

ฐานข้อมูลสำหรับการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำของเขื่อนดิน

Database for Quality Control in the Embankment Dam Cutoff Wall Construction

ประเมษฐ์ สังฆะบุรี^{1,*} วรากร ไม้เรียง² บรรพต กุลสุวรรณ³ ธนาสิน เวทยาภิรมรัตน์⁴ และ วิภาดา เทพจันทร์⁵

^{1,2,3,4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

⁵ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

*Corresponding author; E-mail address: poramat.san@ku.th

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำของเขื่อนดิน ที่มีการขุดเจาะร่องด้วย Hydraulic grab กับ Hydromill ก่อนถมกลับด้วยคอนกรีตยืดหยุ่นที่มีคุณสมบัติที่บ้น้ำและมีความยืดหยุ่นมากกว่าคอนกรีตทั่วไป ระหว่างก่อสร้างมีการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างกับคุณภาพกำแพงกั้นน้ำเพื่อยืนยันว่าคุณภาพการก่อสร้างเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิค ทำให้ข้อมูลทดสอบมีมากกว่า 60,000 รายการ ฐานข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยจัดการข้อมูล ประมวลผล และสรุปผล ข้อมูลการทดสอบจะถูกบันทึกผลตามแผนภูมิการทำงานและจุดตรวจสอบคุณภาพ และประมวลผลด้วยชุดคำสั่งมาโครของโปรแกรม Microsoft Excel สามารถแสดงผลตามแผนขุดหรือจุดตรวจสอบที่กำหนด ระบบนี้ถูกนำไปใช้ในการตรวจรับงาน ด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลกับเกณฑ์ข้อกำหนดทางเทคนิค ตลอดจนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความหนืดน้ำโคลนเบนโทไนท์อยู่ในช่วง 34-36 วินาที ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 20-22 ซม. และอัตราส่วนความแตกต่างของการทดสอบคุณภาพกำแพงกั้นน้ำห้องปฏิบัติการต่อสนามอยู่ที่ 1:0.52 ถึง 1:1.51 สำหรับค่าความบ้น้ำ 1:0.965 ถึง 1:1.023 สำหรับค่าหน่วยน้ำหนัก ข้อมูลเหล่านี้ถือเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ควบคุมคุณภาพ สรุปผลงาน และสังเกตการณ์พฤติกรรมเขื่อน เพื่อสนับสนุนการประเมินความปลอดภัยระหว่างก่อสร้างได้

คำสำคัญ: ฐานข้อมูล, การควบคุมการก่อสร้าง, กำแพงกั้นน้ำ

Abstract

The cutoff wall construction project for the embankment dam begins with trench excavation using Hydraulic Grab and Hydromill before backfilling with plastic concrete. Quality testing, including material properties and cutoff wall performance, is conducted to ensure compliance with technical specifications. The large volume of test data, up to 60,000 records, necessitates a database system for efficient management, processing, and summarization, facilitating data utilization during construction and long-term dam behavior studies. The database development

process starts with workflow diagram and quality checkpoints to define recordable data. Contractor-provided test data is recorded and processed using Excel macros to display results by excavation panel or checkpoint. This system aids work acceptance by comparing data against technical criteria and enables statistical analysis of construction-phase testing data. Analysis reveals bentonite slurry viscosity ranges from 34-36 seconds, plastic concrete slump ranges from 20-22 cm, and the difference ratio between lab and field cutoff wall quality tests is 1:0.52 to 1:1.51 for permeability and 1:0.965 to 1:1.023 for unit weight. This data supports quality control, progress reporting, and dam behavior observation for construction safety assessment.

Keywords: Database, Construction Management, Cutoff Wall

1. ที่มาและความสำคัญ

การก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำในตัวเขื่อนดิน เป็นโครงการก่อสร้างปรับปรุงที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างเสถียรภาพของโครงสร้างและเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการไหลซึมของน้ำ เนื่องจากขั้นตอนการก่อสร้างมีการทดสอบอย่างน้อย 48 การทดสอบ [1] ที่มากกว่าโครงการก่อสร้างทั่วไป จึงส่งผลให้เกิดปริมาณข้อมูลที่มากกว่าปกติ การบริหารจัดการข้อมูลจำนวนมากในรูปแบบเอกสารอาจนำไปสู่ปัญหาการสูญหายและความยุ่งยากในการสืบค้นกับวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้น การมีระบบจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นยิ่งต่อการควบคุมงานก่อสร้าง

โครงการก่อสร้างทั่วไปได้มีการประยุกต์ใช้ระบบจัดการข้อมูลหลากหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและควบคุมงาน ตัวอย่างเช่น โครงการที่ใช้ฐานข้อมูลเช่น การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling, BIM) ในการวางแผนกับลดข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงานภาคสนาม [2] การใช้โปรแกรม ArcGIS ในการจัดเก็บข้อมูลพิกัดอ้างอิงแล้วใช้ในการจำลองลักษณะโครงการ เพื่อสนับสนุนการสืบค้นข้อมูลและการติดตามความก้าวหน้า [3] สำหรับโครงการเขื่อน การใช้ฐานข้อมูลก็ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เช่น ในการปรับปรุงเขื่อนมูลบนด้วยกำแพงกั้นน้ำก็มีการใช้ฐานข้อมูลในการเก็บข้อมูลจากการ

ก่อสร้าง [4] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฐานข้อมูลมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูลและควบคุมงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม ยังขาดการพัฒนาฐานข้อมูลที่ใช้ในระหว่างการทำงานก่อสร้างกำแพงตึกน้ำ ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อจัดการ กับการทดสอบจำนวนมากและหลากหลาย ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น , ติดตามแนวโน้มคุณภาพของงานก่อสร้างได้อย่างแม่นยำ และสนับสนุนการควบคุมงานอย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับโครงการก่อสร้างกำแพงตึกน้ำ เพื่อใช้ในการตรวจรับงานที่ช่วยให้สามารถตรวจสอบข้อมูลการก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจแนวโน้มและรูปแบบของข้อมูล นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพในอนาคต

