

การปรับปรุงฐานรากดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

Thermal Stabilization Of Soft Bangkok Clay By Solar Energy

สุทธิศักดิ์ สรลัมพ์ (Suttisak Soralump)

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fengsus@ku.ac.th

หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมศักดิ์ เลิศประเสริฐพันธ์ (Somsak Lersprasertpun)

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

somsak 4077@hotmail.com

บทคัดย่อ : พฤติกรรมและคุณสมบัติของดินเมื่อได้รับความร้อน ได้ถูกศึกษาในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่าความร้อนจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือการทรุดตัวได้ดีในดินสภาพการอัดตัวคายน้ำปกติ นอกจากนั้นยังพบว่าให้ความร้อนในลักษณะเป็นวงรอบจะทำให้สภาพดินเหนียวอ่อนเปลี่ยนจากสภาพการอัดตัวคายน้ำปกติเป็นสภาพการอัดตัวคายน้ำเกินปกติ อีกทั้งยังทำให้การไหลซึมน้ำดีขึ้นอีกด้วย สุดท้ายการให้ความร้อนในลักษณะระยะยังส่งผลให้ความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบในสนามเบื้องต้น ปรากฏว่า เมื่ออุณหภูมิในดินสูงขึ้นแรงดันน้ำในดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มแรงดันน้ำและการกระจายความร้อนในแนวรัศมีเป็นไปได้ดีพอสมควร ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อนจึงมีความเป็นไปได้ทั้งในลักษณะเชิงการทรุดตัวหรือการถ่ายแรงลงสู่ชั้นที่แข็งแรงกว่า

KEYWORDS : GROUND IMPROVEMENT, SOFT SOIL ENGINEERING, THERMAL CONSOLIDATION

1. บทนำ

ปัญหาการทรุดตัวภายหลังการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนเป็นปัญหาใหญ่เนื่องจากถนนไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้หลังจากการก่อสร้างเสร็จสิ้นเพียงไม่กี่ปี ตัวอย่างหนึ่งที่เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนได้แก่ปัญหาการทรุดตัวของถนนสายบางนา-บางปะกงในอดีต ซึ่งมีการศึกษาโดยการคิดเครื่องมือวัดพฤติกรรมทรุดตัวไว้ การทรุดตัวของถนนบนดินอ่อนภายหลังการก่อสร้างก่อให้เกิดปัญหาหลายประการอันได้แก่

1. ระดับของถนนลดลงจนต่ำกว่าระดับน้ำท่วมถึง
2. การทรุดตัวแตกต่างกันบริเวณคอสะพาน

ปัญหาดังกล่าวนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ทำให้จำเป็นต้องนำเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพดินจากต่างประเทศมาใช้ในการแก้ปัญหา หลักการการปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากที่ใช้กันในประเทศประกอบด้วย การเร่งการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนและการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นที่แข็งแรงกว่า

2. การปรับปรุงฐานรากดินอ่อนด้วยความร้อน

เทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้ในประเทศไทยประกอบด้วย การเร่งการทรุดตัวโดยใช้ Prefabricated Vertical Drain (Bergado et al.,1998) การตอกเข็มปูพรมและการใช้เสาเข็มดิน-ซีเมนต์ (Soralump et al.,1998) อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวยังเป็นวิธีที่มีราคาก่อสร้างสูง การหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้ผลและมีราคาการทำงานที่ต่ำจึงเป็นเป้าหมายที่วิศวกรปฐพีไทยควรจะค้นหา เนื่องจากโครงการก่อสร้างโดยเฉพาะการก่อสร้างถนนเป็นโครงการที่มีปริมาณงานมากทำให้การเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพฐานรากที่มีราคาต่อหนึ่งหน่วยลดลงเพียงเล็กน้อย ย่อมทำให้ราคาโดยรวมลดลงอย่างมาก

จากความจำเป็นดังกล่าวผู้เขียนจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงฐานรากดินอ่อนโดยใช้พลังงานความร้อนมาขับน้ำออกจากดินเพื่อให้หดตัวและทำให้ความแข็งแรงของดินโดยรวมมีค่าสูงขึ้น แหล่งพลังงานที่นำมาใช้ในการเพิ่มความร้อนสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ รวมทั้งพลังงานสะอาดได้แก่พลังงานแสงอาทิตย์

