GERD JOURNAL

VOL.8 (Between 2021 and 2022)

GEOTECHNICAL ENGINEERING

- ความอันตรายของการประกาศปิด Site งานก่อสร้างในโครงการที่มีงานขุดลึกในกรุงเทพฯ
- กรุงเทพฯ ไม่ทรุด ยืนยันอีกครั้งหนึ่งจากนักวิศวกรรมปฐพี
- งานออกแบบโครงสร้างป้องกันตลิ่งโดยการใช้เสาเข็มสั้นสลับแถว สวนหลวง ร.9
- การใช้เครื่องมือวัดพฤติกรรมเพื่อนให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- การประยุกต์ใช้การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในงานสำรวจดินถล่มพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

รู้จักโรงไฟฟ้าพลังน้ำไซยะบุรี

ผู้ผลิตไฟฟ้าสะอาดจากโรงไฟฟ้า Run-of-River ที่อาศัยอัตราการไหลของน้ำตามธรรมชาติในลุ่มน้ำโขง

เมื่อพูดถึงโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ภาพจำคือเขื่อนกักเก็บขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ แต่ในขณะเดียวกันมีโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำอาศัยการยกระดับน้ำในลำน้ำให้สูงขึ้นเท่าที่เคยเกิดขึ้นในฤดูน้ำหลากเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ระดับความสูงของน้ำจะถูกรักษาให้คงที่โดยการบริหารปล่อยให้น้ำไหลผ่านโรงไฟฟ้าออกไปด้านท้ายน้ำเท่ากับน้ำที่ไหลเข้ามาทางด้านเหนือน้ำของโรงไฟฟ้า เรียกว่า **โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบน้ำไหลผ่าน หรือ Run-of-River** ตัวอย่างการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบน้ำไหลผ่านในต่างประเทศ ได้แก่ การพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำบนลุ่มน้ำโรน ประเทศฝรั่งเศสและการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำในแม่น้ำดานูบสายหลักในประเทศออสเตรีย ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบน้ำไหลผ่านมากมายเช่นกัน แต่หากพูดถึงโรงไฟฟ้า Run-of-River แห่งแรกบนลุ่มน้ำโขงตอนล่าง ใน สปป.ลาว ที่ก่อสร้างโดยบริษัทสัญชาติไทย ต้องพูดถึง “โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี” โดยมีบริษัทผู้พัฒนา คือบริษัท ซีเค พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) หรือ CKPower ที่ลงทุนด้านพลังงานสะอาด ให้ความสำคัญกับการดูแลสังคม เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความยั่งยืน ภายใต้เทคโนโลยีพลังงานนำสมัยและวิศวกรรมศาสตร์ทุกแขนง

“The Design of Xayaburi Hydroelectric Power Plant : “Transparent Power Plant Concept”

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี ตั้งอยู่ที่แขวงไซยะบุรี อยู่ห่างจากนครหลวงพระบางไปทางทิศใต้ ประมาณ 80 กิโลเมตร (อยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศไทย ติดกับจังหวัดน่าน อุตรดิตถ์และจังหวัดเลย) มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1,285 เมกะวัตต์ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 7,600 ล้านหน่วยต่อปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตไฟฟ้าสะอาด เสริมสร้างเสถียรภาพและความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทยและสปป.ลาว

หลักการออกแบบ ทางวิศวกรรมออกแบบมาเสมือนไม่มีสิ่งกีดขวางในลำน้ำตามหลัก “Transparent Power Plant Concept” แนวคิดในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ “โปร่งใส” เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งการอำนวยความสะดวกในการสัญจรทางน้ำ การระบายตะกอนตามธรรมชาติ และ การอพยพของปลา เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องตาม Preliminary Design Guidance for Proposed Mainstream Dams in the Lower Mekong Basin (PDG 2009) ของคณะกรรมาธิการแม่น้ำโขง (MRC: Mekong River Commission) ในรูปแบบ Run-of-River หรือโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบน้ำไหลผ่าน ปราศจากอ่างเก็บน้ำเหนือโรงไฟฟ้า และไม่มีการกักเก็บน้ำ มีการบริหารจัดการน้ำโดยการปล่อยน้ำผ่านโรงไฟฟ้าตามปริมาณน้ำจริงที่ไหลเข้าโรงไฟฟ้าตามธรรมชาติออกสู่ท้ายน้ำ กล่าวคือ มีการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำที่มาจากด้านเหนือโรงไฟฟ้าและวางแผนการผลิตไฟฟ้าให้น้ำไหลผ่านโรงไฟฟ้าออกสู่ท้ายน้ำในอัตราเท่ากันเสมอ

ต้นแบบโรงไฟฟ้ารักษ์ปลา

จากการศึกษาพฤติกรรมปลาแม่น้ำโขงอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การพัฒนาและผสมผสานระบบทางปลาผ่านที่ทันสมัยและก้าวหน้าที่สุดจากทุกมุมโลกมาใช้ร่วมกันแบบ Multi-System Fish Passing Facilities เพื่อให้ระบบครอบคลุมความหลากหลายของพันธุ์ปลา มีช่องทางให้ปลาว่ายผ่านได้ตลอดทั้งโครงสร้างโรงไฟฟ้า ทั้งในส่วนการอพยพตามกระแสน้ำและปลาอพยพทวนกระแสน้ำ นอกจากนี้ยังเลือกใช้กังหันน้ำที่เป็นมิตรกับปลา หรือ Fish Friendly Turbine ซึ่งเป็นกังหันแกนตั้งที่มีรอบการหมุนต่ำ มีจำนวนใบพัดน้อยเพื่อให้ปลามีอัตราการรอดชีวิตสูง

ประตูระบายน้ำและระบายตะกอน หัวใจสำคัญของ Run-of-River

ความพิเศษของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี ที่มีโครงสร้างยาว 820 เมตร คือ มีส่วนของโรงไฟฟ้าเพียงครึ่งเดียว โดยอีกครึ่งหนึ่งนั้นเป็นโครงสร้างของประตูระบายน้ำที่เรียกว่า Spillway จำนวน 11 บาน ที่มีความสามารถทั้งในการบริหารจัดการระบายน้ำ เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าให้เท่ากับมวลน้ำที่ผ่านไปสู่ท้ายน้ำ ยังทำหน้าที่เป็นประตูระบายตะกอนขนาดเล็กและตะกอนขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับโรงไฟฟ้าที่ไม่มีอ่างเก็บกักน้ำ

มาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดของโครงสร้างโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี ออกแบบก่อสร้างตามมาตรฐานความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวระดับสูงสุด ที่กำหนดโดยคณะกรรมการเขื่อนใหญ่โลก (International Commission on Large Dam: ICOLD) และสามารถรองรับน้ำหลากสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในรอบมากกว่า 10,000 ปี

“Navigation Lock” ทางสัญจรเรือทันสมัย ใส่ใจวิถีดั้งเดิม

โครงสร้างของโรงไฟฟ้ายกระดับน้ำให้สูงขึ้นและคงที่ทุกฤดูทำให้การสัญจรทางเรือ จากหลวงพระบางกับไซยะบุรี มีความสะดวกตลอดปีแม้ว่าจะเป็นเรือขนส่งที่มีขนาดใหญ่ โดยโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี ถูกออกแบบให้มีช่องทางเดินเรือขนาดใหญ่สุดที่รองรับได้ตามข้อกำหนด คือ เรือขนส่งสินค้า ขนาดพ่วงตอนละ 500 ตัน ได้พร้อมกัน 2 ตอน (2x500 ton convoys) ในเวลาเดียวกัน ปัจจุบันมีเรือขนส่งสินค้าและเรือท่องเที่ยวที่สัญจรผ่านเส้นทางโรงไฟฟ้าทุกวัน ไม่ต่ำกว่าสัปดาห์ละ 7 ครั้ง มีรถแทรกเตอร์แอนด์เทรลเลอร์ (Tractor and Trailer) สำหรับลากจูงเรือขนาดเล็กของชาวบ้านในพื้นที่ให้แล่นผ่านบริเวณโรงไฟฟ้าได้อย่างสะดวกและปลอดภัย

งานพัฒนาฟื้นฟูคุณภาพชีวิตประชาชนบริเวณรอบโรงไฟฟ้า ยกระดับความเป็นอยู่ให้ดีขึ้นอย่างยั่งยืน

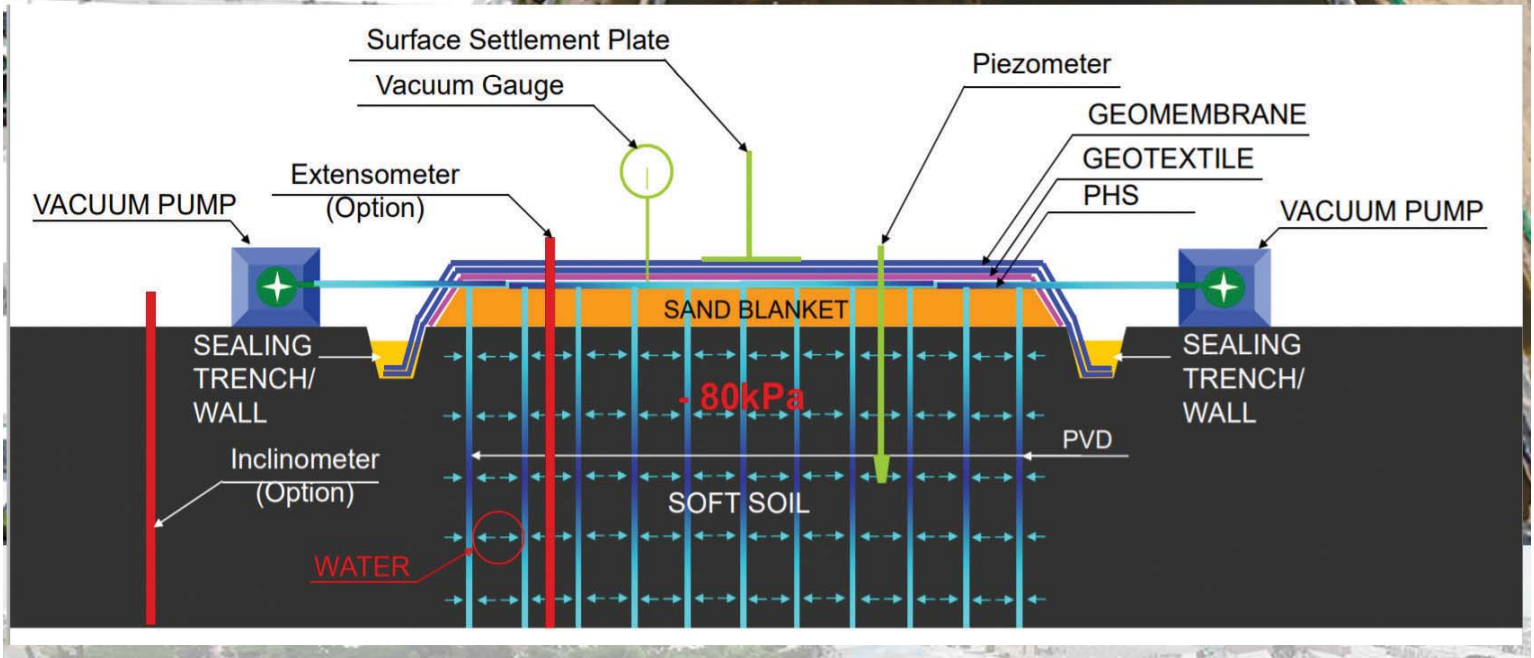
โรงไฟฟ้ามีการสำรวจศึกษาเชิงลึกในพื้นที่ และประชุมหารือกับประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากการพัฒนาโรงไฟฟ้า ร่วมกับผู้แทนทุกระดับของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง มีการก่อสร้างที่อยู่อาศัยใหม่ จัดสรรพื้นที่ทำกิน และจัดสร้างสาธารณูปโภคที่มีมาตรฐานถูกสุขลักษณะ รวมทั้งมีการฝึกอาชีพให้ชุมชนสอดคล้องนโยบายของ สปป.ลาว ที่จะยกระดับประเทศให้เป็นประเทศกำลังพัฒนานำพาประชาชนพ้นจากความยากจน โดยมีเป้าหมายรายได้ครัวเรือนต่อปีของประชากรไม่น้อยกว่า 15 ล้านกีบ ซึ่งปัจจุบันจำนวนครัวเรือนที่มีรายได้ตามเป้าหมายแล้วมากกว่าร้อยละ 98.7

> **“โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไซยะบุรี เป็นผลงานความสำเร็จของการนำเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าควบคู่กับการดูแลสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างความยั่งยืนทางพลังงาน โดยนับว่าเป็นต้นแบบด้านวิศวกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนแห่งแรกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้”**

GEOHARBOUR CONSTRUCTION CO., LTD.

Business Overview

Geoharbour Group is a global professional entity specializing in research, design, consultancy and informatization detection services in the field of coastal soft soil reclamation and harbor foundation construction. The group owns a series of patent technologies of high vacuum dynamic compaction and has completed more than 1,000 mega projects foundation construction. It is estimated that our services help saving billions of RMB and 10,000,000 tons of CO_2 emission in the past 10 years.



No.29 Bangkok Business Building Center, Unit No.1901, 19th Floor, Sukhumvit 63 Road, Klongton-Nuea, Wattana, Bangkok, Thailand 10110
Tel : (+66) 92 268 1228

บริษัท ภูบดีวิศวกรรม จำกัด

PHUBADEE ENGINEERING CO; LTD

222/62 หมู่ 11 ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี
จังหวัดสมุทรปราการ 10540
โทร.08-7071-3249 , 06-3647-1577
E-mail: pbn.sheetpile@hotmail.com
www.phubadee.com

ก่อตั้งเมื่อปี 2560 โดยทีมวิศวกรและผู้ควบคุมงานที่มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปี

เพื่อให้บริการออกแบบด้านงานวิศวกรรมป้องกันดินพัง ให้คำปรึกษาด้านวิศวกรรมป้องกันดินพังเต็มรูปแบบ ให้เช่าเครื่องจักร BACKHOE VIBRO ,SILENT PILLER ,EXCAVATOR ขาย ให้เช่า เข็มพืด (Sheetpile) ค้ำยัน (Bracing bolt & nut system) บริการขนส่งเครื่องจักร และวัสดุถึงหน่วยงาน

บริษัท ไทย ฟูลมอร์ จำกัด
THAI FULLMORE CO.,LTD.

Since 2012

Piler Stage

ขาย & ให้เช่า	Sale & Leasing
หล็กชีทไพล์	Steel Sheet Pile
เหล็ก เอช-บีม	King Post
ระบบบีมแดง	Steel Support Series
เหล็กแพล็ตฟอร์ม	Steel Deck
แผ่นเหล็กปูทาง	Steel Plate
ไซเลนท์ไพเลอร์	Silent Piler

-ศูนย์ซ่อมที่กำหนดไว้โดยกิเกน-

-GIKEN Designated Factory-

บริษัท ไทย ฟูลมอร์ จำกัด
THAI FULLMORE CO.,LTD.

02-376-9402-4, 089-184-4302

Sheet Pile Fullmore-thailand

www.Thaifullmore.com

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

WTC
Wattana Concrete

บริษัท วัฒนารุ่งเรืองการโยธา จำกัด

"Grow Together"

089-2567752,
063-516-5214

Line id:
wtc_concrete

"Quality Made Prestressed concrete pile"

- **เสาเข็มตัว I**
- **เสาเข็มตัว L**
- **เสาเข็มสี่เหลี่ยม**
- **บริการรับตอกเสาเข็ม**

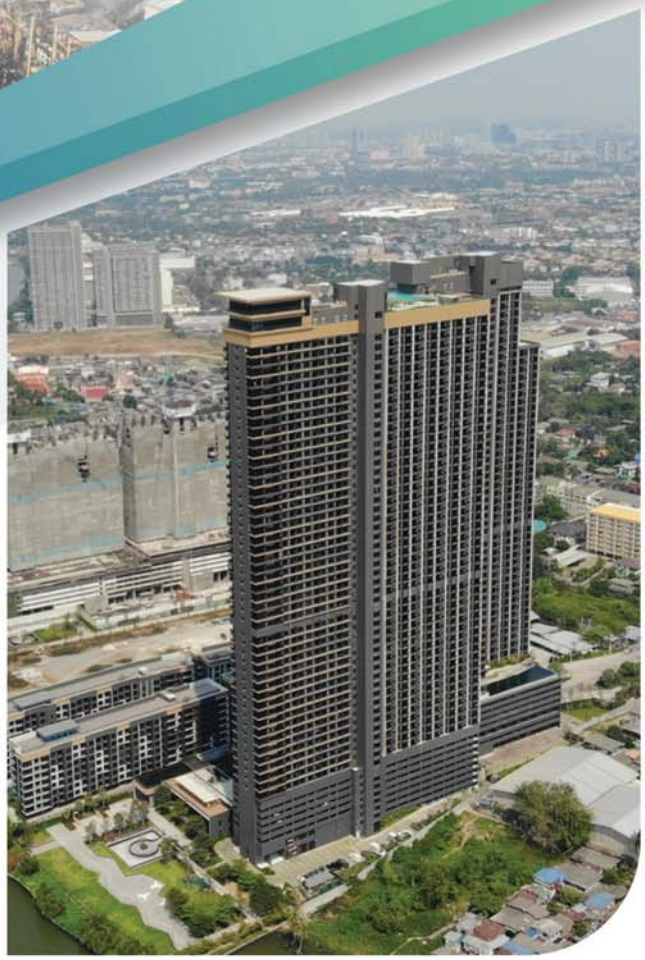
เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง คุณภาพสูง มาตรฐานสากล

มอก.396-2549

99/19 หมู่3 ต.พันท้ายนรสิงห์ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 | Tel. 063-516-5214, 089-2567752 info@wattanaconcrete.com

QUALITY SAFETY TIDY & CLEAN

ประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง งานโครงสร้าง,
สถาปัตยกรรม, M&E และงานโยธาทุกชนิด
ผลงานก่อสร้าง เช่น สำนักงาน, โรงพยาบาล,
คอนโดมิเนียม, โรงงาน, โชว์รูม, รีสอร์ท, ไซโล,
และงานโครงสร้างปิโตรเคมี เป็นต้น



บริษัท กรณิศ ก่อสร้าง จำกัด
KORANIT CONSTRUCTION CO., LTD.

18 ซอยรามคำแหง 60 แยก 6 (สวนสน 6) ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
18 Soi Ramkamhaeng 60 st.6 (Suenson 6), Ramkamhaeng Road, Huamark, Bangkapi, Bangkok 10240
Tel. 0-2735-1020 - 8 Fax. 0-2374-2251 E-mail: koranit@koranit.co.th http://www.koranit.co.th

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification
UKAS MANAGEMENT SYSTEMS
008

KENBER SUPPLIES (THAILAND) CO., LTD.
11/1 Muangsart Rd., Nong Hoy, A.Muang Chiangmai, Thailand 50000.
Tel. 053-015233 Fax. 053-015231 http://www.kenbersupplies.com

รถไฟฟ้า

บ้านสำเร็จรูป/แคัมป์คนงาน

ลวดหนาม (เดี่ยว&คู่)

SC-GEO™ Geo-clay Liner

SC-GEO™ Geosynthetics Demonstration

Geosynthetic Bentonite Liner (GBL)

▸ **Description**
Our GBL is a type of geocomposite that is frequently used in environment containment applications and is an alternative to a traditional compacted clay liner. GBL consists of two high strength geotextiles and sodium bentonite. Fibers of the two geotextiles are interlocked by needle-punching process. Geosynthetic Bentonite Sheet Liner
(GBSL) is a special GBL which covers one side of geotextile layers with High Density Polyethylene (HOPE) sheet. GBSL is desinged for projects that is required additional chemical resistance and in harsh environment.

▸ **Application** Flood control, Irrigation Waterproofing Dams Waste Management : Landfill Municipal Solid Waste Waste Water Containment Lagoon Liner Systems Cannal Liner Systems Tunnel

Welded Gabion

Wiremesh

STS Group

“เรื่องงานทดสอบ...ต้อง STS”

"THE LEADER
IN ENGINEERING SERVICE CONSULTANTS"

สามารถติดต่อสอบถามได้ที่
Line : @stsgroup หรือ สแกน QR CODE

| STS Group | STSGroupTH | **www.sts.co.th** |

196/8! Soi Pradipat 14, Pradipat Road , Phayathai , Phayathai, Bangkok 10400 T: 02.270.8899

PERFECT GROUP

บริหารจัดการ น้ำ อากาศ ของเสียครบวงจร

BUSINESS PERFORMANCE

บริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด เราคือผู้ประกอบการธุรกิจ ที่ปรึกษา วางแผน ออกแบบ ติดตั้ง ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดมลพิษ ทางอากาศ ระบบกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม ระบบบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมครบวงจร รวมทั้งจัดจำหน่ายนาโนเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เรามีบุคลากรสำหรับให้คำปรึกษาแนะนำ โดยคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าและความเหมาะสมทางด้านกฎหมาย เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

เราพร้อมที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมผู้ประกอบการในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

accounts@perfectconsultant.com
02-557-2164, 086-704-1133, Fax 02-557-2165
www.perfectconsultant.com
Perfect Group

สารหัวหน้า
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

ในสถานะการณ์ที่ไม่ปกติของโลกเนื่องจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 กิจกรรมการก่อสร้างต่างๆรวมถึงงานด้านวิศวกรรมปฐพี ล้วนชะลอลง อย่างไรก็ตามผมเชื่อว่าเหตุการณ์ดังกล่าวจะผ่านพ้นไปและเราก็จะอยู่ร่วมกับไวรัสชนิดนี้และอาจจะอีกหลายสายพันธุ์ที่เข้ามาได้ในอนาคต ทั้งนี้เนื่องจากบทพิสูจน์ในอดีตตั้งแต่การกำเนิดโลกที่ผ่านช่วงเวลาการสูญพันธุ์ของสัตว์ต่าง ๆ เช่น ไดโนเสาร์ ฯลฯ มาจนถึงยุคที่เกิดการแพร่ระบาดในสังคมมนุษย์ ชีวิตที่รอดมาได้นั้นล้วนเกิดจากการเรียนรู้และปรับตัว

ผมเชื่อว่าอีกไม่นานเราก็จะกลับมาใช้ชีวิตอย่างปกติ เพียงแค่ไม่เหมือนเดิม งานก่อสร้างด้านวิศวกรรมปฐพีที่หลายงานต้องอยู่ในที่อับอากาศก็ต้องมีวิถีในการป้องกันตัวทั้งแรงงานและวิศวกร มาตรการต่างๆในการตรวจคัดกรองและการฉีดวัคซีนสำหรับผู้ปฏิบัติงานคงจะมากันเรื่อยๆ ชีวิตคงจะไม่เหมือนเดิมอีกต่อไป แต่ชีวิตก็คงจะไปได้ตามวิถีของธรรมชาติ

GERD JOURNAL VOL. 8 เล่มนี้เป็นอีกหลักฐานหนึ่งการที่เราต้องยังคงก้าวเดินต่อไป งานวิจัยและพัฒนาไม่ได้หยุด และหยุดไม่ได้ ตราบใดที่เราจะเป็นส่วนหนึ่งในการนำประเทศให้รอดในวิกฤตินี้ไปข้างหน้า ไม่ใช่ด้วยใครแต่ด้วยพวกเราทุกๆคน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์)
หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรม
ปฐพีและฐานราก

บริษัท ซีที ซูเปอร์ จอยท์ จำกัด
CT SUPER JOINT CO., LTD.

ปรับปรุงรอยต่อโครงสร้างผิวจราจร และติดตั้ง Expansion Joint ทุกระบบในงานสะพาน และทางยกระดับ

ด้วยประสบการณ์ ของผู้ก่อตั้งบริษัทฯ ที่มีมากว่า 30 ปี เริ่มตั้งแต่ ปี 2532 เมื่อครั้งทำงานอยู่บริษัท ดิวิดัก (ไทยแลนด์) จำกัด ในโครงการสร้างทางยกระดับดอนเมืองโทลเวย์รวมกับการได้ร่วมงานกับ บริษัท ช.การช่าง และบริษัท Watson Bowman Acme Corp เมื่อปี 2535 ซึ่งที่นี่นับได้ว่าเป็นจุด เริ่มต้นของงานผู้รับเหมาติดตั้ง Strip Seal & Modular Expansion Joint Systems และได้ติดตั้ง ในระบบอื่น ๆ มาอย่างต่อเนื่อง จนได้พัฒนาก่อตั้งเป็นบริษัทที่ให้บริการด้านนี้อย่างครบวงจรในปี 2559

Service : Plug Joint, Compression Seal, Aluminum Strip Seal, Finger Joint, Teeth Joint, Elastomeric, Non – Shrink, Bearing Pad, Barrier, Noise Barrier, Retaining Wall & etc.

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

โทร 063-585-9951 (คุณปริญญา)
200/5 หมู่ 6 ซ.สุขี 1/6 ต.บางพูน อ.เมืองปทุมธานี
จ.ปทุมธานี 12000
Tel : 02-090-0556
Fax : 02-958-9212
E-mail : info@ctsuperjoint.com
Website : www.ctsuperjoint.com

Editor Talk
บทบรรณาธิการ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมปฐพี ซึ่งให้บริการทางวิชาการเกี่ยวกับการศึกษา วิจัย และให้คำแนะนำด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมปฐพีและธรณีเทคนิค นอกจากนี้ยังได้มีการประสานความร่วมมือกับหน่วยงานต่างๆ เพื่อค้นคว้า วิจัย สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงและเกิดประโยชน์สูงสุด

หนังสือ วิศวกรรมปฐพีและฐานราก GERD JOURNAL VOL. 8 จัดทำติดต่อกันมาเป็นปีที่ 8 โดยในเล่มนี้ได้เสนอบทความด้านวิศวกรรมปฐพี วิศวกรรมดินถล่ม วิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อน หนังสือเล่มนี้จะเป็นแหล่งรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์เหมาะแก่การค้นคว้าหาข้อมูลของผู้ประกอบการทั้งภาครัฐและเอกชนและผู้สนใจอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก และคณะผู้ประสานงาน สำนักพิมพ์ บริษัท เจอนัล รีเสิร์ช จำกัด ใคร่ขอขอบคุณทุกๆ หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ที่ได้ให้การสนับสนุนการจัดทำหนังสือ GERD JOURNAL VOL. 8 นี้สำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

คณะผู้จัดทำ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาคารบุญสม สุวชิรัตน์ (อาคาร 9) ชั้น 9 ห้อง 9903
50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์/โทรสาร: 02-579-2265
WWW.gerd.eng.ku.ac.th, E-mail: gerd@ku.ac.th

ที่ปรึกษา/บรรณาธิการบทความวิชาการ

รองศาสตราจารย์ ดร. สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

บรรณาธิการผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

วินัย พันธุ์วุฒิ

กองบรรณาธิการ

ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์
ทินวัฒน์ จิ๋วรักษา

ฝ่ายประสานงาน

ศิรดา ขำเขียว
พลอยจันทร์ อุดมผล
แพรวา ภัทรวิกุลเศรษฐ์

กราฟฟิคดีไซน์

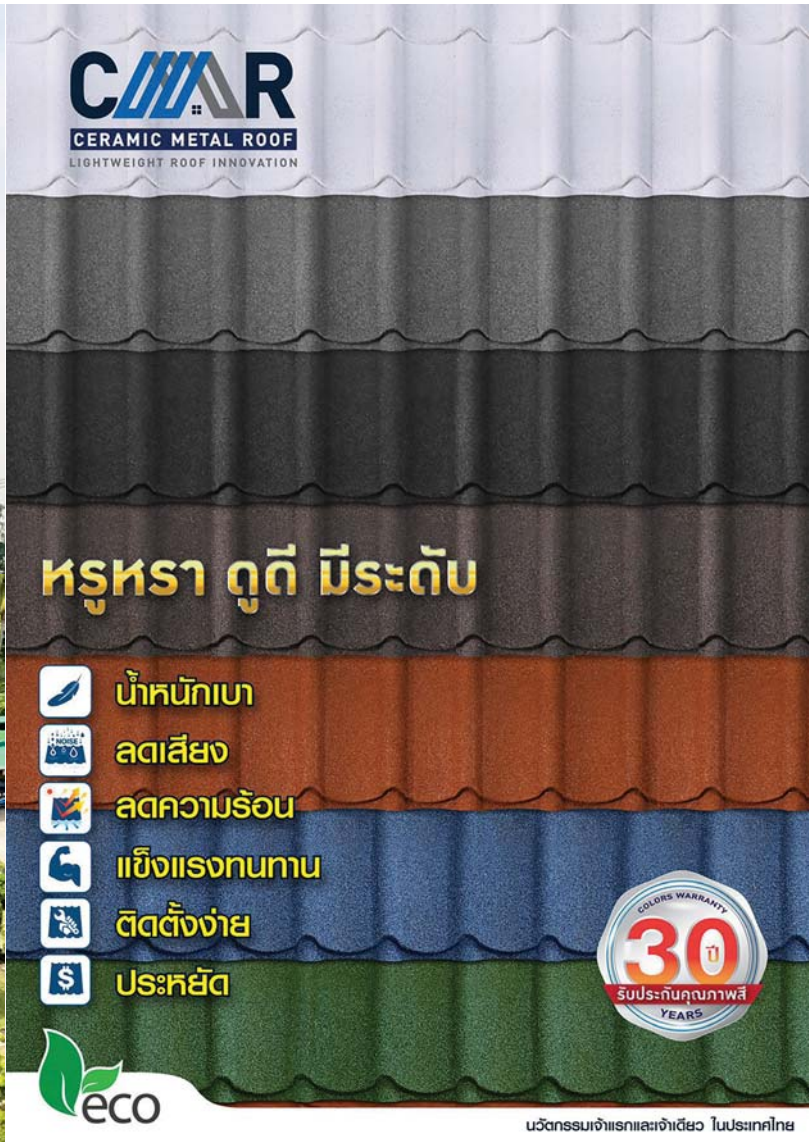
ทินวัฒน์ จิ๋วรักษา

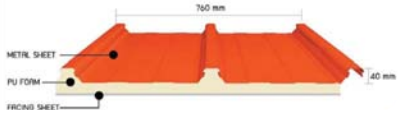
จัดพิมพ์และเผยแพร่โดย

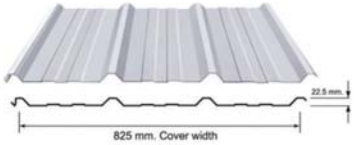
บริษัท เจอนัล รีเสิร์ช จำกัด / Journal Research Co.,Ltd.
99/91 หมู่ที่ 4 ต.บึงยี่โถ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
โทร. 0-2198-5591, 081-639-2084 แฟกซ์: 0-2198-5732 E-mail: jn.rsc14@gmail.com

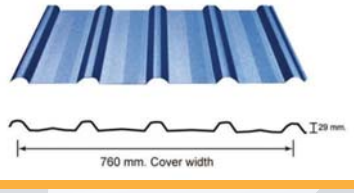
ก.กอบชัย - สรรไท

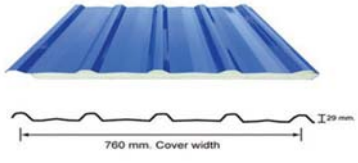
เป็นผู้แทนจำหน่ายสินค้าภายใต้เครื่องหมายการค้า บริษัท บลูสโคป(ประเทศไทย) จำกัด ผลิตด้วยระบบคุณภาพมาตรฐาน ISO 9001/2015 มอก.1128/2562 และได้รับการรับรองอุตสาหกรรมสีเขียว และเป็นตัวแทนจำหน่ายวัสดุและอุปกรณ์งานก่อสร้างทุกชนิด เช่น เหล็กก่อสร้าง เหล็กเส้น ท่อระบายน้ำ เสาเข็มคอนกรีต อิฐบล็อก กระเบื้องมุงหลังคา อิฐ หิน ปูน ทราย เครื่องมือช่าง อย่างครบวงจร ในจังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ยินดีบริการจัดส่งสินค้าถึงหน้าไซต์งาน โครงการ หน่วยงานที่มีการก่อสร้างใหม่ และยินดีรับบัตรเครดิตทุกธนาคาร











ห้างหุ้นส่วนจำกัด สรรไทสั่งตัด เพชรบุรี

437 หมู่ 7 ถนนเพชรเกษม ตำบลท่ายาง อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี 76130

โทร.0-3277-1333, 08-1648-6844, 08-6340-1454, 08-7665-4006, 08-8879-5604, 09-0630-1488

Line ID @kkob, E-mail: wiratline@hotmail.com, santhai.phetburi@hotmail.com

http://santaisangtad.yellopages.co.th, WWW.santhai-phetburi.com

สารบัญ / CONTENT

1 ประวัติ-ความเป็นมา-วิสัยทัศน์

4 ภารกิจ

5 บุคลากร

7 ความอันตรายของการประกาศปิด Site งานก่อสร้างในโครงการที่มีงานขุดระดับลึกในกรุงเทพฯ

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

14 ลมหายใจแห่งเมือง

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

16 ฝนตก-ลมแรง-ไฟดับ-น้ำท่วม

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

18 กรุงเทพฯ ทรุด

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

20 “กรุงเทพฯ ไม่ทรุด” ยืนยันอีกครั้งหนึ่งจากนักวิศวกรรมปฐพี

ศิริวรรณ สิทธิกา

การออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี

29 งานออกแบบโครงสร้างป้องกันตลิ่งโดยการใช้เสาเข็มสั้นสลับแถว สวนหลวง ร.9

มนพัทธ์ สาสิงห์, รัฐธรรม อิสโรพาร และ รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

37 Conceptual Design of Boeng Cheung Lake Dredging Project

Suttisak Soralump, Avishek Shrestha and Kobid Panthi

วิศวกรรมดินถล่ม

55 การประยุกต์ใช้การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในงานสำรวจดินถล่มพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

สิริศาสตร์ ยังแสนภู, ลักษมี ยังแสนภู, ศศิมา อยู่เจริญ, วรวัชร์ ตอวิวัฒน์ และ รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

67 การสำรวจความเสียหายและตัวอย่างการซ่อมแซมบ้านพักอาศัยในพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

ธีรไนย์ นุ้ยมาก, กรวินท์ อานุภาพภราดร, รัฐธรรม อิสโรพาร, วารุณี กะการดี, มนพัทธ์ สาสิงห์ และ รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

78 Identifying flash flood potential areas using morphometric characterization of watershed

Thapthai Chaithong

วิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อน

85 การใช้เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

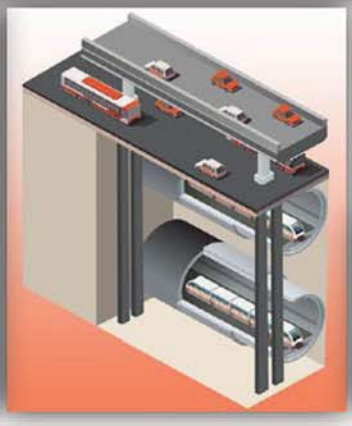
ชิโนรส ทองธรรมชาติ

95 Use of geosynthetic clay liner as a remedial measure of claystone degradation in Lam Ta Khong hydropower plant

Suttisak Soralump, Avishek Shrestha, Apiniti Jotisankasa, Chinoros Thongthamchart and Rattatam Isaroran

GFE
The Geotechnical Expert

บริษัท วิศวกรรมธรณีและฐานราก จำกัด
Geotechnical & Foundation Engineering Co., Ltd.



We are
"The Geotechnical Expert"

Our Service

- Geotechnical and Geological Investigations
- In-situ and Laboratory Testing
- Feasibility Study/ Tender Design/ Detailed Design
- Construction Supervision
- Geotechnical Instrumentation
- Research and Development
- Building Information Modeling (BIM)

Contact Us

151 Nuan Chan Road, Nuan Chan, Beung Kum, Bangkok, Thailand 10230

TEL: +662-363-7723
FAX: +662-363-7724

contact_gfe@gfe.co.th

GFE.Team

ประวัติ-ความเป็นมา-วิสัยทัศน์
ความเป็นมาและการดำเนินงาน

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ก่อตั้งโดย รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง โดยเริ่มจากการใช้ความเชี่ยวชาญของท่านนำไปพัฒนาวิชาการงานที่ปรึกษาให้กับกรมชลประทานภายใต้โครงการซ่อมแซมและปรับปรุงเขื่อนมูลบน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2535 และโครงการฐานข้อมูลเขื่อนเพื่อประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษาของสำนักงานชลประทานที่ 9 ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2539 เมื่อปี พ.ศ. 2541 สภามหาวิทยาลัยได้อนุมัติให้จัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2541 โดยทุกโครงการได้ดำเนินการในลักษณะหน่วยวิจัยโดยมีนิสิตระดับปริญญาโทและปริญญาเอก เข้ามาร่วมปฏิบัติงานในฐานะผู้ช่วยอาจารย์ที่รับผิดชอบงานหลักของโครงการ และขณะเดียวกันก็สามารถทำงานวิจัยเพื่อเป็นวิทยานิพนธ์ได้ด้วย

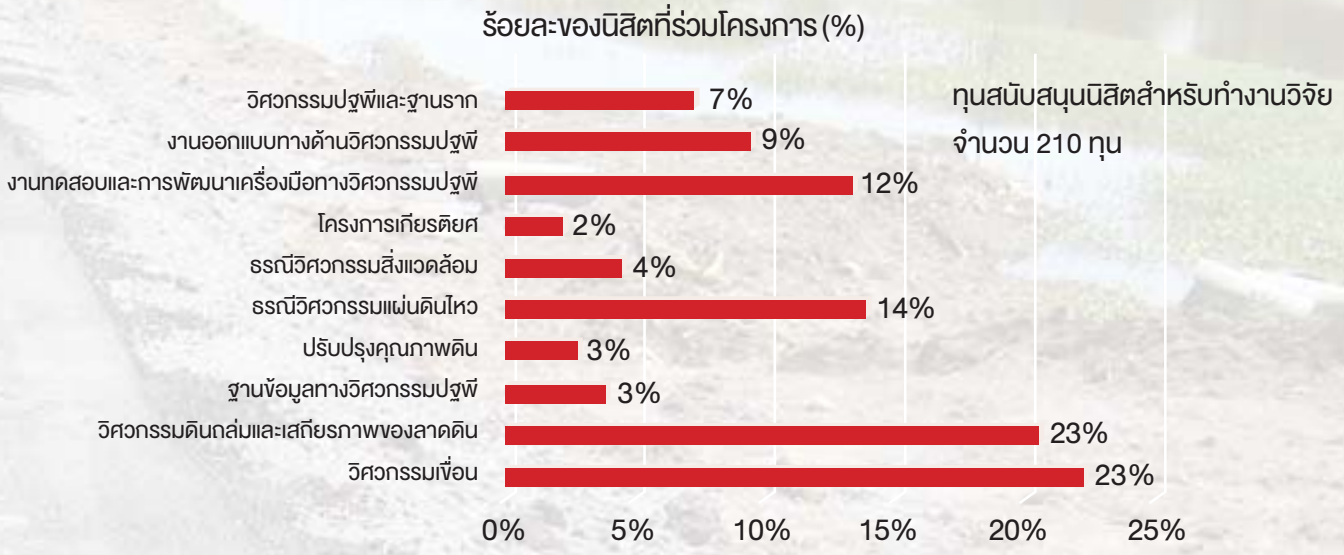
ภายหลังปี พ.ศ. 2547 รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ ได้เข้ามาพัฒนาศูนย์วิจัยฯ เนื่องจากมีแนวงานวิจัยและความเชี่ยวชาญที่ตรงกับท่านผู้ก่อตั้ง จากนั้นจึงได้ขยายการวิจัยและการรับให้คำปรึกษาในงานด้านวิศวกรรมปฐพีในหลายด้านมากขึ้น โดยดำเนินการในลักษณะศูนย์วิจัยฯ ที่เลี้ยงตนเองจากโครงการบริการวิชาการและโครงการวิจัย นอกจากนั้นยังได้ริเริ่มสร้างอาชีพนักวิจัยประจำในศูนย์วิจัยฯ เพื่อพัฒนางานวิจัยให้ต่อเนื่องและเพื่อเป็นพี่เลี้ยงให้กับนิสิตที่เริ่มทำงานวิจัย ทำให้สามารถสร้างองค์ความรู้ในงานวิจัยได้อย่างมั่นคงและสามารถให้ประโยชน์กับงานพัฒนาวิชาการที่ขยายตัวมากขึ้น จึงมีโอกาสทำงานวิจัยและพัฒนาให้กับหน่วยงานจากราชการ รัฐวิสาหกิจและเอกชน (ตามตารางที่ 1) การดำเนินงานกับหน่วยงานดังกล่าวดำเนินการในลักษณะการร่วมกันทำงานและเลือกทำงานที่สามารถต่อยอดองค์ความรู้เดิมได้ ทั้งนี้เพื่อรักษาความเป็นสถาบันการศึกษาที่ดี ตัวอย่างหน่วยงานที่ศูนย์วิจัยฯ ได้ให้การบริการวิชาการและวิจัย ได้แก่ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมพัฒนาพลังงาน

ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมทางหลวง กรมโยธาธิการและผังเมือง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การทางพิเศษแห่งประเทศไทย กรมเจ้าท่า การรถไฟแห่งประเทศไทย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) Asian Disaster Preparedness Center (ADPC) United Nations Development Programme (UNDP) บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) บริษัท ปตท.ส.ผ.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด สาขาเมืองย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์และ หน่วยงานเอกชนอื่นๆ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีสถาบันการศึกษาทั้งในและนอกประเทศที่มีการร่วมมือกันในการทำงานวิจัย เช่น จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี Asian Institute of Technology Tokyo Institute of Technology, Kyoto University, Yangon Technological University เป็นต้น

การดำเนินงานโครงการต่าง ๆ จะเน้นการพัฒนาวิชาชีพและวิชาการเพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติงานจริง โดยวางระบบการปฏิบัติทางวิชาชีพให้เป็นตัวอย่างที่ดีและให้ผลประโยชน์ของงานบริการวิชาการกลับมาเป็นงานวิจัยเพื่อจะพัฒนาองค์ความรู้เฉพาะด้านต่อไป งานที่เกี่ยวข้องและอยู่ในสายงานวิจัยประกอบด้วย งานฐานรากในชั้นดินอ่อน งานฐานรากอาคารขนาดใหญ่ในชั้นหิน งานขุดดินและถมดิน พฤติกรรมของกำแพงกันดิน งานวิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อน การประเมินพฤติกรรมและความปลอดภัยของเขื่อนจากแรงกระทำแผ่นดินไหว ธรณีวิศวกรรมแผ่นดินไหว งานเสถียรภาพของลาดดิน พฤติกรรมการพิบัติของตลิ่งแม่น้ำ การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดผลกระทบจากภัยดินถล่มและแผ่นดินไหว เป็นต้น จุดประสงค์สำคัญอีกประการหนึ่งของศูนย์วิจัยฯ คือการเป็นสถานที่ที่ให้โอกาสนิสิตในระดับต่างๆทั้ง ตรี โทและเอก ได้เข้ามาร่วมงานวิจัยเป็นการเปิดโลกทัศน์สำหรับนิสิต รวมทั้งยังสามารถให้โอกาสกับนิสิตที่มีความจำเป็นเรื่องค่าใช้จ่ายในการศึกษาอีกด้วย (รูปที่ 2) ดังจะเห็นได้จากผลการผลิตบทความทางวิชาการจากงานบริการวิชาการและงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 2 รวมถึงการมีส่วนร่วมในการผลิตบัณฑิตระดับบัณฑิตศึกษาสาขาวิศวกรรมปฐพี ภายใต้โครงการพัฒนาวิชาการของศูนย์วิจัยฯ จำนวนทั้งสิ้น 87 คน สำเร็จการศึกษาแล้ว 74 คน (ระดับปริญญาเอก 6 คน และระดับปริญญาโท 68 คน) และอยู่ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ 13 คน

ตารางที่ 1 ประเภทงานที่ดำเนินงานโดยศูนย์วิจัยฯ (พ.ศ. 2541-2561)

ลำดับที่	ประเภทงาน	โครงการพัฒนาวิชาการ	โครงการวิจัย	รวมทั้งสิ้น (โครงการ)
1	วิศวกรรมเขื่อน	29	22	51
2	วิศวกรรมปฐพีและฐานราก	10	5	15
3	งานออกแบบทางด้านวิศวกรรมปฐพี	9	15	24
4	วิศวกรรมดินถล่มและเสถียรภาพของลาดดิน	44	13	57
5	ธรณีวิศวกรรมแผ่นดินไหว	8	1	9
6	ธรณีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	6	3	9
7	ปรับปรุงคุณภาพดิน	3	4	6
8	ฐานข้อมูลทางวิศวกรรมปฐพี	2	2	4
9	งานทดสอบและการพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมปฐพี	9	3	11
10	งานอบรม-สัมมนา	12	0	12
11	โครงการเกียรติยศช่วยเหลือสังคม ศาสนา และสถาบันพระมหากษัตริย์	4	5	9
รวมโครงการทั้งสิ้น		137	75	212



รูปที่ 2 การกระจายของนิสิต ที่ช่วยงานในโครงการพัฒนาวิชาการ ดำเนินงานโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (พ.ศ. 2541-2563)

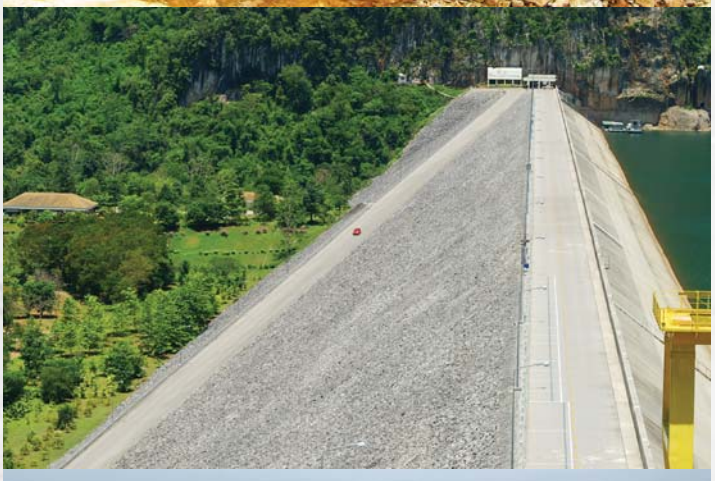
ตารางที่ 2 บทความตีพิมพ์ที่เป็นผลผลิตจากการดำเนินงานของศูนย์วิจัยฯ

ลำดับที่	ประเภทบทความ	จำนวนบทความ
1	วิศวกรรมเขื่อน	45
2	วิศวกรรมฐานรากและโครงสร้างดิน	17
3	วิศวกรรมดินถล่มและเสถียรภาพของลาดดิน	83
4	ธรณีวิศวกรรมแผ่นดินไหว	14
5	เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดิน	16
6	กลศาสตร์ของดิน	18
7	กลศาสตร์ของดินไม่อิ่มน้ำ	10
8	อื่นๆ	5
รวมจำนวนบทความที่ตีพิมพ์		208

ที่มา: www.gerd.eng.ku.ac.th

ตารางที่ 3 วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทและปริญญาเอกที่เป็นผลงานจากการให้นิสิตเข้าร่วมงานศึกษาและวิจัย

ลำดับที่	ประเภทบทความ	จำนวนวิทยานิพนธ์	
		กำลังดำเนินการ	สำเร็จการศึกษา
1.	วิศวกรรมเขื่อน	3	24
2.	วิศวกรรมดินถล่มและเสถียรภาพของลาดดิน	2	14
3.	ธรณีวิศวกรรมแผ่นดินไหว	-	4
4.	วิศวกรรมฐานราก	4	36
รวมจำนวนวิทยาพนธ์		9	78



ภารกิจ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มีลักษณะเป็น “ศูนย์วิจัยเชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะทางด้านวิศวกรรมปฐพี” ที่สามารถที่จะให้บริการเกี่ยวกับการศึกษา การวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษางานเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมปฐพีและธรณีเทคนิค เป็นการบริการแก่สังคมหรือหน่วยงานที่มีความต้องการ ทำให้เกิดบรรยากาศทางวิชาการต่างๆ นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ เพื่อสร้างงานวิจัยที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง ในขณะเดียวกันได้สร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการกับมหาวิทยาลัยทั้งใน และต่างประเทศ ทั้งนี้ผลประโยชน์ที่ศูนย์วิจัยฯ พึงได้ ได้นำกลับมาเป็นทุนเพื่อส่งเสริมการวิจัยและการศึกษาของนิสิต และเพื่อต่อยอดการวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรมปฐพี และฐานรากและสาขาที่เกี่ยวข้องต่อไป

ภารกิจหลัก ได้แก่

- ส่งเสริมพัฒนางานวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ความปลอดภัยเขื่อน วิศวกรรมดินถล่ม วิศวกรรมแผ่นดินไหว และธรณีภัยอื่นๆ
- ส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพด้านวิศวกรรมปฐพีที่เกี่ยวข้องกับงานต่างๆ
- สนับสนุนการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมปฐพีและสาขาที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ดำเนินงานโครงการในงานศึกษา วิจัย และออกแบบต่างๆ โดยแบ่งหน่วยวิจัยเป็น 4 หน่วยวิจัย คือ

- หน่วยวิจัยความปลอดภัยเขื่อน (Dam Safety Research Unit)
- หน่วยวิจัยดินถล่ม (Landslide Engineering Research Unit)
- หน่วยวิจัยเพื่อพัฒนาการออกแบบด้านวิศวกรรมปฐพี (Geotechnical Design and Development Research Unit)
- หน่วยวิจัยธรณีวิศวกรรมแผ่นดินไหว (Geotechnical Earthquake Engineering Research Unit)

บุคลากร

Research Team Leader

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์
Assoc.Prof.SuttisakSoralump
หัวหน้าทีมวิจัย (หัวหน้าศูนย์วิจัยฯ)
Email: soralump_s@yahoo.com

Honorable advisor

External Senior Researchers

นายชิโนรส ทองธรรมชาติ
หัวหน้าหน่วยวิจัย

Dam Safety Research Unit

- Head Research Unit (1)
- Geotechnical Researchers (2)
- Researcher(3)
- Programer (–)

Geotechnical Design and Development Research Unit

- HeadResearch Unit (1)
- Geotechnical Researchers (6)
- Researcher (4)

นายรัฐธรรม อิสโรผาร
หัวหน้าหน่วยวิจัย

นายสิริศาสตร์ ยังแสนภู
หัวหน้าฝ่าย

Geology Section

- Geologist (1)
- GIS (1)

Landslide Engineering Research Unit

- HeadResearch Unit (1)
- GIS (1)
- Researcher (2)

นายวรวัชร์ ตอวิวัฒน์
หัวหน้าหน่วยวิจัย

นายสิริศาสตร์ ยังแสนภู

Research Strategies Unit

ดร.เทพไท ไชยทอง
หัวหน้าหน่วยวิจัย

Geotechnical Earthquake Engineering Research Unit

- Researcher(–)

Secretaries

- Financial (1)
- Administration (1)
- Research Assistant (2)

รูปที่ 3 โครงสร้างการดำเนินงาน GERD

ความอันตรายของการประกาศปิด Site งานก่อสร้างในโครงการที่มีงานขุดระดับลึกในกรุงเทพฯ

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

วันที่ 27-30 มิถุนายน 2564
https://www.facebook.com/suttisak.soralump

การประกาศปิด Site งานของศูนย์บริหารสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 กระทรวงมหาดไทย (ศบค.มท.) อย่างกระทันหัน อาจจะทำให้เกิดโศกนาฏกรรมขึ้นได้โดยไม่ตั้งใจ

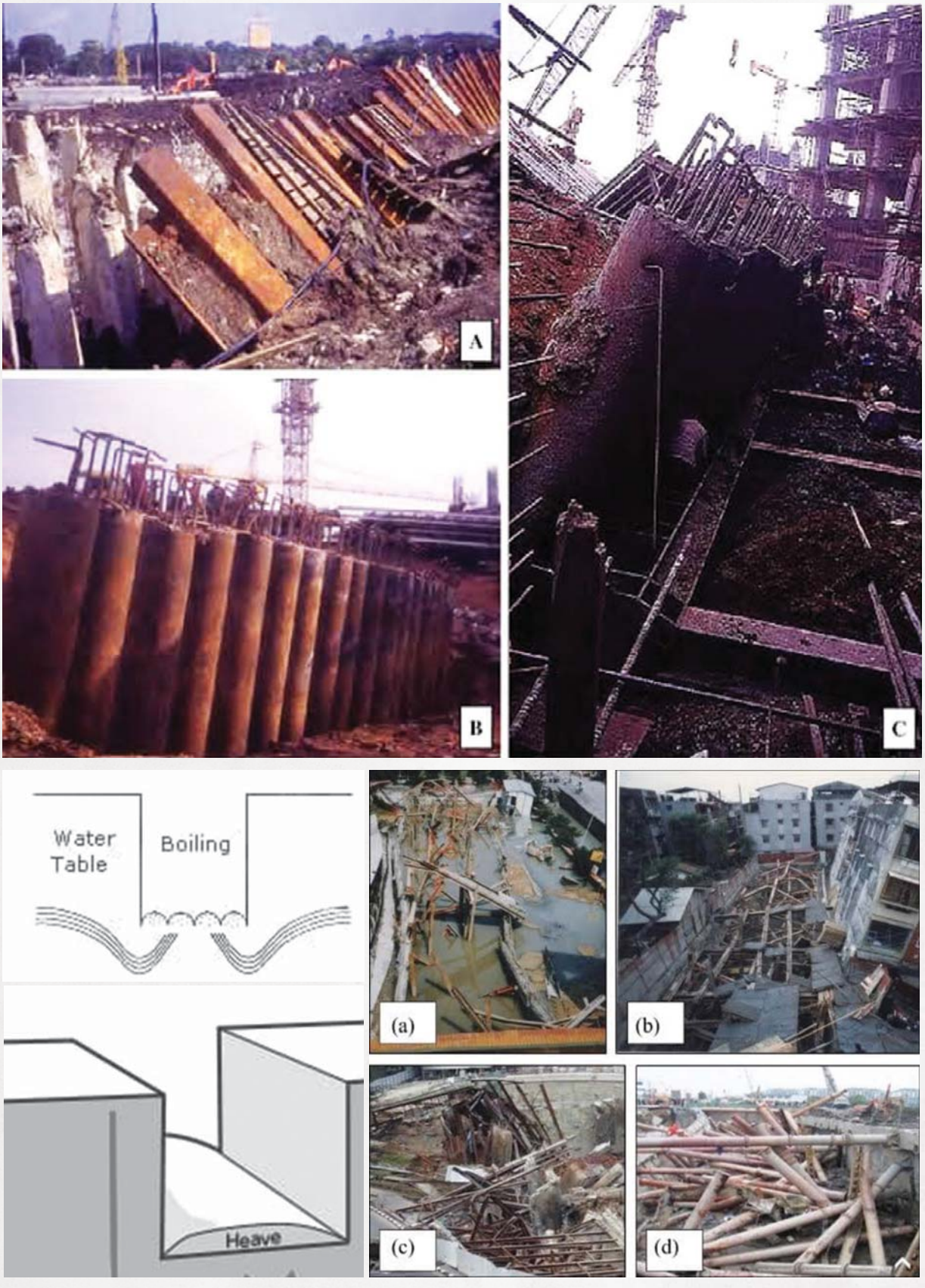
งานขุดระดับลึกในพื้นที่กรุงเทพฯ เป็นงานที่ยากและอันตรายระดับต้นๆ ในงานด้านโยธาในโลกนี้ เพราะพื้นดินกรุงเทพฯ เป็นดินอ่อน แถมปัจจุบันตั้งแต่เราหยุดใช้น้ำบาดาล น้ำใต้ดินใน กทม. ก็ยกระดับสูงขึ้นมาก การขุดระดับลึก คือลึกลงไปตั้งแต่ 5 เมตร จนบางทีถึง 30 เมตร จึงต้องการการควบคุมน้ำใต้ดินตลอดเวลา และต้องมีโครงสร้างกันดินทั้งชั่วคราวและถาวรที่แข็งแรง รวมถึงต้องทำการตรวจวัดการเคลื่อนตัว ฯลฯ เพื่อปรับมาตราการความปลอดภัยระหว่างก่อสร้าง

ความอันตรายที่สุดคือช่วงที่ขุดถึงระดับลึกสุด ที่แรงดันดินและแรงดันน้ำมหาศาลสามารถจะทะลุก้นบ่อขุดขึ้นมาแล้วทำลายทุกสิ่งอย่างจนค้ำยันต่างๆ พังลงแล้วทำให้บ่อขุดยุบพังส่งผลให้บ้านข้างเคียงได้รับผลกระทบ

ในสภาวะการก่อสร้างปกติ ความอันตรายดังกล่าวได้ถูกควบคุมด้วยวิศวกร ทำให้ปลอดภัย โดยการสูบน้ำใต้ดิน หรือการรีบเทคอนกรีตพื้นล่างสุดเมื่อขุดถึงระดับลึกสุด (base slab) และเราก็ไม่เคยได้ยินข่าวที่รุนแรงดังกล่าวใน กทม. มากนัก

แต่ในสถานะการณ์ที่งานขุดกำลังลงไปในระดับลึกและอันตราย แต่ Site ต้องถูกปิดอย่างกระทันหัน ทำให้ไม่มีใครที่จะทำการป้องกันอันตรายดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง site ที่กำลังขุดในระดับลึกสุดและยังไม่ได้เท base slab ประเด็นนี้อันตรายยิ่งนัก

ข้อเสนอ: อยากขอเสนอให้ ศบค. ออกประกาศเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหยุด site งาน ให้มีข้อยกเว้นด้านเวลาสำหรับ site ที่ต้องการเวลาในการจัดการด้านความปลอดภัยต่างๆ จริงๆ ไม่ใช่แค่งานขุดที่ผมว่า แต่เรื่องอื่นเช่นอัคคีภัย สารเคมี ฯลฯ โดยน่าจะมีช่วงเวลาหรือให้ทาง site ทำแผนด้านความปลอดภัยสาธารณะเผื่อให้เวลาเพิ่มเติมเพื่อจัดการเรื่องความปลอดภัยดังกล่าว ก่อนจะปิด Site ยาวๆ เพราะถ้าปล่อยให้เกิดเหตุขึ้น ใครจะรับผิดชอบ ถ้าไม่ใช่ผู้ประกอบการเอง



