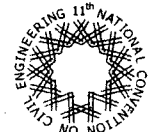


เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๑



Abstracts of the 11<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering

วิศวกรรมโยธาเพื่อการพัฒนาชุมชน

Civil Engineering for Community Development

20-22 เมษายน 2549

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

20-22 April 2006

Merlin Beach Resort, Patong, Phuket, Thailand

จัดโดย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

โดยความร่วมมือของ

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

และวิทยาลัยการชลประทาน

GTE - 062 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่มากสำหรับสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา โครงการถนนวงแหวนรอบนอก  
ตอนใต้

EXPERIENCE IN CONSTRUCTION OF LARGEST DIAMETER DEEP –SEATED BORED PILES AT  
THE BANK OF CHAOPRAYA RIVER

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, เถลิงพล มโนสุทธิสาร, ธยานันท์ บุญยรักษ์, จักรกฤษณ์ จันจืด

GTE - 070 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่เสริมด้วยระบบรากพืชแบบผสมผสานแบบสี่เหลี่ยมและ  
แบบสามเหลี่ยม

COMPARISON OF ENGINEERING PROPERTIES OF COMBINATION ROOT REINFORCED SOIL  
OF SQUARE AND TRIANGULAR PATTERN

พานิช วุฒิพฤษย์, เชิดชนินทร์ หมดมลทิน, ชัยรัตน์ วีระวัฒน์สุข, วรากร ไม้เรียง

GTE - 083 IMPORTANCE OF UNSATURATED SOIL MECHANICS IN GEOTECHNICAL ENGINEERING IN  
THAILAND

Apiniti Jotisankasa

วันเสาร์ที่ 22 เมษายน 2549 เวลา 08.00 – 10.00 น. ห้อง Ballroom C

ประธาน : ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์

GTE - 010 การวิบัติของคันดินอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในชั้นดินเหนียวกระจายตัวแทรกด้วยชั้นดินเหนียววมตัว

FAILURE OF SLOPE OF LARGE RESERVOIR CONSTRUCTED ON DISPERSIVE CLAY  
INTERBEDDED WITH EXPANSIVE CLAY

พรพจน์ ต้นแสง, ฉัตรชัย โชติธูยางกูร, เซาว์ หิรัญதியกุล อภิชาติ คำภาหาล้า

GTE - 035 พฤติกรรมการยุบตัวของดินเมื่อถูกทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำสำหรับดินทรายที่มีดินเหนียวปริมาณต่างๆ ปนอยู่

COLLAPSE BEHAVIOR UPON WETTING OF SANDY SOILS WITH DIFFERENT CLAY  
CONTENTS

อนุชิต อุชายภิชาติ

GTE - 037 การปรับปรุงดินลมหอบขอนแก่นด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติแปรรูปปรับแต่งโมเลกุลเพื่อใช้สำหรับคาคบ่อ  
เก็บน้ำ

STABILIZATION OF KHON KAEN LOESS BY MEAN OF NATURAL RUBBER MODIFIER  
(NRM) FOR POND LINING

ล้วน เสือพาดกลอน, วัชรินทร์ กาสลัก

GTE - 082 ระดับการทรุดตัวของดินลมหอบแบบขอนแก่น

COLLAPSE POTENTIAL OF KHON KAEN LOESS

พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์, สุวัฒน์ มบขุนทด

การวิบัติของคันดินอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในชั้นดินเหนียวกระจายตัวแทรกด้วยชั้นดินเหนียววมตัว

**FAILURE OF SLOPE OF A LARGE RESERVOIR CONSTRUCTED ON DISPERSIVE  
CLAY INTERBEDDED WITH EXPANSIVE CLAY**

พรพจน์ ตันเส็ง (Pornpot Tanseng)<sup>1</sup>

ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร (Chatchai Jothiyangkoon)<sup>1</sup>

เชาวน์ หิรัญเตี้ยกุล (Chow Hirunteeyakul)<sup>1</sup>

อภิชาติ คำภาหัตถ์ (Apichit Kumpala)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา pornpot@sut.ac.th

<sup>2</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ม.เทคโนโลยีอีสานวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา apc\_kum@hotmail.com