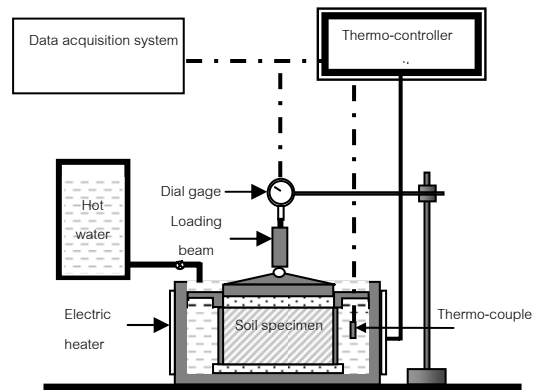
ซึ่งเป็นพลังงานเป้าหมายสำหรับการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นในการศึกษา จึงได้จำกัดอุณหภูมิในการศึกษาไว้ไม่สูงเกินกว่า 90°C เหตุผลอีกประการหนึ่งในการจำกัดอุณหภูมิดังกล่าวเนื่องจากการวิจัย จะใช้น้ำในการส่งถ่ายความร้อนลงไปใต้ดิน แทนที่จะเป็น ตัวน้ำอื่น ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนในดินและจำกัดราคา ก่อนสร้าง วิธีการปรับปรุงฐานรากดินอ่อนด้วยความร้อนจึงเป็น วิธีที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าจะมีราคาต่ำกว่า วิธีดังกล่าวอยู่ ภายใต้การวิจัยร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียภายใต้ทุนรัฐบาลไทย

3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

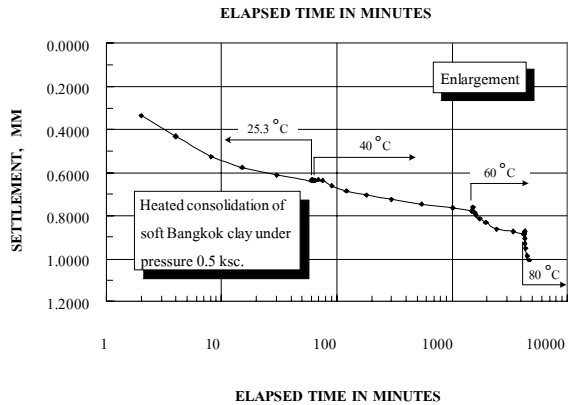
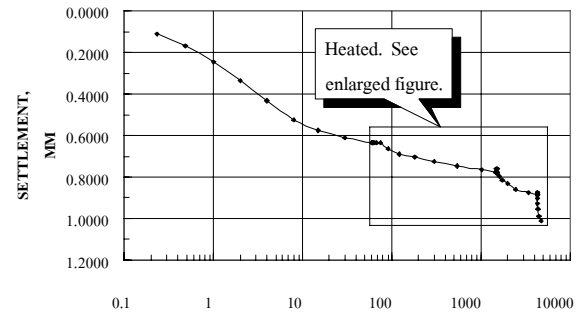
การทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบ พฤติกรรมและคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวกรุงเทพฯ เมื่อ ได้รับความร้อนและเพื่อเป็นแนวทางในการนำการปรับปรุง คุณภาพดินด้วยความร้อนไปใช้ในทางปฏิบัติ การทดสอบ ดำเนินการโดยทั้งการดัดแปลงเครื่องมือเดิมรวมไปถึงออกแบบ เครื่องมือใหม่ และดำเนินการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสถาบันเทคโนโลยีแห่ง เอเชีย

การปรับปรุงฐานรากดินอ่อนด้วยความร้อนใช้หลัก เบื้องต้นจากความจริงที่ความร้อนที่เข้าไปในดินก่อให้เกิด แรงดันน้ำส่วนเกินทำให้เกิดการไหลของน้ำออกจากมวลดิน นอกจากนั้นความหนืดของน้ำยังลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำ เพิ่มขึ้นทำให้การไหลของน้ำในช่องว่างเม็ดดินเป็นไปได้ง่ายขึ้น เมื่อเริ่มต้น เทคนิคนี้มุ่งหวังไปยังการเร่งการทรุดตัวเพียง อย่างเดียว ซึ่งก็ได้ผลในห้องปฏิบัติการเป็นที่น่าพอใจ การ ทดสอบในห้องปฏิบัติการดำเนินการศึกษาโดยดัดแปลง เครื่องมือทดสอบ Consolidation ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลการทรุด ตัวได้แสดงในรูปที่ 2 จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอัตรา การทรุดตัวมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นจากการ ทดลองอีกรูปแบบหนึ่งยังพบว่า Volume Metric Strain ใน ลักษณะที่ไม่ย้อนกลับ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินมีค่า OCR=1 (รูปที่ 3) ผลการทดสอบ ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความ ร้อนจะมีอิทธิพลสูงต่อดินที่อยู่ในสภาพการบดอัดตัวคายน้ำ ปกติ (Normal Consolidation)

