกอบภายในโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กำแพงป้องกันน้ำท่วมประเภท I-Walls

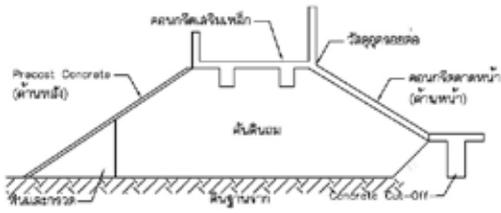
ลักษณะความเสียหายกับกำแพงประเภทนี้ที่สามารถเกิดขึ้น ได้แก่ 1) คันดินด้านหน้าถูกกัดเซาะหายไปหรือลดความสูงลง 2) เกิดการเสื่อมของวัสดุอุดรอยต่อระหว่างเข้มน้ำคอนกรีต 3) เกิดรอยแตกกว้างในเข้มน้ำคอนกรีตและคานรัดหัวเสาเข้มน้ำ



ภาพที่ 5 รอยแตกกว้างในเข้มน้ำคอนกรีตและคานรัดหัวเสาเข้มน้ำ

ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจจะส่งผลให้เกิดรูปแบบความไม่ปลอดภัยได้ เช่น 1) เข้มน้ำคอนกรีตล้มหรือเอียง เนื่องจากคันดินด้านหน้าที่ทำหน้าที่เป็น Passive Force ถูกกัดเซาะหายไป 2) เกิดน้ำรั่วซึมเข้ามาบริเวณรอยต่อและบริเวณที่เกิดการเสื่อมของวัสดุอุดรอยต่อ ซึ่งจะนำไปสู่การรั่วเป็นโพรง

4.1.2 โครงสร้างคันดินกันน้ำ (Embankment Dike) รูปแบบตาดคอนกรีตของนิคมฯ บางปะอิน มีลักษณะเป็นคันดิน ซึ่งมีการเทคอนกรีตตาดหน้าทับบริเวณลาดดินด้านหน้า และปูแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 0.5x0.5x0.05ม. บริเวณด้านหลังและหล่อกำแพงกันคลื่นคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณด้านบนคันดิน เพื่อให้สามารถป้องกันน้ำได้ในระดับที่สูงขึ้นและเป็นรางรับน้ำ หากมีน้ำล้นเข้ามา เพื่อให้ น้ำไหลเข้าสู่ระบบสูบน้ำออกไป นอกจากนั้นท้ายคันดินด้านหน้าซึ่งมี Concrete Cut-off เพื่อป้องกันหรือลดแรงดันน้ำที่จะลอดใต้คันดิน รวมถึงป้องกันการกัดเซาะที่ตีนคันดิน และหากจะมีน้ำไหลลอดผ่านคันดิน ก็จะมีหินและกรวดทำหน้าที่กรอง และระบายน้ำด้านท้ายคันดินด้านหลัง ซึ่งองค์ประกอบภายในโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กำแพงป้องกันน้ำท่วมประเภท Embankment Dike รูปแบบตาดคอนกรีต

ลักษณะความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้แก่ 1) คันดินถมและดินฐานรากเกิดการทรุดตัวหรือยุบตัว ทำให้ระดับต่ำกว่าระดับน้ำสูงสุด จนเกิดการไหลล้นข้าม 2) เกิดการเสื่อมของวัสดุอุดรอยต่อทำให้เกิดการรั่วเป็นโพรง 3) เกิดรอยแตกร้าวบริเวณคอนกรีตตาดหน้า และรอยต่อของแผ่นพื้นคอนกรีตที่ตาดหน้าท้ายน้ำ น้ำอาจจะกัดเซาะเข้าไปจนด้านในเป็นโพรง และทำให้คันดินยุบตัว



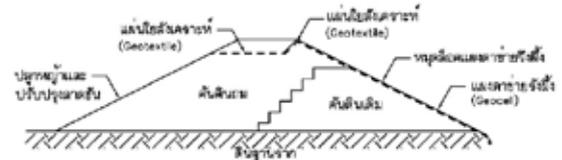
ภาพที่ 7 การเสื่อมของวัสดุอุดรอยต่อ



ภาพที่ 8 รอยแตกร้าวบริเวณลาดดินตาดคอนกรีต

ซึ่งลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น อาจส่งผลให้เกิดรูปแบบความไม่ปลอดภัยได้ในอนาคต ได้แก่ 1) การไหลล้นข้าม 2) การรั่วซึมจนเกิดโพรงภายในคันดิน