2. ฐานข้อมูลในงานเขื่อน

โครงการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับงานเขื่อนได้มีการใช้ฐานข้อมูลในการช่วยจัดการข้อมูล เช่น ปี พ.ศ. 2538 เมธี [4] ใช้ฐานข้อมูลในงานการก่อสร้างปรับปรุงกำแพงตึกน้ำของเขื่อนมูลบน จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้เก็บข้อมูลรายละเอียดการก่อสร้าง และการทดสอบในโครงการ แล้วนำข้อมูลการทดสอบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อใช้ในการควบคุมงาน ต่อมาปี พ.ศ. 2551 Erfeng et al. [5] ได้มีการวิจัยในการใช้ฐานข้อมูลหลายมิติในการปรับปรุงระบบการติดตามความปลอดภัยเขื่อนโดยใช้ภาษา Delphi ในการพัฒนา ซึ่งทำให้ลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากโครงสร้างของฐานข้อมูล ส่วนปี พ.ศ. 2562 Hood et al. [6] ได้มีการจัดทำฐานข้อมูลสถิติการพังทลายของเขื่อนดิน โดยใช้ในการช่วยตัดสินใจสำหรับงานทางด้านความปลอดภัยเขื่อน หลังจากนั้นปี พ.ศ. 2565 วิภาดา [7] ได้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวินิจฉัยปัญหาการไหลซึมในเขื่อนดิน ซึ่งสามารถหาสาเหตุกับระดับความเสี่ยงของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ใหม่เมื่อเกิดเหตุการณ์ในเขื่อน และยังสามารถประเมินระดับความปลอดภัยเขื่อนเพื่อใช้ในการวางแผนในการบำรุงรักษาเขื่อน

3. การก่อสร้างกำแพงตึกน้ำ

กำแพงตึกน้ำเป็นสิ่งก่อสร้างที่ใช้ในการควบคุมการไหลซึมของน้ำในตัวเขื่อนดินหรือฐานรากของเขื่อน มักถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงเขื่อนที่มีปัญหาการการซึมน้ำหรือรั่วหรือเฉียบพลัน โดยเฉพาะเขื่อนที่มีอ่างเก็บน้ำในสภาพพร้อมใช้งาน [8] ประเทศไทยเองก็มีการใช้กำแพงตึกน้ำในการป้องกันการรั่วซึมของเขื่อน โดยครั้งแรกได้นำมาใช้ในปี พ.ศ. 2520 [9] โดยตารางที่ 1 ได้รวบรวมโครงการก่อสร้างกำแพงตึกน้ำสำหรับเขื่อนในไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ถึงปี พ.ศ. 2538

ตารางที่ 1 โครงการที่มีการใช้กำแพงตึกน้ำสำหรับงานเขื่อนในประเทศไทย

ชื่อโครงการ	ที่ตั้ง	ปี	ลักษณะฐานราก
เขื่อนยางชุม	อ.กุยบุรี จ.ประจวบฯ	2520	กรวดทราย
เขื่อนห้วยศิลา	อ.อุ้มผาง จ.ศรีสะเกษ	2530	ดินตะกอนทราย
เขื่อนทับเสลา	อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี	2531	ดินตะกอนทราย
เขื่อนคลองปึง	อ.เมือง จ.ประจวบฯ	2531	ดินตะกอนกรวดทราย
เขื่อนแม่กวง	อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	2535	กรวดทราย
เขื่อนมูลบน	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	2537	ดินตะกอนทราย
เขื่อนลำตะ	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	2538	ดินตะกอนทราย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

คอนกรีตยืดหยุ่น (Plastic concrete) เป็นวัสดุก่อสร้างกำแพงตึกน้ำมีส่วนผสมคือผงซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำโคลนเบนโทไนท์เป็นส่วนผสม โดย Plastic concrete มีคุณสมบัติมีกำลังต่ำ ค่าความตึงน้ำต่ำ และมีค่าโมดูลัสที่ใกล้เคียงดิน [10] ทำให้มีการหลุดตัวที่ใกล้เคียงกับดินตัวเชื่อม และมี Unconfined compressive strength ประมาณ 10-20 ksc ซึ่งเป็นกำลังที่ต่ำถ้าเทียบกับคอนกรีตทั่วไป [8-11]

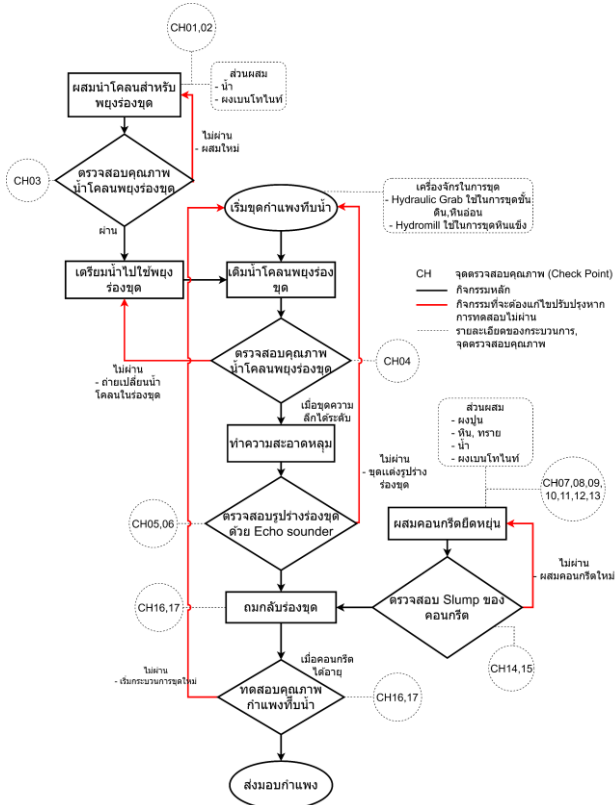
3.2 วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างกำแพงตึกน้ำประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือ การขุดร่องกำแพงตึกน้ำ และการถมกลับร่องขุด

การขุดร่องกำแพงตึกน้ำดำเนินการโดยใช้เครื่องจักรขุดขนาดใหญ่ 2 ชนิดคือ Hydraulic grab ที่มีไว้สำหรับขุดชั้นดินกับหินอ่อน และ Hydromill สำหรับขุดชั้นหินแข็ง การขุดแบบแบบแผงสลับ (Alternate panel) คือการขุดแผงหนึ่ง เว้นแผงข้างเคียงแล้วดำเนินการขุดแผงถัดไป แผงที่เว้นไว้จะทำการขุดเมื่อแผงที่ขุดก่อนหน้าได้ทำการถมกลับและคอนกรีตมีกำลังเพียงพอที่สามารถทำการขุดได้ [4]