หมายเหตุ: รูปที่นำมาประกอบมาจาก web site เพื่อเป็นตัวอย่างประกอบ ไม่ได้เจาะจง site ที่ใดที่หนึ่ง

“หลุมยุบกลางถนน-สายไฟที่ยุ่งเหยิง-และคำสั่งการหยุดงานก่อสร้าง”

สามเรื่องนี้เกี่ยวเนื่องกัน ณ เวลานี้ “ความปลอดภัยสาธารณะ” คือสิ่งที่ต้องมาเป็นอันดับแรกในงานก่อสร้าง ในสถานการณ์นี้เรามีเรื่อง “ความปลอดภัยสาธารณะ” 2 เรื่องที่ต้องควบคุมไปพร้อมกับ

1. การควบคุมโควิด
2. การป้องกันไม่ให้การก่อสร้างที่ค้างอยู่พิบัติ และส่งผลต่อสาธารณะ

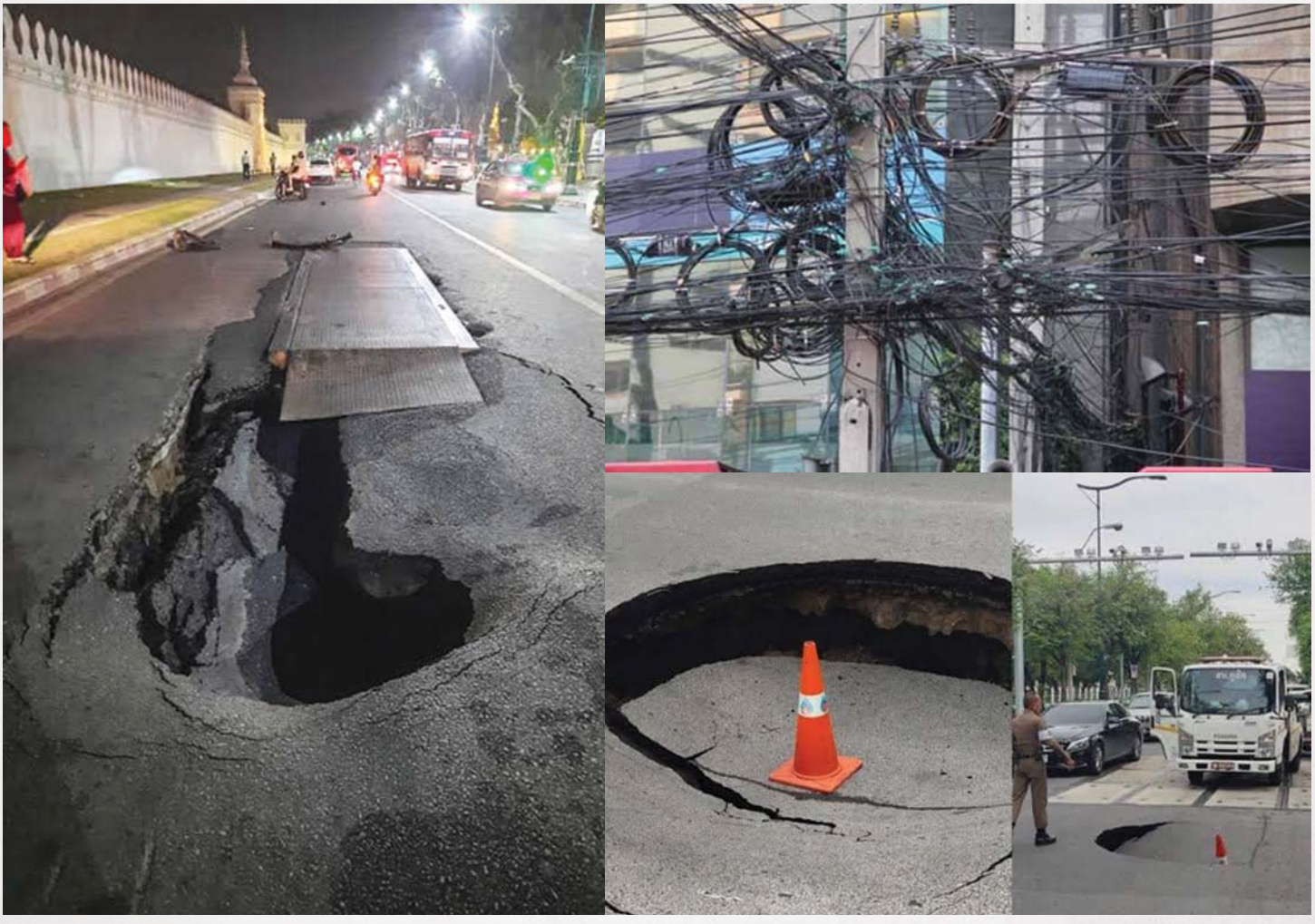
โครงการย้ายไฟฟ้าลงดิน เพื่อที่จะทำให้สายไฟที่รกรุงรังลงมาใต้ถนนได้ดำเนินการมาอย่างเงียบๆ ถนนบางสายสำเร็จไปแล้วในการดำเนินงาน ทาง กฟน. จะต้องไปขอเจ้าของพื้นที่ถนนเพื่อดำเนินงาน หลักๆ แล้วถนนใน กทม. ก็อยู่ในความดูแลของ กทม. และกรมทางหลวง เมื่อหยุดการก่อสร้างกระทันหันเพื่อควบคุม COVID บ่อก่อสร้างกลางถนนที่เปิดไว้ใต้ดินและใช้แผ่นคอนกรีตปิดไว้อาจจะเกิดอันตรายได้ดังรูป

นี่คืออีกหนึ่งของความปลอดภัยสาธารณะ จากการหยุดการก่อสร้าง ที่จะต้องอนุญาติผ่อนผันระยะเวลาเพื่อให้ไปจัดการส่วนที่อันตรายให้ปลอดภัย ก่อนจะหยุดงานยาวๆ

ปัญหาคือเมื่อคำสั่งออกมา ฝ่ายปฏิบัติที่เป็นผู้ควบคุม เช่น เจ้าหน้าที่ท้องถิ่น เจ้าของพื้นที่ ไม่สามารถที่จะตัดสินใจได้ว่ากิจกรรมก่อสร้างไหนที่อันตรายหากทิ้งไว้ ก็ต้องสั่งหยุดไว้ก่อน

หยุดความอันตรายหนึ่ง แต่ความอันตรายอีกประการหนึ่งอาจจะกำลังก่อตัว

หวังว่าข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์บ้างตามสมควร



หมายเหตุ: รูปประกอบมาจาก website รูปหลุมยุบกลางถนนเป็นรูปเหตุการณ์ในอดีต

ตัวอย่างของงานขุดที่หยุดการก่อสร้างฉับพลันแล้วอาจส่งผลต่อความปลอดภัย

รูปนี้ถ่ายวันนี้ช่วงบ่ายครับ จากหน้าต่างตึก office ผมจะเห็นว่าการก่อสร้างกำลังอยู่ระหว่างการขุดฐานราก โดยมีกำแพง Sheet pile รอบ กับ Strut หรือค้ำยันเพื่อยัน Sheet pile ไม่ให้เคลื่อนตัว วันนี้ Site ปิด มีการค้ำยัน Sheet pile เสร็จไปบางส่วน แต่จะเห็นว่ามีส่วนที่เตรียมตัวจะค้ำ แต่หยุดไป

นี่เป็นกรณีตัวอย่างแบบเบาๆ เพราะงานขุดไม่ลึกนักกับถ้า Sheet pile เคลื่อนก็คงจะไม่กระทบใครมากเพราะไม่มีอาคารอยู่ใกล้ๆ แต่ผลเสียของผู้ประกอบการเองคือ หาก Sheet pile เคลื่อน เสาเข็มที่ตอกไว้ในบ่อขุดอาจจะเคลื่อนและหัก กรณีนี้ก็ต้องมีคนเสียเงิน

ความอันตรายของการหยุดการทำงานขุดกระทันหัน--งานย้ายไฟฟ้าลงดิน

หลายท่านคงทราบดีถึงความรกรุงรังของสายไฟใน กทม. ในทุกค่ำคืน ยามที่ท่านพักผ่อน คนกลุ่มหนึ่งได้รับอนุญาติให้ทำงานบนผิวการจราจรตั้งแต่เวลาประมาณ 5 ทุ่ม และต้องคืนพื้นที่ในตอนตี 5 ของวันรุ่งขึ้น

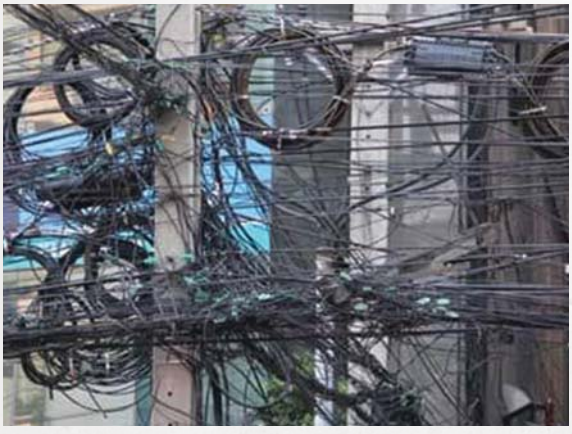
บ่อ Shaft สี่เหลี่ยม ระดับไม่ลึกนักสัก 5-6 เมตร ได้ถูกขุดกลางถนนเป็นช่วงๆ และระหว่างบ่อก็จะมีการดันท่อไม่ว่าจะใช้เทคนิค HDD หรือ Pipe jacking เพื่อเป็นท่อร้อยสายไฟ ในขณะที่บ่อ Shaft เป็นเหมือน Hub ที่รวมสายไฟจากซอยต่างๆเข้ามา สังเกตุง่ายๆคือตอนกลางวันที่เราขับรถไปบนถนนแล้วเหมือนมีบ่อที่มีแผ่นคอนกรีตปิดอยู่กลางถนน เรียบบ้าง กระเดิดบ้าง แต่มีอันต้องชะลอรถกันทุกคัน

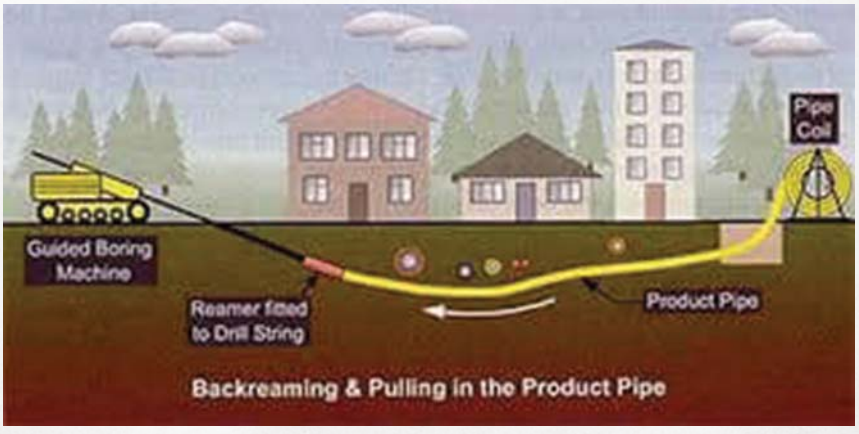
งานลักษณะนี้หากหยุดงานกระทันหันจะเป็นอย่างไร

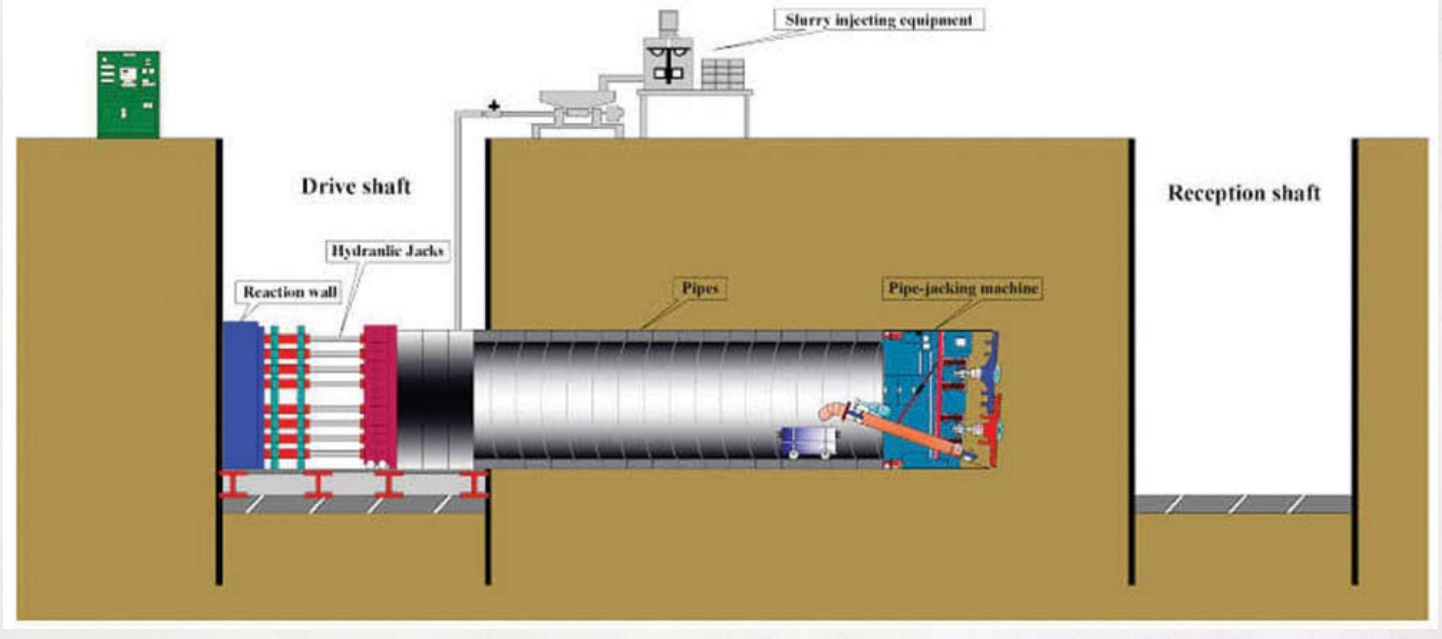
1. เกิดหลุมยุบกลางถนน: บ่อ Shaft คอนกรีตที่ยังไม่ได้ Sink ถึงระดับ หากปล่อยทิ้งไว้อาจจะทรุดเอียงไม่เท่ากัน หรือบางกรณีก็อาจจะเกิด over sink โดยไม่ได้มีโอกาสเข้าไปตรวจสอบและแก้ไข การ over sink หรือ sink เอียง อาจจะทำให้ดินข้างบ่อ ที่อยู่ใต้ถนนไหลเข้ามา ทำให้เกิดหลุมยุบกลางถนน เป็นอันตรายต่อการจราจร

2. แผ่นปิดบ่อทรุด เนื่องจาก Guild wall เอียง หรือทรุด: ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจจะเกิดในช่วงกลางวัน ซึ่งปกติถ้าทราบและติดตาม ช่วงการทำงานตอนกลางคืนก็จะแก้ไขทัน แต่ถ้าต้องหยุดงานผลเสียจะมาตกกับผู้ใช้ถนน

3. HDD หรือ Pipe jacking ที่ยังทำไม่เสร็จกระบวนการแต่ต้องมาหยุด อาจจะมีผลเสียต่อตัวเครื่องมือเอง และในกรณีของ HDD อาจจะทำให้แนวที่ ream ไว้ยุบตัว




Pipe Coil
Guided Boring Machine
Reamer fitted to Drill String
Product Pipe
Backreaming & Pulling in the Product Pipe


Slurry injecting equipment
Drive shaft
Reception shaft
Hydraulic Jacks
Reaction wall
Pipes
Pipe-jacking machine

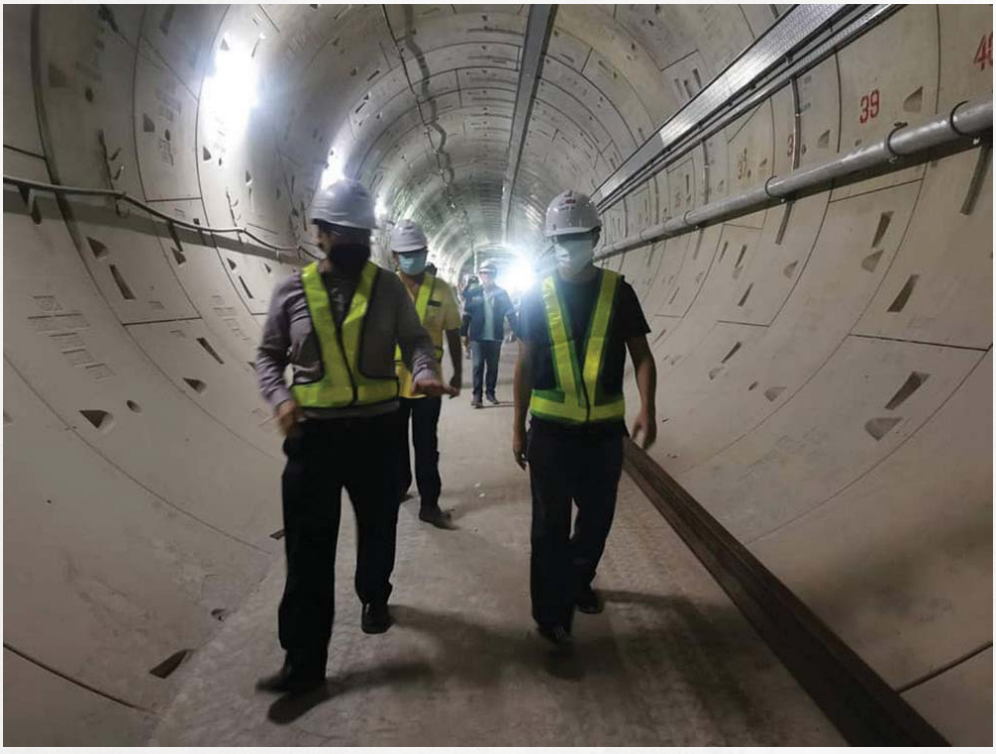
อีกกรณีหนึ่งคือ การก่อสร้างอุโมงค์ในพื้นที่ กทม. ซึ่งในปัจจุบันดำเนินการโดยวิศวกรไทย 100% บางอุโมงค์ลึกลงไปถึง 30 เมตร ปัญหาที่อาจจะเจอได้คือ

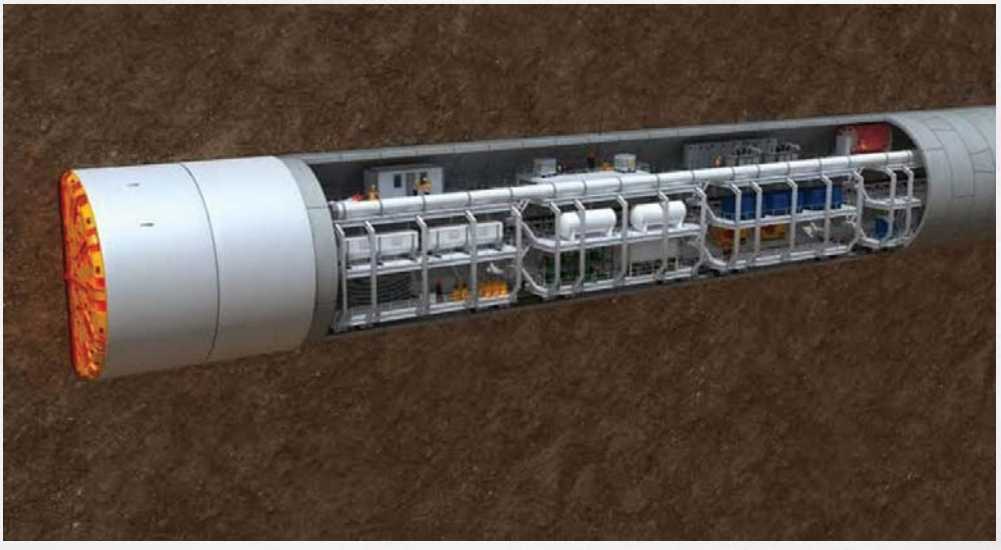
1. น้ำใต้ดิน จากชั้นทรายที่มีความแปรปรวน ซึ่งต้องมีการอัดฉีดน้ำปูนเพื่อป้องกันให้ทันเวลา เคยมีเหมือนกันที่มีเหตุน้ำทะลักเข้าอุโมงค์ขณะเจาะ ถ้าจิตไม่แข็งก็แย่

2. หัวจม เทคโนโลยีการเจาะอุโมงค์ในชั้นดินจะใช้หัวเจาะที่เรียกว่า TBM ซึ่งหากเจาะผ่านชั้นดินที่อ่อน หัวเจาะจะจม ดังนั้นเวลาเจาะจะต้องปรับองศาให้หัวเจาะเชิดขึ้นเล็กน้อย หรือหากทิ้งเวลาไว้ไม่เจาะต่อ หัวเจาะก็จะจม อาจจะกู้ขึ้นมายาก

3. Shaft, เราจะหย่อนหัวเจาะไปเจาะที่ระดับลึกได้ ก็ต้องมีปล่อง หรือที่เรียกว่า Shaft ซึ่งขณะขุด Shaft ลึก 30 เมตร ก็เป็นเรื่องที่ท้าทายมากๆ ทั้งแรงดันดินและน้ำที่กระทำต่อผนังและก้น Shaft ทำให้ต้องมีการตรวจวัดการเคลื่อนการขยับตัวอยู่ตลอด

4. ระบบระบายอากาศ และระบบความปลอดภัยอื่นๆ ต้องทำงานตลอดเวลา เพราะคือ Life line





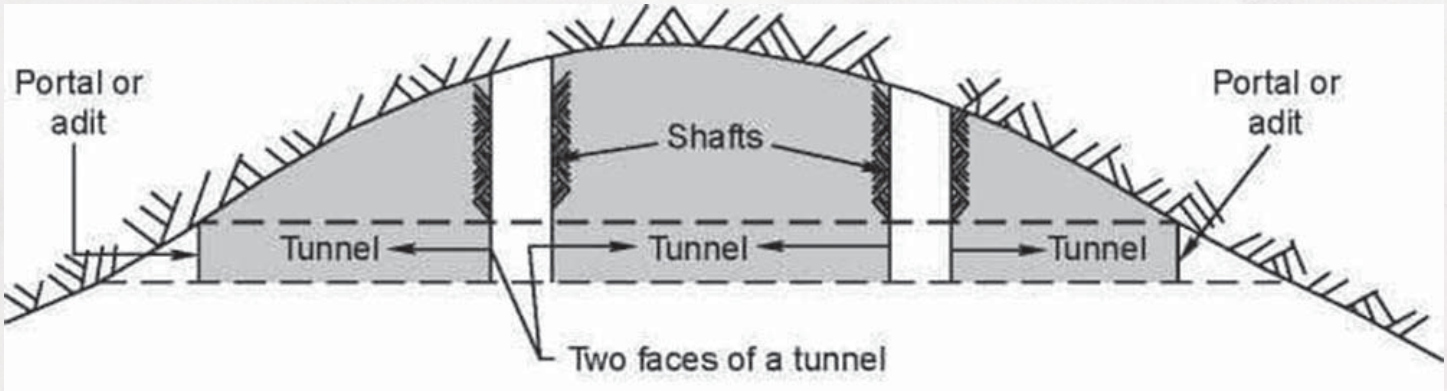


Fig. 30.11 Tunnel shafts

หมายเหตุ: รูปประกอบมาจาก website ต่างๆ ยกเว้นรูปแรก

ลมหายใจแห่งเมือง

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

ทำไมสายไฟเกะกะดูแล้วรกตาจัง!!
ทำไมต้องตัดต้นไม้ข้างถนนอย่างนั้น!!
ทำไมฝนตกแล้วไฟชอบดับ!!
ทำไมไฟดับแล้วน้ำถึงท่วม!!
ดูงานต่างประเทศกันเยอะแยะไม่เห็นทำอะไร!!
ทำไมไม่เอาสายไฟลงดิน!!!

After midnight ของทุกวัน ในขณะที่หลายคนหลับไหล แต่กลับเป็นช่วงเวลาทองของคนกลุ่มหนึ่งที่กระจายตัวทั่วกรุงเทพมหานครเพื่อทำงานใต้ดินกลางถนนลึกไปกว่า 4 เมตร พวกเขามีเวลาทำงานให้ก้าวหน้าแต่ละคืนเพียงแค่ 4 ชั่วโมง ก่อนที่จะต้องรีบเอาแผ่นคอนกรีตมาปิดบ่อ แล้วคืนพื้นผิวการจราจรให้คนกรุงเทพฯได้ใช้ทำมาหากิน

การนำสายไฟลงดินในพื้นที่ที่ดินอ่อนและมีความแปรปรวนสูง พื้นที่ที่การจราจรหนาแน่นต้องทำงานแข่งกับเวลา พื้นที่ในเมืองหลวงที่มีพื้นที่ให้แทรกบ่อเพื่อฝังท่อลงไปได้อย่างยากลำบาก ทั้งหมดคือความยากที่น้อยเมืองในโลกนี้จะมี เมื่อคืนผมลงไปในบ่อดังกล่าว ในฐานะ วิศวกรและนักวิจัย เพื่อหาวิธีในการแก้ไขปัญหาบางประการเพื่อให้การก่อสร้างมีประสิทธิภาพและส่งผลกระทบให้น้อย

ขณะนี้ทั่วทั้ง กทม. มีบ่อลักษณะนี้มากมายที่ใช้การ Sink บ่อ และดันท่อด้วยเทคนิคต่างๆ ทั้ง HDD หรือ Pipe jacking ลืม open cut ไปได้เลยเพราะทำยากในเมืองหลวง

ผู้บริหารมีหน้าที่หาเงินและตัดสินใจ วิศวกร ช่างเทคนิค และคนงาน คือผู้ที่ทำให้ฝันร้ายของชาว กทม.กลับมาเป็นฝันดี ผมลงไปนั่งดูคนงานทำงานใต้ดิน บางบ่อใช้การสื่อสารของทีมงานเป็นภาษาอีสานทำให้ผมไม่เข้าใจนัก แต่ทุกคนก็มุ่งมั่นทำงานให้สำเร็จ

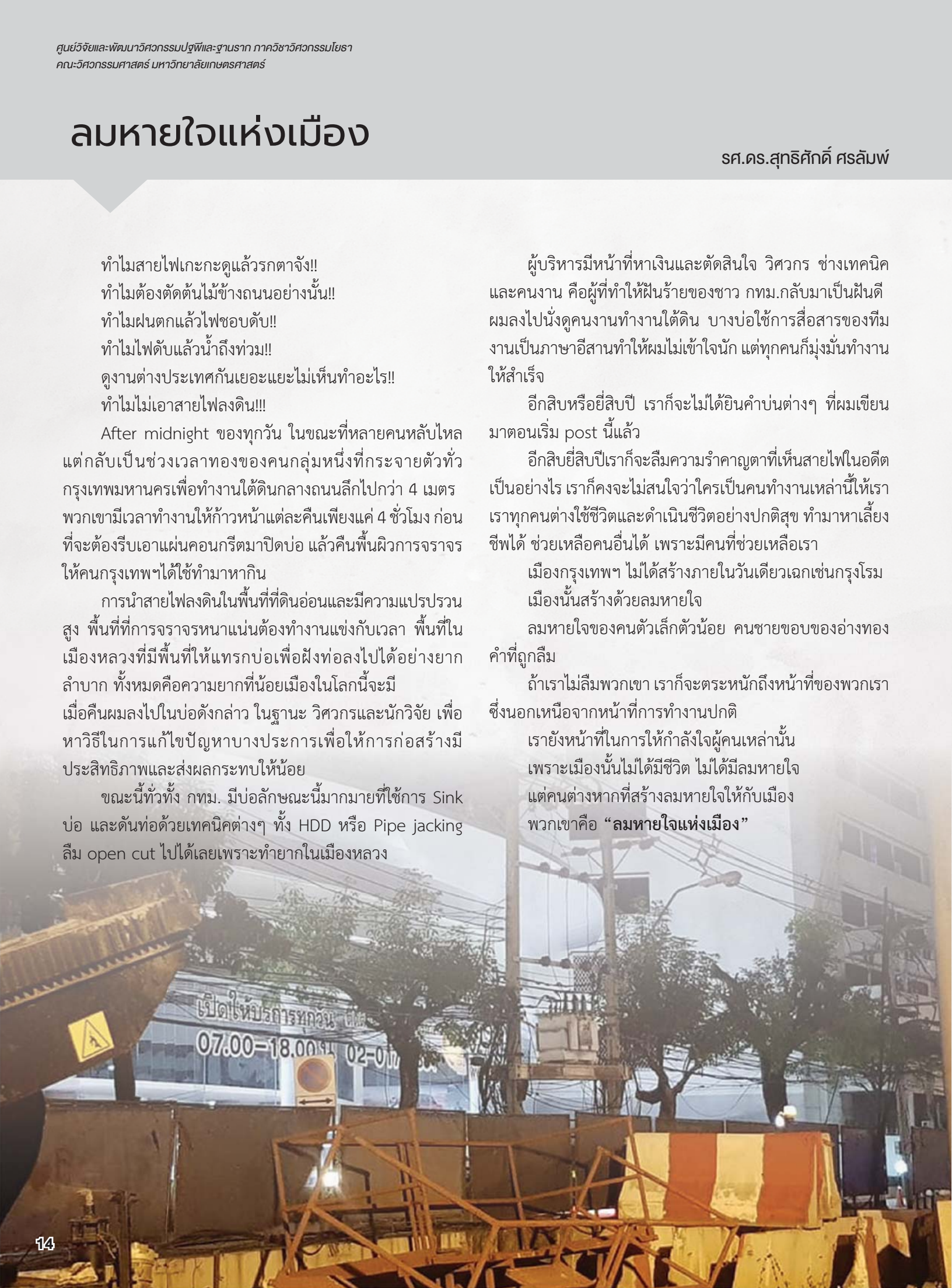
อีกสิบหรือยี่สิบปี เราก็จะไม่ได้ยินคำบ่นต่างๆ ที่ผมเขียนมาตอนเริ่ม post นี้แล้ว

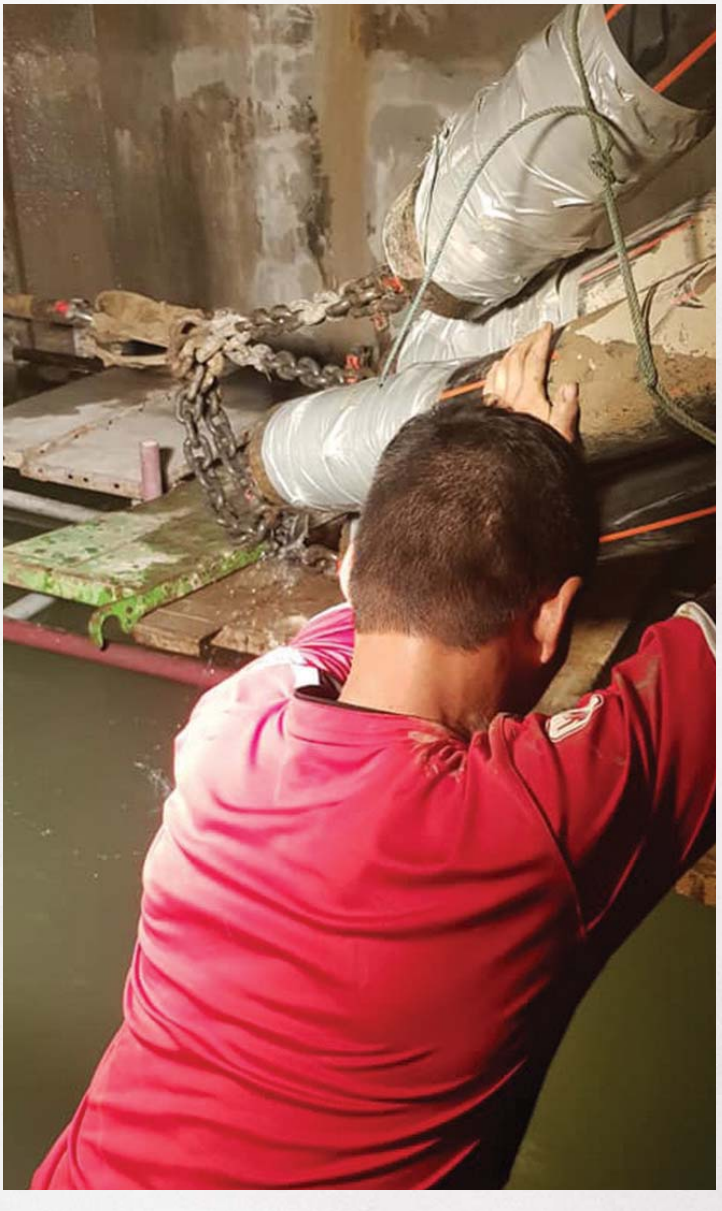
อีกสิบยี่สิบปีเราก็จะลืมความรำคาญตาที่เห็นสายไฟในอดีตเป็นอย่างไร เราก็คงจะไม่สนใจว่าใครเป็นคนทำงานเหล่านี้ให้เรา เราทุกคนต่างใช้ชีวิตและดำเนินชีวิตอย่างปกติสุข ทำมาหาเลี้ยงชีพได้ ช่วยเหลือคนอื่นได้ เพราะมีคนที่ช่วยเหลือเรา

เมืองกรุงเทพฯ ไม่ได้สร้างภายในวันเดียวเฉกเช่นกรุงโรม
เมืองนั้นสร้างด้วยลมหายใจ
ลมหายใจของคนตัวเล็กตัวน้อย คนชายขอบของอ่างทองคำที่ถูกลืม

ถ้าเราไม่ลืมพวกเขา เราก็จะตระหนักถึงหน้าที่ของพวกเราซึ่งนอกเหนือจากหน้าที่การทำงานปกติ

เรายังหน้าที่ในการให้กำลังใจผู้คนเหล่านั้น
เพราะเมืองนั้นไม่ได้มีชีวิต ไม่ได้มีลมหายใจ
แต่คนต่างหากที่สร้างลมหายใจให้กับเมือง
พวกเขาคือ **“ลมหายใจแห่งเมือง”**





ฝนตก-ลมแรง-ไฟดับ-น้ำท่วม

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

วันที่ 30 พฤษภาคม 2564
https://www.facebook.com/suttisak.soralump

ฝนตก น้ำท่วม คนด่า

ฝนตก น้ำไม่ท่วม ไม่มีใครรู้ ไม่มีใครด่า และก็ไม่มีใครชม

ทั้งน้ำท่วมและไม่ท่วม ใน กทม. มีเหตุผลเสมอ

วันที่ 19 พ.ค. 64 ที่ผ่านมา เกิดฝนตกและน้ำท่วม คนบนท้องถนนเดือดร้อน Social ลุกเป็นไฟ ต่างก็คาดการณ์ไปต่างๆนาๆ ช่วงเวลาประมาณทุ่มนึง ใครขับรถผ่านแถวดินแดงจะเห็นว่ามืด น้ำท่วม

ทำความเข้าใจข้อมูลพื้นฐานกันครับ

1. ฝนตก น้ำไหลลงท่อระบายน้ำ ลงบ่อพัก ลงคลอง ไหลไปยังสถานีสูบน้ำ หรือไหลลงอุโมงค์ระบายน้ำ สถานีสูบน้ำสูบออกแม่น้ำเจ้าพระยา หรือสูบออกนอกคันกั้นน้ำเข้า flood way ไปออกทะเล หรือสูบไปคลองไปออกทะเล

2. เนื่องจากกรุงเทพฯ เป็นแอ่ง เหมือนกะละมัง ดังนั้นการสูบน้ำที่กล่าวมาทั้งหมด เป็นการสูบย้อนแรงโน้มถ่วงคือต้องทยอยเป็นทอดๆ และบางตำแหน่ง น้ำต้องเดินทางไกลมาก กว่าจะไปถึงสถานีสูบสุดท้าย

3. ด้วยระบบดังกล่าว ปัจจุบันเราสามารถต่อสู้กับปริมาณฝนที่ตกใน กทม. ในอัตราไม่เกิน 60 มม. ต่อชั่วโมง ถ้าเกินก็จะระบายไม่ทัน อาจจะมีคำถามว่า 60 มม .ต่อชั่วโมงน้อยไปมั้ย, ข้อมูลที่ควรทราบคือ ระบบระบายน้ำของโตเกียวรับปริมาณฝนได้ 50 มม. ต่อชั่วโมง น้อยกว่าเรา แต่ไม่ได้หมายความว่าเราดีกว่าเขา เพียงแต่สภาพภูมิประเทศต่างกัน ของเขาระดับพื้นดินสูงกว่า ระบายได้เร็วกว่า

4. ทำไมไม่ทำแก้มลิงเพื่อพักน้ำฝนก่อนระบายออก: กทม. มีแก้มลิงอยู่หลายที่ แต่ถ้าฝนตกสะสมนาน แก้มลิงก็เต็ม,

- ควรเพิ่มแก้มลิงอีกเยอะๆ มั้ย: ควรทำถ้าทำได้ มีแผนอยู่ แต่พื้นที่ใครใครก็หวง ดังนั้น กทม. ก็พยายามทำ Water Bank แทน แทรกไปตามพื้นที่ของ กทม. เอง ปัจจุบัน Water bank บางที่ได้ทำงานแล้วเช่นที่วงเวียนบางเขน แต่ก่อนน้ำท่วมมาก คนด่า ตอนนี้น้ำไม่ท่วม มาช่วยกันชมเชยดีกว่าครับ

- ทำไมไม่พร่องน้ำในแก้มลิงก่อนฝนมา: ก็น่าจะทำกันอยู่ เป็น common sense แต่ถ้าฝนตกมาหลายๆลูก หลายๆวันติดต่อกัน ก็พร่องไม่ทัน อ้อ.. ปกติฝนลูกนึงก็ประมาณ 1-3 วัน

5. ทำไมไม่ลดระดับน้ำในคลอง ก่อนที่ฝนจะมา จะได้ให้คลองเป็นที่เก็บน้ำ: ทำได้ในคลองที่ทำเขื่อนกันตลิ่งพังแล้ว ถ้ายังไม่ได้ทำ พอลดน้ำเร็วๆ ตลิ่งพัง บ้านพัง คนเดือดร้อน

- ทำไมไม่ทำเขื่อนให้เสร็จ: มีบ้านรุกล้ำอยู่มากมาย ถ้าใช้กฎหมายบังคับ ก็เดือดร้อนกันระนาว ดังนั้นต้องใช้ทั้งนิติศาสตร์ รัฐศาสตร์ และสังคมศาสตร์ บวก วิศวกรรมศาสตร์ เพื่อทำเขื่อนกันคลองพัง ทำคลองระบายและเก็บน้ำ ทำบ้านให้ผู้รุกล้ำอยู่แบบมีวินัยและมีอนาคต และไม่ผิดกฎหมาย...อ้อ ต้องมีงบประมาณและความอดทนด้วย ง่ายมั้ยล่ะครับ แต่ที่ผ่านมาก็เริ่มเห็นที่สำเร็จแล้วเช่น คลองบางบัว คลองลาดพร้าวเป็นต้น

6. ทั้งหมดที่กล่าวมา มีแผนที่ศึกษากันมาเป็นสามสิบสี่สิบปี และทยอยทำกันมาเรื่อยๆ แต่เดิมเราไม่ได้รับน้ำฝนได้ 60 มม. ต่อชั่วโมง เรารับได้น้อยกว่านี้ก่อนน้ำจะท่วม ใครอายุมากพอลองนึกย้อนไปเมื่อสามสิบปีที่แล้วซิครับ ว่าถ้าฝนตกหลังเลิกงานเป็นยังไง

- จุดยากคือ งบประมาณที่จะมาทำให้แผนต่อเนื่อง ต้องฝ่าด่านการบริหารและการเมืองที่เปลี่ยนไป

- เชื่อหรือไม่ ว่างบปกติของ กทม. ไม่ได้ที่จะพอมาทำทั้งหมดที่กล่าวมา เพราะแค่เก็บขยะลอกคลองบำรุงรักษาระบบต่างใน กทม. เงินก็หมดแล้ว

- อ้าวแล้วเห็น กทม. มีทั้งรถไฟฟ้า ทางด่วน ฯลฯ: อันนี้คืองบของหน่วยงานต่างๆ ที่มาขอใช้พื้นที่ กทม. หรือที่ กทม. ลงทุนระยะยาว แต่ตัวโครงสร้างพวกนั้นเองก็ถูกบีบด้วยค่าบำรุงรักษาที่สูงเพื่อคุมมาตราฐานความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่ดี และยังถูกบีบจากภาคสังคมที่บีบไม่ให้ขึ้นค่าบริการ

7. นอกเรื่องไปไกล สรุปเกี่ยวกับวันที่ 19 พค ที่ไฟดับน้ำท่วมยังไง

- ง่ายๆ เลย, ระบบระบายน้ำใช้ไฟฟ้า

- ฝนตก ลมแรง แรงขนาดชั้นบนอาคารของใน กทม. พัง (ดูรูป)

- ลมแรง กิ่งไม่หัก พาดสายไฟ พาดเบาๆ ก็ไม่เป็นไร พาดหนักๆ เสาไฟก็ล้ม ไฟดับ

- ไฟดับ ปั๊มไม่ทำงาน น้ำท่วม

- ฝนเกิน 60 มม. ต่อชั่วโมงมั้ย: เกิน (ดูรูป)
- ทำไมไม่ตัดกิ่งไม้ ..... เรื่องนี้ยาว วนไปวนมาไม่จบ

8. ถามว่าแล้วคน “กรุงเทเปี้ยน” ทำอะไรได้บ้าง

- ถ้าฝนตกแล้วน้ำไม่ท่วม ให้กำลังใจคนทำหน้าที่ ด้วยการชม
- ถ้าฝนตกแล้วน้ำท่วม ถ้าฝนเกิน 60 มม. ต่อชั่วโมง ควรให้กำลังใจ ควรช่วยกันผลักดันแผนการก่อสร้างเกี่ยวกับการระบายที่มีอยู่ให้ลุล่วง
- ถ้าฝนตกแล้วน้ำท่วม ถ้าฝนไม่เกิน 60 มม. ต่อชั่วโมง ให้ไปดูว่ามีเหตุอื่นที่ทำให้ไฟดับหรือระบายน้ำไม่ได้มั้ย แล้วช่วยกันตรวจสอบ
- ถ้าฝนตกไม่เกิน 60 มม. ต่อชั่วโมง และไม่มีฝนสะสม ไม่มีเหตุอันควรที่น้ำจะท่วม.....เชิญ...กันตามสบายครับ

ปล*. มีวิธีใกล้ตัวเรามากกว่านั้นที่ท่านคงไม่ต้องไปขุดคลอง ลอกท่อด้วยตัวเองเพื่อช่วย กทม. แต่เนื่องจาก post นี้ยาวเกิน 7 บรรทัดไปไกลแล้ว ขอติดไว้ก่อนครับ*

กรุงเทพฯ ทรุด

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

การประชุมวิชาการธรณีไทย ประจำปี 2564
(Geothai Webinar 2021)
วันที่ 4-6 สิงหาคม 2564

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail:soralump_S@yahoo.com

บทคัดย่อ

การทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพฯนั้นเป็นทั้งเรื่องที่เป็นวิทยาศาสตร์และเรื่องความรู้สึก แต่ทั้งสอง ประการแยกไม่ออกจากความจริงว่าเราเป็นผู้ที่อยู่อาศัยและใช้ประโยชน์จากพื้นที่กรุงเทพฯนี้ และเรา “เลือก” ที่จะใช้ประโยชน์พื้นที่ในลักษณะที่ “แห้ง” ตลอดเวลา ไม่ใช่มีน้ำท่วมเป็นบางเวลา ความคิดนี้ต่าง จากความคิดของชาวบางกอกที่อยู่อาศัยในพื้นที่กรุงเทพฯ เมื่อ 200 หรือ 100 ร้อยปีที่แล้ว ที่การอยู่อาศัย การทำกิน และการคมนาคมนั้น มีน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญ และเป็นเรื่องปกติที่จะปรับวิถีชีวิตไปตามช่วงฤดูน้ำหลาก แต่ภายหลังปี พ.ศ.2500 เมื่อวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเอื้ออำนวยให้สามารถสร้าง “บ้านปูน” ที่แห้ง ตลอดเวลา และการสัญจรเปลี่ยนมาเป็นทางถนนทดแทนการใช้ลำน้ำคูคลอง เราเองก็เลือกที่จะใช้พื้นที่ กรุงเทพฯ นี้แบบแห้งตลอดเวลา หากเข้าใจและยอมรับในความจริงดังกล่าวแล้ว เราก็จะสามารถสรุปได้ว่า ปัจจุบันเราได้อยู่อาศัยในพื้นที่เดิมที่เป็นพื้นที่ลุ่มต่ำ น้ำท่วมถึง มีน้ำเอ่อล้นแม่น้ำลำคลองตามฤดูกาล มีตะกอน จากน้ำท่วมตกตะกอนทำให้เกิดสันดอนริมตลิ่ง มีน้ำท่วมทุ่งกว้างสุดลูกหูลูกตาที่ตะกอนและปุ๋ยธรรมชาติได้ เข้าไปเติมพื้นที่ทำนา และน้ำก็จะลดและแห้งไปในช่วงฤดูแล้ง เพื่อให้เราได้อยู่อาศัยในพื้นที่ที่แห้ง เราจึงต้อง ทำการถมดินเพื่อทำถนน เพราะรถยนต์ไม่สามารถวิ่งในน้ำได้และเราต้องถมดินก่อนที่จะก่อสร้างบ้าน การถม ดินในทุกพื้นที่ ทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำลดลง เจ้าของที่ดินที่มีพื้นที่ต่ำน้ำก็จะท่วม ก็จะปรับปรุงโดย การถมที่ดินเพิ่มให้สูงขึ้น โดยที่ไม่ทราบว่าน้ำก็จะหาที่ต่ำที่อื่นไปเรื่อยๆ และก็ไม่ทราบด้วยว่ายิ่งถมสูงมาก การทรุดตัวก็จะยิ่งมาก เนื่องจากชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น ชั้นบนสุดเป็นดินเหนียวอ่อนที่ตกตะกอนในทะเล มีความหนาประมาณ 8-12 เมตร โดยเฉลี่ย กำเนิดในยุค Holocene เมื่อได้รับแรงกดจากดินถม ดินเหนียวอ่อน นี้จะทรุดตัวและ/หรือไหลตัว ทำให้เกิดการทรุดตัว ซึ่งการทรุดตัวแบบแรกนี้เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นช้าๆแต่ ทรุดตัวได้มาก (consolidation settlement) นอกจากนั้นในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2540 เราใช้น้ำฝนน้อยลงและ ใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมากทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลเป็นบริเวณกว้าง ปัจจัยทั้งสองที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพฯอย่างต่อเนื่องและส่งผลทำให้เกิดการถมพื้นที่เพิ่มไป เรื่อยๆ และทำให้เกิดความถี่และความรุนแรงของน้ำท่วมมากขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปัญหาการทรุดตัว เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลได้ทุเลาลงและจนไม่มีการทรุดตัวจากสาเหตุนี้ในหลายพื้นที่ในกรุงเทพฯ คงเหลือแต่การ ทรุดตัวเนื่องจากการถมดินบนชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งก็ไม่สามารถนำมาใช้ในการกำหนดประเด็นเรื่องของ “กรุงเทพฯทรุด” ได้ เพราะการทรุดตัวเนื่องจากการถมดินดังกล่าว ค่าการทรุดตัวจะไม่มากไปกว่าความหนา ของดินถม หรือจะพูดได้ว่าถมอย่างไรระดับแผ่นดินที่ผิวการถมก็จะไม่ต่ำไปกว่าระดับแผ่นดินเดิม ในทาง กลับกัน การวัดการทรุดตัวของแผ่นดินที่ผิวดินในพื้นที่กรุงเทพฯ หากวัดการทรุดตัวเหนือดินถมนี้ ก็จะได้ค่า การทรุดตัวอันเนื่องมาจากแรงกระทำของดินถม แทนที่จะได้การทรุดตัวตามธรรมชาติของพื้นดิน ดังนั้น ประเด็นสำคัญที่วงการวิชาการควรสรุปกันคือคำว่า “กรุงเทพฯทรุด” ที่เราใช้กันนั้นหมายถึงอะไร ซึ่งผู้เขียน ขอเสนอเป็น 2 นิยาม คือ

1. การทรุดตัวที่จะส่งผลให้ระดับพื้นดินสุทธิต่ำกว่าระดับดินเดิม หรือมีค่าระดับที่ผิวเทียบกับ ระดับน้ำทะเลปานกลางที่ต่ำลง กรณีนี้จะทำให้ปัญหาน้ำท่วมทั้งจากน้ำเหนือ น้ำฝน และน้ำทะเล รุนแรง

2. การทรุดตัวของระดับพื้นดินที่ระดับพื้นที่ดินสุทธิยังสูงกว่าระดับดินธรรมชาติเดิม ทั้งนี้ถ้าเราจะวัด อัตราการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพฯ โดยวัดที่ระดับผิวดินที่รวมการถมดินเข้าไปด้วย (นิยามที่ 2) เพื่อ ประเมินอัตราการทรุดตัวที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ใหญ่ของกรุงเทพฯว่าจะจมน้ำหรือไม่ (นิยามที่ 1) เพื่อเอา ตัวเลขดังกล่าวไปคาดการณ์ว่าอีกกี่ปีเราจะทรุดไปมากน้อยแค่ไหนและ

จะมีโอกาสหรือไม่ที่น้ำทะเลจะเข้ามา ท่วมกรุงเทพฯ วิธีนี้จะเป็นวิธีที่ผิด เพราะการวัดการทรุดตัวที่ผิวดินถมจะรวมอิทธิพลของน้ำหนักดินที่กดให้ดิน เหนียวอ่อนทรุดตัว แต่การทรุดตัวนั้นก็จะไม่มากไปกว่าความหนาของตัวดินถมเอง และการทรุดตัวก็เกิดเฉพาะพื้นที่ ไม่ได้เกิดเป็นบริเวณกว้าง เพราะการถมดินแต่ละที่ก็มีความหนาไม่เท่ากัน แต่ถ้าการทรุดตัวนั้น เกิดจากการสูบน้ำบาดาล การแปรธรณีสัณฐาน หรือการขยายความเครียดด้านข้างของชั้นตะกอนดินเหนียว ริมอ่าวไทย รวมกับการเพิ่มของระดับน้ำทะเล ทั้งสี่กรณีดังกล่าวจะสามารถเป็นปัจจัยที่ทำให้กรุงเทพฯทรุด และน้ำทะเลเข้ามาท่วมได้

คำสำคัญ: การทรุดตัวของแผ่นดิน, การทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล, น้ำท่วม, กรุงเทพฯ ทรุด

ดูการบรรยาย Online ย้อนหลังได้ที่
https://www.youtube.com/user/Geotechnow

“กรุงเทพฯ ไม่ทรุด” ยืนยันอีกครั้งหนึ่ง จากนักวิศวกรรมปฐพี

ศิริวรรณ สิทธิกา

31 สิงหาคม 2564
Thairath Online

Summary

- ในอดีต กรุงเทพฯ เคยทรุด ซึ่งการทรุดตัวของแผ่นดินนั้นอาจเกิดได้จากการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นเวลานาน แต่หลังจากมีกฎหมายควบคุมการใช้น้ำบาดาล พื้นดินบริเวณที่มีปัญหาของกรุงเทพฯ ก็หยุดทรุดตัว
- ปัญหาการทรุดตัวของดินที่เราเคยเห็นมักมาจากดินถมที่อยู่บนดินเดิม เช่น บริเวณรอบโครงการบ้านจัดสรร หรือตอม่อต่างๆ การเอาดินถมมาอธิบายเรื่องการทรุดจึงเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง
- เมืองที่ปิดหน้าดิน ไม่มีพื้นที่ซับน้ำ จะต้องใช้ระบบท่อเพื่อให้น้ำระบายลงสู่ที่ต่ำ และเมื่อไม่ได้มีการวางแผนในภาพใหญ่เพื่อรองรับการขยายตัว จึงต้องมีการขุดขยายระบบท่อไปเรื่อย

ช่วงระยะ 10-20 ปีมานี้ เราได้ยินข่าวที่ชวนให้คนไทย โดยเฉพาะคนกรุงเทพมหานครได้ตื่นตระหนกกันอยู่หลายระลอก คือข่าวที่ว่ากันด้วยเรื่องกรุงเทพฯ ทรุด กรุงเทพฯ จม ไปจนถึงกรุงเทพฯ จะเป็นเมืองใต้บาดาลในอนาคต และยิ่งเมื่อไรที่กรุงเทพฯ เกิดฝนตกน้ำท่วมในแต่ละปี ข้อมูลที่ชวนให้พะวงเรื่องกรุงเทพฯ จะจมน้ำ ก็กลับมาอีกเสมอคู่กับฤดูกาล และหายไปจากการพูดถึงเมื่อพ้นฤดู

กระแสการพูดถึงที่มาแล้ววูบหายไป จึงกลายเป็นข้อที่ติดข้องอยู่ในใจเสมอว่านี่เรื่องจริงหรือ ‘ข่าวลือ’ แผ่นดินกรุงเทพฯ ทรุด กับกรุงเทพฯ จมน้ำ เป็นเรื่องเดียวกันไหม

เมื่อได้ฟังข้อมูลเรื่องกรุงเทพฯ ทรุด จากการประชุมวิชาการธรณีไทย ประจำปี 2564 โดย รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพี ที่นำเสนอข้อมูลเชิงหักล้างกับความเชื่อเดิม โดยให้ข้อมูลว่ากรุงเทพฯ นั้นหยุดทรุดตัวไปนานแล้ว

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

จึงเป็นที่น่าสนใจว่า การศึกษานี้บอกอะไรกับเราได้ และในอนาคตเราจะอยู่กันอย่างไรเมื่อยังมีตัวแปรให้เกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเมืองหลวงแห่งนี้

เราชวน รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ สนทนาถึงเรื่องนี้อีกครั้ง ในช่วงสัปดาห์ที่กรุงเทพฯ มีฝนกระหน่ำและน้ำท่วมรอการระบาย

มีอะไรใต้ธรณีกรุงเทพฯ

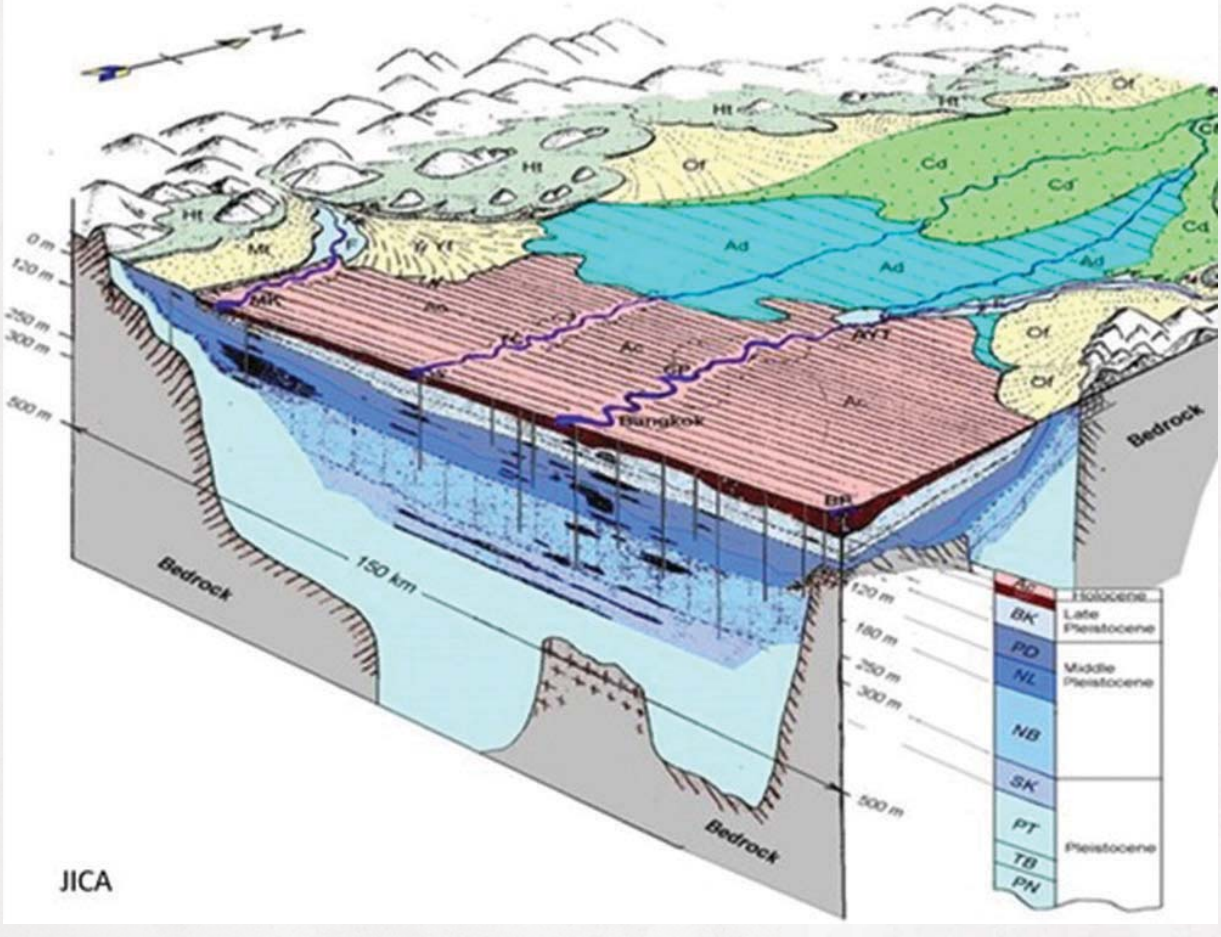
เพื่อทำความเข้าใจกับการทรุดตัวของแผ่นดิน รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ พาเราลงลึกสู่ใต้พื้นดินกรุงเทพฯ ที่มีลักษณะเป็นแอ่งขนาดใหญ่ มีชั้นหินฐานราก (bedrock) อยู่ลึกลงไป 500-1,000 เมตร ส่วนชั้นบนสุดเป็นชั้นดินกำเนิดใหม่ในยุคฮอโลซีน (Holocene) ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความหนาบางไม่เท่ากันในแต่ละบริเวณ และชั้นดินเหนียวอ่อนนี้เองที่เป็นชั้นการปักหมุดสำรวจการทรุดตัว

ในอดีต กรุงเทพฯ เคยทรุด สิ่งนี้มีข้อมูลที่ยืนยันได้จากงานวิจัยในปี พ.ศ.2524 โดยเฉพาะกรุงเทพฯ ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยานั้นเคยมีอัตราการทรุดตัวมากถึง 10 เซนติเมตรต่อปี ซึ่งการทรุดตัวของแผ่นดินนั้นอาจเกิดได้จากการสูบน้ำบาดาล การแปรธรณีสัณฐาน และการขยายความเครียดด้านข้างของชั้นตะกอนดินเหนียวริมอ่าวไทย

ทั้งนี้ การทรุดตัวของดินที่ค่อนข้างสูงในอดีต พบว่าการสูบน้ำบาดาล คือ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการทรุดตัวมากที่สุด เพราะการสูบน้ำบาดาล มีผลให้แรงดันน้ำใต้ดินลดลง ส่งผลต่อการทรุดตัวของชั้นดินโดยตรง

จากการศึกษาการทรุดตัวครั้งนั้น ทำให้กฎหมายควบคุมการใช้น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครที่ประกาศใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ถูกผลักดันในทางปฏิบัติอย่างจริงจัง จนกระทั่งเห็นผลที่ชัดเจนในปี พ.ศ.2540 ซึ่งพบว่า น้ำบาดาลมีการคืนตัว (recovery) และมีอัตราการทรุดตัวช้าลงเรื่อย สอดคล้องกับระดับน้ำบาดาลที่คืนตัว

“ส่วนการทรุดตัวที่เคยเกิดขึ้นในกรุงเทพฯ ฝั่งตะวันออกนั้นเป็นหลุมไปแล้ว และไม่สามารถคืนตัวได้ ทรุดตัวแล้วก็จบไป แต่คำถามคือ ส่วนที่เหลือยังทรุดตัวต่อไหม นั่นต่างหากคือประเด็น” รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ทิ้งคำถามไว้ให้คิดต่อ



รูปตัดแสดงชั้นดินกรุงเทพฯ

จริงหรือไม่ที่กรุงเทพฯ ยังทรุด?

