

การสำรวจและออกแบบความมั่นคงและการซึมน้ำของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ Investigation and Design for the Stability and Seepage of Biogas Pond

รัฐธรรม อิศโรหาร^{1*} วรวิช ลิ้มพันธ์อุดม² สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์³ และ ภรณ์ยวีวัฒน์ แสงสุวรรณ⁴

^{1,2} ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ รองศาสตราจารย์และหัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

⁴ บริษัท ไทย ไปโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี จำกัด

E-mail: ¹ nuk_civil@yahoo.com, ² tum_gambit@hotmail.com, ³ fengsus@ku.ac.th, ⁴ pharunyawat@tbec.co.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง หรือ โรงงานน้ำมันปาล์ม มาผ่านกระบวนการหมักในบ่อขนาดใหญ่ทำให้เกิด ก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยบ่อผลิตก๊าซชีวภาพนี้ จะมีความสูงโดยรวมประมาณ 10 เมตร มีปริมาตรตั้งแต่ 80,000 ลบ.ม. ขึ้นไป จึงต้องมีการสำรวจและออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อความมั่นคง ปลอดภัย การสำรวจประกอบด้วย การเจาะสำรวจดิน การขุดบ่อสำรวจ การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบคุณสมบัติดินทางวิศวกรรมต่างๆ เช่น การจำแนกดินและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน การทดสอบด้านกำลัง การทดสอบบดอัด ความชื้นน้ำ การกระจายตัวของดิน แล้วประเมินผล เพื่อนำมาวิเคราะห์ความมั่นคงของบ่อ และวิเคราะห์ความชื้นน้ำ เพื่อ การออกแบบลักษณะและความลาดชันบ่อ รวมทั้งรายละเอียดการวาง ท่อการระบายผ่านคันบ่อ ในกรณีทั่วไปการออกแบบต้องทำการขุดดินลึก 5 เมตร และถมดินสูง 4.5 เมตร ใช้ความลาดชันสำหรับงานขุดดิน 1:2.0 (ตั้ง : ราบ) ส่วนดินถมด้านในบ่อใช้ความลาดชัน 1:1.75 และ 1:1.5 สำหรับดินถมด้านนอกบ่อ และต้องมีการขุดดินเดิมบางส่วนออก แล้วดัดกลับ เพื่อลดความชื้นน้ำผ่านดินฐานรากของบ่อ

คำสำคัญ: เสถียรภาพลาดชัน, ความชื้นน้ำ, ขุดดินและถมดิน, บ่อผลิต ก๊าซชีวภาพ

Abstract

At present, many factories have a project of biogas pond with the method of bringing wastewater from a cassava or palm oil through the fermentation process in the large pond for direct uses or generating electricity. Typical height of pond is about 10 meter and volume more than 80,000 m³. Therefore, it must be surveyed and designed for the stability of excavated and filled pond and the seepage through the dike. The investigation consists of soil boring, test pits and soil sampling for basic properties and engineering properties test. Limit Equilibrium Method and Finite Element Method were applied to analyze slope stability and water seepage of pond, respectively. Typical of pond section is excavation to 5 meters depth and fill to 4.5 meters height requiring slope for excavation 1:2.0 (vertical: horizontal). The fill inside pond requires slope 1:1.75 and 1:1.5 for the fill outside the pond. For reduce the seepage through the dike foundation must be excavated existing soil and replace with compacted material.

Keywords: Slope Stability, Seepage Analysis, Excavation and fill, Biogas Pond

1. ภาพรวมการสำรวจและออกแบบ

การนำน้ำเสียจากโรงงานที่มีสารประกอบอินทรีย์มาผ่าน กระบวนการทำให้เกิดก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้โดยตรงหรือนำมาผลิต กระแสไฟฟ้า ต้องใช้บ่อขนาดใหญ่ในการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซ โดยทั่วไป บ่อจะมีความสูงรวมจากท้องบ่อถึงด้านบนคันบ่อประมาณ 10 เมตร มี ปริมาตรตั้งแต่ 80,000-120,000 ลบ.ม. ส่วนใหญ่จะใช้การขุดดิน ร่วมกับการถมคันบ่อให้สูงขึ้นเพื่อประหยัดค่าดินถม และเพื่อความ มั่นคงของคันบ่อ

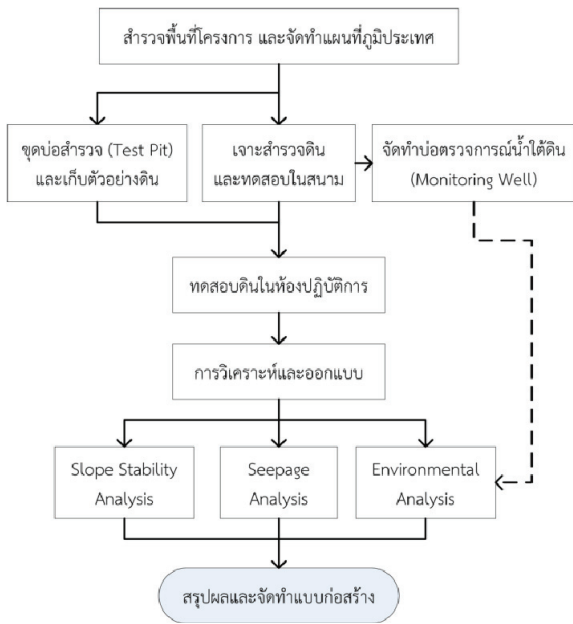
การออกแบบบ่อสำหรับเก็บกักน้ำเสียในแต่ละพื้นที่มีลักษณะและ เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจ กำหนดเกณฑ์ใน การออกแบบ และทดสอบที่เกี่ยวข้องที่แตกต่างกันไปเพื่อให้เป็นไปตาม หลักการที่ถูกต้องในทางวิชาการ และเหมาะสมในการก่อสร้างรวมถึง การใช้งานมีความมั่นคงปลอดภัย โดยขั้นตอนการสำรวจและออกแบบ ในภาพรวมแสดงในรูปที่ 1