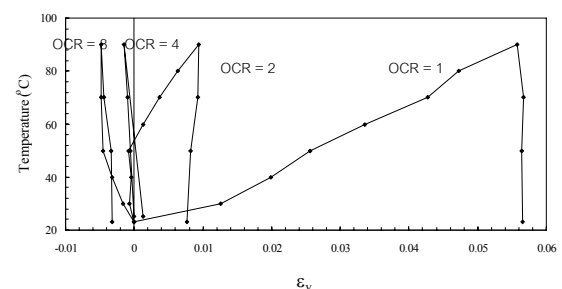
การทดสอบการ Consolidation ภายใต้อุณหภูมิยังได้ กระทำภายใต้สภาพการทำงานจริงหากต้องให้พลังงาน แสงอาทิตย์ในการให้ความร้อนแก่น้ำซึ่งไม่สามารถคงอุณหภูมิ



รูปที่ 1 รูปแสดงเครื่องมือ Thermal Consolidation (สุทธิศักดิ์ และวิชาญ , 2547)



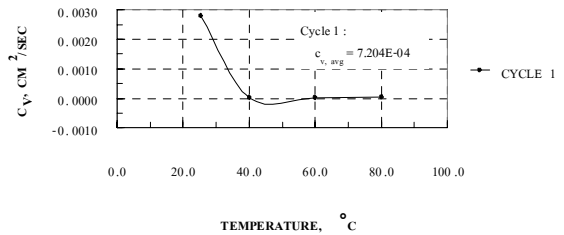
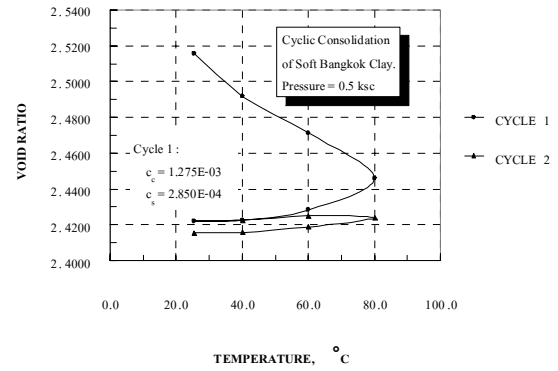
รูปที่ 2 ผลการวัดการทรุดตัวโดยการให้ความร้อน (สุทธิศักดิ์ และวิชาญ , 2547)



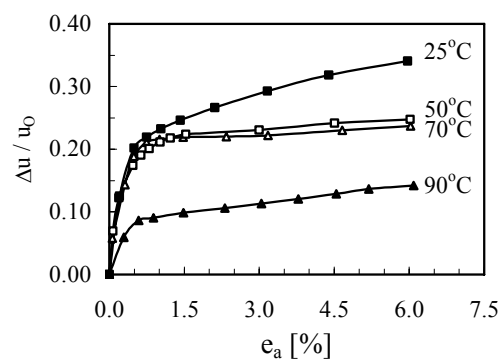
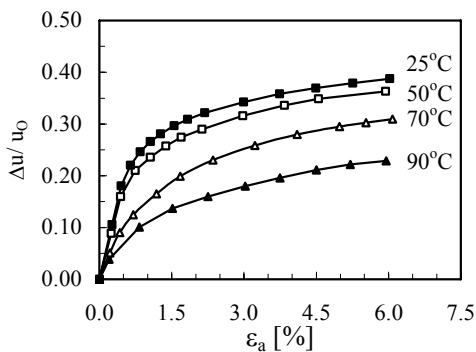
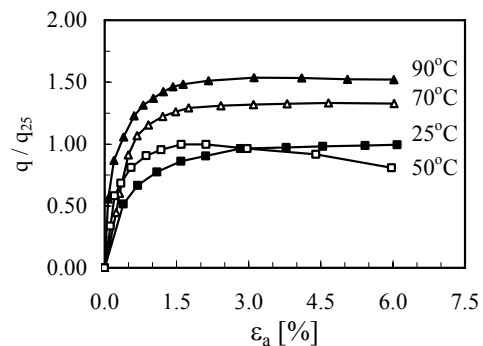
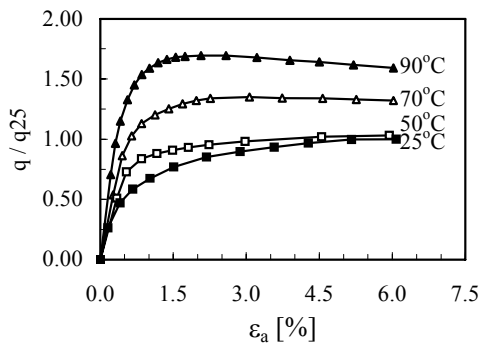
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายใต้การให้ความร้อน (Abuel-Nage et. al, 2004)

