



สายใยแก้วนำแสงในงานตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน

Fiber Optic Cable in Dam Monitoring

จิโนรส ทองธรรมชาติ^{1,*} และวรากร ไผ่เรียง²

^{1,2} ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

เคเบิลใยแก้วถูกนำมาใช้ไม่เพียงแต่สำหรับงานสื่อสาร ในปัจจุบันได้นำมาใช้งานตรวจวัดการรั่วจากเส้นท่อต่างๆ และงานตรวจวัดพฤติกรรมของเขื่อนอีกเช่นกัน ในประเทศต่างๆ ในยุโรป เช่น สวีเดน ฝรั่งเศส เยอรมนี สวิสเซอร์แลนด์ ออสเตรีย ระบบการตรวจวัดการรั่วด้วยเส้นใยแก้วนำแสงได้ถูกพัฒนาขึ้น ด้วยการวัดอุณหภูมิรอบๆ เคเบิลใยแก้วนำแสงที่ฝังไว้ในบริเวณที่สนใจ เช่น ในแนวเส้นท่อส่งน้ำมัน ภายในแกนดินเหนียวของเขื่อน ซึ่งทำให้สามารถระบุการรั่วได้ตลอดความยาวของเคเบิล ในบทความนี้เสนอกรณีศึกษาการใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงนี้ที่เขื่อนน้ำจิม 2 ซึ่งเป็นเขื่อนหินถมคอนกรีตคานหน้า ในประเทศลาว มาใช้ตรวจสอบการรั่วของน้ำผ่านรอยต่อของแผ่นคอนกรีตคานหน้า สายใยแก้วนำแสง 2 เส้นถูกติดตั้งไว้ที่ plinth โดยเส้นหนึ่งได้ให้ความร้อน ซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ระหว่างสายเคเบิลทั้งสองนำมาใช้อธิบายการรั่วที่อาจเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของการใช้เส้นใยแก้วนำแสงจึงทำให้ยังจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือชนิดอื่นๆ ในการติดตามพฤติกรรม การรั่วซึมของเขื่อน

คำสำคัญ: เคเบิลใยแก้ว, การตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน

Abstract

The fiber optic has been used not only in the communication system but also in leakage detection from the pipeline and the leakage monitoring for the dams as well. In several European countries such as Sweden, France, Germany, Switzerland and Austria, the leakage detection by fiber optic cable has been developed. With the measuring the temperature change surround the cable, it can indicate the location of the leakage point along the cable. One application of fiber optic for leakage detection is the Nam Ngum 2 dam, a CFRD in Lao PDR. Two

cables were installed on the surface of the plinth; one of them has been heated for facilitating the temperature change. However, due to the limitation of usage fiber optic cable, the other geotechnical instruments are still needed for overall seepage monitoring.

Keywords: fiber optic cable, dam monitoring

1. คำนำ

ที่ผ่านมา สายเคเบิลใยแก้ว (fiber optic cable) ถูกนำมาใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งช่วยให้ระบบสื่อสารทำได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพ แต่ในปัจจุบันมีการนำเคเบิลใยแก้วมาใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมโดยเริ่มจากการตรวจวัดการรั่วซึมในแนวเส้นท่อต่างๆ และต่อมาได้ถูกใช้ในงานติดตามพฤติกรรมเขื่อนจนแพร่หลายในต่างประเทศมากกว่า 10 ปี โดยเคเบิลใยแก้วสามารถใช้ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของตัวเขื่อน และการตรวจวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจหาตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมผ่านตัวเขื่อน

สำหรับในประเทศไทยยังไม่ปรากฏว่ามีการนำเคเบิลใยแก้วมาใช้เป็นเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนทั้งในเขื่อนที่ก่อสร้างใหม่และเขื่อนที่ได้ใช้งานแล้วแต่เนื่องจากผู้เขียนได้มีโอกาสได้เข้าร่วมงานก่อสร้างของเขื่อนจิม 2 ในประเทศลาว และต่อเนื่องไปถึงงานติดตามพฤติกรรมเขื่อนในช่วงการเก็บน้ำครั้งแรก ซึ่งในเขื่อนนี้ได้มีการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วเพื่อตรวจวัดการรั่วซึมผ่านตัวเขื่อน ผู้เขียนคิดว่าเป็นเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนที่ทันสมัยและมีประโยชน์มาก ในอนาคตอาจมีการนำมาใช้ในประเทศไทย จึงขอแนะนำประสบการณ์ที่ได้มาถ่ายทอดแก่วิศวกรของไทย

2. สายเคเบิลใยแก้วในการตรวจวัดอุณหภูมิ

2.1 หลักการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเคเบิลใยแก้ว

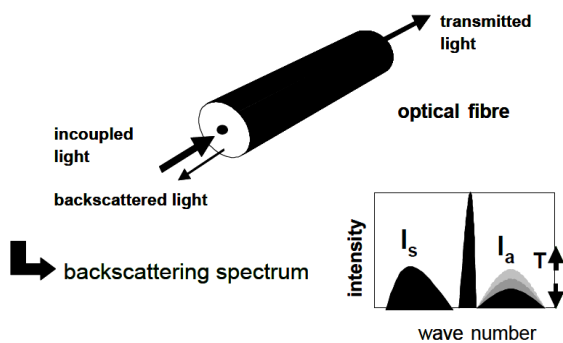
เคเบิลใยแก้วสำหรับการวัดอุณหภูมิ (Distributed Fiber Optic for Temperature, DFOT) อาศัยคุณสมบัติของวัสดุใยแก้วที่อ่อนไหวต่ออุณหภูมิมาเป็นหัววัด (sensor) หากแสงเลเซอร์ถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วที่รวมอยู่ในสายเคเบิล จะมีสัญญาณแสงที่มีความเข้มค่าสะท้อนกลับ

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: t_chinoros@yahoo.com

(backscatter)จากระยะต่างๆ ตลอดความยาวของสาย สัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมานี้ มีทั้งแสงแบบ Rayleigh ซึ่งเป็นสัญญาณหลักที่สะท้อนกลับมาเท่านั้น ยังมีแสงแบบ Raman และแบบ Brillouin ซึ่งมีความเข้มต่ำกว่าสะท้อนกลับมามากกว่าเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งนี้ความเข้มของแสงแบบ Brillouin จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเครียดที่เกิดขึ้นภายในสายเคเบิล ขณะที่แสงแบบ Raman ด้าน Anti-Stoke จะมีความเข้มขึ้นอยู่กับการอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการตรวจวัดอุณหภูมิจึงพิจารณาแสงแบบ Raman ด้าน Anti-Stoke นี้มาใช้วิเคราะห์ได้ แต่จำเป็นต้องติดตั้งสายเคเบิลให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีความเครียด (strain) มารบกวน

