

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดสอบในสนาม

ผลการวัดข้อมูลจากพื้นที่อ้างอิงแสดงดังตารางที่ 8 อุณหภูมิในดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.3 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุด – ต่ำสุดเท่ากับ 32.5 – 30.1 องศาเซลเซียสตามลำดับ ระดับน้ำใต้ดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -1.80 เมตรจากระดับดินเดิม ในระหว่างช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน และในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน ระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ -1.00 เมตรจากระดับดินเดิม

ผลการทดสอบในสนามบริเวณพื้นที่ทดสอบได้ดำเนินการวัดพฤติกรรมของดินระหว่างการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ผลการทดสอบตามหัวข้อดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ข้อมูลจากพื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)

เดือน	สัปดาห์	อุณหภูมิในดินปกติ (°C)	ระดับน้ำใต้ดิน (ม.)
สิงหาคม	1	31.3	-1.78
	2	31.8	-1.77
	3	31.3	-1.80
	4	32.1	-1.69
กันยายน	1	31.0	-1.75
	2	32.0	-1.45
	3	32.5	-1.15
	4	31.6	-1.03
ตุลาคม	1	31.3	-1.00
	2	30.8	-0.95
	3	30.1	-1.03
	4	30.2	-0.89
พฤศจิกายน	1	30.6	-0.80

ผลการบันทึกข้อมูลจากการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าที่นำเสนองานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการแสดงผลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ รวมทั้งได้ทำการปรับแก้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินเนื่องจากระดับน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน แสดงผลการทดสอบที่ได้ก่อนการใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และก่อนการปรับแก้แรงดันน้ำส่วนเกิน ดังในภาคผนวก

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบ กับเวลาตามความลึก

ผลการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในดินที่เวลาต่างๆ จากการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในครั้งนี้ การให้ความร้อนกับชั้นดิน น้ำร้อนจะเริ่มตันไหลผ่านท่อชั้นในออกสู่ท่อทองแดง (ท่อชั้นนอก) ที่ระดับความลึก 5 เมตร และลดลงเมื่อมีระดับสูงขึ้น จากนั้นจึงไหลย้อนขึ้นด้านบนภายในท่อทองแดง และกลับเข้าเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิในดินมีค่ามากที่ระดับความลึกที่ 5 เมตร และเมื่อทำการลดอุณหภูมิลง คือหยุดการให้ความร้อน อุณหภูมิทุกจุดภายในชั้นดินจะลดลงตามระยะทางจากจุดศูนย์กลางการให้ความร้อน ภาพที่ 75 แสดงผลการบันทึกค่าอุณหภูมิตลอดการทดสอบ

จากภาพที่ 75 ผลการวัดอุณหภูมิที่ระดับความลึกต่างกัน ณ รัศมีเดียวกัน สามารถแยกพิจารณาผลของการเพิ่ม – ลดอุณหภูมิ ออกเป็น 2 กรณีได้ดังนี้

1.1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณผิวท่อทองแดงตามความลึก ภาพที่ 76

1.1.1. ช่วงที่มีการให้ความร้อนตลอดเวลา (ภาพที่ 77) อุณหภูมิในส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นไปถึงประมาณ 82 องศาเซลเซียสที่ความลึก 3 เมตร และประมาณ 79 องศาเซลเซียสที่ความลึก 1 เมตร โดยที่รักษาอุณหภูมิภายในถังผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Heater) ให้คงที่ประมาณ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งภายในถังได้ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อน (Heater) เป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำภายในถัง (ในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ลดลง) และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ตามที่ต้องการ ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อบริเวณผิวท่อทองแดง พบว่ามีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาที่มีการให้ความร้อนตลอดเวลาเป็นระยะเวลานาน เป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งที่

ความลึก 3 และ 1 เมตร อัตราการลดลงของอุณหภูมิมีค่าประมาณ 1.3 องศาเซลเซียส/วัน แนวโน้มอุณหภูมิที่ลดลง อาจเป็นเพราะพลังงานความร้อนเกิดการแผ่กระจายส่งผ่านไปยังชั้นดินในบริเวณรอบด้าน ทำให้อุณหภูมิจากบริเวณรอบท่อทองแดงมีแนวโน้มลดลง

1.1.2. การให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้น (ภาพที่ 78) ในช่วงเวลานี้ทำการหมุนเวียนความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ (ให้ความร้อนไม่เกิน 2 วัน และหยุดให้ความร้อนไม่เกิน 4 วัน) เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในมวลดิน จากภาพที่ 78 พบว่าในช่วงหยุดให้ความร้อน อุณหภูมิในดินลดลงไปอยู่ที่ค่าประมาณ 34 ถึง 37 องศาเซลเซียส และเมื่อให้ความร้อน อุณหภูมิในดินเพิ่มขึ้นโดยทันที อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนรอบการเพิ่ม – ลดของอุณหภูมิมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตรงกับผลการวิจัยในอดีต (Paaswell, 1967; Plum and Estrig, 1969; Towhata *et al.*, 1993) ภาพที่ 78 เปรียบเทียบลักษณะการลดลงของอุณหภูมิในดิน จากการทดสอบครั้งนี้กับผลงานวิจัยของ (Gabrielsson *et al.*, 1997) ผลของการให้ความร้อนกับชั้นดินเป็นผลทำให้ปริมาตรของดินเหนียวถูกอัดตัวปกติมีปริมาตรลดลง ดังนั้นการเพิ่ม – ลดอุณหภูมิในแต่ละครั้ง จะทำให้อนุภาคของดินเหนียวเคลื่อนตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น และทำให้มีน้ำในมวลดินมีปริมาณลดลง อาจทำให้ความร้อนแผ่กระจายออกไปได้เร็วขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนในแต่ละครั้ง หลังจากหยุดการให้ความร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบจึงมีค่าลดลง

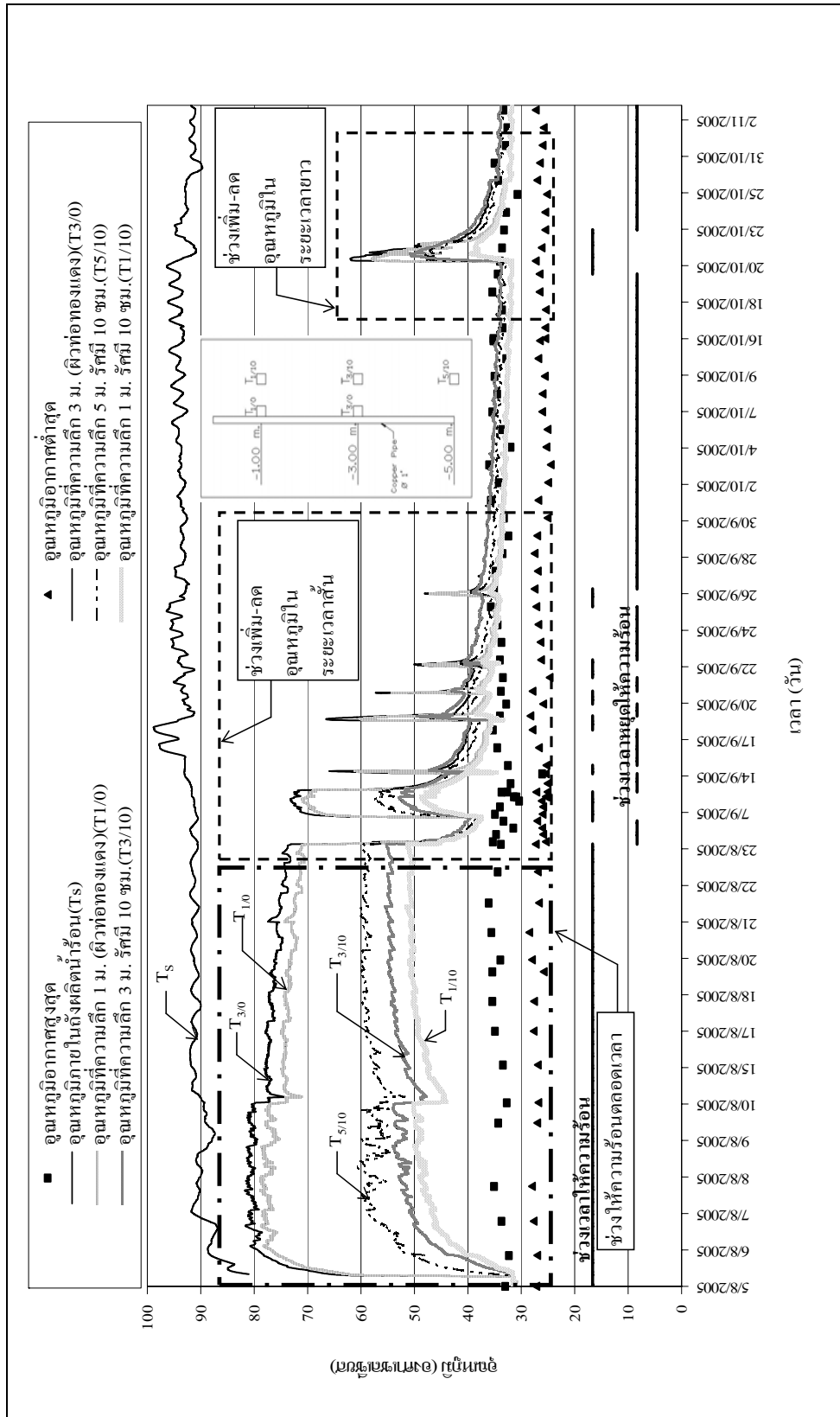
1.1.3. ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่ภายหลังจากปล่อยให้ อุณหภูมิภายในดินลดลงสู่อุณหภูมิปกติเป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นจึงทำการให้ความร้อนใหม่เป็นเวลา 3 วัน การให้ความร้อนกับชั้นดินในช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเทียบกับช่วงที่ให้ความร้อนกับชั้นดินใน 2 รูปแบบที่ผ่านมา โดยที่อุณหภูมิที่บริเวณผิวท่อทองแดงเพิ่มไปถึงที่ประมาณ 61 องศาเซลเซียส ที่ความลึก 3 เมตร ซึ่งมีอุณหภูมิน้อยกว่าการให้ความร้อนในช่วงของการให้ความร้อนตลอดเวลาที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปถึง 82 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นการลดลงของความร้อนในดินเมื่อขึ้นถึงจุดสูงสุดจะลดลงเร็ว ถึงแม้ว่าจะยังคงความร้อนอย่างต่อเนื่องไว้ก็ตาม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่ม – ลดอุณหภูมิในระยะเวลาสั้นก่อนหน้านี้ ทำให้โครงสร้างเกิดการจัดเรียงตัวขึ้นมาใหม่ และอนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้นส่งผลให้ความร้อนแผ่กระจายออกไปได้เร็วขึ้น

1.2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความลึก ที่ระยะรัศมีเดียวกัน (ภาพที่ 80)

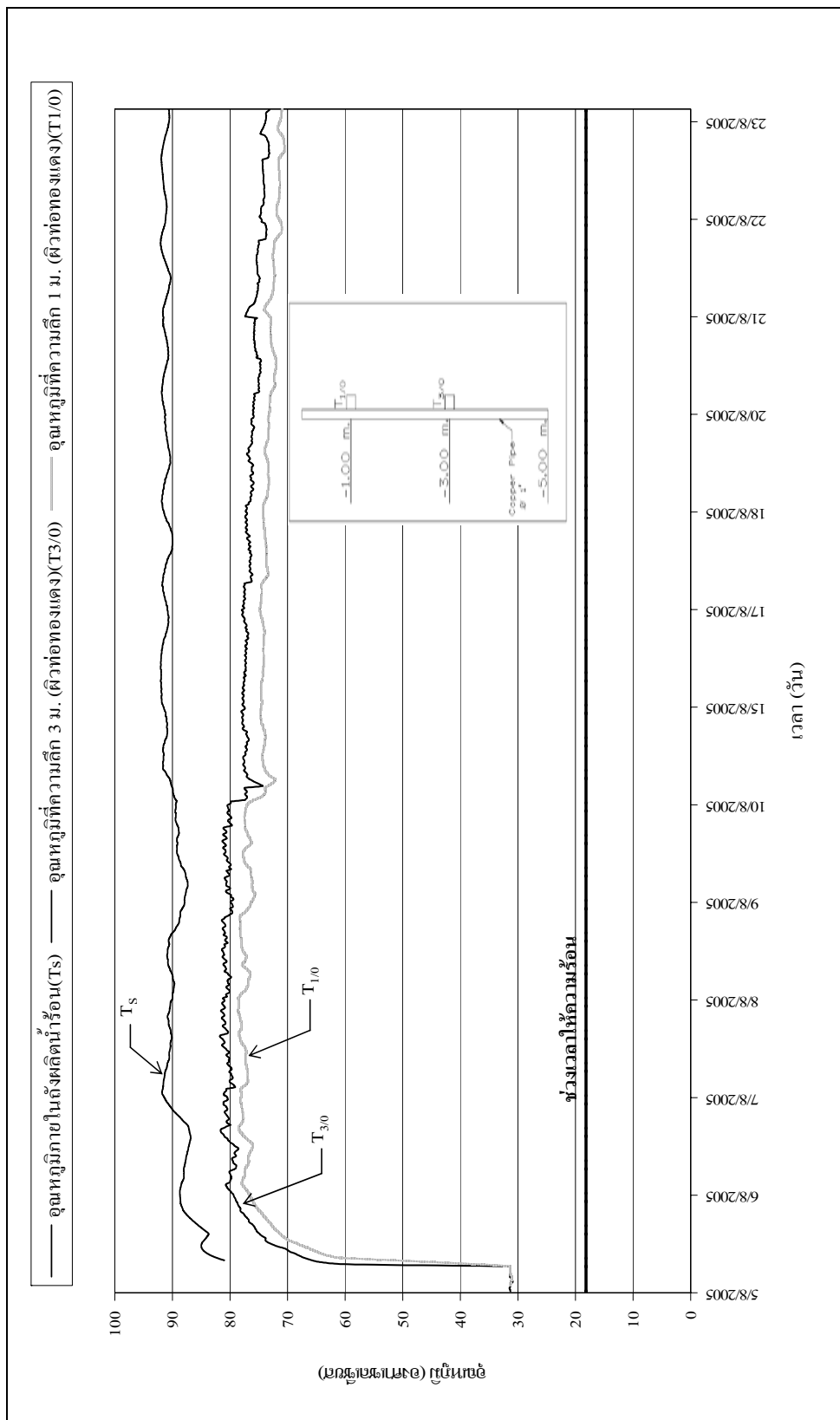
1.2.1. ช่วงที่ให้ความร้อนตลอดเวลา (ภาพที่ 81) อุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตลอดความลึกที่ 1 เมตร 3 เมตร และ 5 เมตร มีแนวโน้มของอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ทำการให้ความร้อนกับชั้นดิน ซึ่งต่างจากอุณหภูมิบริเวณผิวท่อทองแดง อาจเนื่องมาจากการทดสอบในครั้งนี้ไม่มีทางระบายน้ำออกในระหว่างการให้ความร้อน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นดินยังคงค้างอยู่ในลักษณะเดิม โดยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยประมาณ 60 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียสที่ความลึก 5 เมตร 3 เมตร และ 1 เมตรตามลำดับ เห็นได้ว่าอุณหภูมิจะไม่เพิ่มสูงไปกว่านี้อีก ซึ่งอาจเป็นปัจจัยมาจากแหล่งพลังงานความร้อนสัมพันธ์กับระยะทางที่ความร้อนสามารถแผ่กระจายไปได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าการนำพาความร้อนในดินและน้ำ

1.2.2. การให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้น (ภาพที่ 82) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงนี้คล้ายกับการเปลี่ยนแปลง ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้นบริเวณผิวท่อทองแดง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่ต่ำกว่า และมีข้อแตกต่าง ตรงที่ความลึก 3 เมตร อุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่าทั้งที่ความลึก 1 และ 5 เมตร อาจเป็นเพราะที่ความลึก 1 เมตรอุณหภูมิสูงขึ้น ไม่มากทำให้การลดอุณหภูมิลงสู่อุณหภูมิปกติเป็นไปได้ง่ายกว่า ส่วนที่ความลึก 5 เมตรนั้น เป็นปลายของท่อความร้อนดังนั้นความร้อนจึงแผ่ออกในลักษณะครึ่งลูกกลมแทนที่จะเป็นระนาบวงแหวนในแนวรัศมี ทำให้ความร้อนกระจายได้มากกว่า ในขณะที่ความลึก 3 เมตร เป็นส่วนกลางที่ได้รับความร้อนโดยที่ดินชั้นบนและล่างได้รับอิทธิพลความร้อนทั้งหมดทำให้อุณหภูมิในส่วนนี้ลดลงต่ำกว่าที่ความลึกอื่นๆ