ไว้ได้ในเวลากลางคืน การจำลองสภาพการเพิ่มและลดอุณหภูมิ
ที่ให้แก่วัสดุอย่าง แสดงผลที่น่าสนใจโดยลักษณะของการทรุด
ตัวมีลักษณะคล้ายผลการทดสอบ Consolidation โดยทั่วไป โดย
สภาพการเพิ่มและลดความร้อนเปรียบเสมือนการเพิ่มและลด
น้ำหนักของการทดสอบปกติ ผลการทดสอบได้แสดงในรูปที่ 4
จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างกับอุณหภูมิ
มีลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างกับการให้
น้ำหนักปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพของดินเปลี่ยนจาก
สภาพการบดอัดตัวคายน้ำปกติเป็นสภาพการบดอัดตัวคายน้ำ
เกินปกติ (Over Consolidation) หากทำการเพิ่มอุณหภูมิกลับต่ำ
กว่าอุณหภูมิสูงสุดในอดีต

อย่างไรก็ตามเป้าหมายของการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนได้
มุ่งไปสู่การปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของดินอ่อน แทน
การเร่งการทรุดตัวแต่เพียงอย่างเดียว การปรับปรุงคุณภาพดิน
เหนียวอ่อนเพื่อให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยการสร้างเสาค้ำ
ของดินแข็งอันเนื่องมาจากความร้อนเพื่อถ่ายน้ำหนักของดินถม
ลงไปสู่ชั้นที่แข็งแรงกว่า จึงเป็นเป้าหมายสำคัญ การทดลองเพื่อ
ตรวจสอบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของดินเหนียวอ่อน
เนื่องมาจากการให้ความร้อน ได้แสดงผลในรูปที่ 5



รูปที่ 4 Void Ratio เปรียบเทียบกับการให้อุณหภูมิในลักษณะของรอบ (สุทธิศักดิ์ และวิชาญ , 2547)