ระยะทางจากจุดปล่อยแสงไปถึงจุดต่างๆ ในสายเคเบิลสามารถหาได้ด้วยการจับเวลา (time domain OTDR) หรือการจับความถี่ (frequency domain OFDR) ก็ได้ โดยระยะเวลาในหนึ่งรอบอยู่ในช่วงระหว่างวินาทีถึงหลายนาที่ขึ้นอยู่กับความแม่นยำที่ต้องการ การตรวจวัดสามารถทำได้ทุกระยะ 0.25 ถึง 1.0 เมตร ของสายเคเบิลค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะมีความแม่นยำ ± 0.2 องศาเซลเซียสในทางวิศวกรรมเขื่อน ระบบการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยแสงแบบ Raman ได้ถูกใช้งานมากกว่าหนึ่งทศวรรษแล้ว [1]



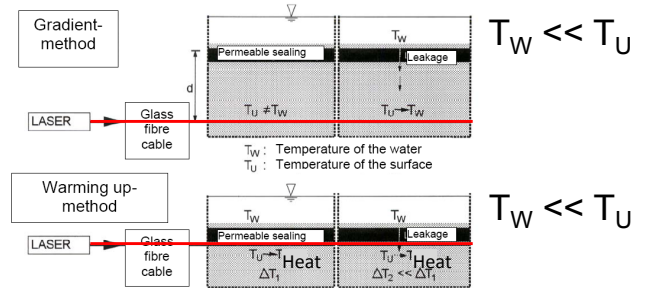
รูปที่ 1 หลักการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเคเบิลใยแก้ว [1]

วิธีการประยุกต์ใช้เคเบิลใยแก้วสำหรับตรวจวัดการรั่วในงานเขื่อน มี 2 วิธีดังนี้ 1) วิธี temperature gradient และ 2) วิธี heat pulse หรือ วิธี warming up [2] ดังแสดงในรูปที่ 2

1) วิธี temperature gradient จะตรวจหาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในฤดูกาลหรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตัวเขื่อนที่ตรวจวัดได้จากอุณหภูมิของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นหากมีการรั่วเกิดขึ้นอุณหภูมิของน้ำในอ่างฯ ซึ่งอาจต่ำหรือสูงกว่าอุณหภูมิ ณ จุดที่ตรวจวัด จะทำให้อุณหภูมิ ณ จุดนั้นเปลี่ยนไปจากก่อนเกิดการรั่ว เพราะน้ำที่ไหลเข้าสู่ตัวเขื่อน จะทำให้เกิดกระบวนการพาความร้อน (advection) ดังนั้นจุดที่มีการรั่วจะถูกสังเกตให้เห็นได้ วิธีการนี้ยังใช้หาจุดที่มีการรั่วได้จากอุณหภูมิที่แตกต่างจากบริเวณใกล้เคียงและอุณหภูมิของน้ำในอ่างฯ อัตราการรั่วสามารถถูกประมาณได้จากการวิเคราะห์ time lag และค่าอุณหภูมิที่ผิดปกติ

2) วิธี heat pulse ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับกรณีที่ไม่สามารถนำวิธีแรกมาใช้ได้ กรณีที่อุณหภูมิของน้ำในอ่างฯ กับอุณหภูมิที่ตรวจวัด มีค่าแตกต่างกันไม่เพียงพอ หรืออุณหภูมิในช่วงฤดูกาลหนึ่งมีความแปรปรวนน้อยจึงทำให้ไม่เห็น lag time จากการพัฒนาการผลิตเคเบิลใยแก้วในปัจจุบันที่มีแกนโลหะเป็นส่วนหนึ่งของสาย ทำให้สายเคเบิลใยแก้วสามารถใช้กับ

วิธี heat pulse ได้แต่จำเป็นต้องพิจารณาความชื้นของวัสดุที่หุ้มรอบเคเบิลด้วยวิธีการนี้หากมีการรั่วในเขื่อนดินถม จะสามารถหาอัตราการรั่วและความเร็วของการรั่วได้ โดยให้ความร้อนที่มากพอให้แก่สายเคเบิล โดยทั่วไปจะมีระยะเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ หรือหากเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะให้ความร้อนเพิ่มขึ้นตามเวลา สำหรับการตรวจวัดการรั่วต้องการอุณหภูมิประมาณ 3 ถึง 5 วัตต์/เมตร ขณะที่การหาอัตราการรั่วต้องการอุณหภูมิประมาณ 10 วัตต์/เมตรกรณีที่สายเคเบิลที่มีความยาวหลายกิโลเมตรก็สามารถยังใช้ได้โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าหรือเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของแกนโลหะให้มากขึ้น

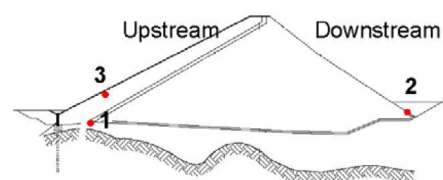


รูปที่ 2 วิธีการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเคเบิลใยแก้ว [2]

2.2 การประยุกต์สายเคเบิลใยแก้วในงานเขื่อน

เมื่อเทคโนโลยีด้านเลเซอร์และสายเคเบิลใยแก้วได้พัฒนาขึ้นจนสามารถนำมาใช้ตรวจวัดอุณหภูมิได้ จึงได้มีการนำเคเบิลใยแก้วมาใช้ตรวจวัดกับโครงสร้างต่างๆ เช่น ตรวจวัดอุณหภูมิในเขื่อนคอนกรีต ตรวจวัดการรั่วในแนวเส้นท่อ หรือในตัวเขื่อนดินถม และอาคารทางชลศาสตร์อื่นๆ