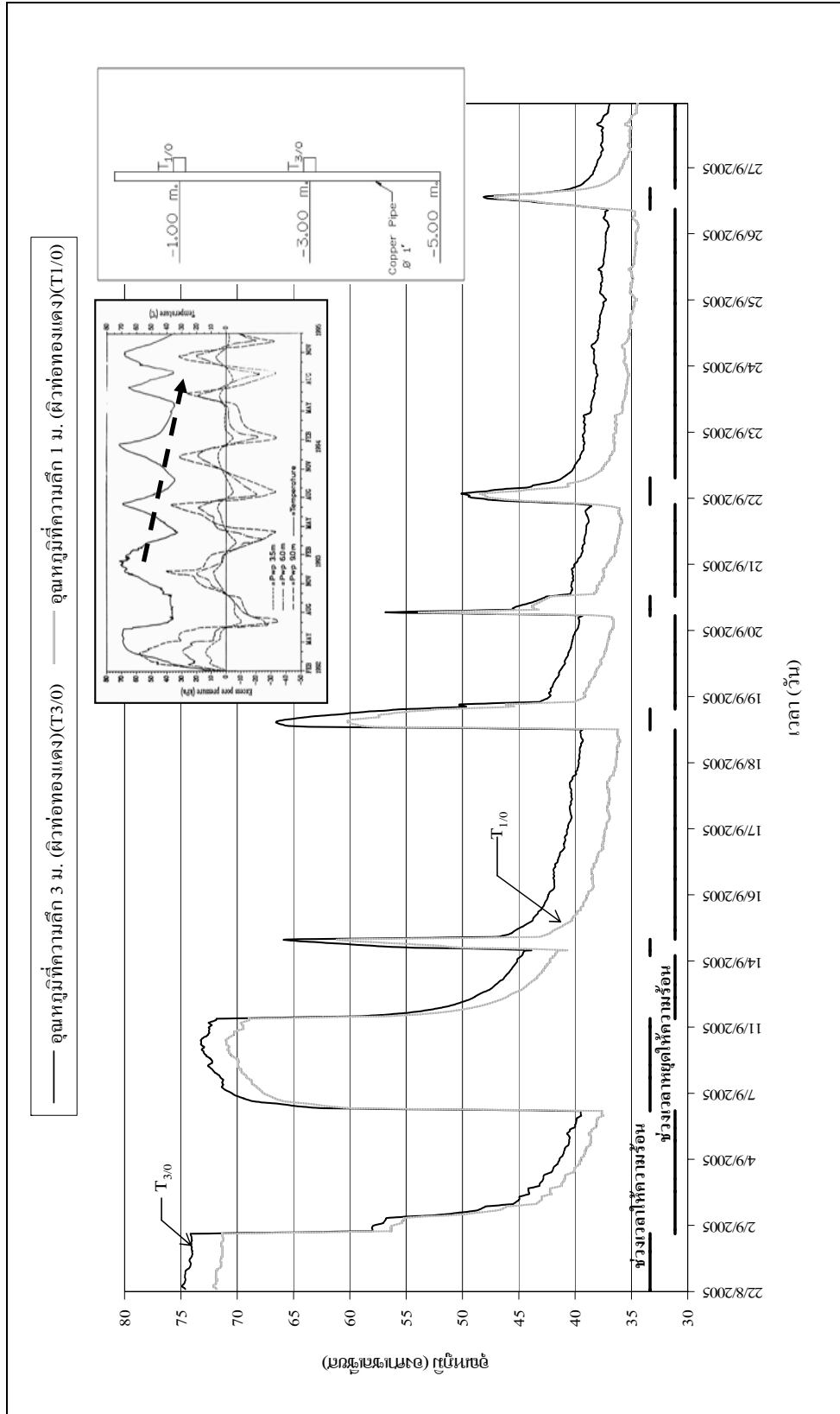
1.2.3. ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่ (ภาพที่ 83) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลานี้ มีลักษณะคล้ายกับช่วงการให้ความร้อนลักษณะเดียวกันบริเวณผิวท่อทองแดง เพียงแต่อุณหภูมิสูงสุดที่เพิ่มขึ้นที่ระยะรัศมี 10 ซม. มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่บริเวณผิวท่อทองแดง ณ เวลาเดียวประมาณ 10 องศาเซลเซียส



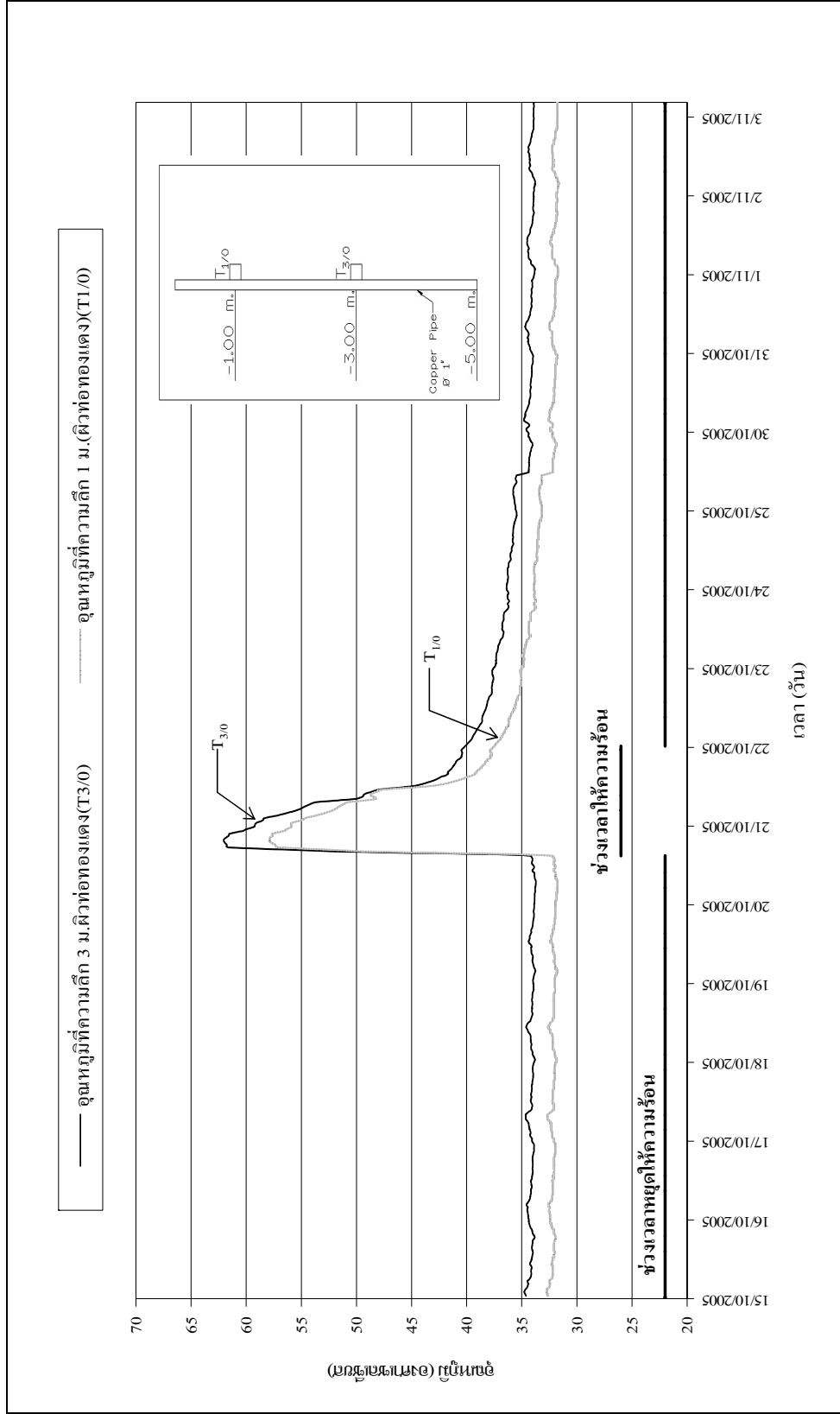
ภาพที่ 75 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตามความลึก กับ เวลา



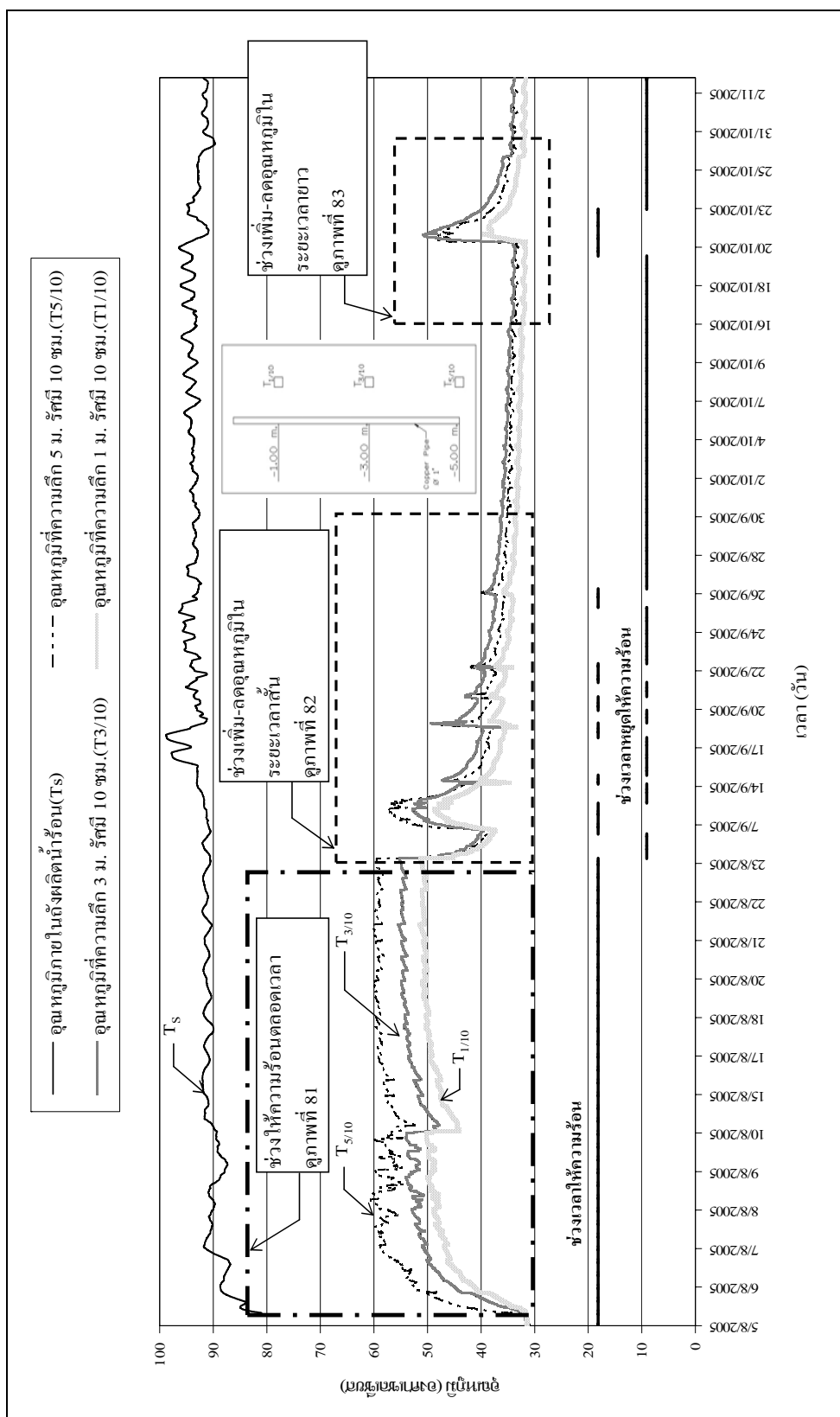
ภาพที่ 77 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)

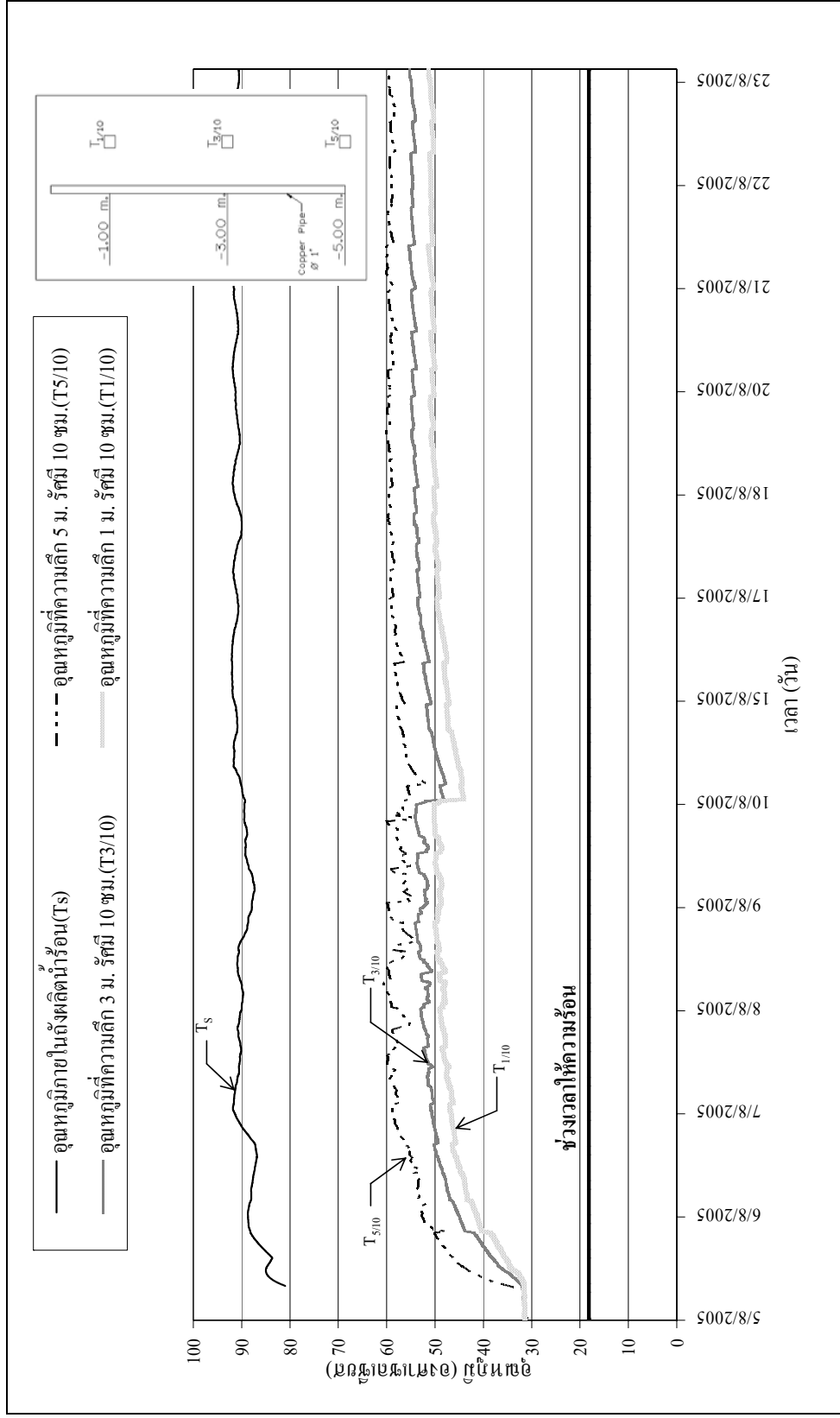


ภาพที่ 78 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะต้น)

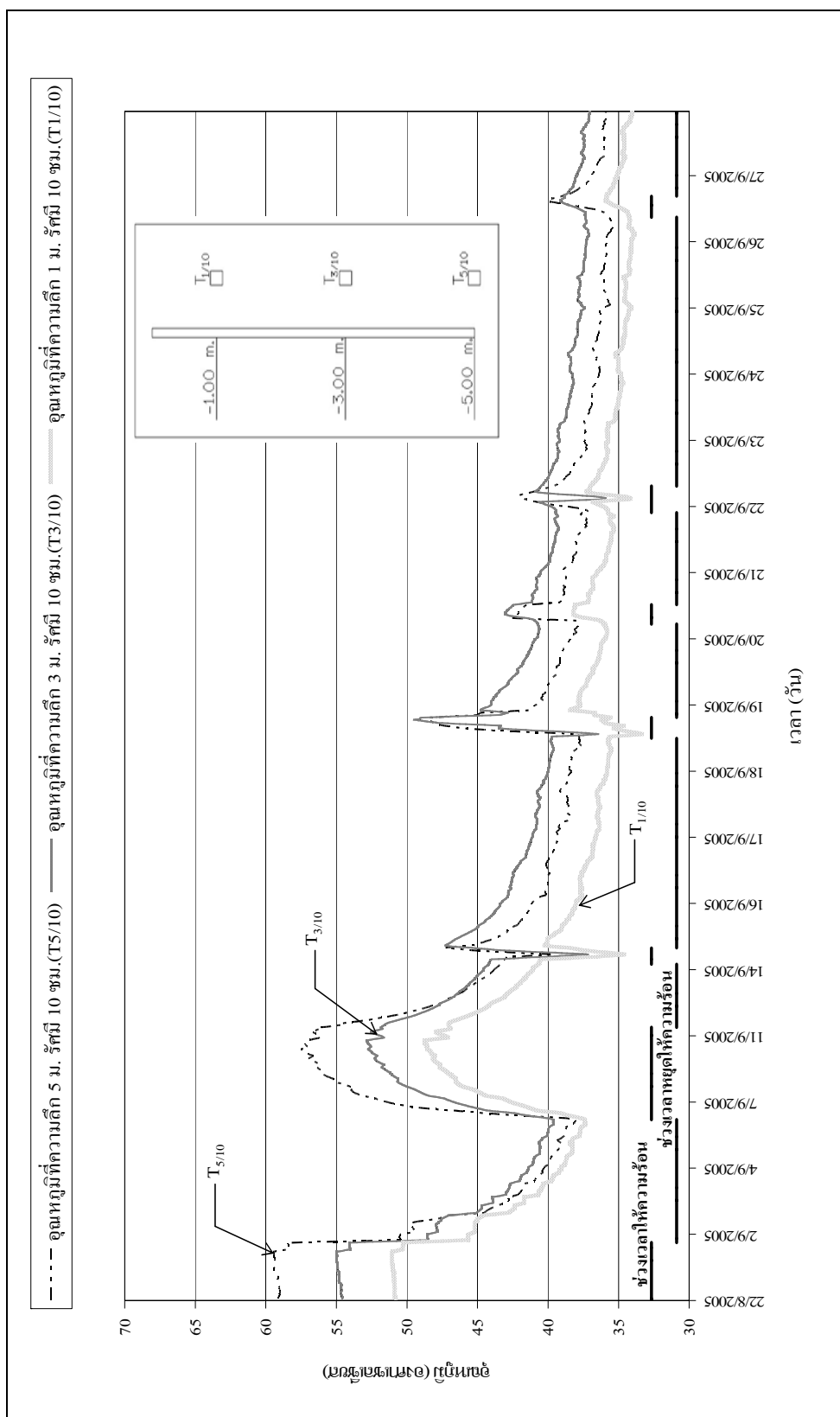


ภาพที่ 79 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)