4.1.3 โครงสร้างคันดินกันน้ำ (Embankment Dike) รูปแบบแผงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell) ของนิคมฯ ไฮเทค มีลักษณะเป็นแบบคันดิน ซึ่งมีการติดตั้งแผงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell) บริเวณลาดดินด้านหน้า เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำฝนและน้ำท่วม และมีการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ภายในคันดิน และบริเวณด้านหลัง Geocell เพื่อป้องกันไม่ให้ดินภายในไหลออก ซึ่งองค์ประกอบภายในโครงสร้าง แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กำแพงป้องกันน้ำท่วมประเภท Embankment Dike รูปแบบแผงตาข่ายรังผึ้ง

ลักษณะความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้แก่ 1) แผงตาข่ายรังผึ้งฉีกขาด 2) คันดินเกิดการทรุดตัว 3) หมุดล๊อคแผงตาข่ายรังผึ้งหลุดหรือสูญหาย ทำให้แผงตาข่ายรังผึ้งเคลื่อนตัว



ภาพที่ 10 หมุดล๊อคแผงตาข่ายรังผึ้งสูญหาย



ภาพที่ 11 แผงตาข่ายรังผึ้งฉีกขาด

ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจส่งผลให้เกิดรูปแบบความไม่ปลอดภัยได้ในอนาคต เช่น
1) คันดินทรุดตัว และเกิดน้ำไหลล้นข้าม 2) คันดินถูกกัดเซาะจนเสียหาย

4.1.4 หลังจากแยกองค์ประกอบของโครงสร้างและวิเคราะห์ถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น จากนั้นจึงประเมินความเสี่ยง (Risk) ของโครงสร้างแต่ละรูปแบบ โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนรายละเอียดดังนี้

1) การประเมินความเสี่ยงตามหลักความเสี่ยง = โอกาสเกิด x ผลกระทบ ซึ่งการประเมินโอกาสเกิดความเสี่ยง [7] ได้แบ่งระดับโอกาสเกิดออกเป็น 4 ระดับ แต่ในการศึกษานี้อ้างอิงหลักการดังกล่าว แต่เพิ่มระดับการประเมินเป็น 5 ระดับ โดยพิจารณาจากมาตรการป้องกันและควบคุมการเกิดความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ 1) ไม่ควรเกิด = 1 คะแนน 2) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดน้อย = 2 คะแนน 3) อาจเกิดขึ้น = 3 คะแนน 4) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดสูง = 4 คะแนน และ 5) เกิดขึ้นแน่ๆ = 5 คะแนน ส่วนการประเมินผลกระทบจากการเกิดความเสี่ยงนั้น พิจารณาเสมือนไม่มีมาตรการป้องกันใดๆ เลย เพื่อจะประเมินว่าเมื่อเกิดความเสี่ยงขึ้นแล้วจะมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด โดยแบ่งระดับผลกระทบออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) มีผลกระทบแต่สามารถควบคุมได้ = 1 คะแนน 2) มีผลกระทบแต่สามารถดำเนินการต่อได้ = 2 คะแนน และ 3) มีผลกระทบและต้องหยุดกิจการชั่วคราว = 3 คะแนน โดยตัวอย่างการประเมินดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการประเมินความเสี่ยง

| องค์ประกอบ | ระดับโอกาสเกิด | ระดับผลกระทบ | ความเสี่ยง | ลำดับความเสี่ยง |
|---------------------|----------------|--------------|------------|-----------------|
| คันดินถม (ด้านหน้า) | 5 | 3 | 15 | 1 |
| เข็มน้ำคองกริต | 3 | 3 | 9 | 2 |

**หมายเหตุ ช่องความเสี่ยงได้จากผลคะแนนในช่องระดับโอกาสเกิดคูณกับผลคะแนนในช่องระดับผลกระทบ

2) ประเมินระดับความยาก/ง่ายในการดูแลรักษา พิจารณาจากการดูแลบำรุงรักษาและการเข้าไปดำเนินการ โดยแบ่งการประเมินเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1) ใช้งบประมาณไม่มาก และสามารถเข้าไปดำเนินการได้ง่าย = 1 คะแนน 2) ใช้งบประมาณมากและเข้าไปดำเนินการได้ยาก = 3 คะแนน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินระดับความยากง่ายมาจากการผลคะแนนช่องความเสี่ยงในตารางที่ 3 คูณกับผลคะแนนการประเมินความยาก/ง่ายในการดูแลรักษา ของแต่ละองค์ประกอบที่ประเมิน ทั้งนี้ผลที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกัน ภายใต้ความสำคัญกับองค์ประกอบต่างๆ ตามการดำเนินการจริง