ในประเทศไทยเริ่มนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในเขื่อนดินถมในปี ค.ศ. 1988 ในโครงการวิจัยหนึ่ง และในปัจจุบันได้นำมาใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการติดตามพฤติกรรมเขื่อนจากการกักเซาะภายใน โดยติดตั้งสายเคเบิลตามแนวยาวของเขื่อนที่บริเวณดินเขื่อนด้านท้ายน้ำ ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิโดยส่วนใหญ่ใช้ควบคู่ไปกับเครื่องมือวัดพฤติกรรมอื่นๆ เช่น ฝ่ายวัดอัตราการไหลซึม และมาตรวัดความดันน้ำ [3] รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งที่แนะนำสำหรับการติดตั้งสายเคเบิลในเขื่อนดินถมหินถม

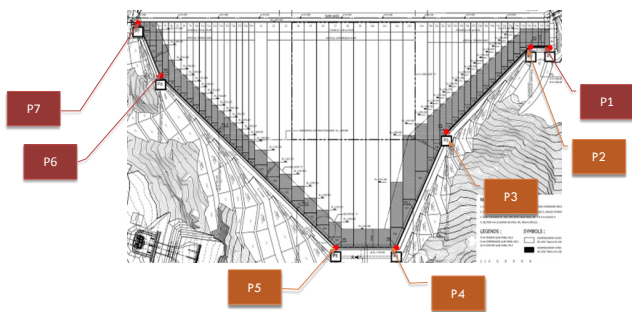


- 1 ในชั้นกรอง สำหรับเขื่อนใหม่
- 2 ที่ดินเขื่อนด้านท้ายน้ำ สำหรับเขื่อนเก่า
- 3 ได้แก่นคอนกรีตคาน้ำ สำหรับเขื่อนหินถมคอนกรีตคาน้ำ

รูปที่ 3 ตำแหน่งของสายเคเบิลในเขื่อนดินถมหินถม [4]

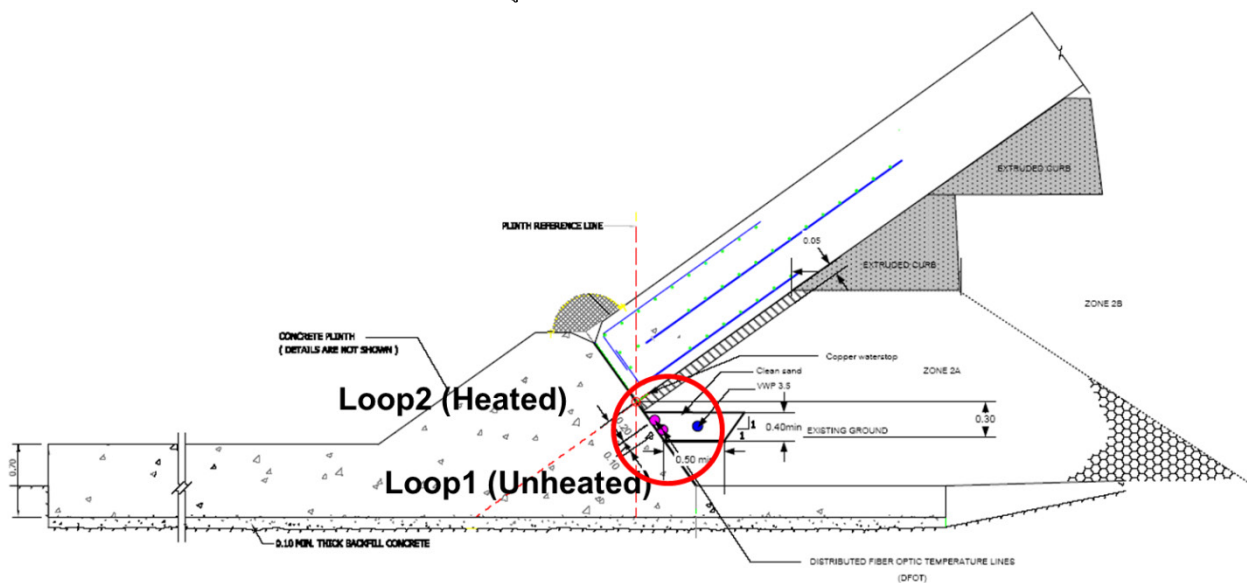
3. การติดตั้งเคเบิลใยแก้วที่เขื่อนน้ำจิม 2

เขื่อนน้ำจิม 2 เป็นเขื่อนที่ตั้งอยู่ในประเทศลาว โดยอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 140 กิโลเมตร ซึ่งมีกลุ่มบริษัทของไทยและรัฐบาลของประเทศลาวเป็นผู้พัฒนาโครงการขึ้น ตัวเขื่อนจัดเป็นเขื่อนประเภทหินถมคอนกรีตคานหน้ามีความสูง 182 เมตร ก่อสร้างระหว่างปีค.ศ. 2007 ถึง 2010 โดยบริษัท ช. การช่าง (ลาว) จำกัด ปัจจุบันบริษัท น้ำจิม 2 พาวเวอร์ จำกัดเป็นผู้จัดการและดูแลรักษารูปที่ 4 แสดงลักษณะคอนกรีตคานหน้าของเขื่อนน้ำจิม 2 [5]



รูปที่ 3 รูปร่างของแผ่นคอนกรีตคานหน้าของเขื่อนน้ำจิม 2[5]

เพื่อตรวจสอบการรั่วผ่านรอยต่อระหว่าง plinth กับคอนกรีตคานหน้า จึงได้ติดตั้งสายเคเบิลใยแก้ว จำนวน 2 เส้นบน plinth ได้แนวรอยต่อระหว่าง plinth กับแผ่นคอนกรีตคานหน้า (perimetric joint) โดยตลอดความยาว โดยที่สายที่ 1 (Loop 1) ซึ่งมีได้ใช้ความร้อนจะอยู่ต่ำกว่าสายที่ 2 ที่ได้ให้ความร้อนระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 ด้วย