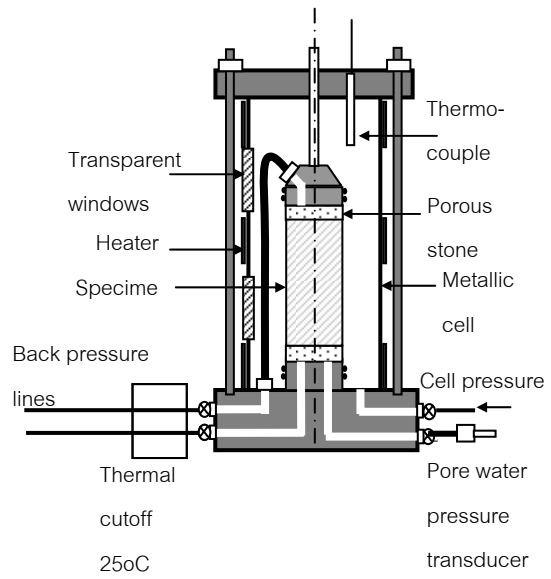
ก. OCR=1

ข. OCR=2

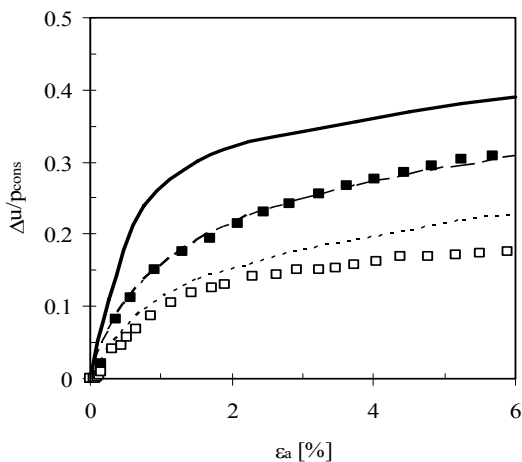
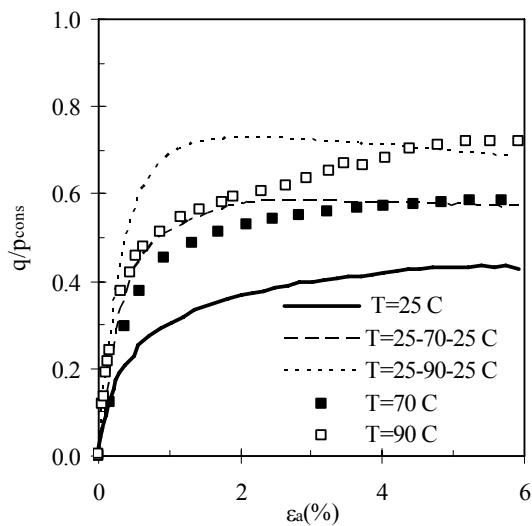
รูปที่ 5 ความแข็งแรงของดินที่เพิ่มขึ้นตามการให้อุณหภูมิ (Grino, 2004)

การทดสอบดำเนินการโดยเครื่องมือดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็น
 เครื่องมือที่ออกแบบสำหรับการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน
 (Triaxial Test) ภายใต้การให้ความร้อนในลักษณะระบาย
 (Drained Heating) ผลการทดสอบพบว่าความแข็งแรงของดิน
 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากการให้ความร้อนทั้งการ
 เพิ่มแบบปกติและการเพิ่มแบบเป็นวงรอบ การเลื่อนตัวอย่าง
 เป็นไปทั้งในสภาวะการระบายน้ำและไม่ระบายน้ำผลการ
 ทดสอบแสดงในรูปที่ 7

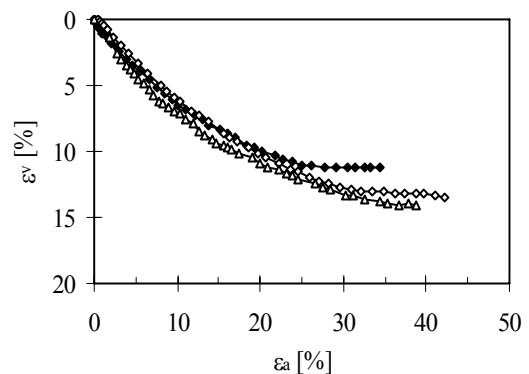
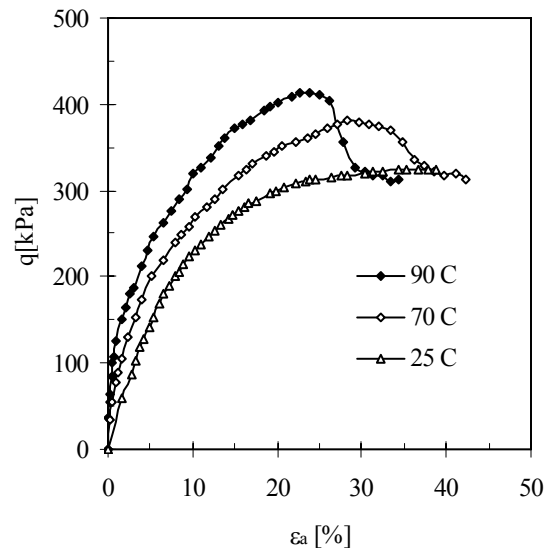
คุณสมบัติอีกประการที่สำคัญคือคุณสมบัติการซึมน้ำของ
 ดินเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8
 พบว่า ความซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิ ทั้งนี้คาดว่าผล
 ดังกล่าวน่าจะมาจากการลดลงของความหนืดของน้ำเป็นปัจจัย
 หลัก ซึ่งมีอิทธิพลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของเม็ดดิน (Soil
 Solid) หรือ Double Diffused Layer การเพิ่มขึ้นของค่าความ
 ซึมน้ำ เนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมินี้ ส่งผลให้แนวคิดในการ