ก่อนจะไปถึงข้อสรุปว่ากรุงเทพฯ มีการทรุดตัวต่อไหม รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ กล่าวถึงข้อสงสัยชวนคิดว่า ที่ผ่านมาเรามีการวัดค่าการทรุดตัวที่ถูกต้องหรือเปล่า โดยยกตัวอย่างข้อมูลการวัดการทรุดตัวที่ใช้ดาวเทียมเป็นเครื่องมือวัดในระดับพื้นผิวของกรุงเทพฯ พบว่าสิ่งที่สังเกตเห็นคือเมืองที่มีการขยายหรือพัฒนา เช่น เมืองที่อยู่รอบขอบกรุงเทพฯ จะมีอัตราการทรุดตัวอยู่ค่อนข้างมาก

“คำถามคืออัตราการทรุดตัวตรงนั้นเกิดจากอะไร มันเป็นการวัดบริเวณพื้นที่ที่เป็นดินถมหรือเปล่า สมมติถ้าเราไปวัดที่ท้องนา ไม่มีดินถมไม่มีอะไรเลย แล้วจู่ๆ เกิดการทรุดตัวอันนั้นน่ากลัวมาก แต่ถ้าเขาใช้การวัดที่ดินถม ซึ่งธรรมชาติของดินถมเวลาถมใหม่ๆ มันจะทรุดเร็วมาก แล้วเขาใช้อัตราการทรุดตัวบริเวณดินถมมาคำนวณอธิบายภาพใหญ่ของกรุงเทพฯ ว่ากำลังทรุด อันนั้นคือผิด

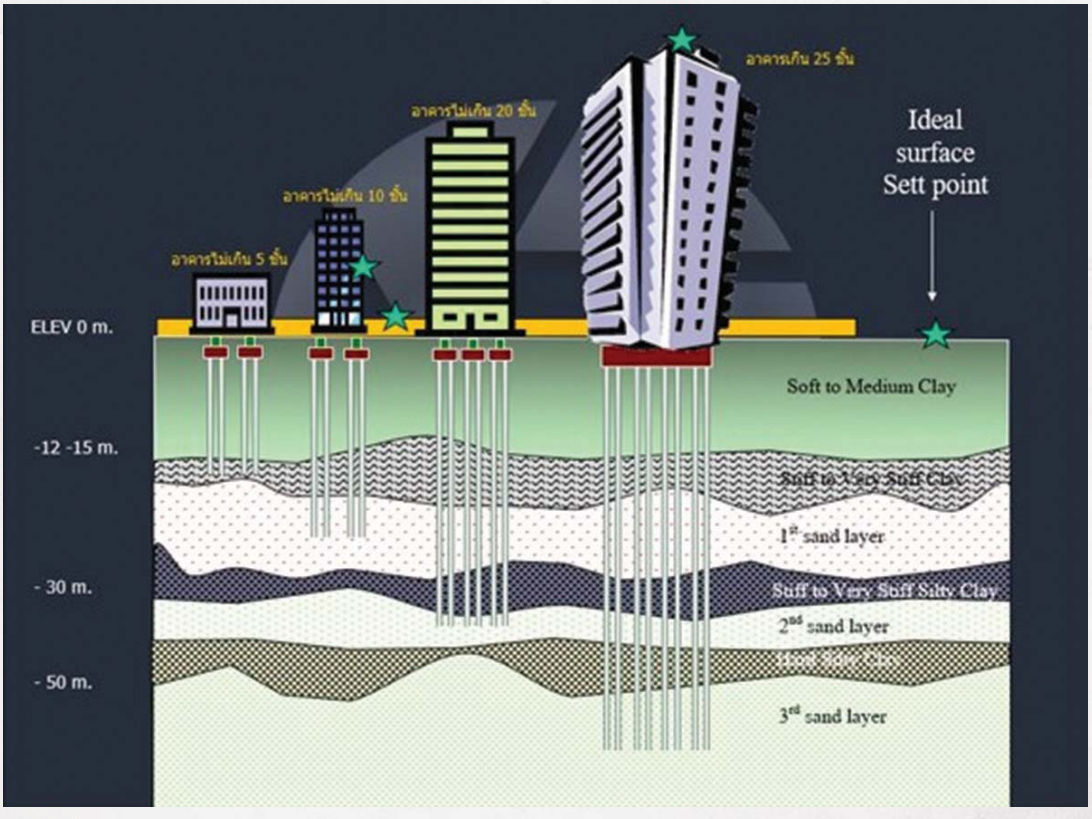
“ปัจจัยที่น่ากลัวที่สุด และทำผลให้เกิดการทรุดตัวที่สุดคือการสูบน้ำบาดาล แต่พอเรามีกฎหมายควบคุมน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ หลังจากนั้นน้ำบาดาลไม่มีลดระดับลงแล้ว มีแต่ขึ้นอย่างเดียว แต่บางพื้นที่ที่เราพบว่ามีการคืนตัวของระดับน้ำบาดาลเยอะ กลับกลายเป็นว่ามีอัตราการทรุดตัวมาก อันนี้ชัดเจนเลยว่าค่ามันขัดแย้งกัน เพราะเมื่อมีการคืนตัวของน้ำบาดาล อัตราการทรุดตัวควรจะหยุดหรือบวมขึ้นด้วยซ้ำไป ซึ่งถ้าไปวัดตรงที่มีการถมดิน ปัจจัยการทรุดเป็นคนละเรื่องกัน”

การวัดค่าทรุดตัวของดิน จะใช้หมุดซึ่งดำเนินการโดยกรมแผนที่ทหารและกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปักลงบนผิวดินธรรมชาติราวหนึ่งเมตร แล้ววัดค่าการทรุดตัวจากการยุบตัวของดิน ซึ่งพบว่าปัจจุบันในจุดที่มีการหยุดสูบน้ำบาดาลโดยไม่มีการถมดินใหม่ มีอัตราการทรุดตัวนิ่งแล้ว

หากเป็นหมุดของกรุงเทพมหานครที่มีความลึกของตัวเข็มปักลงไปถึงชั้นทราย จะไม่ได้เป็นหมุดที่ศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดิน แต่ใช้เพื่ออ้างอิงในการก่อสร้างของโครงการก่อสร้าง ซึ่งมีเป้าหมายการวัดที่ต่างกัน และเมื่อถามถึงการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากกรณีการก่อสร้าง ก็ได้รับคำตอบว่า

“โครงสร้างซึ่งวางอยู่บนชั้นทรายจะไม่ทรุด แต่ดินถมที่วางอยู่บนดินเดิมโดยตรงจะเกิดการทรุดตัว ดังนั้น สิ่งที่เราเห็นคือมีการทรุดตัวรอบบ้าน มีการทรุดตัวรอบอาคาร หรือการทรุดตัวของดอนเมืองโทลล์เวย์บริเวณระหว่างตอม่อ สังเกตว่าจะมีส่วนที่ล้ำเข้ามาในถนนไม่ทรุด เพราะมีเข็มลึกลงไป แต่ถนนที่อยู่บนดินซึ่งพ้นจากเข็มจะกดลงไปที่ดินเหนียวอ่อน ทำให้ดินยุบตัวลง หลักฐานคือ เมื่อไปขุดตรงนี้ดูจะเห็นชั้นดินเดิมที่เคยทรุดลงไป

แล้วเขาถมเข้าไปใหม่ แล้วกลายเป็นงูกินหางคือ ยิ่งถมยิ่งทรุด แต่ทรุดเฉพาะตรงที่ถม ไม่ได้ทรุดตรงอื่น”



ระบบฐานรากของอาคารสูงในกรุงเทพฯ

แล้วการลงเสาเข็มลงไปลึกๆ มีผลต่อการทรุดของดินเดิมไหม แล้วยังจะน้ำหนักของอาคารขนาดใหญ่อีก? เราถามแทนความเข้าใจของคนส่วนใหญ่

“ผมก็เคยสงสัยเหมือนกัน” เขาหัวเราะก่อนตอบว่า “อาคารสูง เสาเข็มอยู่ลึก บ้านจัดสรรสมัยนี้เสาเข็มลึกหมด ถ้าเกิดน้ำหนักอาคารสูงต่างๆ ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน อาคารมีปัญหาแล้ว เพราะมันจะมีผลต่อการเซอร์วิสหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะอาคารที่มีระบบลานจอดเฮลิคอปเตอร์ ท่อที่อยู่ตามอาคารต้องแตกหมดแล้วถ้าอาคารทรุด ซึ่งเราไม่เคยเจอปัญหานี้”

น้ำท่วมกรุงเทพฯ กับเหตุผลที่ว่ากันแบบ ‘แฟร์ๆ’

เมื่อไรที่ฝนตก น้ำท่วม (หรือที่จะบัญญัติคำน่าเอ็นดูออกมาว่า ‘น้ำรอระบาย’) และยิ่งเป็นทุกวันนี้ที่น้ำท่วมบ่อยขึ้นทุกที จนเรียกได้ว่าแทบทุกครั้งที่มีฝนตก เหตุผลของการท่วมที่ว่ามาจากดินทรุดนั้นพอเบาใจได้แล้วว่าการทรุดของดินธรรมชาติไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนเดิม นั่นเท่ากับว่าแผ่นดินกรุงเทพฯ บางพื้นที่ไม่ได้ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลลงจากเดิมจากที่ต่ำอยู่แล้ว

“สุขุมวิทนี่ต่ำกว่าน้ำทะเล และต่ำจากระดับน้ำเจ้าพระยาด้วย เพราะการที่เคยสูบน้ำบาดาลในอดีตทำให้บางพื้นที่ทรุดตัวต่ำลงไป ดังนั้น ถ้าจะสูบน้ำออกจากสุขุมวิทเพื่อไม่ให้ท่วม เราต้องสูบย้อนการไหลของน้ำไปออกที่เจ้าพระยา เราเห็นว่าฝนตกทุกทีทำไมน้ำท่วมถนน แต่เรารู้หรือไม่ว่าระบบสูบน้ำของกรุงเทพมหานคร มีกำลังรองรับอยู่ที่ 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นั่นเท่ากับว่าถ้าตกเกิน 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ยังไงก็ท่วม”

ยังมีความเชื่ออีกมากมายต่อเหตุผลของการเกิดน้ำท่วมกรุงเทพฯ เราลิสต์คำถามต่อ เริ่มจากการปูผิวดินด้วยคอนกรีตมีผลต่อการระบายน้ำแค่ไหน ก็ได้รับคำตอบกลับมาว่านี่เป็นการเข้าใจผิดอย่างมหันต์ว่าการฉาบพื้นผิวดินด้วยคอนกรีตทำให้น้ำไม่ซึมลงดิน

“ประเด็นนี้เห็นชัดเจนจากการเกิดน้ำท่วมที่เมืองจิ้งโจวของประเทศจีน เมืองนั้นเป็นเมืองที่ดีไซน์เอาไว้ว่าเป็น sponge city คือเป็นเมืองซึมซับน้ำ ฝนตกลงมาจะซึมซับได้ ปรากฏว่าท่วมเละเทะ

“มันมีสองความคิดที่เข้าใจผิดในทางวิชาการ หนึ่งคือความคิดที่บอกว่าเราฉาบผิวดิน เรามีอะไรที่ซึมน้ำยาก ทำให้น้ำไม่ซึมลงไป แล้วทำให้น้ำใต้ดินลดและเกิดการทรุดตัว เป็นความเชื่อที่ผิดอย่างร้ายแรง ในกรุงเทพฯ เรามีดินข้างใต้พื้นดินเป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งทึบน้ำมาก นอกเหนือจากน้ำไม่ซึมลงข้างล่างเพราะเป็นดินเหนียวแล้ว อีกข้อคือน้ำใต้ดินไม่ได้ถูกเติมจากผิวดิน แต่เป็นการเติมจากจุดเติมน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณอ่างทองนครสวรรค์ เป็นระบบของธรรมชาติซึ่งใหญ่มาก

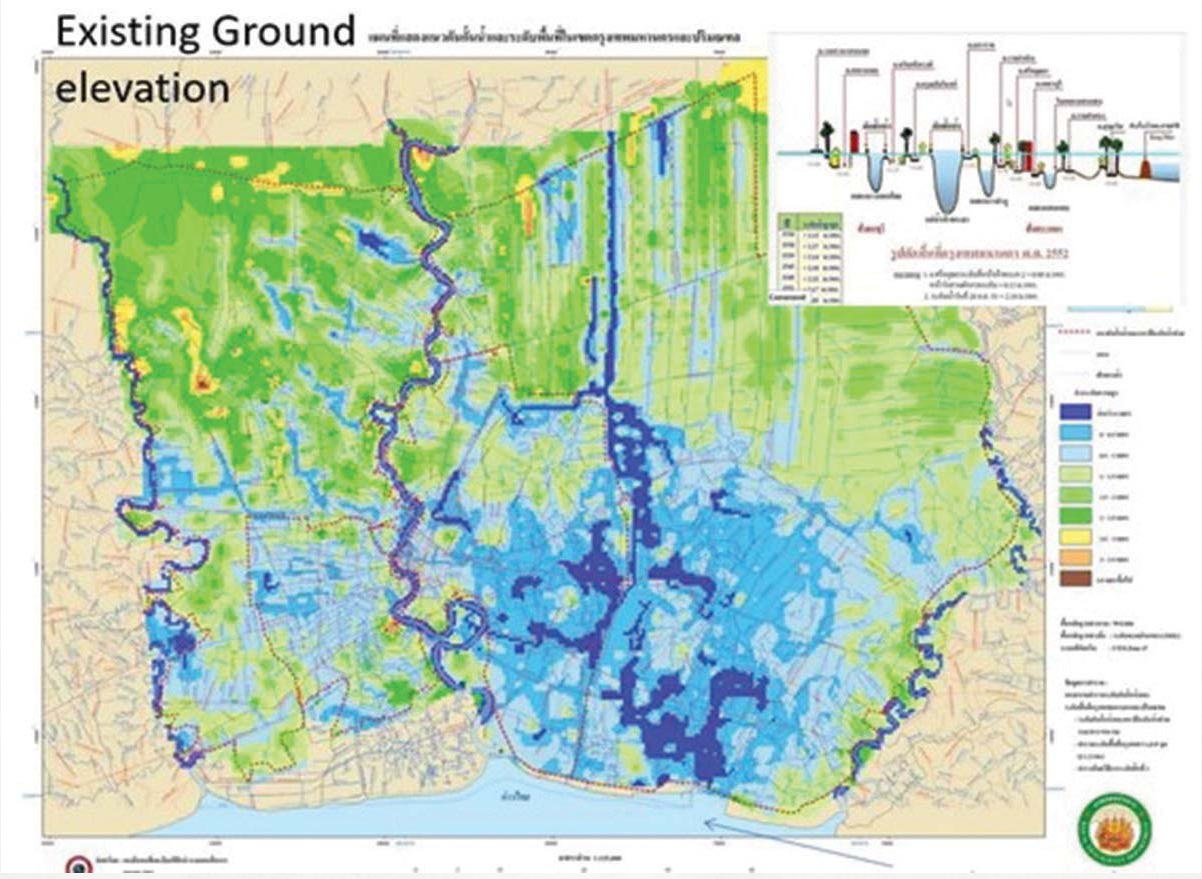
“เวลาฝนตก น้ำจะไหลไปขังในที่ต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินเป็นพงหญ้าซึ่งมีการซึมซับน้ำในลักษณะแก้มลิงอยู่ในตัว พอถึงเวลามันก็ระบายออก ไม่ได้ซึมลงดิน และเป็นการไหลที่ช้า แต่เมื่อมีการปิดหน้าดิน น้ำก็ไม่มีที่ไป เวลาวิศวกรออกแบบเขาจะออกแบบให้น้ำจากถนนไหลลงท่อ ดังนั้น ถ้าทุกคนล้วนทำพื้นที่ทึบน้ำหมด น้ำก็จะรอวิ่งลงท่ออย่างเดียว ทำให้ กทม. ต้องขยายท่อ เดี๋ยวก็ขุดตรงนั้นตรงนี้ และที่ต้องมีการขุดก็เพราะว่าท่อที่ออกแบบมาเพื่อระบายน้ำมันออกแบบมาตามสภาพการใช้งาน ณ เวลาที่ออกแบบ แต่พอมีการเพิ่มขึ้นของหมู่บ้านจัดสรรสักสามหมู่บ้าน ท่อไม่พอรองรับน้ำแล้ว จึงต้องมีการขุดขยายท่อตามมาอีก

“ปัญหาคือการพัฒนาเมืองโดยไม่รู้ทิศทาง ไม่รู้ว่าตรงไหนจะถมมากถมน้อย และผมมองให้ลึกไปกว่านั้นอีกคือ ปัญหาอยู่ที่สำนักงบประมาณ สมมติมีถนนตัดใหม่อยู่เส้นหนึ่ง ผมจะขอทำระบบระบายน้ำวางท่อ 80 เซนติเมตร เพราะมองแล้วว่าอนาคตจะมีบ้านจัดสรรเพิ่มขึ้นอีก ผมเลยขอวางท่อ 1 เมตร ของบไป เขาไม่ให้นะครับ เพราะเขาดูจากการใช้พื้นที่ปัจจุบันและการคาดการณ์สั้นๆ วางระยะยาวไม่ได้ ดังนั้นถ้าจะเคลียร์ต้องเคลียร์กันให้ครบ เคลียร์ไปถึงสำนักงบประมาณด้วย เพราะเพิ่มขนาดท่ออีก 20 เซนติเมตร มันเพิ่มเงินไม่เท่าไร ถึงวันหนึ่งต้องมารื้อถนนขุดใหม่ ค่าใช้จ่ายจะต้องเป็นอีกเท่าไร นี่คือข้อจำกัดของระบบราชการ”

“ผมว่าเรายังสามารถเพิ่มศักยภาพของระบบระบายน้ำในกรุงเทพฯ ได้ครับ ทุกวันนี้เวลาเราไปตามคูคลองจะเห็นโครงการเปลี่ยนชุมชนริมน้ำเป็นบ้านเรือนที่ออกแบบใหม่ นั่นคือกระบวนการที่กำลังจะเพิ่มประสิทธิภาพ วิธีการเพิ่มคือ แต่เดิมถ้าผมเป็นคนรับผิดชอบน้ำท่วม รู้ว่าฝนจะตก ผมจะสูบน้ำก่อนเพื่อให้คลองแห้ง แล้วน้ำฝนบนถนนจะไหลลงคลอง แต่ผมทำไม่ได้ เพราะลักษณะคลองของเราเป็นคลองขุด ไม่ได้มีโครงสร้างป้องกันลาดดิน ถ้าผมสูบน้ำจนต่ำ คลองจะพัง ตลิ่งคลองจะสไลด์ บ้านเรือนที่อยู่ริมคลองจะเดือดร้อน ตอนนี้เลยมีการปรับเปลี่ยนเป็นคลองที่มีเขื่อนแนวตั้งรูปร่างสี่เหลี่ยมมา แต่กว่าจะได้มา คนทำงานก็ต้องเคลียร์กับบ้านริมคลอง โดนด่าเละเทะ

“วิธีที่สองคือ เรื่องอุโมงค์ระบายน้ำ ที่ใช้คำว่า ‘อุโมงค์ยักษ์’ อย่างที่ผมยกตัวอย่างว่าสุขุมวิทเป็นพื้นที่ต่ำ เป็นหลุมขนมครกแทนที่ผมจะสูบน้ำย้อนขึ้นไปลงเจ้าพระยา ผมเจาะอุโมงค์ที่ก้นสะดือของอ่างดีกว่า แล้วระบายน้ำออกจากตรงจุดนั้นทีเดียวแล้วปั๊มขึ้นเจ้าพระยาเลย ซึ่งตอนนี้อุโมงค์มีแผนนี้อยู่ และกำลังอยู่ในกระบวนการทำ

“ดังนั้นทุกวันนี้ถ้าเราจะด่า กทม. ผมว่าเราแฟร์ที่จะด่า ถ้าฝนตกน้อยกว่า 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงแล้วยังท่วม แต่ถ้าฝนตกหนักกว่านั้นเราก็ต้องแฟร์กับ กทม. ว่าศักยภาพมันได้เท่านี้”



ผังแสดงระดับความสูงของพื้นที่ในกรุงเทพฯ กับความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วมขัง

หากกรุงเทพฯ จะจมน้ำ คนจะอยู่ไม่ได้ก่อนที่เมืองจะจมเสียอีก

เมื่อปีที่แล้ว องค์กรด้านสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาที่ชื่อว่า Climate Central ได้นำเสนอข้อมูลที่สร้างความตระหนกตกใจว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้แผ่นน้ำแข็งแอนตาร์กติกแตกออกจากกัน และพบแอ่งทะเลสาบที่เกิดจากการละลายของน้ำแข็งมากถึง 2,000 แห่ง และมีผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และกรุงเทพฯ รวมถึงพื้นดินบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลจะได้รับผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นภายในปี พ.ศ. 2593 นับดูแล้วก็ 29 ปีเท่านั้น เราขอความเห็นจาก รศ.ดร.สุทธิศักดิ์เป็นประเด็นสุดท้าย ถึงอนาคตของกรุงเทพฯ ที่ยังคงเสี่ยงกับภัยพิบัตินี้ ที่นอกจากเรื่องระดับน้ำทะเลที่จะสูงขึ้นตามการคาดการณ์

“การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลต่อความเสี่ยงที่จะทำให้กรุงเทพฯ จม เพราะสิ่งที่เราคุมไม่ได้คือระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น แต่ปัญหาระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ผมไม่อยากให้กังวลว่าน้ำทะเลจะท่วมกรุงเทพฯ เพราะก่อนจะท่วมกรุงเทพฯ ตอนนั้นเราอยู่กรุงเทพฯ กันไม่ได้แล้วครับ เพราะน้ำประปาจะไม่มีใช้ น้ำเค็มจะเข้ามาทางแม่น้ำและเข้ามาอยู่ในระบบประปาหมด ซึ่งวันนี้เราเจอปัญหานี้แล้ว ดังนั้นเราจะหนีออกจากกรุงเทพฯ ก่อนที่น้ำจะท่วมแผ่นดินเสียอีก

“ประเด็นหนึ่งที่ผมอยากจะยกขึ้นมาให้มีการคุยกัน คือปัญหาดังกล่าวยังพอที่จะมีเวลาในการแก้ไข ไม่ว่าจะเป็นการทำเขื่อนปิดอ่าวไทย หรือถ้าเราจะทำประตูน้ำปิดปากแม่น้ำเจ้าพระยาจะทำได้ไหม แล้วจะมีผลกระทบอย่างไร ซึ่งผมมีแนวคิดที่กำลังศึกษาอยู่”

เช่นเดียวกับที่เรื่องปริมาณน้ำฝนที่อยู่เหนือการควบคุม

“การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้ฝนมันแกว่ง จาก 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง อาจกระโดดไป 100-200 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง อย่างปีนี้เราเห็นแล้วว่ามีน้ำท่วมใหญ่ที่กรีซและอีกหลายที่ในยุโรป หรือเมื่อเดือนกรกฎาคมก็มีคลื่นความร้อนที่แคนาดา ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ระยะสั้นที่เมื่อเกิดคลื่นความร้อนมันจะไปสร้างความชื้นในอากาศมากแล้วหาที่ลง ก็อยู่ในกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่จะเป็นระยะสั้นหรือระยะยาว ผมตอบไม่ได้”

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงยังคงเป็นปัญหาใหญ่ และปัญหาร่วมระดับโลก ที่ยังต้องอาศัยความร่วมมือในการแก้ปัญหาร่วมกัน ...หากจะยังมีหวัง

การออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี

หน่วยวิจัยการออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี
(Geotechnical Design and Development Research Unit)

งานวิจัยในหน่วยวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการสำรวจและออกแบบในงานวิศวกรรมปฐพี ให้สามารถดำเนินการได้อย่างปลอดภัยและประหยัด โดยเน้นการแก้ปัญหางานฐานราก การพัฒนาข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและการผลักดันประเด็นสำคัญด้านความปลอดภัยให้เป็นข้อบังคับและกฎหมายต่อไป ตัวอย่างผลงานประกอบด้วย

- การจัดทำมาตรฐานการขุดดินและถมดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง
- การจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนป้องกันตลิ่ง กรมเจ้าท่า
- การพัฒนาธบานข้อมูลดินสำหรับงานวิศวกรรม กรมทรัพยากรธร๊
- งานวิจัยหาสาเหตุและตรวจสอบปัญหาการพิบัติของโครงสร้างจากดินฐานราก เช่น งานแก้ไขปัญหาอาคารทรุดในโครงการบ้านมั่นคงของสถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์
- งานหาสาเหตุและแก้ไขการเคลื่อนตัวของลาดตลิ่งริมแม่น้ำน่าน แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปัตตานี ฯลฯ
- งานประเมินเสถียรภาพลาดดินและลาดหินของบ่อขุด
- การพัฒนาฐานข้อมูลดินสำหรับงานด้านวิศวกรรม กรมทรัพยากรธรณี เพื่อรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลสำรวจดินให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลชั้นดินร่วมกันได้ เหมาะสำหรับการวางแผนและออกแบบโครงการเบื้องต้น การออกแบบโครงการขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดในการเจาะสำรวจดิน รวมไปถึงใช้ในการแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติต่างๆ

งานออกแบบโครงสร้างป้องกันตลิ่งโดยการใช้เสาเข็มสั้นสลับแถว สวนหลวง ร.9

มนพัทธ์ สาสิงห์
รัฐธรรม อิสโรฬาร
รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

1. บทนำ

สวนหลวง ร.9 แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพมหานครได้ทำการก่อสร้างสวนสมุนไพร (ส่วนต่อขยาย) ภายในบริเวณสวนหลวง ร.9 หลังจากที่ได้ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จนั้น ได้เกิดการทรุดตัวลงของแนวป้องกันการพังทลายชายน้ำบางส่วนเป็นระยะทางประมาณ 30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยสาเหตุการพิบัติเบื้องต้นนั้นสามารถคาดการณ์ได้จากข้อมูลจากเจ้าหน้าที่สวนหลวงร. 9 ว่าในช่วงก่อนที่จะเกิดเหตุการพิบัติได้มีการนำเครื่องจักรขนาดใหญ่ตั้งอยู่บริเวณทางคนเดิน อีกทั้งในช่วงเวลาดังกล่าวยังมีฝนตกหนัก จึงคาดว่าสาเหตุหลักของการพิบัติน่าจะเกิดจากมีน้ำหนักกระทำบนดินมากเกินไปจนส่งผลให้แนวกำแพงกันดินเดิมไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ทางศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้เข้าไปทำการสำรวจพื้นที่และช่วยออกแบบปรับปรุงลาดตลิ่งโดยได้นำเสนอวิธีการใช้เสาเข็มสั้นสลับแถวและถมดินเพื่อเสริมสร้างเสถียรภาพให้แข็งแรงขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างที่รวดเร็วและประหยัดงบประมาณ

รูปที่ 1 ลักษณะพื้นที่และความเสียหายที่เกิดขึ้น

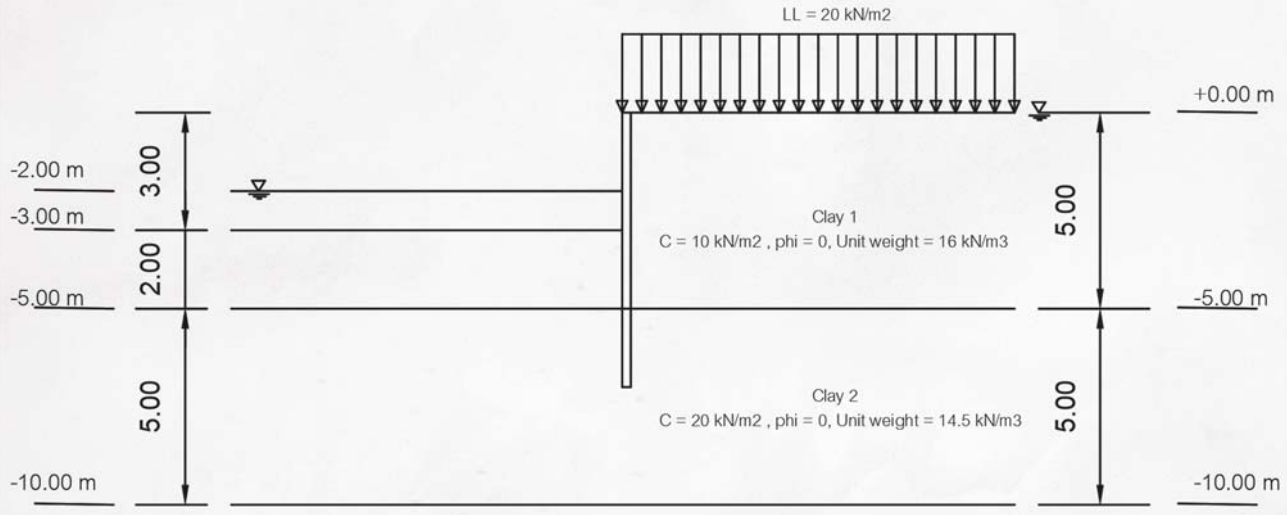
2. รายการคำนวณ

2.1 ข้อมูลชั้นดิน

ทำการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณโครงการทำโดยวิธี Wash boring จำนวน 1 ตำแหน่ง และทำการเจาะสำรวจด้วยวิธี Screw Driving Sounding Test (SDS) จำนวน 3 ตำแหน่ง นำผลการเจาะสำรวจที่ได้มารวมกันเพื่อนำได้ใช้ในการคำนวณออกแบบต่อไป

2.2 การวิเคราะห์แรงกระทำที่มีต่อเสาเข็มรับแรงดันดิน

หลักการในการออกแบบกำแพงกันดินใช้เสาเข็มรับแรงด้านข้าง เมื่อพิจารณาระดับน้ำใต้ดินด้านหลังกำแพงกันดินที่ระดับ +0.00 เมตร และระดับน้ำด้านหน้ากำแพงกันดินที่ระดับ -2.00 เมตร โดยรูปตัดของชั้นดินและน้ำหนักกระทำต่อกำแพงกันดินยาว 7 เมตร แสดงในรูปที่ 2 แรงกระทำที่เกิดขึ้นต่อกำแพงกันดินเดิมดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของชั้นดินสำหรับการวิเคราะห์แรงกระทำต่อกำแพงกันดินเดิม

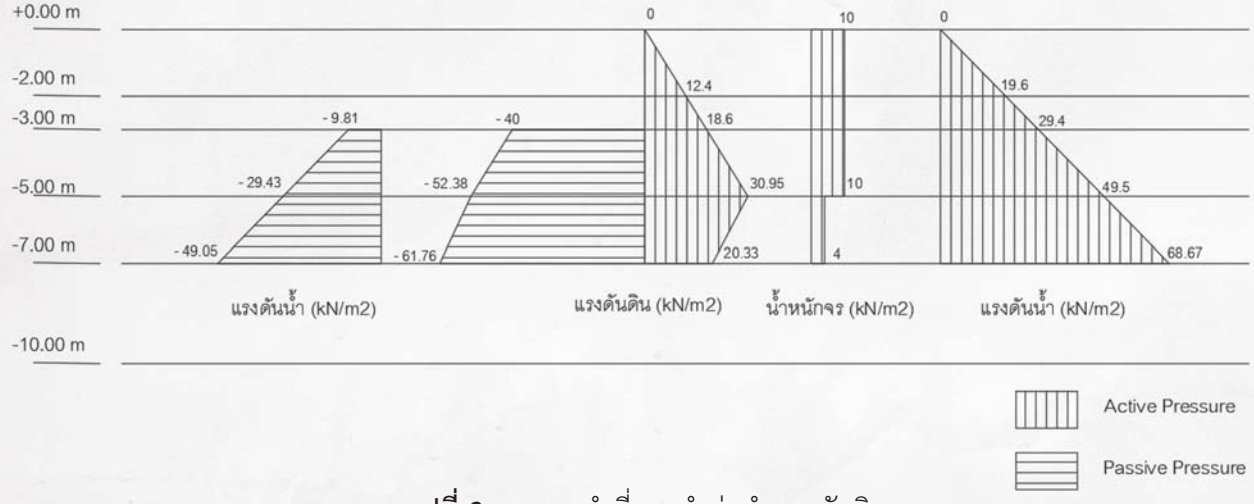
ตารางที่ 1 Active Pressure

ระดับความลึก (เมตร)	Total stress (1) (kN/m^2)	Pore water pressure (2) (kN/m^2)	Effective stress (kN/m^2)	P_a (kN/m^2)	น้ำหนักจร (kN/m^2)
+0.00	20	0	20	0	10
-2.00	52	19.6	32.4	12.4	10
-3.00	68	29.4	38.6	18.6	10
-5.00	100	49.05	50.95	30.95	10
-7.00	129	68.67	60.33	20.33	4

ตารางที่ 2 Passive Pressure

ระดับความลึก (เมตร)	Total stress (1) (kN/m^2)	Pore water pressure (2) (kN/m^2)	Effective stress (kN/m^2)	P_p (kN/m^2)	น้ำหนักจร (kN/m^2)
+0.00	0	0	0	0	0
-2.00	0	0	0	0	0
-3.00	9.81	9.81	0	0	0
-5.00	41.81	29.43	12.38	12.38	0
-7.00	70.81	49.05	21.76	21.76	0

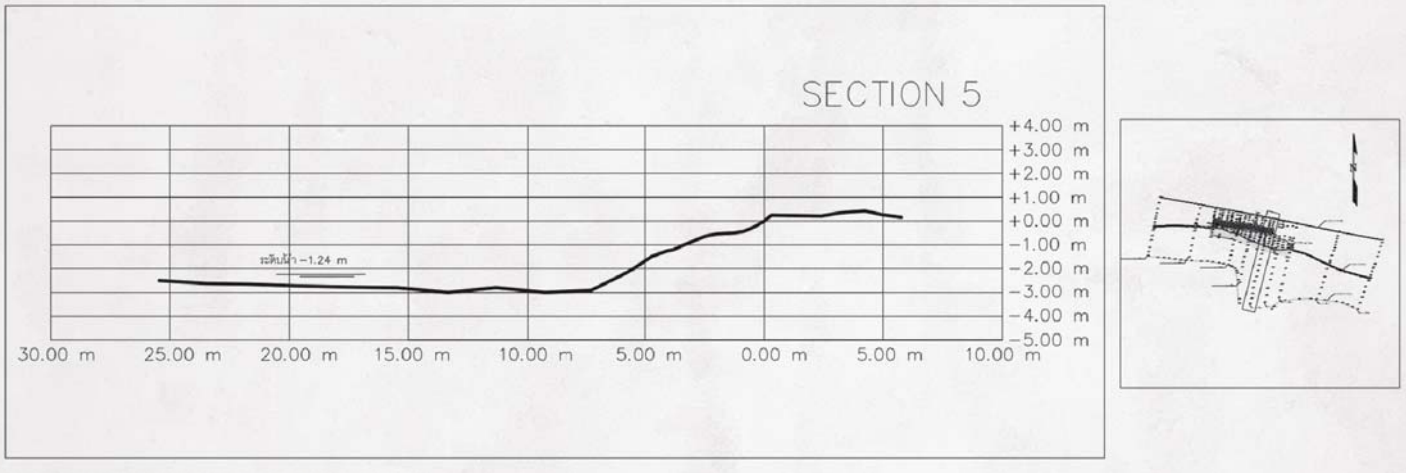
เมื่อรวมหน่วยแรงกระทำที่เกิดขึ้นทั้งหมดกับกำแพงกันดินยาว 7 เมตร จะได้ค่าแรงลัพธ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการพิบัติที่เกิดขึ้นของกำแพงกันดินเกิดจากแรง Active Pressure ดังนั้นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการตัดสินใจเพื่อการออกแบบปรับปรุง จึงเห็นควรว่าควรมีการเสริมแรง Passive Pressure เพื่อให้เสถียรภาพของลาดตลิ่งมีความสมดุลมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการพิจารณารูปแบบการปรับปรุงด้วยวิธีการถมดินบริเวณลาดตลิ่งขึ้น



รูปที่ 3 แรงกระทำที่กระทำต่อกำแพงกันดิน

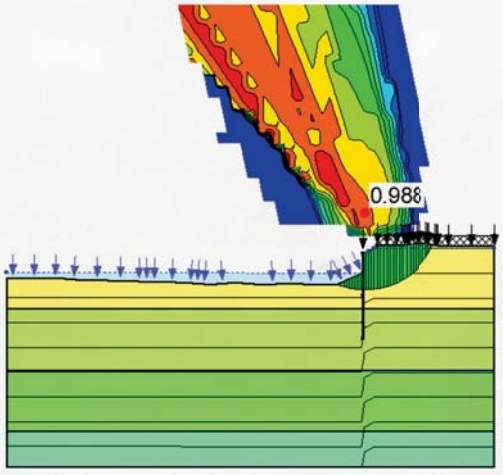
3. การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่ง

การวิเคราะห์เสถียรภาพของพื้นที่ลาดตลิ่งใช้หลักการ Limit Equilibrium Method (LEM) โดยอาศัยโปรแกรม Slope/W เพื่อตรวจสอบว่าตลิ่งเดิมนั้นมีเสถียรภาพเป็นอย่างไรเมื่อมีระดับน้ำใต้ดินและน้ำหนักกระทำบนตลิ่งต่างกัน เบื้องต้นได้ทำการสำรวจระดับบริเวณหน้างานด้วยวิธีการรังวัดแบบ RTK-GPS network ซึ่งผลการรังวัดที่ได้สามารถนำมาหารูปพื้นที่หน้าตัดชั้นความสูงของลาดตลิ่งได้ทั้งหมดจำนวน 9 แนว โดยได้เลือกใช้แนวหน้าตัดที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4 มาเป็นตัวแทนการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับพื้นที่เกิดการพิบัติมากที่สุด



รูปที่ 4 แนวหน้าตัดที่ 5

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่งดังแสดงในรูปที่ 5 และสรุปผลการวิเคราะห์การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าตลิ่งเดิมเมื่อมีน้ำหนัก 2 t/m2 มากระทำ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นแสดงว่าน้ำหนักกระทำบนตลิ่งมีผลโดยตรงต่อการพิบัติ



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์กรณีหน้าตัดเดิม ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (-2.00/ +0.00 m) น้ำหนักกระทำ 2 t/m^2 ด้วยวิธี Limit Equilibrium

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

ลำดับที่	กรณีการวิเคราะห์	น้ำหนักกระทำ (t/m^2)	ระดับน้ำ	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.>1.3)
1	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำปกติ	0	-1.24 m	1.90
2	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำต่ำสุด	0	-2.00 m	1.55
3	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำสูงสุด	0	+0.00 m	4.02
4	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	0	-2.00/ +0.00 m	1.54
5	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำปกติ	2	-1.24 m	1.12
6	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำต่ำสุด	2	-2.00 m	0.99
7	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำสูงสุด	2	+0.00 m	1.62
8	หน้าตัดเดิม ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	2	-2.00/ +0.00 m	0.98

4. การวิเคราะห์หาแรงกระทำต่อเสาเข็มและเสถียรภาพของลาดตลิ่ง

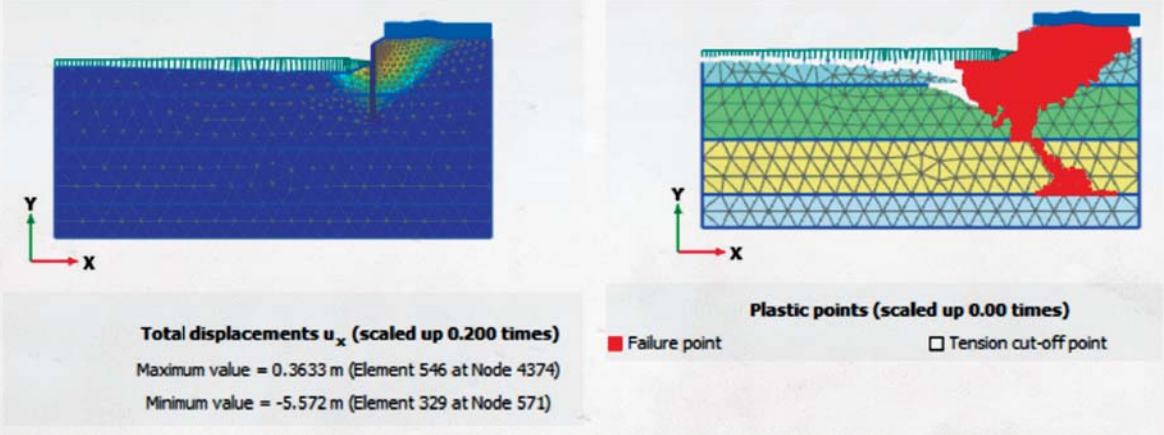
ทำการหาแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มรูปตัว I ขนาด 0.22 x 0.22 ยาว 7 เมตร @ 1.20 เมตร อันได้แก่ Axial Forces, Shear Force และ Bending Moment โดยใช้หลักการ Finite Element Method (FEM) ในการวิเคราะห์หาค่าแรงกระทำดังกล่าว ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นและแรงที่กระทำต่อเสาเข็ม ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อลาดตลิ่งมีน้ำหนัก 2t/m^2 มากระทำ จะส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างกำแพงกันเดินเดิม ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นได้ จึงส่งผลกำแพงกันดินเดิมเกิดการพิบัติ

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์หาแรงกระทำต่อเสาเข็มและเสถียรภาพของลาดตลิ่ง

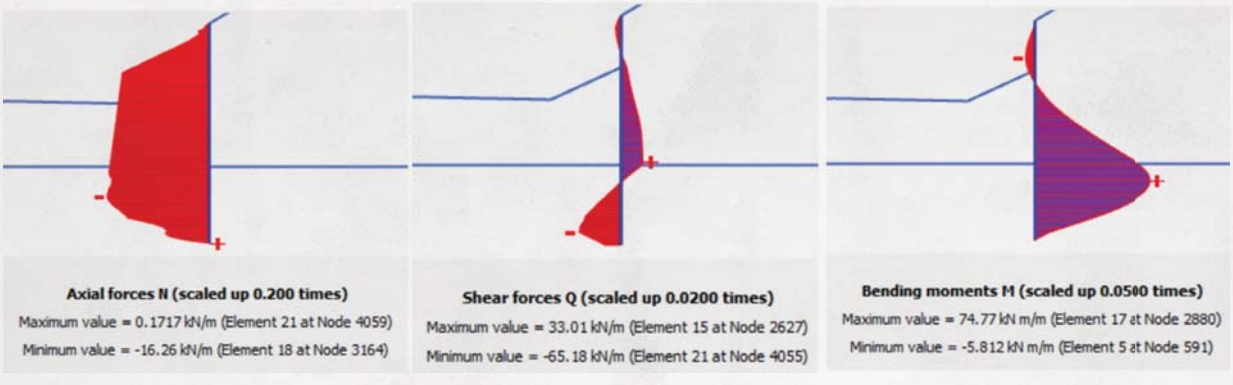
ลำดับที่	รายละเอียด	ระดับน้ำ	Axial forces (kN/m)	Shear forces (kN/m)	Bending moments (kNm/m)	ค่า F.S.>1.30
1	กรณีการวิเคราะห์ แบบไม่มีน้ำหนักกระทำ	-1.24 m	7.20	11.93	7.77	1.63
2	กรณีการวิเคราะห์ แบบไม่มีน้ำหนักกระทำ	-2.00 m	8.96	16.48	12.92	1.40
3	กรณีการวิเคราะห์ แบบไม่มีน้ำหนักกระทำ	+0.00 m	5.43	8.25	5.44	2.53

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์หาแรงกระทำต่อเสาเข็มและเสถียรภาพของลาดตลิ่ง (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียด	ระดับน้ำ	Axial forces (kN/m)	Shear forces (kN/m)	Bending moments (kNm/m)	ค่า F.S.>1.30
4	กรณีการวิเคราะห์ แบบไม่มีน้ำหนักกระทำ	-2.00/ +0.00 m	9.56	17.57	13.63	1.33
5	กรณีการวิเคราะห์ แบบมีน้ำหนัก 2 t/m^2	-1.24 m	16.33	67.37	80.90	เกิดการพิบัติ
6	กรณีการวิเคราะห์ แบบมีน้ำหนัก 2 t/m^2	-2.00 m	16.20	65.41	75.29	เกิดการพิบัติ
7	กรณีการวิเคราะห์ แบบมีน้ำหนัก 2 t/m^2	+0.00 m	6.42	14.25	20.07	1.21
8	กรณีการวิเคราะห์ แบบมีน้ำหนัก 2 t/m^2	-2.00/ +0.00 m	16.26	65.18	74.77	เกิดการพิบัติ



(a) การเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างและ Plastic point ในรูปแบบการวิเคราะห์ กรณีการวิเคราะห์แบบมีน้ำหนัก 2 t/m2 ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (-2.00/ +0.00 m)



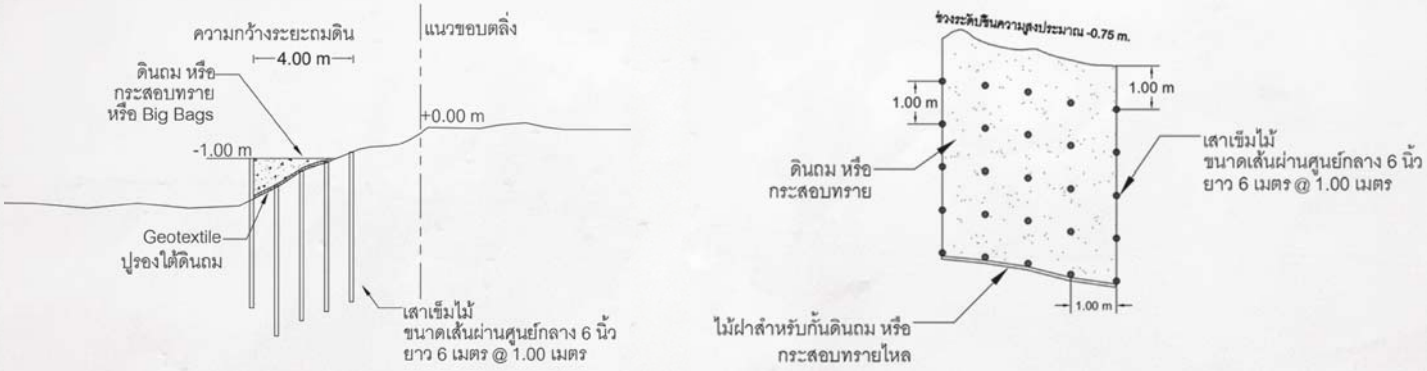
(b) แรง Axial Forces, Shear Forces และ Bending Moment ที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม กรณีการวิเคราะห์แบบมีน้ำหนัก 2 t/m2 ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (-2.00/ +0.00 m)

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์กรณีหน้าตัดเดิม ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (-2.00/ +0.00 m) น้ำหนักกระทำ 2 t/m2 ด้วยวิธี Finite Element Method

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์แรงกระทำที่มีต่อเสาเข็มรับแรงดันดิน การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่งโดยวิธี LEM, และหาแรงกระทำต่อเสาเข็มและเสถียรภาพของลาดตลิ่งด้วยวิธี FEM ทำให้ทราบว่ากำแพงกันดินเดิมนั้นไม่สามารถรับแรงกระทำของดินที่กระทำต่อกำแพงได้ จึงเห็นควรที่จะต้องมีการเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างกำแพงกันดินเดิม โดยวิธีที่ได้นำเสนอคือการใช้เสาเข็มไม้ความยาว 6 เมตร สลับแถวอันเนื่องมาจากวิธีการก่อสร้างที่จำกัด เนื่องจากไม่ต้องการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เข้าไปในพื้นที่ ดังนั้นเสาเข็มไม้จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ดังกล่าว อีกทั้งการถมดินร่วมในพื้นที่ดังกล่าวจะเป็นการเสริมสร้างแรง Passive Pressure ส่งผลให้ลาดตลิ่งมีความแข็งแรงมากขึ้น

5. รูปแบบการปรับปรุงพื้นที่ลาดตลิ่งทางเดินเลียบคลอง

การปรับปรุงเพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยให้เสถียรภาพของลาดตลิ่ง โดยวิธีการใช้เสาเข็มไม้ยูคาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 6 เมตร เว้นระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร ปูพรมบริเวณด้านหน้าของกำแพงกันดิน และใช้ดินถมหรือกระสอบทรายใส่ในบริเวณด้านหน้ากำแพงกันดินเพื่อเป็นการเพิ่ม Passive Forces โดยรูปแบบการก่อสร้างดังแสดงในรูปที่ 7

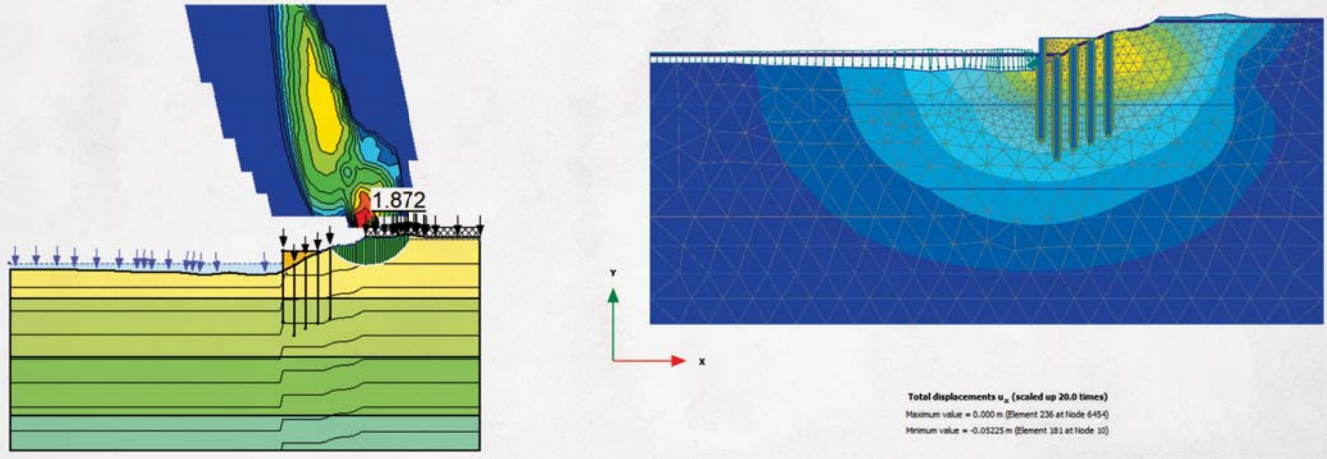


(a) หน้าตัดทั่วไปกรณีเสริมการปรับปรุงบริเวณที่เกิดการพิบัติ (b) รูปแบบการปรับปรุง

รูปที่ 7 รูปแบบทั่วไปสำหรับการปรับปรุงพื้นที่ลาดตลิ่ง

6. ผลวิเคราะห์ภายหลังการปรับปรุงพื้นที่ลาดตลิ่งทางเดินเลียบคลอง

ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่งหลังการปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 8 โดยใช้หลักการ Limit Equilibrium Method (LEM) สรุปผลค่าอัตราส่วนความปลอดภัยได้ดังแสดงในตารางที่ 5 และใช้หลักการ Finite Element Method (FEM) สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในตารางที่ 6



(a) ผลการวิเคราะห์โดยวิธี Limit Equilibrium Method (LEM) (b) ผลการวิเคราะห์โดยวิธี Finite Element Method (FEM)

รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์ลาดตลิ่งภายหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

ลำดับที่	กรณีการวิเคราะห์	น้ำหนักกระทำ (t/m^2)	ระดับน้ำ	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย
1	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำปกติ	0	-1.24 m	4.06
2	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำต่ำสุด	0	-2.00 m	3.69
3	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำสูงสุด	0	+0.00 m	6.40
4	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	0	-2.00/ +0.00 m	3.69
5	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำปกติ	2	-1.24 m	1.87
6	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำต่ำสุด	2	-2.00 m	1.87
7	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำสูงสุด	2	+0.00 m	2.25
8	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	2	-2.00/ +0.00 m	1.87

ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยและค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ

ลำดับที่	กรณีการวิเคราะห์	น้ำหนักกระทำ (t/m^2)	ระดับน้ำ	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)	ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ (cm)
1	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำปกติ	0	-1.24 m	2.31	3.44
2	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำต่ำสุด	0	-2.00 m	1.89	5.16
3	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำสูงสุด	0	+0.00 m	3.14	1.75
4	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	0	-2.00/ +0.00 m	1.92	5.22
5	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำปกติ	2	-1.24 m	1.34	9.91
6	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำสูงสุด	2	-2.00 m	1.23	13.91
7	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำสูงสุด	2	+0.00 m	1.69	8.20
8	หน้าตัดที่เพิ่มแนวป้องกันการพิบัติ ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	2	-2.00/ +0.00 m	1.23	14.03

7. สรุปผล

- จากการคำนวณแรงกระทำที่มีต่อเสาเข็มรับแรงดันดินพบว่า เมื่อรวมแรงกระทำที่เกิดขึ้นทั้งหมดบริเวณกำแพงกันดิน จะเห็นได้ว่าบริเวณด้านหลังกำแพงกันดินมีแรงกระทำ Active Pressure เกิดขึ้นมาก จึงทำให้กำแพงกันดินเกิดการพิบัติในลักษณะที่ดินดันตัวกำแพงออก (Active earth pressure) และโครงสร้างกำแพงกันดินโดยใช้เสาเข็มรูปตัว I ขนาด 0.22 x 0.22 เมตร ยาว 7 เมตร @ 1.20 เมตร มีความยาวที่ไม่เพียงพอต่อการรับแรงดันดินด้านข้าง
- จากการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดตลิ่งพบว่า กรณีที่ลาดตลิ่งไม่มีน้ำหนักจรกระทำจะสามารถคงอยู่ได้อย่างปลอดภัย แต่เมื่อมีน้ำหนักจรขนาด 2t/m^2 กระทำ พบว่ากรณีที่ระดับน้ำปกติ (-1.24 m) ระดับน้ำต่ำสุด (-2.00 m) และระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (-2.00/ +0.00 m) ลาดตลิ่งมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่า 1.30
- รูปแบบการปรับปรุงที่เหมาะสมกับสภาพหน้างาน ทั้งนี้เนื่องจากไม่ต้องการให้มีเครื่องจักรขนาดใหญ่เข้าใกล้หน้างาน เนื่องจากเกรงว่าจะเกิดการพิบัติเพิ่มขึ้น จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยการใช้เสาเข็มไม้ยูคาลิปตัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 6 เมตร ตอกลงไปในดินโดยเว้นระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร ทำการตอกปูพรมบริเวณหน้าแนวตลิ่งที่เกิดการพิบัติ และหน้าแนวตลิ่งที่ยังคงสภาพเดิม ทั้งนี้เมื่อตอกเสาเข็มปูพรมแล้วให้ใช้ดินถมหรือกระสอบทรายวางทับบริเวณหน้ากำแพงกันดิน โดยแนวเสาเข็มไม้แถวหน้าสุดให้ใช้ไม้ฝาตอกกั้นเพื่อไม่ให้ดินถมหรือกระสอบทรายไหลออกมา

Conceptual Design of Boeng Cheung Lake Dredging Project

Suttisak Soralump*
Avishek Shrestha*
Kobid Panthi*

*SILA Geotechnique Co. Ltd., Bangkok, Thailand

Abstract

The paper presents various slope stability techniques adopted for the dredging of sand from Boeng Cheung Lake at Cambodia. The sand required for the construction of a new airport was supposed to be extracted from this lake and was also to be used for soil improvement through the vacuum consolidation method. From the data of 17 reported boreholes (BHs), a 3D lithology of the area was created using software, Rockware, and the various regions were good quality of sand could be extracted were delineated. Using the minimum value of strength parameters, limit equilibrium method (LEM) was adopted to evaluate FS for various slopes. Slopes that are either in 1:3 or 1:4 ratio were found stable. With these slope ratio analysis was done for each BHs and critical ones were suggested. Through the use of finite element modelling software, PLAXIS, the extent of movement of the area upon dredging was also investigated. The maximum distance that will be affected by the excavation work was found to be 300m. Furthermore, probabilistic slope stability analysis was also performed and boreholes demonstrating lower FS in terms of slope stability were reported. From the numerical modelling, the minimum permissible water level to be maintained after excavation work was also determined. For slope 1:3 reducing water level was prohibited whereas for 1:4, water level is permitted to drop by 5m. As for the preliminary instrumentation plan, installing inclinometer at every 500m interval was suggested and monitoring it after the dredging work. From research in the market, cutting suction dredger was recommended in place of jet suction dredger, considering the type of soil the area possessed.