2. การสำรวจและการทดสอบ

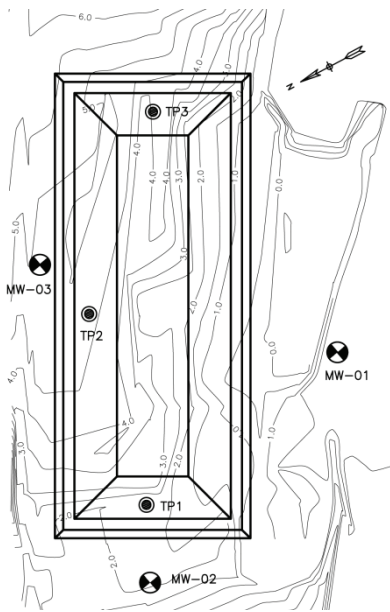
2.1 การสำรวจลักษณะพื้นที่โครงการ

สำรวจพื้นที่โครงการทำโดยสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) และการสอบถามเจ้าของพื้นที่ เพื่อให้ทราบลักษณะพื้นที่ ในเบื้องต้น ก่อนกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ หรือหลุมขุดสำรวจ (Test Pit) การสำรวจประกอบด้วย

- ลักษณะการใช้พื้นที่เดิม เช่น เป็นพื้นที่สวน พื้นที่กองวัสดุ ที่โล่ง หรือบ่อเก็บน้ำ
- พื้นที่โดยรอบบ่อที่จะทำการออกแบบ เช่น เป็นพื้นที่ราบ หรืออยู่ ใกล้กับบ่อบำบัดน้ำเสีย หรืออยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น
- แนวร่องน้ำเดิมในบริเวณโครงการ (ถ้ามี)
- ทิศทางการไหลของน้ำบนผิวดินในพื้นที่
- พื้นที่บริเวณอื่นที่สามารถนำดินมาใช้ถมได้ กรณีพื้นที่บ่อขุด คุณสมบัติดินไม่เหมาะสม
- ระดับน้ำท่วมสูงสุดในพื้นที่ (ถ้ามี)



รูปที่ 1 ภาพรวมการสำรวจและออกแบบก่อสร้างเบื้องต้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงจากการสำรวจ

สำหรับการจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูง ดำเนินการตามมาตรฐาน Federal Geodetic Control Committee (FGCC, 1984) [1] ในระดับชั้นงานที่ 3 (Third Order) การสำรวจควรครอบคลุมพื้นที่ขุด โดยให้มีระยะห่างจากขอบบ่อประมาณ 20-50 เมตร มีความละเอียดของเส้นชั้นความสูงไม่น้อยกว่า 0.5-1.0 เมตร (Contour Interval) และกำหนดระดับอ้างอิงที่ชัดเจน เช่น ระดับถนน หรือพื้นโรงงาน เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2

2.2 การเจาะสำรวจดิน และการขุดหลุมสำรวจ

การเจาะสำรวจลักษณะชั้นดินในพื้นที่โครงการทำให้ทราบลักษณะของชั้นดิน และความแข็งแรงตามความลึก แล้วนำผลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบความสูง รวมถึงความชื้นที่เหมาะสมกับสภาพดินในพื้นที่ จำนวนหลุมเจาะที่เหมาะสมทำได้ตั้งแต่ 1-3 หลุม กล่าวคือ หากงบประมาณจำกัดก็ลดจำนวนหลุมเจาะตามความเหมาะสม แต่กรณีที่ต้องมีการจัดทำหลุมตรวจการณ์น้ำใต้ดิน (Monitoring Well) ก็สามารถเพิ่มจำนวนหลุมเจาะดินได้ เพราะหลังการเจาะดินแล้วสามารถขยายหลุมเป็นหลุมตรวจการณ์น้ำใต้ดินได้ โดยตำแหน่งหลุมเจาะที่เหมาะสมให้เลือกจากบริเวณที่จะเป็นคันบ่อทั้ง 4 ด้านเป็นหลัก สำหรับความลึกในการเจาะควรมีความลึกไม่น้อยกว่าระดับท้องบ่อ เช่น 10 ถึง 15 เมตร เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจอย่างน้อยต้องแสดงประเภทดิน ผลการทดสอบ Atterberg's Limit ค่า Standard Penetration Test (SPT) ตามความลึก และบันทึกระดับน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ

ในกรณีที่พื้นที่ก่อสร้างมีเครื่องจักรสำหรับการขุดดิน (Backhoe) ให้ทำการขุดหลุมสำรวจ (Test Pit) อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ในบริเวณพื้นที่ขุด เพื่อตรวจสอบลักษณะชั้นดินตามความลึก ดังรูปที่ 3 และเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) ดังรูปที่ 4 โดยสามารถเลือกใช้เครื่องมือ KU-Miniature Sampler (วารกร และนางลักษณ์, 2546) [2] (วารกร และบรรพต, 2548) [3] ในการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน เพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเดิมด้วยวิธีเฉือนตรง (Direct Shear Test) โดยตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างจะพิจารณาจากชั้นดินเป็นหลัก กล่าวคือ หากดินเป็นประเภทเดียวกันตลอดความลึกจะเก็บที่ระดับประมาณ 2 และ 4 เมตร จากปากหลุม หากชั้นดินมีความแตกต่างกันจะเก็บดินที่เป็นตัวแทนของชั้นนั้นๆ พร้อมระบุความหนาของแต่ละชั้นไว้เปรียบเทียบกับผลการเจาะสำรวจดิน

บางกรณีอาจพบน้ำซึมเข้ามาในหลุมขุด ให้บันทึกระดับที่น้ำซึมเข้ามา และประมาณความเร็วของการไหลซึมจากปริมาตรหลุมและเวลาที่น้ำซึม เพื่อนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์และเตรียมการก่อสร้าง

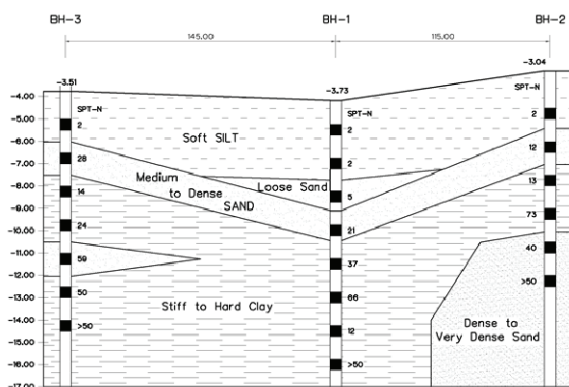
หลังจากได้ผลการเจาะสำรวจและการขุดหลุมสำรวจ สามารถนำข้อมูลมาประเมินลักษณะการวางตัวของชั้นดินในพื้นที่โครงการ ดังรูปที่ 5 เพื่อการแบ่งหน้าตัดดินที่จะใช้ในการออกแบบในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3 การขุดหลุมสำรวจ (Test Pit)



รูปที่ 4 เก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ



รูปที่ 5 การประเมินลักษณะการวางตัวของชั้นดิน

2.3 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

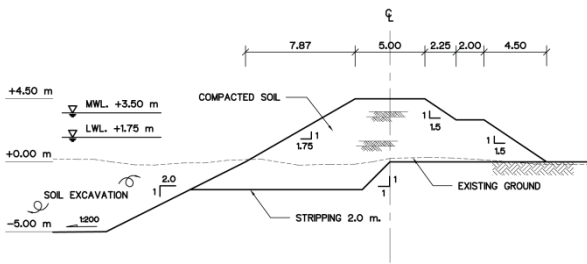
การทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นการนำตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) และตัวอย่างแบบถูกรบกวน (Disturbed Sample) จากการขุดหลุมสำรวจ (Test Pit) เพื่อนำมาทดสอบหาคูณสมบัติพื้นฐาน คุณสมบัติด้านกำลังของดินเดิม และทดสอบการบดอัด ซึ่งประกอบด้วยรายการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

รายการทดสอบ	ประเภทตัวอย่าง	มาตรฐานอ้างอิง
1. Direct Shear Test (Consolidated Undrained Test)	Undisturbed sample (Test pit)	ASTM D3080
2. Dispersive Soil Test	Disturbed sample	ASTM D4221
3. Compaction Test	Disturbed sample	ASTM D698
4. Permeability Test	Re-compacted	ASTM D2434
5. การตรวจสอบปริมาณสารปนเปื้อนในดิน	Disturbed sample	ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน
6. การตรวจสอบปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	Ground water (Monitoring well)	ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

3. ลักษณะหน้าตัดในการวิเคราะห์

การกำหนดลักษณะหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้จากปริมาตรความจุของบ่อที่ต้องการ โดยเบื้องต้นจะกำหนดปริมาณดินขุดมากกว่า ปริมาณดินถมประมาณ 1.2-1.5 เท่า (โดยเผื่อส่วนที่ต้องลอกหน้าดิน และดินที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาบดอัด) และรูปร่างทางกายภาพตามลักษณะการใช้งาน เช่น ความกว้างคันบ่อต้องมีความกว้างเพียงพอ กับขนาดเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างและใช้งาน เป็นต้น ตัวอย่างโครงการบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ลาว-อินโดไชน่า ต้องการปริมาตรบ่อ 74,000 ลูกบาศก์เมตรทำให้ต้องขุดดินที่มีความลึก 5 เมตร และถมดินสูง 4.5 เมตร ส่วนความลาดชันของบ่อให้ปรับเปลี่ยนตามผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของบ่อ (Slope Stability Analysis) ทำให้ได้ลักษณะหน้าตัดเพื่อการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6 นอกจากนั้นหากพื้นที่ด้านข้างบ่อไม่ใช้พื้นที่ราบต้องเพิ่มหน้าตัดในการวิเคราะห์สำหรับตำแหน่งนั้นๆ ด้วย



รูปที่ 6 ตัวอย่างหน้าตัดทั่วไปของบ่อเพื่อการวิเคราะห์

4. ข้อกำหนดในการออกแบบ

ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบประกอบด้วยข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกจร ระดับน้ำใต้ดิน ระดับน้ำในบ่อ และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับ (Allowable F.S.) ดังนี้