รูปที่ 6 เครื่องมือทดสอบ Triaxial ภายใต้ความร้อน (Grino, 2004)



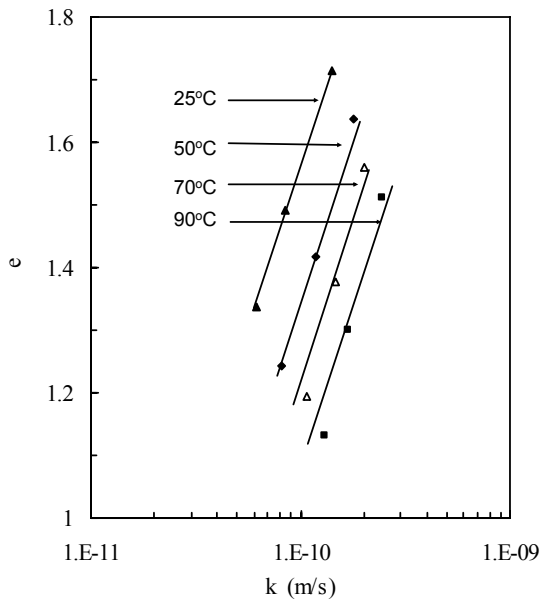
ก. Undrained compression triaxial test (NC)



ข. Drained compression triaxial test (NC)

รูปที่ 7 ผลการทดสอบ Triaxial ภายใต้ความร้อน (Grino, 2004)

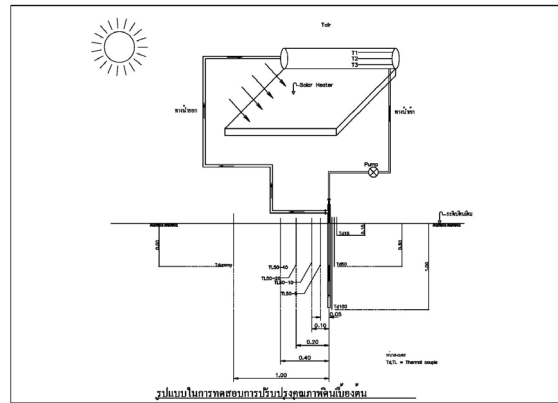
ระบายน้ำออกจากดินด้วยความร้อนนี้เป็นจริงในทางปฏิบัติมากขึ้น นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้ความร้อนร่วมกับการระบายน้ำด้วย Prefabricated Vertical Drain (PVD) อาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายในส่วนที่ดินถูกรบกวน (Smear Zone) ได้อีกด้วย



รูปที่ 8 ความชื้นน้ำเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ (Abuel-Nage et al.,2004)

4. การทดสอบในสนาม

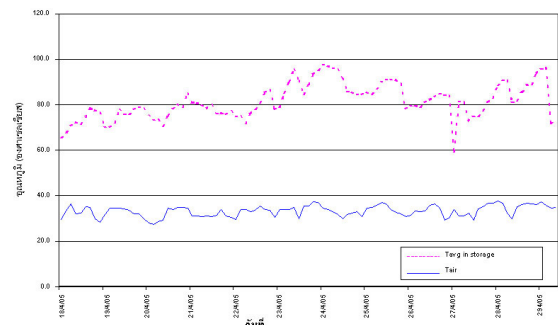
จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปได้ว่าการให้ความร้อนแก่ดินเหนียวกรุงเทพฯ ส่งผลให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน ดังนั้นคณะผู้เขียนจึงได้ดำเนินการทดสอบจริงในสนาม โดยดำเนินการทดสอบเบื้องต้น ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก่อนที่จะย้ายเครื่องมือเพื่อทดสอบระยะยาว ณ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดพฤติกรรม แสดงในรูปที่ 9 ระบบให้ความร้อนที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 10) ที่ใช้หลักของหลอดสุญญากาศในการรักษาความร้อน เครื่องทำน้ำร้อนดังกล่าวสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงถึง 97°C ผลการวัดอุณหภูมิภายในถึงเก็บความร้อนแสดงดังรูปที่ 11 อย่างไรก็ตาม เพื่อความเหมาะสมในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ขดลวดให้ความร้อนจะถูกนำมาใช้เสริมเพื่อรักษาอุณหภูมิตามต้องการในการศึกษา น้ำร้อนจากถังเก็บความร้อนจะวิ่งผ่านท่อทองแดงลงใต้ดินและหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถัง