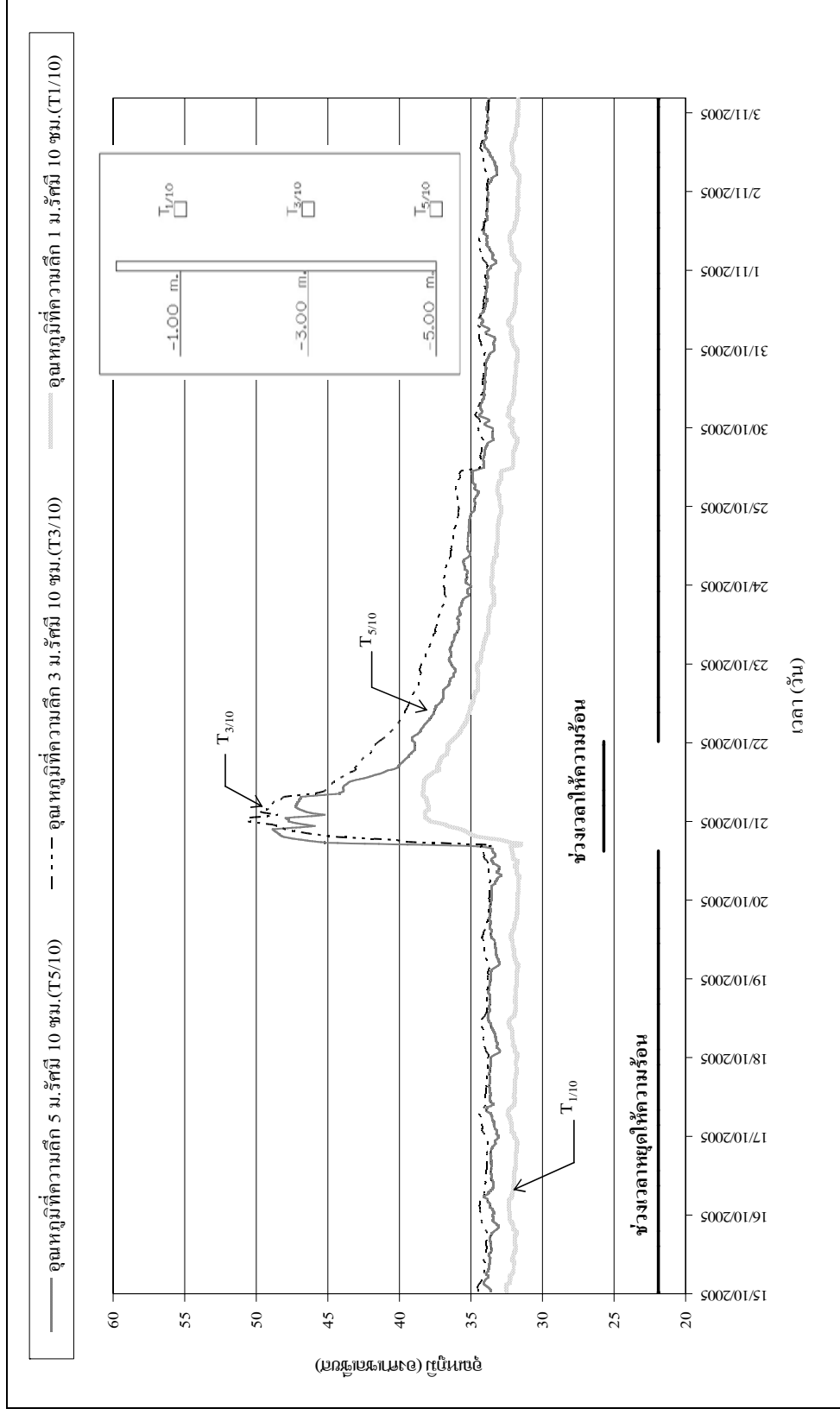




ภาพที่ 81 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึก กับ เวลา (ช่วงที่ให้ความร้อนตลอดเวลา)



ภาพที่ 82 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึกกับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)



ภาพที่ 83 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึก กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)

2. การแผ่กระจายอุณหภูมิภายในดินตามแนวราบ

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นดินแสดงดังภาพที่ 84 ในลักษณะการแผ่กระจายในแนวรัศมีเทียบกับเวลา ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

2.1. ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา (ตารางที่ 9 และภาพที่ 85) ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวราบที่ระดับความลึก 3 เมตรจากข้อมูลดังกล่าวพบว่า ในช่วงที่ให้ความร้อนตลอดเวลากับชั้นดินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีค่าสูงที่บริเวณผิวท่อทองแดง และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงลดลงตามระยะรัศมีที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการแผ่กระจายความร้อนในชั้นดินจากแหล่งให้ความร้อนอาจมากกว่า 30 ซม. ได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากการทดสอบครั้งนี้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ถึงระยะรัศมี 30 ซม. เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิที่ระยะรัศมี 30 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส ภาพที่ 86 แสดงการแผ่กระจายของอุณหภูมิตามแนวราบที่ระยะ 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. จากท่อทองแดง ณ เวลาต่างๆ

2.2. การให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้น เป็นการให้ความร้อน และหยุดให้ความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละช่วงของการให้ความร้อนมีแนวโน้มลดลงแสดงผลดังภาพที่ 87 และตารางที่ 9 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในรอบแรกของการให้ความร้อนในช่วงนี้ หลังจากหยุดให้ความร้อนลงไปชั้นดินเป็นระยะเวลา 4 วัน (นับหลังจากหยุดให้ความร้อนตลอดเวลาในช่วงแรก) ค่าอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง ที่ระยะรัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. มีค่าเท่ากับ 74 องศาเซลเซียส 53 องศาเซลเซียส 46 องศาเซลเซียส และ 43 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส 16 องศาเซลเซียส 9 องศาเซลเซียส และ 6 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิในดินที่ลดลงในช่วงเวลาการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้น มีค่าเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าอุณหภูมิในดินปกติ (32 องศาเซลเซียส) อาจเนื่องมาจากระยะเวลาที่ปล่อยให้อุณหภูมิลดลงเป็นช่วงเวลาดำเนินการ รวมกับการทดสอบในครั้งนี้ไม่มีทางระบายน้ำออก ทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนออกจากชั้นดินได้หมด จึงทำให้อุณหภูมิยังคงค้างอยู่ในมวลดิน และแนวโน้มค่าอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละช่วงมีค่าลดลง

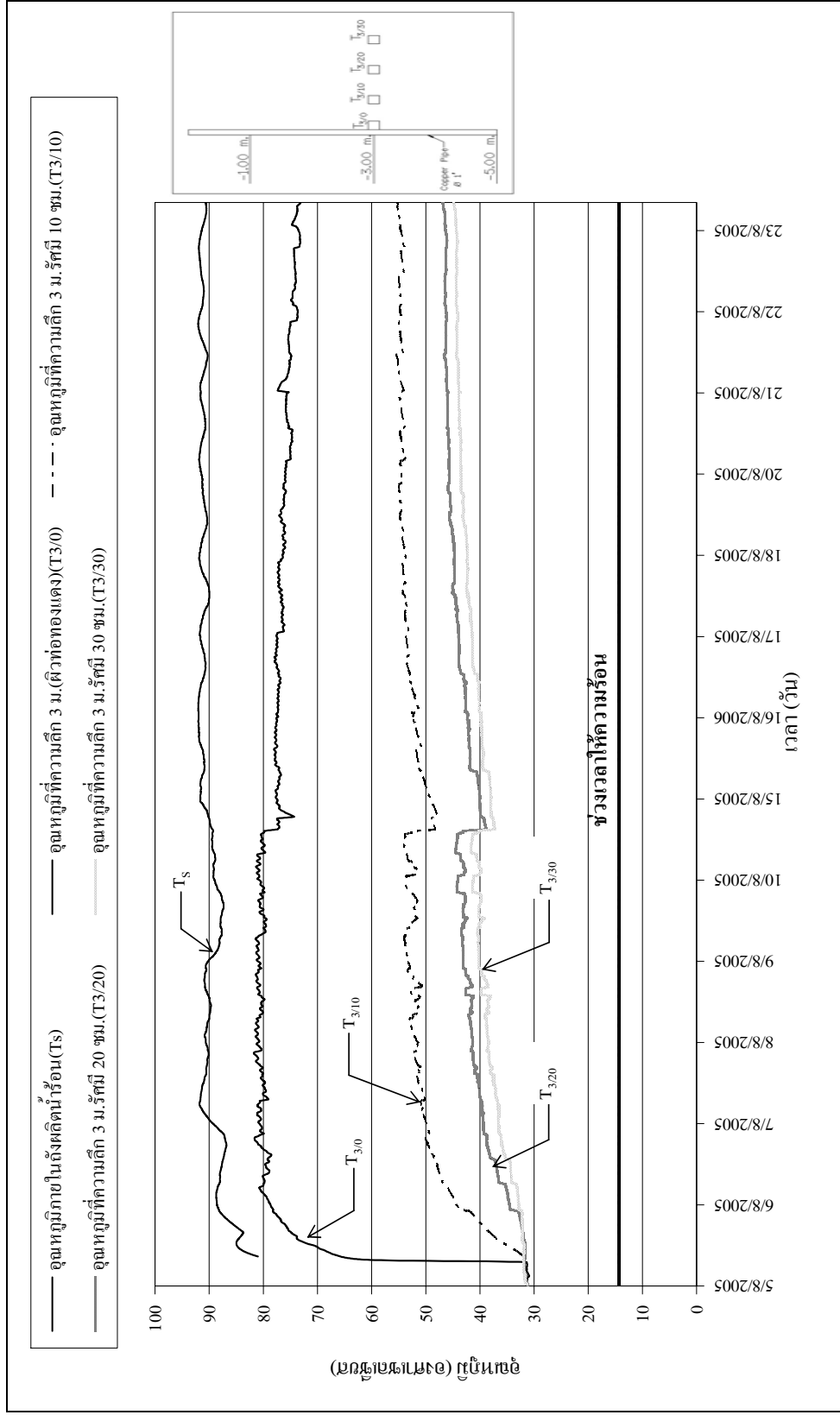
2.3. ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่ (ภาพที่ 88) ค่าอุณหภูมิสูงสุดของช่วงเวลานี้มีค่าน้อยกว่าค่าอุณหภูมิในสองช่วงแรก หลังจากปล่อยให้อุณหภูมิในดินลดลง

เป็นเวลานาน (14 วัน) แล้วจึงให้ความร้อนกับชั้นดินอีกครั้งผลปรากฏว่า อุณหภูมิที่เพิ่ม บริเวณผิวท่อทองแดงและรัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. มีค่าเท่ากับ 63 องศาเซลเซียส 51 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส และ 38 องศาเซลเซียส มีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส 17 องศาเซลเซียส 6 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียสตามลำดับ หลังจากหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานาน อุณหภูมิในชั้นดินที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิดินปกติ (32 องศาเซลเซียส) โดยมีค่าประมาณ 34 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำ และดินที่ร้อนขึ้นสามารถส่งถ่ายความร้อนออกไปสู่บริเวณใกล้เคียง ที่ไม่ได้รับผลเนื่องจากความร้อน ภาพที่ 89 แสดงการแผ่กระจายความร้อน ณ เวลาต่างๆ ตามแนวราบที่ระยะรัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้ว่าจะมีการให้ความร้อนต่อเนื่อง แต่ค่าอุณหภูมิกับมีแนวโน้มลดลง

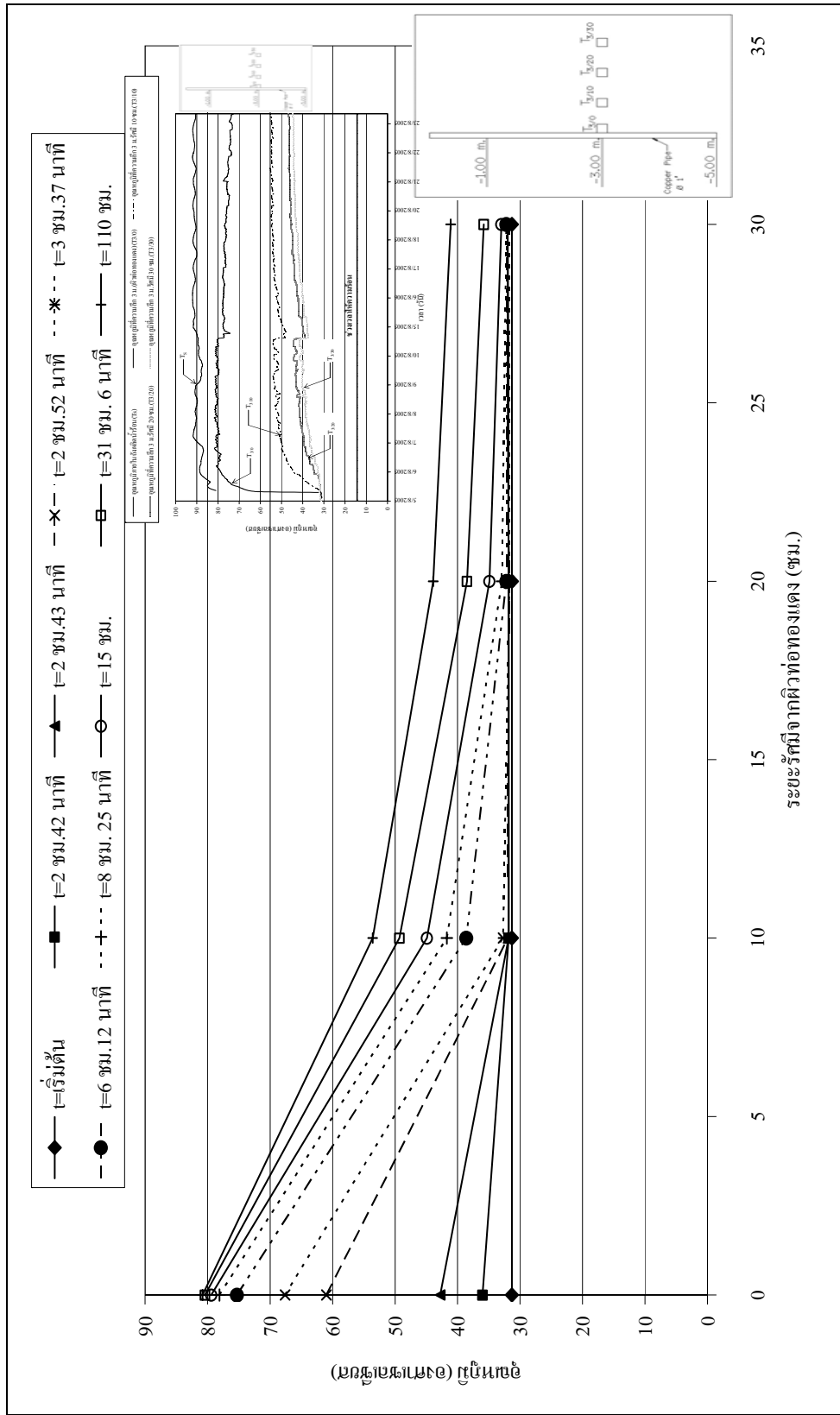
พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้ง 3 กรณี พบว่าบริเวณผิวท่อทองแดงเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าที่ระยะรัศมีต่างๆ เนื่องจากจุดที่ใกล้กับท่อทองแดงหลังจากหยุดให้ความร้อนกับชั้นดิน น้ำในท่อทองแดงจะเย็นลงทำให้ความร้อนที่รัศมี 10 ซม. ส่งถ่ายความร้อนผ่านมาทางท่อทองแดง ส่วนบริเวณที่รัศมี 30 ซม. ความร้อนในมวลดิน อาจส่งถ่ายไปยังชั้นดินบริเวณใกล้เคียงมากกว่า และมีบางส่วนส่งถ่ายความร้อนไปทางท่อทองแดง เมื่อพิจารณาการลดอุณหภูมิของทั้งสี่จุด เห็นได้ว่าที่ผิวท่อทองแดงอุณหภูมิมักเพิ่มขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็ว มากกว่าที่รัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ อาจเนื่องจากท่อทองแดงมีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ดี ทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว โดยที่ระยะ 30 ซม. เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ เพราะค่าการนำความร้อนในดินมีค่าน้อยกว่าท่อทองแดงมาก ดินเหนียวมีค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ $0.9-1.3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (San San, 2004) ส่วนท่อทองแดงมีค่าการนำความร้อนประมาณ $386 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ เห็นได้ว่าท่อทองแดงมีค่าการนำความร้อนมากกว่าดินเหนียวถึง 297-429 เท่า จึงทำให้ท่อทองแดงเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเร็วกว่าดินมาก

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวรัศมีที่ความลึก 3 เมตร ณ ช่วงเวลาต่างๆ