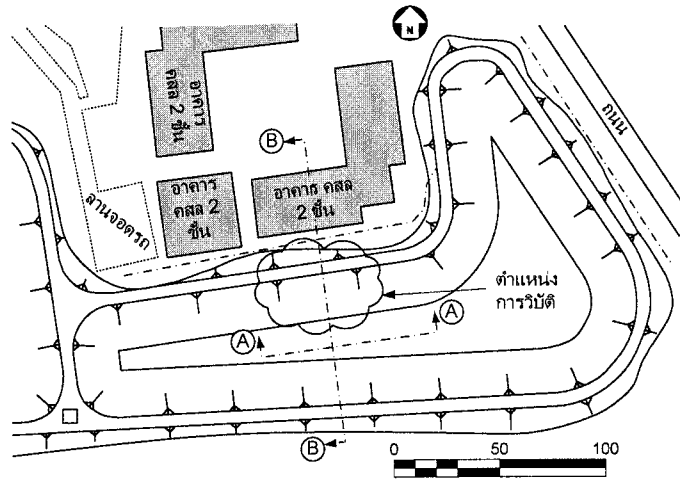
**บทคัดย่อ:** บทความนี้กล่าวถึงกรณีศึกษาการวิบัติของคันดินอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ซึ่งมีความลึกประมาณ 12 เมตรจากคันถนนปากอ่างชั้นดินโดยทั่วไปเมื่อสำรวจก่อนการก่อสร้างจะเป็นดินเหนียวมีความเป็นพลาสติกสูงและมีกำลังรับแรงเฉือนปานกลางเมื่อดินอยู่ในสภาพแห้ง หลังจากก่อสร้างเสร็จประมาณ 4 เดือนได้เกิดรอยแยกขึ้นบนคันดินหลังจากเกิดฝนตกหนัก หลังจากนั้นคันดินได้เกิดการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งคันถนนปากอ่างยุบตัวลงมาประมาณ 4 เมตร จากการศึกษาชั้นดินหลังจากเกิดการวิบัติพบว่าชั้นดินส่วนใหญ่ในบริเวณที่เกิดการวิบัติเป็นชั้นดินเหนียวสีน้ำตาลแดงที่มีความเป็นพลาสติกสูงที่มีค่าการบวมตัวต่ำ แทรกด้วยชั้นดินเหนียวสีขาวที่มีความเป็นพลาสติกสูงและมีค่าบวมตัวเป็น 70 เปอร์เซ็นต์เมื่อน้ำ ชั้นดินเหนียวสีขาวนี้เอียงตัวทำมุมกับแนวราบประมาณ 45° ดินทั้งสองชนิดนี้เมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก โดยเฉพาะดินเหนียวที่มีสีขาว ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้คันดินเกิดการวิบัติ และหลังจากที่มีฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลานานพบว่าคันดินบริเวณที่ไม่วิบัติได้ถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงจนเป็นร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งพฤติกรรมนี้เป็นลักษณะของดินเหนียวกระจายตัว หลังจากการวิบัติได้มีการตรวจสอบเสถียรภาพของคันดินด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ซึ่งพบว่าดินจะเกิดการวิบัติโดยมีรูปแบบการวิบัติสอดคล้องกับผลการตรวจวัด

**ABSTRACT:** In this paper, the failure of a large reservoir with 12 m depth is investigated. The soil investigation before the excavation shows that the soil is high plasticity clay with medium shear strength when dry. In four months after the excavation is completed, the cracks on the embankment are observed after a heavily raining. Later, the embankment collapsed and the maximum vertical movement is about 4 m. Soil investigation after the collapse shows that the soil are high plasticity brown clay with negligible swelling traced with high plasticity white clay with considerable swelling. The layer of white clay inclines 45° to the horizontal axis. Shear strength of both clays reduces considerably when saturated which may triggers the collapse. In addition, after many heavy raining, the slope is eroded severely which shows that the clay are dispersive. Simulation results from Finite Element Method agree well with the surveying results.

**KEYWORDS:** Dispersive clay, Expansive clay, Slope stability, Finite Element,

## 1. ลักษณะของโครงการและปัญหาที่เกิดขึ้น

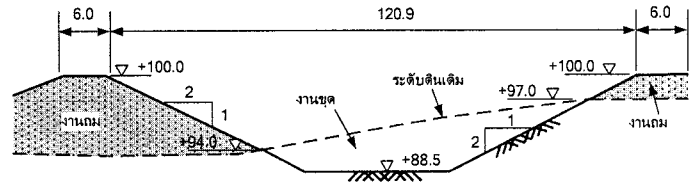
เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำสำหรับอุปโภคในฤดูแล้ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำให้แต่ละชุมชนจำเป็นต้องสำรองน้ำดิบเพื่อไว้ใช้ในยามขาดแคลนน้ำ ด้วยสาเหตุนี้ทางชุมชนใน ต. สุรนารี จ. นครราชสีมา จึงได้สร้างอ่างเก็บน้ำขนาดความจุ 200,000 ลูกบาศก์เมตรขึ้นเพื่อใช้กักเก็บน้ำดิบ โดยตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำแสดงในรูปที่ 1



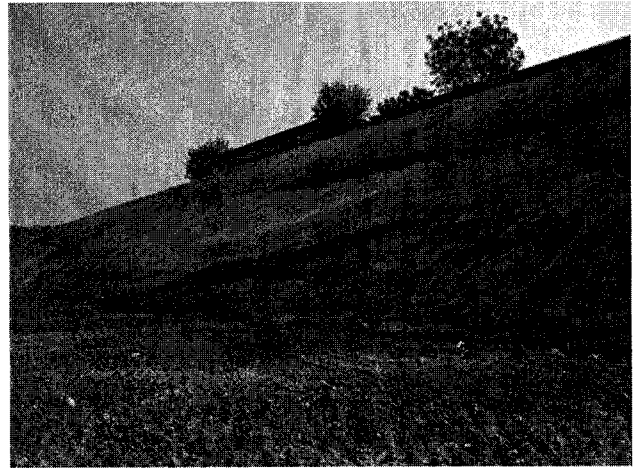
รูปที่ 1 ผังแสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำและจุดที่เกิดการวัด