(1) น้ำหนักบรรทุกทุกจร

- ในระหว่างการก่อสร้าง ค้นดินรับน้ำหนักบรรทุกทุก 2.0 t/m²
- การใช้งานปกติ ค้นดินรับน้ำหนักบรรทุกทุก 1.0 t/m² (หรือตามเงื่อนไขที่กำหนด)

(2) ระดับน้ำ

- ระดับน้ำใต้ดิน

ในระหว่างการก่อสร้างกำหนดจากผลการตรวจวัดจริงในสนาม เช่น ระดับ -1.50 เมตร จากระดับดินเดิม เป็นต้น

ในกรณีใช้งานกำหนดให้ระดับน้ำอยู่ที่ผิวดิน เนื่องจากในระหว่างการใช้งานจริงในฤดูกาลต่างๆ น้ำใต้ดินอาจมีระดับสูงขึ้น ทั้งนี้ระดับน้ำใต้ดินที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความมั่นคงของลาดดินลดลง

- ระดับน้ำในบ่อ

ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งานของบ่อนั้นๆ โดยแบ่งเป็น 3 กรณีย่อย คือ

- ก. ระหว่างการใช้งานกรณีปกติ
- ข. ระดับน้ำต่ำสุด เป็นระดับน้ำต่ำสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในการทำงานปกติ
- ค. กรณีน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว สำหรับกรณีที่ต้องมีการระบายน้ำออกจากบ่ออย่างรวดเร็ว

(3) อัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับได้

- กรณีระหว่างก่อสร้าง F.S. ≥ 1.30
- กรณีการใช้งานปกติ F.S. ≥ 1.50
- กรณีน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว F.S. ≥ 1.20

5. แนวทางการออกแบบ

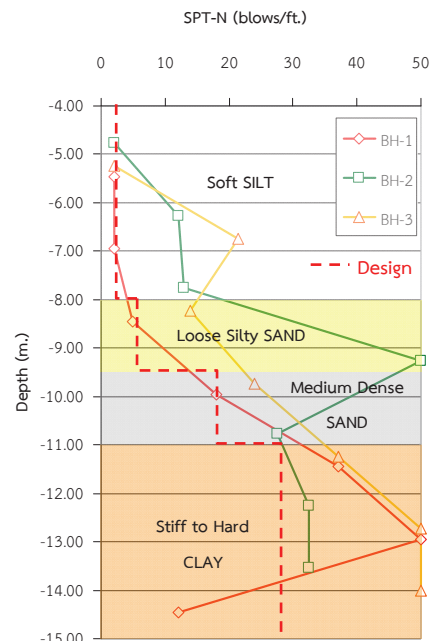
5.1 การแปลผลคุณสมบัติดิน

การแปลผลจากการทดสอบกำลังของดินเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบได้จาก 2 ส่วน คือ

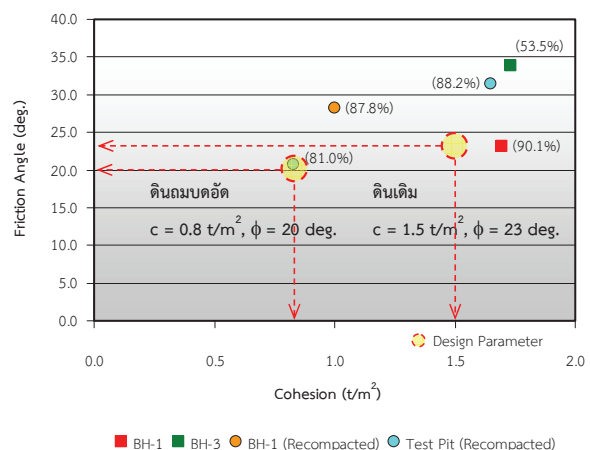
(1) จากผลการทดสอบ Standard Penetration Test ซึ่งทำให้เห็นภาพรวมความแข็งแรงของดินตามความลึก หรือเป็นตัวแทนของชั้นดินที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพได้ โดยนำผลทดสอบมาปรับแก้ และแสดงความสัมพันธ์ตามความลึก แล้วเลือกค่าที่ใช้ในการออกแบบเพื่อนำไปแปลงเป็นค่า Cohesion หรือ Friction Angle ตามประเภทของดินหลักในชั้นนั้นๆ ดังรูปที่ 7

(2) จากผลทดสอบ Direct Shear Test ทั้งกรณีที่เป็นดินเดิม และดินบดอัดเพื่อใช้เป็นตัวแทนของค้นดินถม (บดอัดที่ 90% Standard compaction) แล้วนำผลการทดสอบมาพิจารณาเลือกค่าที่จะใช้ออกแบบ ดังรูปที่ 8 (ตัวเลขร้อยละที่กำกับคือ Degree of Saturation ของตัวอย่างดินหลังการทดสอบ) ซึ่งอาจใช้ค่าในกลุ่มที่ต่ำที่สุดหรือค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความมั่นใจในการได้มาของผลการทดสอบ