Keywords: Boeng Cheung Lake, Slope stability analysis methods, Dredging

1. Introduction

Conceptual design of excavation work at Boeng Cheung Loung Lake project is awarded to SILA Geotechnique Co. Ltd., Bangkok, Thailand by Cambodia Airport Investment Co. Ltd, Phnom Penh, Cambodia.

Boeng Cheung Loung Lake is located at Kandal Province, Cambodia approximately 35 km south of Phnom Penh, capital of Cambodia. The soil investigation was conducted at 17 locations having the area of approximately 1.5M m2.

The distance between the airport and proposed excavation site is around 1.4 km. The location of proposed airport and zone of excavation is shown in Figure 1. The sand required for the construction of the new airport was proposed to be extracted from the Boeng Cheung Loung Lake. Therefore, slope stability analysis was undertaken to ensure that the dredging of the sand could be done without failure and excessive movement of the area was checked.

The yellow boundary shows the dredging area for the extraction and this study is focused specifically at this area. Likewise, the requirement of instrumentation for monitoring the movement of the slope in future and the possibility of sand flow was also analyzed.

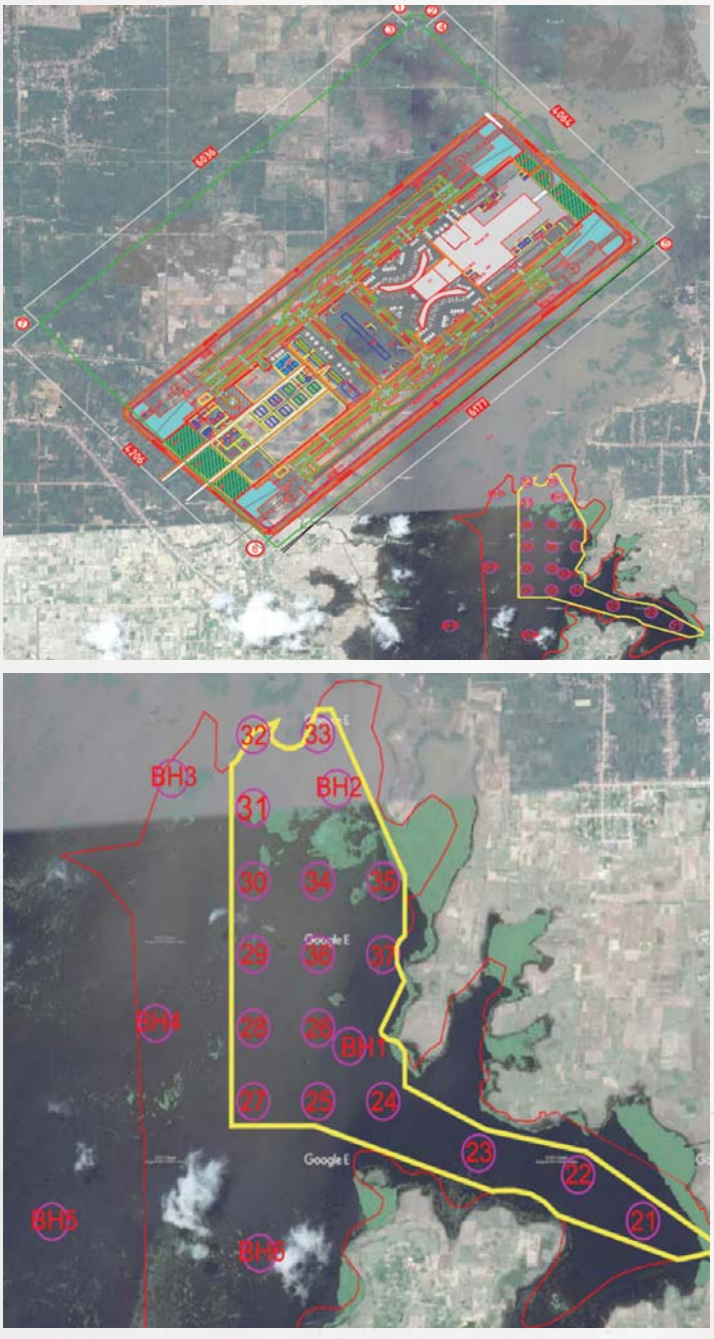


Figure 1. Yellow boundary representing dredging area for the excavation

2. Analysis of boreholes

The location and information of different boreholes were used to create a database in Rockworks. Through the database, visualizing the site in 3D, calculating approximate volume and acquiring required section for slope stability analysis were done. Information of 17 boreholes were provided by the client. In Rockworks the studied area is divided into two rectangular areas. The lithology of each borehole was imported in the data base of Rockworks and for ease in visualization, 3D multi-log view was generated as shown in Figure 2.

Four boreholes, namely BH 21 to BH 24 comprised area B, while area A consisted of boreholes, BH 24 to BH 37 as shown in Figure 3. From the boreholes, it was found that mainly 4 types of soil and Sandstone is present at the site. According to USCS, the soil of the excavation site is classified as Silt with high plasticity (MH), Sandy clay (SC), Clayey sand (SC), Fine Sand (SM).

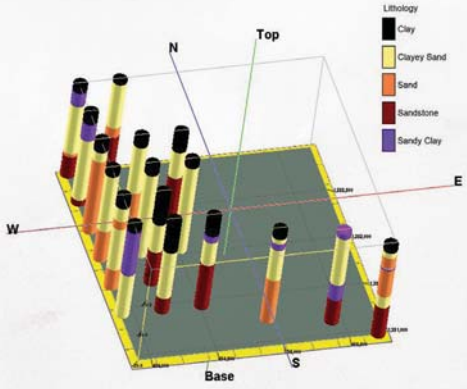


Figure 2. 3D multi-log view of boreholes

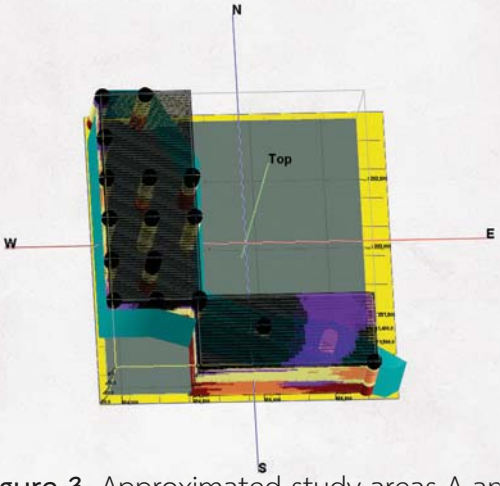


Figure 3. Approximated study areas A and B

2.1 Volume calculation

The aim of the excavation is to extract the sand required for Vacuum consolidation during the construction of an international airport at Phnom Penh, Cambodia. The clean sand (SM) and other soils including clayey sand (SC) and even sandy clay (CL) through a thorough washup can be used for VCM. It was found that the most predominant soil at the excavation area

is the clayey sand, followed by sand and sandy clay respectively. The most desirable soil that can be used without much treatment will be the sand which is found in the leftmost part of the area A and more at area B.

If it's possible further investigation with a borehole at the left side of the excavation area can be done to ascertain it and the quantity of this soil may be increased accordingly. The client plans to use clayey sand too after washing it up. They are abundantly found in both of the areas and the sandy clay which requires the most cleaning (if appropriate to use) is found sparsely.

RockWorks15 was used to generate different sections of the study area which were then imported in AutoCAD to calculate the volume of materials (manually) that can be acquired at excavation slope of 1:3 and 1:4, and are shown in Table 1 and Table 2 respectively.

Table 1. Approximate volume of soil from the study area (1:3)

Soil	Dredging Area, A	Dredging Area, B	Total Volume (m3)
Silt with high plasticity (MH)	4,594,975	1,578,925	6,173,900
Clayey Sand (SC)	11,447,374	5,465,764	16,913,138
Sand (SM)	2,489,070	3,027,075	5,516,145
Sandstone	3,781,091	1,599,040	5,380,131
Sandy Clay (CL)	681,000	1,847,010	2,528,010

Table 2. Approximate volume of soil from the study area (1:4)

Soil	Dredging Area, A	Dredging Area, B	Total Volume (m3)
Silt with high plasticity (MH)	4,557,031	1,564,725	6,121,756
Clayey Sand (SC)	10,559,335	4,893,390	15,452,725
Sand (SM)	2,117,850	2,577,122	4,694,972
Sandstone	3,247,610	994,800	4,242,410
Sandy Clay (CL)	621,810	1,765,775	2,387,585

2.2 Investigation of different section

From the information of boreholes provided, database was created in Rockworks 15. Investigation of different section of the study area was then carried out to determine the most desirable as well as undesirable area for the excavation. Three sections were considered for analysis as shown in Figure 4.

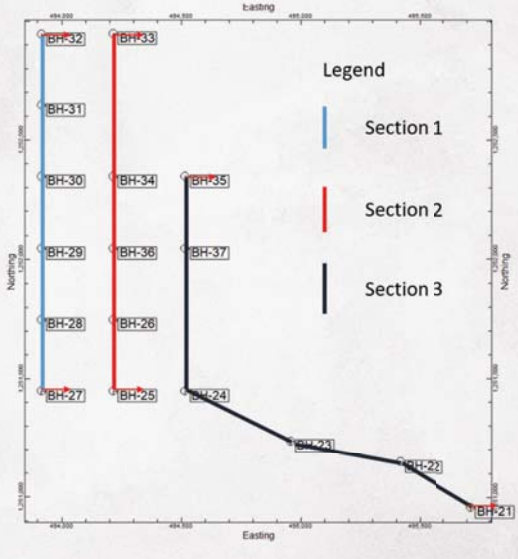


Figure 4. Delineation of Section 1,2 and 3 for investigation

BH 32 – BH 31 – BH 30 – BH 29 – BH 28 – BH 27 comprised Section 1 and is at the leftmost side of the study area. BH 33 – BH 34 – BH 36 – BH 26 – BH 25 comprised Section 2 and it lies at the middle portion of the study area A. The third section (Section 3) is extended from the rightmost portion of study area A to B and consists of boreholes namely, BH 35 – BH 37 – BH 24 – BH 23 – BH 22 – BH 21.

a) Section 1 (BH 32 – BH 31 – BH 30 – BH 29 – BH 28 – BH 27)

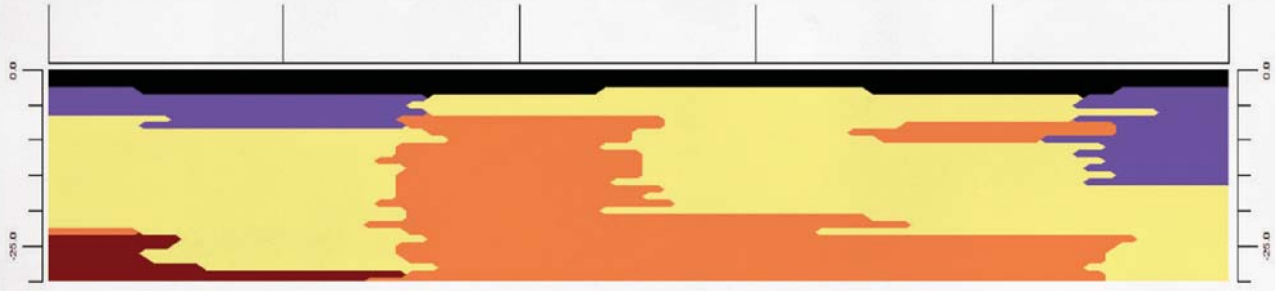


Figure 5. Section 1 (BH32 - BH31 – BH30 – BH29 -BH28 -BH27)

The thickness of soil layer for silt with high plasticity soil (MH) is low for this section (within 5m) and hence is considered relatively safe from slope stability considerations. The area under BH 30 is the most suitable area to get high amount of sand. Throughout the other section, there is abundant amount of clayey sand.

b) Section 2 (BH 33 – BH 34 – BH 36 – BH 26 – BH 25)

Figure 6. Section 2 (BH 33 - BH 34 – BH 36 – BH 26 – BH25)

The thickness of the undesired soil layer, silt with high plasticity (MH), increases as we proceed from BH 33 to BH 25. The thickness of MH is the most at BH25 area (10 meters) and hence it can complicate the excavation process. Also, the amount of desirable soil is quite less for both BH 26 and BH 25 as only a small portion of clayey sand is sandwiched between MH and sandstone. In this section the most suitable area is under BH 34 as abundant clayey sand as well as sand is found under this zone.

c) Section 3 (BH 35 – BH 37 – BH 24 – BH 23 – BH 22 – BH 21)

Figure 7. Section 3 (BH 35 - BH 37 - BH 24 - BH 23 - BH 22 - BH 21)

This section is extended from study area A (BH 37- BH 35 – BH 24) to study area B (BH 21 -BH 22 – BH23 – BH24). BH 24 is a bridge between area A and area B and the area under BH 24 is the most undesirable section as there is a presence of thick layer of high plasticity silt (MH) (more than 10 meters) as well as sandstone is present from 15 meters to 30 meters, hence the amount of usable soil is very less (considering SC to be usable). In area B, the most usable area is under BH23 where the thickness of MH is low and sandstone is absent. There is also a presence of sand (SM) at deep depth (around 15 m) and clayey sand (SC) at shallow depth.

3. NUMERICAL MODELING

The numerical model of Boeng Cheung Loung Lake was conducted using SLOPE/W and PLAXIS 2019. All the parameters used in numerical analysis was used from the result of soil investigation report conducted on December, 2019. The slope stability analysis helps determine the soil mechanical properties, the shape and the location of the possible failure surface.

3.1 Slope Stability Analysis:

Slope stability analysis was performed to determine the safety factors of the lake during and after the excavation using limit equilibrium method Morgenstern Price Method (Zhu, Lee, Qian, Zou, & Sun, 2001). The limit equilibrium method (LEM) (Duncan, Wright, & Brandon, 2014) is the most common method of analysis because the calculation method is straightforward with accuracy comparable to rigorous methods like finite element and finite difference approach. This analysis was carried out for various cases to design the excavation slope at multiple locations. The locations used are based on the soil investigation report conducted on December, 2019.

a) Worst Case Scenario:

Analysis was preliminary conducted for the worst-case scenario to determine the slope of excavation. This analysis helps in determining the slope of excavation for when the strength parameters are minimum. Strength parameters used in this analysis was taken from the results of each borehole investigation. The strength parameters were determined from quick direct shear test. The plot between cohesion and degree of saturation for various boreholes is shown in Figure 8. From this plot, the value of cohesion was selected as 5 kPa for preliminary analysis as shown in Figure 6. The degree of saturation plotted are in the range of 83.51% - 96.92%.

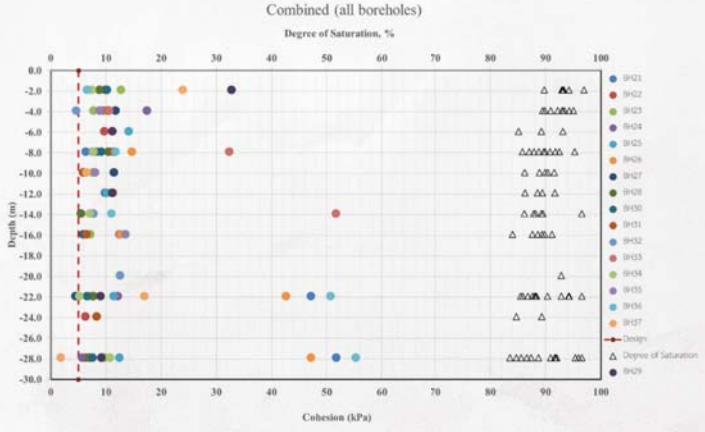


Figure 8. Cohesion and Degree of Saturation for Soil Samples for Various Boreholes

Similarly, the relationship between friction angle and depth for samples obtained from various boreholes is shown in Figure 9. The result shows that the friction angle increases with depth and hence 3 values of friction angle was used for the analysis and is shown in Table 3. Furthermore, the relationship between unit weight and depth of samples obtained from various boreholes were also plotted and is shown in Figure 8. The result shows that the unit weight increases with depth and hence has been categorized into 3 values of unit weight. The parameter used in the analysis is shown in Table 3.

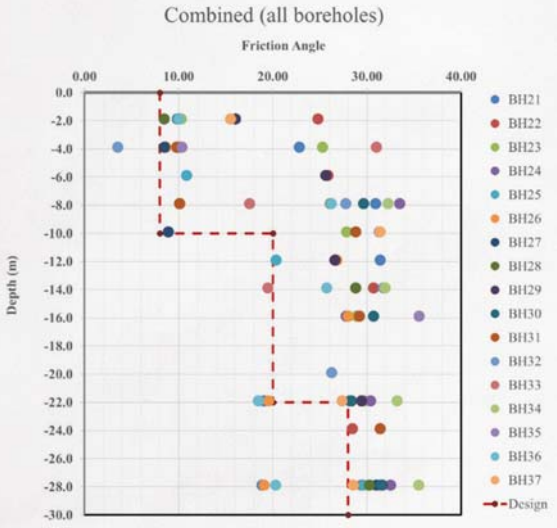


Figure 9. Relationship between Friction Angle and Depth for samples for various boreholes

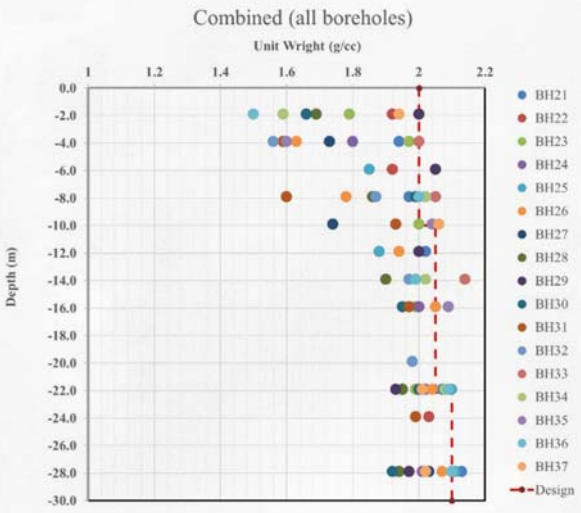


Figure 10. Variation of Unit weight with depth for samples for various boreholes

Table 3. Material Property used for the worst case scenario

Material Properties Used			
	Cohesion (kPa)	Friction Angle (Φ)	Unit Weight (kN/m3)
First Layer	5	8	20
Second Layer	5	20	20.5
Third Layer	5	28	21

The result obtained from site investigation was used in numerical analysis using SLOPE/W. The model used four slopes (1:1, 1:2, 1:3 and 1:4) for the preliminary slope stability analysis. From the site inspection and discussion with client representatives, it was determined that the water in Boeng Cheung Lake is always full and hence the analysis was based on lake with full ponding throughout the year. The analysis was not conducted for the case with drawdown of water. The summary of Slope stability analysis for various slopes (1:1, 1:2, 1:3 and 1:4) with ponding is presented in Table 4.

Table 4. Factor of Safety for Various Slopes for worst case scenario

Case	Slope	Water	FoS
Case 1	1:1	With Ponding	0.64
Case 2	1:2	With Ponding	0.87
Case 3	1:3	With Ponding	1.12
Case 4	1:4	With Ponding	1.36

From the preliminary analysis, it has been found out that the slope is not stable at 1:1 and 1:2 and it is highly not recommended to use these slopes during the excavation work. Slope of 1:3 and 1:4 have factor of safety greater than unity, and hence detail analysis was further carried out at each borehole locations and section to select the suitable slope for the excavation.

b) Analysis with soil layers from each borehole

From preliminary analysis, the design slope for the excavation of Boeng Cheung Lake has been identified as 1:3 or 1:4. Detail analysis was further conducted at each bore hole location to determine its safety factor. Various materials found from soil investigation result was separately categorized to identify the variance in material property of each soil type. The plot between cohesion and friction angle was obtained for various soil samples as shown in Figure 11. The material property of each soil type was identified from the plot and was used in numerical analysis. The material property used for the analysis is as shown in Table 5.

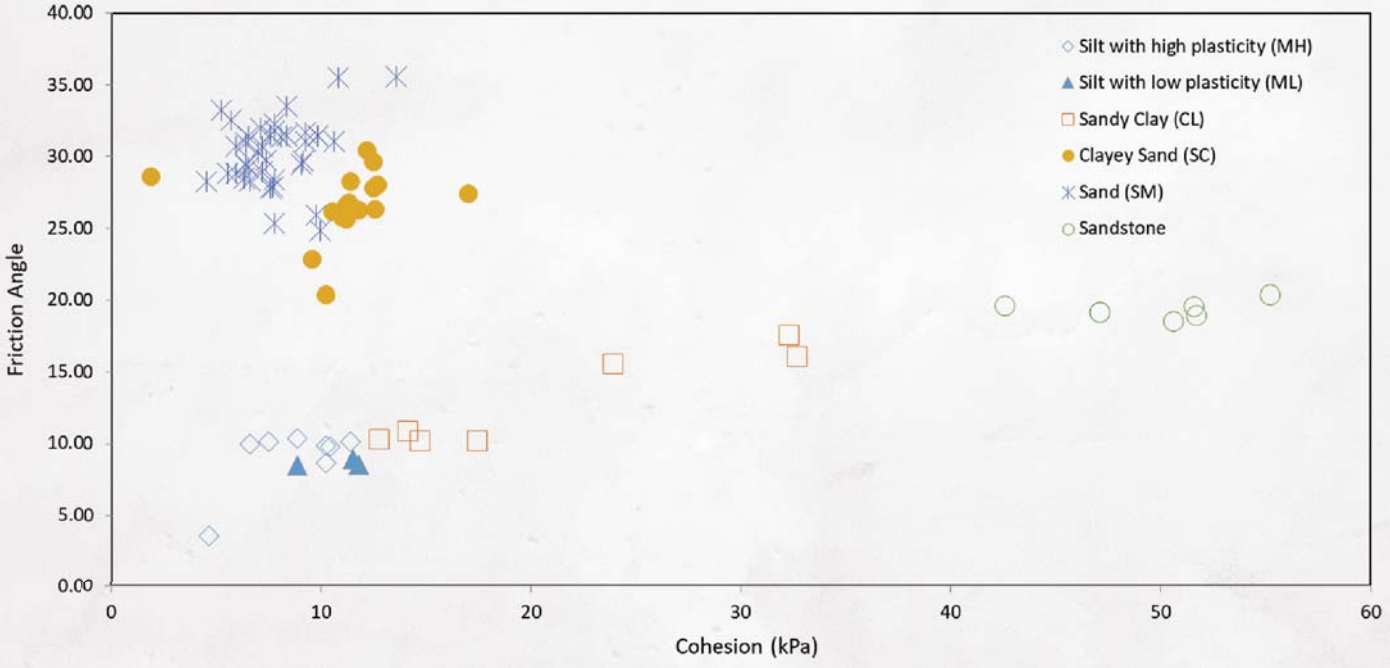


Figure 11. Plot between Cohesion and Friction Angle for different materials

Table 5. Material Properties used in Numerical Analysis

Soil Types	Cohesion (kPa)	Friction Angle (Ð)	Unit Weight (kN/m3)
CL	12.74	10.17	20.7
MH	4.61	3.55	16.6
ML	8.82	8.5	17.4
SC	1.84	20.37	20.5
SM	4.51	24.83	20.9
Sandstone (CL)	45.63	18.47	21.4

Cross section was plotted at location where soil investigation work was carried out for slope 1:3 and 1:4. The detail analysis is presented in Annex 1 and result is summarized in Table 6. The allowable factor of safety used for this analysis is 1.3 and the cases that are below 1.3 are highlighted red.

Table 6. Factor of Safety for slope 1:3 and 1:4 at various borehole locations

S.N	Borehole no.	Factor of Safety	
		1:3	1:4
1	BH 21	1.55	2.91
2	BH 22	1.30	1.61
3	BH 23	1.45	1.85
4	BH 24	1.32	1.71
5	BH 25	1.06	1.26
6	BH 26	1.06	1.26
7	BH 27	1.31	1.81
8	BH 28	1.37	1.77
9	BH 29	1.34	1.76
10	BH 30	1.70	1.96
11	BH 31	1.34	1.73
12	BH 32	1.38	1.80
13	BH 33	1.43	1.82
14	BH 34	1.38	1.78
15	BH 35	1.55	2.00
16	BH 36	1.29	1.68
17	BH 37	1.29	1.67

c) Finite Element Modelling:

PLAXIS (Brinkgreve et al., 2016) is a finite element program for geotechnical applications in which soil models are used to simulate the soil behaviour. It's implementation consists of three stages, known as input stage, calculation stage and postprocessing stage. Input stage contains model design,assigning the material parameters, boundary conditions, loading and meshing.

To determine the factor of safety using the FEM, repeated analyses are performed, each time reducing the strength of the soil by a slightly greater factor, until an unstable condition results. This unstable condition is evidenced by failure of the solution to converge. The term strength reduction factor (SRF) (Dawson, Roth, & Drescher, 1999) is used rather than factor of safety, FS, although SRF and FS are the same in principal. Like the factor of safety, the strength reduction factor is the factor by which the shear strength must be divided so that the reduced strength is in barely stable equilibrium with the shear stresses. All borehole profiles were analyzed in FEM and the material properties used in the analysis for each borehole. E modulus of the soil were chosen based on the correlation with SPT otained from the test report.

With the material properties as input for various soil layers, finite element analysis was carried out for excavation slope of 1:3 and 1:4 to determine the displacement in the horizontal direction and factor of safety

was calculated based on c-phi reduction method. The results of the analysis are tabulated in Table 7. Safety factor obtained from both LEM and FEM yield identical results. The factor safety of BH25 and BH26 for both 1:3 and 1:4 is less than 1.3 and requires preventive measures during excavation. It is recommended to avoid these boreholes and area to their vicinity, if possible. Likewise, it is also recommended to maintain the slope of 1:4 for locations with borehole BH26 and BH37.

Table 7. Displacement and FS results from FEM

S.N	Borehole no.	Displacement (ux), meters		Displacement (uy), meters		Factor of Safety	
		1:4	1:3	1:4	1:3	1:4	1:3
1	BH 21	0.0863	0.0971	0.1058	0.1068	2.272	1.749
2	BH 22	0.1083	0.1417	0.2334	0.2514	2.108	1.774
3	BH 23	0.1213	0.1332	0.2982	0.2981	2.153	1.684
4	BH 24	0.07306	0.08305	0.1871	0.1865	1.726	1.491
5	BH 25	0.0622	0.09232	0.1503	0.1495	1.254	1.052
6	BH 26	0.058	0.06963	0.1091	0.1093	1.244	1.057
7	BH 27	0.2307	0.2535	0.05181	0.06297	2.273	1.895
8	BH 28	0.1481	0.158	0.3634	0.321	1.691	1.296
9	BH 29	0.117	0.1303	0.3093	0.3076	2.157	1.705
10	BH 30	0.08375	0.09679	0.2223	0.2214	2.152	1.641
11	BH 31	0.06593	0.07688	0.154	0.1524	1.685	1.321
12	BH 32	0.06485	0.07654	0.1539	0.1528	1.711	1.324
13	BH 33	0.04589	0.05064	0.1112	0.1111	2.254	1.823
14	BH 34	0.04702	0.05162	0.1128	0.113	2.18	1.722
15	BH 35	0.03979	0.04669	0.1041	0.1038	1.772	1.496
16	BH 36	0.1006	0.08242	0.1574	0.1632	2.671	1.237
17	BH 37	0.1055	0.09905	0.1601	0.1998	2.509	1.239

Furthermore, displacement of the slope at various locations was obtained for BH25 and BH27 for excavation slope of 1:3 and 1:4. BH25 was chosen in this analysis as this location has the minimum factor of safety and has the maximum chance of failure. Likewise, BH27 was found to have the maximum displacement among all borehole location and hence the detail analysis was conducted in this section. The graph plotted between total displacement and depth shows the movement of sand after the completion of excavation work. Depth in the analysis is measured from bottom to the top.

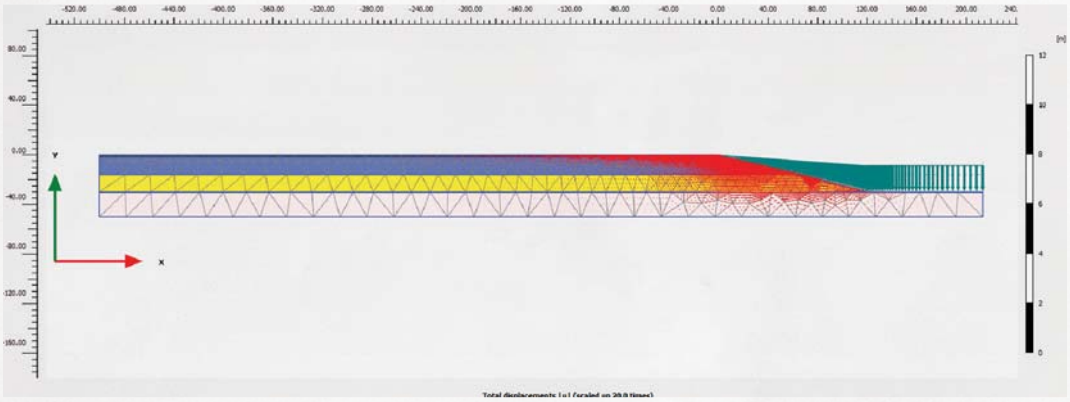


Figure 12. Total displacement of BH 27 (1:4)

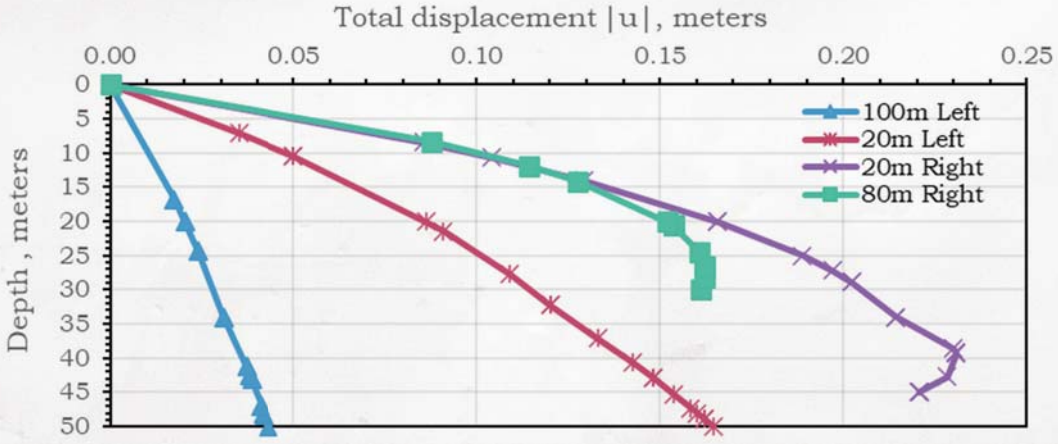


Figure 13. Total displacement |u| at different chainage (BH 27; 1:4)

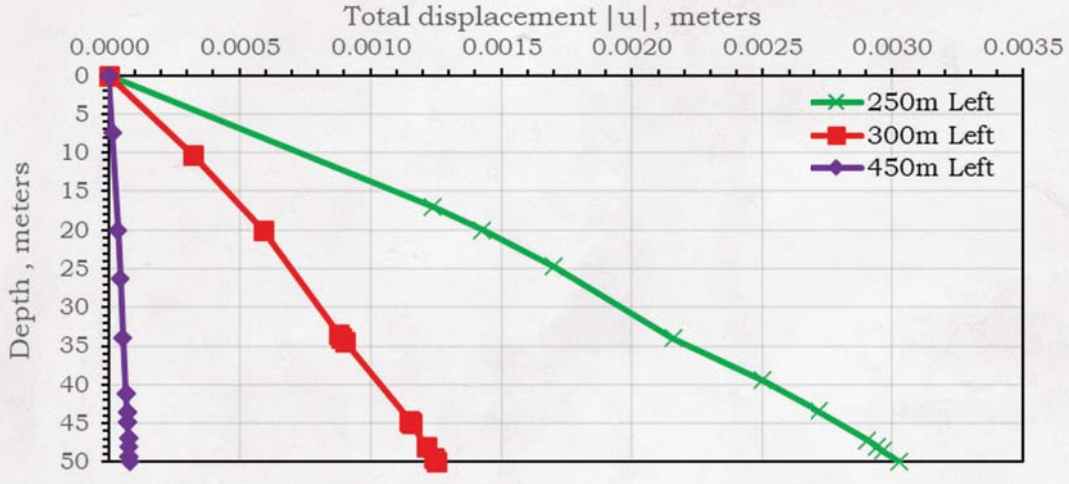


Figure 14. Total displacement |u| at distant location from excavation (BH 27; 1:4)

From the analysis, the maximum distance that will be affected by the excavation work was found to be 300m. The displacement at 300m for BH 27 was 1.25mm and 1.45mm for slope 1:4 and 1:3 respectively. So, the possible affected area by the excavation shall be not more than 350m from the point of excavation and hence it is recommended to maintain the buffer distance of 350m. It is also advised not to place any heavy equipment in the buffer zone.

d) Probabilistic analysis:

Engineering data on soil or rock mass properties are usually scattered and hence simple probabilistic methods are useful in summarizing the scatterings to get a better understanding of the data - and of the corresponding uncertainties associated with engineering performance. The concept of probability (Griffiths & Fenton, 2007) with various geotechnical uncertainties was used for determination of probability of failure. Coefficient of variation was used to determine the variation of soil properties (i.e. cohesion, friction angle and unit weight). The coefficient of variation was separately determined for various material obtained from site investigation and was compared with the available variation values from the literature. Coefficient of variation is the ratio of standard deviation to the mean. The result of coefficient of variation for different material is shown in Table .

Table 8. Coefficient of Variation for different soil properties

Soil Group	Mean			Standard Deviation			Coefficient of Variation (%)		
	Cohesion (kPa)	Angle of Friction (^{O})	Unit Weight (g/cc)	Cohesion (kPa)	Angle of Friction (^{O})	Unit Weight (g/cc)	Cohesion (kPa)	Angle of Friction (^{O})	Unit Weight (g/cc)
MH	8.70	9.06	1.59	2.31	2.29	0.05	26.53	25.24	2.98
ML	10.68	8.65	1.72	1.62	0.23	0.03	15.17	2.68	1.54
CL	21.14	12.94	1.89	8.59	3.27	0.11	40.63	25.31	5.80
SC	11.18	26.67	2.00	2.98	2.44	0.07	26.66	9.16	3.41
SM	7.79	30.27	1.99	1.82	2.38	0.05	23.32	7.87	2.62
Sandstone	49.46	19.27	2.09	4.14	0.59	0.04	8.36	3.08	1.69

The probability of failure was estimated for slope 1:3 and 1:4 at the locations where soil investigation was carried out. The probability of failure was estimated based on quality measure of likelihood and probability proposed by (Santamarina, Altschaeffl, & Chameau, 1992). The factor of safety estimated from mean value of strength parameters and probability of failure for all borehole location is presented in Table 9.

Table 9: Probability of failure for slope 1:3 and 1:4 at various borehole locations

S.No.	Borehole	Slope	Factor of Safety	Probability of Failure (%)	Remarks
1	BH21	1:3	2.50	0.00	
		1:4	3.15	0.00	
2	BH22	1:3	2.01	0.00	
		1:4	2.48	0.00	
3	BH23	1:3	2.30	0.00	
		1:4	2.95	0.00	
4	BH24	1:3	2.29	0.00	
		1:4	2.98	0.00	
5	BH25	1:3	2.23	0.18	Acceptable
		1:4	2.72	0.10	Acceptable

S.No.	Borehole	Slope	Factor of Safety	Probability of Failure (%)	Remarks
6	BH26	1:3	2.23	0.30	Acceptable
		1:4	2.17	0.10	Acceptable
7	BH27	1:3	2.54	1.00	Acceptable
		1:4	3.05	0.20	Acceptable
8	BH28	1:3	2.35	0.00	
		1:4	3.09	0.00	
9	BH29	1:3	2.36	0.00	
		1:4	3.06	0.00	
10	BH30	1:3	2.38	0.00	
		1:4	3.15	0.00	
11	BH31	1:3	2.32	0.00	
		1:4	3.03	0.00	
12	BH32	1:3	2.45	0.00	
		1:4	3.14	0.00	
13	BH33	1:3	2.52	0.00	
		1:4	3.25	0.00	
14	BH34	1:3	2.40	0.00	
		1:4	3.16	0.00	
15	BH35	1:3	3.00	0.00	
		1:4	3.82	0.00	
16	BH36	1:3	2.25	0.00	
		1:4	2.94	0.00	
17	BH37	1:3	2.24	0.00	
		1:4	2.94	0.00	

Borehole BH25, BH26 and BH27 has the possibility of failure and requires propoer attention during the excavation work. It has been determined that the slope 1:3 is acceptable for all boreholes except for BH25 and BH26.

4. Allowable water withdrawal

All the previous analysis has been conducted with an assumption that the water in lake will not be affected by the excavation work and will remain full throughout the year. But the analysis was also conducted by numerical modelling to determine the minimum water level that is permissible after the excavation work. The analysis was conducted for BH25 with slope 1:4 and BH37 for slope 1:4 and 1:3. It has already been discussed in previous sections regarding BH25 and need of avoiding this section during the excavation work. This analysis presents the impact at this location with removal of water. Similarly, BH37 was used in this analysis because this location has the minimum permissible factor of safety along the borehole location tested. It has been determined that, if excavation is continued in BH25 with slope 1:4, the water level should never be re-

duced. Similarly, it is not recommended to excavate the lake with excavation slope of 1:3 as factor of safety will be less than 1.3 even when the lake is completely filled (Figure 15). Likewise, for the excavation with slope 1:4, the maximum permissible reduction in water level is 5m and it is advised to consider this result during the excavation of Boeng Cheung Lake.

It is recommended to closely monitor the slope if the factor of safety is less than 1.3 after reduction of water level. It is required to investigate the source of water nearby that might be required if the water level reduces again. Likewise, if the factor of safety is less than 1.1, the water level should be filled in the lake and people nearby should be alarmed regarding the impact that might occur in coming days. If the factor safety reaches 1.0, the nearby area should be evacuated as soon as possible for the safety of people living nearby. It was informed by the client representatives that the water level will be constant throughout the year, this analysis was conducted to determine maximum permissible reduction in water level. If any unforeseen circumstances lead to the reduction in water level, there might be the necessity of further site investigation and further analysis

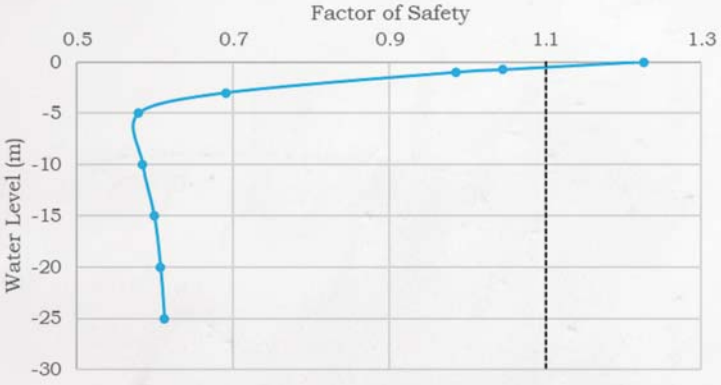


Figure 15 Factor of Safety Vs water level for BH 25 (1:4)

Figure 16 Factor of Safety Vs water level for BH 37 (1:3)

5. Instrumentation

There are specific instruments that geotechnical engineers install for the purpose of monitoring the behavior of geotechnical structures during its construction and operation. Its purpose is multi-fold, serving both investigative and monitoring functions that are in part a necessity to ensure the economic feasibility of the project operations and in part due diligence to ensure safe operations. Investigative functions includes providing an understanding of the ground conditions for prefeasibility and design purposes, providing input values for design calculations, and checking for changing ground conditions as workings progress to greater depths. Installation of instruments for monitoring the behavior of slope after the excavation is recommended for Boeng Cheung Lake.

Figure 17. Plan View showing the proposed Location of inclinometer

On the basis of site investigation and FEM analysis, it is recommended to install the inclinometer (Stark & Choi, 2008) every 500m and monitor constantly. The inclinometer should be placed close to the excavation slope and location should be accessible for monitoring the results. It is recommended to install the manual inclinometer as the probability of failure of the slope is low and impact due to its failure is not severe. The preliminary location of inclinometer is shown in Figure 17. It is recommended to install 14 inclinometers. The proposed number and location of the inclinometer is based on the preliminary analysis and its final number and location should be based on geological topography of the location. Likewise, it is also recommended to install the permanent benchmark in nearby location. The benchmark should be used to record Easting, Northing and Elevation at the location where inclinometers are installed. It also helps in observing the movement and settlement of the slope, if any.

6. Dredging mechanism and recommendation

Dredging is an excavation activity usually carried out at least partly underwater, in shallow seas or fresh water areas with the purpose of gathering up bottom sediments and disposing them at different location (Bray, 2008). The operation is undertaken by special floating plant, known as dredger. A dredgers can dig, transport and dump a certain amount of underwater laying soil in a certain time and can dig hydraulically or mechanically. Hydraulic digging make use of the erosive working of a water flow. The flow will erode the sand bed and forms a sand-water mixture before it enters the suction pipe. Hydraulic digging is mostly done with special water jets mostly in cohesionless soils such as silt, sand and gravel. Mechanical dredgers come in a variety of forms, each involving the use of grab or bucket to loosen the in-situ material and raise and transport it to the surface. The choice of the dredger for executing a dredging operation depends on conditions such as the accessibility to the site, weather and wave conditions, anchoring conditions, required accuracy and so on. Cutter suction dredger and Jet suction dredger are the two possible dredging equipment that can be used for the excavation.

To determine the type of dredger for excavation of Boeng Cheung Lake, consultation with the manufacturers of both cutting suction dredger and jet suction dredger was done. It was found that the clay layer needs to be removed first to extract the underlying sand layer. The general excavation depth of cutting suction dredger is 20m and if this remains true, it is highly advised to extend the excavation area and conduct additional site investigation work to obtain the same amount of sand. Since, the manufacturer has agreed to modify the dredger as per the requirement of the client (30 m depth) , the excavation work can be executed with cutter suction dredger. Likewise, we also know that the lake consists of clayey sand and sandy clay, and for using it, it is recommended to use additional sand washing machine.

If we are looking to just suck the sand without digging, then jet suction may be used but it can take overburden of around 3m only, so for the section with clay deposit greater than 3m, it might not be usable. Theoretically, the jet suction dredger can only be used for the extraction of cohesionless material (pure sand) and since the lake consists of sandy clay and clayey sand, the use of jet suction dredger is limited.

The presence of fine content and plasticity index in clayey sand is shown in Table 10. The soil contains high amount of fine content material and has high plasticity index. This soil cannot be extracted using jet suction dredger. Hence, based on the site investigation report, it has been observed that the jet suction dredger can only be used at certain sections.

Table 10 : Plasticity Index and Fine Content for Various Soil Property

S.No.	Soil Property	Plasticity Index (PI) %	Fine Content (FC) %
1	Clay (MH)	19.9 – 34.6	76.8 -93.3
2	Clayey Sand (CL)	16 - 27.8	50.5 – 83.2
3	Sandy Clay (SC)	7.2 – 12.8	26.7 – 44.3
4	Pure Sand (SM)	-	13.1 – 33.7

Therefore, cutting suction dredger is recommended for the excavation of Boeng Cheung Loung. It can be used for the excavation of clay layer and extract the sand. The clay should be properly relocated before extraction of sandy materials. The jet suction dredger as mentioned before can be used only at some locations where the depth of clay layer is less than 3m. It is also recommended to consult the manufacturer in detail about the possible equipment to be used since the capacity of the dredging equipment to meet our demand greatly depends upon the specifications of different models existing in the market. Nonetheless, whichever equipment is used, settlement will occur upon extraction of the sand which by the analysis shows not to be affecting area greater than 350 m.

7. Conclusion

Conceptual design of for the excavation of Boeng Cheung Loung Lake is proposed in this report. The analysis was based on the results from Site Investigation, LEM and FEM analysis. The conclusion and recommendation has been listed below:

1. It has been found that the location with BH28, BH29 and BH30 have sand layer in shallow layer and it is recommended to start the excavation from this section.

2. The amount of fine sand is found mostly in areas under BH 30, BH 29 and BH 28. Under BH 30, the sand is found at a depth nearly of 5 m whereas for BH 29 and BH 28 they are found at depths of 20 m. The red zone BH 26 – BH 25 and BH 24 consists of thick deposits of high plastic silt (MH) and is underlain by sandstone too. It is recommended to conduct further soil investigation (3 bore hole investigation) proximity to BH 30 to determine the soil property in this region. There is a high possibility that this region might have clean sand. The detail description of the borehole investigation result is as shown in Figure18 .

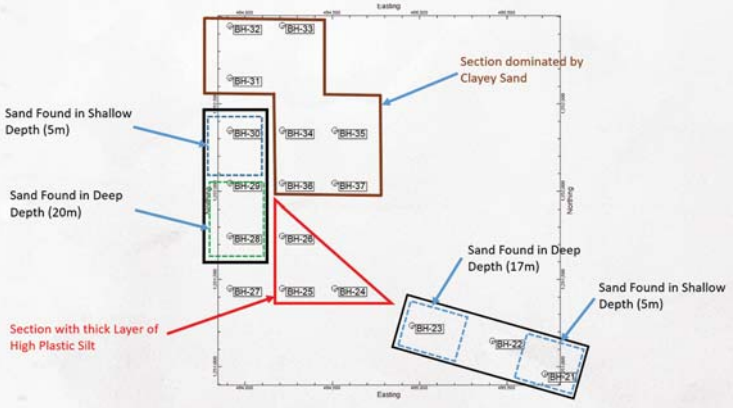


Figure 18. General information obtained from different sections

3. Soil Investigation at BH21, BH22 and BH23 shows the presence of pure sand layer. BH 23 and BH 25 consists of sand (SM) and are found in deeper (17 m) and shallow depths (5 m) respectively. However, in area B the stretch available for the excavation is not enough. To utilize the material of this section, its width needs to be increased and excavation should be carried out accordingly.

4. The factor of safety at location BH25 and BH26 is very low and if possible, it is recommended to avoid this area. If avoiding is not possible then slope of 1:4 (Figure 19) must be strictly used in this region with constant monitoring of the slope whereas in other boreholes 1:3 is satisfactory. If not, there is a possibility that this slope might fail during or after excavation.

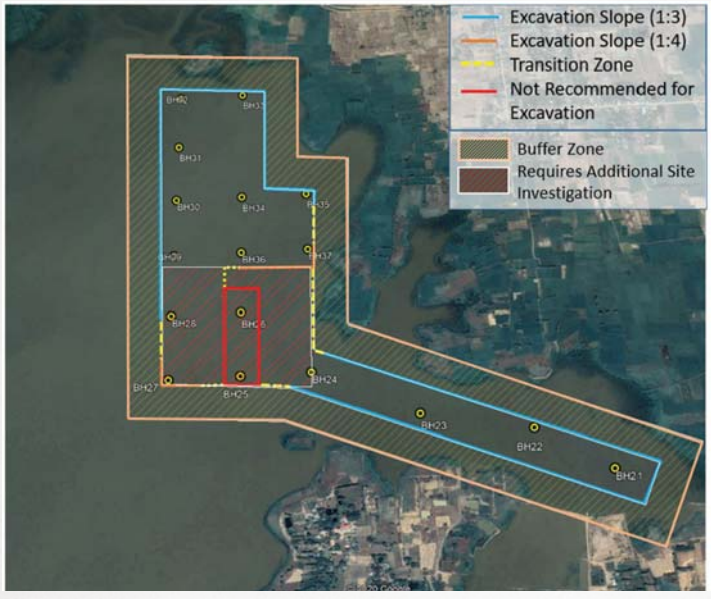


Figure 19. Plan view showing the proposed excavation slope and buffer Zone

5. From FEM results we can see that the high displacement in x-direction occurs for BH 27 and BH 28, ranging from 21 -25 cm, being more for slope at 1:3 than at 1:4. This is because of the low SPT values reported and the E modulus shall correspondingly decrease. Similarly, BH 23 also reported for lower SPT values throughout its depth (less than 10) which resulted in relatively larger displacement (27 cm for 1:3 slope, 12 cm for 1:4 slope). Other BH to consider are BH 36 and 37 with displacements ranging from 12 to 14 cm.

6. FEM analysis exhibited that the maximum distance that will be affected by the excavation work is 300m. The displacement at 300m for BH 27 was found to be around 1.25mm and 1.45mm for slope 1:4 and 1:3 respectively. So, the possible affected area by the excavation shall be not more than 350m from the point of excavation and hence it is recommended to maintain the buffer distance of 350m. It is also advised not to place any heavy equipment in the buffer zone.

7. For the excavation with slope 1:3, the maximum permissible reduction in water level is 4m. Likewise, for the excavation with slope 1:4, the maximum permissible reduction in water level is 6.5m.

8. The result from probabilistic analysis shows the possibility of failure at BH25, BH27 and BH28. So, it recommended to maintain the slope 1:4 at these locations and should be constantly monitored during the excavation period.

9. The quantity of clayey sand is high in Boeng Cheung Lake and it's highly recommended to clean the clay before using it for the construction of airport.

References

Bray, R. N. (2008). Environmental aspects of dredging: CRC Press.

Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., Swolfs, W., Waterman, D., Chesaru, A., & Bonnier, P. (2016). PLAXIS 2016. PLAXIS bv, the Netherlands.

Dawson, E., Roth, W., & Drescher, A. (1999). Slope stability analysis by strength reduction. Geotechnique, 49 (6), 835-840.

Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). Soil strength and slope stability: John Wiley & Sons.

Griffiths, D. V., & Fenton, G. A. (2007). Probabilistic methods in geotechnical engineering (Vol. 491): Springer Science & Business Media.

Santamarina, J., Altschaeffl, A., & Chameau, J. (1992). Reliability of slopes: incorporating qualitative information (abridgment). Transportation Research Record(1343).

Stark, T. D., & Choi, H. (2008). Slope inclinometers for landslides. Landslides, 5(3), 339-350.

Zhu, D., Lee, C., Qian, Q., Zou, Z., & Sun, F. (2001). A new procedure for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method. Canadian geotechnical journal, 38(4), 882-888.