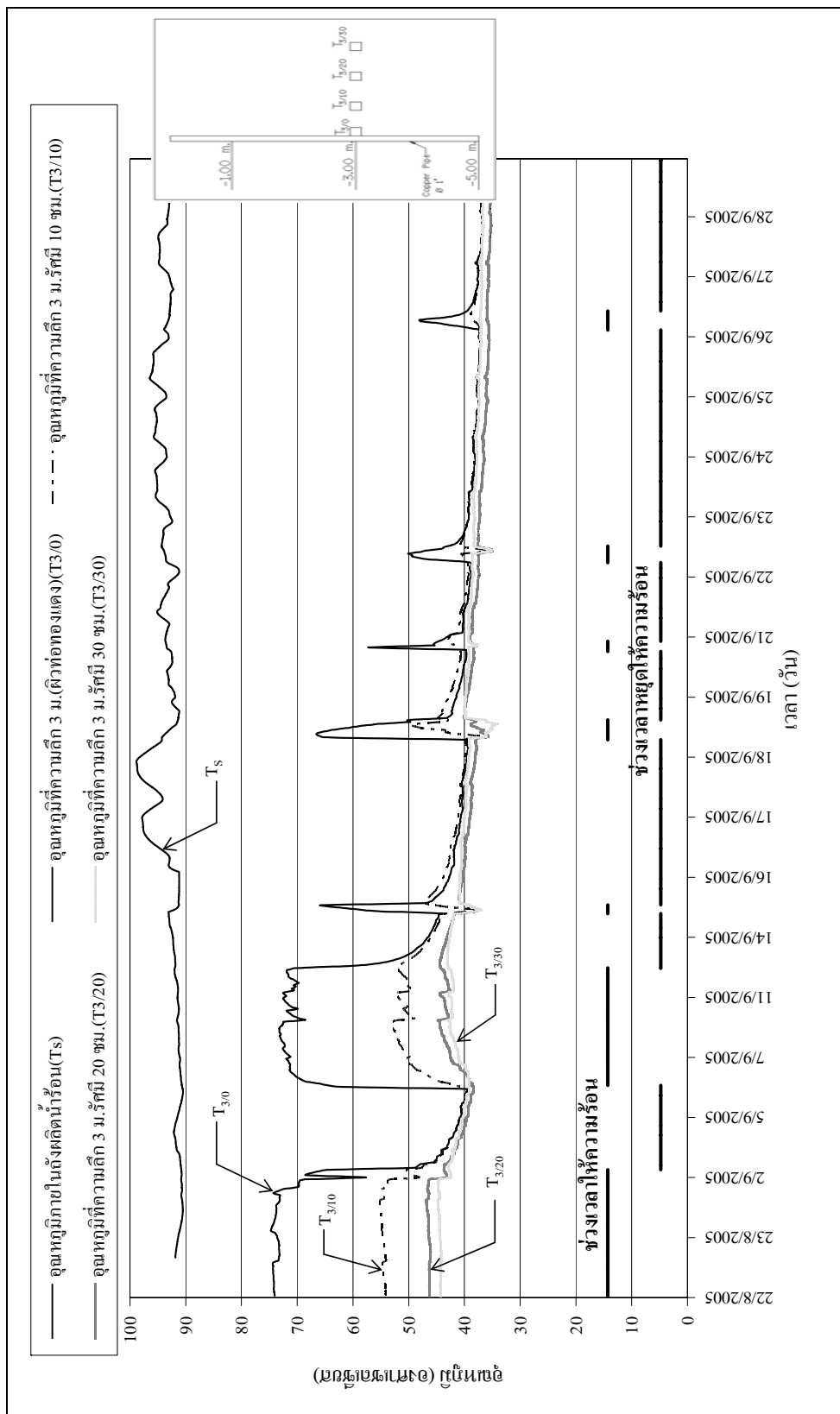
ที่ความลึก 3 เมตร		ระยะรัศมีจากผิวท่อทองแดง (ซม.)			
อุณหภูมิ (°C)		0	10	20	30
ดินก่อนได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน		32	32	32	32
1. ช่วงที่ให้ความร้อน ตลอดเวลา	เพิ่ม	82	54	45	42
	การเปลี่ยนแปลง	50	22	13	10
อุณหภูมิดินหลังจากลดอุณหภูมิจากช่วงที่ 1		37	37	37	37
2. การให้ความร้อนเป็น รอบในระยะเวลาสั้น	เพิ่ม	74	53	46	43
	การเปลี่ยนแปลง	37	16	9	6
อุณหภูมิดินหลังจากลดอุณหภูมิจากช่วงที่ 2		34	34	34	34
3. ช่วงหยุดให้ความร้อน เป็นเวลานานก่อนให้ ความร้อนใหม่	เพิ่ม	63	51	40	38
	การเปลี่ยนแปลง	29	17	6	4



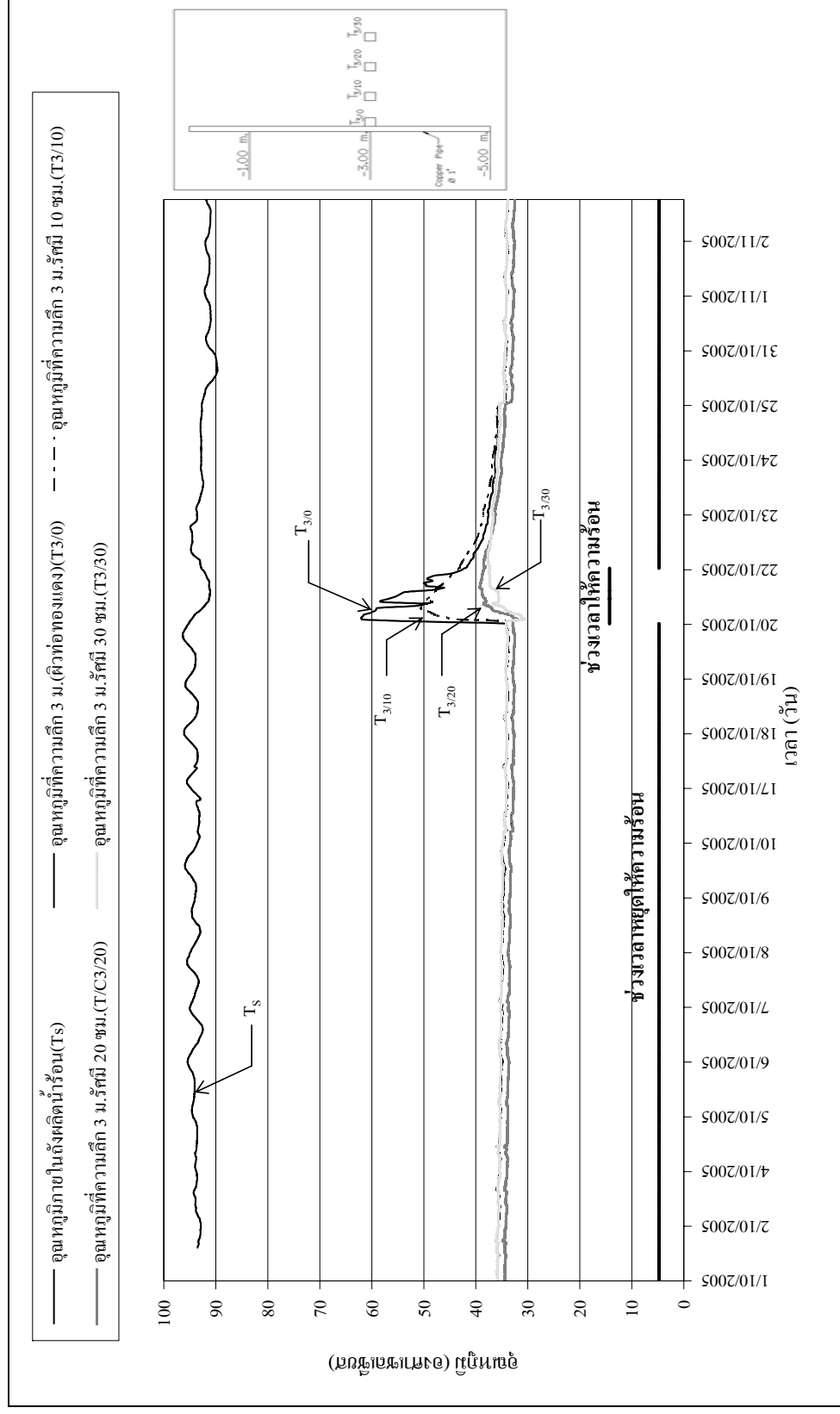
ภาพที่ 85 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)



ภาพที่ 86 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับระยะรัศมี (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)



ภาพที่ 87 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)



ภาพที่ 88 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่ริมต่างๆ กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)

3. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินในดิน เนื่องจากการให้ความร้อน (เปรียบเทียบกับเวลา)

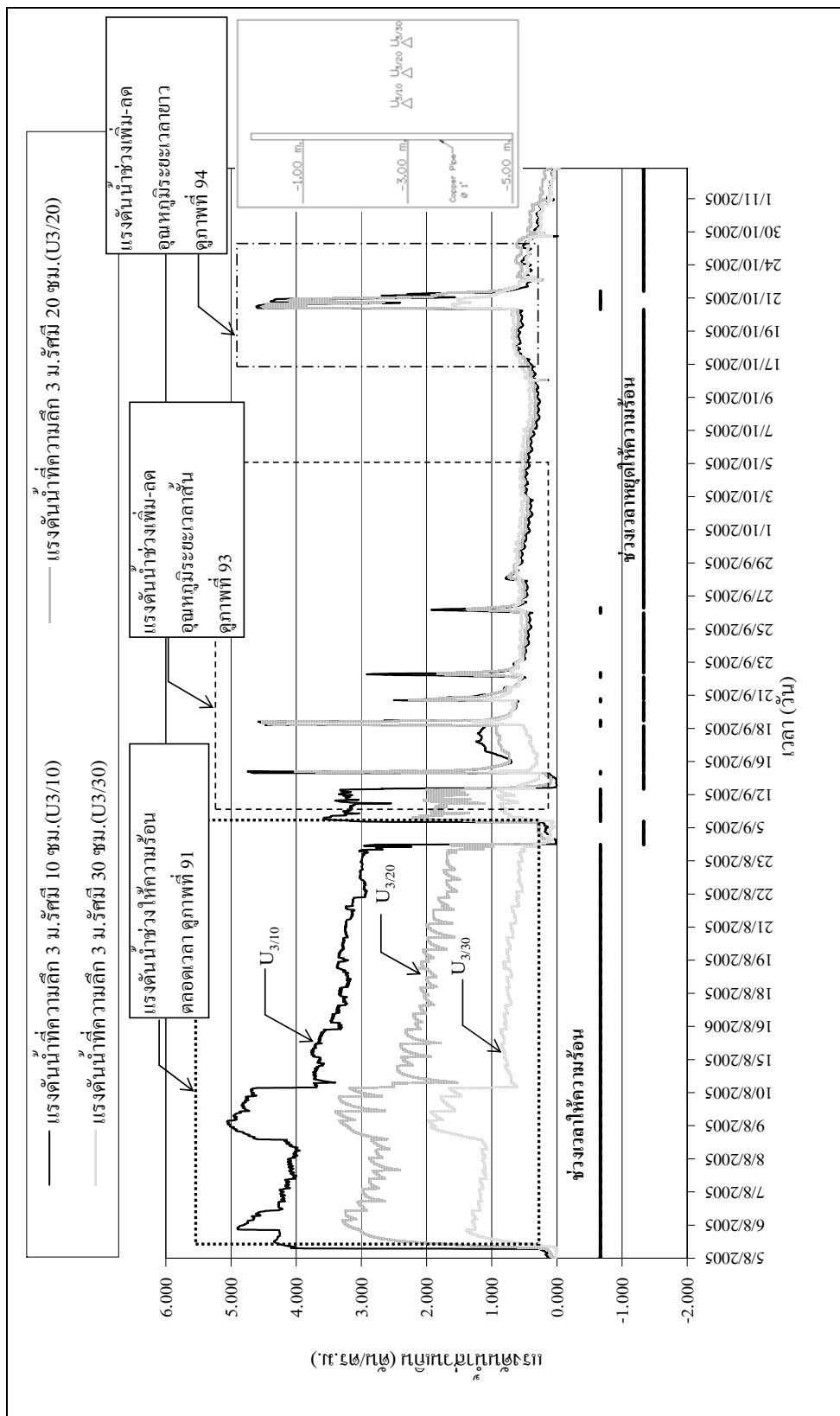
เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม แสดงผลดังภาพที่ 90 สามารถแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน กับเวลาตามแนวรัศมีออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

3.1. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินช่วงที่ให้ความร้อนตลอดเวลา แสดงดังภาพที่ 91 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินกับเวลานั้น มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นแนวโน้มเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในดินที่เกิดจากการให้ความร้อนลงไปในห้องทองแดง โดยที่แรงดันน้ำจุดที่ใกล้กับห้องทองแดงจะมีแรงน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นสูงกว่า จุดที่อยู่ห่างออกไปตามแนวรัศมี การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้น คือที่อุณหภูมิสูง แรงดันส่วนเกินจะเกิดขึ้นสูง ที่อุณหภูมิต่ำแรงดันน้ำส่วนเกินจะเกิดขึ้นน้อยด้วย และเมื่อพิจารณาในช่วงที่รักษาให้อุณหภูมิคงที่ แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลานานขึ้น อาจเกิดเนื่องจากน้ำในดินไหลออกจากเม็ดดินไปสู่บริเวณโดยรอบที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน การวิจัยครั้งนี้ไม่มีการระบายน้ำระหว่างการทดสอบ จึงทำให้การลดลงของแรงดันเป็นไปอย่างช้าๆ ภาพที่ 92 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ณ เวลาต่างๆ กับระยะรัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ

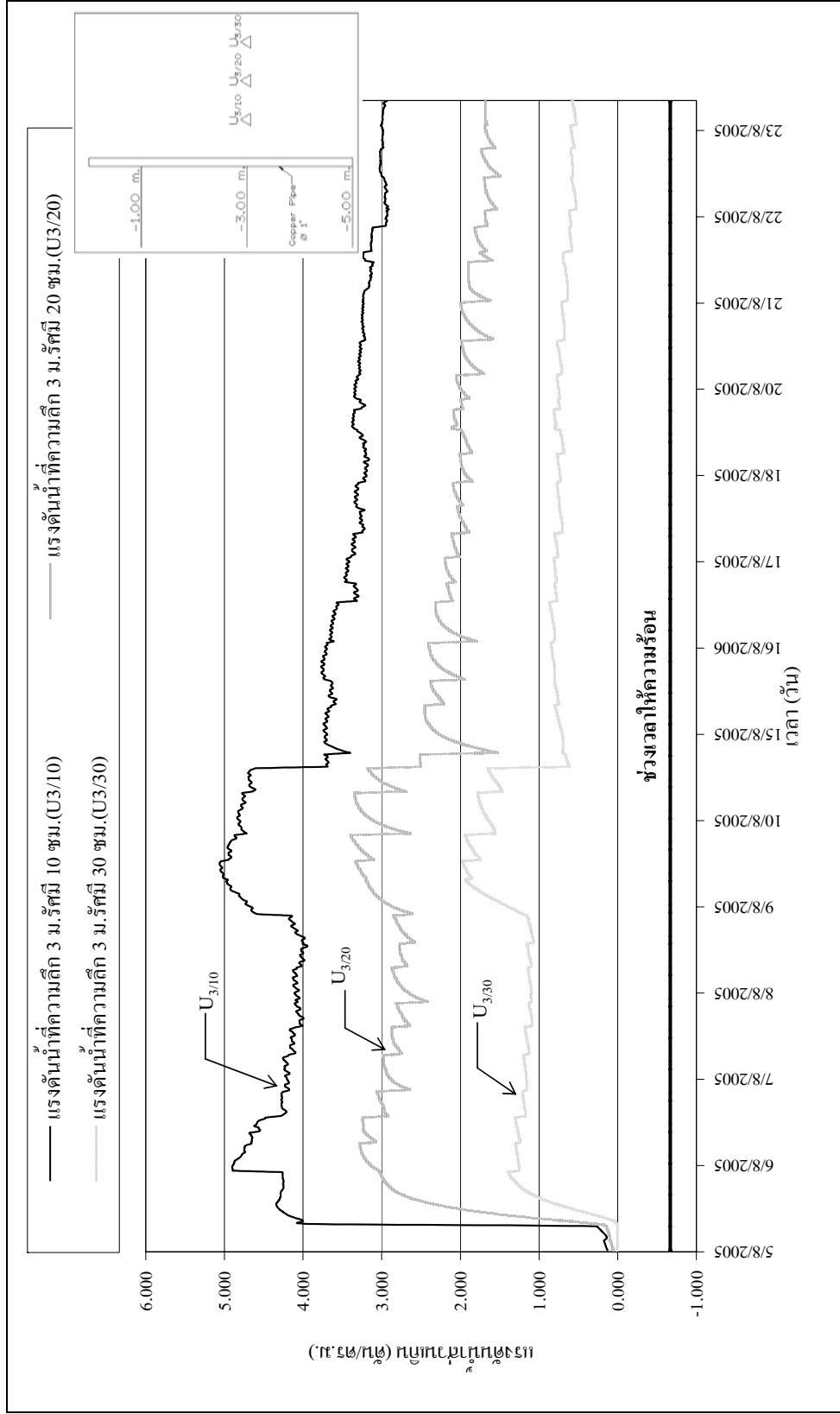
3.2. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะเวลาสั้น แสดงดังภาพที่ 93 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินเกิดการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มและลดลง เป็นไปในแนวโน้มเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผลของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อนทำให้ปริมาตรดินลดลงในดินเหนียวถูกอัดตัวปกติ ทำให้ช่องว่างภายในมวลดินมีปริมาตรลดลง ทำให้เมื่อให้ความร้อนในลักษณะเพิ่ม – ลดในระยะเวลาสั้น กับชั้นดินจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินลดลงตามปริมาตรของอัตราส่วนช่องว่างที่ลดลง (Paaswell, 1967; Plum and Esrig, 1969; Towhata *et al.*, 1993; Tanaka *et al.*, 1997; Grino, 2004)

3.3. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่ แสดงดังภาพที่ 94 ผลการเก็บข้อมูลในช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินมีลักษณะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ภาพที่ 88) การหยุดให้ความร้อนกับชั้นดินเป็นเวลานานจะทำให้แรงดันน้ำกลับสู่สภาพปกติ เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้ง แรงดันน้ำส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันน้ำส่วนเกิน ในช่วงการเพิ่ม – ลดอุณหภูมิในระยะเวลาสั้น แต่ไม่เท่ากับในช่วงแรกของการให้ความร้อนตลอดเวลา อาจเป็นเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดินทำให้