อ่างเก็บน้ำนี้สร้างใกล้กับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสองชั้นรูปตัวแอล และอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสองชั้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผังของอ่างเก็บน้ำไม่เป็นรูปเรขาคณิตมีความกว้างของอ่าง บริเวณที่เกิดปัญหาการเคลื่อนตัวเท่ากับ 120.9 เมตร คันดินตามแบบก่อสร้างมีความลาดชันเท่ากับ 2:1 ปากอ่างเก็บน้ำโดยรอบจะก่อสร้างเป็นถนนกว้างประมาณ 6 เมตร พื้นผิวดินเดิมก่อนการก่อสร้างจะเป็นพื้นที่ซึ่งมีความลาดโดยที่ด้านที่ติดกับอาคารจะมีระดับดินเดิมสูงกว่า จากลักษณะการลาดเทของดินเดิมนี้ทำให้บางส่วนของ การก่อสร้างเป็นการขุดลอกดินออกและนำดินที่ขุดลอกนั้นขึ้นมามถมก่อสร้างเป็นคันดิน จากรูปที่ 2 ซึ่งเป็นรูปตัดตั้งฉากกับคันดินจะเห็นว่าส่วนที่ติดกับอาคาร กสส. 2 ชั้นจะต้องถมคันดินขึ้นมาสูง 3 เมตร ส่วนด้านตรงข้ามจะเป็นด้านที่มีระดับดินเดิมต่ำกว่าจึงต้องขุดดินขึ้นมาถมสูงประมาณ 6 เมตร การก่อสร้างได้แล้วเสร็จในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีฝนตก ซึ่งในขณะนั้นได้เกิดรอยแยกขึ้นบนลาดคันดินและดินบริเวณลาดคันดินชุ่มไปด้วยน้ำและมีน้ำเจิ่งนองบริเวณก้นอ่าง (รูปที่ 3) หลังจากนั้นได้มีฝนตกหนักในเดือนมิถุนายนทำให้รอยแยกขยายใหญ่ขึ้นจนเห็นได้อย่างชัดเจนบนผิวถนน และในเดือนกรกฎาคมคันดินตรงบริเวณที่เกิดรอยแยกก็ได้เคลื่อนตัวจนเกิดการวิบัติ (รูปที่ 4) ซึ่งคณะผู้เขียนได้ทำการสำรวจและตรวจวัด

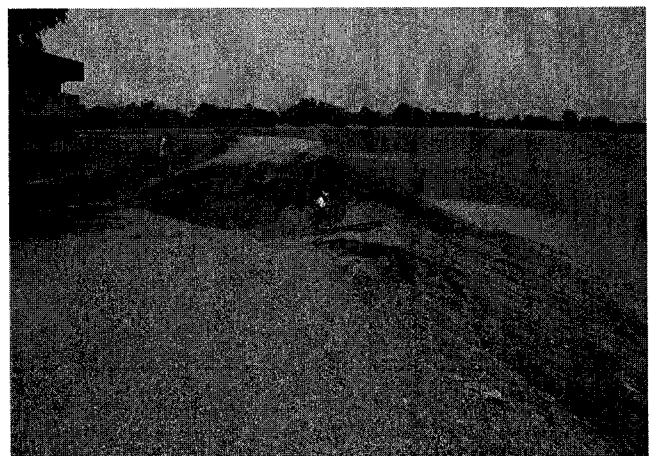
เพื่อเก็บข้อมูลและได้นำมาศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการวิบัติเพื่อนำไปใช้ในการหาแนวทางแก้ไขต่อไป



รูปที่ 2 รูปตัดแนวตั้งฉากกับคันดิน (รูปตัด B-B) แสดงแนวระดับดินเดิมและความระดับของงานขุดและงานถม



รูปที่ 3 รอยแยกที่เกิดขึ้นเมื่อก่อสร้างเสร็จในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีฝนตก

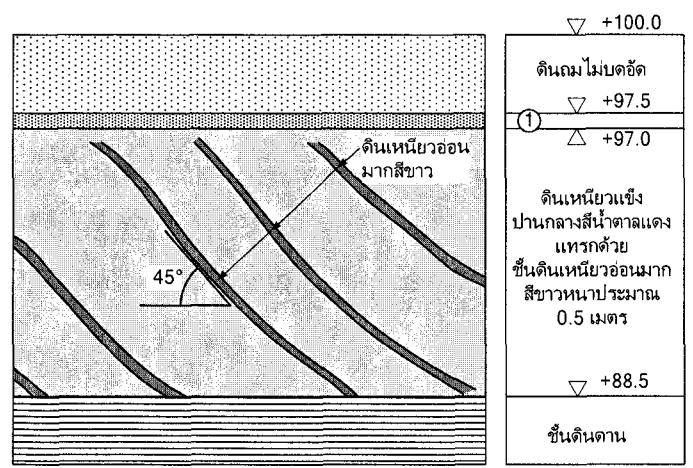


รูปที่ 4 คันดินหลังจากเกิดการวิบัติในเดือนกรกฎาคม

## 2. ลักษณะชั้นดิน

เนื่องจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำได้มีการขุดลอกเพื่อเปิดหน้าดินทำให้สามารถเห็นรูปตัดชั้นดินได้อย่างชัดเจน ซึ่งชั้นดินส่วนใหญ่ในบริเวณโครงการก่อสร้างจะวางตัวอยู่ในแนวราบโดยมีความลาดเทของชั้นดินไม่มาก และเมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใกล้เคียงกับโครงการก็พบว่าชั้นดินมีความสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณารูปตัดชั้นดินในบริเวณที่เกิดการวิบัติ (รูปที่ 5) พบว่าชั้นดินเดิมบริเวณที่เกิดการวิบัติจะเป็นชั้นดินอินทรีย์ที่บอบบางขึ้น