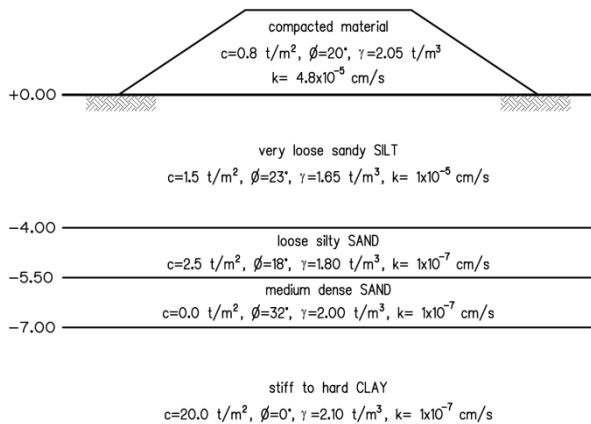
นำผลการทดสอบทั้ง 2 ส่วนมาแบ่งชั้นดินเพื่อการวิเคราะห์ โดยใช้ประเภทดินเป็นตัวหลัก และใช้กำลังของดินในแต่ละชั้นดินมาประกอบ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 7 ความแข็งแรงของดินตามความลึก



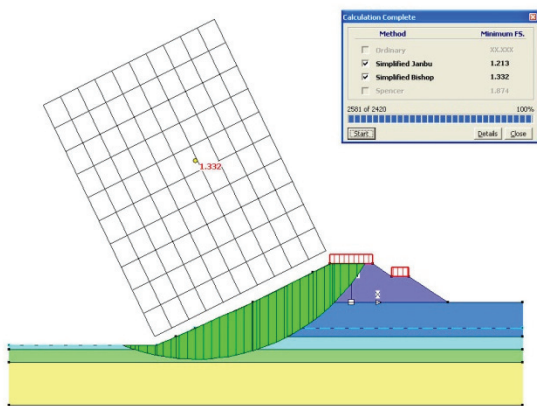
รูปที่ 8 กำลังของดินจากการทดสอบการเฉือนตรง



รูปที่ 9 คุณสมบัติดินในการวิเคราะห์

5.2 เสถียรภาพของบ่อ

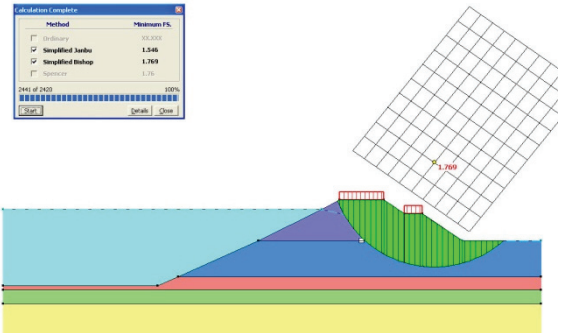
การวิเคราะห์ความมั่นคงของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพใช้ทฤษฎี Limit Equilibrium ทำการวิเคราะห์ทั้งในกรณีระหว่างการก่อสร้าง และกรณีการใช้งาน ในทุกด้านของบ่อที่มีเงื่อนไขแตกต่างกัน ได้ผลการวิเคราะห์ดังตัวอย่างในตารางที่ 2 และรูปที่ 10 ถึง 11



รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์กรณีก่อสร้าง ด้านในบ่อ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ตำแหน่งคันบ่อ	กรณีวิเคราะห์	ระดับน้ำ		LL (t/m^2)	เกณฑ์ยอมรับ (Allowable F.S.)	ผลการวิเคราะห์ (Analysis F.S.)	
		ในบ่อ	นอกบ่อ			ด้านในบ่อ	ด้านนอกบ่อ
1. หน้าที่ทั่วไปของบ่อ	ระหว่างการก่อสร้าง	-5.0	-2.0	2.0	1.30	1.36	1.47
	การใช้งานปกติ	+3.75	+0.00	1.0	1.50	1.91	1.59
	น้ำล้นระดับอย่างรวดเร็ว	-5.00	+0.00	1.0	1.20	1.29	1.59
2. บ่อด้านที่ติดกับบ่อน้ำเดิม	ระหว่างการก่อสร้าง	-5.0	-2.0	2.0	1.30	1.36	1.50
	การใช้งานปกติ	+3.75	+0.00	1.0	1.50	1.90	1.51
	น้ำล้นระดับอย่างรวดเร็ว	-5.00	+0.00	1.0	1.20	1.29	1.51



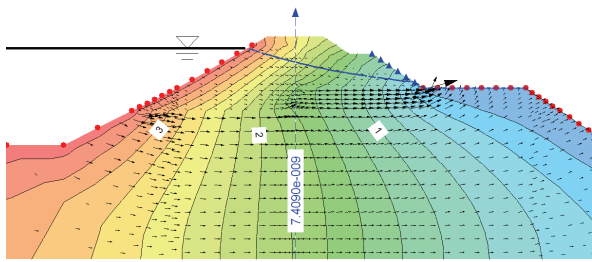
รูปที่ 11 ตัวอย่างการวิเคราะห์กรณีใช้งาน ด้านนอกบ่อ