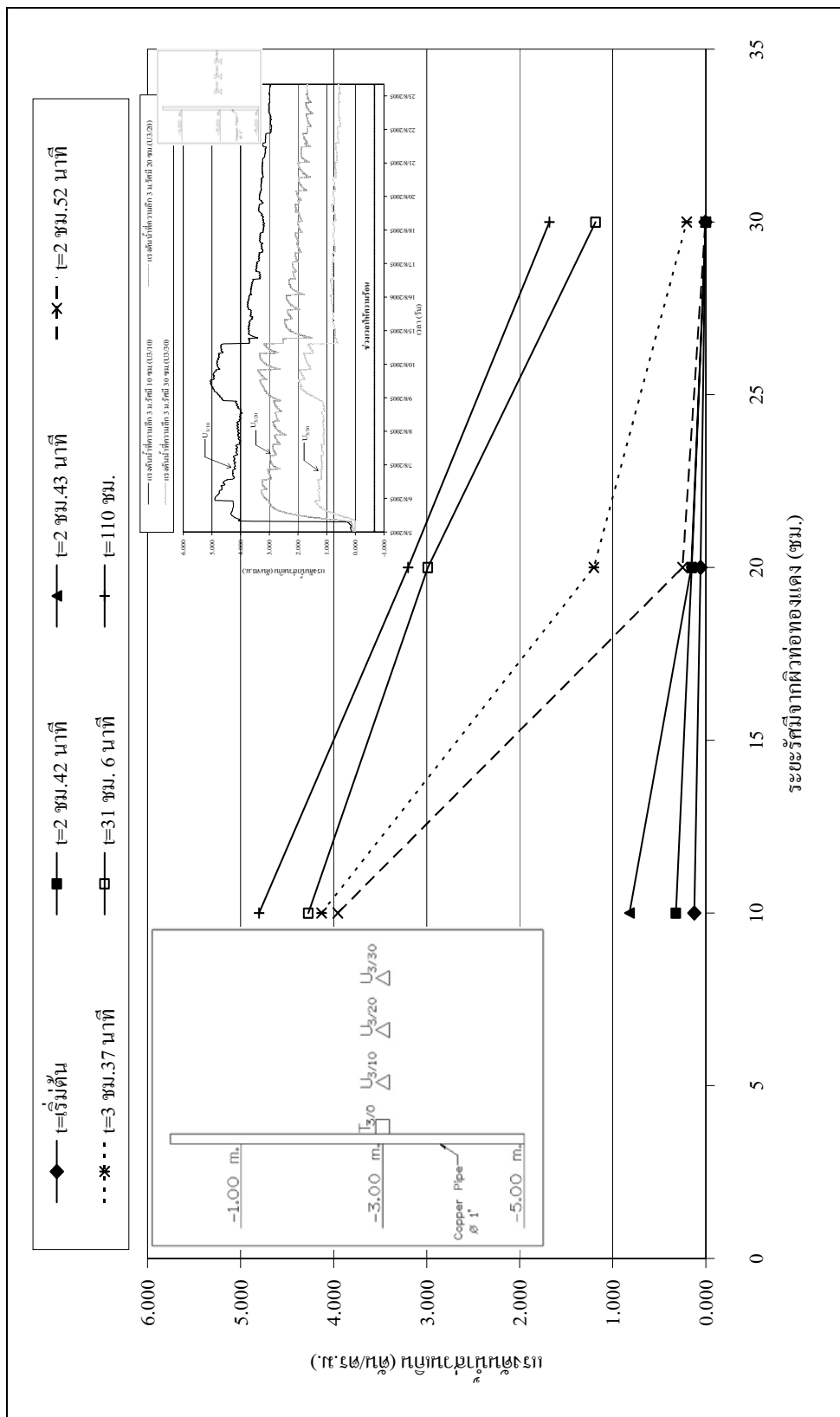
ช่องว่างในดินลดลง แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจึงมีค่าไม่เท่ากับช่วงแรกของการทดสอบ ภาพที่ 95 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน ณ เวลาต่างๆ กับระยะรัศมี 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งแรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าลดลงแม้ว่ามีการให้ความร้อนตลอดเวลา



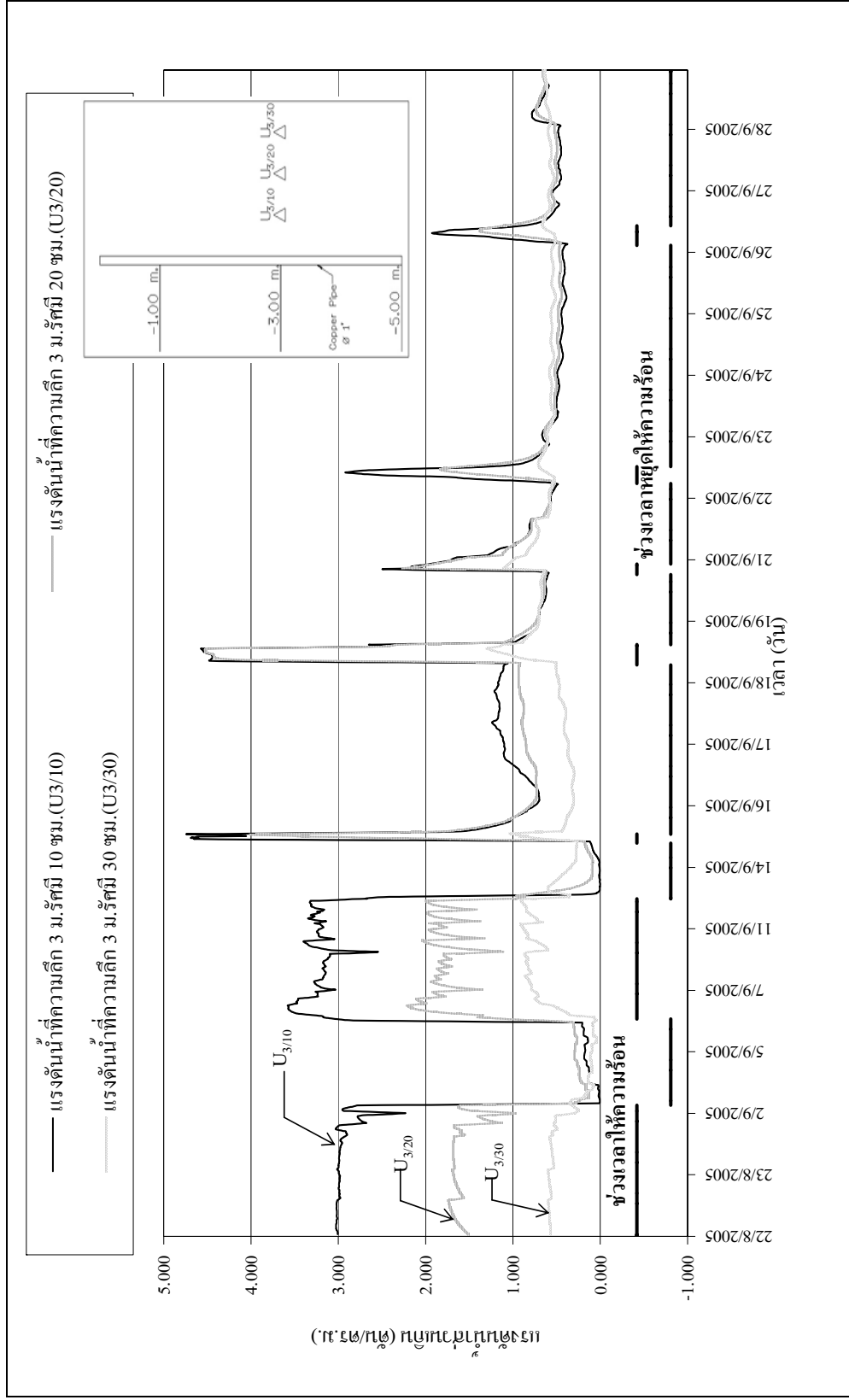
ภาพที่ 90 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา



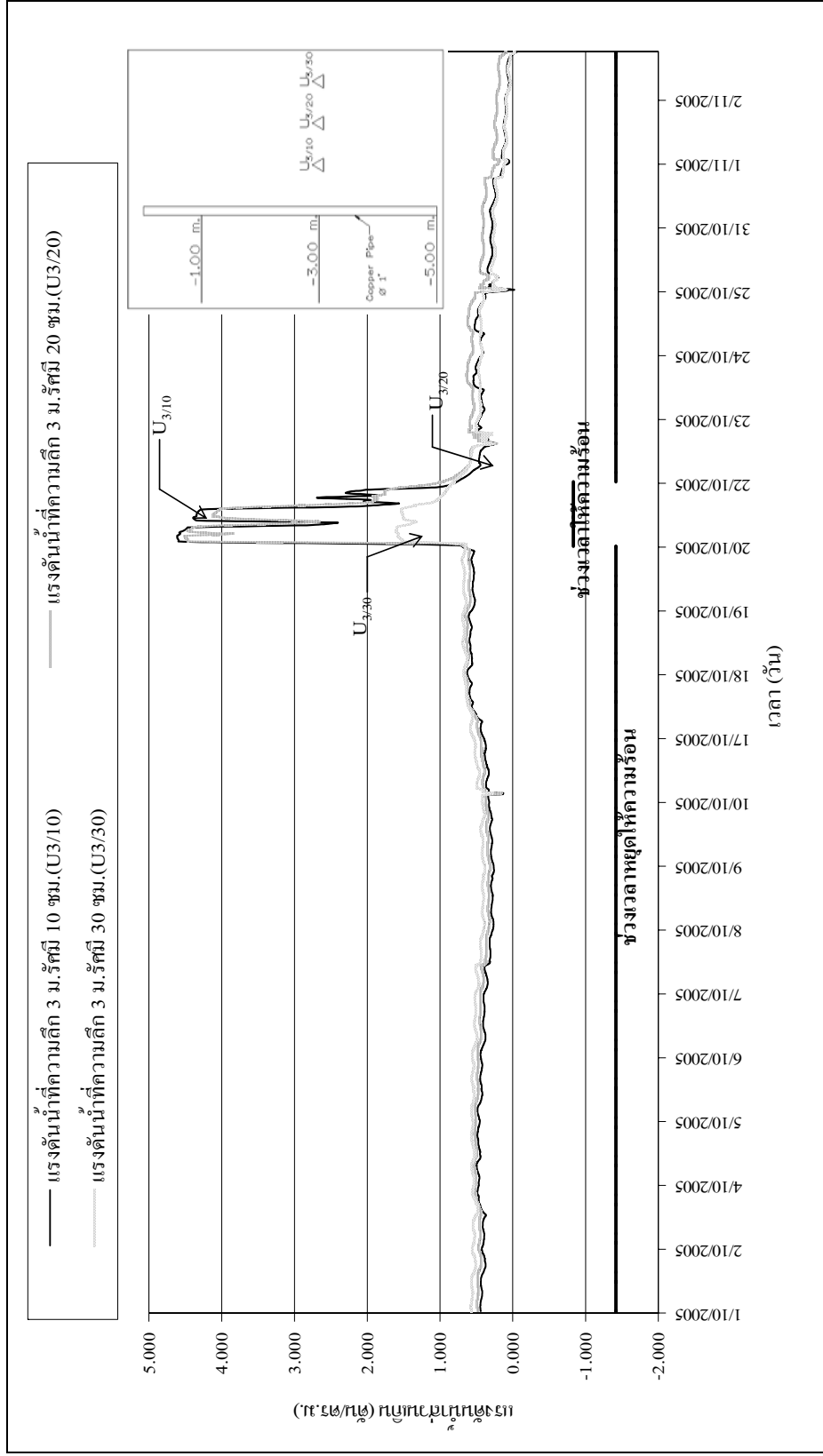
ภาพที่ 91 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)



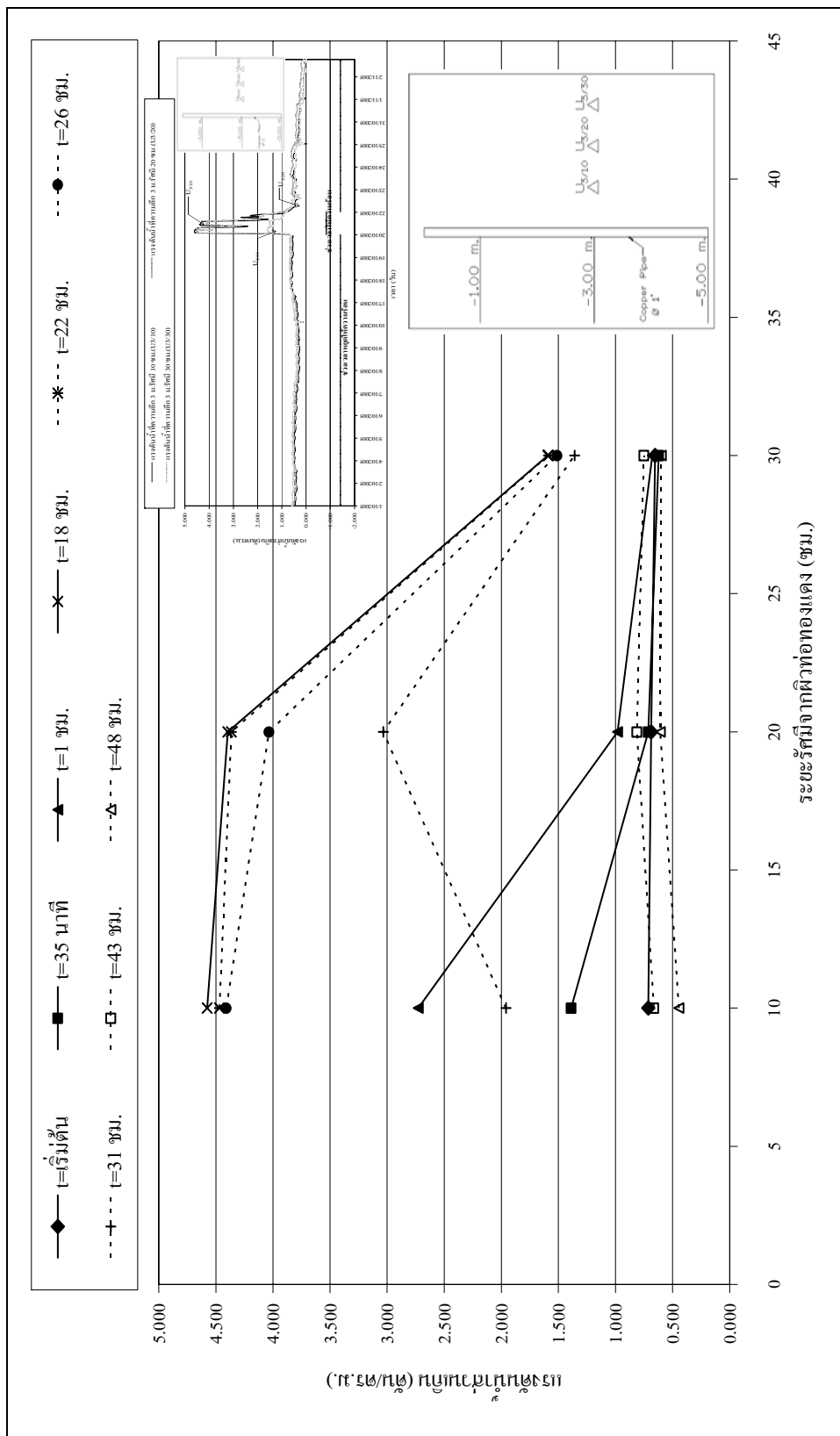
ภาพที่ 92 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับระยะรั้งที่ผิวท่อทองแดง (ซม.)



ภาพที่ 93 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะต้น)



ภาพที่ 94 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)



ภาพที่ ๑๕ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับ ระยะวัดจากความยาวของท่อทองแดง (ซม.)

ความร้อนใหม่

4. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินในดิน เนื่องจากการให้ความร้อน (เปรียบเทียบกับอุณหภูมิตามระยะรัศมี)

4.1. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ ในช่วงแรกของการให้ความร้อนลงในท่อทองแดง อุณหภูมิบริเวณผิวท่อทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากผลการทดสอบพบว่าที่ตำแหน่ง 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. ในแนวรัศมี อุณหภูมิในดินยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อทองแดงแต่ค่าแรงดันน้ำในดินกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตารางที่ 10 และดั่งภาพที่ 96 ถึง 98 แสดงผลการทดสอบ

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินช่วงแรกของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อน

ระยะรัศมีจากผิวท่อทองแดง ที่ความลึก 3 เมตร (เซนติเมตร)	แรงดันน้ำในดิน (เมตร)		แรงดันน้ำ ส่วนเกินที่ เปลี่ยนแปลง (ตัน/ตร.ม.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
	เริ่มต้น	ช่วงแรกของการปรับปรุง		
0	ไม่ได้ ตรวจวัด	ไม่ได้ ตรวจวัด	ไม่ได้ตรวจวัด	75
10	1.20	5.20	4.00	34
20	1.20	4.00	2.80	32
30	1.20	2.50	1.30	32

หลังจากที่อุณหภูมิแผ่กระจายความร้อนมาถึงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแบบเกสตรัสเตอร์ (KU Piezometer) แรงดันน้ำยังคงเพิ่มขึ้นแสดงค่าดังตารางที่ 11

เมื่อพิจารณาผลการวัดแรงดันน้ำที่ได้จากตารางที่ 10 และ 11 กับ ภาพที่ 96 ถึง 98 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน ณ ระยะ 10 ซม. 20 ซม. และ 30 ซม. เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง ในระยะแรกเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิแผ่มาถึงระยะรัศมีต่างๆ แรงดันน้ำกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนั้นยังพบว่าที่ระยะรัศมี 20 ซม. แรงดันน้ำสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 14 เท่าจากแรงดันน้ำปกติ ในขณะที่ ระยะ 30 ซม. เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเพียง

1.3 เท่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แหล่งให้ความร้อน (ท่อทองแดง) สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีในช่วงรัศมี 20 ซม.