ดินกรวดหนาประมาณ 0.5 เมตรถัดลงไปเป็นชั้นดินซึ่งมีสีน้ำตาลแดงหนาประมาณ 8.5 เมตร ชั้นดินนี้จะมีชั้นดินสีขาวยาวหนาประมาณ 0.5 เมตรแทรกอยู่เป็นช่วงๆ โดยชั้นดินสีขาวนี้จะเรียงทำมุมประมาณ 45 องศา กับแนวราบ ส่วนชั้นดินถัดลงไปจากชั้นนี้จะเป็นชั้นดินดานซึ่งผิวของชั้นดินดานนี้จะเป็นระดับกันอ่าง เมื่อเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างที่ผิวของลาดคันดินโดยการเก็บตัวอย่างจะเลือกเก็บตัวอย่างดินที่ชุ่มน้ำ จากผลการทดสอบพบว่าดินสีน้ำตาลแดงเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) มีค่า Plasticity index เท่ากับ 39.4 เปอร์เซ็นต์ และมีกำลังรับแรงเฉือนแบบ Unconfined compression (UCS) เท่ากับ 7 ตันต่อตารางเมตร ค่า Activity เท่ากับ 0.99 ส่วนดินสีขาวที่แทรกอยู่ในชั้นดินสีน้ำตาลแดงเป็นดินเหนียวอ่อนมาก (CH) มีค่า Plasticity index เท่ากับ 165.1 เปอร์เซ็นต์ และมีกำลังรับแรงเฉือน (UCS) เท่ากับ 2.5 ตันต่อตารางเมตร ค่า Activity เท่ากับ 1.94 ซึ่งจากค่า Activity ของดินเหนียวอ่อนสีขาวจะเห็นว่ามีความค่าค่อนข้างสูงซึ่งจัดเป็นดินที่มีโอกาสที่จะเกิดการบวมตัว จึงได้มีการทดสอบการบวมตัวโดยไม่มีน้ำหนักกดทับ ผลการบวมตัวโดยไม่มีน้ำหนักกดทับมีค่าเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Dawson (1953) พบว่าเป็นการบวมตัวที่อยู่ในระดับสูง ระดับน้ำใต้ดินในบริเวณโครงการจะอยู่ในระดับที่ลึกมากซึ่งจะสังเกตได้จากที่ดินที่ขุดขึ้นมาในขณะที่ก่อสร้างจะเป็นดินแห้งที่ไม่มีน้ำชุ่มน้ำ น้ำที่พบที่ผิวดินจะเป็นน้ำที่เกิดจากน้ำทิ้งจากอาคาร

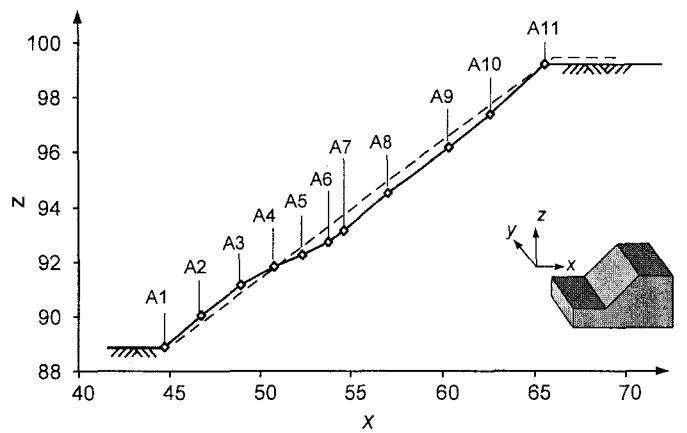


รูปที่ 5 รูปตัดแนวขนานกับคันดิน (รูปตัด A-A) แสดงแนวชั้นดิน และแนวชั้นดินสีขาวยาวหนาประมาณ 0.5 เมตรที่เอียงตัวทำมุม 45° กับแนวราบ

รูปที่ 5 รูปตัดแนวขนานกับคันดิน (รูปตัด A-A) แสดงแนวชั้นดิน และแนวชั้นดินสีขาวยาวหนาประมาณ 0.5 เมตรที่เอียงตัวทำมุม 45° กับแนวราบ

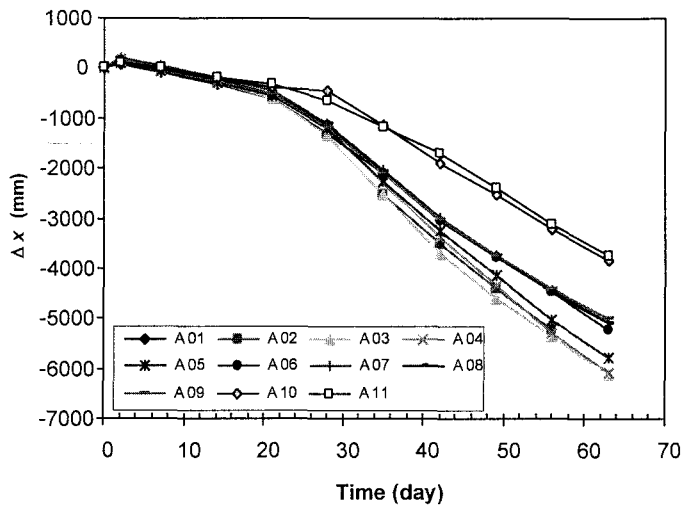
### 3. การตรวจวัดการเคลื่อนตัว

เมื่อพบรอยแยกที่ผิวของลาดคันดินในเดือนมิถุนายน ทางคณะผู้เขียนจึงได้เริ่มทำการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของคันดินโดยทำการปักหมุดสำรวจไว้บนลาดคันโดยมีระยะห่างของแต่ละหมุดประมาณ 1 เมตรดังรูปที่ 6 โดยการตรวจวัดกระทำโดยใช้กล้องสำรวจในการอ่านค่าพิคคของหมุด ค่าพิคคของหมุดที่อ่านได้ในครั้งแรกนี้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการตรวจวัดในครั้งถัดๆไป โดยการตรวจวัดกระทำสัปดาห์ละหนึ่งครั้งเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของคันดินที่เวลาต่างๆกัน