ในระหว่างการขุดร่องกำแพงตึกน้ำ มีการเติมน้ำโคลนเบนโทไนท์อย่างต่อเนื่องในการช่วยพยุงร่องขุด เมื่อขุดจนได้ระดับแล้วดำเนินการทำความสะอาดน้ำเศษตะกอนของหินออกมาจากร่องขุด ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมร่องขุดคือการตรวจสอบขนาดและรูปทรงของร่องขุดอย่างแม่นยำ โดยใช้เครื่องมือวัดความลึกด้วยคลื่นเสียง (Echo sounder) เพื่อประเมินความสมบูรณ์ของร่องขุดและคำนวณปริมาตรสุทธิของร่องขุด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการควบคุมปริมาณวัสดุถมกลับที่จะใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการถมกลับร่องขุดใช้คอนกรีตยืดหยุ่นเป็นวัสดุถมกลับ โดยจะใช้วิธีการเทคอนกรีตผ่านท่อเทคอนกรีตได้นำ (Tremie pipe) เพื่อนำส่งคอนกรีตยืดหยุ่นลงสู่ร่องขุดอย่างมีประสิทธิภาพ คอนกรีตที่ถูกเทลงไป จะทำการแทนที่สารละลายเบนโทไนท์ที่อยู่ในร่องขุดอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งร่องขุดได้รับการถมกลับจนเต็มตามระดับที่กำหนด [11-12]



รูปที่ 1 แผนภูมิการทำงานของการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยสังเขป

ในโครงการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำที่ทำการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนภูมิการทำงานของการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการทำงาน ในรูปที่ 1 แสดงแผนภูมิการทำงานโดยย่อ ซึ่งมีแผนภูมิรายละเอียดอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูลในการดำเนินการในสนาม

4. ข้อมูลการทดสอบและการนำเข้าฐานข้อมูล

โครงสร้างฐานข้อมูลนี้ได้อ้างอิงจากแผนภูมิการทำงานและข้อกำหนดทางเทคนิคของโครงการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำที่ทำการศึกษา เพื่อให้สามารถจัดการข้อมูลในระหว่างการก่อสร้างและนำไปสู่การตรวจรับงานโดย

4.1 การทดสอบระหว่างการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ

ระหว่างกระบวนการก่อสร้างสร้างกำแพงทึบน้ำ มีการดำเนินการทดสอบ เพื่อประเมินคุณภาพของวัสดุ และคุณภาพของกำแพงทึบน้ำ โดยโครงการก่อสร้างนี้ได้กำหนดกลุ่มการทดสอบตามขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งกลุ่มการทดสอบเหล่านี้เรียกว่าจุดตรวจสอบคุณภาพ

4.1.1 การผสมน้ำโคลนเบนโทไนท์สำหรับพองรังกำแพงทึบน้ำ

การขุดร่องกำแพงทึบน้ำจำเป็นต้องใช้น้ำโคลนในการพองรังชุดให้ไม่เกิดการพังของร่องชุด ก่อนที่ผสมน้ำโคลนต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของดินที่ใช้ผสม และหลังผสมเสร็จต้องตรวจสอบคุณภาพของน้ำโคลนเพื่อให้

เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดทางเทคนิค โดยตารางที่ 2 แสดงรายการทดสอบของขั้นตอนการผสมน้ำโคลนพองรังกำแพงทึบน้ำ

ตารางที่ 2 การทดสอบน้ำโคลนเบนโทไนท์สำหรับพองรังกำแพงทึบน้ำ

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH01	คุณภาพผงเบนโทไนท์	Water content Specific gravity Liquid limit Plastic limit	1 ครั้งต่อเที่ยวการส่งสินค้าจากโรงงานเดียวกัน ทดสอบครั้งละ 3 ตัวอย่าง
CH02	คุณภาพน้ำสำหรับผสมน้ำโคลนเบนโทไนท์	pH Total hardness Total dissolved solids	1 ตัวอย่าง/หนึ่งแหล่งน้ำ
CH03	คุณภาพของน้ำโคลนเบนโทไนท์ในบ่อเก็บน้ำโคลน	Viscosity Filtrate loss Unit weight pH	1 ตัวอย่าง / 8 ชม. การทำงาน 1 ตัวอย่าง / 3 วันการทำงาน 2 ตัวอย่าง/ วัน 2 ตัวอย่าง/วัน

4.1.1 การขุดร่องกำแพงทึบน้ำ

การขุดร่องกำแพงทึบน้ำเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ โดยเป็นการเตรียมร่องชุดไว้สำหรับถมวัสดุถมกลับ ซึ่งขั้นตอนนี้มีโอกาสเกิดการพังทลายของร่องชุด จึงต้องมีการตรวจสอบน้ำโคลนเบนโทไนท์ในระหว่างการขุดเพื่อตรวจสอบว่าน้ำโคลนสามารถทำงานได้ตามปกติ

เมื่อขุดได้ตามระดับที่กำหนด ต้องดำเนินการทำความสะอาดร่องชุดให้เศษหินหรือตะกอนทรายเหลืออยู่ในร่องชุดน้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบน้ำโคลนหลังทำความสะอาดเสร็จเพื่อตรวจสอบความสะอาดในร่องชุด ขั้นตอนสุดท้ายคือทำการตรวจสอบรูปร่างของร่องชุดให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนดทางเทคนิค โดยใช้เครื่องมือวัดความลึกด้วยคลื่นเสียงในการตรวจสอบ ซึ่งตารางที่ 3 แสดงรายการทดสอบของขั้นตอนการขุดกำแพงทึบน้ำ

ตารางที่ 3 รายการทดสอบการขุดร่องกำแพงทึบน้ำ

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH04	คุณภาพของน้ำโคลนในร่องชุดระหว่างการขุดกำแพงทึบน้ำ	Unit weight Viscosity Filtrate loss Sand content	1 ตัวอย่าง/แ่งชุด 1 ตัวอย่าง/8 ชม. การทำงาน 1 ตัวอย่าง/แ่งชุด 1 ตัวอย่าง/แ่งชุด
CH05	คุณภาพของน้ำโคลนในร่องชุดในช่วงหลังทำความสะอาดกำแพง	Unit weight Viscosity Filtrate loss	1 ตัวอย่าง/แ่งชุด