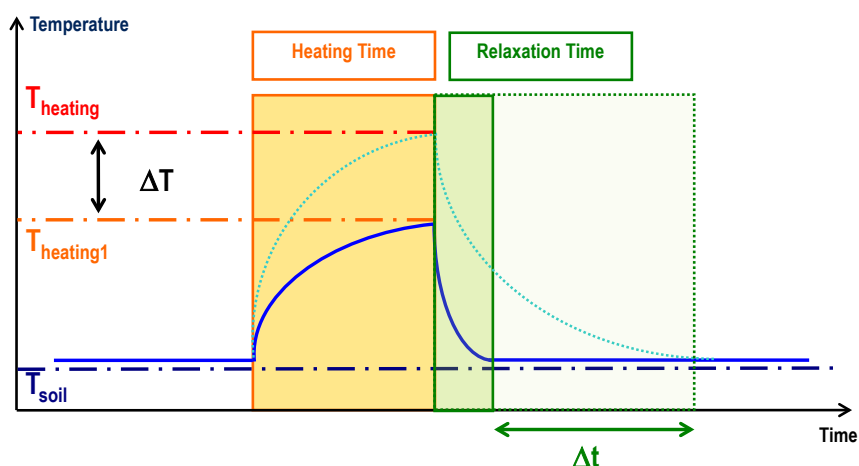
รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วของเขื่อนน้ำจิม 2

เหตุที่ระยะห่างสายเคเบิลทั้งสองแคบเกินไปที่จะพิจารณาการรั่วด้วยวิธี gradient ได้ จึงจำเป็นต้องให้ความร้อนกับสายเคเบิลสายหนึ่ง

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิโดยรอบสายเคเบิล ทุก 12 นาที โดยเก็บจากค่าเฉลี่ยในระยะเวลา 6 นาที ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้มีความแม่นยำ 0.005 องศาเซลเซียสและได้ค่าทุกระยะ 2 เมตรสำหรับสายที่ 2 จะให้ความร้อนเป็นรอบๆ ให้ความร้อน 1 ชั่วโมง และพัก 1 ชั่วโมง

4. การตรวจวัดการรั่วจากเคเบิลใยแก้ว

รูปที่ 5 แสดงหลักการตรวจวัดการรั่วด้วยวิธี heat pulse ซึ่งโดยพื้นฐานคือการให้ความร้อนเป็นพัลส์(pulse)ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมไประดับหนึ่ง กรณีที่ไม่มีการรั่วยอมทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปแล้วคงที่ แต่หากมีการรั่วผ่านรอยต่อ น้ำในอ่างฯที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้อุณหภูมิลดลง อุณหภูมิที่แตกต่าง (ΔT) ระหว่างกรณีที่มีการรั่วและไม่มีการรั่วสามารถตรวจวัดได้ ในทางกลับกันเมื่อปล่อยให้อุณหภูมิลดลงภายใต้การรั่วจะมีระยะเวลาลดจนกลับไปสู่อุณหภูมิเริ่มต้นได้เร็วกว่ากรณีที่ไม่มีการรั่ว ระยะเวลาที่แตกต่างกันนี้ (Δt) สามารถตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์วัด แต่เนื่องจากระบบการตรวจวัดด้วย DFOT ของเขื่อนน้ำจิม 2 ไม่สามารถตรวจวัดเวลานี้ได้ ทำให้ระบบการตรวจวัดได้ยากขึ้นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้คือการหาผลต่างของอุณหภูมิในสายเคเบิลทั้งสองซึ่งควรมีค่าต่างกันกรณีที่ไม่มีการรั่วและมีการรั่วผ่านรอยต่อระหว่าง plinth กับแผ่นคอนกรีตคานหน้า



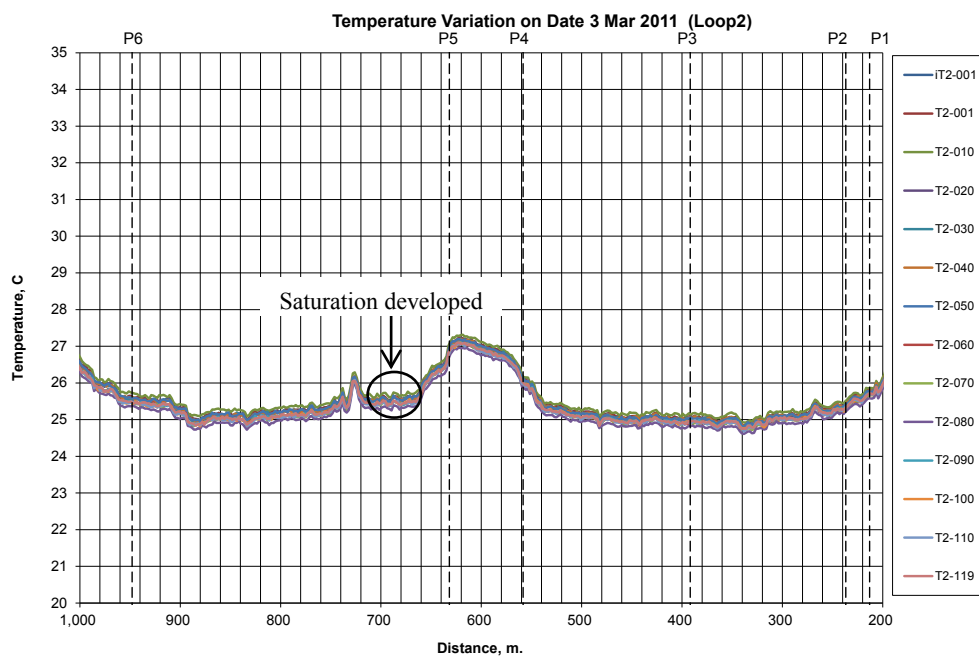
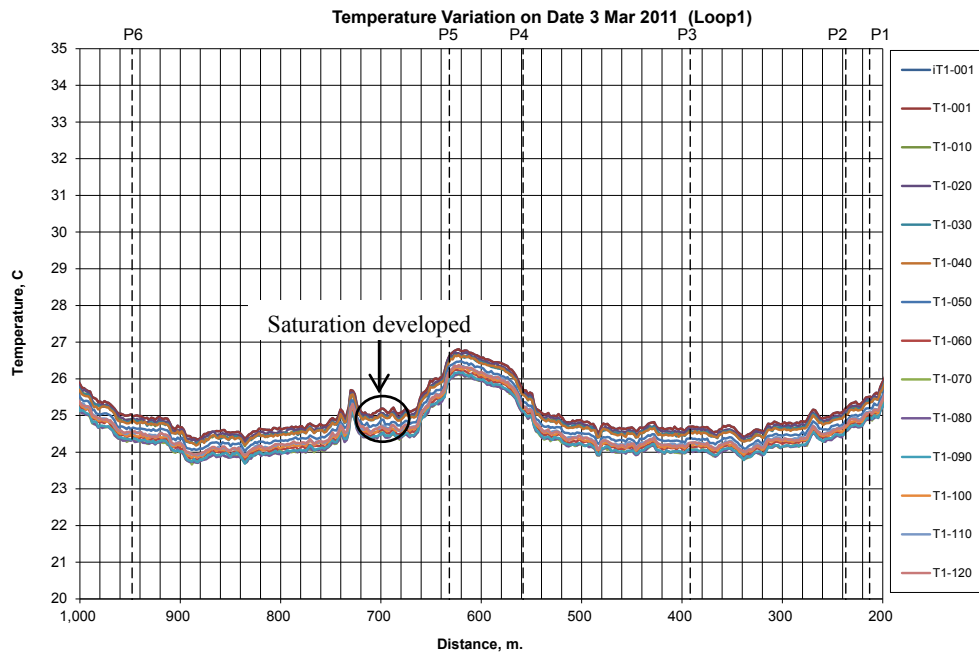
รูปที่ 5 แนวคิดการตีความจากวิธี heat pulse

5. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

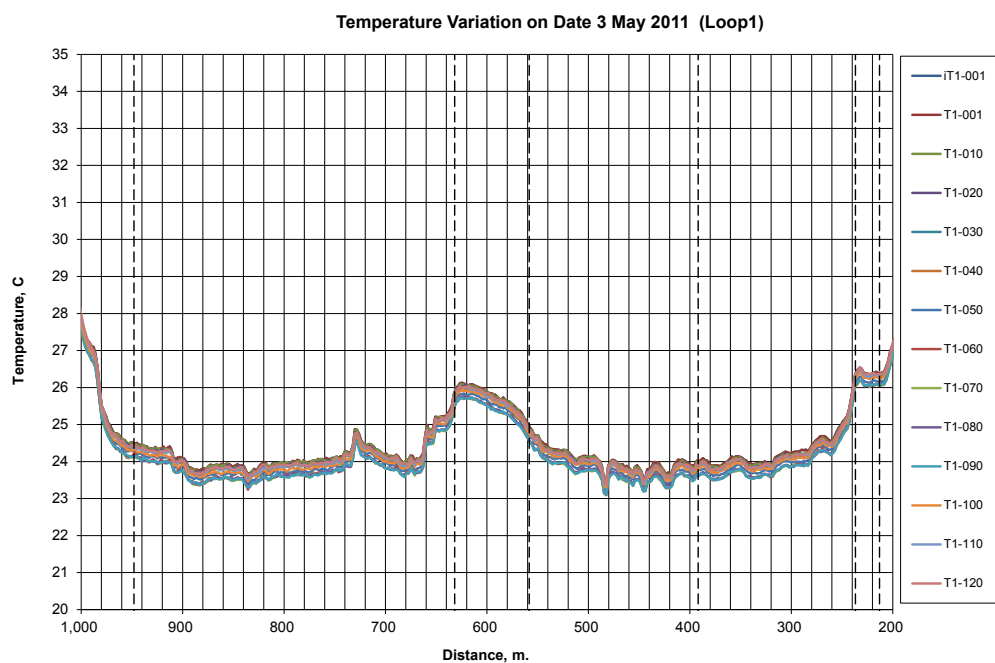
อุณหภูมิที่ตรวจวัดจาก DFOT ในเดือนมีนาคม และเดือนพฤษภาคม 2554 แสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ โดยที่ต้นเดือนมีนาคมเป็นช่วงการเก็บน้ำเต็มอ่างๆ ขณะที่ในอ่างเก็บน้ำมีน้ำที่ระดับประมาณ +370 ม.รทก. และในหินถมตัวเชื่อมมีน้ำขังอยู่ อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ตลอดแนว plinth จะขึ้นลงตลอดทั้งวัน และยังอาจสังเกตได้ว่าสายที่ 2 (loop 2) ที่ใช้ความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่า แต่มีความแปรปรวนน้อยกว่าสายที่ 1 (loop 1) ดังนั้นหากอุณหภูมิใน loop 2 แปรปรวนมากๆ ย่อมแสดงถึงการรั่วซึมได้ และการรั่วนี้ควรถูกตรวจวัดได้จากฝ่ายวิศวกรรมอาคารโหลที่ติดตั้งอยู่ที่ดินเขื่อนด้านท้ายน้ำจากรูปที่ 7 ยังพบว่าการกระจายของอุณหภูมิของทั้งสอง loop มีลักษณะคล้ายกันตลอดแนว plinth แม้ว่า loop 2 มีการให้ความร้อนก็ตาม อุณหภูมิก็มีการเปลี่ยนแปลงไปคล้ายกับ loop 1 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ตรวจวัดเดือนพฤษภาคม ในรูปที่ 8 ซึ่งระดับน้ำเริ่มลดลง อุณหภูมิในตัวเชื่อมจะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิด้านเหนือ น้ำที่สูงขึ้นเนื่องจากน้ำในอ่างฯ ลดต่ำลง และอุณหภูมิที่เป็นฐานยันเขาจะสูงขึ้นด้วย

ต่อจากนั้นหากนำอุณหภูมิของ Loop1 และ Loop2 ที่ตรวจวัดในแต่ละวัน ไปทำเป็นเส้นชั้นความสูง จะได้ผลดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 ตามลำดับซึ่งรูปทั้งสองแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามเวลา ด้านบนเป็นอุณหภูมิจากฐานยันฝั่งขวาหากเกิดการรั่วขึ้น อุณหภูมิที่จุดนั้นจะลดลงและเกิดเป็นเส้นที่ต่อเนื่องกันไปตามเวลา