5.3 การไหลซึมของน้ำ

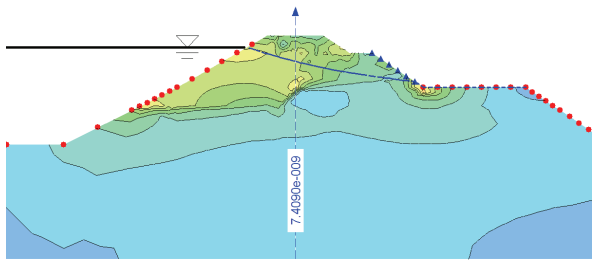
การไหลซึมของน้ำผ่านคันดินถมต้องมีการวิเคราะห์เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ปัญหาการกัดเซาะบริเวณคันดินถม ภายในคันดินถม หรือดินฐานราก ปัญหาการรั่วซึมที่มากเกินไปจนไม่สามารถเก็บน้ำได้ตามวัตถุประสงค์ ปัญหาเกี่ยวกับความดันน้ำที่สูงเกินไปอันเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนพังได้ เป็นต้น การทดสอบความซึมสำหรับดินถมบดอัดทำในห้องปฏิบัติการตาม ASTM D2434 และสำหรับดินเดิมทำการทดสอบโดยวิธี Open End Test (Designation E-180) ในระหว่างการเจาะเก็บตัวอย่างดิน โดยทดสอบทุกระยะ 3.0-5.0 เมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้วิธีเลขจำนวน (Numerical Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณด้วยเทคนิคของ Finite Element เพื่อให้ได้ค่าศักยภาพของน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นที่การไหลใดๆ

ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำไหลซึมผ่านคันดินประมาณ 0.34 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือร้อยละ 0.0005 ของปริมาณน้ำในบ่อ ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ยอมรับสำหรับงานเขื่อนเก็บน้ำ (0.01% ถึง 0.05%) โดยน้ำจะไหลซึมผ่านชั้นดินเดิมช่วงบน (0-2 เมตร) ได้มากเนื่องจากมีความโปร่งน้ำมากกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึงควรขุดลอกดินเดิมในช่วงความลึกดังกล่าวออกเพื่อลดปริมาณการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นฐานราก



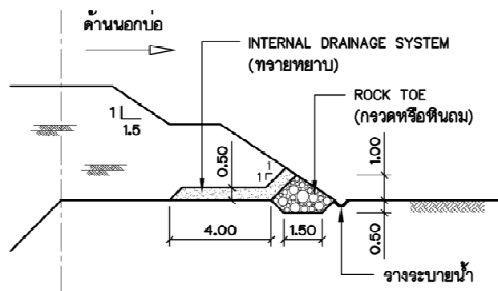
(n) Total Head



(x) Hydraulic Gradient

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำ

สำหรับค่า Hydraulic Gradient บริเวณปลายลาดดินถม (Toe Slope) ประมาณ 0.5 ซึ่งน้อยกว่าค่า Critical Hydraulic Gradient เท่ากับ 1.0 แสดงว่ามีความปลอดภัยต่อการกัดเซาะบริเวณ Toe Slope ทั้งนี้ในกรณีที่ชั้นดินเดิมมีความแปรปรวน (บริเวณที่ไม่ได้ขุดลอกออก) หรือมีความไม่สม่ำเสมอของการบดอัดดินจากกระบวนการก่อสร้าง สามารถเพิ่มความปลอดภัยโดยใช้ Rock Toe หรือ Internal Drainage System ในบริเวณดังกล่าว ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 Rock Toe หรือ Internal Drainage System

6. ปัญหาที่พบจากการก่อสร้างจริงและแนวทางการแก้ไข

6.1 การแก้ปัญหาชั้นดินเดิมที่มีความชื้นน้ำสูง

บางกรณีชั้นดินเดิมบริเวณพื้นที่ก่อสร้างอาจพบชั้นดินที่มีความโปร่งน้ำสูงแทรกอยู่ ทำให้มีปัญหาทั้งในระหว่างการก่อสร้างและการเก็บน้ำในบ่อขณะใช้งาน ดังตัวอย่างโครงการที่ ต.โคกสะอาด อ.เมือง จ.อุดรธานี จากการขุดหลุมสำรวจพบชั้นกรวด (GP) ถึงชั้นทรายหลวม (SM) ที่ระดับความลึก 3-4 เมตร จากระดับดินเดิม และมีน้ำไหลซึมเข้า

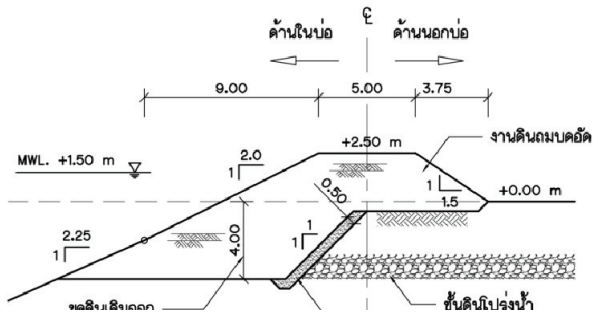
มาอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 14 ซึ่งน้ำดังกล่าวเป็นน้ำที่มาจากแหล่งน้ำภายในโครงการ ไม่ใช่ดินหรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องลดระดับดินถมบดอัดในส่วนหน้าให้ลงมาปิดกันชั้นกรวดดังกล่าว เพื่อลดปริมาณการไหลซึมของน้ำในบ่อออกสู่นอกบ่อ และมีชั้นทรายอยู่ระหว่างกลางเป็นวัสดุรองไม่ให้วัสดุถมถูกพัดพาออกไป (Internal Migration) ดังรูปที่ 15 ทั้งนี้แนวทางในการก่อสร้างจริงทำโดยขุดดินโดยรอบบ่อให้ต่ำกว่าระดับดินโปร่งน้ำร่วมกับการสูบน้ำออก แล้วใช้ดินถมบดอัดกลับทันทีเพื่อปิดกันการไหลซึมของน้ำจากภายนอกเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้าง จากนั้นจึงดำเนินการขุดดินภายในบ่อให้ได้ตามรูปแบบที่กำหนด ดังรูปที่ 16