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
		Sand content	
CH06	รูปร่างของร่องชุด	Thickness	1 ครั้ง/แผงชุด
		Verticality	ทดสอบครั้งละ 3 จุด
		Axial deviation	

4.1.2 การผสมวัสดุถมกลับ

คอนกรีตยัดหยุ่นถูกนำมาใช้ในการถมกลับกำแพงทึบน้ำ ซึ่งมีส่วนผสมคือ ผงซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำโคลนเบนโทไนท์ โดยก่อนการผสมต้องทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อน เพื่อยืนยันว่าวัสดุมีคุณสมบัติตามที่ออกแบบส่วนผสม

เมื่อผสมคอนกรีตยัดหยุ่นต้องทำการทดสอบค่าความยุบตัว (Slump test) และหน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ของคอนกรีตยัดหยุ่นสด เพื่อตรวจสอบคุณภาพและทำให้มั่นใจว่าสามารถนำคอนกรีตยัดหยุ่นถมกลับโดยไม่เกิดปัญหา โดยตารางที่ 4 แสดงรายการทดสอบวัสดุถมกลับ

ตารางที่ 4 รายการทดสอบการผสมวัสดุถมกลับ

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH07	คุณภาพของผงเบนโทไนท์ที่ใช้ผสมคอนกรีตยัดหยุ่น	Water content	1 ครั้งต่อเที่ยวการส่งสินค้าจากโรงงาน
		Specific gravity	เดียวกัน
		Liquid limit	ทดสอบครั้งละ 3 ตัวอย่าง
		Plastic limit	
CH08	คุณภาพของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตยัดหยุ่น	pH	1 ตัวอย่าง/หนึ่งแหล่งน้ำ
		Total hardness	
		Total dissolved Solids	
CH09	คุณภาพของน้ำโคลนในบ่อเก็บน้ำโคลนสำหรับผสมคอนกรีตยัดหยุ่น	Viscosity	6 ตัวอย่าง/บ่อเก็บ
		Unit weight	1 ตัวอย่าง/บ่อเก็บ
		pH	3 ตัวอย่าง/แผงชุด
CH10	คุณสมบัติของวัสดุทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตยัดหยุ่น	Gradation	3 ตัวอย่าง/แผงชุด
		SSD density	3 ตัวอย่าง/5 แผงชุด
		Absorption	3 ตัวอย่าง/5 แผงชุด
CH11	คุณสมบัติของวัสดุหินที่ใช้ผสมคอนกรีตยัดหยุ่น	Gradation	3 ตัวอย่าง/แผงชุด
		SSD density	3 ตัวอย่าง/5 แผงชุด
		Absorption	3 ตัวอย่าง/5 แผงชุด
CH12	ความชื้นของทราย	Sand water content	4 ตัวอย่าง/แผงชุด
CH13	ความชื้นของหิน	Gravel water content	4 ตัวอย่าง/แผงชุด
CH14	ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตสดก่อนการขนส่งไปยังร่องชุด	Slump	4 ตัวอย่าง/แผงชุด
		Unit weight	8 ตัวอย่าง/แผงชุด

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH15	ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตยัดหยุ่นสดก่อนการเทคอนกรีตยัดหยุ่น	Slump	4 ตัวอย่าง/แผงชุด

4.1.3 การถมกลับคอนกรีตยัดหยุ่น

การถมกลับคอนกรีตยัดหยุ่นต้องดำเนินการตรวจสอบคุณภาพขั้นตอนทำงาน 2 ประการ ได้แก่ 1) ระดับของคอนกรีตยัดหยุ่นในระหว่างการถมกลับโดยใช้เครื่องวัดความลึกหยั่งลงไปในระดับผิวคอนกรีตยัดหยุ่นในขณะนั้น ณ ตำแหน่งต่างๆ 3 จุด และนำมาเปรียบเทียบความต่างของความสูงของคอนกรีตยัดหยุ่นในแต่ละจุด 2) การตรวจสอบปริมาณทั้งหมดของคอนกรีตยัดหยุ่นที่ใช้ถมกลับทั้งหมดกับปริมาณที่ได้คาดการณ์ไว้ โดยตารางที่ 5 แสดงรายการทดสอบการถมกลับคอนกรีตยัดหยุ่น เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของปริมาณ

ตารางที่ 5 รายการทดสอบการถมกลับคอนกรีตยัดหยุ่น

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH16	ระดับผิวคอนกรีตยัดหยุ่นสดในระหว่างการเท	Concrete level	1 ครั้ง/4 รอบขนส่งคอนกรีตครั้งละ 2 ถึง 3 จุด
CH17	ปริมาตรของคอนกรีตที่ใช้ถมกลับร่องชุด	Concrete volume	1 ครั้ง/แผงชุด

4.1.4 การตรวจสอบคุณภาพกำแพงทึบน้ำที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

เมื่อทำการถมกลับเสร็จและกำแพงทึบน้ำมีอายุเพียงพอต้องดำเนินการทดสอบคุณภาพของกำแพงทึบน้ำทั้ง 2 ประการคือ 1) ค่าความทึบน้ำ (Permeability) 2) หน่วยน้ำหนักของกำแพงทึบน้ำ โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test) กับทดสอบในสนาม (Field test)

ตารางที่ 6 รายการการตรวจสอบคุณภาพกำแพงทึบน้ำ

จุดตรวจสอบ	การตรวจสอบ	รายการทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ
CH18	การทดสอบคุณภาพกำแพงทึบน้ำในห้องปฏิบัติการ	Unit weight	2 ตัวอย่าง/แผงชุด
		Permeability	2 ตัวอย่าง/แผงชุด
CH19	การทดสอบคุณภาพกำแพงทึบน้ำในสนาม	Unit weight	3 ตัวอย่าง/แผงชุด
		Permeability	4 ครั้ง/หลุมเจาะ/แผงชุด