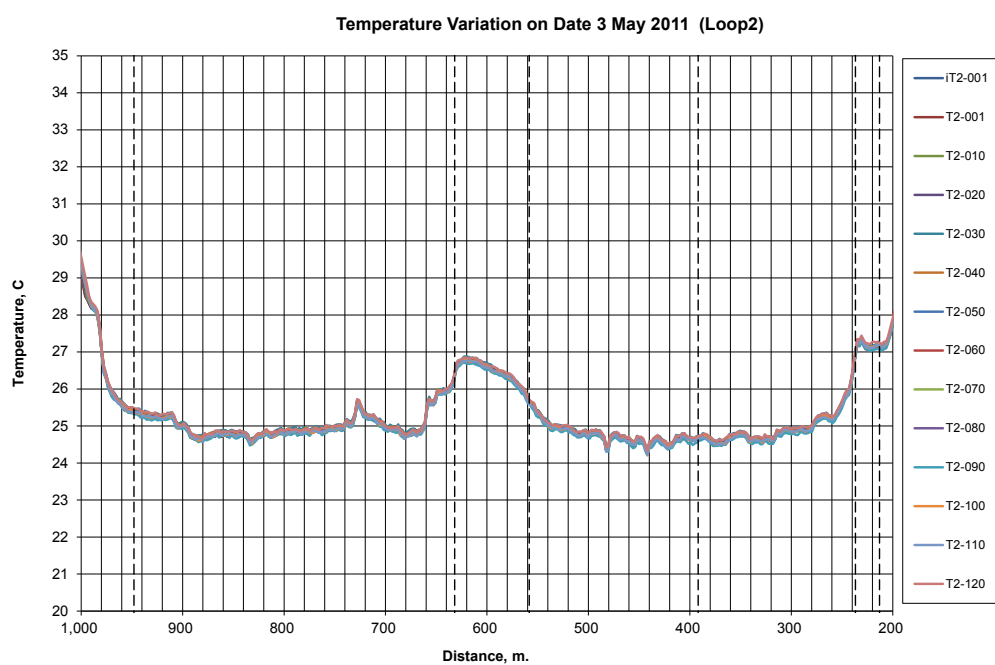
หากพิจารณาผลต่างระหว่างทั้งสอง loop ที่ได้ให้ความร้อนกับไม่ได้ให้ความร้อน (Loop 2 – Loop 1) ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ซึ่งจะพบว่าผลต่างของอุณหภูมิมียุคก่อนข้างคงที่ในช่วงระหว่าง 0.5 และ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งหากมีการรั่วซึมเกิดขึ้นผลต่างของอุณหภูมินี้จะย่อมจะน้อยกว่านี้ ในรูปที่ 12 แสดงเส้นชั้นความสูงของผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง loop ที่ไม่พบว่ามีตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่า 0.5 องศาเซลเซียสหรือกล่าวได้ว่าการรั่วซึมผ่านรอยต่อระหว่าง plinth กับแผ่นคอนกรีตลาดหน้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวัดอัตราการไหลซึมที่ฝ่ายวิศวกรรมอาคารโหลที่ท้ายน้ำ และ Jointmeter ที่ไม่พบว่ามี การเคลื่อนตัวของรอยต่อจนทำให้เกิดเป็นช่องเปิดได้