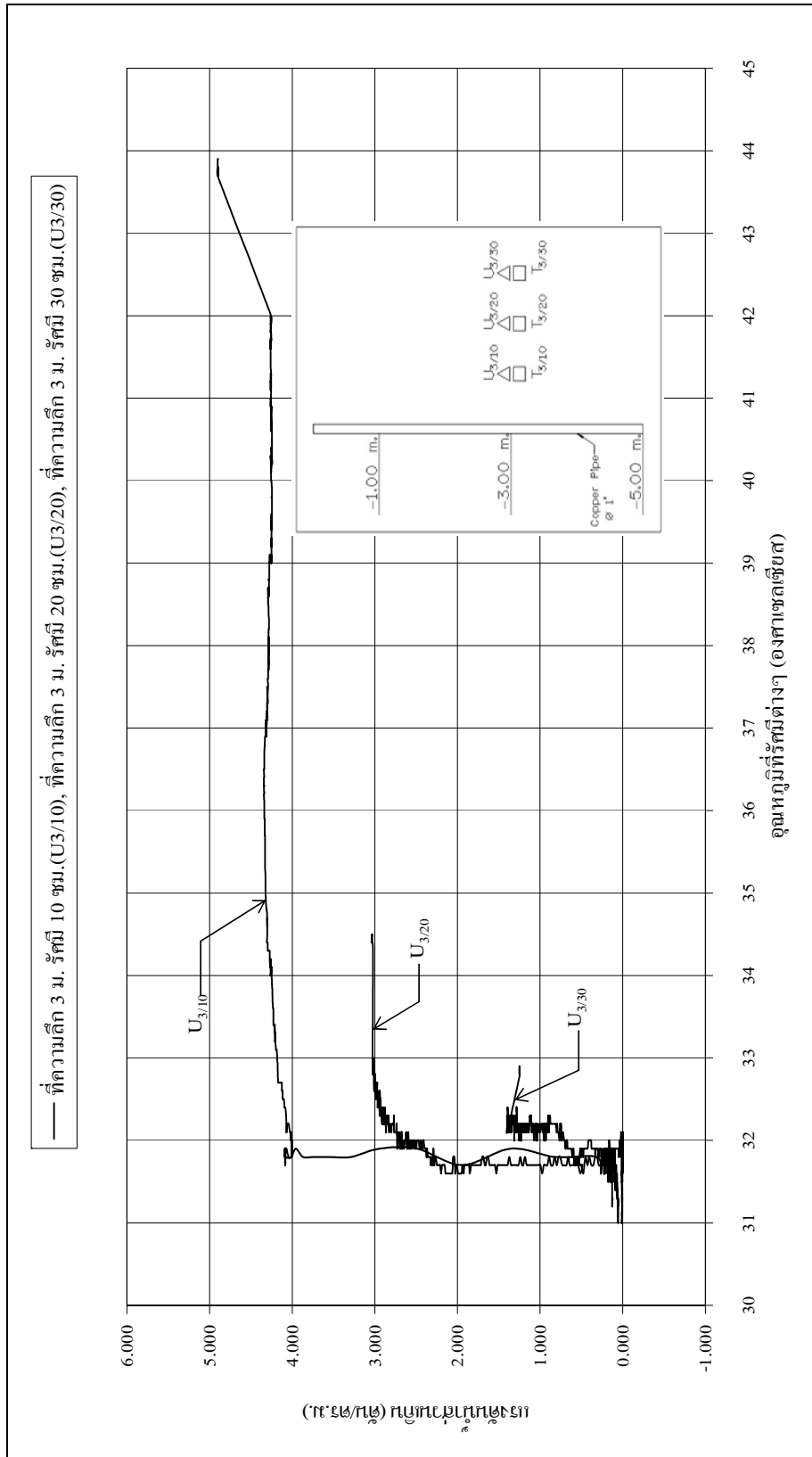
ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินช่วงที่ 2 หลังจากความร้อนแผ่กระจายมาถึงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแบบเกสตรศาสตร์ (KU Piezometer)

ระยะรัศมีจากผิวท่อทองแดง ที่ความลึก 3 เมตร (เซนติเมตร)	แรงดันน้ำในดิน (เมตร)		แรงดันน้ำส่วนเกินที่เปลี่ยนแปลง (ดิน/ตร.ม.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
	ช่วงแรกของการปรับปรุง	หลังจากมีผลจากอุณหภูมิโดยตรง		
0	ไม่ได้ตรวจวัด	ไม่ได้ตรวจวัด	ไม่ได้ตรวจวัด	82
10	5.20	5.50	0.30	60
20	4.00	4.20	0.20	54
30	2.50	2.60	0.10	49

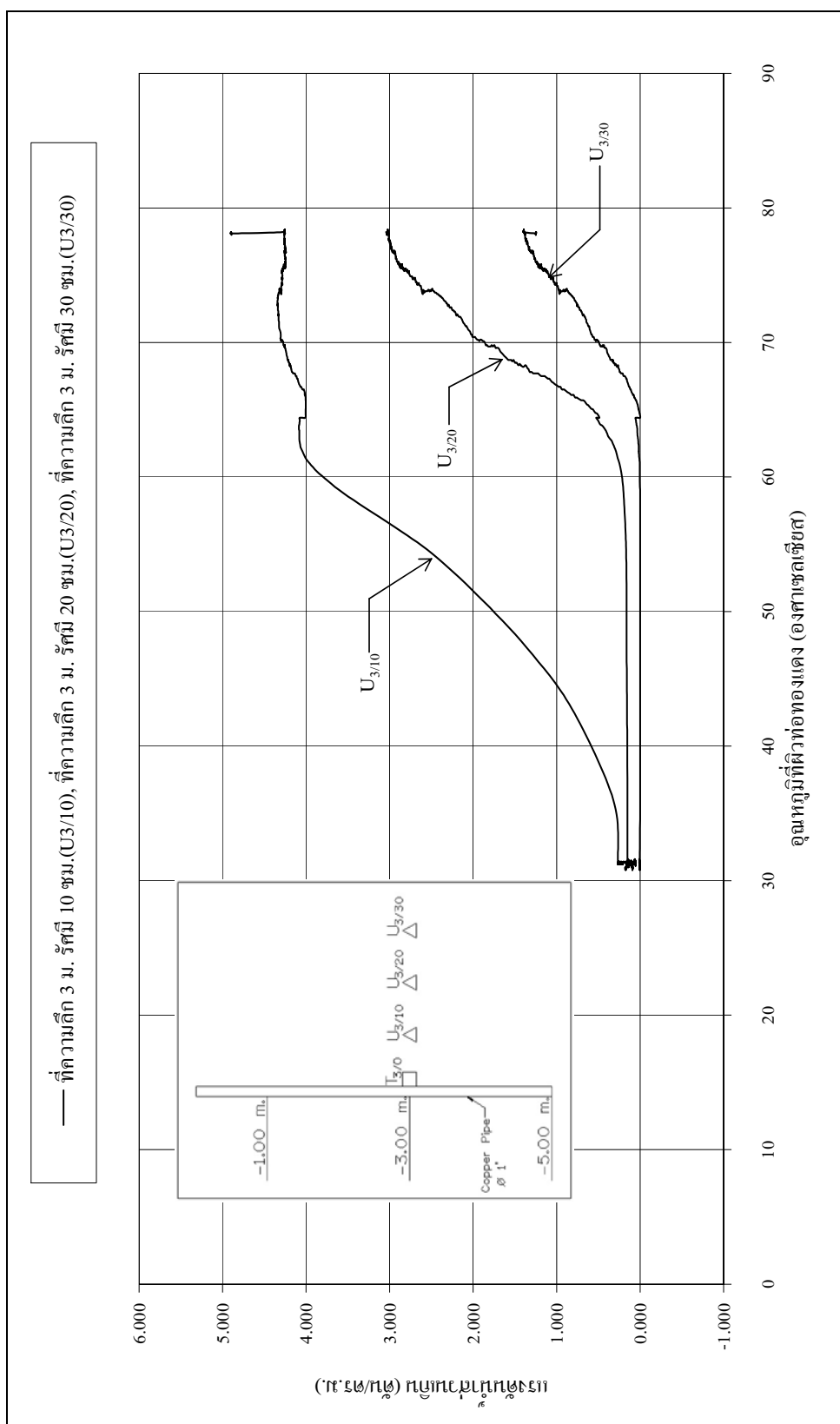
4.2. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน เนื่องจากการลดอุณหภูมิ (ดังภาพที่ 99 ถึง 101) การลดอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงมีผลต่อการลดลงของแรงดันน้ำส่วนเกินที่รัศมีต่างๆ

ภาพที่ 102 ถึง 104 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงในช่วง 32 – 70 องศาเซลเซียส กับแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นที่ระยะรัศมี 10 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร จากผลดังภาพที่ 102 แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ ของการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง กับแรงดันน้ำส่วนเกินที่ระยะรัศมี 10 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณผิวท่อทองแดง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นที่ระยะรัศมี 10 เซนติเมตร โดยตรง ความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง กับแรงดันน้ำส่วนเกินที่ระยะรัศมี 20 เซนติเมตร ที่ระยะนี้มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง แสดงดังภาพที่ 103 เช่นเดียวกับแรงดันน้ำส่วนเกินที่ระยะรัศมี 30 เซนติเมตร ความสัมพันธ์ในช่วงนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง แสดงดังภาพที่ 104 จึงแสดงให้เห็นว่า เฉพาะผลของการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณผิวท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้วในช่วงอุณหภูมิ 32 – 70 องศาเซลเซียสมีผลทำให้น้ำเกิดการขยายปริมาตร (เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน) ไปได้ไกลถึงระยะรัศมี 10 เซนติเมตร มีผลเพียงเล็กน้อยในระยะรัศมี 20

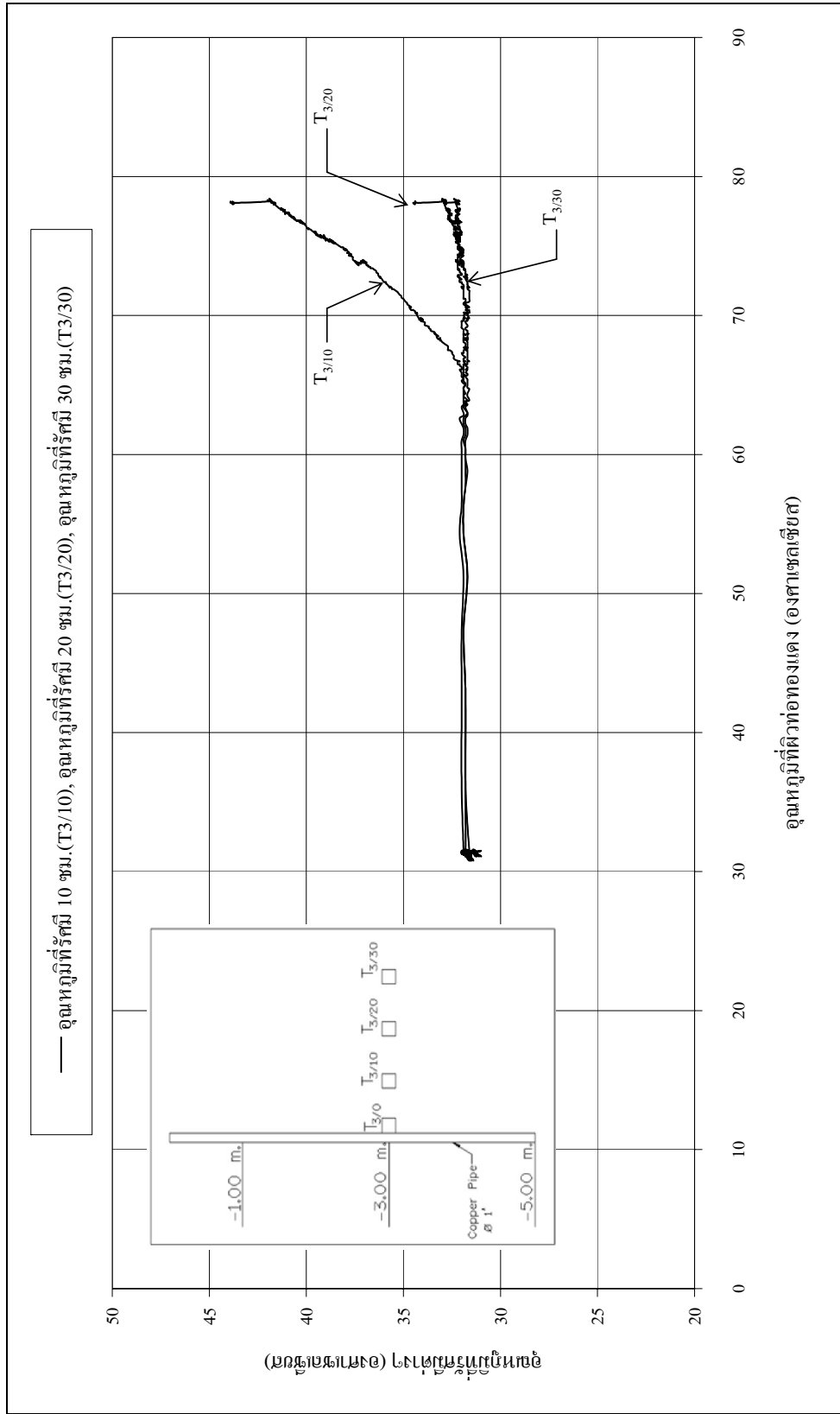
เซนติเมตร และแทบจะไม่มีผลในระยะรัศมี 30 เซนติเมตร จากความสัมพันธ์ที่ได้ทั้ง 3 ระยะรัศมีชี้ให้เห็นว่าการแผ่กระจายความร้อนในชั้นดินไม่สามารถแผ่กระจายไปได้ไกลมาก แม้จะใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานเท่าใดก็ตาม ดังนั้น ควรพิจารณาลักษณะการให้ความร้อนในแบบเพิ่ม – ลดอุณหภูมิให้กับชั้นดินในระยะที่พอเหมาะกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะได้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนไปโดยเปล่าประโยชน์



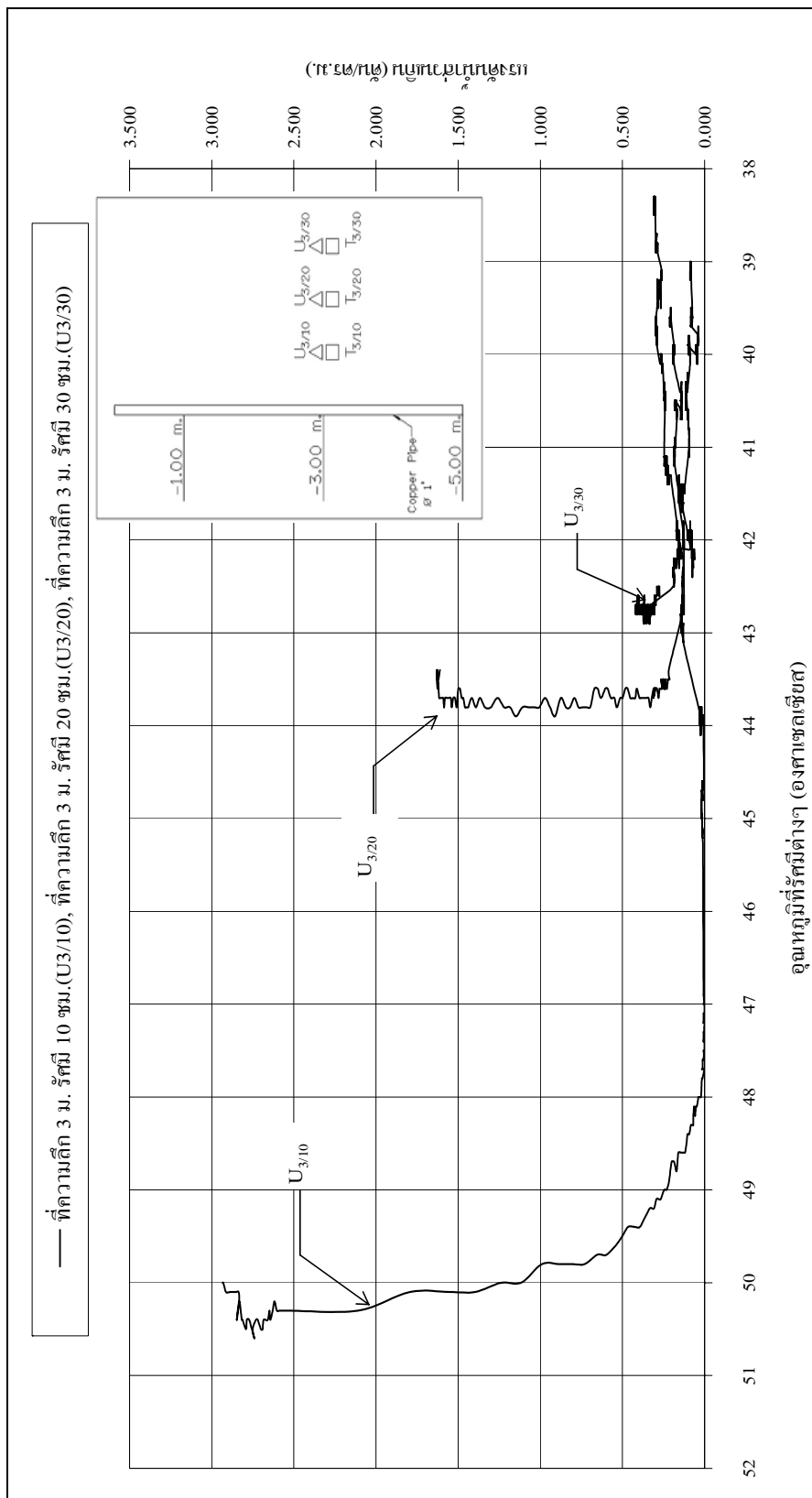
ภาพที่ 96 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ (KU Piezometer)