6.2 การขุดเพื่อวางท่อผ่านบ่อ

ระบบการสูบน้ำเข้าและออกจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องมีระบบท่อวางผ่านคันดินถม ซึ่งตามขั้นตอนการก่อสร้างจริงจะบดอัดคันบ่อจนเสร็จก่อน แล้วจึงมาขุดเพื่อฝังท่อ ซึ่งการบดอัดในภายหลังโดยเครื่องจักรขนาดเล็กอาจมีผลให้เกิดการรั่วซึมระหว่างท่อกับดินถมกลับได้ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันการรั่วซึมในตำแหน่งดังกล่าวโดยใช้ทรายผสมเบนโทไนท์ (5-10% โดยน้ำหนัก) ร่วมกับแผ่น HDPE 2 แผ่น เพื่อเพิ่มระยะทางการไหลซึมของน้ำ ดังรูปที่ 17 และ 18 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์การไหลซึมพบว่าการใช้วิธีข้างต้นสามารถควบคุมระดับ Top flow line ให้อยู่ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ดินถมปกติ (ค่าปริมาณน้ำไหลซึมไม่แตกต่างกันมาก) ดังรูปที่ 19



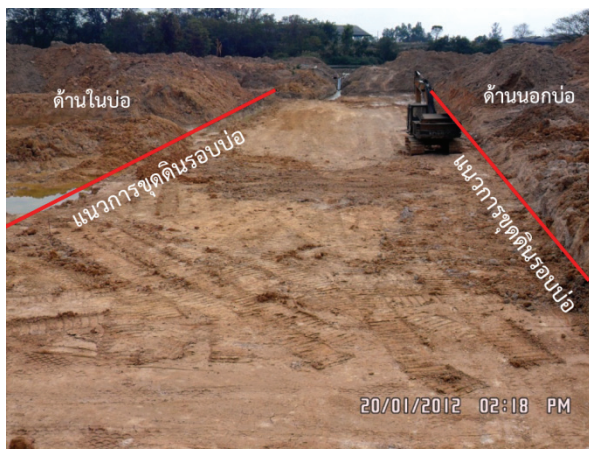
รูปที่ 14 ลักษณะชั้นดินเดิมที่มีความชื้นน้ำสูง



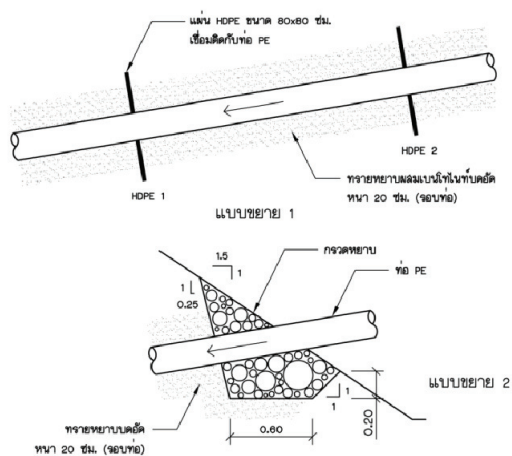
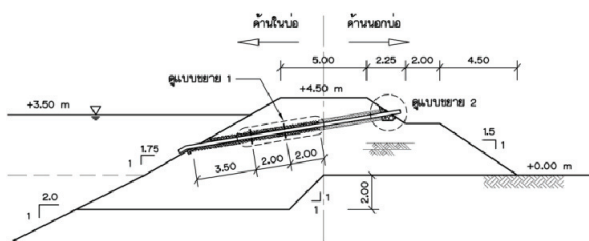
รูปที่ 15 แบบก่อสร้างเพื่อการแก้ปัญหาชั้นดินที่มีความชื้นน้ำสูง



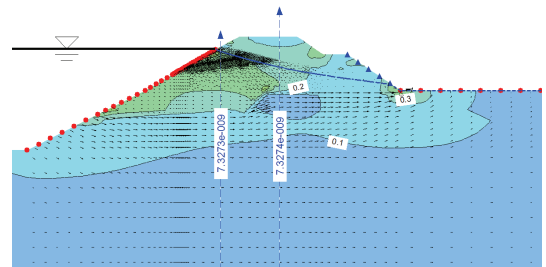
รูปที่ 18 ลักษณะท่อและแผ่น HDPE ที่ใช้ก่อสร้างจริง



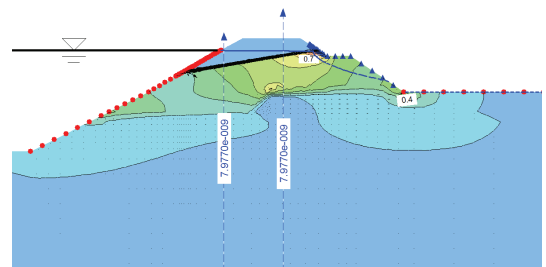
รูปที่ 16 แนวทางการก่อสร้างสำหรับชั้นดินที่มีความชื้นน้ำสูง



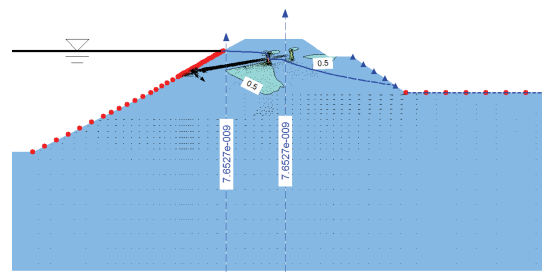
รูปที่ 17 วางท่อผ่านคันดินโดยใช้ทรายผสมเบนโทไนท์ร่วมกับแผ่น HDPE