4.2 การนำเข้าสู่ข้อมูลลงในฐานข้อมูล

การเก็บข้อมูลการทดสอบเข้าฐานข้อมูล ผู้รับจัดทำหน้าที่รับผิดชอบเป็นผู้บันทึกข้อมูลการทดสอบผ่านแบบฟอร์มที่จัดทำขึ้น เมื่อแบบฟอร์มดังกล่าวได้รับการอนุมัติจากผู้ควบคุมงาน ผู้รับจ้างจะส่งฟอร์มการทดสอบ

ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ผ่านระบบรับ-ส่งเอกสารออนไลน์ของโครงการ จากนั้นผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลนี้มีลักษณะของการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในตารางเดียวกันโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ทำให้สามารถเก็บหลายคุณสมบัติไว้ในหนึ่งชุดข้อมูลและสะดวกต่อการเรียกใช้ข้อมูล โดยข้อมูลแต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ 1) รายละเอียดของการทดสอบ อาทิ ชนิดของการทดสอบ แผนกที่ทำการทดสอบ จุดตรวจสอบคุณภาพ วันที่ทำการทดสอบ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการเรียกใช้ข้อมูลได้ 2) ผลการทดสอบ เป็นข้อมูลหลักที่จัดเก็บในฐานข้อมูล โดยผลการทดสอบที่จัดเก็บในแต่ละรายการมีความสอดคล้องกับการทดสอบที่ระบุไว้ในชุดข้อมูลนั้นๆ ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลเป็นดังรูปที่ 2

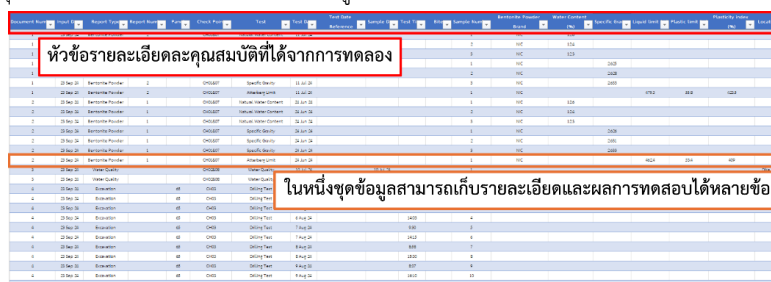
5. การใช้งานฐานข้อมูล

ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลนี้ ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ ในการตรวจรับงานกำแพงทึบน้ำ โดยต้องได้คุณภาพตามข้อกำหนดทางเทคนิค ซึ่งข้อมูลใน

ฐานข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งมีความสะดวกและรวดเร็วมากกว่าการตรวจสอบจากเอกสาร

การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลผลการทดสอบกับข้อกำหนดทางเทคนิคที่จัดเก็บในฐานข้อมูล ด้วยมาโคร (Macro) ในโปรแกรม Microsoft Excel เรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยเรียกจากแผนกที่ต้องการตรวจสอบ ชุดคำสั่งจะเรียกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแผนกที่ระบุทั้งหมด และจำแนกข้อมูลตามจุดตรวจสอบคุณภาพดังที่แสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 เพื่อมาตรวจสอบความสอดคล้องของผลการทดสอบกับข้อกำหนดทางเทคนิค หลังจากตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดทุกค่าก็นำมาสรุปในหน้าตรวจสอบโดยรวมดัง

รูปที่ 5



รูปที่ 2 รูปแบบการเก็บข้อมูล

Slurry For Excavation

Check Point CH03 Panel Panel: 13

Slurry For Excavation: Bentonite Plant : Pass*

Test Date	Test Time	Viscosity (Sec)	Filtrate Loss (cc/30min at 7 ksc)	Unit Weight (g/cm3)	Slurry pH	Remark	Approve Status
Criteria	-	>= 30 Sec	< =30 cc/30min at 7 ksc	1.03 - 1.1 g/cm3	8.5 - 12	-	-
10/12/2567	09:00	38.16	-	1.03	10.24	-	Pass
10/12/2567	14:00	38.07	-	-	-	-	Pass
10/12/2567	20:24	33.83	-	-	-	-	Pass

รูปที่ 3 ตัวอย่างการนำข้อมูลมาแยกใน Check Point 03

Plastic Concrete After 28 Day: Lab Test

Check Point CH18 Panel Panel: 13

Pass

Test Date	Concrete Unit Weight (kg/m3)	Sample	Permeability (cm/sec)	Remark	Approve Status
Criteria	>= 2000 kg/m3	-	< =0.0000001 cm/sec	-	-
22/1/2568	2080.00	-	-	-	Pass
22/1/2568	2080.00	-	-	-	Pass
22/1/2568	-	-	5.07E-08	-	Pass
22/1/2568	-	-	4.51E-08	-	Pass

รูปที่ 4 ตัวอย่างการนำข้อมูลมาแยกใน Check Point 18

Work Section : Excavation Start Excavation Date: 10/12/2567 Finish Excavation Date: 22/12/2024

Material

Check Point	Check Point Name	Brand/ Location	Approve Status	Detail Link
CH01	Bentonite Powder Brand	NIC	Pass	Link
CH02	Water Location	Dike 2	Pass	Link
CH03	Slurry For Excavation	Bentonite Plant	Pass*	Link

Trench excavation

Check Point	Check Point Name	Test	Unit	Criteria	Min	Max	Approve Status	Number of tests	Detail Link
CH04	Slurry During Excavation	Viscosity	Sec	>= 30	30.91	40.3	Pass	37	Link
		Filtrate Loss	cc/30min at 7 ksc	<= 30					
		Unit Weight	g/cm3	1.03 - 1.10	1.22	1.22	Pass	1	
CH05	Slurry Cleaning Trench	Viscosity	Sec	>= 30	41.85	41.85	Pass	1	Link
		Filtrate Loss	cc/30min at 7 ksc	<= 30	28.5	28.5	Pass	1	
		Unit Weight	g/cm3	1.1 - 1.30	1.27	1.27	Pass	1	
		Sand Content	%	<= 5	4.5	4.5	Pass	1	

รูปที่ 5 ตัวอย่างหน้าการตรวจสอบคุณภาพกำแพงที่บ้น้ำแต่ละแผง

6. การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ

คุณภาพกำแพงที่บ้น้ำ นอกเหนือจากการประเมินความสอดคล้องของผลการทดสอบกับเกณฑ์ข้อกำหนดทางเทคนิคแล้ว ยังสามารถพิจารณาแนวโน้มของผลการทดสอบโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลในฐานข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ จะช่วยในการติดตามคุณภาพของงานอย่างต่อเนื่อง กับตรวจสอบแนวโน้มของความผิดปกติของวัสดุหรือกระบวนการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่นำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงสถิติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติมีดังนี้