วิศวกรรมดินถล่ม

หน่วยวิจัยวิศวกรรมดินถล่ม (Landslide Engineering Research Unit)

ศูนย์วิจัยฯ เล็งเห็นความสำคัญของภัยดินถล่มอย่างยิ่งและได้ทำการศึกษาวิจัยร่วมกับหลายหน่วยงานมาอย่างต่อเนื่อง อาทิ กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำ Asian Disaster Preparedness Center (ADPC) United Nations Development Programme (UNDP) เป็นต้น และได้รับทุนสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)โดยในระยะแรกเป็นการศึกษาพฤติกรรมของดินที่มีน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการถล่ม และต่อมาจึงได้พัฒนาเป็นแบบจำลองการวิเคราะห์พื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม รวมถึงการวิเคราะห์เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนสะสมสำหรับการเตือนภัยที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ การวิจัยดำเนินการมีทั้งการศึกษาเชิงลึกในพื้นที่ตัวอย่าง และการศึกษาในเชิงพื้นที่กว้าง โดยการศึกษาวิจัยเชิงลึกนั้นเป็นการศึกษาหาคุณสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) ในลักษณะการจำลองการเกิดฝนตกในพื้นที่ตัวอย่างและวิเคราะห์หาตัวแปรทางวิศวกรรมที่ที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม สำหรับงานวิจัยดินถล่มในเชิงพื้นที่กว้าง จะอาศัยเกณฑ์กำหนดและแบบจำลองจากการศึกษาเชิงลึกเพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยมีการศึกษาร่วมกับศูนย์บริการวิชาการและเผยแพร่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาด้วยระบบ DVB-S คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.) โดยนำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในการเตือนภัยด้านดินถล่มในเชิงพื้นที่กว้างนี้ด้วย ทั้งนี้ในปัจจุบันได้เริ่มเน้นการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เตือนภัยโดยใช้เทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้จริงและได้ติดตั้งอุปกรณ์เตือนภัยในหลายพื้นที่ในประเทศไทย

โครงการสำคัญในปี พ.ศ. 2559-2561

- โครงการศึกษาพฤติกรรมการเกิดดินถล่มเพื่อการป้องกันและสร้างระบบเตือนภัยดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ: พื้นที่ต้นแบบบ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย (ระยะที่ 2): สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)
- โครงการ “การรับมือภัยพิบัติดินถล่มในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุงฯ”: โครงการพัฒนาดอยดุง
- Landslide Disaster and Climate Risk Management (LDCRM) and Climate change impact assessment: ADAP-T Project
- Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System for Africa and Asia (RIMES) as Technical Expert -Geology Position: RIMES, UNDP
- จ้างเหมาบริการจัดทำข้อเสนอแนะในการป้องกันน้ำใต้ดินและน้ำท่วมขังของแหล่งขึ้นทะเบียนซากฯ บริเวณไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 และไม้กลายเป็นหินที่พบใหม่ในสระน้ำ: กรมทรัพยากรธรณี

การประยุกต์ใช้การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในงานสำรวจดินถล่มพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

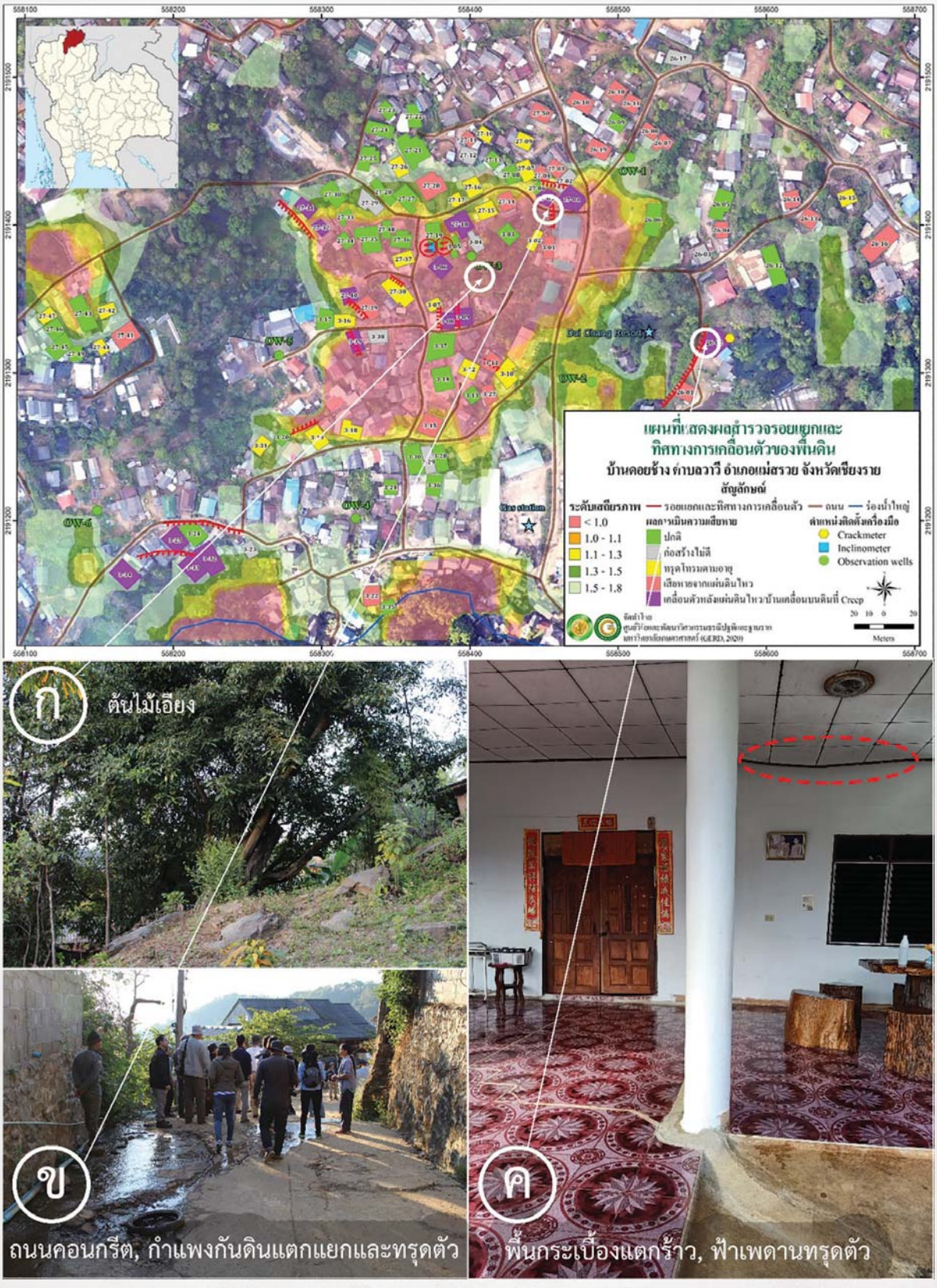
สิริศาสตร์ ยังแสนภู
ลักษมี ยังแสนภู
ศศิมา อยู่เจริญ
วรวัชร์ ตอวิวัฒน์
รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

1. บทนำ

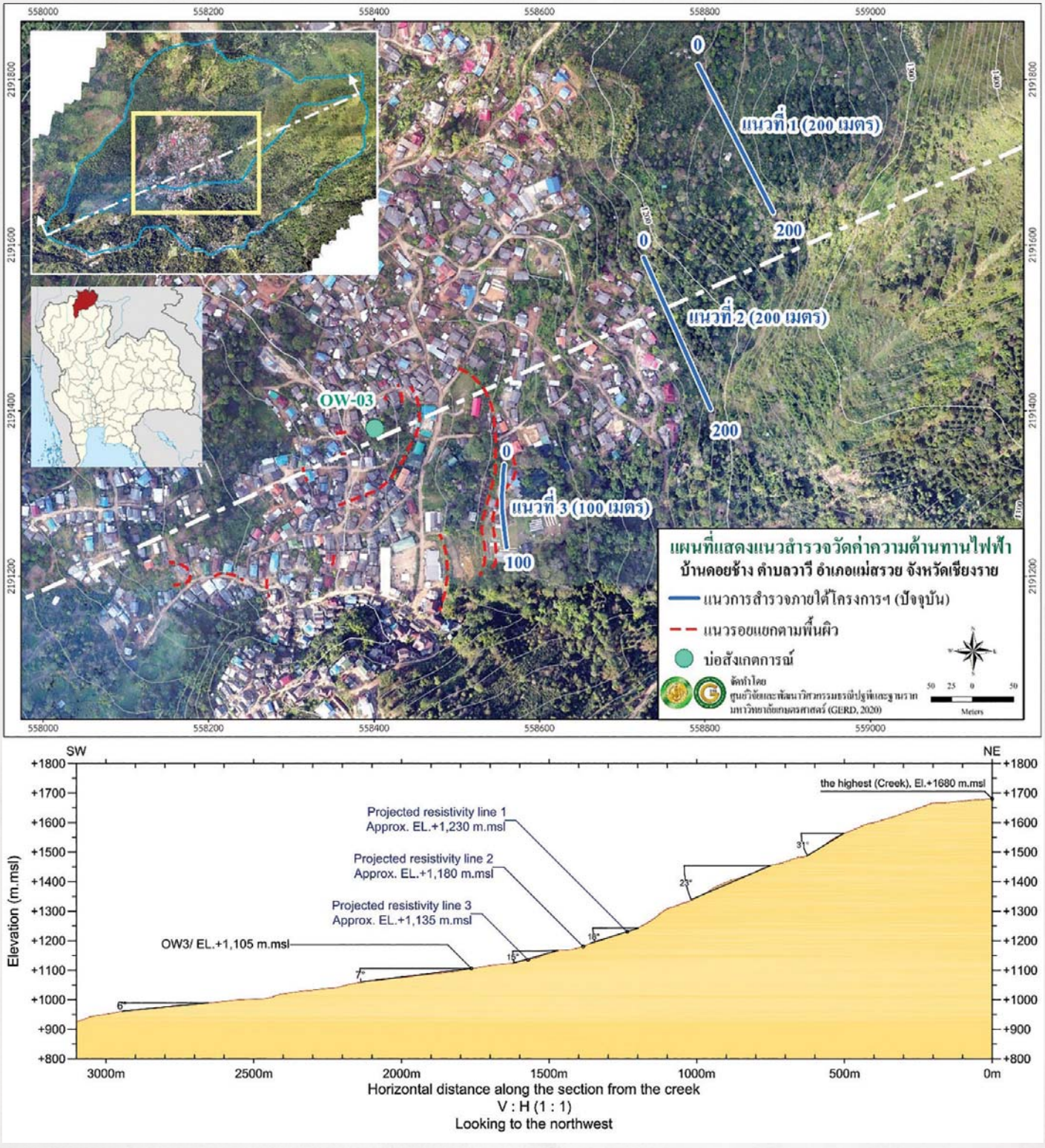
บ้านดอยช้างเป็นพื้นที่ที่พบปัญหาการเคลื่อนตัวของมวลดินหรือดินถล่ม (Landslide) จนเกิดความเสียหายทางกายภาพต่อบ้านเรือนและทรัพย์สินของชาวบ้าน ลักษณะความเสียหายทางกายภาพที่เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในบริเวณพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของมวลดิน คือ รอยแตกร้าว การแยกตัว และการทรุดตัว ส่วนใหญ่ปรากฏในสิ่งก่อสร้างที่มีวัสดุทำมาจากคอนกรีต แสดงตัวอย่างลักษณะความเสียหายทางกายภาพดังรูปที่ 1 ปัจจุบันบ้านดอยช้างเป็นที่อยู่อาศัยกันอย่างหนาแน่นของพี่น้องชาวไทยภูเขา 3 ชนเผ่า ประกอบด้วย อ่าข่า ลีซอ และจีนฮ่อ โดยอยู่รวมกันประมาณ 1,000 ครัวเรือน และมีอาชีพหลัก คือ การทำเกษตรกรรม เช่น ไร่กาแฟ และสวนผลไม้เมืองหนาว เป็นต้น หากเกิดเหตุการณ์ดินถล่มที่มีความรุนแรงมากขึ้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบสูงทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey) อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 6431-99 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและตรวจสอบลักษณะธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่อาจมีความเกี่ยวข้องกับปัญหาการเคลื่อนตัวของมวลดิน ซึ่งเป็นพื้นที่ด้านล่างของพื้นที่สำรวจ การสำรวจถูกออกแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ 4 Electrodes ใช้รูปแบบเวนเนอร์-ชลัมเบอร์แจร์ (Wenner-Schlumberger Array) และเก็บข้อมูลแบบ 2 มิติ (Profiling, 2D Electrical Imaging) โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่น้อยที่สุด 5 เมตร ขยับตำแหน่งการวัดค่าตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตลอดแนวสำรวจ จากนั้นทำการขยายระยะออกเป็นจำนวนเท่า ไปจนถึงความยาวสูงสุดของแต่ละแนวสำรวจ ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็นภาพตัดขวางจำลอง (Pseudo-section) และแปลความหมายลักษณะธรณีวิทยาใต้ผิวดิน ผลที่ได้จากการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิเคราะห์และการออกแบบโครงสร้างป้องกันทางธรณีวิศวกรรมที่เหมาะสมกับพื้นที่ต่อไป

2. ตำแหน่งพื้นที่สำรวจ

ตั้งอยู่บริเวณลาดดินด้านบนของพื้นที่ที่พบปัญหาการเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี จังหวัดเชียงราย พื้นที่สำรวจเป็นพื้นที่ปลูกต้นกาแฟและมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ลาดเชิงเขา มีระดับความสูงประมาณ 1,100-1,250 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และมีความลาดชัน 15-20 องศา แสดงตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ตัวอย่างความเสียหายทางกายภาพที่เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในบริเวณพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของมวลดิน



รูปที่ 2 ตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย (อ้างอิงข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน, 2561)

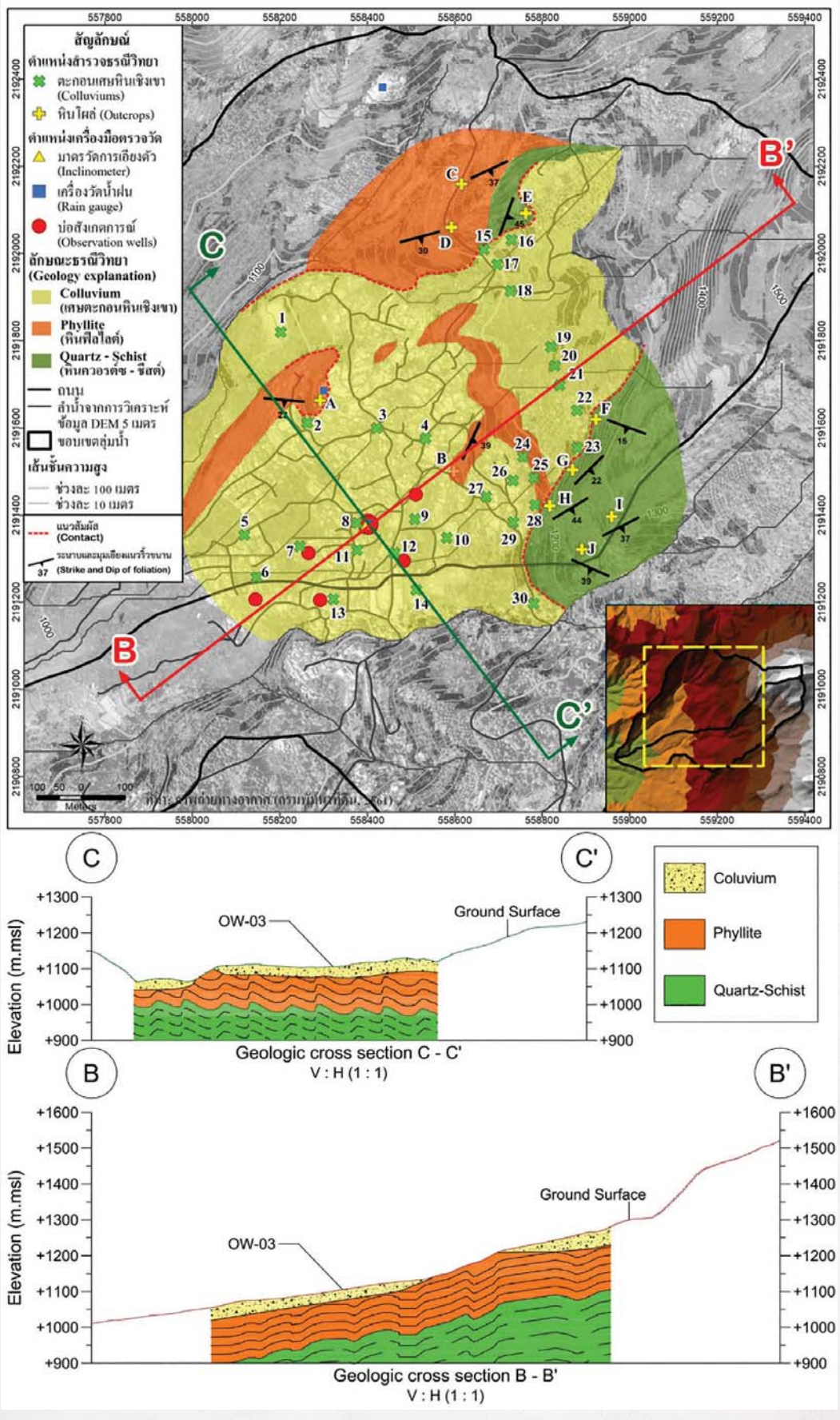
3. ลักษณะธรณีวิทยาผิวดินบริเวณพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างจากการสำรวจในสนาม

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในสนามด้วยสายตา (Visual Inspection) ทั้งจากผลการศึกษาเดิมและการสำรวจภายใต้โครงการในปัจจุบัน สามารถเก็บข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาในจุดที่พบหินโผล่ (Outcrop) และจุดที่ถูกปกคลุมด้วยมวลดิน (Soil covered) ลักษณะธรณีวิทยาชนิดหินที่พบในสนามมีความสอดคล้องกับข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาทั่วไป โดยพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างตั้งอยู่บนลักษณะธรณีวิทยาหินแปร 2 ชนิด ได้แก่ หินควอรตซ์ชีสต์ และหินฟิลไลต์ บริเวณด้านบนของหินทั้งสองชนิดส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยมวลตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium) มีความหนาของมวลไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริเวณที่พบ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาตำแหน่งข้อมูลธรณีวิทยาในสนามกับข้อมูลความลาดชันที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล DEM5m (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) ยังพบด้วยว่าตำแหน่งที่พบหินโผล่เป็นตำแหน่งที่มีความลาดชันมากกว่า 20 องศา และตำแหน่งที่ถูกปกคลุมด้วยมวลดินเป็นตำแหน่งที่มีความลาดชันน้อยกว่า 20 องศา จากข้อมูลการสำรวจในสนามและข้อมูลความลาดชันที่ได้การวิเคราะห์ข้อมูล DEM5m สามารถสร้างแผนที่ลักษณะธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างได้ดังรูปที่ 3 สำหรับรายละเอียดข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาที่พบในสนาม (รูปที่ 5) สามารถอธิบายสรุปดังนี้

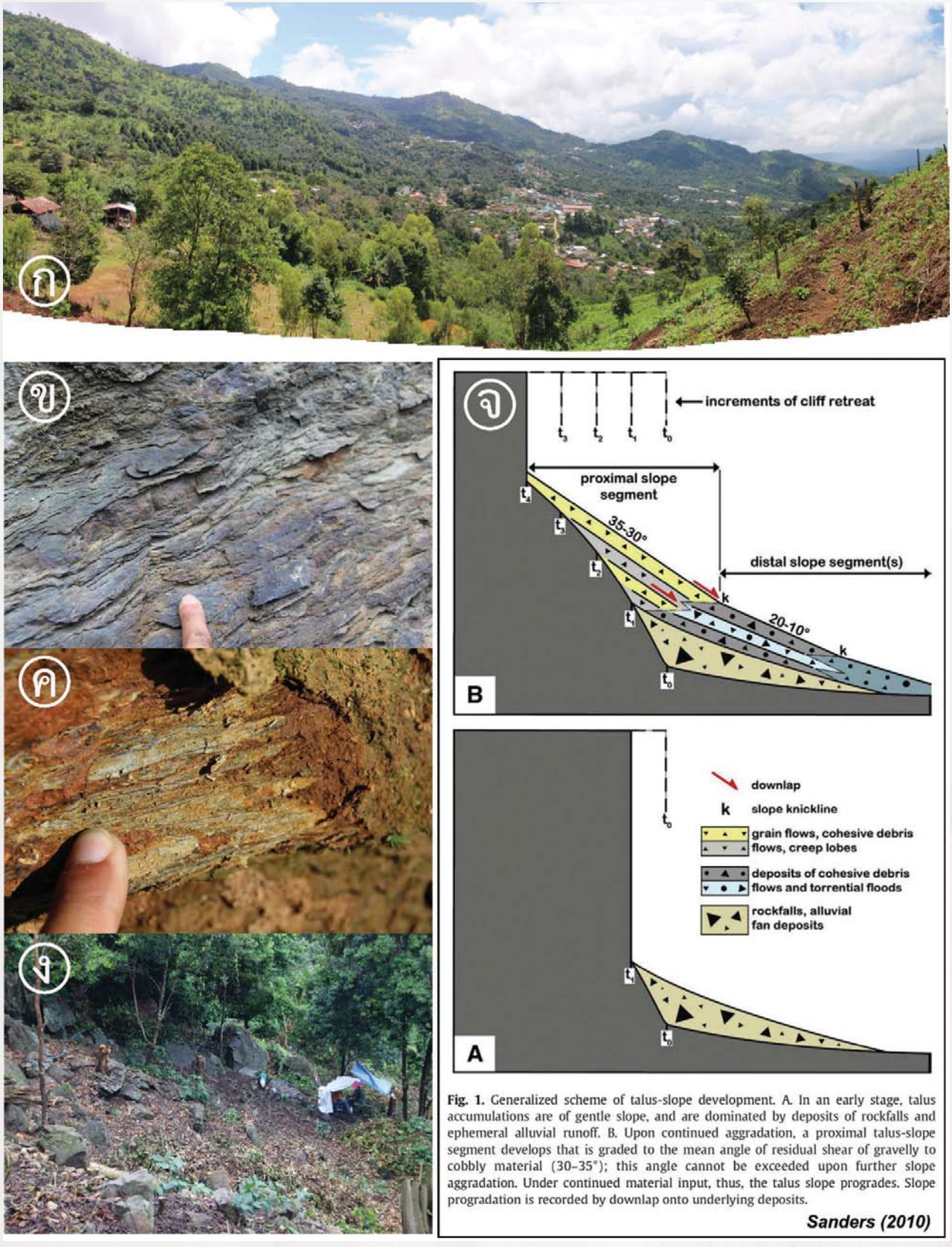
(ก) ลักษณะธรณีวิทยาในตำแหน่งที่พบหินโผล่

บริเวณพื้นที่ภูเขาและหน้าชันทางด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ของพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง มีลักษณะธรณีวิทยาเป็นหินควอรตซ์ชีสต์ (Quartz-Schist) สีเทาดำ เนื้อหินแสดงแนวริ้วขนาน (Foliation) และมีความมันวาวอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหินแปร บางบริเวณพบการแทรกตัวของแร่ควอรตซ์สีขาว (ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริคเจือจาง 10% w/w) สำหรับพื้นที่ภูเขาและพื้นที่ที่มีความลาดชันทางด้านทิศตะวันตกและบางจุดในบริเวณพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง มีลักษณะธรณีวิทยาเป็นหินฟิลไลต์ (Phyllite) สีน้ำตาลอมเหลือง หินแสดงแนวริ้วขนานและมีความมันวาว แต่มีระดับการผุพัง (Degree of Weathering) รวมถึงความหนาแน่นของรอยแตกในมวลหินสูงกว่าหินควอรตซ์ชีสต์

(ข) ลักษณะธรณีวิทยาในตำแหน่งที่ถูกปกคลุมด้วยมวลดิน มวลดินที่ปกคลุมอยู่ในพื้นที่บ้านดอยช้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่พบการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นชั้นดินที่อยู่ในลักษณะของเศษหินตะกอนเชิงเขา (Colluvium) และวัสดุถม (Filled) เกิดจากการกระบวนการสะสมตัวในอดีตจากมวลแตกหักของหินควอรตซ์ชีสต์ และหินฟิลไลต์ และดินที่เกิดจากการผุพังของหินอยู่กับที่ (Residual soil) ในพื้นที่ต้นน้ำที่มีลักษณะภูมิประเทศสูงชัน ถูกพัดพาลงมาโดยน้ำและกลไกต่าง ๆ จากแรงโน้มถ่วงของโลกสะสมตัวในพื้นที่ที่มีระดับความสูงต่ำกว่าหรือพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า ปัจจุบันพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยมวลดินนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ปลูกต้นกาแฟ มวลเศษหินตะกอนเชิงเขา (Colluvium) ประกอบด้วย 2 วัสดุ ได้แก่ เศษมวลหินและดิน โดยเศษมวลหินประกอบด้วยเศษหินแตกหักของหินควอรตซ์ชีสต์ และหินฟิลไลต์ เป็นมวลก้อนที่มีลักษณะเหลี่ยมขนาดตั้งแต่ 20 เซนติเมตร ไปจนถึงมากกว่า 5 เมตร จากการสำรวจในสนามพบว่าเศษหินที่มีขนาดใหญ่สะสมตัวใกล้กับบริเวณพื้นที่ภูเขาและหน้าชัน โดยมีแนวโน้มของขนาดเล็กลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น สำหรับดินที่ผสมและปะปนกับมวลเศษหิน ประกอบด้วย ดินทรายและดินทรายแป้ง สีน้ำตาลอมดำ สีเทาดำ และสีน้ำตาลอมแดง



รูปที่ 3 แผนที่ลักษณะธรณีวิทยาพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างและภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาที่ได้จากการแปลความหมายโดยอาศัยข้อมูลการสำรวจในสนาม



รูปที่ 5 (ก) ภาพถ่ายบรรยากาศโดยรวมพื้นที่บ้านดอยช้าง (ข) หินควอรตซ์ชีสต์ผุ (ค) หินฟิลไลต์ผุ (ง) เศษหินตะกอนเชิงเขาและ (จ) กระบวนการอธิบายการสะสมตัวของเศษหินตะกอนเชิงเขาในพื้นที่ (อ้างอิงจาก Sanders, 2010)

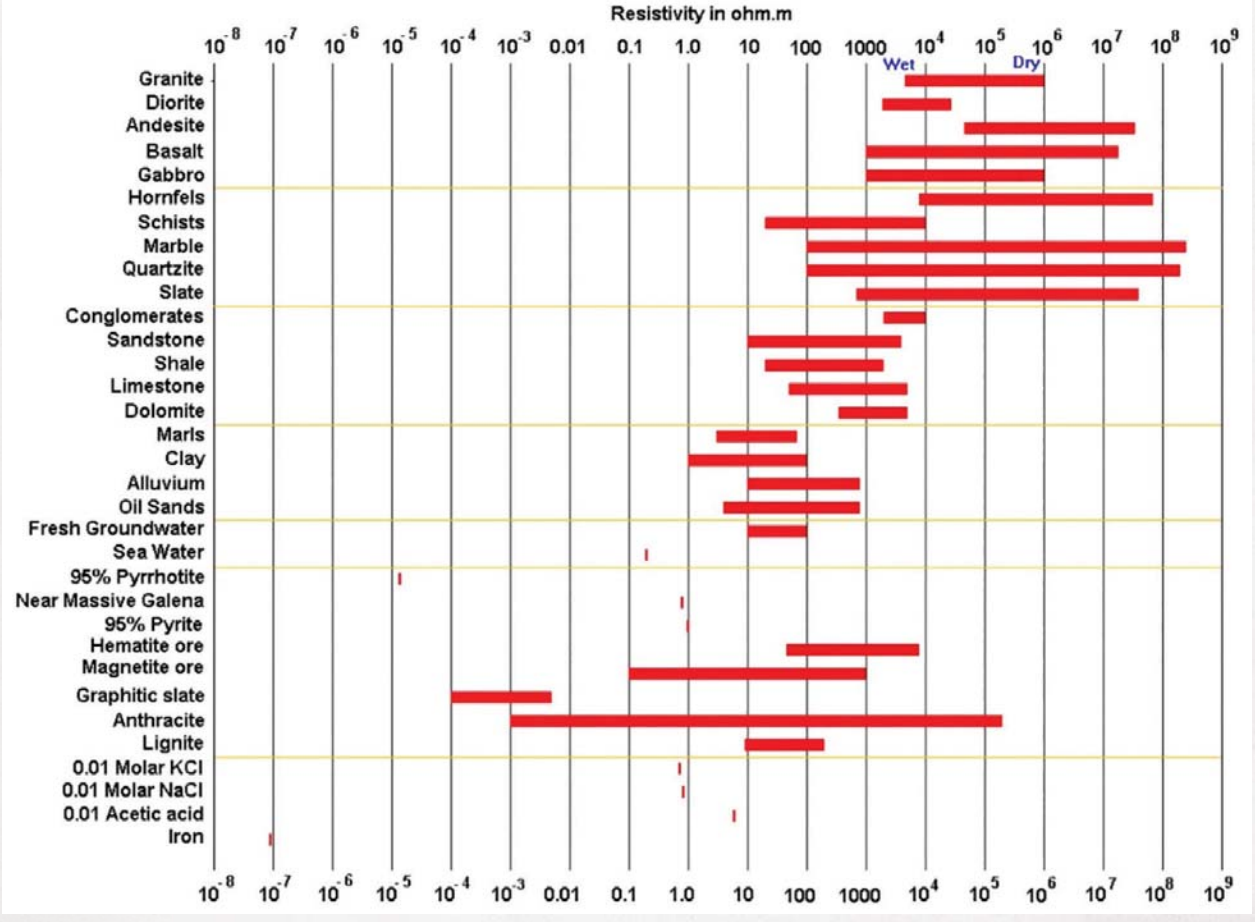
4. หลักการสำรวจ

การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าหรือการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (นิยมเรียกว่า Resistivity survey) อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 6431-99 เป็นการสำรวจทางด้านธรณีฟิสิกส์ อาศัยหลักการสำคัญที่ว่า “วัสดุต่างชนิดกัน (ดิน หิน แร่ธาตุ หรือ น้ำ) ย่อมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน” (แสดงตัวอย่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุดังรูปที่ 6) โดยทั่วไปแร่ประกอบหินในเปลือกโลกมีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เนื่องจากช่องว่างตามธรรมชาติในเนื้อดินและหิน เช่น รูพรุน รอยแยก และรอยแตก เป็นต้น มีน้ำที่มีไอออนหรือประจุไฟฟ้าต่าง ๆ ปะปนอยู่ เมื่อไอออนหรือประจุไฟฟ้าในน้ำเคลื่อนไหลระหว่างช่องว่างต่อช่องว่างในเนื้อดินและหิน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลใต้ผิวดินได้ สภาพการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหรือสภาพความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและปัจจัยแวดล้อมของพื้นที่ ณ ช่วงเวลาสำรวจ ยกตัวอย่างเช่น การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในฤดูฝนและฤดูแล้ง ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกันแม้เป็นพื้นที่เดียวกัน ทั้งนี้เพราะสภาพการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีความแตกต่างกันจากความชื้นตามฤดูกาล

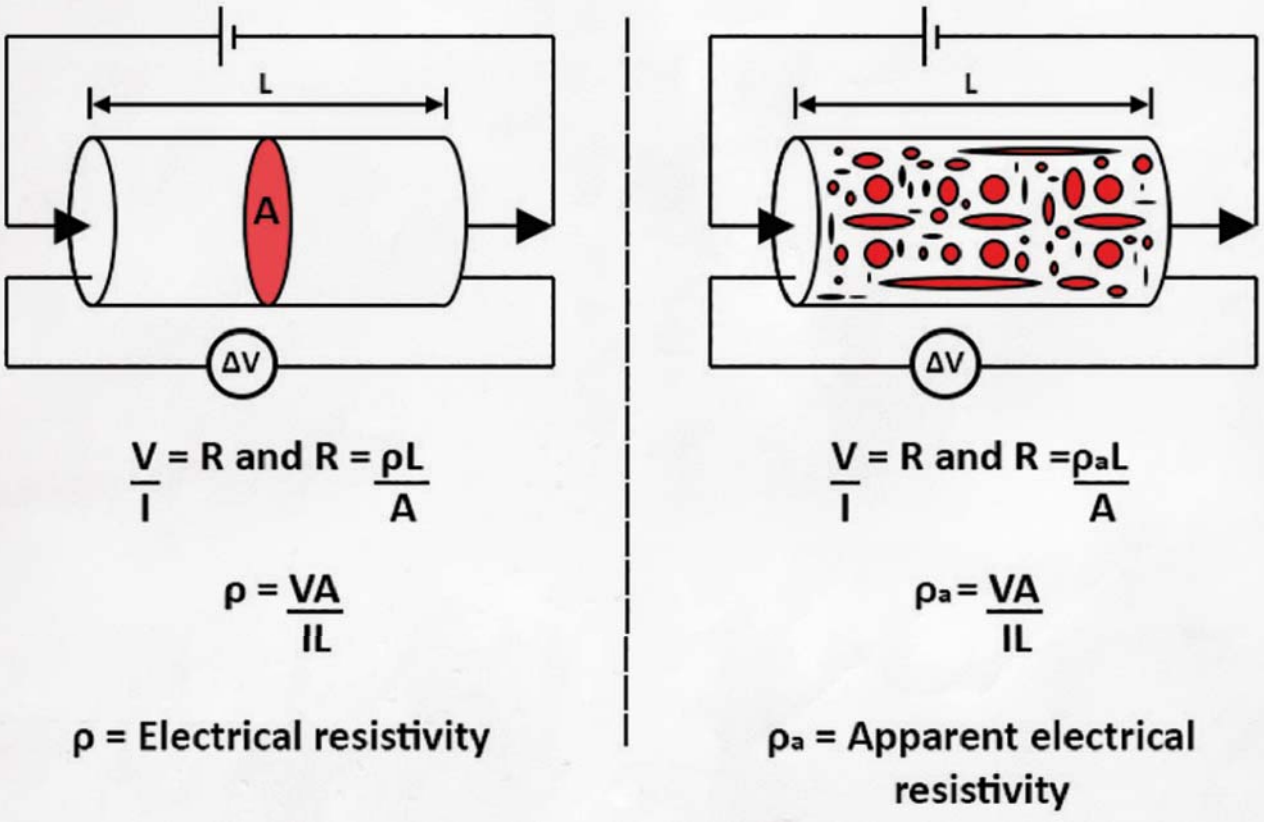
หลักการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ดำเนินการโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้า (I) ลงสู่พื้นดินด้วยแท่งโลหะ C1 และ C2 ด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current, DC) หรือใช้กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้า ๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง จากนั้นวัดค่าความต่างศักย์ (V) ที่เกิดขึ้นใต้ผิวดิน โดยใช้แท่งโลหะ P1 และ P2 วัดค่าด้วยเครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ในสนามเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Resistivity, ρa) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho a = k * (V/I)$$

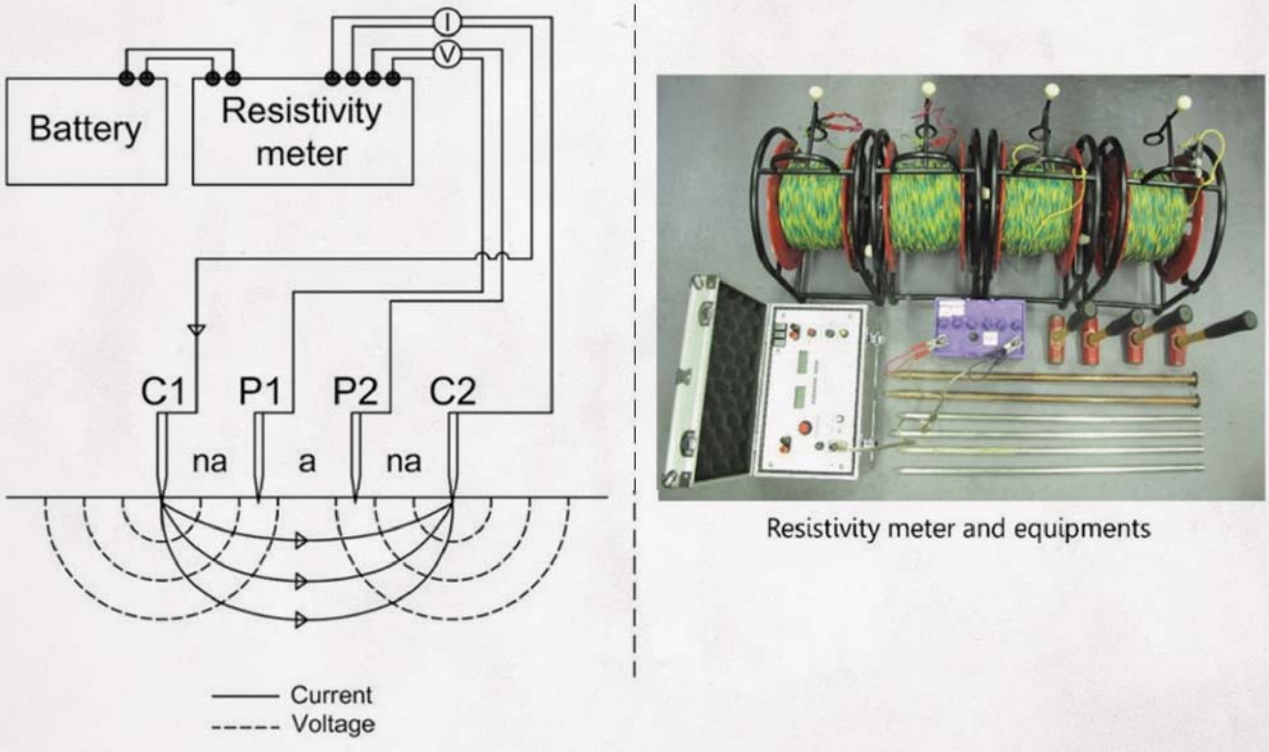
เมื่อ ρa = ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (โอห์ม-เมตร)
V = ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นใต้ผิวดิน (โวลต์)
I = ค่ากระแสไฟฟ้าลงสู่พื้นดิน (แอมแปร์)
K = Geometric Factor (ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า)



รูปที่ 6 ตัวอย่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ (M.H. Loke, 2001)



รูปที่ 7 หลักการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 8 รูปแบบการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

5. การวางแนวการสำรวจ

มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรง เป็นบริเวณที่สามารถตอกแท่งโลหะบนพื้นผิวตามลักษณะภูมิประเทศเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่พื้นดินและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ตลอดแนวสำรวจ แนวสำรวจเป็นได้ทั้งลักษณะแนวราบเรียบและแนวขรุขระ ในกรณีพื้นที่แนวสำรวจมีความสูง-ต่ำไม่เท่ากันหรือมีการเอียงมากกว่า 10 องศา จากแนวระดับ จะมีปรับแก้ผลที่เกิดจากความสูง-ต่ำของพื้นที่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับความยาวของแนวสำรวจขึ้นอยู่กับความลึกของการแปลความที่ต้องการ ซึ่งความลึกในบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวสำรวจจะมีค่าประมาณ 0.2 เท่าของความยาว การดำเนินการครั้งนี้มีขอบเขตและต้องการความลึกการแปลความไม่น้อยกว่า 20 เมตร จากระดับผิวดิน ดังนั้นแนวสำรวจจึงถูกออกแบบให้มีความยาวไม่น้อยกว่า 100 เมตร โดยพยายามวางแนวสำรวจให้ตัดขวางกับทิศการไหลให้มากที่สุด

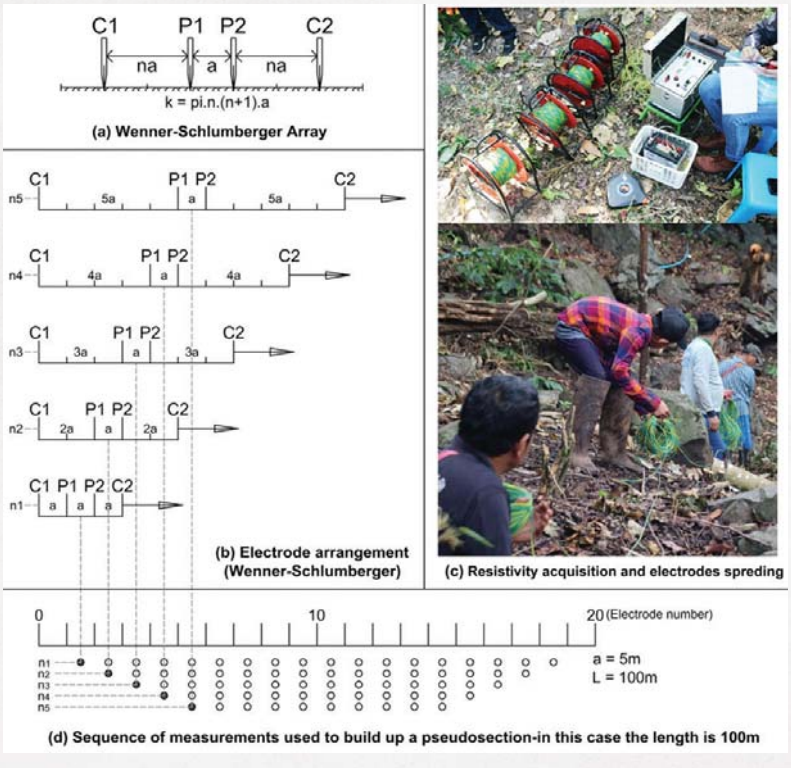
6. จำนวนและความยาวแนวสำรวจ

แนวสำรวจวัดค่าความความต้านทานไฟฟ้า มีจำนวนทั้งหมด 3 แนว ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 มีความยาวรวมกันทั้งหมด 500 เมตร (ขอบเขตการดำเนินงานระบุให้ความยาวการสำรวจไม่น้อยกว่า 400 เมตร) ประกอบด้วย แนวที่ 1 ความยาว 200 เมตร วางตัวอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่ด้านบนสุด แนวที่ 2 ความยาว 200 เมตร วางตัวอยู่ในพื้นที่ถัดลงมา และแนวที่ 3 ความยาว 100 เมตร วางตัวอยู่ในพื้นที่ด้านล่างสุด

7. การวางขั้วไฟฟ้าและรูปแบบการเก็บข้อมูลในสนาม ใช้การวางขั้วแบบ 4 Electrodes และใช้รูปแบบเวนเนอร์-ชลัมเบอร์แจร์ (Wenner-Schlumberger Array) ซึ่งมีค่า Geometric Factor (k) เท่ากับ **Л**n(n+1)a แสดงดังรูปที่ 9 (a) โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (Unit spacing, a) ที่น้อยที่สุด คือ 5 เมตร ขยับตำแหน่งวัดค่าตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตลอดแนวสำรวจ จากนั้นทำการขยายระยะออกเป็นจำนวนเท่า (na) ไปจนถึงความยาวสูงสุดของแนวสำรวจ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างภาพตัดขวางจำลอง 2 มิติ (Profiling, 2D) สามารถแสดงตัวอย่างรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าและการเก็บข้อมูลในพื้นที่ดังรูปที่ 9

8. การสร้างภาพตัดขวางจำลอง (Pseudo-section)

การแปลความหมายลักษณะธรณีวิทยาใต้ผิวดินพิจารณาจากข้อมูลภาพตัดขวางจำลองย้อนกลับ (Inverse Model Resistivity Section) ซึ่งได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการนำผลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ในสนามมาประมวลผล ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ในสนามจะถูกนำมาแปลความหมายแบบย้อนกลับ (inverse modeling) และสร้างเป็นข้อมูลภาพตัดขวางจำลองย้อนกลับ (Inverse Model Resistivity Pseudo-section) ด้วยโปรแกรมแปลความสำเร็จรูปแบบ 2 มิติ (สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีทางอินเตอร์เน็ต) ภาพตัดขวางจำลองย้อนกลับที่เกิดขึ้นจะถูกปรับเปลี่ยนรูปจำลองทางธรณีวิทยาให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ในสนาม จากนั้นนำมาแปลความหมายลักษณะธรณีวิทยาใต้ผิวดิน



รูปที่ 9 (a-b) รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบเวนเนอร์-ชลัมเบอร์แจร์ (c) การตรวจวัดค่าและการขยายระยะห่าง (d) ตำแหน่งและความลึกที่แตกต่างกันของการตรวจวัด ตามระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

9. ผลการสำรวจและการแปลความหมายลักษณะธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

ผลการสำรวจและการแปลความหมายค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณลาดดินด้านบนของพื้นที่ที่พบปัญหาการเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างของแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3 สามารถแสดงดังรูปที่ 10

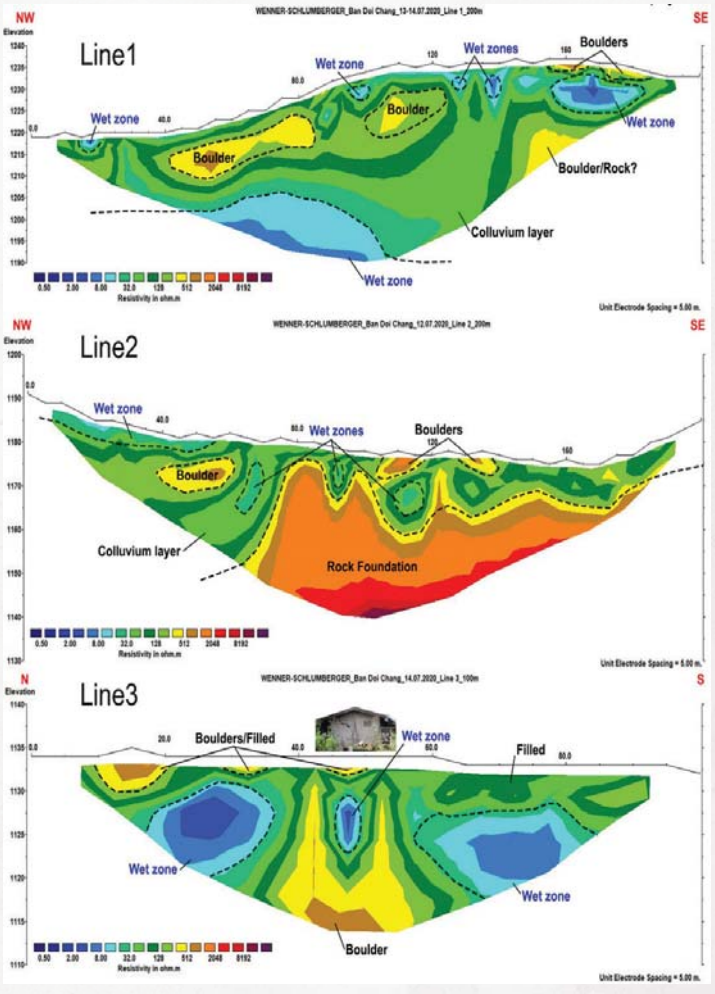
(ก) แนวสำรวจที่ 1

มีความยาวของแนวสำรวจ 200 เมตร วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ พาดผ่านพื้นที่เพาะปลูกต้นกาแฟ บริเวณจุดสิ้นสุดของแนวสำรวจ (ที่ระยะ 200 เมตร) อยู่ใกล้กับหน้าผาหิน ความลึกของการแปลความลึกที่สุด ซึ่งเป็นความลึกในบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวสำรวจ มีความลึกประมาณ 40 เมตร จากระดับผิวดิน ผลที่ได้พบว่าแนวสำรวจแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน ประมาณ 2-1,024 โอห์ม.เมตร มีการกระจายตัวและความแปรปรวนของค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยแสดงลักษณะเป็นกลุ่มก้อนไม่มีความต่อเนื่องกันในแนวระดับ บริเวณด้านบนของแนวสำรวจมีแนวโน้มของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณด้านล่าง

ตลอดแนวสำรวจ คาดว่าถูกปกคลุมด้วยตะกอนเศษหินขนาดใหญ่และชั้นดินหรือตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium deposits: Qc) ที่เกิดจากการพัดพาจากพื้นที่ภูเขาลงมาสะสมตัวในบริเวณนี้ ทั้งนี้เนื่องจากชั้นนี้แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 16-1,024 โอห์ม.เมตร ในลักษณะแบบกลุ่มก้อนคล้ายลักษณะหินลอย (Boulder) อยู่ด้านบนตลอดแนวสำรวจ ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะธรณีที่ปรากฏอยู่บริเวณผิวดินของแนวสำรวจ จากลักษณะของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นคาดว่าชั้นนี้อาจมีความหนาประมาณ 20-40 เมตร บริเวณด้านล่างสุดและบางบริเวณของแนวสำรวจ ที่ความลึกประมาณ 5-25 จากระดับผิวดิน แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 1-16 โอห์ม.เมตร โดยแสดงการกระจายตัวแบบไม่ต่อเนื่องกันในแนวระดับ แทรกตัวอยู่ในชั้นตะกอนเศษหินเชิงเขา ลักษณะดังกล่าวนี้จัดเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกติ (Low Resistivity Anomaly) ที่อาจเกิดจากการแทรกซึมของน้ำจนทำให้บริเวณอิ่มตัวไปด้วยน้ำแบบเฉพาะจุด (Wet Zone) เนื่องจากน้ำหรือความชื้นจะส่งผลวัสดุมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อพิจารณาจากความลึกและขนาด คาดว่าบริเวณค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกตินี้เป็นบริเวณที่มีการไหลของทางน้ำใต้ดิน

(ข) แนวสำรวจที่ 2

อยู่ถัดลงมาและมีค่าระดับความสูงน้อยกว่าแนวสำรวจที่ 1 แนวสำรวจนี้มีความยาว 200 เมตร วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ พาดผ่านพื้นที่เพาะปลูกต้นกาแฟ บริเวณจุดสิ้นสุดของแนวสำรวจ (ที่ระยะ 200 เมตร) อยู่ใกล้กับหน้าผาหินคล้ายแนวสำรวจที่ 1 ความลึกสูงสุดของการแปลความในบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวสำรวจ มีความลึกประมาณ 40 เมตร จากระดับผิวดิน ผลที่ได้พบว่าแนวสำรวจแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน ประมาณ 8-16,384 โอห์ม.เมตร บริเวณด้านบนมีการกระจายตัวและความแปรปรวนของค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยแสดงลักษณะเป็นกลุ่มก้อนไม่มีความต่อเนื่องกันในแนวระดับ บริเวณด้านล่างแสดงลักษณะเป็นมวลหนาหรือเป็นผืน มีความต่อเนื่องกันในแนวระดับและมีแนวโน้มค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 ผลการสำรวจและการแปลความหมายค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณลาดดินด้านบนของพื้นที่ที่พบปัญหาการเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง

บริเวณด้านบนของแนวสำรวจ คาดว่าถูกปกคลุมด้วยตะกอนเศษหินขนาดใหญ่และชั้นดินหรือตะกอนเศษหินเชิงเขา

เนื่องจากชั้นนี้แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 32-2,048 โอห์ม.เมตร ในลักษณะแบบกลุ่มก้อนคล้ายลักษณะหินลอยอยู่ด้านบนตลอดแนวสำรวจ ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะธรณีที่ปรากฏอยู่บริเวณผิวดินของแนวสำรวจ จากลักษณะของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น คาดว่าชั้นนี้อาจมีความหนาประมาณ 5-40 เมตร ในชั้นนี้ที่ความลึกประมาณ 5-15 จากระดับผิวดิน แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 8-32 โอห์ม.เมตร โดยแสดงการกระจายตัวแบบไม่ต่อเนื่องกันในแนวระดับ แทรกตัวอยู่ในชั้นตะกอนเศษหินเชิงเขา ลักษณะดังกล่าวนี้จัดเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกติ ที่อาจเกิดจากการแทรกซึมของน้ำจนทำให้บริเวณอิ่มตัวไปด้วยน้ำแบบเฉพาะจุด เนื่องจากน้ำหรือความชื้นจะส่งผลวัสดุมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อพิจารณาจากความลึกและขนาด คาดว่าบริเวณค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกตินี้เป็นบริเวณที่มีการไหลของทางน้ำใต้ดินและบริเวณล่างสุด แสดงลักษณะเป็นมวลหนาหรือเป็นผืน มีความต่อเนื่องกันในแนวระดับและมีแนวโน้มค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 512-16,384 โอห์ม.เมตร คาดว่าชั้นนี้เป็นชั้นหินฐานราก (Rock Foundation) ที่มีลักษณะเป็นมวลและผืนหนา

(ค) แนวสำรวจที่ 3

เป็นแนวสำรวจที่อยู่ล่างสุด แนวสำรวจนี้มีความยาว 100 เมตร วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ พาดผ่านเขตบ้านเรือนและพื้นที่วัสดุถม (Filled materials) ที่มีลักษณะพื้นผิวราบเรียบ โดยมีฝายกั้นน้ำขนาดเล็กอยู่ด้านบนของแนวสำรวจ ความลึกสูงสุดของการแปลความในบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวสำรวจ มีความลึกประมาณ 20 เมตร จากระดับผิวดิน ผลที่ได้พบว่าแนวสำรวจแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน ประมาณ 2-1,024 โอห์ม.เมตร มีการกระจายตัวและความแปรปรวนของค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยแสดงลักษณะเป็นกลุ่มก้อนไม่มีความต่อเนื่องกันในแนวระดับ

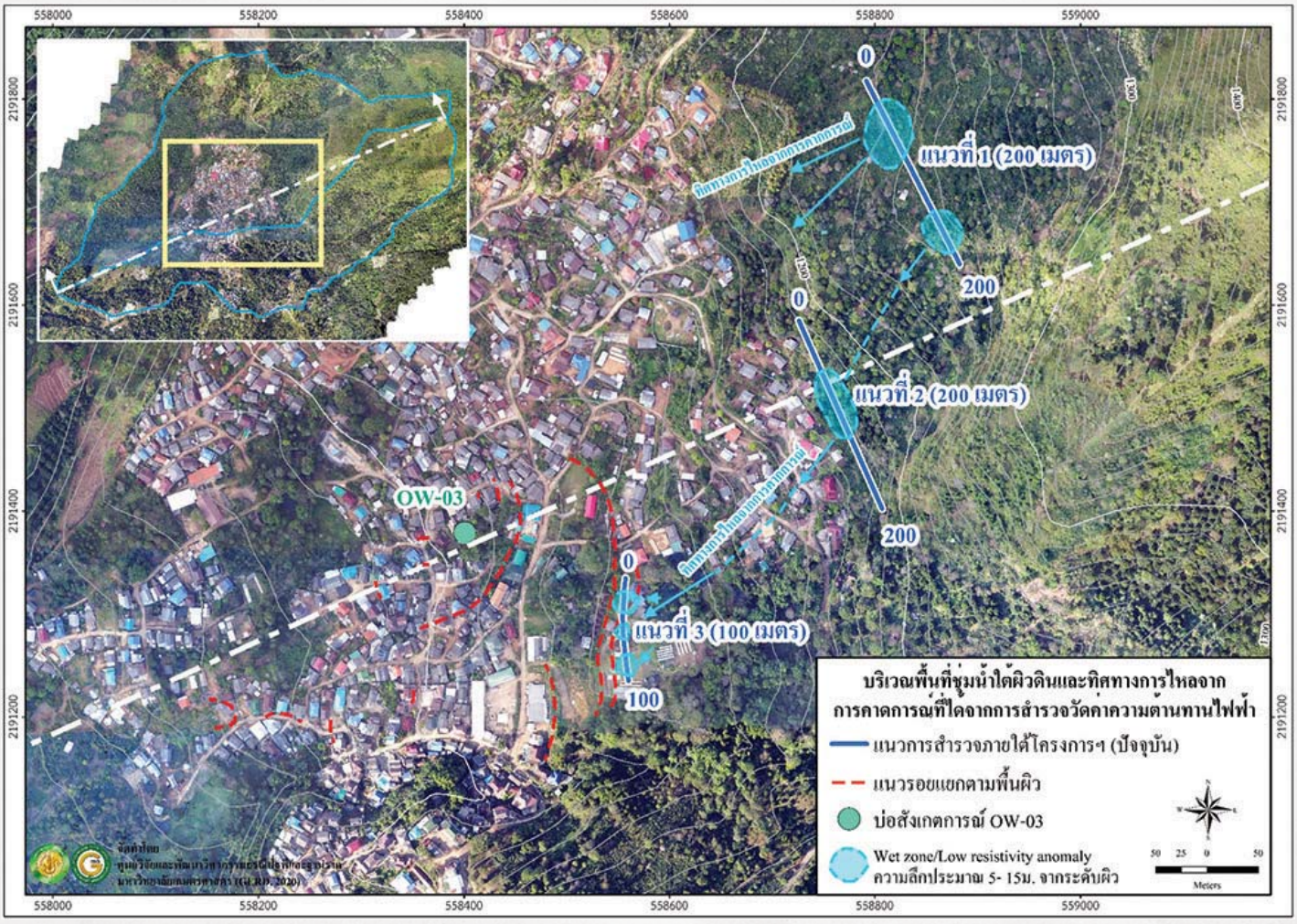
ตลอดแนวสำรวจ คาดว่าถูกปกคลุมด้วยตะกอนเศษหินขนาดใหญ่และชั้นดิน ที่อยู่ในลักษณะของเศษหินตะกอนเชิงเขาและวัสดุถม เนื่องจากชั้นนี้แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 32-1,024 โอห์ม.เมตร ในลักษณะแบบกลุ่มก้อนคล้ายลักษณะหินลอยอยู่ด้านบน ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะธรณีที่ปรากฏอยู่บริเวณผิวดินของแนวสำรวจและมีความต่อเนื่องกับผลที่ได้จากแนวสำรวจที่ 1 และ 2 โดยคาดว่าชั้นนี้อาจมีความหนาประมาณไม่น้อยกว่า 20 เมตร

และนอกจากนั้นในชั้นนี้ที่ความลึกประมาณ 5-15 จากระดับผิวดิน แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 2-32 โอห์ม.เมตร แทรกตัวอยู่ในชั้นตะกอนเศษหินเชิงเขา ลักษณะดังกล่าวนี้จัดเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกติ ที่อาจเกิดจากการแทรกซึมของน้ำจนทำให้บริเวณอิ่มตัวไปด้วยน้ำแบบเฉพาะจุด เนื่องจากน้ำหรือความชื้นจะส่งผลวัสดุมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อพิจารณาจากความลึกและขนาด คาดว่าบริเวณค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกตินี้เป็นบริเวณที่มีการไหลของทางน้ำใต้ดิน

10. สรุปผล

จากการข้อมูลผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า สามารถอธิบายสรุปผลการสำรวจดังนี้

- พื้นที่สำรวจถูกปกคลุมด้วยตะกอนเศษหินขนาดใหญ่และชั้นดินที่อยู่ในลักษณะของเศษหินตะกอนเชิงเขาและวัสดุถมในบางบริเวณที่อยู่ใกล้กับบ้านเรือน โดยปกคลุมแผ่เป็นบริเวณกว้างและคาดว่ามีความหนาของการปกคลุมประมาณ 5-40 เมตร
- พบลักษณะค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกติ (Low Resistivity Anomaly) ที่อาจเกิดจากการแทรกซึมของน้ำจนทำให้บริเวณอิ่มตัวไปด้วยน้ำแบบเฉพาะจุด แทรกตัวอยู่ในชั้นเศษหินตะกอนเชิงเขา 5-15 เมตร จากระดับผิวดิน และมีแนวโน้มของที่ทิศการไหลต่อเนื่องกัน แสดงดังรูปที่ 11
- บริเวณแนวสำรวจที่ 2 เป็นแนวสำรวจเดียวที่พบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่คาดว่าเป็นชั้นหินฐานราก (Rock Foundation) โดยวางตัวอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 5-10 เมตร
- บริเวณแนวสำรวจที่ 3 ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของมวลดิน พบลักษณะค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำผิดปกติหรือบริเวณที่มีการไหลของทางน้ำใต้ดินอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 5-15 เมตร



รูปที่ 11 การคาดการณ์ทิศทางการไหลของบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำใต้ผิวดิน ประมาณ 5-15 เมตร จากการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

11. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน, 2561. ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM5m) และข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับ.

ASTM D6431–99, 2010. Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation.

Diethard Sanders, 2010. Sedimentary facies and progradational style of a Pleistocene talus-slope succession, Northern Calcareous Alps, Austria, Institute of Geology and Palaeontology, Faculty of Geo- and Atmospheric Sciences, University of Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria.

Loke, M.H., 2001. Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys. www.geotomosoft.com.