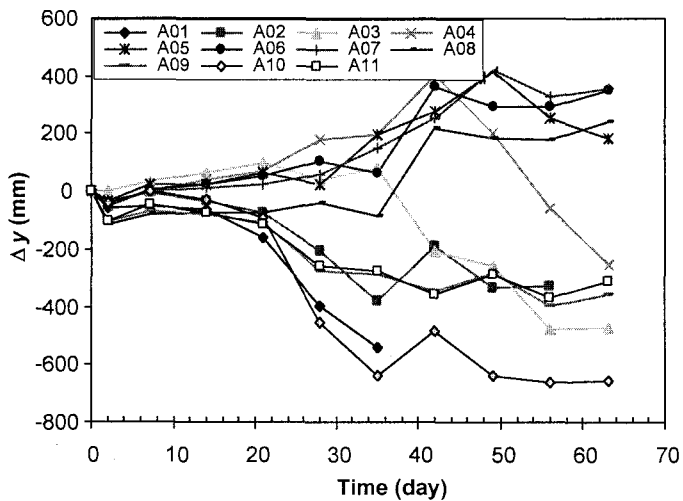


รูปที่ 6 ตำแหน่งของหมุดสำรวจบนคันดินที่ทำการตรวจวัดเส้นประแสดงคันดินตามแบบก่อสร้าง และเส้นทึบแสดงพื้นผิวที่ได้จากการสำรวจ

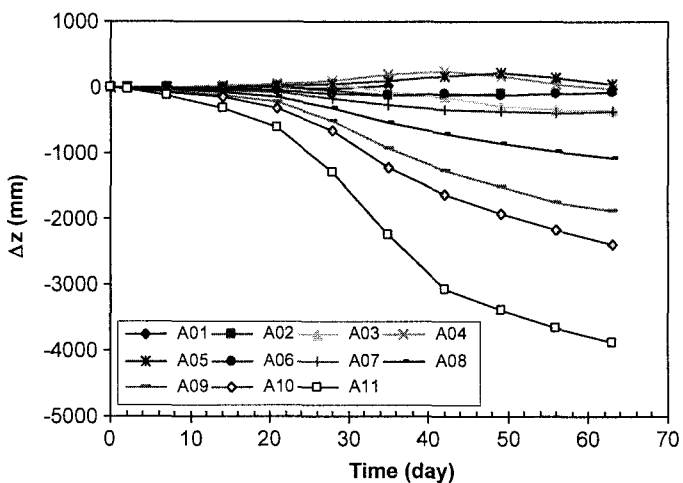
ผลการตรวจวัดจะอยู่ในรูปของการอ้างอิงจากค่าเริ่มต้น โดยจากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าลาดคันดินได้เคลื่อนตัวจากลาดคันดินตามแบบก่อสร้างไปบ้างแล้ว เนื่องจากไม่สามารถระบุค่าพิคคของหมุดก่อนที่คันดินจะมีการเคลื่อนตัวได้จึงได้เลือกใช้ค่าพิคคที่สำรวจได้ในครั้งแรกเป็นค่าเริ่มต้น ผลการตรวจวัดแสดงในรูปของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหมุดในแนวแกน x ซึ่งเป็นแนวแกนราบตั้งฉากกับคันดิน และแนวแกน y ซึ่งเป็นแนวแกนราบขนานกับคันดิน และแนวแกน z ซึ่งเป็นแกนตั้ง ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9 จากผลการตรวจวัดพบว่าหมุดบนลาดคันดินเคลื่อนตัวในแนวราบเป็นระยะมากที่สุดเท่ากับ 6 เมตรเมื่อวันที่ 63 นับจากวันที่สำรวจวันแรก และคันดินได้เกิดการยุบตัวลงมาโดยที่หมุดที่อยู่บนปากอ่าง (A11) จะทรุดตัวลงมากที่สุดเป็นระยะประมาณ 3.9 เมตรในวันที่ 63 นับจากวันที่สำรวจวันแรกเช่นกัน ส่วนการเคลื่อนตัวของหมุดทางด้านข้างนั้นเกิดขึ้นไม่มากนักซึ่งค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างมากที่สุดมีค่าประมาณ 0.7 เมตร



รูปที่ 7 การเคลื่อนตัวของหมุดในแนวตั้งฉากกับคันดิน (แกน x) เทียบกับเวลา



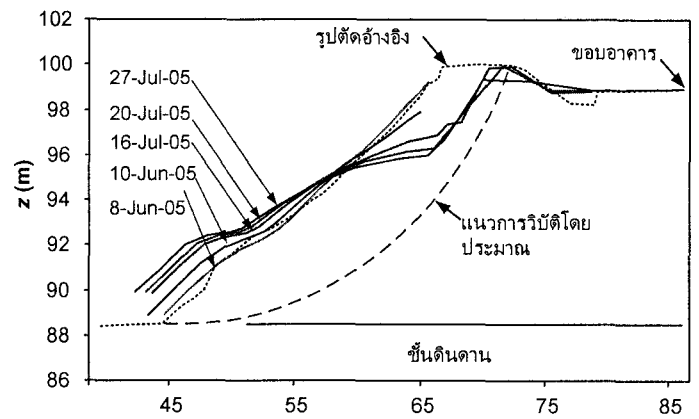
รูปที่ 8 การเคลื่อนตัวของหมุดในแนวขนานกับคันดิน (แกน y) เทียบกับเวลา