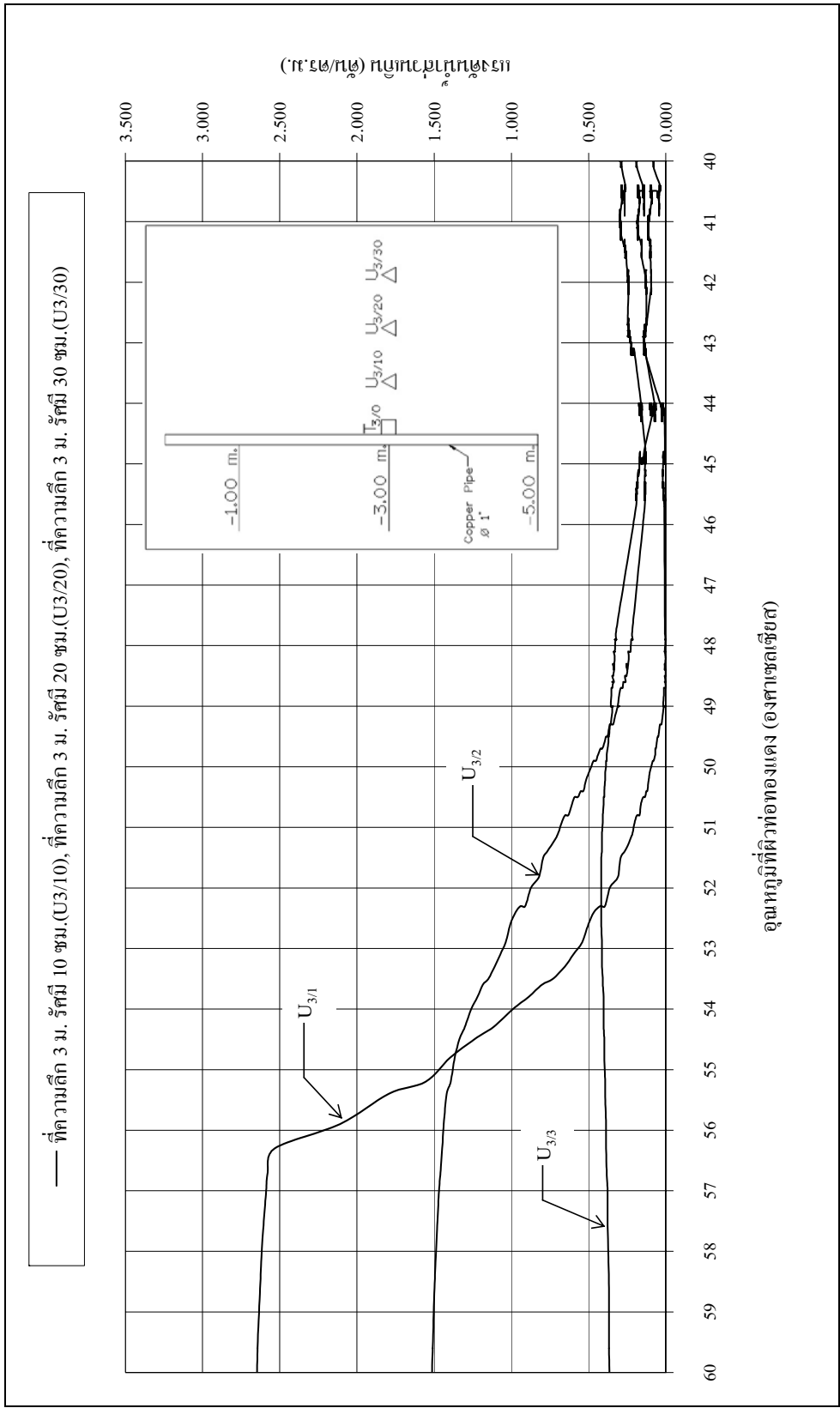
ภาพที่ ๑๓ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันนำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวท่อทองแดง



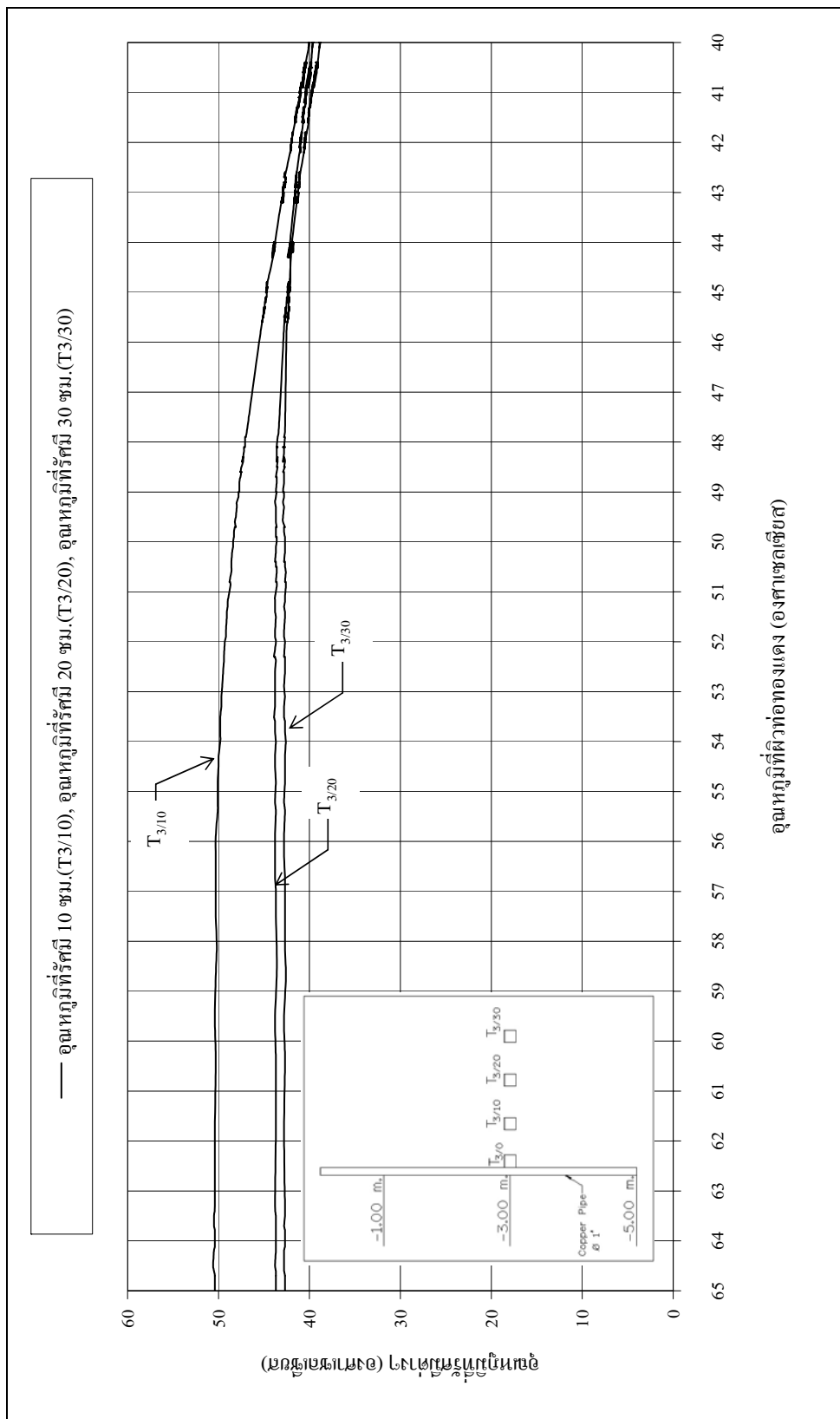
ภาพที่ ๑๘ การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงเพิ่มขึ้น



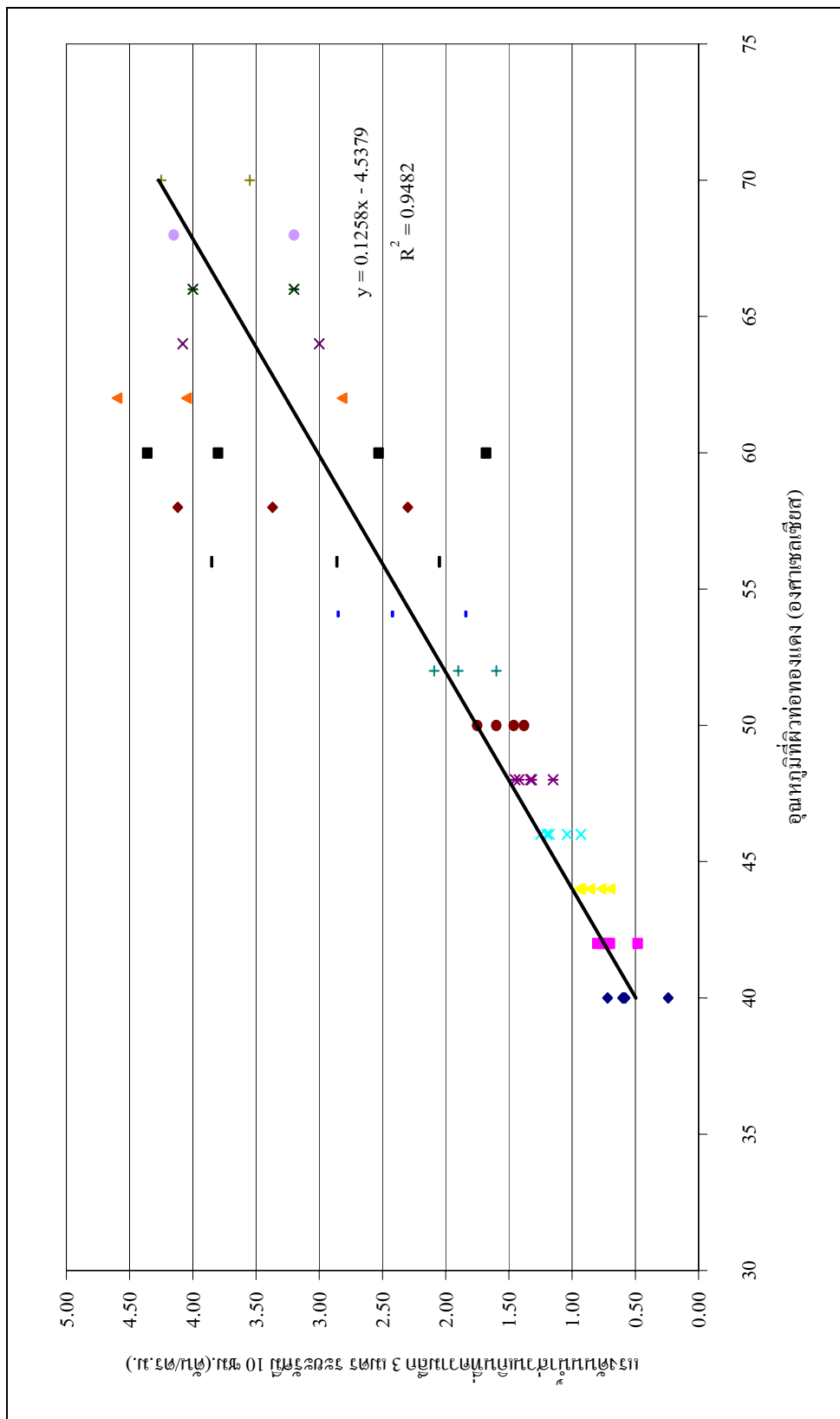
ภาพที่ ๑๑ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่ลดลงที่ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ (KU Piezometer)



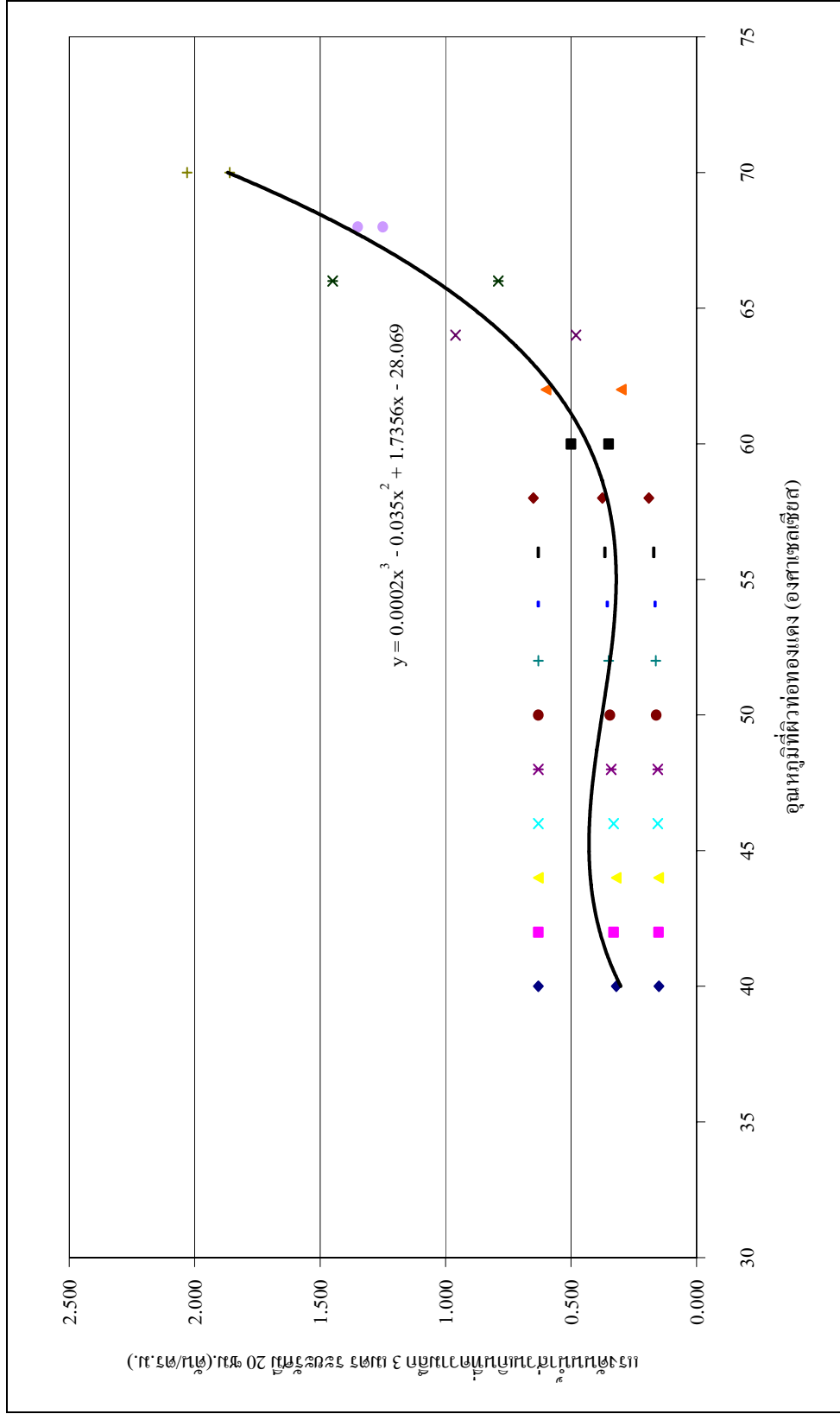
ภาพที่ 100 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่ลดลงที่ผิวท่อทองแดง



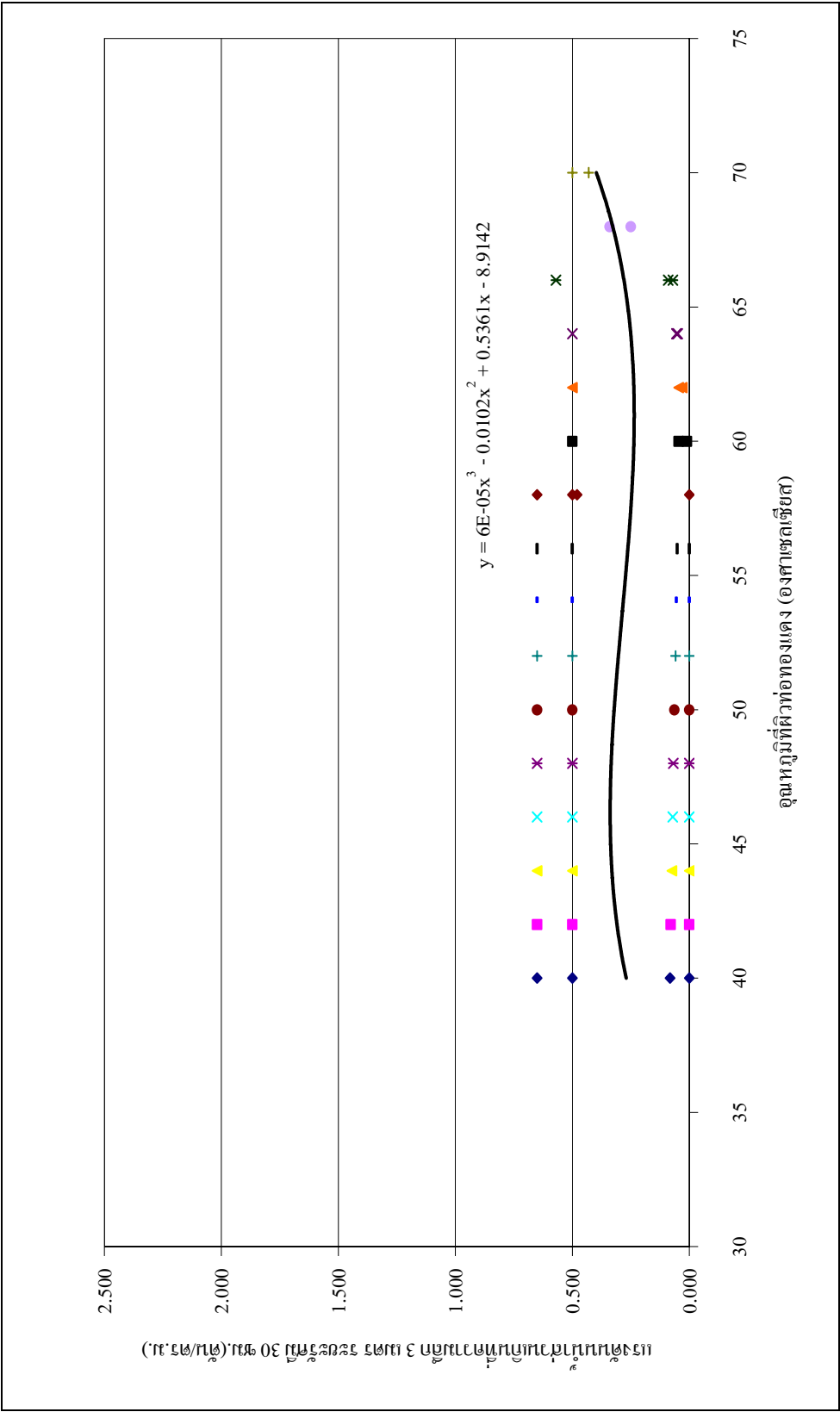
ภาพที่ 101 การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงลดลง



ภาพที่ 102 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 10 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง



ภาพที่ 103 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำส่วนเกินความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 20 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง



ภาพที่ 104 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 30 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง

5. การหลุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

การวัดค่าการหลุดตัวจากเครื่องมือวัด พบว่าไม่มีการหลุดตัวเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยความร้อน มีผลอยู่ในช่วงระยะรัศมีไม่มากและมีจุดให้ความร้อนเพียง 1 จุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้รับผลเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อนโดยรอบ จึงทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดการหลุดตัวของพื้นที่ได้

6. ผลทดสอบ Cone Penetration Test (CPT)

ผลการทดสอบ CPT แสดงดังภาพที่ 105 โดยทำการทดสอบ CPT 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ทำการปรับปรุงดินด้วยความร้อน และตำแหน่งที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยความร้อน ค่าการทดสอบที่ได้ของทั้งสองตำแหน่งมีค่าไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะการทดสอบ CPT ไม่เหมาะสมกับดินเหนียวอ่อนที่มีความอ่อนตัวสูง เนื่องจาก CPT ต้องใช้แรงต้านของดินเป็นค่าในการวิเคราะห์ผลต่างๆ ทำให้ค่าที่ได้ไม่สามารถแยกแยะออกจากกันได้อย่างชัดเจน

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 12 และ 13

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของดินที่ไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน

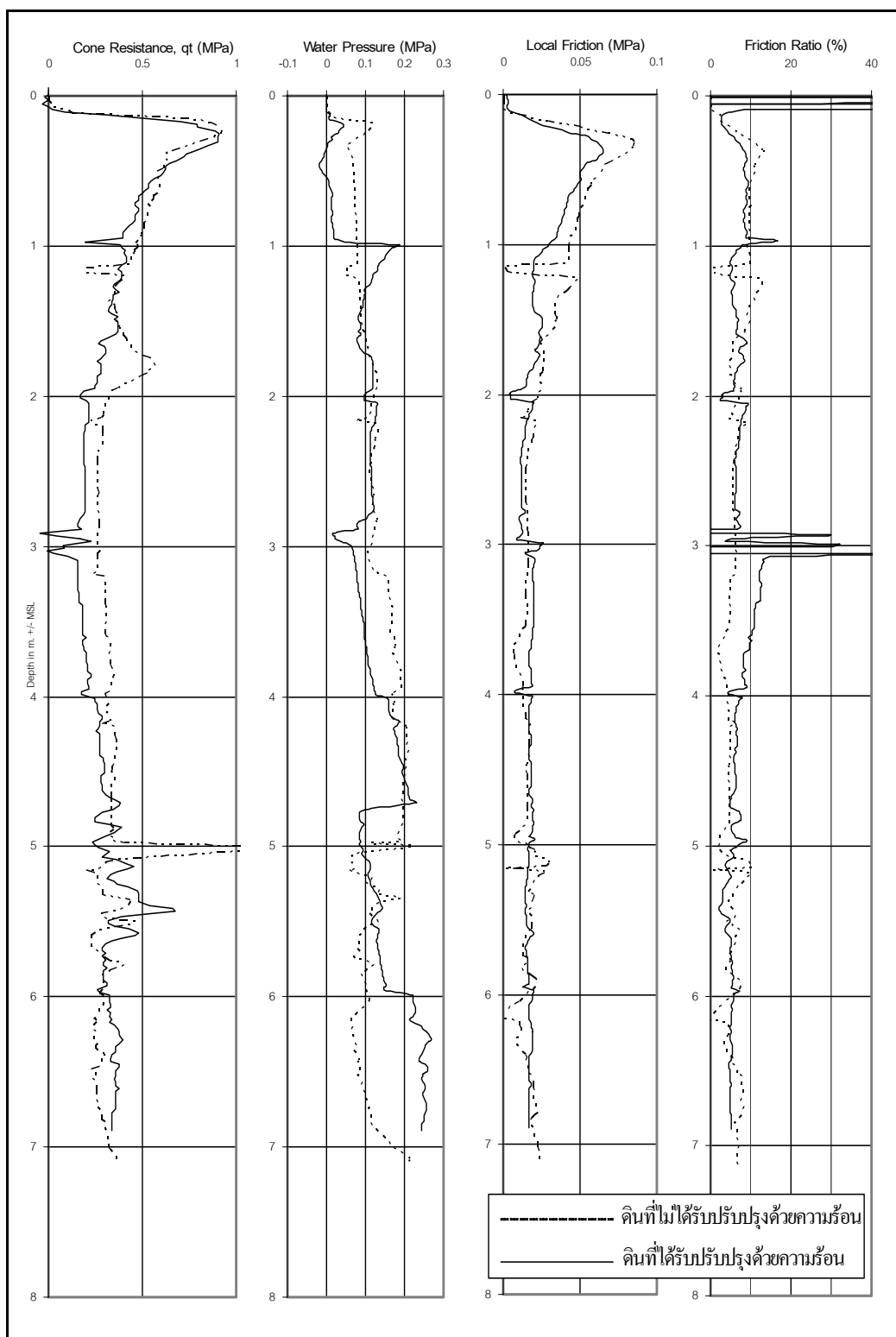
ความลึก (ม.)	γ_t (t/m ³)	γ_{dry} (t/m ³)	Gs	e	Wn (%)	LL (%)	PL (%)	PI	Su (t/m ²)	σ'_p (t/m ²)	OCR
1-2	1.699	1.106	2.72	1.51	53.63	77.13	38.82	38.31	1.7	6.2	1.46
2-3	1.842	1.060	2.65	2.42	82.93	53.61	30.17	23.44	1.4	9.0	1.31
3-4	1.497	0.813	2.65	2.47	84.98	84.04	36.97	47.07	1.3	8.8	1.02
4-5	1.501	0.811	2.65	2.56	80.70	64.26	28.84	35.42	1.0	11.0	1.08

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

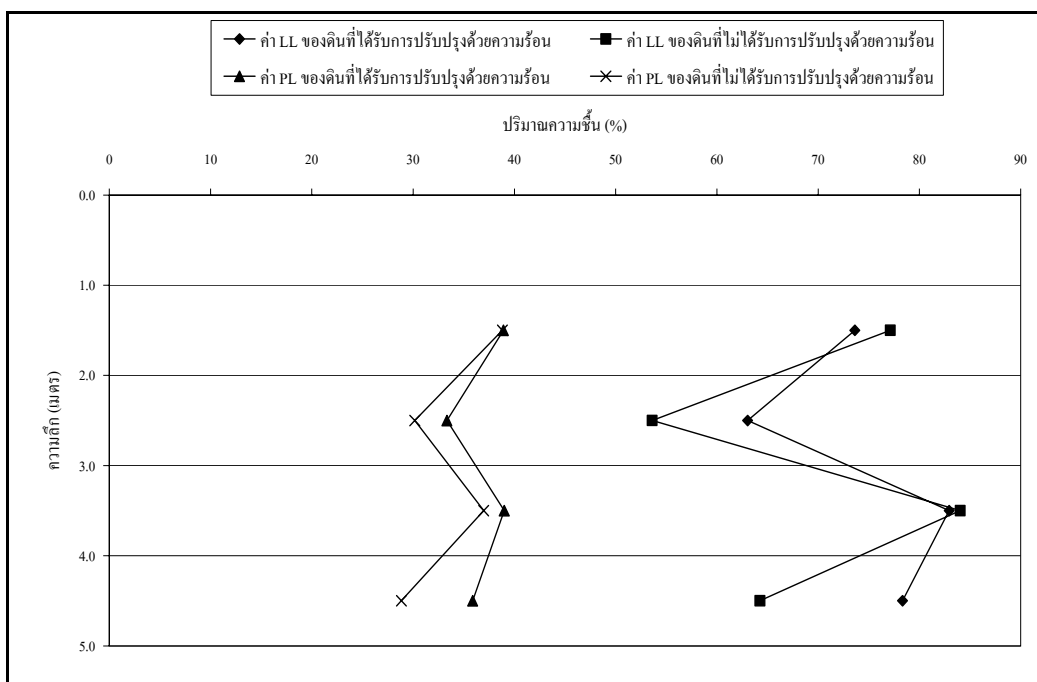
ความลึก (ม.)	γ_t (t/m ³)	γ_{dry} (t/m ³)	Gs	e	Wn (%)	LL (%)	PL (%)	PI	Su (t/m ²)	σ'_p (t/m ²)	OCR
1-2	1.683	1.089	2.70	1.45	54.60	73.62	38.92	34.70	2.6	6.5	1.89
2-3	1.579	0.935	2.65	2.19	70.52	63.04	33.33	29.71	2.0	12.0	1.95
3-4	1.510	0.816	2.66	2.32	82.20	82.94	39.00	43.94	1.8	8.0	1.02
4-5	1.494	0.791	2.65	2.41	80.03	78.34	35.89	42.45	1.7	9.5	1.02

ผลการทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ค่าที่ได้ค่อนข้างคล้ายกันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Towhata *et al.*, (1994) และ Gabrielsson *et al.*, (1997) แสดงดังภาพที่ 106

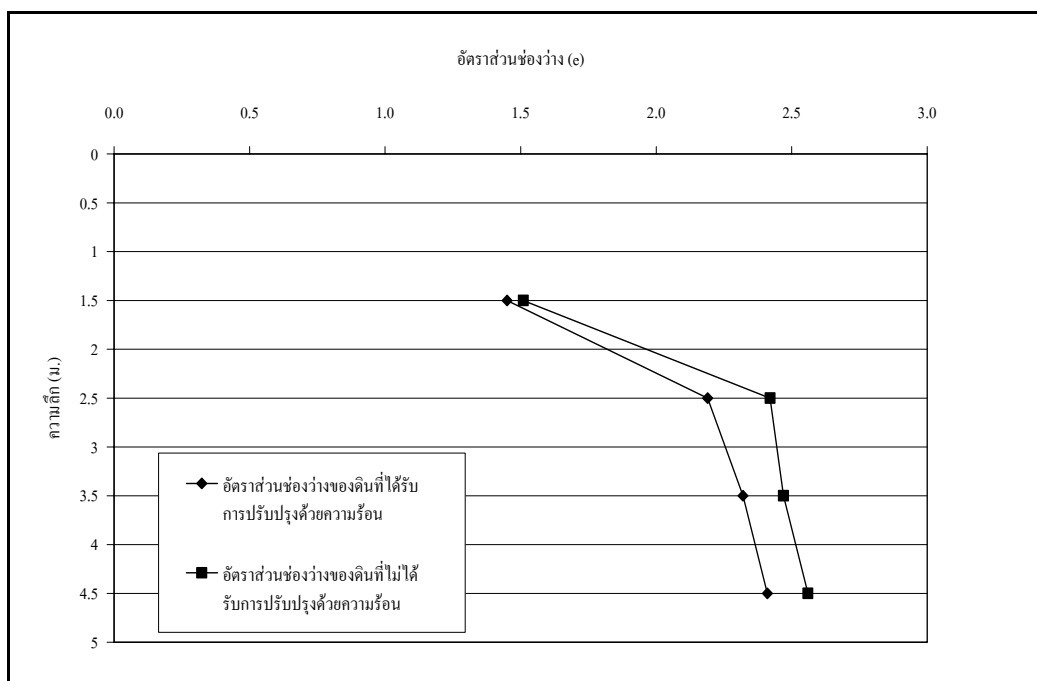
ผลการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร ที่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน กับดินที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนในบริเวณใกล้เคียงไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบการอัดตัวคายนํ้าจากห้องปฏิบัติการ ได้ค่าอัตราส่วนช่องว่างในดินหลังการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อนมีค่าลดลงประมาณ 3-9% แสดงดังภาพที่ 107 เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบในสนามพบว่าแรงดันนํ้าส่วนเกินมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ 0 จากเป็นผลมาจากในระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิ นํ้าในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน และนํ้ารอบอนุภาคดิน (Double Layer) เกิดการขยายปริมาตร ทำให้ขยายความหนาของชั้นนํ้ารอบอนุภาคดิน และนํ้ามีความหนืดลดลง ส่งผลให้นํ้าสามารถไหลออกจากอนุภาคดินได้ง่าย หลังจากให้นํ้าไหลออกไปจากอนุภาคดินแล้วผลต่อเนื่องคือความหนาของนํ้ารอบอนุภาคดินมีขนาดลดลง ทำให้อนุภาคดินสามารถเคลื่อนที่เข้าหากันได้ใกล้มากขึ้น และดินเกิดการเรียงตัวขึ้นใหม่ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ส่งผลทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีขนาดลดลง และ ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่เกิดขึ้นโดยวิธีแรงอัดแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test) พบว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิม 38-70 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 108)



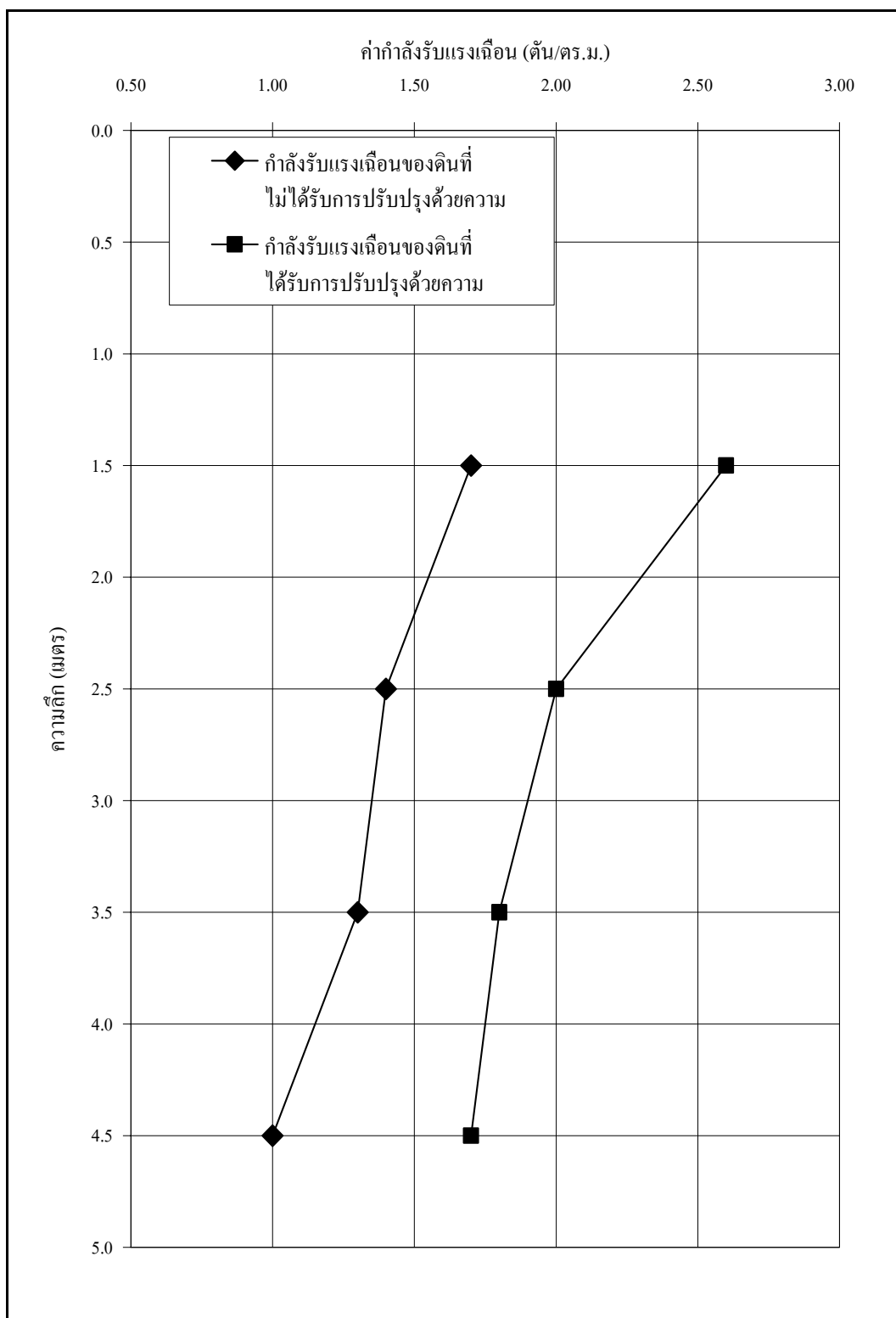
ภาพที่ 105 ผลการทดสอบ Cone Penetration Test (CPT)



ภาพที่ 106 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินที่ไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน และดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อนที่ระยะความลึกต่างๆ



ภาพที่ 107 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนช่องว่าง (e) ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อนที่ระดับความลึกต่างๆ



ภาพที่ 108 เปรียบเทียบค่ากำลังรับรับน้ำหนักของดินก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน จากผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test)