3) ประเมินระดับการควบคุมความเสี่ยง พิจารณาจากมาตรการการควบคุมความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่ โดยแบ่งการประเมินเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1) แทบไม่มีการควบคุมหรือบำรุงรักษาเลย = 3 คะแนน และ 2) มีการควบคุมหรือบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ = 3 คะแนน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินระดับการควบคุมความเสี่ยงมาจากผลคะแนนช่องความเสี่ยงในตารางที่ 3 คูณกับผลคะแนนการประเมินการควบคุมความเสี่ยงของแต่ละองค์ประกอบที่ประเมิน

ยกตัวอย่างเช่น องค์ประกอบคันดิน ควรมีการควบคุมความเสี่ยงมาก แต่กลับทำการบำรุงรักษาได้ยาก ส่วนองค์ประกอบวัสดุอุดรอยต่อไม่ควรมีการบำรุงรักษามากนัก ในขณะที่สามารถทำการบำรุงรักษาได้ง่าย

4.2 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

การศึกษานี้ไม่ได้ใช้ราคาตามจริงที่ใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องที่อาจนำมาเปรียบเทียบระหว่างประเภทกำแพงไม่ได้ เช่น ความพร้อมของผู้รับจ้าง ความยาวของกำแพง ซึ่งถ้ามีความยาวมากจะมีราคาถูกลง เนื่องจากราคาจ้างเหมารวมมากขึ้นทำให้สามารถลดราคาลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลังอุทกภัย ราคาวัสดุ และวิธีการจัดจ้างมีความเร่งด่วน ทำให้ราคาไม่เป็นไปตามสภาพปกติ ดังนั้นการศึกษานี้ได้คำนวณค่าก่อสร้างโดยอ้างอิงราคาจากราคาวัสดุก่อสร้าง กระทรวงพาณิชย์ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าก่อสร้างและบำรุงรักษา (จากการศึกษา)

| ประเภทโครงสร้าง | ระยะทาง (เมตร) | ค่าก่อสร้าง ต่อเมตร (บาท/ม.) | ค่าบำรุงรักษา ต่อเมตร/ปี (บาท/ม.) |
|---------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|
| I-Walls | 76,275 | 28,356 | 6,516 |
| Embankment รูปแบบตาดคอนกรีต | 9,885 | 41,741 | 3,521 |
| Embankment รูปแบบแผงตาข่ายรั้งฝั่ง | 10,490 | 39,261 | 617 |

4.2.1 การคำนวณต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) ซึ่งในการคำนวณใช้ราคา ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษา โดยในการศึกษานี้ใช้เกณฑ์การคิดคำนวณค่าบำรุงรักษา ดังนี้ 1) งานโครงสร้างคอนกรีต คิดราคาบำรุงรักษาเป็น 5% ของราคาวัสดุ 2) งานดิน คิดราคาบำรุงรักษาเป็น 20% ของราคาวัสดุ 3) งานวัสดุทาง Geotechnical คิดราคา

บำรุงรักษาเป็น 10% ของราคาวัสดุ 4) วัสดุอุดรอยต่อ คิดราคาบำรุงรักษาเป็น 100% ของราคาวัสดุ (*ราคาวัสดุเป็นราคาตลอดอายุการใช้งาน พิจารณาที่ 25 ปี) ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังตารางที่ 5 ทั้งนี้การคิดราคาได้คิดตามองค์ประกอบของวัสดุและวิธีการบำรุงรักษากำแพงตามที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณราคาบำรุงรักษาของโครงสร้างประเภท I-Walls

| องค์ประกอบ | ราคาวัสดุ ต่อเมตร (บาท/ม.) | ราคาบำรุงรักษา ต่อเมตร (บาท/ม.) |
|-------------------|----------------------------|--|
| คันดิน (ด้านหน้า) | 1,686.40 | $1,686.40 \times (20/100)$ = 337.28 |

**หมายเหตุ: ค่ารวมราคาบำรุงรักษาทุกองค์ประกอบภายในโครงสร้างกำแพงแล้วนำผลลัพธ์บวกรวมกัน จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นราคาบำรุงรักษาต่อเมตร/ปีของโครงสร้างกำแพงรูปแบบนั้นๆ

หลังจากคำนวณราคาก่อสร้างและราคาบำรุงรักษาแล้ว จึงคำนวณต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน โดยอ้างอิงสมการต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน ดังสมการที่ (1) แต่ในการศึกษานี้พิจารณาเพียงค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาเท่านั้น ดังนั้นต้นทุนตลอดอายุการใช้งานจึงมีสมการเป็น

$$LCC = CI + CM \quad (2)$$

เช่น ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของรูปแบบ I-Walls = $28,356 + 6,516 = 34,872$ บาท/เมตร