รูปที่ 6 อุณหภูมิตลอดแนว plinth ณ วันที่ 3 มีนาคม 2554

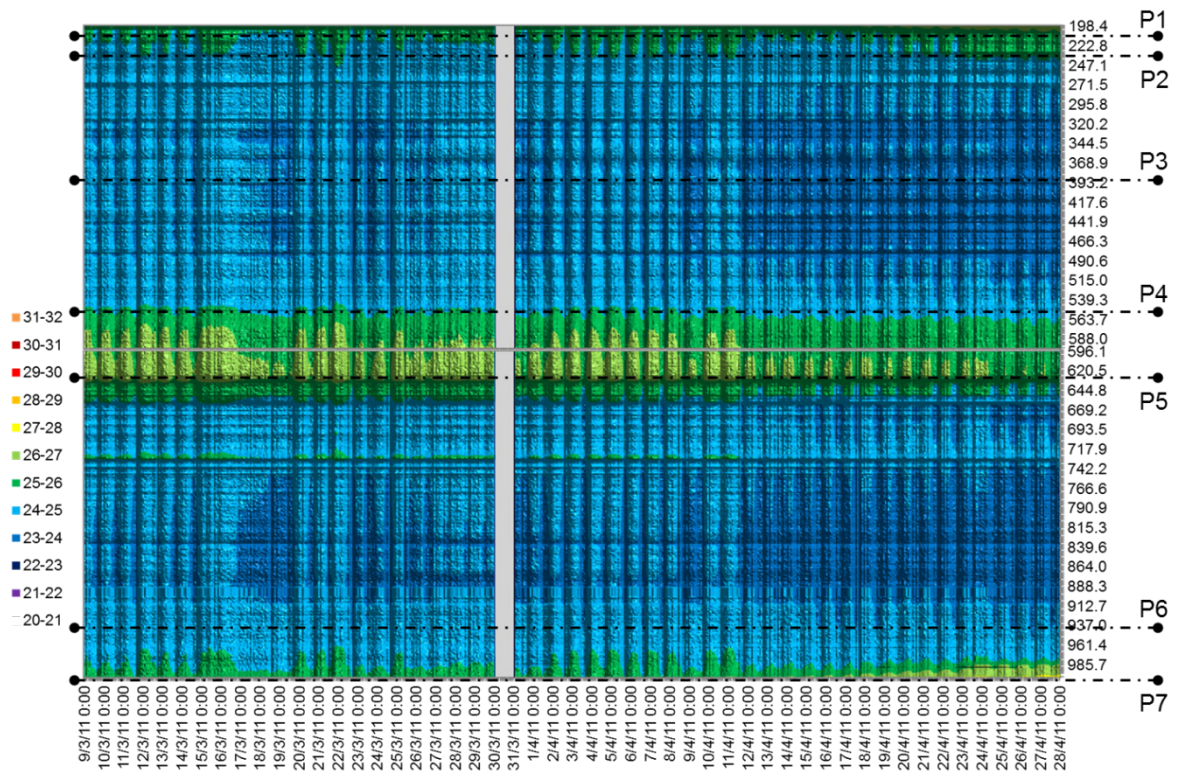


(ก) Loop 1

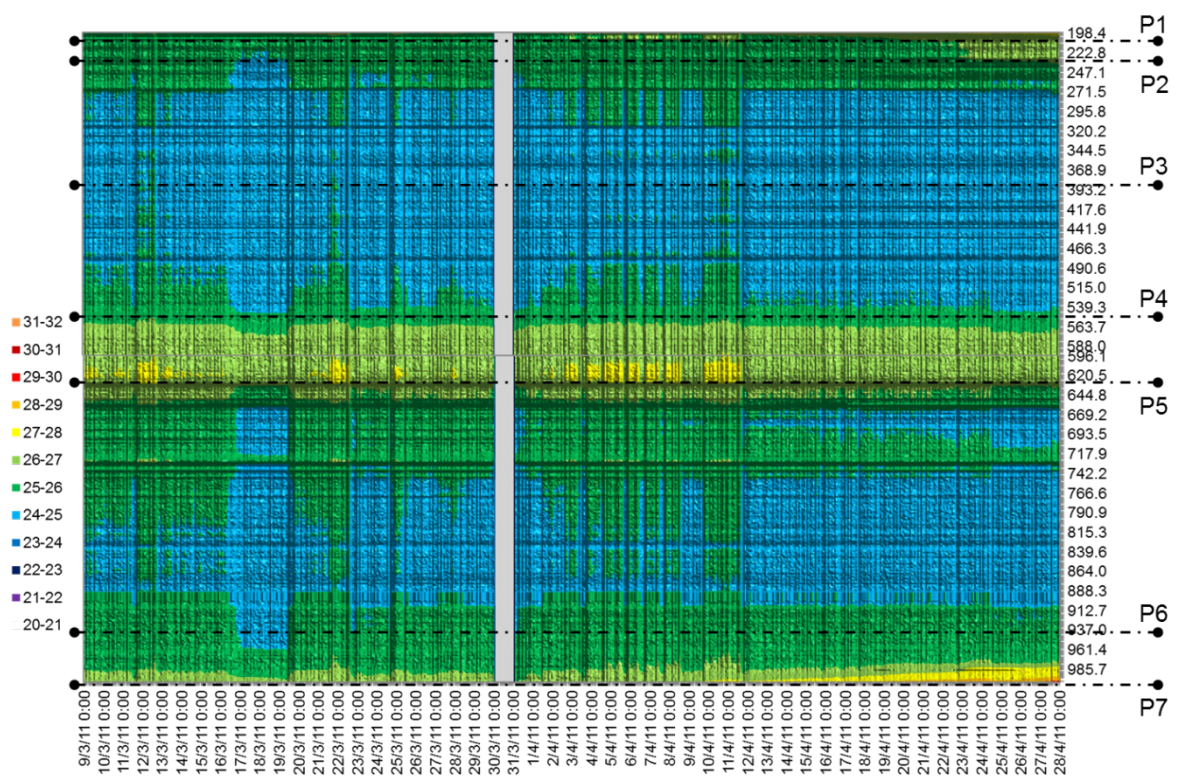


(ข) Loop 2

รูปที่ 7 อุณหภูมิตลอดแนว plinth ณ วันที่ 3 พฤษภาคม 2554

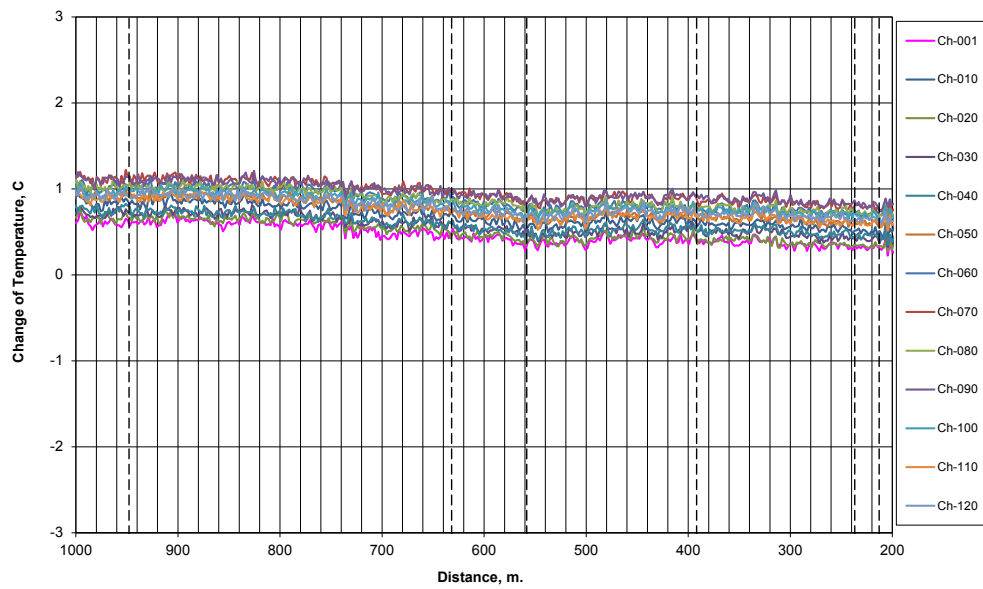


รูปที่ 8 เส้นชั้นความสูงของอุณหภูมิจากเคเบิลสายที่ 1 (loop 1).



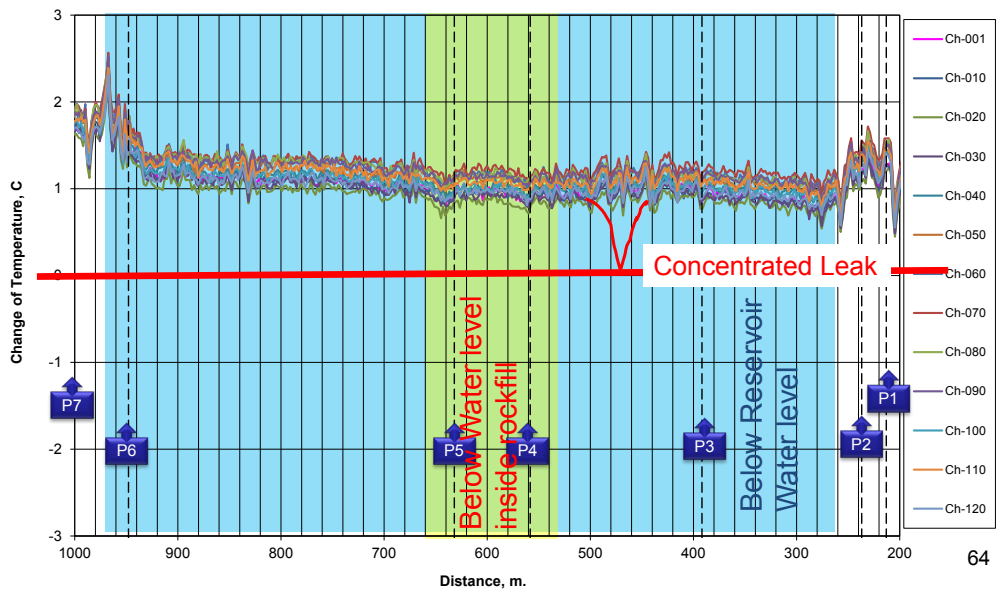
รูปที่ 9 เส้นชั้นความสูงของอุณหภูมิจากเคเบิลสายที่ 2 (loop 2).