การสำรวจความเสียหายและตัวอย่างการซ่อมแซมบ้านพักอาศัยในพื้นที่บ้านดอยช้าง

ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

ธีรไนย์ นุ้ยมาก
กรวินท์ อานุภาพภราดร
รัฐธรรม อิสโรฬาร
วารุณี กะการดี
มนพัทธ์ สาสิงห์
รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

หน่วยวิจัยการออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. บทนำ

หมู่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญของประเทศในการผลิตกาแฟคุณภาพดี โดยตั้งอยู่บนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยดินตะกอนเศษหินเชิงเขา ทำให้ได้รับความเสียหายจากการเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่ ทำให้อาคารบ้านเรือนได้รับความเสียหาย ถนนมีการเคลื่อนพังอย่างเห็นได้ชัด ทำให้ชาวบ้านมีความวิตกกังวลกับเหตุการณ์ที่จะเกิดในอนาคต นอกจากนี้หมู่บ้านดอยช้างยังอยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบต่อความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว โดยหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557 บ้านพักอาศัยจำนวนหลายหลังได้ปรากฏความเสียหายขึ้น ซึ่งหลังจากเหตุการณ์นั้นยังไม่มีการสำรวจความเสียหายอย่างละเอียด ศูนย์วิจัยวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ดำเนินการศึกษาพื้นที่ดอยช้างตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 เพื่อช่วยเหลือด้านการจัดการภัยพิบัติในพื้นที่ เช่น การลดผลกระทบการเคลื่อนตัวของดินในปัจจุบัน เป็นต้น จึงได้ดำเนินการสำรวจความเสียหายของบ้านพักอาศัยที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัย เพื่อประเมินการซ่อมแซมอาคารที่อยู่อาศัยในพื้นที่ให้เกิดความปลอดภัย และจัดอบรมให้ความรู้ทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติกับช่างท้องถิ่น และเจ้าหน้าที่ท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งจัดทำคู่มือแนะนำการก่อสร้างบ้านบริเวณพื้นที่ลาดชันมอบให้กับหน่วยงานท้องถิ่น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในการดำเนินงานในพื้นที่ต่อไป

2. การสำรวจความเสียหายทางกายภาพของพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง

หมู่บ้านดอยช้างแบ่งเขตการปกครองออกเป็น 3 หมู่ในเขตตำบลวาวี ประกอบด้วย ประกอบด้วยหมู่ที่ 3 บ้านดอยช้าง, หมู่ที่ 26 บ้านดอยช้างลีซู และหมู่ที่ 27 บ้านดอยช้างใหม่ การสำรวจความเสียหายทางกายภาพของพื้นที่บ้านดอยช้าง ได้ดำเนินการครอบคลุมทั้ง 3 หมู่ ประกอบไปด้วยการสำรวจอาคาร รอยแยก และการเคลื่อนตัวของลาดดิน ถนน กำแพงกันดิน ที่อาจส่งผลต่อความมั่นคงของอาคาร ซึ่งเป็นการสำรวจและประเมินด้วยสายตาและการสอบถามความเสียหายจากเจ้าของอาคารบ้านเรือน โดยการสำรวจเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลอาคารบ้านพักอาศัยในพื้นที่ที่เคยได้ทำการสำรวจไว้จากการดำเนินการตรวจสอบอาคารที่เกิดความเสียหายขึ้นในปี พ.ศ. 2557 หลังจากเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในจังหวัดเชียงรายเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557 ดังรูปที่ 1 เพื่อระบุตำแหน่งที่ตั้งของบ้านพักอาศัยแต่ละหลังให้ชัดเจน หลังจากนั้นจึงได้ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลในช่วงระหว่างวันที่ 12 ถึง 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 ผลประเมินความเสียหายมีรายละเอียดผลการสำรวจมีดังนี้

2.1 ผลการสำรวจความเสียหายโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยเดิม

การสำรวจอาคารเพื่อประเมินความปลอดภัยของอาคารที่อยู่อาศัยประชาชนในพื้นที่ทางกายภาพด้วยสายตา (Visual Inspection) แบ่งออกเป็น

1) การสำรวจภาพรวมความเสียหายของอาคาร ได้แก่ อาคารเคลื่อนตัว ทรุดตัว มีรอยร้าว หรือเกิดการพังเสียหายทั้งอาคาร

2) การสำรวจความเสียหายของโครงสร้าง ได้แก่ เสา คาน และพื้น

3) การสำรวจทางด้านสถาปัตยกรรม ได้แก่ ผนัง ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน และหลังคา เป็นต้น รวมถึงการสำรวจบริเวณสภาพรอบตัวบ้าน เช่น ถนน กำแพงกันดิน รั้ว เป็นต้น

พื้นที่การสำรวจถูกจำกัดเฉพาะบริเวณที่ได้รับความเสีย

หายและบริเวณใกล้เคียง โดยแบ่งออกเป็น 3 หมู่บ้านประกอบด้วยหมู่ที่ 3 หมู่ที่ 26 และหมู่ที่ 27 จำนวน 38, 19 และ 50 หลัง ตามลำดับ ซึ่งอาคารบ้านเรือนที่ทำการสำรวจมีจำนวนทั้งสิ้น 107 หลัง ทั้งนี้ ได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่บ้านดอยช้าง ระหว่างวันที่ 12-14 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 สำหรับประเภทบ้านและจำนวนหลังในพื้นที่สำรวจแบ่งได้ดังตารางที่ 1 หลังจากดำเนินการสำรวจเสร็จเรียบร้อยแล้วได้จัดทำแผนที่ผลการสำรวจอาคารแยกตามประเภทอาคารแสดงได้ดังรูปที่ 2

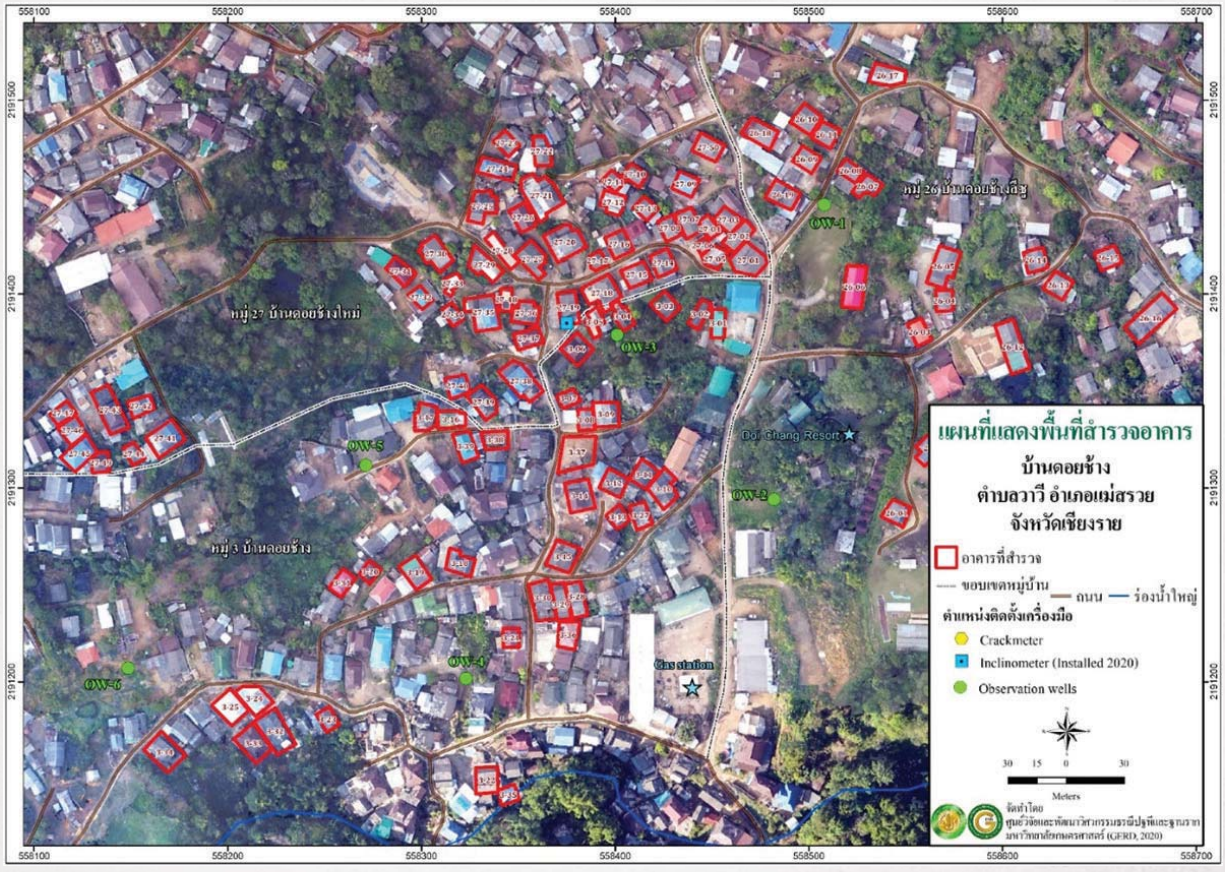
ตารางที่ 1 สรุปลักษณะประเภทบ้าน

ลำดับที่	ประเภทบ้าน	จำนวนหลังที่ทำการสำรวจ
1	บ้านฝาไม้ไผ่ (ไม้ฟาก)	6
2	บ้านไม้	23
3	บ้านปูนผสมไม้	34
4	บ้านคอนกรีตเสริมเหล็ก	41
5	บ้านประเภทแบบอื่นๆ เช่น อิฐร่วมกับไม้และบ้านเหล็กผนังเบา	3

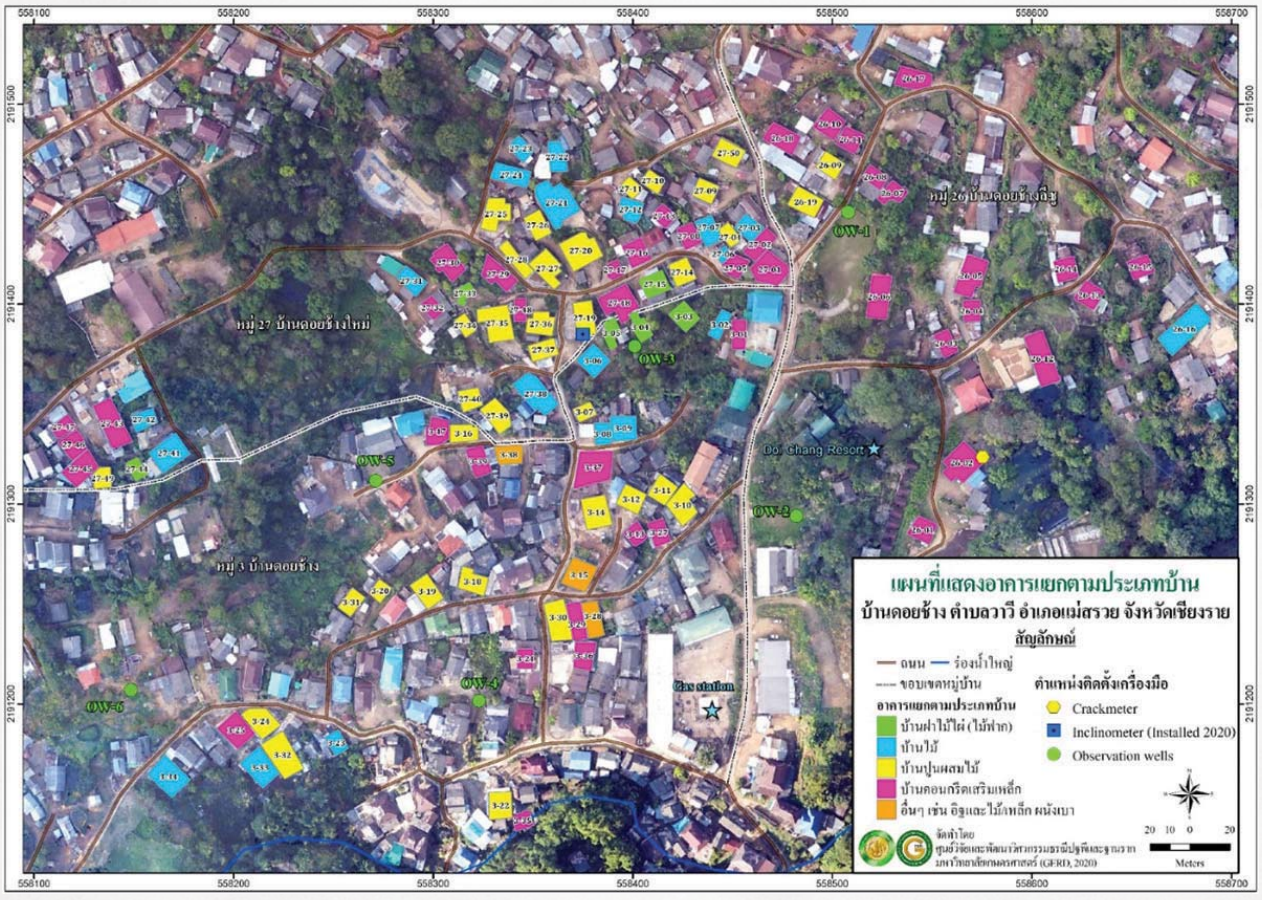
ผลที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่พบว่าลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคารบ้านพักอาศัย สามารถแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ ดังตารางที่ 2 ซึ่งจากการสำรวจพบว่าความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ จ.เชียงรายในปี พ.ศ.2557 เป็นหลัก และบางส่วนที่เกิดจากแผ่นดินไหวเป็นตัวกระตุ้นร่วมกับการเคลื่อนตัวของดินร่วมด้วย รูปที่ 3 แสดงแผนที่ลักษณะความเสียหายของอาคารในแต่ละรูปแบบ

2.2 ผลการสำรวจรอยแยกและการเคลื่อนตัวของลาดดิน

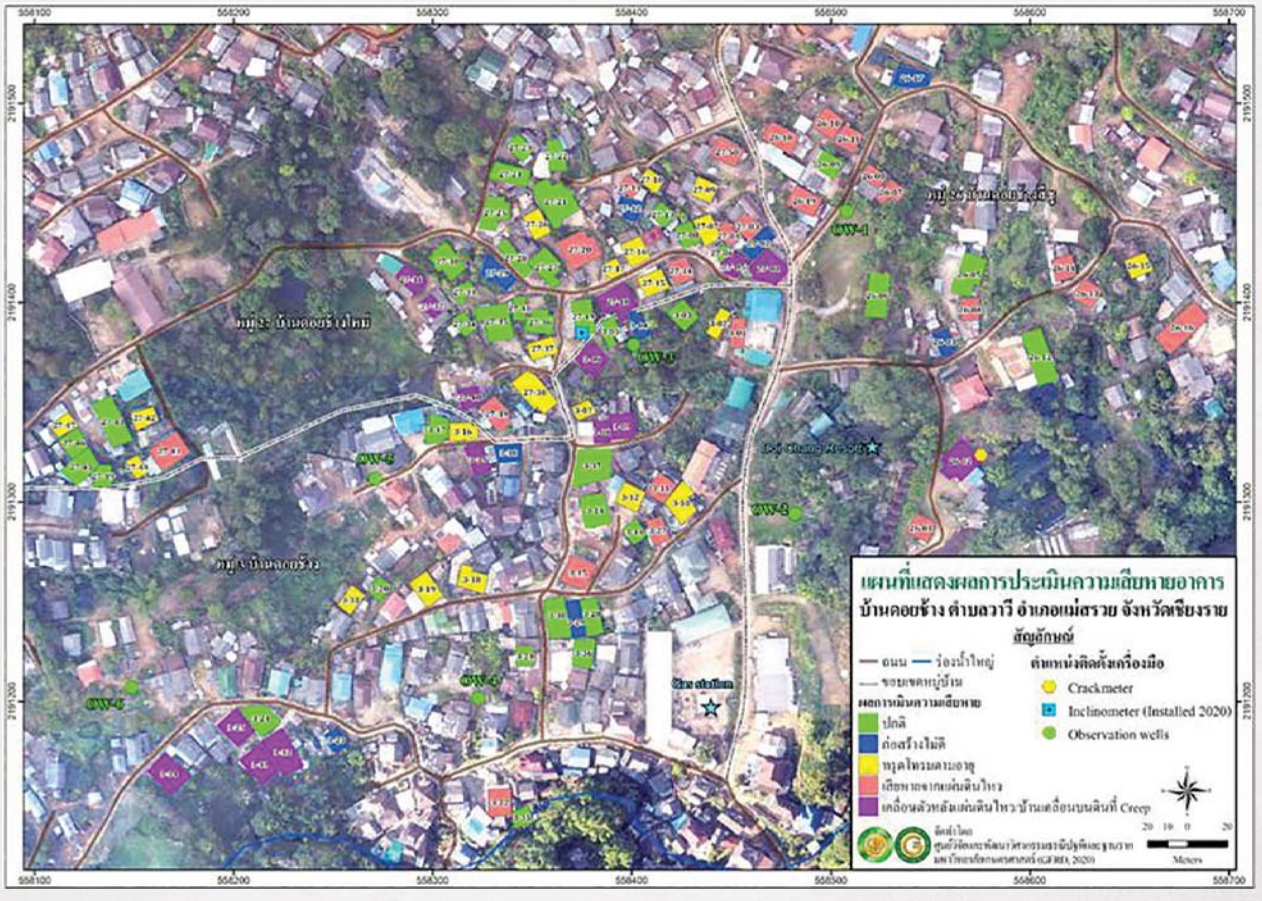
จากการสำรวจรอยแยกและทิศทางการเคลื่อนตัวของพื้นดินบริเวณพื้นที่โครงการบ้านดอยช้าง พบว่าตำแหน่งที่ดินมีการเคลื่อนตัว ส่งผลให้เกิดความเสียหายที่เกิดกับตัวอาคาร กำแพงกันดิน รวมทั้งถนนในพื้นที่หมู่บ้าน ซึ่งการเคลื่อนตัวมีลักษณะเป็นเฉพาะจุด (Local Failure) บริเวณที่มีการเคลื่อนตัวมากอยู่ใกล้กับแนวร่องน้ำขนาดใหญ่ของพื้นที่หมู่ที่ 3 การเคลื่อนตัวส่วนใหญ่ไปในทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในรูปที่ 4 และตัวอย่างลักษณะรอยแตกร้าวบนถนนกำแพงกันดิน แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 1 พื้นที่สำรวจอาคารบ้านดอยช้าง (ที่มา: สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2564)



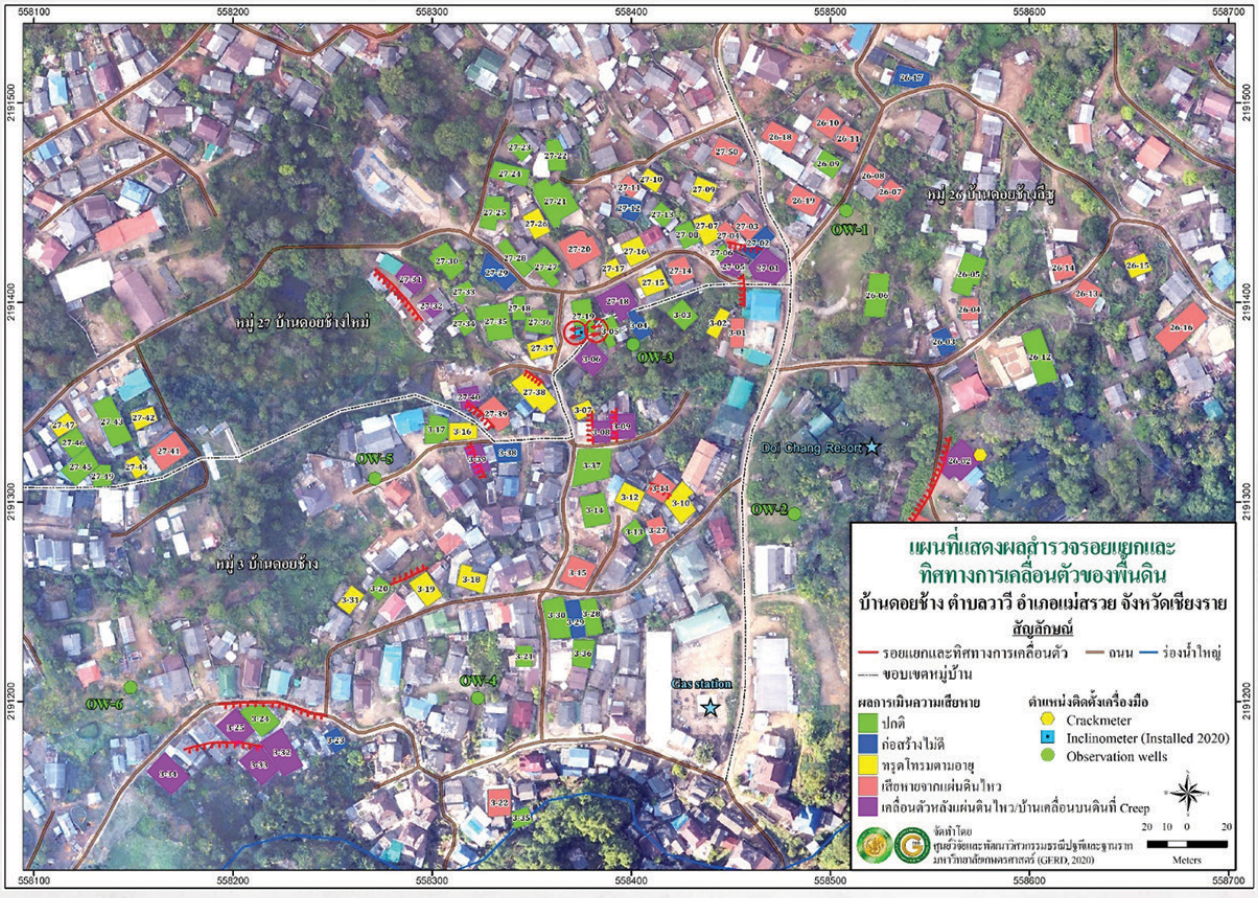
รูปที่ 2 อาคารแยกตามประเภทบ้านที่ทำการสำรวจในพื้นที่บ้านดอยช้าง (ที่มา: สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2564)



รูปที่ 3 แผนที่ผลการประเมินความเสียหายอาคาร (ที่มา: สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2564)

ตารางที่ 2 สรุปผลการสำรวจลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคารบ้านพักอาศัย

ลำดับที่	ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคาร	จำนวนหลัง	คิดเป็นร้อยละ
1	อาคารปกติ ไม่ได้รับความเสียหาย	37	34.6
2	อาคารก่อสร้างไม่ดี	11	10.3
3	อาคารทรุดโทรมตามอายุการใช้งาน	21	19.6
4	อาคารได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว	23	21.5
5	อาคารเคลื่อนตัวต่อหลังจากเกิดแผ่นดินไหว/ อาคารเคลื่อนบนดินที่มีพฤติกรรมการคืบของดิน (Creep)	15	14.0



รูปที่ 4 ผลการสำรวจรอยแยกและทิศทางการเคลื่อนตัวของพื้นดินบริเวณพื้นที่บ้านดอยช้าง
(ที่มา: สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2564)

รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะรอยแตกร้าว บริเวณพื้นที่หมู่บ้านดอยช้าง

3. ตัวอย่างการปรับปรุงอาคารพักอาศัยในพื้นที่บ้านดอยช้าง

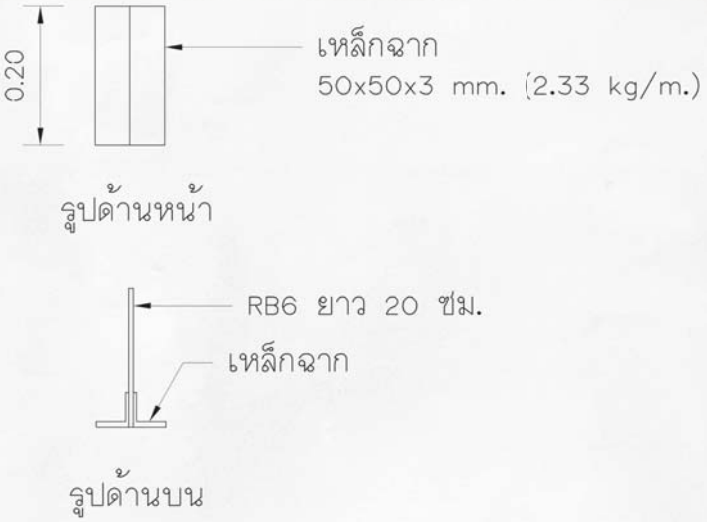
การปรับปรุงอาคารพักอาศัยได้พิจารณาจากลักษณะความเสียหายของโครงสร้างที่เป็นตัวแทนความเสียหายส่วนใหญ่ที่สำรวจพบในพื้นที่บ้านดอยช้าง ตัวอย่างเช่น การซ่อมแซมรอยแตกร้าวระหว่างเสาและผนัง การซ่อมแซมเสาที่เสียหาย เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อจะได้ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการซ่อมแซมอาคารหลังอื่นๆ ได้ ในบทความนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการซ่อมแซมที่ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ ดังนี้

3.1 การปรับปรุงรอยร้าวระหว่างเสาและผนัง

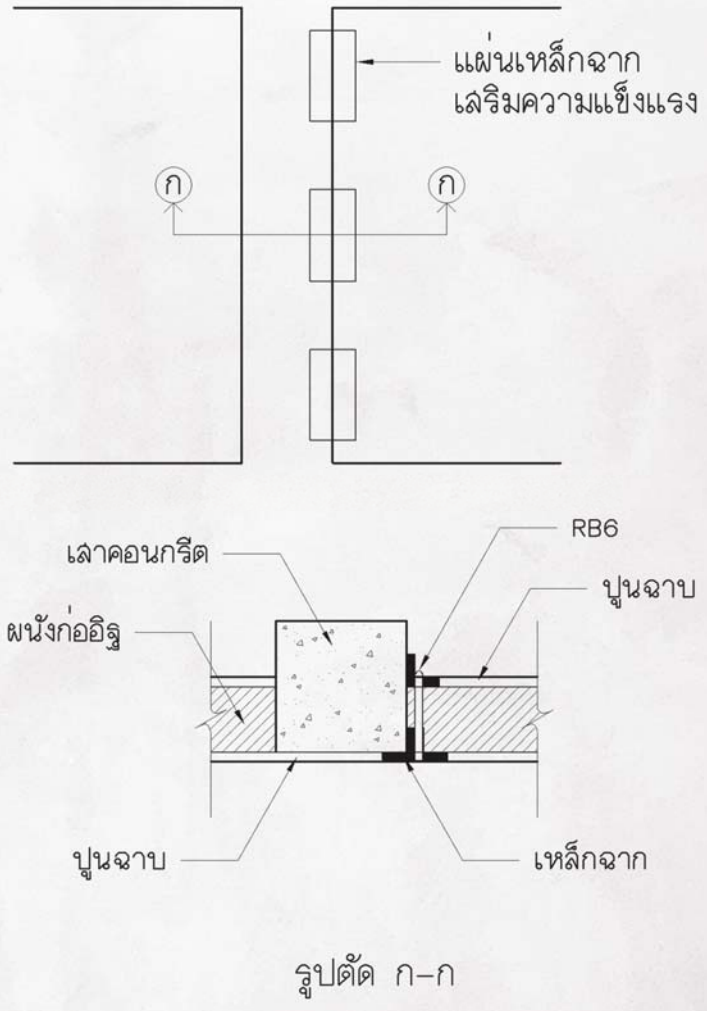
จากการตรวจสอบลักษณะความเสียหายพบรอยแตกแยกระหว่างเสากับผนังดังรูปที่ 6 เกิดขึ้นเนื่องจากการไม่ได้เสริมเหล็กหนวดกุ้งระหว่างเสากับผนัง เมื่อตัวอาคารได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวผนังได้แยกตัวออกจากเสาจึงเกิดเป็นรอยแตกขนาดใหญ่

รูปที่ 6 รอยแตกระหว่างเสากับผนัง

แนวทางการซ่อมแซมสามารถทำได้โดยการสกัดรอยแตกแยกของเสา และนำเอาเหล็กฉาก (ขนาดความยาว 20 ซม.) ตามแบบขยายที่แสดงในรูปที่ 7 นำมาเชื่อมเข้ากับเหล็กเสริมภายในเสา เพื่อเป็นการเสริมความแข็งแรงและเพิ่มการรับแรงดึงระหว่างเสาและผนัง หลังจากนั้นฉาบปูนปิดช่องว่างระหว่างเสาและผนัง รูปที่ 8 แสดงแบบขยายการซ่อมแซมรอยแตกร้าวระหว่างเสาและผนัง และขั้นตอนการซ่อมแซมแสดงดังรูปที่ 9 ถึง 13



รูปที่ 7 แบบขยายเหล็กฉาก



รูปที่ 8 แบบขยายการซ่อมแซมรอยแตกร้าวผนัง

รูปที่ 9 การสกัดปูนบริเวณรอยแยกของเสา

รูปที่ 10 ลักษณะของเหล็กฉากที่ใช้ (ขนาดความยาว 20 ซม.)

รูปที่ 11 การเสริมความแข็งแรงและเพิ่มการรับแรงดึงระหว่างเสาและผนัง โดยการใช้เหล็กฉาก

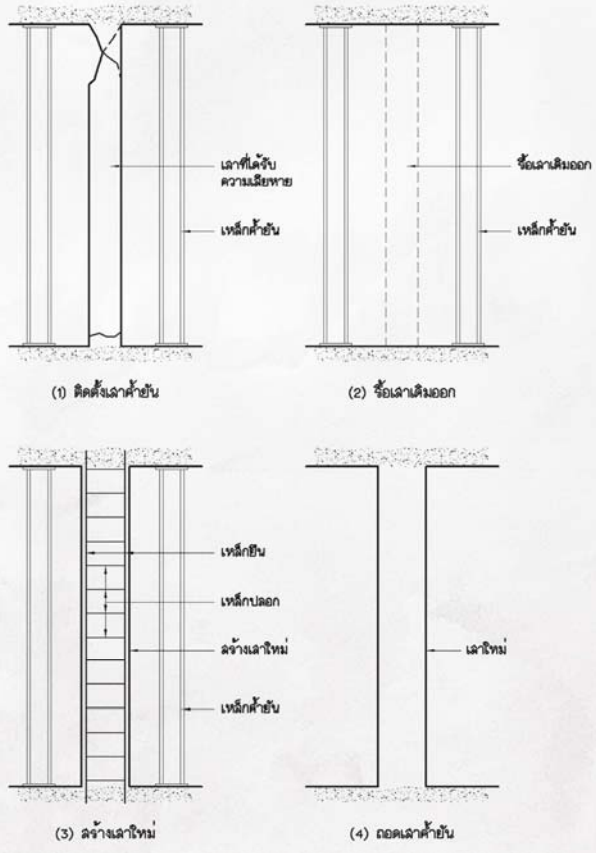
รูปที่ 12 การฉาบปิดรอยแตกระหว่างเสาและผนัง

3.2 การปรับปรุงซ่อมแซมเสา

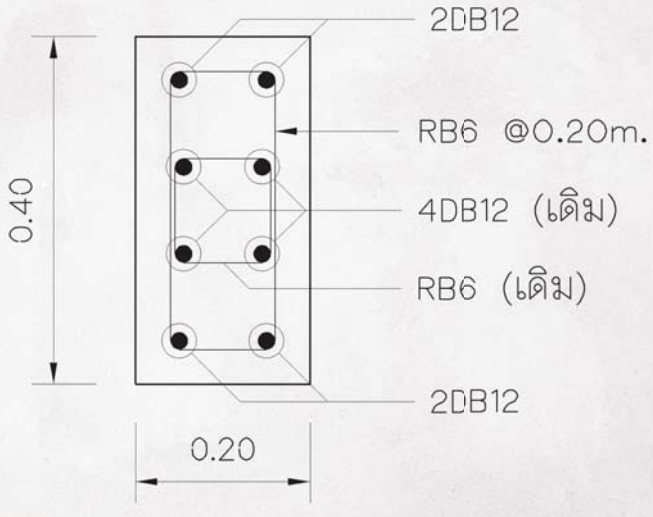
จากการตรวจสอบความเสียหายของบ้านหลังหนึ่ง พบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นกับเสาบ้าน คือ พบการเอียงตัวและแตกร้าวของเสาขนาด 20x20 ซม. บริเวณโรงจอดรถหน้าบ้าน ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 ลักษณะเสาที่มีการเอียงตัวและแตกร้าว

แนวทางการซ่อมแซมเสาที่เอียงนั้น มีขั้นตอนการซ่อมแซมแสดงในรูปที่ 15 เริ่มจากการติดตั้งระบบค้ำยันโครงสร้างเดิม จำนวน 2 ด้าน แล้วจึงรื้อเสาเดิมออก จากนั้นก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่เป็นขนาด 20x40 ซม. โดยเพิ่มจำนวนเหล็กเสริมจากเดิม 4 (DB12) เส้นเป็น 8 (DB12) เส้น รวมถึงเพิ่มจำนวนเหล็กปลอก ดังแสดงแบบขยายเสาในรูปที่ 16 และขั้นตอนซ่อมแซมในรูปที่ 17 ถึง 23



รูปที่ 15 แบบขยายขั้นตอนการก่อสร้าง



รูปที่ 16 แบบขยายเสาหลังการซ่อมแซม

รูปที่ 17 การค้ำยันเสา ก่อนการรื้อเสาเดิม

รูปที่ 19 การติดตั้งเหล็กเสริมเสา

รูปที่ 18 การรื้อเสาเดิมออก

รูปที่ 20 การติดตั้งไม้แบบเสาใหม่

รูปที่ 21 การเทคอนกรีตเสาใหม่

รูปที่ 22 การถอดไม้แบบ

รูปที่ 23 ลักษณะเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังการซ่อมแซม

4. สรุป

ผลการการสำรวจอาคารบ้านพักอาศัยอย่างละเอียดพบว่าความเสียหายของบ้านพักอาศัยในพื้นที่หมู่บ้านดอยช้างส่วนใหญ่ที่พบเกิดจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงรายในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 เป็นหลัก และบางส่วนเกิดจากแผ่นดินไหวเป็นตัวกระตุ้นร่วมกับการเคลื่อนตัวของมวลดินด้วย นอกจากนี้แล้วยังพบความเสียหายในโครงสร้างอื่น ๆ ที่บ่งชี้ว่าเกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลดิน เช่น ถนน กำแพงกันดิน เป็นต้น ทางศูนย์วิจัยฯได้เลือกบ้านเพื่อดำเนินการซ่อมแซมเป็นต้นแบบในการแก้ไขเป็นจำนวน 3 หลัง และได้จัดอบรมให้ความรู้ทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติกับช่างท้องถิ่น และเจ้าหน้าที่ท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งจัดทำคู่มือแนะนำการก่อสร้างบ้านบริเวณพื้นที่ลาดชันมอบให้กับทางอบต.วาวีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในการดำเนินงานในพื้นที่ต่อไป

นอกจากนี้ ศูนย์วิจัยฯยังได้ร่วมมือกับอบต.วาวีซึ่งมีแนวคิดในการจัดการด้านการก่อสร้างโดยการใช้บทบัญญัติชุมชนหรือข้อตกลงชุม เพื่อใช้ในการควบคุมการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนในตำบลวาวีให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยปัจจุบันอยู่ระหว่างการประชุมหารือและออกร่างข้อบัญญัติเพื่อดำเนินการต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2564. การศึกษาพฤติกรรมการเกิดดินถล่มเพื่อการป้องกันและสร้างระบบเตือนภัยดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ: พื้นที่ต้นแบบบ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย (ระยะที่ 3) ร่างรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, เสนอโดย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Identifying flash flood potential areas using morphometric characterization of watershed

Thapthai Chaithong
Geotechnical research and development center,
Kasetsart University, Bangkok, Thailand

E-mail: thapthai.c@gmail.com

International Conference on Sustainable Water Resources Management Global Challenges & Opportunities
(September 10th,2021)

Abstract

This study aims to identify potential areas of flash floods using drainage morphometric investigations in the Khong watershed, Mae Hong Son, north Thailand. For this study, the Khong watershed was divided into thirteen sub-watersheds using both the ALOS-PALSAR digital elevation model and a geographic information system. Seventeen geomorphometric parameters were used to evaluate the flash-flood-prone areas and categorize areas of potential flash flooding into five classes of susceptibility of vary degrees (very low, low, moderate, high and very high). According to the flash-flood-susceptibility maps produced, two sub-watersheds pertained to the "very high" degree of susceptibility class. The similarities between the geomorphometric parameters of these watersheds indicating this categorization included high relief, stream number and stream length, including large basin areas.

Keywords: Flash flood, Morphometric, Watershed, Khong river, Mountainous area

1. Introduction

Flash floods are among the most destructive hydrological hazards, causing both infrastructure damage and human fatalities. The general characteristics of flash floods are high-velocity runoff, short lead times and rapidly rising water levels. The severity of the damage depends on the amount of rainwater, the geomorphic features of the watershed and various human factors. Regarding rainwater, flash floods derive from high-intensity, short-duration rainfall. Regarding human factors, land use and changes in land cover enhance the severity of the damage. Land-use changes affect the curve number associated with peak flow. Meanwhile, urbanization may increase the value of the damage caused. In terms of the geomorphic features of the watershed, flash floods mostly occur in watersheds less than 1000 km2 and featuring complex orography. Hence, watershed morphometrics constitute a critical influence on the hazard. (Spitalar *et al.*, 2014, Shehata and Mizunaga, 2018, Abdel-Fattah *et al.*, 2021, Alam *et al.*, 2021)

Geomorphometry describes the science of quantitative land-surface or topographic features analysis (Pike *et al.*, 2009). Numerous research studies have applied morphometric characterizations of watersheds to assess their risk of flash flooding (Perucca and Angilieri, 2011, Adnan *et al.*, 2019, Abdo, 2020). Watershed morphometric analysis involves measuring channel network linear, areal and relief features, which together represent a quantitative description of the drainage system (Alqahtani and Qaddah, 2019). Extracting morphometric parameters utilizes geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) data.

Building on this background, this study uses geomorphometry to identify flash-flood-prone areas and produce a flash-flood-susceptibility map for the Khong watershed in Mae Hong Son, northern Thailand.

2. Study area

The Khong watershed (No. 0104) is a sub-watershed of the Salawin watershed (No. 01). The Khong watershed is located in the Pang Mapha district of Mae Hong Son province in northern Thailand. The total area of the watershed is approximately 684.22 km^2 (Fig. 1). The Khong watershed features mountainous topography, and the major types of land cover are agriculture and forest.

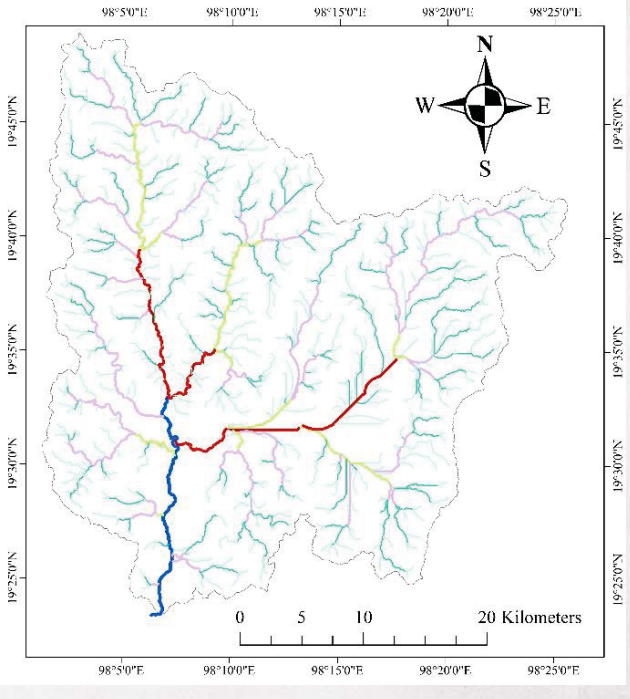


Fig.1 Khong watershed

3. Data and Methodology

Digital elevation models were used to capture essential input data. More specifically, an Advanced Land Observing Satellite-Phased Array-Type L-Band Synthetic Aperture Radar (ALOS-PALSAR) digital elevation model with a spatial resolution of 12.5 metres was downloaded and used to extract information about the drainage system's elevation and the sub-watershed boundaries. The steps followed for this study's geomorphometric analysis are presented in Fig. 2, and the elevation map of the Khong watershed is presented in Fig. 3.

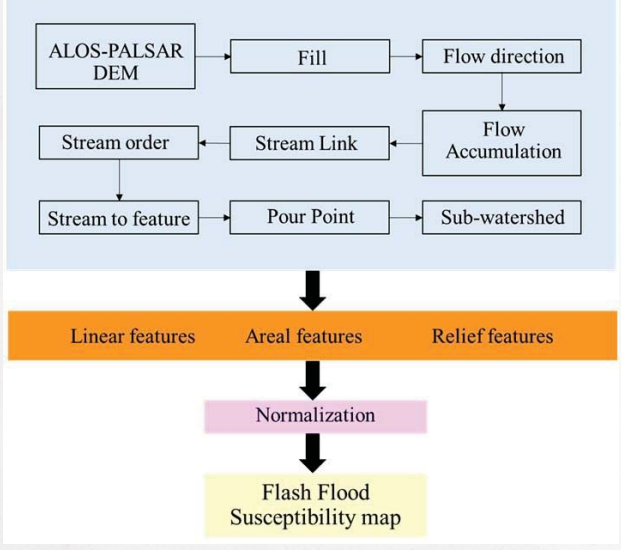


Fig. 2 Steps of geo-morphometric analysis

There are 21 geomorphometric parameters, which can be categorized into the following four main groups: basic, linear, areal and relief features. Table 1 presents the geomorphometric parameters belonging to each group.

Table 1 Geo-morphometric parameters

Basic parameters	
1. Watershed area	5. Basin Length
2. Perimeter	6. Stream order
3. Maximum elevation	7. Stream number
4. Minimum elevation	8. Stream length
Linear parameters	
9. Bifurcation ratio	12. Drainage density
10. Mean bifurcation ratio	13. Length of overland fow
11. Stream frequency	
Areal parameters	
14. Circulatory ratio	17. Lemniscates ratio
15. Elongation ratio	18.Compactness coefficient
16. Form factor	
Relief parameters	
19. Relief	21. Ruggedness number
20. Relief ratio	

Of the parameters shown in Table 1, 17 parameters were selected to guide the development of the flash-flood-susceptibility map. The analysis separated the 17 parameters into two groups. Group I comprised ten parameters, including watershed area, circulatory ratio, relief, relief ratio, drainage density, stream frequency, stream number, stream length, bifurcation ratio and form factor. Group I parameters were assumed to positively correlate with flash flooding (Adnan *et al.*, 2019, Mahood and Rahman, 2019). Conversely, parameters in Group II were assumed to negatively correlate with flash floods. That is, they are inversely proportional to the degree of flash flooding. If the parameters in Group II demonstrate high values, flash-flood-susceptibility is low (Adnan et al., 2019, Mahood and Rahman, 2019). Group II comprises seven parameters, including elongation ratio, compactness coefficient, length of overland flow, ruggedness number, mean bifurcation ratio and lemniscates ratio. Group 1 parameters were normalized using equation 1, and Group II parameters were normalized using equation 2.

$$\text{Ranking score} = 4\left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}\right) + 1 \quad (1)$$

$$\text{Ranking score} = 4\left(\frac{x - x_{\max}}{x_{\min} - x_{\max}}\right) + 1 \quad (2)$$

when x_{min} is the minimum value of each geomorphometric parameters. x_{max} is maximum value of each geomorphometric parameters.

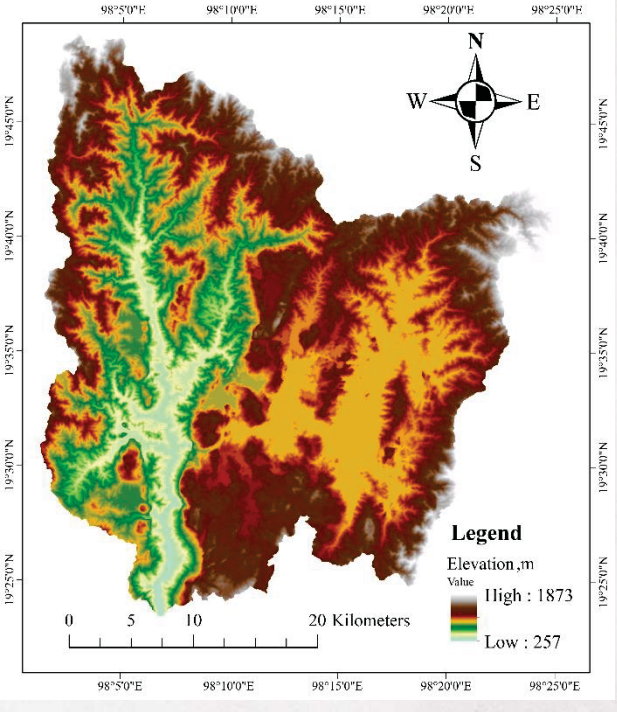


Fig. 3 Elevation map of Khong watershed

4. Results and discussion

There are 13 sub-watersheds in the study area, as Fig. 4 shows. The maximum stream order is sixth. The highest elevation within the Khong watershed is 1873 MSL, and the lowest elevation is 257 MSL.

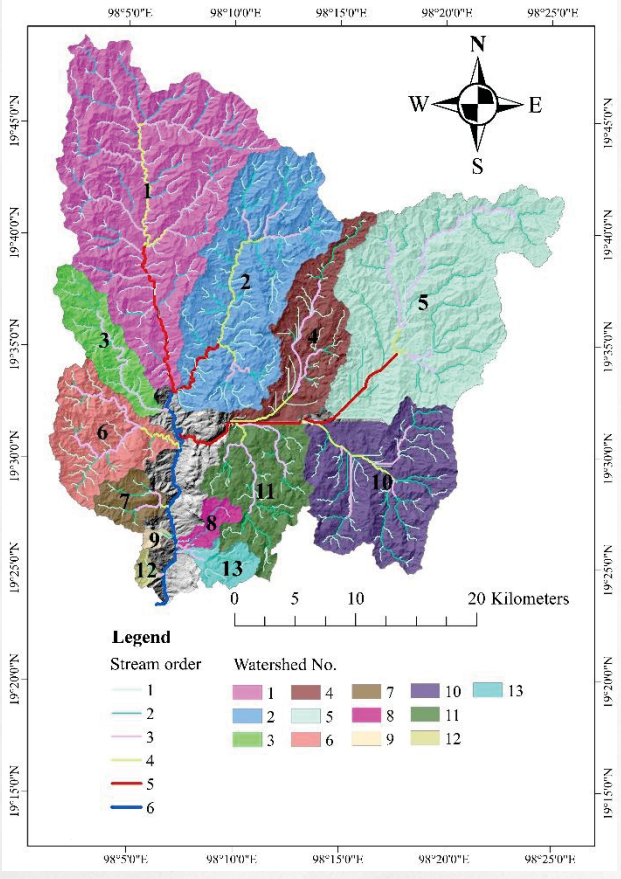


Fig. 4 Sub-watershed in the study

Fig 5 presents the flash-flood susceptibility map. Flash-flood-susceptibility was divided into five classes: very low, low, moderate, high and very high. Watersheds 1 and 5 were considered to be very highly susceptible to flash flooding; meanwhile, watersheds 3 and 8 were considered to feature very low susceptibility. Given their mutually very high susceptibility to flash flooding, there are many similarities between watersheds 1 and 5, such as a high value for the relief parameter (ranking above all other watersheds), high stream numbers, long streams and large watershed areas. Meanwhile, watersheds 3 and 8 shared similarly high elongation ratios and mean bifurcation ratios.

5. Conclusions

Flash floods are natural hazards. They often occur in mountainous areas featuring steep terrain or complex orography. Accordingly, the geomorphometric technique is a useful tool for identifying the areas most susceptible to flash floods. In particular, a GIS has been developed over a long period of time to support the geomorphometric technique. However, other factors influence the severity of flash-flood damage. Future studies should consider the impact of land use and rainfall on flash-flood susceptibility.

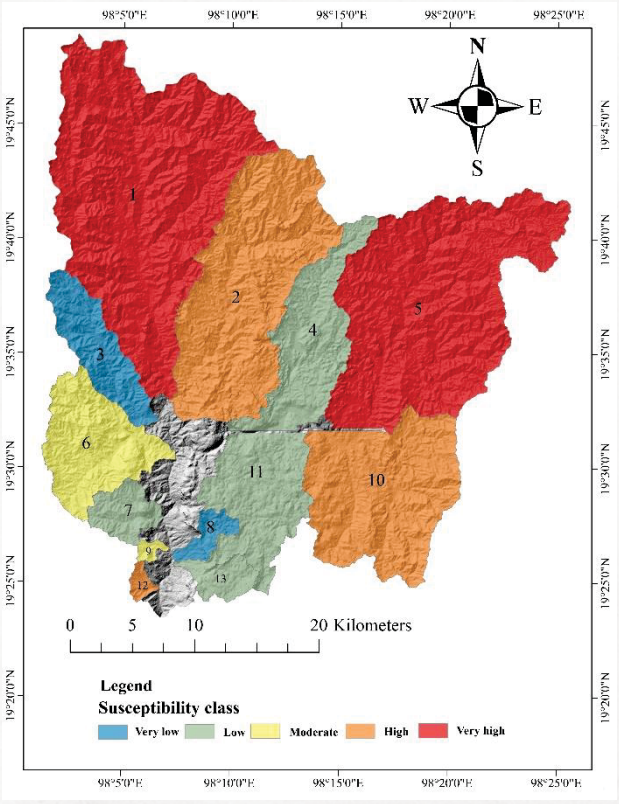


Fig. 5 Flash-flood susceptibility map

References

1) Abdel-Fattah M, Kantoush SA, Saber M, Sumi T: Evaluation of structural measures for flash flood mitigation in Wadi Abadi region of Egypt. Journal of Hydrologic Engineering 26(2), 2021.
2) Abdo HG: Evolving a total-evaluation map of flash flood hazard for hydro-prioritization based on geohydromorphometric parameters and GIS-RS manner in Al-Hussain river basin, Tartous Syria. Nautal Hazards. 104, 681-703, 2020.
3) Adnan MSG, Dewan A, Zannat KE, Abdullah AYM: The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: a case study of the Karnaphuli and Sanga river basins of Bangladesh. Natural Hazards 99, 425-448, 2019
4) Alam A, Ahmed B, Sammonds P: Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. Quaternary International 575-579, 295-307, 2021.
5) Alqahtani F, Qaddah AA: GIS digital mapping of flood hazard in Jeddah-Makkah region from morphometric analysis. Arabian Journal of Geosciences 12(199), 2019.
6) Mahmood S, Rahman A: Flash flood susceptibility modeling using geo-morphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan, Environmental Earth Sciences 78(43), 2019.
7) Perucca LP, Angilieri YE: Morphometric characterization of del Molle basin applied to the

evaluation of flash floods hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina. Quaternary International 233, 81-86, 2011

8) Pika RJ, Evans IS, Hengl T: Geomorphometry: A brief guide. Geomorphometry Concepts, Software, Application. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 2009.
9) Shehata M, Mizunaga H: Flash flood risk assessment for Kyushu Island, Japan. Environmental Earth Sciences 77(76), 2018.
10) Spitalar M, Gourley JJ, Lutoff C, Kirstetter PE, Brilly M, Carr N: Analysis of flash flood paramters and huma impacts in the US from 2006 to 2012. Journal of Hydrology 519, 863-870, 2014.

วิศวกรรม ความปลอดภัยเขื่อน

หน่วยวิจัยความปลอดภัยเขื่อน (Dam Safety Research Unit)

การพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมเขื่อน ได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยการวิจัยและแก้ปัญหาให้กับหน่วยงานต่างๆ สามารถให้การปรึกษาทั้งในส่วนหน่วยงานของรัฐ อันได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยให้ดำเนินการวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงของเขื่อน เช่น เขื่อนขุนด่านปราการชล เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนวชิราลงกรณ เขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนแม่มาว เป็นต้น โดยได้ศึกษาและวิจัยเพื่อให้เขื่อนอยู่ในสภาพที่ทำให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด นอกจากนี้บริษัทเอกชนได้ว่าจ้างให้เป็นที่ปรึกษาในด้านการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมของเขื่อนและการวิเคราะห์พฤติกรรมเขื่อนในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน ทำให้ได้ข้อมูลพฤติกรรมเขื่อนมาเพื่องานวิจัยอย่างต่อเนื่อง อีกความเชี่ยวชาญหนึ่งคือการศึกษาวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยของเขื่อนจากการพิบัติของเขื่อน เพื่อการพิจารณาการก่อสร้างเขื่อนหรือเพื่อการเพิ่มระดับเก็บกักน้ำ นอกจากนี้ยังดำเนินการวิจัยด้านการตรวจสอบเขื่อนด้วยสายตา ที่พัฒนาจากองค์ความรู้และประสบการณ์ เป็นผลให้เกิดวิธีการประเมินสภาพและความปลอดภัยของเขื่อนเพื่อการบำรุงรักษาเขื่อนในระยะยาว

โครงการสำคัญในปี พ.ศ.2559-2561

- โครงการจ้างดำเนินงานตรวจสอบและทดสอบระบบ DS-RMS: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- โครงการควบคุมการปรับปรุงเขื่อนและอาคารประกอบ โครงการเขื่อนแม่สรวย จังหวัดเชียงราย: กรมชลประทาน
- ศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวและการเคลื่อนตัว เพื่อออกแบบปรับปรุงเขื่อนคลองป่าบอน อำเภอป่าบอน จังหวัดพัทลุง: กรมชลประทาน
- งานศึกษาแนวทางการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Assessment) และจัดลำดับความเสี่ยงภัย (Hazard Classification) สำหรับเขื่อนของกรมชลประทาน ส่วนความปลอดภัยเขื่อน จังหวัดกรุงเทพมหานคร: กรมชลประทาน
- โครงการประเมินความเสี่ยงต่อความมั่นคงปลอดภัยเขื่อนดินช่องเขาขาด ของเขื่อนสิริกิติ์: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การใช้เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ชิโนรส ทองธรรมชาติ

หน่วยวิจัยวิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อน ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

1. บทนำ

ประเทศไทยมีเขื่อนที่ปิดกั้นลำน้ำที่เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ ราว 5,000 แห่ง รายงานประจำปีของกรมชลประทาน (2563/4) ได้สรุปว่าอ่างเก็บน้ำที่ใช้บริหารจัดการน้ำเหล่านี้ มีความจุมากกว่า 10,000,000,000 (หมื่นล้าน) ลูกบาศก์เมตร ในแต่ละปีอ่างเก็บน้ำอาจเก็บกักน้ำจนเต็มหรือไม่เต็มก็มี บางปีอาจน้ำไหลลงอ่างฯ น้อยจนเกิดภัยแล้ง ปรากฏการณ์นี้ยิ่งทำให้เห็นว่าเราจะปฏิเสธความจำเป็นของอ่างเก็บน้ำไปไม่ได้ เรายังมีความต้องการน้ำหรืออ่างเก็บน้ำอยู่ และต้องใช้ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์ให้มากที่สุด พร้อมกับโครงสร้างเขื่อนต้องปลอดภัย โดยมีเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยประเมินความปลอดภัยของตัวเขื่อน ร่วมกับการตรวจสอบสภาพเขื่อน และการทดสอบหาคุณสมบัติของตัวเขื่อนและฐานรากเขื่อน รศ. วรากร ไม้เรียง ให้นิยามไว้ในเอกสารคำสอนมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2538 ว่า “เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน หรือ Dam instrument เป็นเครื่องมือที่วิศวกรใช้ติดตั้งในเขื่อน ฐานราก ฐานยัน หรือ บริเวณอื่น ๆที่จำเป็น เพื่อติดตามพฤติกรรมที่สำคัญของเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้าง การใช้งาน ซึ่งสามารถเตือนภัยล่วงหน้าเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นกับเขื่อน นอกจากนั้นยังสามารถยืนยันพฤติกรรมของเขื่อนว่าใกล้เคียงกับสมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบ และช่วยควบคุมพฤติกรรมในระหว่างการก่อสร้างได้อีกด้วย” ซึ่งท่านยังมีคำแนะนำว่าควรติดเครื่องมือวัดฯ (1)ในเขื่อนขนาดกลางและใหญ่ (ความสูงกว่า 25 เมตร หรือความจุมากกว่า 10 ล้าน ลบ.ม.) (2) ในเขื่อนที่มีความสำคัญด้านความปลอดภัยหรือเขื่อนตั้งอยู่ใกล้ชุมชน (3) ในเขื่อนที่เริ่มก่อสร้างด้วยเทคนิคใหม่ เช่น เขื่อนคอนกรีตบดอัด เขื่อนแบบผสม (4) ในเขื่อนที่ซ่อมแซมจากการชำรุดเสียหาย หรือ (5) ในเขื่อนที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการข้อมูลทางวิชาการ เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อน

ปัจจุบัน Guideline เรื่องการติดตั้งเครื่องมือวัดฯ เช่น ICOLD (2000) Bulletin 118 Automated dam monitoring systems - Guidelines and case histories ระบุเพียงการเลือกชนิดของเครื่องมือวัดฯ ตามประเภทของเขื่อน แต่ยังไม่มีการกำหนดจำนวนขั้นต่ำ ซึ่งในทางปฏิบัติเรื่องชนิดและจำนวนยังเป็นความรับผิดชอบของผู้ออกแบบเขื่อน ในช่วง 10 ปีข้างหน้านี้ หน่วยวิจัยความปลอดภัยเขื่อนจะวิจัยว่าสัดส่วนที่เพียงพอสำหรับการติดตามพฤติกรรมเขื่อนควรเป็นเท่าไร เขื่อนขนาดใหญ่ของประเทศไทยมีเครื่องมือวัดติดตั้ง ตั้งแต่ในระหว่างก่อสร้าง และหลังจากใช้งานไปนานหลายปีเริ่มเสียชำรุด แต่ก็ติดตั้งทดแทนบ้างตามความจำเป็น

เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนจึงทำหน้าที่คล้ายเครื่องเตือนมีผู้บุกรุก และสัญญาณกันขโมย ถ้าบ้านใดมีฐานะไม่ร่ำรวยก็ไม่ติดก็ได้ ในทำนองเดียวกัน เขื่อนมีความจุน้อยหรือส่งผลกระทบต่ำเมื่อพิบัติ อาจไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน

ความคุ้มค่าของเครื่องมือวัดพฤติกรรม จะเริ่มตั้งแต่การเลือกและออกแบบให้เครื่องมือวัดฯ ทำหน้าที่ได้ อายุการใช้งานของเครื่องมือวัดเองและระบบอ่านค่า การอ่านค่าที่ถูกต้องและตรวจสอบ ความรู้ถูกต้องเพื่อการแปลผล การสร้างเกณฑ์เพื่อตรวจสอบความปลอดภัย และความเข้าใจในมาตรการด้านความปลอดภัยเขื่อน

2. หน้าที่ของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน

John Dunnicliff ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือวัดพฤติกรรมและผู้เขียนตำรา Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance ในปีค.ศ. 1988 กล่าวว่า “Every instrument on a project should be selected and placed to assist with answering a specific question:

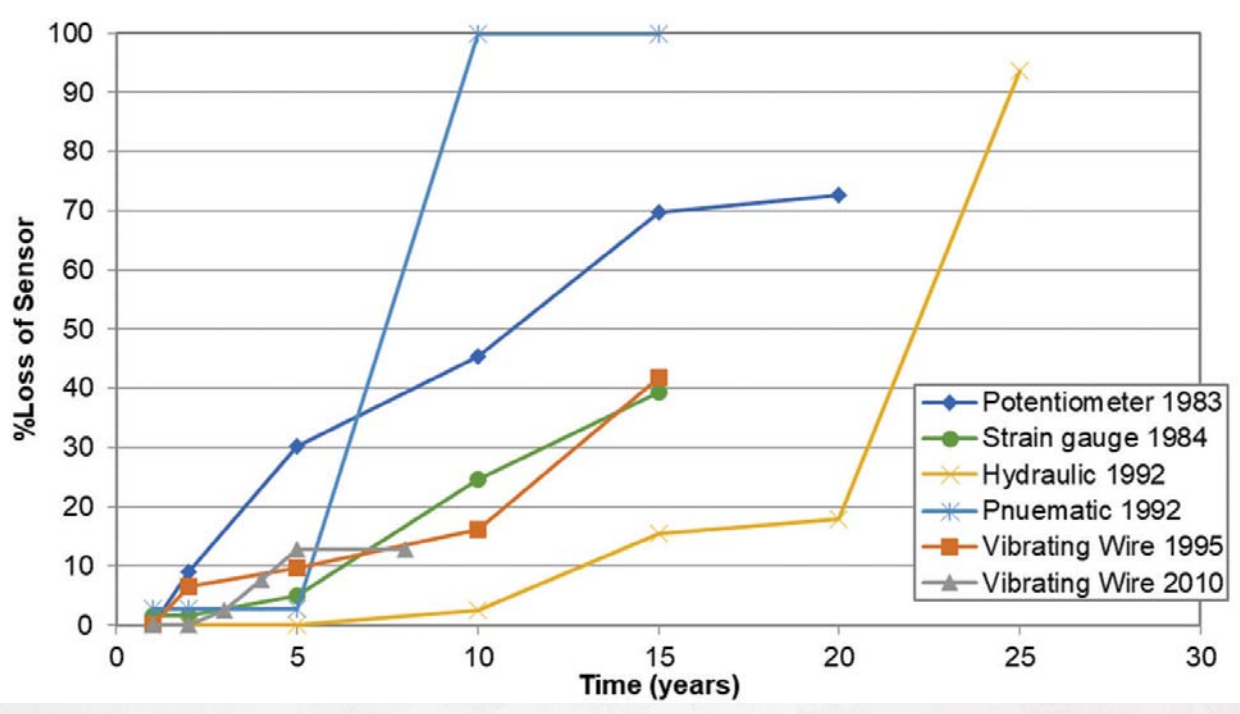
if there is no question, there should be no instrumentation." ด้วยเหตุนี้ ผู้ออกแบบเขื่อนที่อยากทราบการตอบสนองของเขื่อน มักกำหนดชนิดและตำแหน่งของเครื่องมือวัดพฤติกรรมไว้ เพื่อให้แน่ใจว่าองค์ประกอบเขื่อนที่เตรียมไว้ทำหน้าที่ได้ดี ไม่มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น

แม้ว่าผลการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนบางชนิด ไม่ได้วัดตามสิ่งที่ได้จากการคำนวณออกแบบ เช่น เราวิเคราะห์หน่วยแรงในมวลดินได้ซึ่งสามารถตรวจวัดหน่วยแรง (Stress) ได้ แต่ความเครียดหรือ strain ในสนามตรวจวัดได้ยาก จึงตรวจวัดการเคลื่อนตัวแทนซึ่งทำได้ง่ายกว่า ในทางกลับกันอีกกรณีที่ในการวิเคราะห์ออกแบบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างมีข้อจำกัดไม่สามารถวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวที่รอยต่อได้ แต่ทำได้ง่ายสำหรับการขยับของรอยต่อ เนื่องจากเครื่องมือการวิเคราะห์ไม่มีสมมติฐานให้รอยแตกรอยแยกเคลื่อนตัว อย่างไรก็ตาม วิศวกรสามารถวิเคราะห์การตอบสนองต่าง ๆ ได้ โดย Post data process นี้ อาศัยทั้งความเข้าใจพฤติกรรมเขื่อนและมีความเข้าใจกลไกการอ่านค่าของเครื่องมือวัด ในทำนองเดียวกันตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือวัดฯ แต่ละตัว จึงต้องให้วิศวกรที่เข้าใจเรื่องทั้งสองกลไกเครื่องมือวัดและพฤติกรรมเขื่อนและเข้าใจสมมติฐานในการออกแบบของเขื่อนนั้น ๆ