(ก) คั้นดินถมปกติ



(ข) วางท่อผ่านคันดิน โดยไม่มีระบบป้องกัน
(เมื่อกำหนดให้การไหลซึมด้านข้างท่อมีค่า $k=1 \times 10^{-4}$ cm/s)

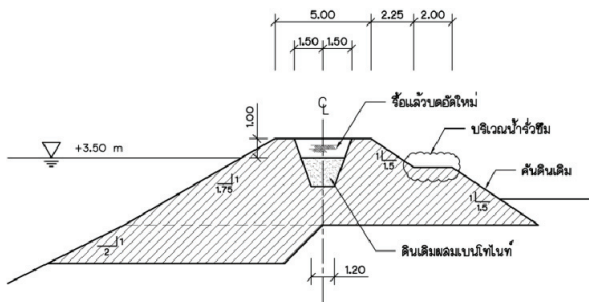


(ค) วางท่อผ่านคันดิน โดยใช้ทรายผสมเบนโทไนท์ร่วมกับแผ่น HDPE 2 แผ่น

รูปที่ 19 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การไหลซึมกรณีวางท่อผ่านบ่อ

6.3 การรั่วซึมของน้ำ

ตัวอย่างจากการก่อสร้างโครงการลาว-อินโดไชน่า สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในระยะเริ่มทำการเก็บน้ำจนถึงระดับสูงสุด พบว่ามีการรั่วซึมบริเวณขนาบ (Berm) ด้านนอกบ่อ ขนาดประมาณ 1x7 เมตร ซึ่งเกิดเพียงส่วนเดียวของบ่อ (บริเวณที่ไม่มีท่อ) ประกอบกับผลการตรวจวัดระดับน้ำใน Monitoring Well บริเวณใกล้เคียง แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำไม่ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถประเมินสาเหตุของการรั่วซึมได้ว่ามาจาก 2 สาเหตุ คือ วัสดุถมที่นำมาบดอัดมีความที่บ้นน้อยกว่าข้อกำหนด หรือการบดอัดบริเวณดังกล่าวไม่ได้ความหนาแน่นตามข้อกำหนด หรือทั้ง 2 สาเหตุ และสามารถประเมินได้ว่าการรั่วซึมดังกล่าวไม่มีผลต่อความมั่นคงโดยรวมของคันบ่อ แต่ควรดำเนินการซ่อมแซม เพื่อการใช้งานบ่ออย่างมีประสิทธิภาพโดยรื้อคันดินบริเวณกลางบ่อที่มีน้ำรั่วซึมออกให้ต่ำกว่าระดับที่มีน้ำรั่วซึม แล้วทำการบดอัดกลับใหม่ โดยใช้ดินเหนียวหรือดินเดิมผสมเบนโทไนท์ ดังรูปที่ 20 ทั้งนี้ขั้นตอนการซ่อมแซมดังกล่าวสามารถทำได้โดยไม่ต้องลดระดับน้ำเก็บกัก แต่ต้องดำเนินการโดยเร็ว



รูปที่ 20 แนวทางการซ่อมแซม

7. สรุป

การสำรวจชั้นดินเพื่อการออกแบบความมั่นคงของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพควรมีการขุดหลุมสำรวจ (Test Pit) และเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาใช้จำแนกดิน ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน คุณสมบัติด้านกำลัง การทดสอบบดอัด ความชื้นน้ำ และการกระจายตัวของดิน เพื่อนำผลไปใช้ออกแบบ และวางแผนก่อสร้างที่ถูกต้อง รวมทั้งเตรียมการหาแหล่งวัสดุที่เหมาะสม

ประเด็นสำคัญในการออกแบบประกอบด้วย การวิเคราะห์ความมั่นคงของบ่อโดยใช้ทฤษฎี Limit Equilibrium ในกรณีระหว่างก่อสร้าง การใช้งานปกติ และกรณีน้ำล้นระดับอย่างรวดเร็ว และการวิเคราะห์ความชื้นน้ำโดยหลักการ Finite Element แล้วตรวจสอบปริมาณน้ำไหลซึมผ่านคันดิน และค่า Hydraulic Gradient บริเวณปลายลาดดินถม รวมถึงการวิเคราะห์ในกรณีอื่นๆ เช่น กรณีชั้นดินเดิมที่มีความชื้นน้ำสูง และการขุดเพื่อวางท่อผ่านบ่อ เป็นต้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ไทย ไปโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี จำกัด (TBEC) สำหรับข้อมูลการก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย

- โครงการบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ลาว-อินโดไชน่า บ้านนาซอน ต.ปากงึม นครหลวงเวียงจันทน์ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
- โครงการบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ต.นาตาล อ.ท่าคันโท จ.กาฬสินธุ์
- โครงการบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ต.โคกสะอาด อ.เมือง จ.อุดรธานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Federal Geodetic Control Committee, Standards and Specifications for Geodetic Control Networks: Silver Spring, Maryland, National Geodetic Survey, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1984.
- [2] วรากร และนงลักษณ์, คุณสมบัติดินทางวิศวกรรมเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำก้อ ต.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [3] วรากร และบรรพต, การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.