Temperature Variation on Date 3 Mar 2011 (Loop 1-2)

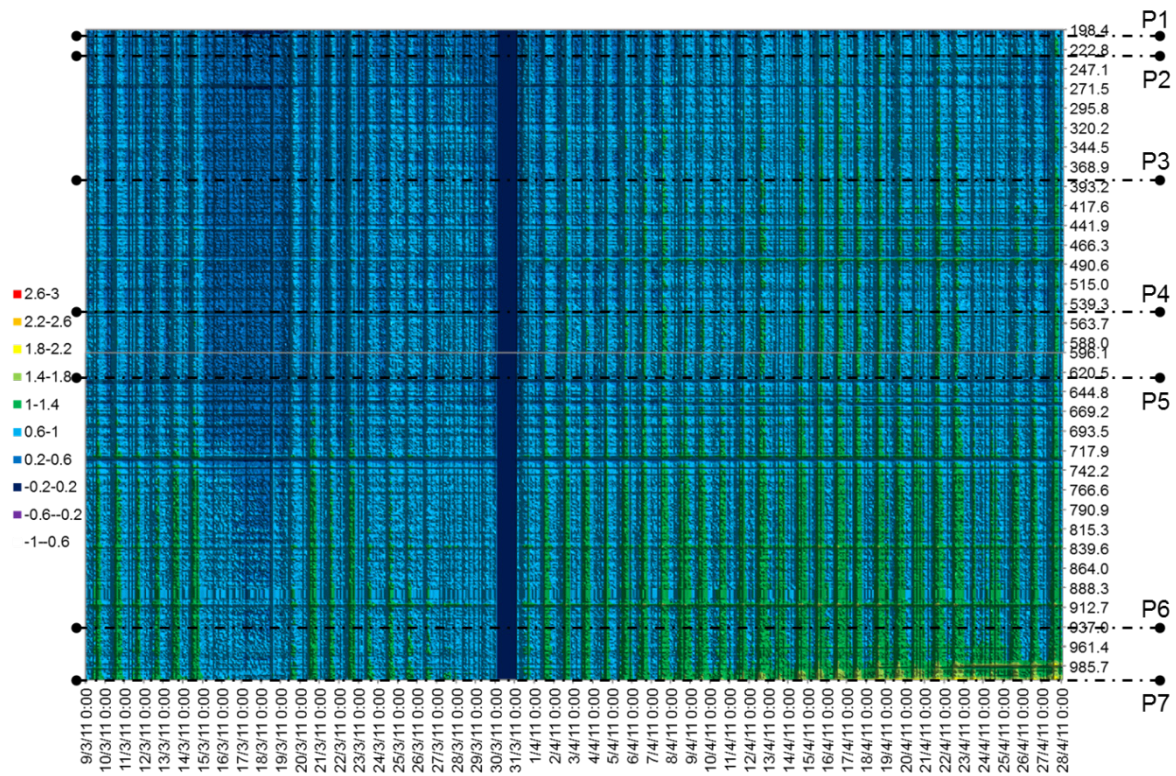


รูปที่ 10 ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสองสาย ณ วันที่ 3 มีนาคม 2554 (เก็บน้ำเต็ม)

Temperature Variation on Date 14 May 2012 (Loop 2-1)



รูปที่ 11 ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสองสาย ณ วันที่ 14 พฤษภาคม 2554 (เก็บน้ำไม่เต็ม)



รูปที่ 12 เส้นชั้นความสูงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันจากเคเบิลทั้งสอง(loop 2 – loop 1).

6. บทสรุป

สายใยแก้วนำแสงเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน หลังจากเทคโนโลยีของเลเซอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นแสงได้พัฒนาไปอย่างมากในทศวรรษที่ผ่านมา ในหลายประเทศได้ทำการวิจัยและนำสายเคเบิลใยแก้วมาใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในตัวเขื่อนเพื่อติดตามการรั่วของน้ำผ่านตัวเขื่อน ทำให้ทราบพฤติกรรมตลอดระยะตามความยาวของเขื่อนได้ ร่วมกับเครื่องมือวัดพฤติกรรมที่เป็นมาตรฐานอย่างไรก็ตาม แม้ว่าสายเคเบิลจะมีราคาไม่แพงนักแต่เนื่องจากอุปกรณ์อ่านค่าที่มีราคาสูงจึงไม่นิยมแพร่หลายนัก ดังนั้นสำหรับประเทศไทยจำเป็นต้องที่วิศวกรควรได้รับทราบข้อมูลพื้นฐาน ก่อนตัดสินใจเลือกใช้หรือติดตั้ง และงานวิจัยในอนาคตก็ควรเป็นที่ยังเป็นที่ยังต้องการอีกมากสำหรับการนำมาใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท น้ำจืด 2 พาวเวอร์ จำกัด ที่อนุญาตให้นำผลการติดตามพฤติกรรมเขื่อนน้ำจืด 2 ในระหว่างการเก็บน้ำช่วงคันนาแสนอนครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Großwig, A. Graupner, E. Hurtig, K. Kühn and A. Trostel. "Distributed Fibre Optical Temperature Sensing Technique – A Variable Tool for Monitoring Tasks", *Proceedings of the 8th*

International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, 2001, pp. 9-17.

- [2] M. Aufleger, M. Conrad, M. Golz, S. Perzlmaier and P. Porras. "Innovative Dam Monitoring Tools Based on Distributed Temperature Measurement". *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol. 1, pp. 29-27, 2007.
- [3] P. Sjoedahl and S. Johansson. "Experiences from internal erosion detection and seepage monitoring based on temperature measurements on Swedish embankment dams", *6th International conference on Scour and Erosion*, 2012, pp. 1361-1368.
- [4] Y.L. Beck, A.A. Khan, P. Cunat, C. Guidoux, O. Artières, J. Mars and J.J. Fry. "Thermal Monitoring of Embankment Dams by Fiber Optics", *8th ICOLD European Club Symposium*, 2010, pp. 444-448.
- [5] C. Thongthamchart, "Monitoring of Leakage through Face Slab of Nam Ngum 2 CFRD", *International Symposium on Dams for a Changing World, 80th Annual Meeting International Commission on Large Dams*, 2012.