จากการประเมินความเสี่ยงตามขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอน ในวิธีการศึกษาข้อที่ 4.1.4 แล้ว ผลการประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างแต่ละประเภท และการจัดลำดับความเสี่ยงต่างๆ รวมถึงลำดับการดูแลรักษา โดยตัวอย่างการประเมินแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างผลการประเมินความเสี่ยง และจัดลำดับความเสี่ยงขององค์ประกอบในโครงสร้างแต่ละประเภท

| โครงสร้างประเภท I-Walls | | | |
|-------------------------|---------------------|---|------------------------------------|
| องค์ประกอบ | ลำดับความ เสี่ยง | ลำดับการ บำรุงรักษาและ ค่าใช้จ่าย/ครั้ง | ลำดับความ เสี่ยง ใน ปัจจุบัน |
| คันดิน (ด้านหน้า) | 1 | 1 (337 บาท/ม.) | 1 |
| เข็มพืดคอนกรีต | 2 | 3 (691 บาท/ม.) | 2 |
| คันดิน (ด้านหลัง) | 3 | 2 (1,457 บาท/ม.) | 3 |
| วัสดุอุดรอยต่อ | 4 | 4 (230 บาท/ม.) | 4 |
| คานรัดหัวเสาเข็ม | 5 | 5 (84 บาท/ม.) | 5 |

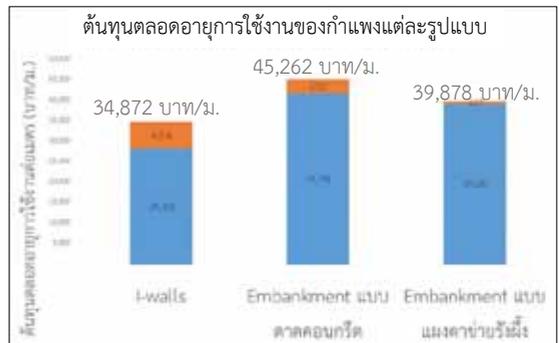
5. สรุปผลการศึกษา

5.1 เปรียบเทียบค่าก่อสร้าง (จากการศึกษานี้) ระหว่างกำแพงป้องกันน้ำท่วมประเภท I-Walls และ Embankment Dike พบว่าค่าก่อสร้างกำแพงประเภท I-Walls มีราคาถูกที่สุด ซึ่งอาจเป็นเพราะมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น กำแพงมีระยะทางที่ยาว ทำให้ราคาเหมารวมอาจจะมีราคาถูก หรือผู้รับเหมามีความพร้อมด้านการผลิตเข็มพืดคอนกรีตอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามพบว่าราคาค่าบำรุงรักษากลับมีราคาสูงกว่า เพราะคันดินด้านหน้าที่ทำหน้าที่เป็นแรงยันถูกกัดเซาะและเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ต้องบำรุงรักษาบ่อยครั้ง และวัสดุดินถมที่นำมาใช้ซ่อมแซมมีราคาสูง

ในขณะที่กำแพงประเภท Embankment Dike รูปแบบแพงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell) มีราคาค่าก่อสร้างสูงกว่าเล็กน้อย แต่ราคาค่าบำรุงรักษากลับมีราคาที่ถูกลงเมื่อเทียบกับการก่อสร้างประเภทอื่น เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ไม่ต้องทำการบำรุงรักษาบ่อยนัก จะมีก็แต่ค่าตรวจสอบดูแลความปลอดภัยของโครงสร้างเท่านั้น

ในขณะที่กำแพงประเภท Embankment Dike ที่ตาดคอนกรีตป้องกันการกัดเซาะ มีราคาค่าก่อสร้างที่สูงที่สุด เพราะลักษณะโครงสร้างใช้วัสดุผสมระหว่างคันดินถม คอนกรีตตาดหน้าและแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป รวมถึงระยะทางการก่อสร้างที่ไม่มากนัก ทำให้ราคาเหมาจ่ายลดลงไม่มาก จึงทำให้มีราคาค่าก่อสร้างสูงกว่าการก่อสร้างประเภทอื่นๆ และค่าบำรุงรักษาของโครงสร้างประเภทนี้ก็มีความสูงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการก่อสร้างที่ใช้วัสดุผสม และอายุการใช้งานของวัสดุคอนกรีตมีจำกัด ประกอบกับคอนกรีตตาดหน้ามีโอกาสแตกร้าวได้เพราะการทรุดตัวของคันดิน ทำให้ต้องมีการซ่อมแซมแก้ไขบ่อยครั้ง ค่าใช้จ่ายจึงสูงตามไปด้วย