รูปที่ 9 การเคลื่อนตัวของหมุดในแนวตั้ง (แกน z) เทียบกับเวลา

ซึ่งเมื่อนำค่าพิสัยของหมุดมาเขียนเป็นเส้นแสดงตำแหน่งของผิวดินที่เวลาต่างๆกันเราจะประมาณแนวของการวิบัติได้ดังเส้นประ ในรูปที่ 10 ซึ่งการประมาณนี้มีสมมุติฐานว่าแนวการวิบัติไม่ลึกเกินกว่าขอบเขตของชั้นดินดานและสมมุติให้แนวการวิบัติเป็น

ส่วนของวงกลม ซึ่งแนวการวิบัตินี้จะได้นำไปใช้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป



รูปที่ 10 ขอบเขตของการวิบัติซึ่งคาดคะเนจากผลการตรวจวัด

#### 4. ข้อสันนิษฐานสาเหตุของการวิบัติ

การวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการวิบัติได้จากการศึกษาข้อมูลภาพถ่ายในขณะที่ทำการก่อสร้าง หลังจากการก่อสร้างเสร็จ และหลังจากเกิดการวิบัติแล้ว ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามในบริเวณที่เกิดการวิบัติ และข้อมูลดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งจากภาพถ่ายรูปตัดชั้นดินจะพบว่าสาเหตุหลักของการวิบัติน่าจะเกิดจากการเลื่อนไถลในชั้นดินเหนียวอ่อนมากสีขาวซึ่งเอียงตัวทำมุม 45 องศา กับแนวราบ ซึ่งเมื่อดินอยู่ในสภาพแห้งคันดินจะมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะไม่เกิดการเคลื่อนตัว แต่เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เปียกน้ำจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินต่ำลง เมื่อพิจารณาถึงช่วงระยะเวลาที่เริ่มเกิดรอยแยกในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีฝนตกและระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำมากดินจึงไม่น่าจะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ แต่จากภาพถ่ายในขณะนั้นจะพบว่าคันดินตรงจุดที่เกิดรอยแยกนั้นชุ่มไปด้วยน้ำโดยมีกรไหลของน้ำซึมออกมาเป็นตาน้ำ ซึ่งน้ำที่ไหลซึมผ่านคันดินนี้ไหลมาจากคูน้ำที่ห่างจากอาคารที่อยู่ใกล้ๆกับอ่างเก็บน้ำ ปัจจัยที่ทำให้น้ำในคูน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินเหนียวที่บ้น้ำอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการซึ่งได้แก่

##### 4.1 ชั้นดินกรวดที่ไม่ได้ขุดลอกออก

ในขั้นตอนการก่อสร้างไม่มีการขุดลอกชั้นดินนี้ออกก่อนที่จะถมดินทับเพื่อทำคันดินจึงทำให้เป็นทางให้น้ำไหลซึมผ่านคันดินได้

#### 4.2 การนำเป็ยของซากพืช

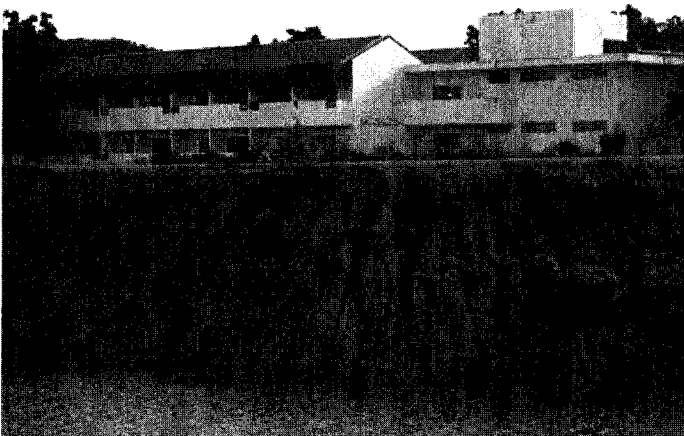
จากการสำรวจเมื่อค้นดินวิบัติแล้วพบซากวัชพืช รากของต้นไม้ และชั้นดินอินทรีย์แทรกอยู่ในคันดิน ซึ่งเมื่อเกิดการนำเป็ยผู้ฝัง จะเป็นช่องทางที่น้ำไหลผ่านคันดินในลักษณะเป็นตาน้ำได้