6.1 ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนท์พองร่งชุด

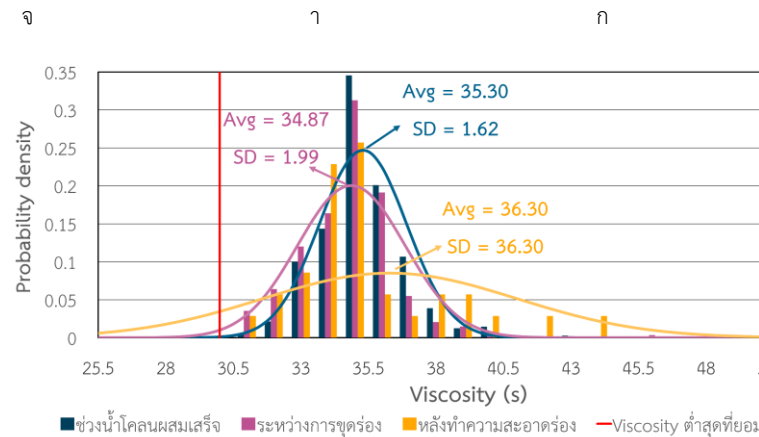
การขุดร่งในต้วเชื่อมอาจก่อให้เกิดการพังทลายของร่งชุดได้ เนื่องจากการกำจัดดินเดิมออกไป ส่งผลให้การค้ำยันของดินในบริเวณดังกล่าวสูญเสียไป ดังนั้นในระหว่างการขุดร่ง จึงต้องเติมน้ำโคลนเบนโทไนท์ลงไปเพื่อพองร่งชุด คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำโคลนเบนโทไนท์พองร่งชุดมีอยู่ 3 ประการ ได้แก่ ความหนืด (Viscosity), หน่วยน้ำหนัก และอัตราการสูญเสีย (Filtrate loss) ในระหว่างการทำงานได้ตรวจสอบคุณสมบัติเหล่านี้ตามช่วงการทำงาน 3 ช่วงเวลาดังนี้ 1) ช่วงน้ำโคลนผสมเสร็จ, 2) ระหว่างการขุดร่ง และ 3) หลังทำความสะอาดร่งชุด

การทดสอบความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนท์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน สำหรับโครงการนี้ เกณฑ์ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนท์ที่ยอมรับได้คือ มากกว่า 30 วินาที โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

ช่วงน้ำโคลนเบนโทไนท์ผสมเสร็จ พบว่าค่าความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 35.30 วินาที โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.62 วินาที ค่าต่ำสุดที่วัดได้คือ 28.28 วินาที และค่าสูงสุดคือ 42.54 วินาที

ช่วงน้ำโคลนเบนโทไนท์ระหว่างขุดร่ง พบว่าค่าความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 34.87 วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.99 วินาที มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30.2 วินาที และสูงสุดคือ 53.95 วินาที

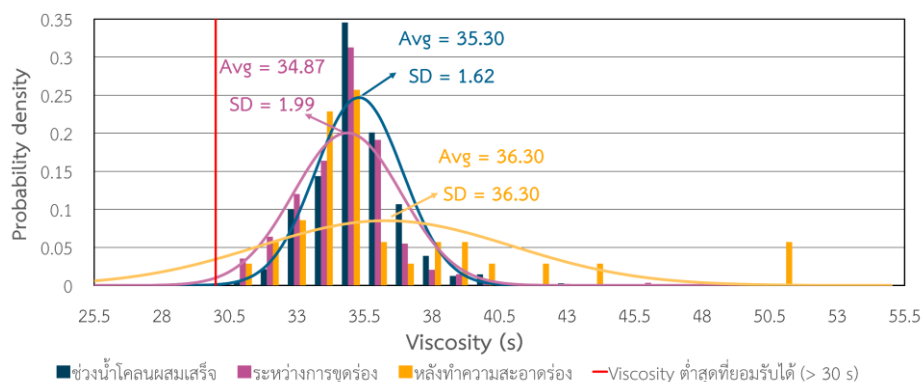
ช่วงหลังทำความสะอาดร่งเสร็จ พบว่าค่าความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 36.30 วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 4.69 วินาที มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30.73 วินาที และสูงสุดคือ 51.32 วินาที



รูปที่ 6 พบว่าช่วงภายหลังทำความสะอาดร่งมีการกระจายของข้อมูล ที่มากกว่าช่วงอื่น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากประสิทธิภาพในการทำความสะอาดร่งชุดในแต่ละแผงมีความแตกต่างกัน ในบางแผงอาจยังมีตะกอนของเศษหินและทรายแขวนลอยอยู่ในน้ำโคลนในปริมาณมาก ในขณะที่บางแผงแทบไม่มีตะกอนดังกล่าวปะปนอยู่เลย แต่ผลการทดสอบที่ออกมา ยังคงผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดทางเทคนิค

6.2 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยัดหยุ่น

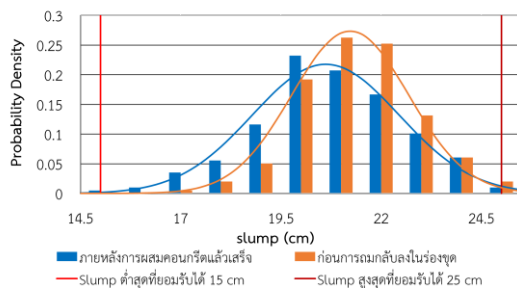
การถมกลับร่งชุดด้วยคอนกรีตยัดหยุ่น ดำเนินการโดยวิธีการเทผ่านท่อเทคอนกรีตได้ น้ำ หากคอนกรีตยัดหยุ่นมีความหนืดมากเกินไป จะส่งผลให้คอนกรีตที่เทลงไปถึงกันร่งยังคงจับตัวเป็นมวลคอนกรีต และอาจเกิดการแทรกของน้ำโคลนที่อยู่ในร่งชุดในเนื้อคอนกรีตยัดหยุ่น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump test) เพื่อประเมินความเหลวของคอนกรีตให้เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยในโครงการนี้กำหนดขอบเขตของค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ที่ 15 ถึง 25 เซนติเมตร