รูปที่ 9 ระบบการทดสอบในสนาม



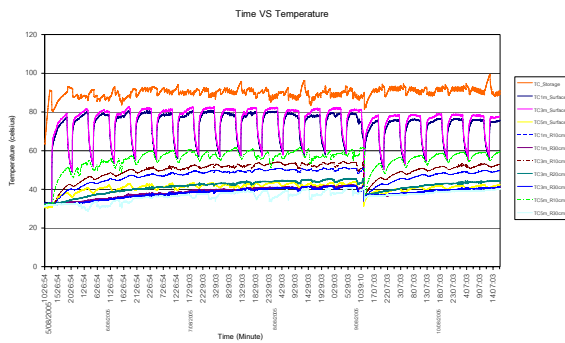
รูปที่ 10 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 11 อุณหภูมิในถังเก็บความร้อน

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในสนามคือการศึกษาพฤติกรรมการแผ่กระจายความร้อนในแนวรัศมีและพฤติกรรมของแรงดันน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามการให้ความร้อน เครื่องมือวัดพฤติกรรมที่ติดตั้งประกอบด้วย อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) อุปกรณ์วัดการทรุดตัว (Settlement Plate) และ KU-Electronic Type Piezometer ผลการทดสอบเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งแสดงว่าความร้อนมีการกระจายตัวออกไปในแนวรัศมีห่างจากท่อทองแดงได้ไกลสุดประมาณ 30 ซม. นอกจากนั้นยังพบว่าแรงดันน้ำในดินมีการสะสมตัวและระบายออกช้าแม้ว่าอุณหภูมิจะลดลงแล้วก็ตาม ทั้งนี้

เนื่องจากการทดสอบนี้ยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ ดังนั้น
การสรุปโดยสมบูรณ์จำเป็นต้องผลใช้ผลการทดสอบลำดับ
ต่อไป



รูปที่ 15 การเพิ่มอุณหภูมิตามรอบการให้ความร้อน

5. บทสรุป

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้พลังงาน
แสงอาทิตย์เป็นความพยายามที่จะแก้ปัญหาการทรุดตัวของ
ถนนโดยใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นภายในประเทศ นอกจากนี้
ยังเป็นความพยายามที่จะนำพลังงานสะอาดมาใช้ให้เกิด
ประโยชน์สูงสุด ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบแนวโน้ม
ที่เป็นไปได้ในการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติ การทดสอบ
ในสนามให้ผลเบื้องต้นเป็นที่น่าพอใจ ผลการศึกษาโดย
สมบูรณ์จะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และวิชาญ ภูพัฒน์ (2547) “พฤติกรรมกรการ
ทรุดตัวระยะยาวของถนนบนดินอ่อน และแนวทางการ
แก้ปัญหาที่เหมาะสมโดยการปรับปรุงฐานรากด้วยความ
ร้อน “Proceeding of The Fifth Symposium on Ground/Soil
Improvement and Geosynthetics”, Thailand.
- Abuel-Naga, H.M., Bergado, D.T., Soralump, S., and
Rujivipat, P. (2004), Thermal Consolidation of Soft
Bangkok Clay, International Journal of Lowland
Technology.
- Bergado, D.T., Miura, N., Singh, N. And Panichayatum,
B. (1988), Improvement of Soft Bangkok Clay Using
Vertical Band Drains Based on Full-Scale Test, In
Proc. Int. Conf. Eng'g Problems of Regional Soils,
Beijing, China, pp. 379-384.
- Grino, L. (2004), The Effect of Heat on Deformation and
Strength Behavior of Soft Bangkok Clay, Master
Thesis, Asian Institute of Technology.
- Soralump, S., Bergado, D.T., and Balasubramaniam, A.S.
(1998), Soil Cement Deep Mixing Method for
Rehabilitation of Bangna-Bangpakon Highway, 34th
Symposium on Engineering Geology and Geotechnical
Engineering Logan, Utha. USA.