#### 4.3 ลักษณะของเนื้อดินเหนียวที่มีรอยแยก (Fissured clay)

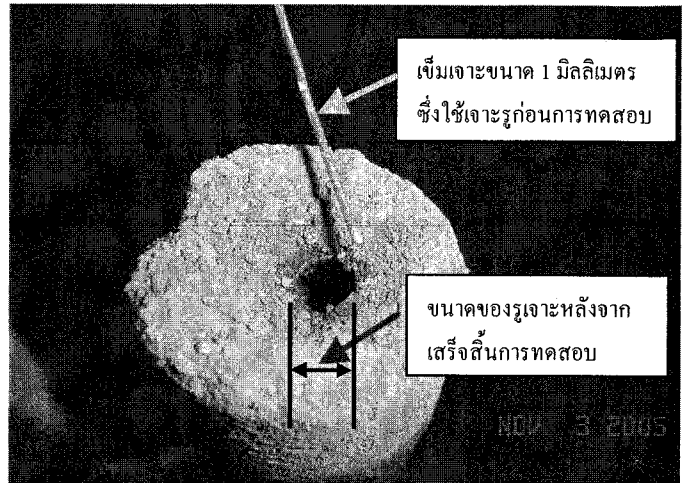
รอยแยกนี้เกิดขึ้นจากการที่ชั้นดินเหนียวอ่อนสีขาวมีเปอร์เซ็นต์การบวมตัวถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อดินเหนียวนี้ชุ่มน้ำในฤดูฝนจะเกิดการขยายตัวและเมื่อดินแห้งในฤดูแล้งจะเกิดการหดตัว ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดรอยแยกในชั้นดินขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการไหลในลักษณะที่เป็นตาน้ำ

#### 4.4 ลักษณะที่ดินเป็นดินเหนียวกระจายตัว

จากการสังเกตลักษณะของคันดินที่ไม่เกิดการวิบัติพบว่าดินถูกกัดเซาะเนื่องจากน้ำฝนอย่างรุนแรงดังรูปที่ 11 ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าดินในบริเวณนี้เป็นดินเหนียวกระจายตัว ซึ่งถ้าไม่ได้ทำการทดสอบการกระจายตัวอาจจะตีความว่าดินเหนียวมีการยึดเกาะกันดี แต่เมื่อนำไปทดสอบ Crumb test พบว่าดินจัดอยู่ในระดับ 3 ตาม Sherard et al. (1976) และเมื่อนำไปทดสอบ Pinhole test ตามมาตรฐาน ASTM D 4647 พบว่าดินเมื่อมีความชื้นในดินต่ำจะได้ผลการทดสอบจัดอยู่ในประเภท D1 ซึ่งเกิดการพังของรูเจาะอย่างรวดเร็วเมื่อใช้ระดับน้ำทดสอบ 50 มิลลิเมตร (รูปที่ 12) จากผลการทดสอบที่แสดงว่าดินเป็นดินเหนียวกระจายตัวนี้ แสดงว่าดินอาจจะมีการถูกกัดเซาะจนเป็นโพรงซึ่งทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านโพรงในดินเหนียวเหล่านี้ในลักษณะเป็นตาน้ำ อันจะทำให้คันดินในบริเวณคันดินชุ่มน้ำอย่างรวดเร็วและมีกำลังรับแรงเฉือนลดลง



รูปที่ 11 แสดงการถูกกัดเซาะของคันดินจนเป็นร่องเนื่องจากดินเป็นดินเหนียวกระจายตัว



รูปที่ 12 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงขนาดของรูเจาะที่ขยายใหญ่ขึ้นหลังจากปล่อยให้ น้ำกลั่นไหลผ่านด้วยระดับความสูงของน้ำ 50 มิลลิเมตร

กล่าวโดยสรุปแล้วสาเหตุหลักของการวิบัติเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นดินและการเอียงตัวทำมุมกับแนวราบของชั้นดินเหนียวอ่อนสีขาว ซึ่งชุ่มไปด้วยน้ำที่ไหลผ่านตาน้ำทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนสีขาวลดต่ำลงมาก ประกอบกับการที่มีการถมดินเพิ่มขึ้นหนา 3 เมตรเพื่อทำคันดินปากอ่างทำให้มีแรงกระทำต่อคันดินเพิ่มขึ้น และเมื่อเกิดฝนตกน้ำฝนได้ไหลเข้าไปในดินทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นอีก คันดินจึงเกิดการวิบัติ เป็นที่น่าสังเกตว่า คันดินในบริเวณที่ชั้นดินวางตัวในแนวราบจะไม่พบปัญหาการวิบัติของคันดินแต่อย่างใดถึงแม้ว่าจะขุดดินในแนวตั้งโดยไม่ทิ้งลาดคันดินลึกถึง 10 เมตรก็ตามซึ่งน่าจะเป็นข้อยืนยันได้ว่า การวิบัตินั้นเกิดจากลักษณะการเอียงตัวของชั้นดิน

#### 5. การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

จากข้อมูลรูปร่างของคันดิน ข้อมูลดิน และสาเหตุของการวิบัติซึ่งเกิดจากการที่น้ำไหลผ่านโพรงในเนื้อดินทำให้ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำจึงได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งในบทความนี้จะใช้โปรแกรม PLAXIS ในการคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของคันดิน ซึ่งวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้จะแตกต่างจากวิธี Limit equilibrium ตรงที่ไม่จำเป็นต้องสมมุติแนวการวิบัติขึ้นมาก่อนสำหรับผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธี Limit equilibrium ซึ่งได้จากสมมุติแนวการวิบัติเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม (PLAXIS, 1998) หลักการโดยสังเขปของวิธีวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์คือการค่อยๆลดกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยตัวคูณรวม  $\Sigma Msf$  ดังสมการที่ 1

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} \quad (1)$$

เมื่อเริ่มการคำนวณ  $\Sigma Msf$  ถูกตั้งค่าไว้ที่ 1.0 หลังจากที่กำลังรับแรงเฉือนของดินค่อยๆลดลงจนกระทั่งเกิดการวิบัติแล้วค่าสัดส่วนความปลอดภัยจะคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2

$$SF = \frac{\text{available strength}}{\text{strength at failure}} = \Sigma Msf_{\text{at failure}} \quad (2)$$