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำโคลนในแต่ละช่วง

สำหรับโครงการนี้ทำการทดสอบค่าการยุบตัว 2 ครั้ง ได้แก่ ภายหลังการผสมคอนกรีตแล้วเสร็จ และก่อนการถมกลับลงในร่องชุด จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล พบว่าในช่วงเวลาภายหลังการผสมเสร็จมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.62 เซนติเมตรค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.83 เซนติเมตร ส่วนในช่วงเวลาก่อนการถมกลับลงในร่องชุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.23 เซนติเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.46 เซนติเมตร

จากรูปที่ 7 บ่งชี้ว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตในทั้งสองช่วงเวลามีความใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนการถมกลับลงในร่องชุดมีแนวโน้มสูงกว่า และมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อยกว่า ซึ่งมีสาเหตุมาจากการควบคุมของคอนกรีตอย่างต่อเนื่องในระหว่างการขนส่งด้วยรถผสมคอนกรีต ทำให้ส่วนผสมมีความเข้ากันมากขึ้นก่อนการถมกลับ นอกจากนี้ ความแตกต่างของผลการทดสอบส่งผลให้เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการปฏิบัติงานของผู้ทำการทดสอบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าการยุบตัวทั้ง 2 ช่วง

6.3 การเปรียบเทียบการทดสอบคุณภาพของกำแพงทึบน้ำจากห้องปฏิบัติการและในสนาม

คุณภาพของกำแพงทึบน้ำประเมินจากค่าความทึบน้ำ และหน่วยน้ำหนักของกำแพงทึบน้ำ โดยในโครงการนี้มีการทดสอบคุณภาพของกำแพงทึบน้ำ 2 ประเภท ได้แก่ 1) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการเก็บตัวอย่างคอนกรีตยัดหยุ่นในระหว่างขั้นตอนการถมกลับ โดยทำการทดสอบเมื่ออายุบ่มมากกว่า 28 วัน วิธีการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักใช้วิธีวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ส่วนการทดสอบความทึบน้ำใช้วิธีแบบ Constant head method ด้วยเครื่องทดสอบความทึบน้ำของคอนกรีต ที่แสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการไหลของน้ำภายใต้แรงดันคงที่จากด้านล่างสู่ผิวด้านบนของตัวอย่างคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ซึมผ่านจะถูกดูดซับด้วยกระดาษซับ และนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาตรเทียบกับระยะเวลาการทดสอบ 2) การทดสอบในสนาม ดำเนินการทดสอบโดยเจาะทดสอบโครงสร้างกำแพงทึบน้ำในสนามเมื่ออายุบ่มมากกว่า 28 วัน และเจาะที่ความลึกประมาณ 2.7 เมตร ส่วนวิธีการทดสอบใช้แบบ Constant head method ดังที่แสดงในรูปที่ 9 สำหรับตัวอย่างที่ได้จากการเจาะทดสอบ จะนำไปหาค่าหน่วยน้ำหนักในสนาม



รูปที่ 8 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและค่าความทึบน้ำในห้องปฏิบัติการ



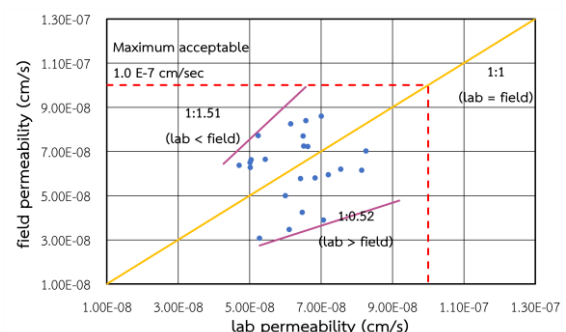
รูปที่ 9 ลักษณะการทดสอบค่าความทึบน้ำในสนาม

6.3.1 ค่าความทึบน้ำ

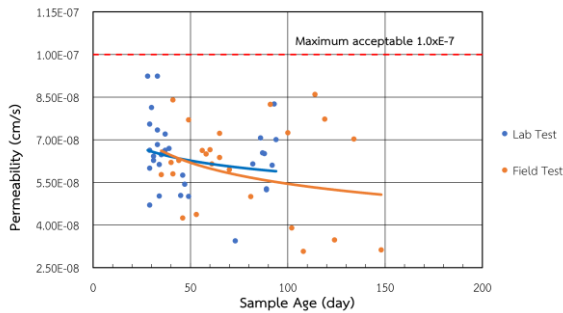
การเปรียบเทียบค่าความทึบน้ำที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในสนาม แสดงดังรูปที่ 10 โดยในแต่ละจุดในกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบในแต่ละแผงก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ จากผลวิเคราะห์พบว่าลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลมีแนวโน้มกระจายใกล้เคียงกับเส้นแสดงความเท่ากันของค่าความทึบน้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับในสนาม และมีช่วงของอัตราส่วนระหว่างค่าความทึบน้ำในห้องปฏิบัติการต่อในสนามของข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 1:1.51 และต่ำสุดที่ 1:0.52

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทึบน้ำกับอายุบ่มของตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยรวมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในช่วงเริ่มต้น ค่าความทึบน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการลดลงของค่าดังกล่าวจะช้าลง

ค่าความทึบน้ำที่วัดได้ในสนามจริงอาจมีแนวโน้มลดลงได้อีก หากดำเนินการทดสอบที่ระดับความลึกที่มากกว่า 2.7 เมตร เนื่องจากที่ระดับความลึกดังกล่าวจะได้รับแรงกดทับจากชั้นคอนกรีตยัดหยุ่นด้านบนที่สูงกว่า ส่งผลให้ช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่าความตึบน้ำในท้องปฏิบัติการและสนาม

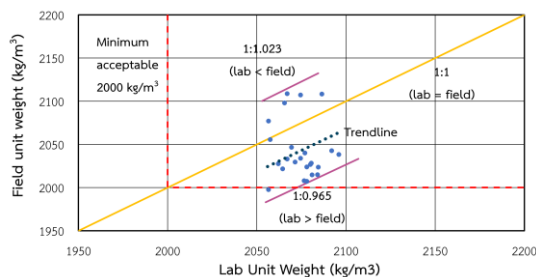


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความตึบน้ำกับอายุของตัวอย่าง