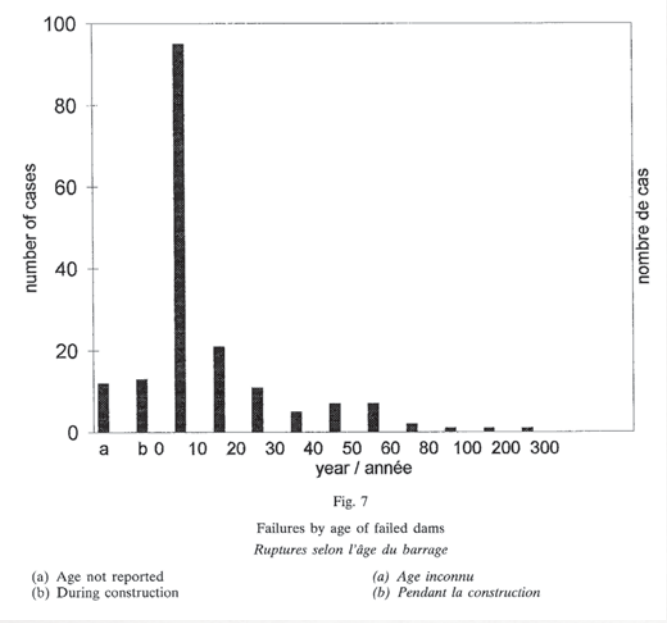
หากมีคำตอบตั้งแต่ออกแบบเขื่อน เลือกประเภท และระหว่างติดตั้งว่า เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนที่ติดตั้งให้อะไร เพื่อเป็นใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด บางโครงการปรับแบบในระหว่างก่อสร้าง เพื่อให้ได้ประโยชน์มากกว่าแบบดั้งเดิมในขั้นออกแบบ

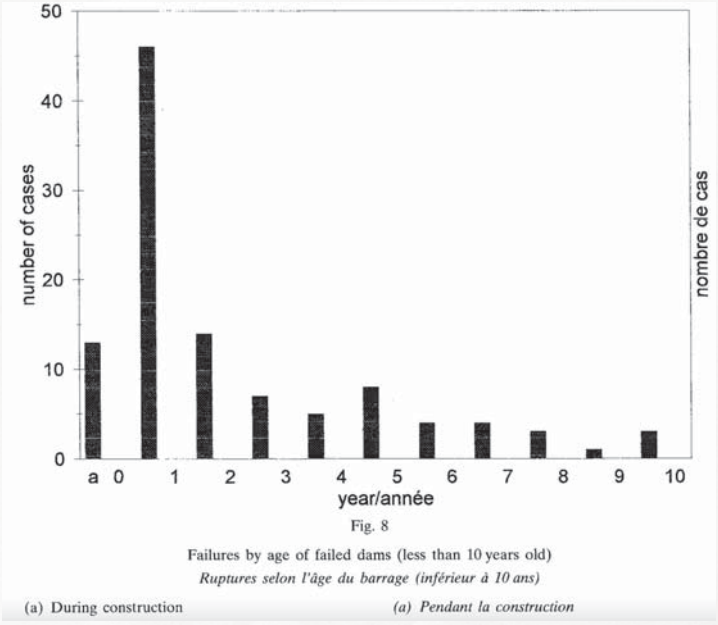
3. อายุการใช้งานของเครื่องมือวัดพฤติกรรม

จากการเก็บข้อมูลการทำงานของงานเครื่องมือวัดฯ ในหลาย ๆ เขื่อน ในรูปที่ 1 พบว่า เครื่องมือวัดฯ ที่มีกลไกอ่านค่าแตกต่างกันและมีเทคโนโลยีเปลี่ยนไปตามเวลา ส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานได้ 5-10 ปี แล้วหลังจากนั้นหัววัดเริ่มบกพร่องหรืออุปกรณ์อ่านค่าอาจเสียไป อย่างไรก็ตาม ระยะเวลา 5-10 ปีนี้ยังนานเพียงพอ เพราะช่วงเวลาที่สำคัญเขื่อนมีโอกาสพิบัติสูงดังรูปที่ 2 ที่ ICOLD รวบรวมไว้ในปีค.ศ. 1995 โดยส่วนใหญ่ของเขื่อนที่พิบัติเกิดขึ้นในช่วง 5 ปีแรก ดังนั้นถ้ามองประเด็นโอกาสของการพิบัติ 5 ปีแรก ก็คุ้มค่าอย่างมากที่ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดฯ และควรบำรุงรักษาเครื่องมือวัดฯ รวมทั้งระบบการอ่านค่าหลังการใช้งานเขื่อนไปอีกระยะหนึ่ง รวมทั้งต้องประเมินพฤติกรรมแล้วติดตั้งทดแทนในจุดที่ล่อแหลม



รูปที่ 1 อายุการใช้งานของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน





ที่มา: Bulletin 99 Dam Failures Statistical Analysis (ICOLD 1995)
รูปที่ 2 จำนวนกรณีการพิบัติของเขื่อนทั่วโลก

จากรูปที่ 1 หากพิจารณาตามกลไกของการอ่านค่าของเครื่องมือวัดฯ ที่พัฒนาให้ความทนทานเพิ่มขึ้น เครื่องมือวัดฯ กลุ่ม Pneumatic และ Potentiometer จะเสื่อมได้เร็วกว่า กลุ่ม Strain gauge และ Vibrating wire ซึ่งปัจจุบันยังเป็นกลุ่มที่เป็นที่นิยม และอนาคตใน 10 ปีนับจากนี้ (2564) เราจะเริ่มเห็นการนำเครื่องมือวัดฯ กลุ่ม Fiber optic มาใช้ ซึ่งจะไม่เสียง่าย ยกเว้นสายเคเบิลจะขาดหรือหักงอ Fiber optic สามารถประยุกต์ให้อ่านความยาวคลื่นคลื่นแสง ซึ่งสัมพันธ์กับ ความดัน(ระยะ) อุณหภูมิ(ความเครียดในสาย Fiber Optic) แต่ข้อด้อยคือ ต้องใช้เครื่องยิงเลเซอร์กับชุดอ่านคลื่นแสงที่เป็นเทคโนโลยีที่มีราคาสูง เรายังไม่มีและอาจพัฒนาเองให้ราคาถูกลง

4. อ่านให้ถูกต้องหรือตรวจสอบค่าอ่านที่ผิดปกติ

ถ้าเริ่มกลัดกระดุมเม็ดแรกผิด เราก็คงกลัดเม็ดต่อไปผิดไปด้วย ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ในการแปลผลในหลายเขื่อน ผู้เขียนได้ใช้เวลาแรมเดือนให้กับการรวบรวมค่าอ่านและการตรวจสอบความถูกต้อง เพราะลดโอกาสสับสนระหว่างการแปลผลในลำดับถัดมา ตารางที่ 1 แสดงลักษณะข้อผิดพลาดหรือ Error ที่มาและวิธีแก้หรือลด Error เหล่านั้นได้ ซึ่งได้ดัดแปลงจาก Instrumentation, Monitoring and Surveillance : Embankment Dams ของ Penman et al (1999) และผู้เขียนได้เพิ่มเติมประสบการณ์จริงที่พบในช่องขวามือ

สำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มักติดตั้งระบบอ่านค่าอัตโนมัติ ซึ่งมีกรณีศึกษาหนึ่งที่ผู้เขียนและทีมงานได้ไปตรวจสอบ Function ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้พบว่า บางครั้ง Error เกิดจากความบกพร่องของอุปกรณ์อ่านค่าและบันทึกค่า หรือความบกพร่องในอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Media convertor) ก็ได้ ไม่ได้เกิดขึ้นจากความบกพร่องของหัววัดเอง เพราะการอ่านค่าด้วยคนยังให้ค่าเป็นปกติ ซึ่งสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะมีความเสี่ยง (ความเสี่ยง = โอกาสเกิด x ผลกระทบ) ต่อทรัพย์สินมากกว่า 100,000 บาทต่อปี หากพิจารณาข้อมูลนี้อาจช่วยให้เราตัดสินใจได้งบประมาณสำหรับการบำรุงรักษาระบบอ่านค่าได้อย่างคุ้มค่าและมีเหตุผล

ตารางที่ 1 ที่มาของ Error และวิธีการแก้ไข

ประเภท	สาเหตุ	วิธีการแก้ไข	เครื่องมือที่พบข้อผิดพลาด
ข้อผิดพลาดจากผู้ทำการวัด (Gross error or Human error)	ขาดการเอาใจใส่ในการอ่านความเหนื่อยล้าของผู้อ่านอ่านค่าผิด บันทึกค่าอ่านผิดการคำนวณผิด	เพิ่มผู้อ่านเป็นสองคนอ่านหลายครั้งใช้ค่าเฉลี่ยแยกค่าที่ผิดปกติออก *ตรวจสอบกับค่าอ่านครั้งก่อน	ที่พบบ่อยเป็นค่าระดับน้ำในอ่างฯ บางครั้งพบว่าในระบบใส่ค่า Calibration Factor ผิดไปอาจรวมถึงการบันทึกหรือพิมพ์ลงในไฟล์
ข้อผิดพลาดจากเครื่องมือ (Systemic error)	เครื่องมือชำรุด Zero drift (สำหรับ Vibrating wire) ไม่มี Calibration Sheet การติดตั้งเครื่องมือไม่ดี (หลุด หรือคลาดเคลื่อน)	Recalibration กรณีที่ทำได้ใช้ร่วมกับ gauge ที่ไม่ได้รับ load หรือ dummy gauge ให้ติดตั้งทดแทน	หัววัดที่อ่านค่าไฟฟ้า จะเสียได้เช่นกันตามอายุใช้งาน ไม่เพียงแค่ตัวหัววัด ยังรวมถึงจุดเชื่อมสายสัญญาณและ data logger ด้วย
ข้อผิดพลาดจากสภาพแวดล้อม (Environmental error)	ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดของเครื่องมือ เช่น อุณหภูมิ (Heat), ความชื้น (Humidity), การสั่นสะเทือน (Vibration), ความสกปรก (Dust), Weather, Climate, Corrosion	เลือกเครื่องมือวัดฯที่เหมาะสม ที่ปรับแก้อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมได้ บันทึกค่าที่มีอิทธิพล แล้วทดลองปรับแก้	Vibrating wire จำเป็นต้องวัดอุณหภูมิภายในหัววัดเพื่อปรับแก้อิทธิพลจากอุณหภูมิที่ทำให้ความตึงในลวดเปลี่ยนแปลงฝ่ายวัดอัตราการไหลซึม ที่ตั้งในที่โล่ง จะมีฝนมาเกี่ยวข้อง
ข้อผิดพลาดจากการอ่าน (Observation error)	การเห็นภาพเหลื่อมกัน (Parallax) ความแปรปรวนของผู้อ่านหลายๆ คน (Variation between observers)	อบรมผู้อ่านเหล่านี้ให้ปฏิบัติการอ่านได้อย่างถูกต้อง (Training of observers to take reading correctly)	อุปกรณ์ที่อ่านด้วยคน เช่น dip meter, magnetic settlement probe มักพบว่า ผู้อ่านอ่านค่าบนเทปผิดไป หรือหยาบกว่ามิลลิเมตร หรือแม้แต่ Staff gage ก็มีอ่านผิด
ข้อผิดพลาดที่กระจาย (Random error	สิ่งรบกวนในระบบ (Noise in system) ขาดความแม่นยำ (Lack of precision) ค่าแปรปรวนมากหรืออ่อนไหวเกินไป (Too much sensitivity)	เลือกเครื่องมือใหม่มาติดตั้ง (Choose correct instrument) อ่านค่าซ้ำ (Multiple observations) การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical analysis)	เครื่องมือวัดสมัยใหม่ มีความละเอียด อ่อนไหวง่าย ดังนั้นจะเป็นต้องเลือกย่านอ่านค่าให้พอดีกับช่วงค่าที่จะตรวจวัด
ข้อผิดพลาดจากการสุ่ม (Sampling error)	ความแปรปรวนของสิ่งที่ตรวจวัด (Variability in the quantity being measured) การสุ่มตัวอย่างผิดวิธี (Incorrect sampling technique)	ขั้นตอนสิ่งที่ถูกต้อง (Correct sampling procedures) เก็บตัวอย่างหลายๆ ครั้งเพื่อยืนยันผล (Multiple samples Conformance of instrument)	การสำรวจหมุดสำรวจบนตัวเขื่อน มักได้ค่าอ่านที่แปรปรวน ปกติเราอ่านกันครั้งเดียว ที่เป็นมาตรฐานจะอ่านหลายๆ รอบ 8 ครั้งกันก็ไม่

แปลและดัดแปลงจาก Penman et al (1999)

5. ความรู้ที่ถูกต้องสำหรับการแปลผล

ความรู้ต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงตามเวลา กฎนิ้วโป้ง (Rule of thumb) บางกฎที่ไม่ถูกต้อง อาจสร้างความเข้าใจที่ผิด นำไปสู่การสรุปที่ผิดตามมา (mislead) ดังนั้นผู้แปลต้องหมั่น ตรวจสอบและศึกษาหาความรู้ และสอบทวนกับความรู้เดิมที่มีอยู่ ในส่วนนี้ได้นำประสบการณ์บางส่วนมาอธิบายเป็นกรณีศึกษา ดังนี้

การทรุดตัวของสันเขื่อนไม่เกิน 1% (ของความสูงเขื่อน)

ใน Design Small Dams ของ USBR ในปีค.ศ. 1987 หน้า 253 กับ 255 หัวข้อ การออกแบบ Camber (ดังรูปที่ 3 ที่ขีดเส้นใต้) จะเห็นว่า กฎของนิ้วโป้งนี้ไว้สำหรับกำหนดระยะเผื่อทรุดตัวจากการยุบตัวคายน้ำ (Consolidation) ของตัวเขื่อน เพื่อการป้องกันน้ำล้นข้ามสันเขื่อน ไม่เกี่ยวข้องกับ การทรุดตัวที่แตกต่างกันจนอาจทำให้เกิดรอยแตกในตัวเขื่อนได้ และมีเงื่อนไขว่า หากขึ้นอยู่กับฐานรากยุบตัวคายน้ำได้ อัตราส่วนการทรุดตัวที่สันเขื่อนจะมากกว่า 1% ของความสูงเขื่อน

หลังจากนั้นในปีค.ศ. 2003 Robin Fell ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเขื่อนจาก New South Wales University ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวของเขื่อนในเชิงสถิติ และแนะนำค่าอัตราการทรุดตัวในระยะยาว (Long term settlement rate) สำหรับวัสดุถมที่เป็นดินและหิน ดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าอัตราการทรุดตัวในระยะยาวนี้ใช้บ่งชี้คุณสมบัติของวัสดุถม (รวมถึงฐานราก) นอกเหนือจากสัดส่วนการทรุดตัวเทียบกับความสูงเขื่อน (%Crest Settlement) สำหรับเขื่อนที่ใช้งานเป็นเวลานานกว่า 10 ปี เราควรมองที่อัตราการทรุดตัวในระยะยาวด้วย ในกรณีที่เขื่อนเกิดรอยแตกรอยแยกขึ้นที่สันเขื่อน เมื่ออัตราทรุดตัวระยะยาวสูงมาก ๆ แสดงถึงการ strain ที่เปลี่ยนแปลง แต่หากรอยแตกที่มีสาเหตุจากการเคลื่อนตัวของลาดชัน พบว่าสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนตัวและการทรุดตัว (Displacement and Settlement Ratio) มีค่าสูงขึ้น เขื่อนที่เกิดรอยแตกจากการเคลื่อนตัวจะมีอัตราส่วน Displacement/Settlement เกือบจะเป็น หนึ่ง

(d) *Camber.*—Camber is ordinarily provided along the crest of earthfill dams to ensure that the freeboard will not be diminished by foundation settlement or embankment consolidation. Selection of the amount of camber is necessarily somewhat arbitrary. It is based on the amount of foundation settlement and embankment consolidation expected for the dam, with the objective of providing enough extra height so that some residual camber will remain after settlement and consolidation. This residual camber also improves the appearance of the crest.

Impervious embankment materials placed at densities roughly corresponding to the Proctor laboratory maximum consolidate appreciably when subject to overlying fill loads. It is expected that the major portion of this consolidation will take place during construction before the embankment is completed; therefore, the expected foundation settlement is the more important factor. For dams on relatively noncompressible foundations, cambers of about 1 percent of the height are commonly provided. Several feet of camber may be required for dams constructed on foundations expected to settle. A method of determining foundation settlement is given in [54] and in USBR Design Standards No. 13, chapter 9. Straight-line equations should be used to vary the amount of camber and to make it roughly proportional to the height of the embankment. These equations are easy to use and usually correspond well with the camber lines as constructed in the field.

รูปที่ 3 กฎของนิ้วโป้งเรื่องการทรุดตัว 1% มาจากการออกแบบ Camber ของ USBR (1987)

ตารางที่ 3-25 Embankment crest region, typical range of post construction settlement and long-term settlement rate

Core Properties			Crest Settlement (%)[1, 2]			Long-term Settlement Rate [1, 3]	
Classification	Core Width	Moisture content	3 yrs	10 yrs	20 to 25 yrs	Steady/Slow Reservoir	Fluctuating Reservoir
CL/CH	Thin to medium	Dry	0.05 to 0.55	0.10 to 0.65	0.20 to 0.95	0.04 to 0.50 (most < 0.26)	**0.09 to 0.57**
		Wet	0.04 to 0.75	0.08 to 0.95	0.20 to 1.10		
	Thick	all (most dry)	0.02 to 0.75	0.10 to 1.0	0.5 to 1.0		
SC/GC	Thin to medium	Dry	0.10 to 0.25	0.10 to 0.40	< 0.5	0 to 0.26	0.06 to 0.37
		Wet	0.15 to 0.80	0.20 to 1.10	< 1.1		
	Thick	all (most dry)	0.05 to 0.20	0.10 to 0.35	0.10 to 0.45		
SM/GM	Thin to thick	All	0.06 to 0.30	0.10 to 0.65	< 0.5 to 0.7	< 0.10	0.03 to 0.21
Very Broad Earthfill Cores - most CL and dry placed			0.0 to 0.60	0.0 to 0.80	0.05 to 0.76	0.08 & 0.44	0.07 to 0.70 (most < 0.35)

Note:[1] excludes possible outliers.

[2] crest settlement as a percentage of the embankment height

[3] long-term settlement rate in units of % settlement per log cycle of time (settlement as a percentage of dam height).

ที่มา: Hunter and Fell (2003)

ตารางที่ 3 Post construction total crest settlement and long-term creep rate for CFRDs

Rockfill Classification	Total Post Construction Settlement (% of dam height)			Long-term Creep Rate, α** (% /log cycle)
	10 years	30 years		
Dumped Rockfill	0.6 to 1.0	1.0 to 1.5		0.3 to 1.5
Well Compacted Rockfills:				
- Medium to high strength*	**0.15 to 0.4**	-		**0.05 to 0.25**
- Very high strength, quarried*	0.06 to 0.2	-		0.02 to 0.10
- Gravel Rockfills	0.2 to < 0.05	-		< 0.10

Note: * Rock substance unconfined compressive strength medium 6 to 20 MPa, high 20 to 70 MPa, and very high 70 to 240 MPa.

** %strain = α (log T2 – log T1)

ที่มา: Hunter et al (2003)

อัตราการไหลซึมที่ปลอดภัยไม่ใช่ปริมาณน้ำสูญเสียที่ยอมรับได้

ผู้เขียนเคยเห็นการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดที่ได้จากฝายอัตราการไหลซึมกับเกณฑ์อัตราการสูญเสียน้ำที่ยอมรับได้ ซึ่งประมาณไว้ในขั้นการออกแบบโดยเป็นอัตราการไหลซึมทั้งที่ผ่านตัวเขื่อนและฐานรากเขื่อน ซึ่งอาจไม่ใช่อัตราการไหลซึมที่ปลอดภัย สำหรับเทียบกับที่ตรวจวัดได้

ก่อนอื่น ต้องเห็นสภาพตามจริงก่อนว่า ฝายวัดอัตราการไหลซึมไม่สามารถรับน้ำที่ไหลซึมผ่านทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ สมมติว่าฝายวัดอัตราการไหลซึมตั้งอยู่ที่ตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ น้ำที่ไหลซึมผ่านฐานรากอาจไม่เข้าทั้งหมด น้ำบางส่วนไหลซึมในชั้นฐานรากที่อยู่ใต้ตัวฝาย หรือน้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อนจะไหลเข้าสู่ท่อที่รองรับน้ำได้บางส่วนเช่นกัน อย่างไรก็ตาม อัตราการไหลซึมที่ตรวจวัดสะท้อนประสิทธิภาพของระบบการปิดกั้นและระบบการระบายน้ำ โดยการเปรียบเทียบอัตราการไหลซึมที่เกิดขึ้นในขณะที่ระดับน้ำในอ่างฯเท่ากัน เพราะการปิดกั้นที่ไม่สมบูรณ์ย่อมส่งผลให้อัตราการไหลซึมที่เพิ่มขึ้น แต่ตรงกันข้ามหากการระบายน้ำไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้อัตราการไหลซึมลดลง

กรณีเขื่อนขุนด่านปราการชล หรือเดิมชื่อ คลองท่าด่าน ซึ่งผู้เขียนได้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลซึมในระหว่างการก่อสร้างเขื่อน โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ในระหว่างการก่อสร้าง พบว่าอัตราการไหลซึมที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับที่ตรวจวัดหลังจากเขื่อนได้เก็บกักน้ำ ฝายวัดอัตราการไหลซึมทำหน้าที่ตรวจสอบประสิทธิภาพของรูระบายน้ำใต้ฐานเขื่อน

6. เกณฑ์ความปลอดภัยเขื่อนจากเครื่องมือวัดฯ

ในปีแรกหลังการก่อสร้าง ผู้ออกแบบเขื่อนอาจถูกถามว่าจะมีเกณฑ์ให้เครื่องมือวัดฯ ที่ได้ติดตั้งไหม จากประสบการณ์ไม่บ่อยเลย ที่จะได้อ่านค่าได้ตรงกับที่คำนวณออกแบบไว้ เพราะการวิเคราะห์ออกแบบทำด้วยคุณสมบัติวัสดุไปในทางแย่หรืออนุรักษ์นิยม ค่าอ่านที่ออกแบบมักมากกว่าที่ตรวจวัดจริงไปมากก็ได้ ในทางกลับกัน หากในระหว่างก่อสร้างได้รวบรวมข้อมูลจริงและนำค่าเฉลี่ย ค่าที่เป็นตัวแทน มาวิเคราะห์ ค่าที่วิเคราะห์นี้จะใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้

ปัจจุบันเขื่อนขนาดใหญ่ตามนิยามของประเทศไทย (ความจุมากกว่า 100 ล้านลบ.ม.) มีการจัดทำแบบปฏิบัติการฉุกเฉิน (Emergency Action Plan, EAP) โดยมีการจัดทำเกณฑ์สำหรับการตรวจวัดระบุในแผนปฏิบัติการนี้ด้วย ผู้เขียนได้จัดทำเกณฑ์ความปลอดภัยตาม Bulletin 158 Dam Surveillance Guide โดย ICOLD (2018) ซึ่งได้นิยามว่า

Alert: The measured data is out of the expected range taking into account the common changes due to cyclic or stationary loads.

Alarm: The maximum level forecasted by the engineering board whereby the safety coefficients for the structure are surpassed.

ในขณะที่ FERC (2006) สรุประดับการแจ้งเตือนในการติดตามสถานการณ์ ดังตารางที่ 4 ตารางนี้น่าสนใจที่แสดงด้วยว่าเจ้าหน้าที่ควรปฏิบัติอย่างไรหลังจากที่ได้รับการแจ้งเตือนแล้ว จะเห็นว่าเกณฑ์ความปลอดภัย ควรระบุความผิดปกติของเขื่อนได้ตั้งแต่เริ่มต้น ใช้แจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ทราบ ก่อนที่ความผิดปกตินั้นจะลุกลามจนควบคุมไม่ได้ เกณฑ์ความปลอดภัยระดับปกติที่สร้างขึ้นจะบ่งชี้พฤติกรรมที่ถือว่า ปกติ ตามมาตรฐานการออกแบบปัจจุบัน ระดับของเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับปกติ ระดับเฝ้าระวัง และระดับแจ้งเตือน โดยแต่ละระดับผู้เขียนนิยามดังนี้

ระดับปกติ (Normal) แสดงสถานะที่เขื่อนมีความปลอดภัย มีพฤติกรรมเป็นปกติทั้งที่ได้จากการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนและการสำรวจในสนาม โดยพฤติกรรมที่เป็นปกตินี้จะสอดคล้องกับความรู้ในปัจจุบัน โดยพฤติกรรมที่คาดการณ์นี้ได้จากค่าอ่านผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติ

ระดับเฝ้าระวัง (Alert) เริ่มมีพฤติกรรมผิดไปจากที่คาดการณ์ หรือ ค่าอ่านอยู่นอกช่วงที่ตรวจวัดไว้ นั่งคือ เริ่มสงสัยว่าจะนำไปสู่ความไม่ปลอดภัยได้ สภาพเขื่อนอาจมีความบกพร่องไปเล็กน้อย แต่เขื่อนยังมีความมั่นคงปลอดภัย

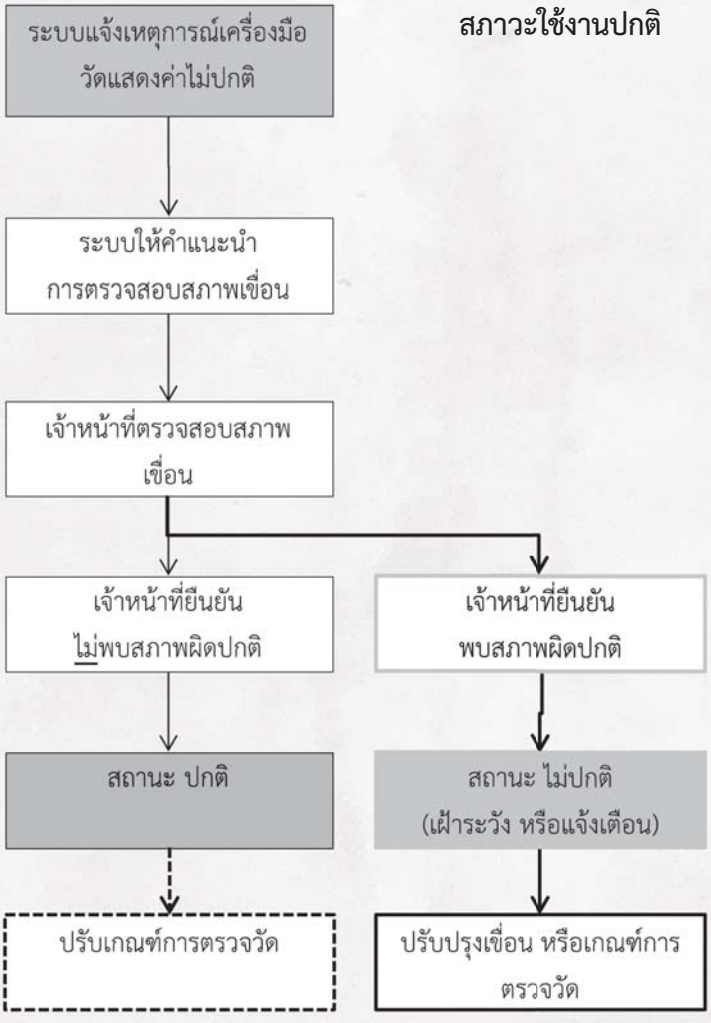
ระดับแจ้งเตือน (Alarm) แสดงสถานะที่เขื่อนมีพฤติกรรมที่ไม่ปกติหรือพฤติกรรมที่นำไปสู่ความเสียหาย หากปล่อยไว้อาจลุกลามให้เขื่อนเข้าสู่อันตราย หรืออีกนัยหนึ่งเขื่อนมีอัตราความปลอดภัยลดลง ซึ่งหากเขื่อนยังไม่เคยประสบปัญหาระดับนี้จะไม่มีค่าอ่านที่แสดงปัญหาได้ แต่สามารถประมาณค่าสำหรับการแจ้งเตือนได้จากแบบจำลองทางตัวเลข (Numerical Model) โดยวิเคราะห์ย้อนกลับและขยายผล อาจเรียกว่าเป็นเกณฑ์ที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์สถิติร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางตัวเลย (hybrid approach)

ปัจจุบันเกณฑ์การแจ้งเตือนนี้ได้นำไปใช้ในระบบติดตามสถานการณ์เขื่อนระยะไกลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยมีแผนภูมิขั้นตอนการนำไปใช้ของเกณฑ์ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการผสมผสานทั้งการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดฯ กับการตรวจสอบสภาพเขื่อน

ตารางที่ 4 หลักการของเกณฑ์ความปลอดภัยเขื่อนสำหรับเครื่องมือวัดฯ

ระดับการแจ้ง	คำอธิบาย	การตอบสนองจากเจ้าหน้าที่
เขื่อนมีสภาพตามที่คาดการณ์		
ระดับปกติ (Normal) - สีเขียว	ค่าอ่านที่วัดได้ อยู่ในช่วงที่คาดการณ์ เขื่อนมีสภาพปกติ	ดำเนินการตรวจสอบสภาพเขื่อน และตรวจวัดตามปกติ
เริ่มพบอาการผิดไปจากที่คาดการณ์ (Threshold Level)		
ระดับเฝ้าระวัง (Alert) - สีเหลือง	ค่าอ่านที่ได้ จากหนึ่งจุดหรือ มากกว่า อยู่นอกเหนือช่วงที่คาดการณ์	อ่านค่าซ้ำเพื่อให้แน่ใจ เพิ่มความถี่การติดตามอ่านค่า แจ้งหน่วยงานความปลอดภัยเขื่อน หากจำเป็นให้ดำเนินการลดระดับน้ำเพื่อลดโอกาสจะลุกลามไปสู่ระดับแจ้งเตือน
ขีดกำจัดของความปลอดภัย (Limit Level)		
ระดับแจ้งเตือน (Alarm) - สีส้ม	ค่าอ่านที่ได้ จากหนึ่งจุดหรือ มากกว่า อยู่สูงค่าที่กำหนดให้เป็นขีดจำกัดของความปลอดภัย	แจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กำหนดพื้นที่ปลอดภัย เพิ่มมาตรการความปลอดภัยตามแผนปฏิบัติการ

ดัดแปลงจาก FERC (2017)



รูปที่ 4 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการของระบบการติดตามสถานการณ์เขื่อน

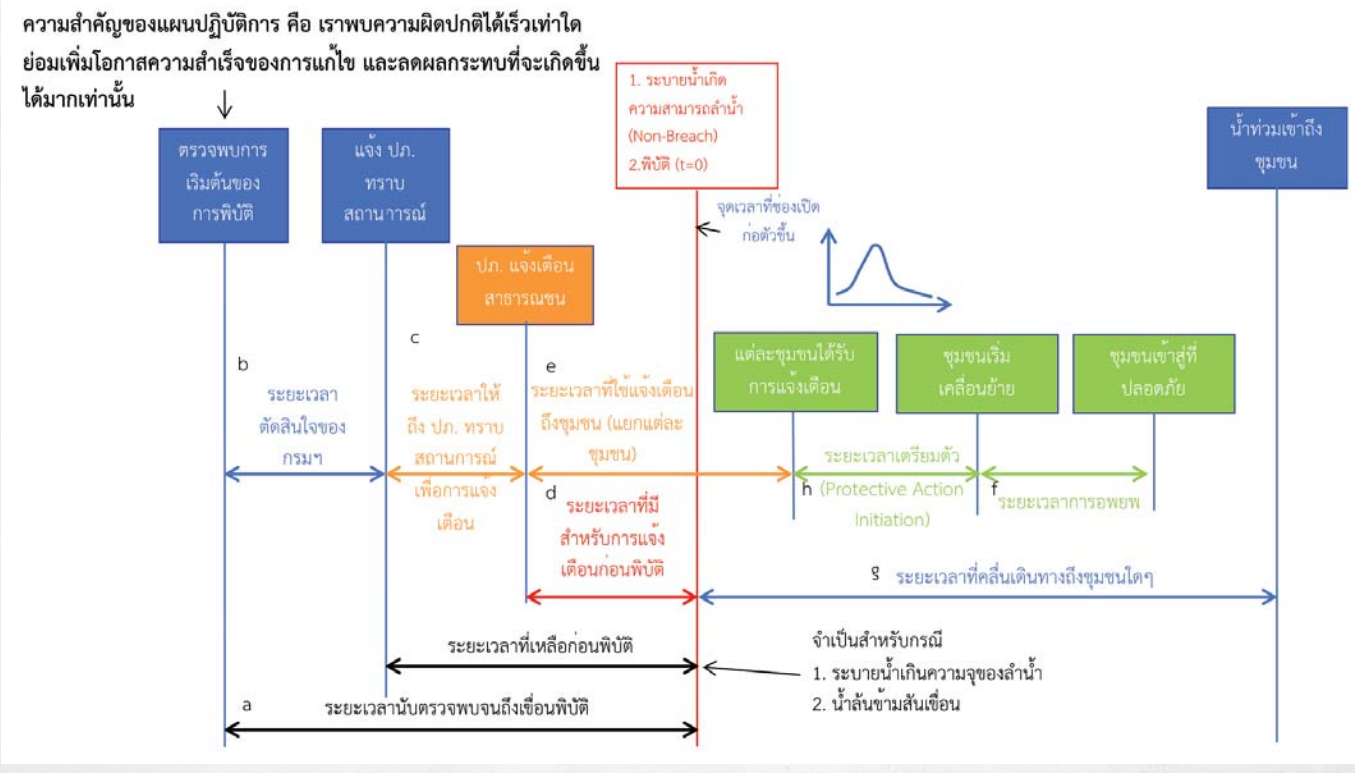
7. ความเข้าใจมาตรการด้านความปลอดภัยเขื่อน

ความสำเร็จของการติดตามด้วยเครื่องมือวัดฯ คือ สามารถระบุความผิดปกติได้ตั้งแต่เริ่มต้น ไม่ปล่อยให้ลุกลามจนเขื่อนพิบัติ การจัดทำแผนปฏิบัติการฉุกเฉินจึงพิจารณาความสามารถของการตรวจพบปัญหาในเขื่อนได้อย่างรวดเร็ว รูปที่ 5 แสดงแนวคิดนี้ให้เห็นเป็นรูป หากตรวจพบการเริ่มต้นของการพิบัติได้ช้า เวลาของการแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ให้ดำเนินการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าจะน้อยตาม และเวลาแจ้งเตือนอพยพแก่ประชาชนที่อาศัยด้านท้ายน้ำ ดังนั้นหากเขื่อนอยู่ในสภาวะที่ไม่ปกติ เช่น ฝนตกปริมาณมาก หรือต่อเนื่อง จะเริ่มการติดตามสถานการณ์เขื่อน (Dam surveillance) จำเป็นที่เจ้าหน้าที่ได้ติดตามเครื่องมือวัดฯ และร่วมกับการตรวจสภาพอย่างต่อเนื่อง เราจะใช้ข้อมูลที่ได้นี้ระบุพฤติกรรมที่ผิดปกติ และยืนยันว่าปัญหาจะลุกลามหรือไม่

การติดตั้งในระหว่างก่อสร้าง บางครั้งที่มองเครื่องมือวัดฯ ว่าเป็นอุปสรรค ขวางงานก่อสร้าง หากได้ทำความเข้าใจกันให้เห็นประโยชน์ จะไม่มองว่าเครื่องมือวัดฯ เป็นของโก้เก๋ เป็นของฟุ่มเฟือย แต่เห็นความคุ้มค่า เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์มาประเมิน ในบางโครงการก่อสร้างเขื่อน เครื่องมือวัดถูกมองว่าเป็นโอกาสงานวิจัยหรือการทดลองขนาดเท่าของจริง ซึ่งเป็นผลดีกับเจ้าของเขื่อน หากเปิดทางให้มหาวิทยาลัยหรือสถานการศึกษาเข้ามารวบรวมข้อมูลในระหว่างก่อสร้าง จะได้องค์ความรู้ของเขื่อนนั้นไปใช้งานต่อในระยะยาว และผู้เขียนได้คำนวณสัดส่วนราคางานในเครื่องมือวัดฯ เทียบราคางานก่อสร้างกับงานเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน มีค่าไม่ถึง 1%ของมูลค่าของโครงการก่อสร้าง ซึ่งต่ำกว่าสัดส่วนงานวิจัยและพัฒนา (Research and Development) กับ GDP ที่ประมาณ 2%

8. สรุปและเสนอแนะ

เขื่อนส่วนใหญ่อยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานของรัฐ 2 หน่วยงานใหญ่ได้แก่ กรมชลประทานที่มีเขื่อนจำนวนมาก กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีเขื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งต่างมีหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านความปลอดภัยเขื่อนที่ส่วนกลางและมีกำลังพลไม่เกิน 30 คน โดยมีแนวโน้มที่กำลังพลนี้ลดลงอัตรา 3% ต่อปี ส่วนกำลังพลในภูมิภาคยังระบุจำนวนไม่ได้แต่ก็ไม่มาก ส่วนหน่วยงานอื่น ๆ เช่น กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมทรัพยากรน้ำ องค์กรปกครองท้องถิ่น กรมพัฒนาที่ดิน กองทัพ มหาวิทยาลัยและสถานศึกษา อาจยังไม่มีเจ้าหน้าที่เฉพาะดูแลเขื่อน ในขณะที่เขื่อนมีอายุเพิ่มขึ้น นั่นคือจำนวน เขื่อน-ปี ทั้งประเทศยังคงเพิ่มขึ้น แม้ว่าส่วนใหญ่เป็นเขื่อนดินหรือหินถมที่ไม่ต้องการดูแลรักษามาก หากได้ออกแบบและ



รูปที่ 5 ขั้นตอนการตรวจพบการเริ่มต้นของการพิบัติบนเส้นเวลาของการอพยพ

ก่อสร้างตามมาตรฐาน แต่ต้องไม่ลืมว่ามาตรฐานนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาตามความรู้ความเข้าใจทางวิศวกรรมหลายแขนงที่เกี่ยวข้อง และวัสดุบางชนิดมีการเสื่อมสภาพในระยะยาว ดังนั้นเราจะอยู่แบบที่ผ่านมาไม่ได้ ขณะที่คนดูแลมีประสบการณ์น้อย เครื่องมือวัดฯ จึงยิ่งต้องถูกใช้เป็นตัวช่วยประเมินความปลอดภัยของเขื่อน ทั้งนี้เครื่องมือวัดฯ ไม่ใช่สิ่งวิเศษ ยังต้องควบคู่กับการตรวจสภาพและหรือการสำรวจหรือทดสอบในสนาม

มันอาจเป็นไปได้หรือไม่ที่ หน่วยงานที่ดูแลรักษาเขื่อน จะปรับบทบาทจากผู้ที่ต้องตรวจสอบและอ่านค่าเอง มาเป็นหน่วยงานที่กำกับ (regulator) กำหนดมาตรฐาน กำกับคุณภาพมากกว่าทำเองทั้งหมด เปิดโอกาสได้ตรวจสอบจากบริษัทมาอ่านค่าและแปลผล งานเครื่องมือวัดฯหลังติดตั้งยังมีเรื่องอ่านค่าและบำรุงรักษาควร outsource อาจรวมถึงการตรวจสภาพ รวมทั้งอาจให้เกิดความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยและสถานศึกษามาแปลผลและประเมิน เพื่อสร้างฐานความรู้ใหม่ให้เกิดในองค์กร

ประเทศไทย ยังขาดองค์กรกลางที่ไม่แสวงหากำไร และเป็นพื้นที่ปลอดภัย สำหรับการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ และกรณีศึกษา เพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านเครื่องมือวัดฯ และพฤติกรรมเขื่อนที่ไม่ปกติ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือและความเข้าใจจากหลายหน่วยงานที่มีเขื่อนดูแล

9. เอกสารอ้างอิง

วรากร ไม้เรียง 2538. แผ่นใสคำสอน วิชา วิศวกรรมเขื่อน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ICOLD, International Commission On Large Dams. 2000. Bulletin 118 Automated dam monitoring systems - Guidelines and case histories. Committee on Automated Monitoring of Dams and Their Foundations, ICOLD, Paris.

John Dunnicliff 1988. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley& Sons.

ICOLD, International Commission On Large Dams. 1995. Bulletin 99 Dam Failures Statistical Analysis. Committee on Statistical Interpretation of Dam Failures, Paris.

Penman A.D.M., Saxena K.R. and Sharma, V.M. 1999. Instrumentation, Monitoring and Surveillance : Embankment Dams.

USBR, US Bureau of Reclamation. 1987. Design Small Dams.

Hunter, G. and Fell, R. 2003. The Deformation of Embankment Dams. UNICIV Report No. R416, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia.

ICOLD, International Commission On Large Dams. 2018. Bulletin 158 Dam Surveillance Guide. Committee on Dam Surveillance, ICOLD, Paris.

FERC, Federal Energy Regulatory Commission. 2017. Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects. Chapter 14 Dam Safety Performance Monitoring Program.

Geotextiles and Geomembranes
Volume 49, Issue 5, October 2021, Pages 1211-1228

Use of geosynthetic clay liner as a remedial measure of claystone degradation in Lam Ta Khong hydropower plant

Suttisak Soralump, Avishek Shrestha, Apiniti Jotisankasa,

Chinoros Thongthamchart and Rattatam Isaroranb

Abstract

In this study, the downstream slope of a dam impounding the upper reservoir of Lam Ta Khong (LTK) hydroelectric energy storage in Thailand was found to slide at a higher pace during the rainy season. After a thorough site investigation, laboratory tests, and numerical modeling to identify the main cause of the movement, it was found that as rainfall infiltrated the upper soil layer, the claystone of the downstream slope deteriorated when in contact with the water. As a remedial measure, 174,750 m2 of geosynthetic clay liner (GCL) was used to cover the entire downstream slope of the dam, and proved to be an effective and economical solution for reducing the ongoing movement. The GCL included a textured high-density polyethylene (HDPE) layer for improving the resistance and minimizing the slippage at the interface between the GCL and underlying rock. Before the dam's remediation, the settlement point demonstrated a movement of nearly 0.1 m/year. In contrast, after the placement of the GCL, almost all settlement points moved less than 0.1 m for a recorded period of more than 4 years.

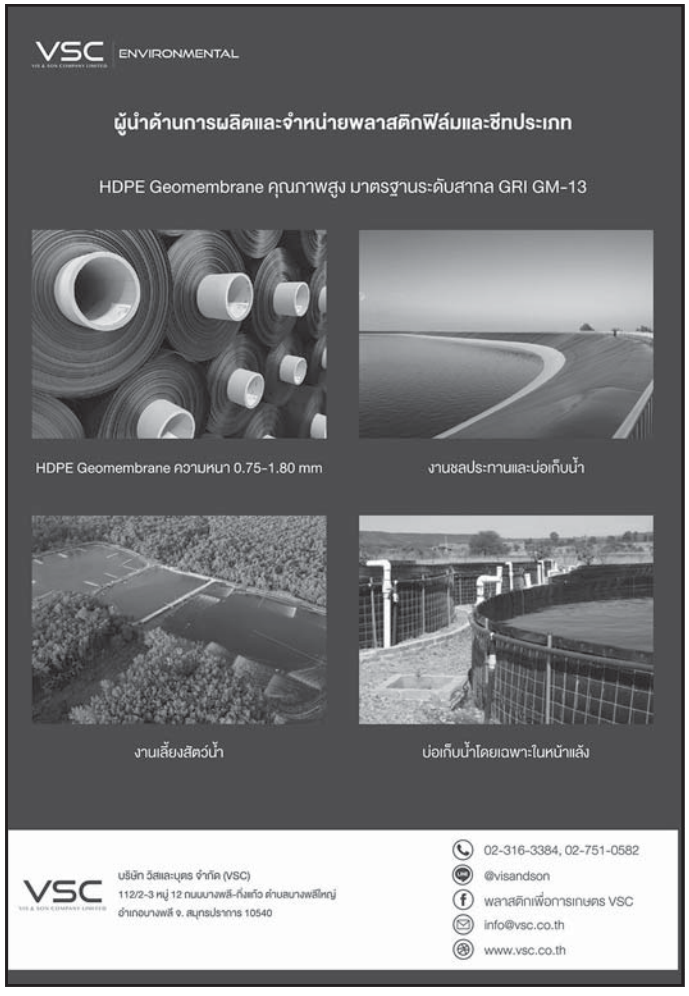
ฉบับเต็ม : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026611442100042X

บริษัท ทาพาโก้ จำกัด (มหาชน)

TAPACO
PUBLIC COMPANY LIMITED

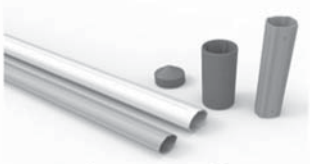
บริษัท ทาพาโก้ จำกัด (มหาชน) ประกอบธุรกิจผลิต ประกอบและจัดจำหน่ายชิ้นส่วนพลาสติก วิศวกรรม (Engineering Plastic Parts) เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบชิ้นส่วนพลาสติกของเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องเสียงรถยนต์ โดยบริษัทฯจัดจำหน่ายสินค้าที่ผลิตได้ให้แก่ผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ และผู้ผลิตเครื่องเสียงรถยนต์ซึ่งมีฐานการผลิตอยู่ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งนี้ บริษัทฯ ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI)

เลขที่ 789/40 หมู่ 1 ตำบลหนองขาม อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230
โทรศัพท์ :0-3829-6339-41
โทรสาร :0-3829-6342
http://www.tapaco.com



SISGEO
Asia Pacific Co., Ltd.

93 Soi Udomsuk 37
Bang Chak, Phra Khanong
10260 Bangkok - Thailand
Tel. (+66) 02-042-5503
email: info@sisgeoasia.com
www.sisgeoasia.com


Inclinometer Casing

Digital Inclinometer Systems

Tiltmeters

Digital EI Beam Tiltmeters

Crackmeter & Jointmeters

DEX & Digital IPI inclinometers

Borehole Rod Extensometers

H-Level Settlement System

Resistive and VW Piezometers

VW Strain Gauges

Total Pressure Cells

DMS Wireless System

Your Asia's Geotechnical Instrumentation Partner

สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา
กรมชลประทาน

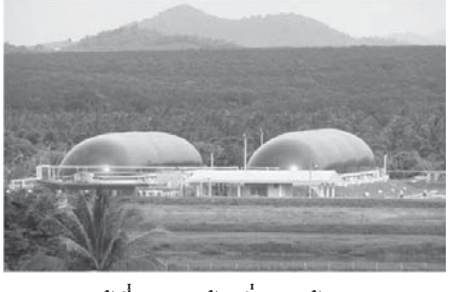
811 ถนนสามเสน แขวงถนนนครไชยศรี กทม.10300
โทรศัพท์ 0-2241-0740 ถึง 9 ต่อ 2586 , เบอร์ตรง 0-22436913

Email : rid.smart.survey@gmail.com

Service Mind, **S**tandard and **S**uccess

บริษัท เอนไวรอนเมนทัล มูฟเม้นท์ จำกัด
ENVIRONMENTAL MOVEMENT CO.,LTD.

envi move
E-mail: envimove@gmail.com



ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และการมีส่วนร่วมของประชาชน ในการจัดทำรายงาน EIA EHIA IEE CoP และ ESA มากกว่า 10 ปี ในด้านการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการต่าง ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า รวมถึงโครงการที่พักอาศัยต่าง ๆ

49/81 หมู่ 8 ซ.แผ่นดินทอง 38 ถ.ติวานนท์ ต.บางกระสอ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์: 0-2156-9397 มือถือ: 089-7747682 แฟกซ์: 0-2156-9319

บริษัท เบญจชัย เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
BENJACHAI ENGINEERING CO.,LTD

รับออกแบบและก่อสร้างงานด้านวิศวกรรมโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม
เช่น อาคารโรงงาน อาคารสำนักงาน อาคารที่พักอาศัย งานระบบท่อส่งน้ำ
ท่อไอน้ำ ท่อน้ำมัน รับติดตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ติดตั้งระบบปรับอากาศ
ไฟฟ้าโรงงาน และโครงสร้างพื้นฐานทั่วไป

48/2 หมู่ 4 ตำบลหลักสาม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร 74120
E-mail : md@benjachai.com, bce_eku@hotmail.com www.benjachai.com
Tel : 093-6546156, 034-440239 / Fax : 034-440249

บ้านคุณภาพที่อยู่คู่กับ
“ เมืองเชียงราย ”
มามากกว่า 30 ปี

SINTHANEE

บ้านเดี่ยว | บ้านแฝด | ทาวน์โฮม
บ้านใจกลางเมืองเชียงราย รายล้อมธรรมชาติ

โครงการแนะนำ

087 190 1177 | SINTHANEEPROPERTY.COM

WISSAWACHARN 2002
บริษัท วิศวชาญ 2002 จำกัด
ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2545
โดยกลุ่มวิศวกรและผู้เชี่ยวชาญด้านต่าง ๆ

ปรัชญาของเรา

การให้บริการและการทำงานโดยให้ผู้ว่าจ้างเป็นส่วนหนึ่งของทีม (Client's Solution) ในการออกความเห็นร่วมค้นหาปัญหา คือหัวใจหลักในการทำงานของเรา เพราะเป็นวิธีการที่ช่วยให้ค้นพบความต้องการที่แท้ของโครงการและตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงประเด็น ผนวกกับความพร้อมของทีมงาน ไม่ว่าจะเป็นด้านเทคนิค ซอฟแวร์ กระบวนการทำงาน เพื่อรังสรรค์ผลงานออกมาให้ได้ตรงความต้องการของลูกค้ามากที่สุด ในกรอบเวลาที่กำหนด

แนวคิดการให้บริการแนวใหม่และความมุ่งมั่นผลิตงานคุณภาพจากมุมมองหลายมิติ การใช้โมเดล 3 มิติ BIM ที่มีสำรวจหน้างานความรับผิดชอบและคุณภาพงานระดับสากล เป็นหัวใจหลักของการบริการจากใจ ที่เรามอบให้ลูกค้าคนสำคัญ...

การบริการ

งานที่ปรึกษา ด้านวิศวกรรม งานสาขาสถาปัตยกรรม วิศวกรรมฐานราก วิศวกรรมโยธา ชลประทานและแหล่งน้ำ วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมสุขาภิบาล วิศวกรรมการทาง วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กับทางราชการและบริษัทเอกชน ซึ่งผลงานที่ให้บริการจะเป็นงานพัฒนาโครงการขนาดกลางไปจนถึงโครงการขนาดใหญ่ ในเขตชุมชนและพื้นที่ทุรกันดารห่างไกล ส่วนใหญ่จะเป็นผลงานทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ วิศวกรรมโยธา/โครงสร้าง ได้แก่ งานจัดหาแหล่งน้ำ งานศึกษาความเหมาะสมโครงการ และงานสำรวจออกแบบรายละเอียดเขื่อนและอาคารประกอบ สถานีสูบน้ำและเครื่องสูบน้ำ ระบบป้องกันน้ำท่วม ระบบระบายน้ำ และระบบชลประทาน

สำนักงานตั้งอยู่เลขที่ : 30 ซอยงามวงศ์วาน 19
ถนนงามวงศ์วาน ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
โทรศัพท์ : (02) 952-7102-4 E-mail : wissawacharn@gmail.com

CASE
CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERS Co., Ltd.

บริษัท ซีวิล แอนด์ สตรัคเจอรัล เอ็นยิเนียร์ส จำกัด
Civil And Structural Engineers Co., Ltd.

51/25 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

TEL. (662) 941 10612 FAX (662) 941 1060 www.casethai.com E-mail : info@casethai.com

ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับที่ปรึกษา
ด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ออกแบบ อาคาร สะพาน ถนน
มีประสบการณ์ มากกว่า 25 ปี

WATER INDEX

บริการวิเคราะห์ทดสอบ
ทางห้องปฏิบัติการ
(Analytical / testing Service)

บริการตรวจวิเคราะห์ทดสอบคุณภาพ
ทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น

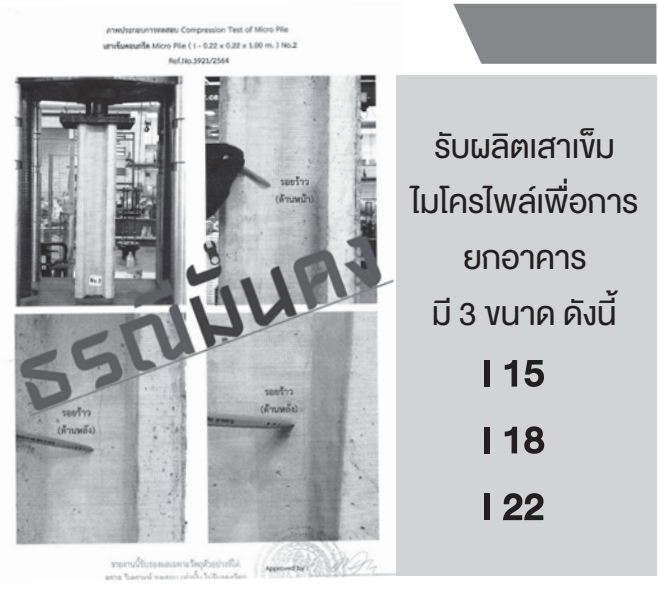
การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำดี

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

การตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพอากาศ

บริษัท วอเตอร์อินเด็กซ์ แอนด์ คอนซัลแทนท์ จำกัด
229/7-8 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 95/1 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางอ้อ
เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700
โทร.02-885-5801-2 มือถือ. 081-350-7432
Email. waterindex_con@hotmail.com LINE. water.index
https://www.facebook.com/pages/?category=your_pages

ธรณีมั่นคง



รับผลิตเสาเข็ม
ไมโครไพล์เพื่อการ
ยกอาคาร
มี 3 ขนาด ดังนี้

I 15

I 18

I 22

FRONTIER ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

บริษัท ฟรอนเทียร์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแทนท์ส จำกัด
FRONTIER ENGINEERING CONSULTANT CO.,LTD.

45 ซอยประชาราษฎร์ 3 ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
โทร 02-968-4461-2 แฟกซ์ 02-968-4464 E-mail : frontier_consult@hotmail.com

บริการที่ปรึกษาให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชน

ขอบเขตให้บริการ

1. ศึกษาและจัดทำรายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม
2. สำรวจและจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ และสำรวจด้านธรณีวิทยา/ปถพีกลศาสตร์
3. ออกแบบรายละเอียดและจัดทำเอกสารประกวดราคา งานเขื่อน ฝาย อาคารประกอบ และระบบชลประทาน
4. ออกแบบรายละเอียดและจัดทำเอกสารประกวดราคา งานถนน ระบบระบายน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบประปา และสาธารณูปโภคอื่นๆ
5. ศึกษา-ออกแบบไฟฟ้าพลังน้ำ และศึกษา วิจัย ด้านพลังงานทดแทนต่างๆ
6. การควบคุมงานก่อสร้างทุกประเภท

คุณบรรจง ไกรสาร
081-554-9823

บริษัท เดนิช ซอยล์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
DENICH SOIL ENGINEERING CO., LTD.
D.S.E.

บริการงานด้านวิศวกรรมโยธา
เจาะสำรวจดิน หิน
ทดสอบดิน หิน

โทร. 085-917-7163 , 02-729-5031 , 02-184-5453
อีเมลล์: denichsoiltest@gmail.com
www.denichsoiltest.com

THANA CONCRETE ธนาคอนกรีต

ผู้ผลิต-จำหน่าย ผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรง

- เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
- เสาเข็มตัวไอ
- เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง
- แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบตัน
- แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบกลวง
- คอนกรีตผสมเสร็จ
- อิฐบล็อกมวลเบา
- บริการรถปั๊มคอนกรีต
- บริการตอกเสาเข็ม
- ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปตามสั่ง

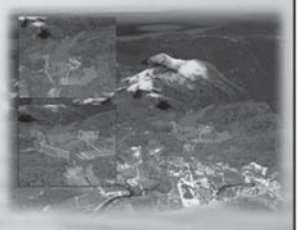
สินค้าได้มาตรฐานอุตสาหกรรม เสาเข็ม มอก.396-2549 แผ่นพื้น มอก.828-2546

53/2 หมู่ที่ 1 ถนนกาญจนวิถี ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000
Tel: 077-282678, 077-213158, 077-355202
Mobile : 081-5388527, 081-4197416
Fax : 077-213159

www.thanaconcrete.com Email : thanaconcrete@gmail.com

บริษัท อินเตอร์ เทค คอนซัลแตนท์ จำกัด
INTER TECH CONSULTANTS CO., LTD.

บริษัทที่ปรึกษาครอบคลุมงานทางด้านวิศวกรรมต่างๆ ได้แก่ วิศวกรรมแหล่งน้ำและชลศาสตร์ วิศวกรรมชลประทาน วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล สถาปัตยกรรมศาสตร์ เป็นต้น นอกจากนี้บริษัทยังให้บริการปรึกษา วางแผนแม่บท แผนรวม แผนปฏิบัติการ ในด้านการพัฒนาทรัพยากรน้ำตลอดจนทรัพยากรอื่นๆ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ด้านเศรษฐศาสตร์-การเงิน ด้านองค์กรบริหาร เพื่อนำเสนอต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ขอความเห็นชอบดำเนินโครงการหรืออนุมัติงบประมาณ

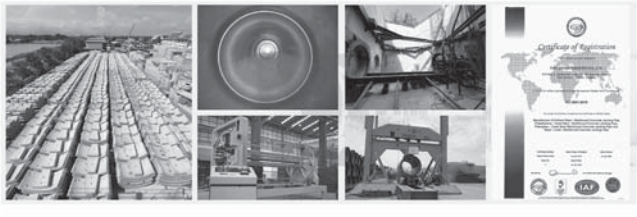


100/87 หมู่ 8 ซอยรัตนาธิเบศร์ 17 ตำบลบางกระสอ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000
โทรศัพท์ : 02-192-6881-2 แฟกซ์ : 02-192-6883 E-mail : ITC2546@GMAIL.COM

บริษัท ไทยเรืองอุตสาหกรรม จำกัด
THAI RUANG INDUSTRY CO., LTD.