วิธีที่ได้กล่าวมาในข้างต้นได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน โดยจะแบ่งเนื้อดินซึ่งมีความต่อเนื่องออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆที่มี 15 จุดต่อสำหรับคำนวณการเคลื่อนตัว (15-node element) จากนั้นคำนวณหน่วยแรงกดทับเนื่องจากน้ำหนักของดิน สำหรับแบบจำลองของดินจะใช้แบบจำลอง Mohr-Coulomb โดยพารามิเตอร์ของดินจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของการวิบัติจะใช้การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมโดยสมมุติให้ดินอึดตัวไปด้วยน้ำเนื่องจากสาเหตุในหัวข้อที่ 4 การวิเคราะห์ได้จำลองขั้นตอนการก่อสร้างออกเป็น 3 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการคำนวณหน่วยแรงในมวลดินตามสภาพธรรมชาติ (In-situ stress) ก่อนที่จะมีการขุดดินขึ้นไปถมเป็นคันดิน (รูปที่ 2)

ระยะที่ 2 เป็นการจำลองการขุดดินและการถมเพื่อก่อสร้างคันดิน โดยการขุดจะจำลองโดยการลบอิลิเมนต์ออก และการถมจะเป็นการเพิ่มอิลิเมนต์เข้าไปในแบบจำลอง

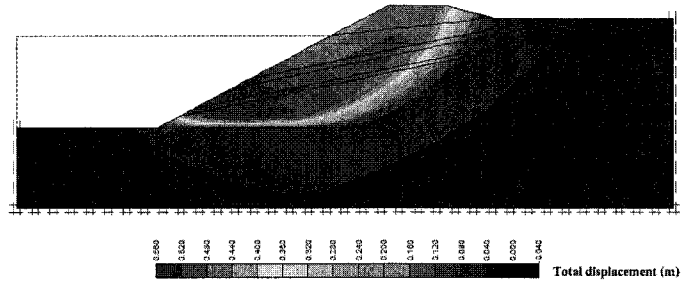
ระยะที่ 3 เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินโดยการค่อยๆลดกำลังรับแรงเฉือนของดินลงจนเกิดการวิบัติขึ้น

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินแสดงในรูปของการเคลื่อนตัวของคันดินในรูปที่ 13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวการวิบัติของคันดินที่ได้จากการคำนวณเป็นส่วนโค้งของวงกลมโดยที่มีเส้นสัมผัสอยู่ที่ชั้นดินดาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแนวการวิบัติที่ได้จากแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ในรูปที่ 13 กับแนวการวิบัติที่ประมาณจากผลการตรวจวัดในรูปที่ 10 และภาพถ่ายในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน ในรูปที่ 14 แสดงถึงการวิบัติของดินในระยะที่ 2 ของการคำนวณ โดยที่โดยที่อิลิเมนต์ที่ผิวของคันดินได้ถึงจุดครากที่การเคลื่อนตัวประมาณ 0.1 เมตร

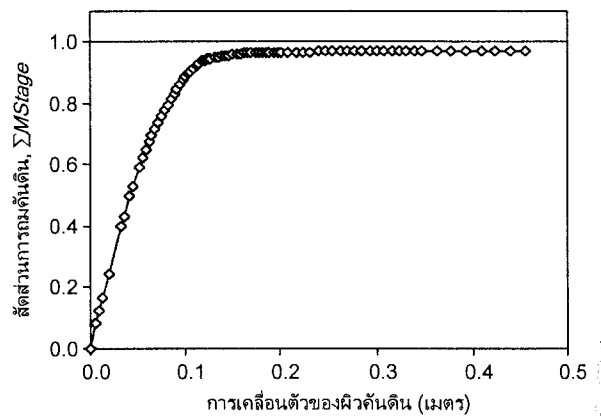
## 6. สรุป

ในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปฐพีที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายๆอย่างประกอบกัน ซึ่งได้แก่สภาพทางธรณีวิทยา คุณสมบัติของดิน ซึ่งในบทความนี้ได้กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อก่อสร้างคันดินบนชั้นดินเหนียวกระจายตัว

แทรกด้วยดินเหนียววมตัวที่เอียงตัวทำให้เกิดการเคลื่อนตัวขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นกรณีศึกษาในการทำงานในลักษณะเดียวกันในอนาคตต่อไป



รูปที่ 13 ผลการคำนวณแสดงถึงแนวการวิบัติซึ่งเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์



รูปที่ 14 แสดงสัดส่วนที่คันดินถูกถล่มกับการเคลื่อนตัวของผิวคันดิน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน) ที่อนุญาตให้ใช้โปรแกรม PLAXIS เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินในบทความนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dawson, R. F., 1953. Movement of small houses erected on an expansive clay soil. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 1: 346-350.
- [2] PLAXIS manual, 1998. A.A. Balkema, Netherlands.
- [4] นกมล และคณะ, 2544, ลักษณะทางธรณีวิทยาและคุณสมบัติทางวิศวกรรมชั้นดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, เอกสารการอบรม การสำรวจชั้นดิน การออกแบบ และการก่อสร้างฐานราก, ขอนแก่น
- [5] วันชัย และคณะ, 2547, การปรับปรุงเสถียรภาพการกระจายตัวของคันทางรถไฟริมอ่างเก็บน้ำลำตะคอง, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9

## 7. สถานที่ติดต่อ

ดร. พรพจน์ ดันเส็ง สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ม. เทคโนโลยีสุรนารี