5.2 ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของกำแพงแต่ละรูปแบบ คำนวณจากหลักการคำนวณต้นทุนตลอดอายุการใช้งานสมการที่ (2) โดยมีผลคำนวณ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

5.3 จากการศึกษานี้เห็นว่า การก่อสร้างในรูปแบบเดียวกัน ถ้าหากใช้วัสดุในการก่อสร้างคนละชนิดกัน ก็ทำให้อายุการใช้งานของโครงสร้างไม่เท่ากัน ราคาในการบำรุงรักษาไม่เท่ากัน รวมไปถึงราคาค่าก่อสร้างไม่จำเป็นต้องเท่ากันด้วย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ปัจจัย เช่น ปริมาณหรือมูลค่ารวมของการก่อสร้าง ปริมาณวัสดุ เป็นต้น

5.4 ผลการศึกษาของโครงสร้างแต่ละประเภท

5.4.1 โครงสร้างประเภท I-Walls จากการเก็บข้อมูลพบว่าการบำรุงรักษาวัสดุอุดรอยต่อ และมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วองค์ประกอบที่ควรบำรุงรักษาและปรับปรุงให้สภาพคงเดิมเสมอเป็นอันดับแรก คือ คันดิน (ด้านหน้า) เนื่องจากมีความสำคัญต่อการพิบัติ ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงนั้นไม่สอดคล้องกัน

5.4.2 โครงสร้างประเภท Embankment Dike รูปแบบตาดคอนกรีต จากการเก็บข้อมูลพบว่าการบำรุงรักษาตาดคอนกรีตและแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปรวมไปถึงวัสดุอุดรอยต่อ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ควรจะเป็น ถ้ามีการปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอจะทำให้โครงสร้างยังคงประสิทธิภาพที่ดี และสามารถใช้งานได้นานยิ่งขึ้น

5.4.3 โครงสร้างประเภท Embankment Dike รูปแบบแผงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell) จากการเก็บข้อมูลพบว่าการบำรุงรักษาคันดินและตรวจสอบหมุดล๊อคแผงตาข่ายรังผึ้งอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการสูญหาย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเช่นเดียวกัน

6. ข้อเสนอแนะ

โครงสร้างประเภท I-Walls มีราคาค่าก่อสร้างที่ต่ำ แต่ราคาค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพดี และแนวทางการบำรุงรักษาควรทำการบำรุงรักษาตามลำดับจากการศึกษานี้ เพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างให้ยาวนาน และเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงแก่โครงสร้างให้มากขึ้นด้วย ในขณะที่โครงสร้างประเภท Embankment รูปแบบตาดคอนกรีตมีค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างสูง เพราะการดูแลและบำรุงรักษาค่อนข้างซับซ้อน มีรายละเอียดมาก แต่วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน และมีอายุการใช้งานค่อนข้างยาวนาน และสุดท้ายโครงสร้างประเภท Embankment รูปแบบแผงตาข่ายรังผึ้ง (Geocell)

มีราคาค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาต่ำ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างมีราคาไม่สูง และมีอายุการใช้งานยาวนาน อีกทั้งการบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่าย แต่ควรบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

จากการศึกษานี้โครงสร้างทุกประเภทควรนำค่าบำรุงรักษามาคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายเริ่มแรก เพื่อพิจารณาเลือกประเภทโครงสร้างตั้งแต่แรก เนื่องจากต้นทุนตลอดอายุการใช้งานมีค่าแตกต่างจากการคำนวณค่าใช้จ่ายเริ่มแรกเฉพาะราคาค่าก่อสร้างเพียงอย่างเดียว

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ (2554). บันทึกเหตุการณ์มหาอุทกภัย ปี พ.ศ. 2554. <http://www.thaiwater.net/web/index.php/flood-history.html>
- [2] ชูโชค อายุพงศ์ (2550). มาตรการบริหารจัดการภัยน้ำท่วม. หน่วยวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์และคณะ (2555). การออกแบบระบบป้องกันน้ำท่วม มก. ศูนย์วิจัยและพัฒนาปฏิรูปและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2551). ลักษณะความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.
- [5] สมเจตน์ จันทวัฒน์ (2522). การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่มที่หนึ่ง: การพังทลายของดิน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] อธิยุต จงใจ (2556). การศึกษาทางเลือกเพื่อใช้เครื่องปรับอากาศของใหม่และของเดิม โดยวิธีการคำนวณต้นทุนวงจรอายุ. P.9.
- [7] ประพันธ์ เทพสง (255). การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยนต์ของคลังสินค้า. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 77 ปีที่ 24 กรกฎาคม-กันยายน 2554.