6.3.2 ค่าหน่วยน้ำหนัก

การเปรียบเทียบค่าหน่วยน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบการทดสอบในแต่ละแผนก่อสร้างกำแพงตึบน้ำ พบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม โดยมีช่วงของอัตราส่วนระหว่างค่าความตึบน้ำในห้องปฏิบัติการกับในสนามสูงสุดอยู่ที่ 1:1.023 และต่ำสุดที่ 1:0.965

จากผลการเปรียบเทียบพบว่าผลการทดสอบทั้งสองวิธีให้ค่าหน่วยน้ำหนักที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เส้นแนวโน้มของข้อมูลบ่งชี้ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่อาจมีการบดอัดมากเกินไป หรือตัวอย่างในสนามอาจถูกเก็บจากระดับความลึกที่ไม่มากพอ ทำให้ตัวอย่างไม่ได้รับการบดอัดจากแรงดันด้านบนอย่างเต็มที่



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบค่าหน่วยน้ำหนักในห้องปฏิบัติการกับในสนาม

7. สรุปผล

ผลที่ได้จากการพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลการทดสอบของการก่อสร้างกำแพงตึบน้ำมีดังนี้

1) สามารถจัดการข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ในการตรวจรับงาน โดยการเปรียบเทียบ

ข้อมูลจากฐานข้อมูลกับเกณฑ์ข้อกำหนดทางเทคนิค ซึ่งส่งผลให้กระบวนการตรวจรับงานมีความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น

2) จากการประเมินคุณภาพของน้ำโคลนเบนโทไนท์ที่ใช้พองร่อง พบว่าค่าความหนืดเฉลี่ยของน้ำโคลนในช่วงน้ำโคลนผสมเสร็จ ระหว่างการพองร่องและหลังทำความสะอาดร่อง มีค่าอยู่ที่ 35.30 วินาที 34.87 วินาที และ 36.30 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนท์ในร่องชุดของเมธี [4] ที่รายงานค่าเท่ากับ 35.27 วินาที

3) คุณสมบัติการยุบตัวของคอนกรีตอัดหนุ่น ในช่วงภายหลังการผสมเสร็จกับช่วงก่อนการถมกลับลงในร่องชุด พบว่ามีค่าเฉลี่ยในช่วงภายหลังการผสมเสร็จเท่ากับ 20.62 เซนติเมตร และในช่วงก่อนการถมกลับลงในร่องชุดเท่ากับ 21.23 เซนติเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.83 กับ 1.46 เซนติเมตร ตามลำดับ

4) อัตราส่วนค่าความตึบน้ำที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับค่าในสนามอยู่ในช่วงประมาณ 1:0.52 ถึง 1:1.51 โดยค่าความตึบน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและลดช้าลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าผลการทดสอบทั้งสองวิธีให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างไปจากการณศึกษาการทดสอบกำแพงตึบน้ำของเขื่อน Coquitlam dam [13] พบว่า ค่าความตึบน้ำจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามถึง 2 อันดับ สาเหตุเนื่องมาจากการทดสอบความตึบน้ำในห้องปฏิบัติการของเขื่อน Coquitlam dam มีอิทธิพลจากสภาวะแรงดันรอบข้างที่กระทำต่อตัวอย่างในชั้นดิน โดยวิธีการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial test) แบบ Consolidated-Undrained test (CU-test) ในส่วนของหน่วยน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในสนามอยู่ในช่วงประมาณ 1:0.965 ถึง 1:1.023

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน, ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรม งานจ้างที่ปรึกษาศึกษาความเหมาะสมการเสริมความมั่นคง เขื่อนดินช่องเขาขาด Dike 4 ของเขื่อนสิริกิติ์. 2563.
- [2] กฤตชัย วนบุญ (2566). บทบาทหน้าที่ที่ปรึกษาบริหารงานก่อสร้างในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร โครงการก่อสร้างภาครัฐ. สารศาสตร์. ฉบับที่ 4/2566: p. 918.
- [3] สมลักษณ์ บุญณรงค์, นงลักษณ์ ปาสองห้อง, และเทพรัตน์ สะเภาทอง (2554). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการบริหารงานก่อสร้าง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 21 ฉบับที่ 1.
- [4] เมธี ผลบำรุงวิระ (2538). การควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้างและพฤติกรรมของกำแพงตึบน้ำของโครงการเขื่อนมูลบน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] Erfeng, Z., W. Yachao, J. Yufeng, Z. Lei, and Y. Hong (2008). Multi-dimensional database design and implementation of

- dam safety monitoring system. *Water Science and Engineering*.
- [6] Hood, K., R.A. Perez, H.E. Cieplinski, T.V. Hromadka, G.E. Moglen, and H.D. McInvale (2018). Development of an Earthen Dam Break Database. *Journal of the American Water Resources Association*. 55(1): p. 89-101.
- [7] วิภาดา แซ่เจียว (2565). ระบบผู้เชี่ยวชาญการวินิจฉัยปัญหาการไหลซึมในงานเขื่อนดินขนาดกลางและขนาดเล็ก กรณีศึกษา เขื่อนดินช่องเขาขาด เขื่อนสิริกิติ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] Bureau of Reclamation (2014). *Cutoff Walls in Embankment Dams*. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation.
- [9] วาสนา แก้วกาม (2542). การศึกษาวิเคราะห์การก่อสร้างกำแพงทึบน้ำด้วยวิธี Slurry Wall. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน.
- [10] Alos Shepherd D., E. Kotan, and F. Dehn (2018). *State-of-the-Art Report - Plastic Concrete for Cut-Off Walls*.
- [11] Xanthakos P.P (1979). *Slurry Walls*. McGraw-Hill.
- [12] ศูนย์วิจัยวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน. รายการคำนวณการออกแบบกำแพงทึบน้ำบริเวณสันเขื่อน เพื่อเสริมความมั่นคงเขื่อนดินช่องเขาขาด Dike 4 ของเขื่อนสิริกิติ์.
- [13] L. Yan, D. A. Trapp, and A. Sy (2008). Construction of a Plastic Concrete Seepage Cutoff Wall for the New Coquitlam Dam, *6th Conference of the International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, Missouri University of Science and Technology, Arlington, Virginia.