ผู้นำการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
REINFORCED CONCRETE JACKING PIPE

- ด้วยเครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก
- เพื่อรองรับงานสาธารณูปโภคทุกประเภทที่ต้องเทคโนโลยีการดันท่อลอด (PIPE JACKING) ซึ่งครอบคลุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน งานท่อประธาน งานท่อรวบรวมน้ำเสีย งานอุโมงค์ใต้ดิน งานระบายน้ำขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถก่อสร้างด้วยวิธีขุดเปิด
- ด้วยประสบการณ์มากกว่า 20 ปี เราให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า



ติดต่อได้ที่
CONTACT US

413 หมู่ 3 ถ.สุขุมวิท กม.50 ต.บางปู
อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280
E-mail : thaireung@hotmail.com
มือถือ : 086-789-0050 , Line id : thaireung

413 Moo 3 Sukhumvit Rd., Bangpoo
Muang, Samutprakarn 10280 Thailand.
E-mail : thaireung@hotmail.com
Tel. : 086-789-0050 , Line id : thaireung

บริษัท ฟลอยด์ จำกัด (มหาชน)

บริษัท ฟลอยด์ จำกัด (มหาชน) ดำเนินธุรกิจรับเหมาติดตั้งงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร (Mechanical & Electrical Engineering Contractor) สำหรับ อาคารสำนักงาน อาคารพักอาศัย โรงพยาบาล ศูนย์การค้า และโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนงานโครงการขนาดใหญ่ โดยทีมงาน และวิศวกรที่มีประสบการณ์และความชำนาญมากกว่า 25 ปี

พันธกิจ

1.ให้บริการงานก่อสร้างงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคารอย่างมืออาชีพ มีคุณภาพ ใส่ใจ และมีมาตรฐาน
2.พัฒนาการให้บริการสู่ความเป็นเลิศ เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด
3.พัฒนาการให้บริการควบคู่การใส่ใจความปลอดภัยของพนักงานและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

31/4 หมู่ 2 ซอยวัดส้มเกลี้ยง ถนนกาญจนาภิเษก ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140
โทร.02-191-6258 ,02-191-6261 โทรสาร: 02-191-6262 E-mail:human@floyd.co.th, www.floyd.co.th

PACO

บริษัท ปทุมธานีคอนกรีต จำกัด
THE PATHUMTHANI CONCRETE CO., LTD.

มอก.396-2549
มอก.398-2537

PRODUCTS

Prestressed Concrete Spun Piles
Size : 250 mm to 800 mm

Prestressed Concrete Piles

- **Square - Shaped Pile**
  Size: 150 x 150 mm to 525 x 525 mm
- **I - Shaped Pile**
  Size : 180 x 180 mm to 500 x 500 mm

Precast Concrete Products

Environmentally Friendly Piling Innovation

- Full Center Auger with Pile Toe Grouting : FC-PTG
- Green Pile
- Jack In Pile
- Wet Process Bored Pile

PILE INSTALLATION

02-587-0198
1339 Arwan Building Pracharat Sai 1 Rd., Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800
admin@paco-group.com
pacopile
www.paco-group.com

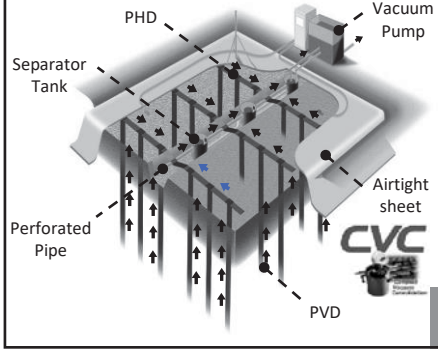
THAI MARUYAMA INDUSTRY CO., LTD.

บริษัท ไทย มารุยามา อินดัสทรี จำกัด เชี่ยวชาญงานปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนด้วยระบบดูดสุญญากาศ (Compact Vacuum Consolidation Method) ใช้เทคโนโลยีจากประเทศญี่ปุ่น โดยใช้หลักการของการลดความดันบรรยากาศภายในชั้นดินที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเร่งการทรุดตัวในชั้นดินเหนียวอ่อน เร่งการทรุดตัวของชั้นดินสามารถทำให้ดินอ่อนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าจากเดิมภายในระยะเวลาเพียง 6-8 เดือน ลดปัญหาการทรุดตัวของชั้นภายหลังการก่อสร้างได้ดี และยังช่วยลดระยะเวลาการก่อสร้างได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับการปรับปรุงด้วยวิธี surcharge preloading ในอดีต

- ❑ บริการติดตั้งแผ่นระบายน้ำสังเคราะห์ในแนวตั้ง PVD
- ❑ บริการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยระบบดูดสุญญากาศ
- ❑ บริการติดตั้งและตรวจวัดข้อมูลทางธรณีวิศวกรรมในชั้นดินอ่อน

TMIC

ติดต่อเรา
18/54 หมู่บ้านเวร่า บิสเน็ท ถนนร่มเกล้า แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 090-594-6656
www.maruyama-ind.com



FASTER
HIGH PRESSURE
RELIABLE
GOOD QUALITY

CVC SYSTEM

LTE
CONSULTANT

LTE Consultant Co., Ltd. was found in 2011 by group of professional engineers who aim to provide one stop service of property development. The company perform Engineering Consultant for Construction Management and Engineering Design of new set-up project, renovation & modification project. Our services of property development are starting from business development, product development, multi-construction activities of construction management till project handover.

อาคารสินสาธร ชั้น 22 เลขที่ห้อง 77/88
แขวงคลองต้นไทร เขตคลองสาน
กรุงเทพมหานคร 10600

02-440-0949 ต่อ 301, 080-556-9292
lteofficemanage@gmail.com
LTE Consultant

NK
construction
Ltd.,Part.

ห้างหุ้นส่วนจำกัด น้ำก่ำก่อสร้าง
NK Construction Ltd.,Part.

มีความเชี่ยวชาญ ประสบการณ์ทำงาน
ที่ยาวนาน มีความพร้อมด้านเครื่องจักร
และบุคลากรที่พร้อมจะสร้างสรรค์ผลงาน
คุณภาพตลอดเวลา

รับงานก่อสร้าง กรมโยธาฯ
กรมชลประทาน

406/3 ถนนเลี่ยงเมือง ตำบลธาตุเชิงชุม
อำเภอเมือง จ.สกลนคร 47000
Tel./Fax 042-704-838/042704839
Email: nkcons1989@gmail.com

FESTO-THAI

เป็นตัวแทนจำหน่ายเคมีภัณฑ์ก่อสร้างชั้นนำจากทั่วโลก
ทั้งจากฝั่งยุโรปและอเมริกา รับออกแบบ ซ่อมแซมคอนกรีตเสริมเหล็ก
ทุกประเภท งานเสริมกำลังโครงสร้าง คสล.
งานป้องกันการกัดเซาะและเสริมกำลังดิน

บริษัท เฟสโต-ไทย จำกัด
91/364 หมู่ที่ 4 ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
โทร.02-336-0437 แฟ็กซ์: 2-336-0438
email: enquiry@festothai.com, www.festothai.com

SYNTERRA
RELIABLE SOLUTIONS, TAILORED TO DEMANDS

- วิศวกรรมท่อส่ง (บนฝั่ง และ ใต้ทะเล) PIPELINE ENGINEERING (ONSHORE AND SUBSEA)
- วิศวกรรมโครงสร้าง (ชายฝั่ง นอกชายฝั่ง และ ใต้ทะเล) STRUCTURAL ENG. (MARINE, OFFSHORE AND SUBSEA)
- วิศวกรรมท่อแนวดิ่ง RISER ENGINEERING (RIGID AND FLEXIBLE)
- วิศวกรรมธรณีเทคนิค (บนฝั่ง และ นอกชายฝั่ง) GEOTECHNICAL ENG. (ONSHORE AND OFFSHORE)
- วิศวกรรมการก่อสร้างและติดตั้ง CONSTRUCTION/INSTALLATION ENGINEERING
- วิศวกรรมอุปกรณ์การติดตั้ง INSTALLATION EQUIPMENT DESIGN
- วิศวกรรมชายฝั่ง COASTAL ENGINEERING
- วิศวกรรมต่อเรือและระบบยึดโยง NAVAL ARCHITECH AND MOORING SYSTEM
- การประเมินสภาพความพร้อมใช้งานและการยืดอายุ INTEGRITY ASSESSMENT AND LIFE EXTENSION
- วิศวกรรมความเชื่อมั่น RELIABILITY ENGINEERING
- วิศวกรรมการรื้อถอน DECOMMISSIONING
- การออกแบบ ๓ มิติ 3D MODELING

Contact Us:
129/9 Soi Hatsadisewi, Sutthisan Winitchai Road, Huai Khwang District, Bangkok, Thailand, 10310
www.synterra.co.th, Tel: +66 2087 0935, Email: admin@synterra.co.th

บริษัท เอส.เค.อี คอนซัลแตนท์ จำกัด
S.K.E CONSULTANTS CO., LTD.

บริษัท เอส.เค.อี.คอนซัลแตนท์ จำกัด คือผู้นำด้านงานบริการและงานที่ปรึกษาทางวิศวกรรมโยธาและสาขาที่เกี่ยวข้องโดยมีบริการทางวิศวกรรมคลอบคลุมในหลายด้าน อาทิเช่น งานสำรวจจัดทำแผนที่ งานเจาะสำรวจดิน งานทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็ม งานทดสอบโครงสร้าง งานติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค งานออกแบบวิศวกรรม งานบริหารและควบคุม งานก่อสร้าง งานพัฒนาโปรแกรมระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศ รวมถึงงานตรวจวัดและจัดทำรายงานผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

89/765 หมู่ที่ 3 ตำบลบางศรีเมือง อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
มือถือ: 081-440-2706, 089-411-2332 084-093-7444 แฟกซ์: 02-882-7400
Email: ske_2003@hotmail.com

บริษัท พันเสด็จ คอนกรีต จำกัด
331/1 หมู่ 4 ตำบลบ่อวิน อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230
โทร/แฟกซ์: 038-198-441-442, 038-346-385-386
Mobile: 094-796-8080, 086-338-9238, 083-239-5622, 094-985-3666

ผู้ผลิตและจัดจำหน่าย เสาเข็ม แผ่นพื้นโครงสร้างสำเร็จรูป เสาไฟฟ้า แท่นปูน บริการตอกเสา เสาเข็ม รับเหมาติดตั้งโครงสร้างสำเร็จรูป

:@phansadejconcrete

E-mail:psd@phansadejconcrete.co.th,
sales@phansadejconcrete.co.th

THAICON

อิฐมวลเบาไทคอน ใช้เทคโนโลยีจากประเทศเยอรมันนี
ในการผลิต มีคุณสมบัติ เหนือกว่าอิฐก่อสร้างประเภทอื่นๆ
หลายด้าน คือ กันไฟ กันเสียง กันความร้อน ใช้งานง่าย
ทนทาน น้ำหนักเบา ซึ่งช่วยลดเวลา และค่าแรงงานในการก่อสร้าง

บริษัท ไทยไล้ท์บล็อคแอนด์แพเนล จำกัด
59 หมู่ 4 ต.เชียงรากน้อย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี 12160
โทร.0-2199-3851-6 แฟกซ์ 0-2199-3857-8

มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4

THANATHORN CONSTRUCTION

65/169 ชั้น 20 อาคารชำนาญเพ็ญชาติ ถนนพระราม 9 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
Tel : 02-248-2536 **Fax** : 02-643-1026 **Email** : tntcon@tntcon.co.th **Website**: www.tntcon.co.th

COMPANY OVERVIEW

ตลอดระยะเวลากว่า 30 ปี บริษัท ธนาธรคอนสตรัคชั่น จำกัด ได้ประกอบธุรกิจงานก่อสร้างครบวงจรที่ครอบคลุมทั้งในส่วนการวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง และการวางระบบสาธารณูปโภค ให้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ และคลังสินค้าซึ่งในแต่ละโครงการของ บริษัทฯ ได้ดำเนินการอยู่บนพื้นฐานด้านคุณภาพ มาตรฐานการก่อสร้าง และความปลอดภัยเป็นสำคัญ

บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซอยล์ เซอร์วิส แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

เราพร้อมให้บริการเจาะสำรวจชั้นดิน รับเจาะดิน วิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมปฐพีของดิน

ให้บริการด้วยความมุ่งมั่น ซื่อตรง และถูกต้องตามหลักการด้านวิศวกรรมปฐพี ได้มาตรฐานงานสำรวจและทดสอบทั้งงานเจาะสำรวจภาคสนามและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน ASTM International พร้อมด้วยบุคลากรวิศวกร และทีมช่างเจาะสำรวจดินที่มีความเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์ในสายงานตรงกว่า 10 ปี

บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซอยล์ เซอร์วิส แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
เลขที่ 106/245 หมู่บ้านฟลอร่าวิลล์ พาร์ค ซิตี้ ซอยสุวินทวงศ์ 38
ถนนสุวินทวงศ์ แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
โทร. 02-043-3332

บริษัท ไทยไวร์โพร์ดัคท์ จำกัด (มหาชน)
Thai Wire Products Public Company Limited

ผู้ผลิตและจำหน่าย
ลวดเหล็กกล้าสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง
และลวดเหล็กเคลือบสังกะสี

MASCI
ISO 9001

PC WIRE ขนาด 4, 5, 7 และ 9 มม. มอก.95-2540
PC STRAND ขนาด 9.3, 9.5, 12.4, 12.7, และ 15.2 มม. มอก. 420-2540
STEEL WIRE ขนาด 2.8, 3.0 และ 4.0 มม. มอก. 194-2535
GALVANIZED STEEL WIRE STRAND
ขนาด 25 sq.mm. 35 sq.mm. และ 50 sq.mm. มอก. 404-2540
GALVANIZED STEEL SOLID WIRE ขนาด 4.00 mm. มอก. 71-2532

สำนักงานใหญ่ : 101/88 หมู่ที่ 20 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
Tel. 66-02-5203855-64 Fax. 66-02-5203865-66 E-mail : info@thaiwire.com www.thaiwireproducts.com

BATHYMETRIC SURVEY & SUPPLY LTD.,PART.
ห้างหุ้นส่วนจำกัด บาทธีเมตริกเซอร์เวย์ แอนด์ซัพพลาย

เชี่ยวชาญงานสำรวจระดับความลึกพื้นท้องทะเล
และการตรวจสอบการขุดลอกร่องน้ำ

โทร. 081-9895675

1. Bathymetric Survey สำรวจความลึกพื้นท้องทะเล
2. Beach Profile Survey สำรวจความลาดชันชายฝั่งทะเล
3. Current Measurement ตรวจวัดระดับ ตรวจกระแสน้ำ ความเร็ว และทิศทางของน้ำ
4. Settlement monitoring of survey สำรวจอัตราการทรุดตัวของโครงสร้าง
5. สำรวจค่าระดับคอนทัวร์ภาคพื้นด้วย UAV
6. งานตรวจสอบการขุดลอกร่องน้ำ
7. Ground Control by GPS สำรวจจุดควบคุมงานสำรวจภาคพื้นดิน

Facebook Page : หจก.บาทธีเมตริกเซอร์เวย์แอนด์ซัพพลาย Tel : 02-060-9707
E-mail : Depthsurvey@gmail.com Fax : 02-060-4201

เสาเข็มไมโครไพล์
SEGMENT CONCRETE PILE
บริษัท พีพี เอ็นจิเนียริ่ง 2015 จำกัด
บริษัท พีพี ไมโครไพล์ จำกัด

คุณสมบัติ
เสาเข็มไมโครไพล์ ขนาดหน้าตัด 20,25,30 ซม.
ใช้คอนกรีตอัดกำลังสูงของปูนอินทรีนครหลวง
ทางเรามีโรงงานของเราเอง
ควบคุมการผลิตและการตอกโดยวิศวกรมืออาชีพ

ทำงานในที่แคบ เตี้ย ยากต่อการเข้าถึง
-ปั้นจั่น สูง 2.80 กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร
-ตุ้มหนัก 1.3 ตัน ปั้นจั่นสามารถถอดประกอบได้

หน้างานสะอาด ไม่มีดินโคลน
-เสาเข็มเป็นระบบ DROP HAMMER
-หน้างานไม่มีดินออกมา

รับน้ำหนักได้เสมือนเสาเข็มใหญ่ปกติ
-หน้าตัด ⌀ 20ซม.รับน้ำหนักปลอดภัยได้20-25ตัน/ต้น
-หน้าตัด ⌀ 25ซม.รับน้ำหนักปลอดภัยได้32-35ตัน/ต้น
-หน้าตัด ⌀ 30ซม.รับน้ำหนักปลอดภัยได้40-45ตัน/ต้น

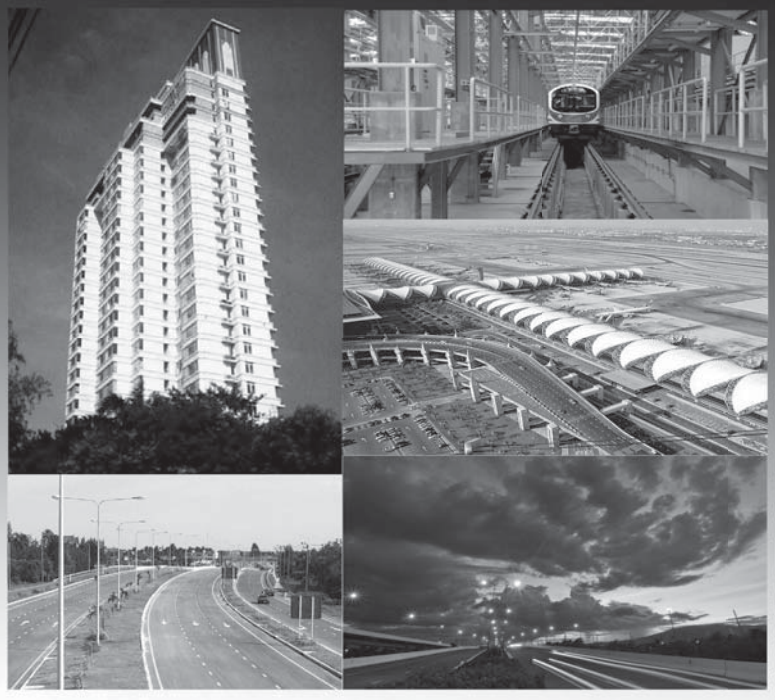
แรงสั่นสะเทือนน้อย
-แรงสั่นสะเทือนน้อยไม่ทำลายโครงสร้างหลัก
-สามารถตอกชิดผนัง ด้วยระยะห่างเพียง50ซม.

081 357 2199 ppmicropile@gmail.com www.ppmicropile.com www.ppen.co.th

visit : www.maathai.com or call 02-975-9300 or fax 02-975-9311

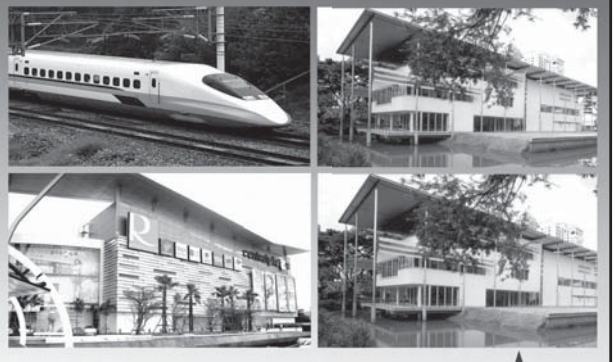
MAA CONSULTANTS CO., LTD.

Comprehensive all around Engineering Consultancy Services



SCOPE OF SERVICES

- FEASIBILITY STUDY & MASTER PLANNING
- PROJECT MANAGEMENT
- DETAILED DESIGN
- CONSTRUCTION SUPERVISION
- CONSTRUCTION MANAGEMENT
- INDEPENDENT DESIGN CHECK



COMMITTED TO MAKE PEOPLE'S LIVES BETTER

458/314 ถ.เลียบคลองภาษีเจริญฝั่งเหนือ แขวง/เขตหนองแขม กทม.10160

โทร. 097-9199594, 086-8028785 แฟกซ์ 0-2489-1260

N.S. PLUS ENGINEERING CO.,LTD.

บริษัท เอ็น.เอส.พลัส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

เชี่ยวชาญงานตรวจสอบโครงสร้างอาคาร

ตรวจรับบ้านคอนโด ซ่อมแซมโครงสร้าง แก้ไขอาคารทรุด

โทร.085-114-3733

- Home Inspection ตรวจบ้าน คอนโด ทาวน์โฮม บ้านมือสอง
- Building Inspection ตรวจสอบอาคารตามกฎหมาย
- Structural Inspection ตรวจสอบโครงสร้างอาคารทุกประเภท
- Electrical Inspection ตรวจสอบระบบไฟฟ้าประจำปี
- Pile Test ทดสอบความสมบูรณ์เสาเข็มทั้ง Seismic Test และ Dynamic Load Test
- Structural Repair ซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร
- Underpinning เสริมฐานราก แก้ไขอาคารทรุด
- Consultant ให้คำปรึกษา ควบคุมงานก่อสร้าง

FOLLOW ME

FB/nsplusengineering, Line ID/@nsplus

E-mail : infos.nsplus@gmail.com

Tel&Fax : 0-2115-2223,085-114-3733

ISO 9001:2015
CERTIFIED

AEC

HAS
> SUCCESSFULLY IMPLEMENTED
MORE THAN
500 PROJECTS

• Railway and High Speed Railway
โครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง เพื่อเชื่อมโยงภูมิภาค ช่วงกรุงเทพมหานคร – หนองคาย

• Bridge
โครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ-บอลิคำไซ) จ.บึงกาฬ

• Expressway
โครงการทางพิเศษสายพระราม 3 – ดาวคะนอง – วงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานครด้านตะวันตก

• Highway
โครงการสำรวจและออกแบบแก้ไขปัญหาจราจรบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงจุดตัดทางหลวงหมายเลข 36 – จุดตัดทางหลวงหมายเลข 344 จ.ระยอง

• Airport
โครงการก่อสร้างทางวิ่งเส้นที่ 3 ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

• Mass Rapid Transit
โครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง ช่วงลาดพร้าว – สำโรง

• Port & Industrial Estate
โครงการพัฒนาท่าเรือแหลมฉบัง ระยะที่ 3

รักษาคุณภาพมาตรฐานและพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง
ผลงานเป็นที่เชื่อถือทั้งในและต่างประเทศ

บริการงานวิศวกรรมครบวงจร

- *ศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study)*
- *ออกแบบ (Detailed Design)*
- *ควบคุมการก่อสร้าง (Construction Supervision)*
- *ศึกษา วางแผนการลงทุนโครงการ (PPP)*

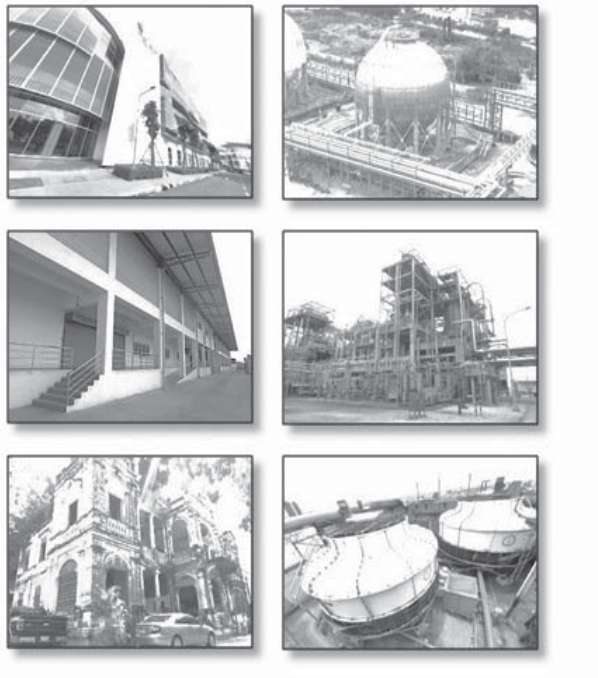
บริษัท เอเชี่ยน เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแต้นส์ จำกัด
90/18-20 ชั้น 9 อาคารสาธรธานี ถนนสาทรเหนือ แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500
โทร. 0-2636-7510 โทรสาร. 0-2236-6086-7 E-mail: aec@aec-th.com
www.aec-th.com

บริษัท ตรีมิตร เซอร์เวย์ยิ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด

TRIMITR
TRIMITR SURVEYING AND CONSTRUCTION CO., LTD.

ติดต่อสอบถามรายละเอียด
93/142 ม.1 ต.บางปลากด อ.องครักษ์
จ.นครนายก 26120
โทร. 089-0182499 คุณชัชฤทธิ์ สมเชื้อ (ฮอร์น)
092-4810816 คุณสิทธิชัย สมเชื้อ (เปี๊ยก)
037-632300 (สำนักงาน)
E-mail : t.trimitr@gmail.com
www.trimitrsurveying.com

- *รับงานสำรวจ ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS*
- *รับงานสำรวจ จัดทำแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Survey & Contour)*
- *รับงานสำรวจ จัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ UAV*
- *รับงานสำรวจ เพื่องานก่อสร้าง (Construction Survey)*
- *รับสำรวจแปลงกรรมสิทธิ์ (Property Survey)*



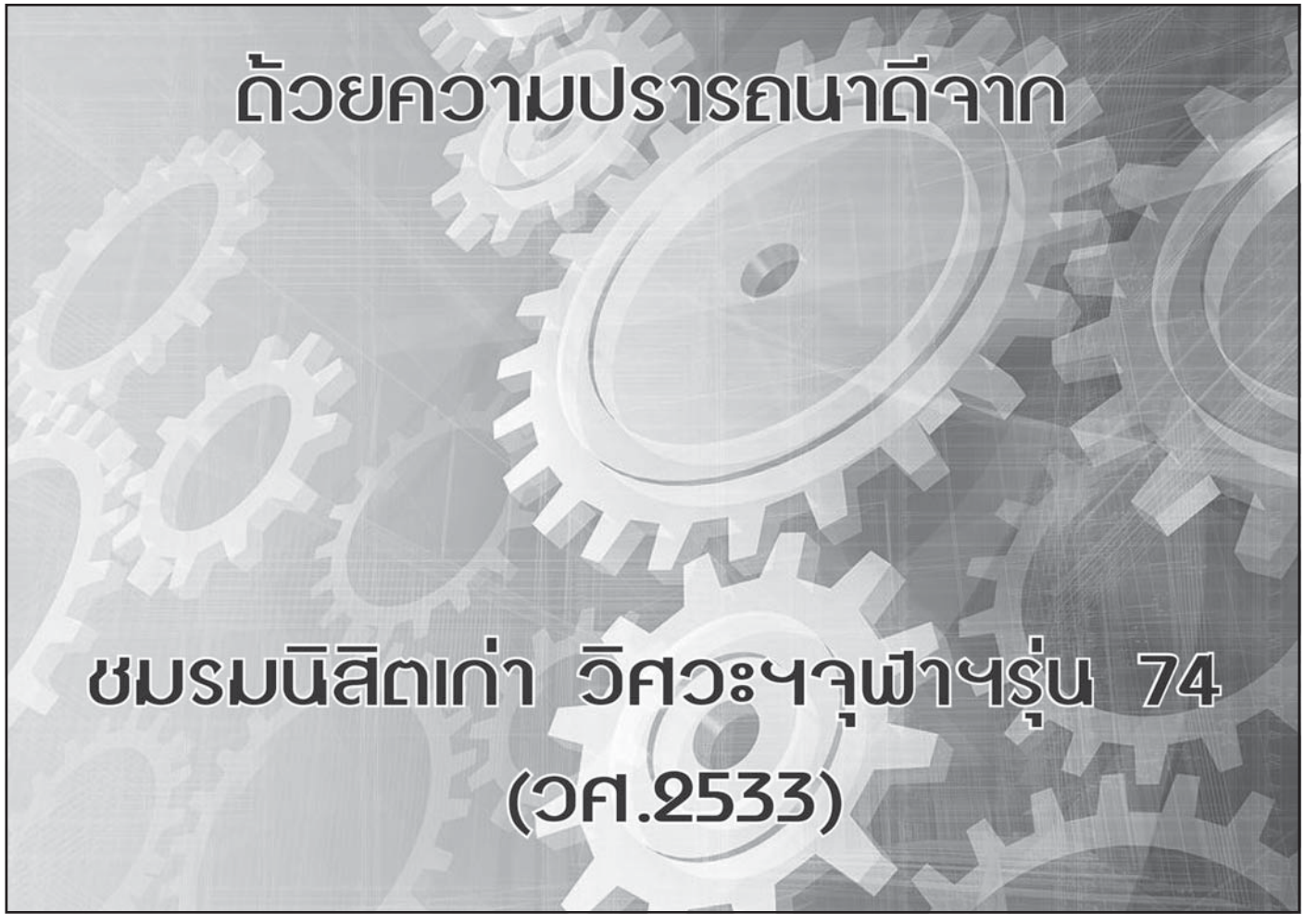
TAMCO

บริษัท โทเทิล แอ็สเซ็ท แมนเนจเมนท์ แอนด์ คอนซัลแทน จำกัด

บริการประเภทวิศวกรที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ การประเมินความแข็งแรง การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ และ เสริมกำลังโครงสร้าง ทางด้านวิศวกรรมโยธา

โทร. 02-950-8189 E-mail: tamco.info@gmail.com www.tamco-th.com

ชลประทาน
งานเพื่อแผ่นดินไทย
ติดตามข่าวสารด้านการชลประทาน ได้ที่
กรมชลประทาน
www.rid.go.th
กรมชลประทาน
@Kromchon
ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ
กรมชลประทาน @Wmsc.Irri
ข่าวสารกรมชลประทาน
@Kromchon
กรมชลประทาน
@PR_RID
สายด่วน 1460
ชลประทาน บริการประชาชน


ด้วยความปรารถนาดีจาก
ชมรมนิสิตเก่า วิศวะฯจุฬาฯรุ่น 74
(วศ.2533)

WE BUILD
WHAT YOU DREAM

WE FOCUS ON SOURCING FOR THE MOST EFFICIENT AND THE NEWEST MACHINES/EQUIPMENT AND TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY.

SYNTEC CONSTRUCTION | www.synteccon.com

THE DUCHESS HOTEL AND RESIDENCES BANGKOK
www.duchesshotels.com

Eight THONGLOR
8 THONGLOR SHOPPING
http://8thonglor.com

akyra HOTEL & RESIDENCES
akyra THONGLOR BANGKOK
www.theakyra.com

SOMERSET HARBOURVIEW SRI RACHA
SOMERSET HARBOURVIEW SRI RACHA
www.somerset.com

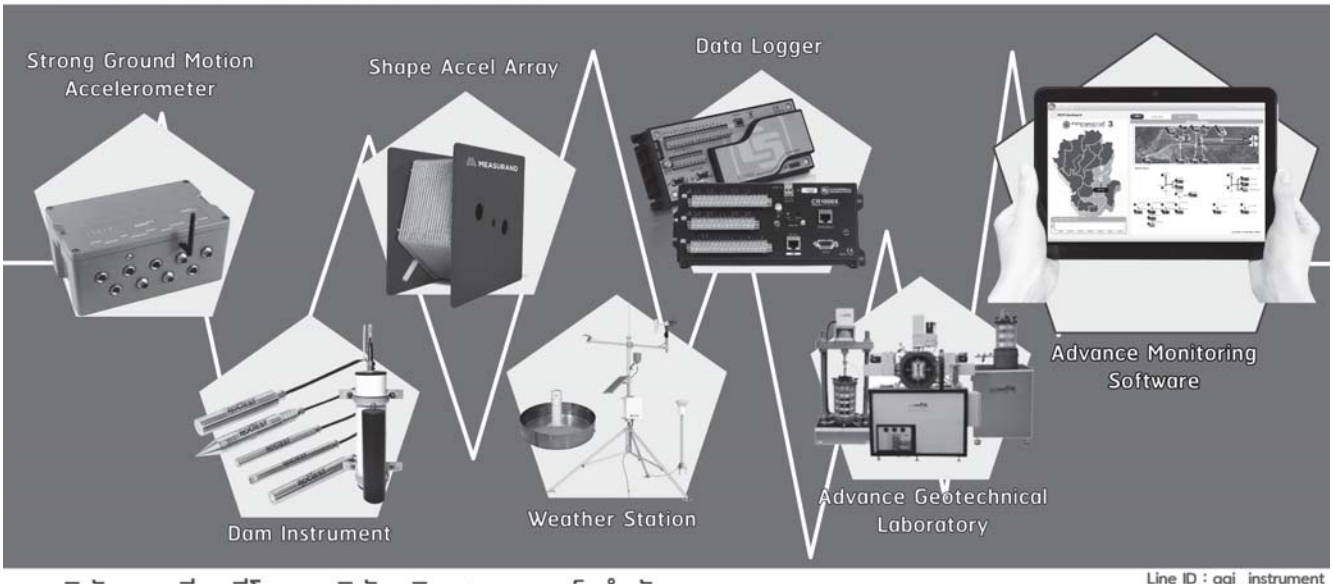
X2 CROSS IO VIBE
PHUKET PATONG CENTER

PATTAYA
COMING SOON

citadines Grand Central Sri Racha
CITADINES GRAND CENTRAL SRI RACHA
www.citadines.com

AGI
บริษัท เอเชีย จีโอเทคนิคัล อินสตรูเมนท์ จำกัด
ASIA GEOTECHNICAL INSTRUMENT CO., LTD.

เข้าใจสินค้า บริการด้วยใจ



บริษัท เอเชีย จีโอเทคนิคัล อินสตรูเมนท์ จำกัด
บริษัท นำเข้า จัดจำหน่าย ให้คำปรึกษา ติดตั้งระบบตรวจวัดและแสดงผลแบบอัตโนมัติ ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคและโครงสร้าง รวมทั้งเครื่องมือทดสอบทางวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
Contact : www.agiinstrument.co.th
sales@agiinstrument.co.th
TEL : 0970404933
FAX : 025780380
Line ID : agi_instrument

THE FOUNDATION
OF SUCCESS

SEAFCO
PUBLIC COMPANY LIMITED

SEAFCO is the leading deep foundation specialist in thailand with more than 47 years experience.

We specialized in : Bored Piling · Barrette Piling · Deep Excavation · Diaphragm Wall · Substructure Works · Ground Improvement · Ground Enginerring · Other Civil Works

ESG100 Environmental Social Governance 2021

Forbes Asia BEST UNDER A BILLION 2020

Best Company Performance Awards 2019

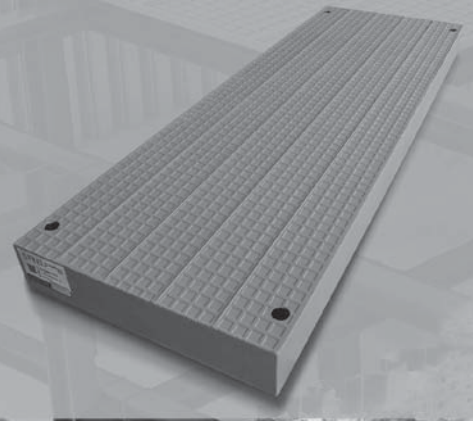
www.seafco.co.th @ info@seafco.co.th (662)9190090-7
Head Office 144 Prayasuren Rd., Bangchan, Khlong Sam Wah, Bkk 10510

WE BUILD SUSTAINABLE FOUNDATION

STEEL Solution by SYS

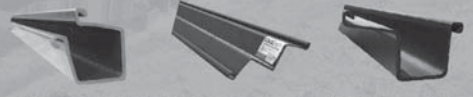
TEMPORARY STRUCTURE FOR
UNDERGROUND WORK

Steel Deck

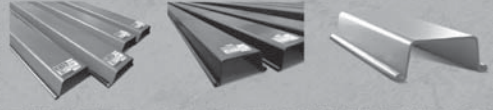


STRUT, WAILING BEAM AND BRACING SYSTEM

CORNER SHEET PILE (FABRICATED SHEET PILE)



COATED/GALVANIZED SHEET PILE



ติดต่อสอบถาม/สนใจสั่งซื้อได้ที่ SYS Call Center 0-2586-7777

solution@syssteel.com @steelsolutionbysys LINE @syssteel

กรมชลประทาน

“บริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ ให้เพียงพอทั่วถึงและเป็นธรรม”

สำนักงานชลประทานที่ 12

250/1 เขื่อนเจ้าพระยา ตำบลบางหลวง อำเภอสรรพยา

จังหวัดชัยนาท 17150 โทร 056-405-012-13

SPN
SOIL ENGINEERING

บริษัท เอสพีเอ็น ซอยล์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
SPN SOIL ENGINEERING CO.,LTD.

55/507 หมู่ที่ 2 ต.ศีรษะจรเข้น้อย อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10570
Tel. 098-8504610, 088-3031640 Email: spnsoiltest@gmail.com

Line Website

เจาะดินโดยวิธีฉีดล้าง (Wash Boring)

เจาะดินโดยวิธีเจาะปั่น (Rotary Drilling)

Field Density Test

Plate Bearing Test

AMP
Consultants Ltd.

Consultation Construction, Communication, Finance and Transport
37/1 Ruamprasong Bldg. Soi Phetchaburi 15 (Soi Somprasong 3), Phetchaburi Rd.,
Kwaeng Thanonphayathai, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand
Tel : +662 653 7541-5 Fax : +662 653 7546
E-mail : info@ampgroups.com

BNN

BNN DESIGN AND CONSULTANT CO.,LTD.

Soil Boring and Testing , Surveying , Geotechnical Structure and Slope Protection Design

บริษัท บี เอ็น เอ็น ดีไซน์ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด

โดยเป็นการรวมตัวกันของกลุ่มวิศวกร สถาปนิก และนักวิชาการสาขาต่าง ๆ เพื่อให้บริการงานออกแบบด้านวิศวกรรม และสถาปัตยกรรมที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ วิศวกรที่ปรึกษา บริหารงานก่อสร้าง ออกแบบแก้ไขและซ่อมแซมอาคารทรุด อาคารร้าว งานออกแบบทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคเช่นงานป้องกันลาดตลิ่ง งานดินขุดที่มีความลึก งานออกแบบและแก้ไขการพิบัติของลาดดิน ทำ Micropile งานสำรวจพื้นที่ งานเจาะสำรวจดินด้านวิศวกรรม งานทดสอบด้านวิศวกรรม และงานให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านวิศวกรรมโยธา บุคลากรของบริษัทประกอบด้วย ผู้ชำนาญการเฉพาะด้านและมีประสบการณ์ด้านออกแบบและบริหารงานโครงการ

“บริการทางวิศวกรรม คือ งานของเรา”

5/92 ซ.เพชรเกษม 81 ถ.เพชรเกษม แขวงบางบอน เขตบางบอน กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ :081-6363799 ดร.บุญชัย เชิญเกียรติประดับ อีเมลล์ bnn_design@yahoo.com www.bnn-design.com

ก้าวสู่ปีที่ 56 กับการให้บริการ

วิศวกรรมปฐพี ▶
(Geotechnical Engineering)
- เจาะสำรวจดิน หิน คอนกรีต
- Field Vane Shear Test
- Plate Bearing Test
- Field Density Test
- ทดสอบดิน และวัสดุ

งานเจาะสำรวจดิน

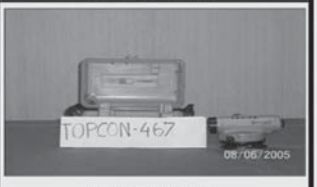
งานทดสอบ Plate Bearing Test

ตัวอย่างแท่งหิน

วิศวกรรมสำรวจ ▶
(Survey Engineering)
- ทำแผนที่ภูมิประเทศ
- ทำหมุดหลักฐาน
- หยั่งวัดความลึกของน้ำ
- สำรวจทางอุทกศาสตร์
- แบ่งแปลงที่ดิน

Electronic Total Station

GPS Trimble 5700



Automatic Level

ออกแบบวิศวกรรม และบริหารงานก่อสร้าง ▶
(Engineering Design & Construction Management)
- ถนน
- สะพาน
- ท่าอากาศยาน
- ท่าเรือ
- ระบบป้องกันน้ำท่วม
- อาคาร, โรงงาน
- จัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน
- ลานกองตู้สินค้า

งานสะพานและถนน

งานท่าอากาศยาน

KEC
K ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.
ก่อตั้ง พ.ศ. 2508

บริษัท กรุงเทพเอ็นยิเนียริ่งคอนซัลแตนท์ จำกัด
K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.
สนญ. 136 ถนนวิภาวดีรังสิต ซอย 4 ดินแดง กทม. 10400
โทรศัพท์ 0 2691 9322-5 โทรสาร 0 2691 8366
E-mail : gekec.in@gmail.com, kecsurvey@gmail.com, kecconsult@yahoo.com, kecbdd@gmail.com, kecbill1@gmail.com
Website : www.kecconsultants.com

STS SOIL TESTING SIAM
www.soiltest.co.th
"The Leader in Advanced Testing Equipments Supply"
www.soiltest.co.th

บริษัท ซอยล์เทสติ้งสยาม จำกัด
ผู้นำด้านเครื่องมือทดสอบคุณภาพวัสดุในงานก่อสร้างมากกว่า 30 ปี

Asphalt
Non Destructive Test, NDT
Soil
Aggregate
Concrete, Cement
Universal Testing Machine
Asphalt
Non Destructive Test, NDT
Universal Testing Machine
Soil
Aggregate
Concrete, Cement

Tel. 02 907 4820 Fax. 02 907 4822
ELE International HUMBOLDT proceq
Line : @soiltestingsiam

บริษัท เมกก้าเทค คอนซัลแตนท์ จำกัด

MEGATECH CONSULTANTS CO.,LTD.

103/41 หมู่บ้านไกรสร ถนนประชาชื่น แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 02-587-7912 , 02-911-9766 โทรสาร 02-911-9868 Email : mgtcon_2003@yahoo.co.th

ให้บริการที่ปรึกษาทางด้านวิชาการ

งานออกแบบ

งานศึกษาศักยภาพ
ความเหมาะสม
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

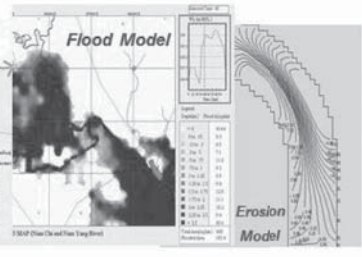
สาขางานบริการ

- งานศึกษาจัดทำผังเมืองรวมและผังเมืองเฉพาะ
- งานวิศวกรรมแหล่งน้ำและชลศาสตร์
- งานวิศวกรรมชายฝั่งทะเล
- งานวิศวกรรมสุขาภิบาล และสิ่งแวดล้อม
- การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- วิศวกรรมโยธา/โครงสร้าง ตลอดจนงานสำรวจ
- การพัฒนา Software ด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม

ลักษณะงานที่ให้บริการ

- งานศึกษาศักยภาพ
- การจัดทำผังเมืองรวมและผังเมืองเฉพาะ
- งานวางแผนโครงการ
- งานศึกษาความเหมาะสม
- งานสำรวจออกแบบ ประมาณราคา และจัดทำเอกสารประกวดราคา
- งานควบคุมและบริหารโครงการ
- งานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม

งานวางผังเมือง



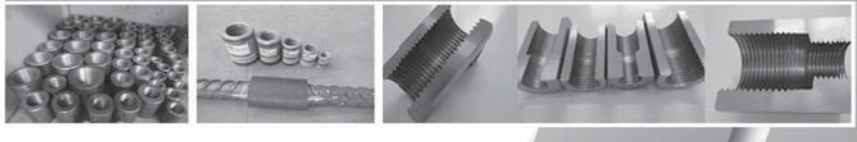
บริษัทไฮกรีตโปรดักส์ แอนด์ เทคโนโลยี่ จำกัด

เรามีผลงานที่ผ่านมาที่ยืนยันความสำเร็จ และความก้าวหน้า
ของบริษัทไฮกรีตโปรดักส์ แอนด์ เทคโนโลยี่ จำกัด อาทิเช่น งานผลิตและติดตั้งคอนกรีตสำเร็จรูป,งานเชื่อมประกอบและติดตั้งโครงสร้างเหล็ก

โครงการต่างๆ เช่น อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินลอดแม่น้ำเจ้าพระยาสายสีน้ำเงิน, ทางด่วนศรีรัช-วงแหวนรอบนอก, รถไฟทางคู่ช่วงชุมทางถนนจิระ-ขอนแก่น

โครงการต่างๆ เช่น สะพานเหล็กข้ามแม่น้ำชี, Semi Spiral Case Steel Lining เขื่อนไชยะบุรี, Roof truss Power house & Erection เขื่อนไชยะบุรี, Pedestrian steel Bridge รถไฟทางคู่ชุมทางถนนจิระ ขอนแก่น

ข้อต่อเหล็กเส้น (Coupler Bar) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการต่อเหล็กแบบเกลียว ใช้แทนที่การต่อเหล็ก แบบทาบเชื่อมสำหรับเหล็กที่มีขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์ของเรามีอยู่หลายแบบตามขนาดและลักษณะการต่อเหล็กเสริม ดังต่อไปนี้ 1.Standard Coupler 2.Coupler Turner 3. Reduce Coupler



จุดต่อแข็งแรงกว่า ติดตั้งง่ายกว่า
รับแรงดึงได้ดีมีคุณภาพตามมาตราฐานสากล

ติดตามข่าวสารของบริษัทฯ หรือเข้าร่วมอบรมหลักสูตร สามารถติดตามได้ที่ Email:Hicrete@gmail.com

035-246-222

ศูนย์อุตสาหกรรมก่อสร้าง บริษัทไฮกรีตโปรดักส์ แอนด์ เทคโนโลยี่ จำกัด (อ.ภาชี จ.อยุธยา)
87 หมู่ที่ 9 ตำบลโคกม่วง อำเภอภาชี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13140 เบอร์โทรศัพท์: 035-246222 เบอร์โทรสาร: 035-246223 Email : Hicrete@gmail.com

เรายินดีให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคในการแก้ปัญหา การออกแบบ แนะนำสินค้าและการใช้งานแก่ท่านโดย ทีมงานวิศวกรที่มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญ ซึ่งวัสดุเหล่านี้ช่วย *ลดค่าใช้จ่าย *ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและมีมาตรฐานสากลในการทดสอบวัสดุรองรับ เช่น ASTM, ISO, BS พร้อมทั้งหนังสือรับรองวัสดุจากองค์กรที่ได้รับการยอมรับ

Our Product

- Geotextile for Separator & Fillter
- Geogrid for Soil Reinforcement
- Surface Erosion Control
- Coastal & Riverbank Protection
- Drainage System
- Gabion & Masstress
- Modular Block Wall
- Turfing Pavement
- Waterproofing-GCL & HDPE
- Earth Anchoring System
- Megasecure

Modular Block Wall

Surface Erosion Control

Waterproofing-GCL

Geogrid For Soil Reinforcement

Soft Rock For Coastal Protection

96, 3rd Floor, Soi Ratchadaphisek 19, Ratchadaphisek Rd., Wat Thapra, Bangkok 10600 Thailand.
Tel. (66)2848-0999 Fax. (66)2848-0807 www.vigormerger.com

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

Vigor Merger Co.,Ltd.
บริษัท วิกเกอ เมอเจอร์ จำกัด

TEN CONSULTANTS CO.,LTD.

GEOTECHNICAL ENGINEERING SERVICES

Services cover wider range of Geotechnical Engineering i.e. Soil Investigation & Survey including Laboratory Test and Soil Test Report as well as recommendation on Load Design, Settlement Analysis, Bearing Capacity Analysis and underground water Penetration for Sub-structure and Footing Design.

TOPOGRAPHIC SURVEY & MAPPING SERVICES

A Topographic Survey conducted to obtain the data needed for the preparation of a Topographical Map which include the following disciplines.

1. Total Station and GNSS RTK (Topographic Map)
2. Hydrographic Survey or Bathymetric Survey
3. Drone or UAV Survey

DESIGN AND CONSTRUCTION SUPERVISION

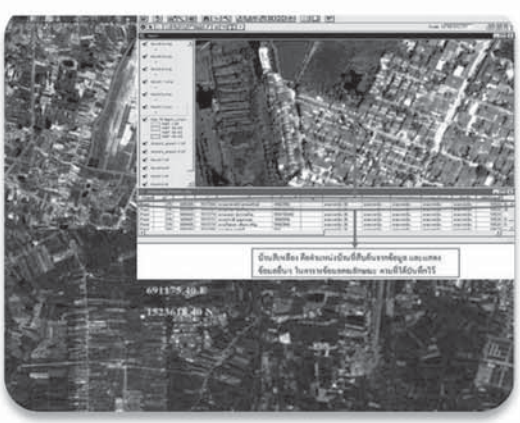
Design Services include Architecture, Building Structure and M/E/P. Construction Supervision covers ranges of Construction Management, Bidding Documentation, Quantity Survey and Cost Estimation.

ENVIRONMENTAL ENGINEERING SERVICES

Services concerned with the description and monitoring of environmental changes, Soil and Water Contamination Investigation, Urban Design Assessment, Environmental Impact Assessment (EIA), System Design of Water Supply and Water Treatment, Environmental Operation Planning, ZEMAPX Services, Environmental Survey and Mining Remediation Planning & Design

BUILDING AUDIT & STRUCTURAL STRENGTH TEST & IN SITU TEST

Services include Building Audit & Structural Survey and Tests, Management of Building Safety, Calibration of Building Equipment and Building System as well as Investigation of Renovated or Refurbished Building which is not conforming to proven Engineering and Civil Standard.



MIS & GIS SERVICES

Services include GIS Mapping and Application, Photogrammetry, and Real Photo Translation, Zone area planning for tax collection, local election as well as Management Information System (MIS) for Corporations and Government Agencies.

589/53 Central City Tower 10th Fl., Debaratna Road,Kwaeng Bangna Nuea, Khet Bangna, Bangkok, 10260
Tel : 0-2745-6315-6 Fax : 0-2745-6068 www.tenconsultants.com

Energy & Innovation

AAA
TRIS RATING
A Strategic Partner of S&P Global

BBB+
S&P Global

E Energetic / G Goal-oriented / A Accountability / T Trust & Team / i Integrity

วางแผน อย่างเป็นระบบ

จบทุกปัญหางานก่อสร้าง

ด้วย 6 ฟังก์ชั่น ที่วิศวกรต้องรู้

การวางแผนอย่างเป็นระบบจะช่วยลดปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างก่อสร้างได้เป็นอย่างดี เช่น การใช้งบประมาณที่เกินกำหนด, งานก่อสร้างล่าช้ากว่าแผนที่วางไว้ ปัญหาการติดตามสถานะงานก่อสร้างที่ไม่ Real Time ฯลฯ

Work Breakdown Structure หรือ WBS ถือเป็นเทคนิคสำคัญ ช่วยกำหนดขอบเขตงาน มีขั้นตอนที่ชัดเจนเป็นหมวดหมู่ หากใช้บนระบบ **– MANGO PROJECT MANAGEMENT –** ยิ่งตอบโจทย์ ผลงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

MANGO PROJECT MANAGEMENT ช่วย**วางแผนการดำเนินงาน ติดตาม ตรวจสอบผลงาน และประเมินผลโครงการ** โดยการกำหนดงาน เวลา ทรัพยากรที่มีอยู่ ทั้งวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักร บุคลากร และ อื่น ๆ ที่ต้องการใช้ในโครงการ พร้อมทั้งสามารถ **อัปเดตความก้าวหน้าของงานผ่าน Application แบบ Real Time** และ เรียกดูรายงานต่าง ๆ ทำให้คาดการณ์ปัญหาล่วงหน้าและหาแนวทางแก้ปัญหาได้ทัน

- เรียกรายงานแสดงสถานะของโครงการอย่างรวดเร็ว ครบถ้วน
- 1 โครงการ สามารถสร้างแผนงาน ได้หลากหลายแผน
- สามารถกำหนดเวลา ต้นทุน ผู้รับผิดชอบ และ ทรัพยากรได้
- ปฏิบัติงาน และ UPDATE PROGRESS, RESOURCES
- วิเคราะห์แผนงาน เวลา ทรัพยากร และ ต้นทุน
- วางแผนงาน เชื่อมโยงการตรวจ (Quality Control) ผ่านมือถือ

063-565-4594, 098-828-5742 | Mango Consultant | www.mangoconsultant.com

LINE@

บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)
UNIQUE ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED

UNIQUE

UNIQUE ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPAMY LIMITED
TEL : 0-2582-1888 / EMAIL : IR@UNIQUE.CO.TH / WWW.UNIQUE.CO.TH

Right Tunnelling Public Company Limited
292 Moo 4 Bangna-Trad Rd.(km26), Bangbor, Bangbor, Samut Prakan 10560 Thailand.
Tel : +66 (0) 2313-4848 Fax : +66 (0) 2313-4849, 4787 Email : rt@rtco.co.th www.righttunnelling.com

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification UKAS MANAGEMENT SYSTEMS

Wire & Wireless Co., Ltd.

Ayothaya Tower, 26th FL., 240/64-67, Ratchadapisek Road,
Huai Khwang, Huai Khwang, Bangkok 10310
Tel. 0-2034-4500

ให้บริการในการออกแบบ, การก่อสร้าง, การติดตั้ง, การซ่อมบำรุง และ การบริการครบวงจร สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับด้านโทรคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ และระบบสาธารณูปโภค

วิสัยทัศน์

บริษัทมุ่งมั่นที่จะดำเนินธุรกิจในงานด้านวิศวกรรม
เพื่อส่งมอบการบริการที่มีคุณภาพและมีจริยธรรม

ISO 9001:2015 Certified

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

www.ww.co.th

CPAC®

GREEN

Construction Solution

นวัตกรรมงานก่อสร้างรักษ์โลก

Green Solution

จาก CPAC Green Construction Solution

CPAC BIM

เห็นภาพรวมของงานก่อสร้าง
ตรวจสอบจุดผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

CPAC Drone Solution

ประเมินพื้นที่
ลดความผิดพลาดในการก่อสร้าง

CPAC 3D Printing Solution

ลดระยะเวลาก่อสร้าง
ลดเศษวัสดุในไซต์งาน

Solutions For Life สร้างเพื่อชีวิตที่ยั่งยืน

| 02-555-5555 | www.cpac.co.th | CPAC | @cpac |

NAWARAT

กว่า 45 ปี

ด้วยความมุ่งมั่น
ที่จะเป็นผู้นำในธุรกิจ
รับเหมาก่อสร้าง

ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและทีมงานมืออาชีพ
สร้างผลงานที่มีคุณภาพ ภายใต้การบริหารงาน
และหลักการกำกับดูแลกิจการที่ดีเพื่อการเติบโต
อย่างยั่งยืน

กลุ่มบริษัทในเครือ MANA ADVANCE PREFAB TASTEMAKER

บริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน)

02 730 2100 www.nawarat.co.th

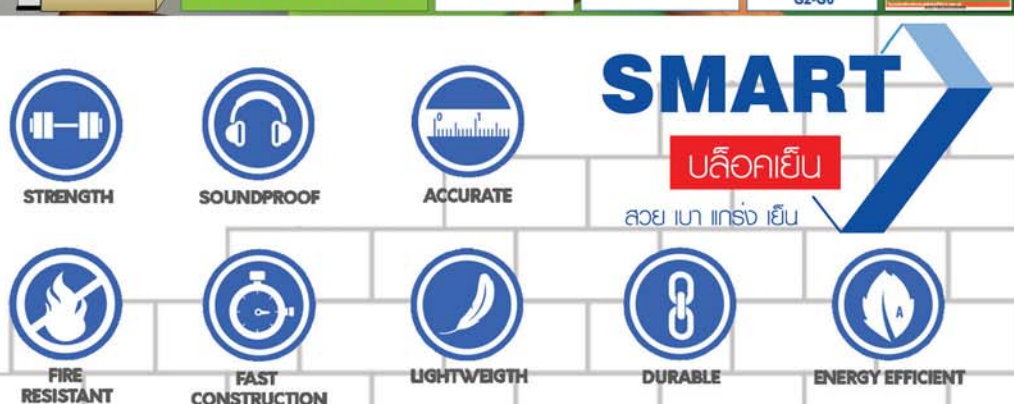
“อาคารสูงเลือกใช้อิฐมวลเบา บรรเทาแรงแผ่นดินไหว
เลือก SMART G4 มอก. 1505-2541”

SMART BLOCK G4

อิฐมวลเบา สมาร์ทบล็อค G4

อิฐมวลเบา ประหยัดพลังงาน เบอร์ 5

อิฐมวลเบา สมาร์ทบล็อค ผลิตด้วยมาตรฐาน G4 ทุกก้อน ผ่านการทดสอบความแข็งแรงด้วยมาตรฐาน BS-5234 ประเทศอังกฤษ จากสถาบัน AIT และผ่านการรับรองฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 จากกระทรวงพลังงาน สมาร์ท บล็อคเย็น จึงเป็นบล็อคก่อผนังที่มีความแข็งแรง และประหยัดพลังงานอย่างแท้จริง



อิฐมวลเบา สมาร์ทบล็อค

คานทับหลัง สมาร์ทลินเทล

บล็อคผนังตกแต่ง สมาร์ทบล็อค

Smart Concrete Public Co.,Ltd.
24 Soi Bangna Trad 25, Bangna Nuea Subdistrict,
Bangna District, Bangkok 10260

02-399-2020
www.smartblock.co.th
LINE smartblock.th
marketing@smartblock.co.th

บมจ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์

2034/132-161 อาคารอิตัลไทยทาวเวอร์
ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพ 10310
โทรศัพท์ 0-2716-1600 โทรสาร 0-2716-1488
ฝ่ายบริการองค์กร ต่อ 3802-4 โทรสาร 0-2716-1494
www.itd.co.th E-mail: cccs@itd.co.th
fb: Italian-Thai Development Public Company Limited "ITD"

GEOTECH & ENGINEERING SERVICE LIMITED

Field of Services.

- Dam Safety Instrumentation & System Specialist
- Foundation Engineering
- Geotechnical Laboratories
- Site Investigation
- Field Surveying
- Technical Services & Workshop

GEOTECH & ENGINEERING SERVICE LIMITED

435 Muang Thong Thani, Bond Street Road, Tambon Bang Phut, Amphoe Pak Kret, Nonthaburi, 11120 THAILAND

Tel : (662) 0590351-60 Fax : (662) 0590351 Ext. 199

Email : geotech@reco.co.th