

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

มณฑะเชียร กังคศิเทียม, กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม.

มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2542.

ยงยุทธ ไสถสภ, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชัยสิทธิ์ ทองจู.

ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.

วัชรระ เพิ่มชาติ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.

สง่า ตั้งชวาล. ธรณีวิศวกรรมชั้นพื้นฐาน, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2537.

สมศรี ฤทธิคำ. การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดินในแต่ละระดับความลึก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

สุพจน์ ดวงสินทวีกุล. การทำความเข้าใจให้อาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัย, 2537.

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE. ASHRAE Systems and Equipment Handbooks (SI) 1996. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1996.

ASHRAE. ASHRAE Applications Handbooks (SI) 1999. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1999.

Baruch Givoni and Leon Katz. Earth Temperature and Underground Building, Energy and Building, 8 (1985) :15-25

Chase Powers. Chapter 5 : Installing Ground-Water-Source and Closed-Loop Heat Pumps, Heating Handbook. (n.p.) : McGraw-Hill, 1999.

Daniel Hillel, Chapter 12 : Soil Temperature and Heat Flow, Fundamental of Soil Physics, (n.p., n.d.) : 287-317

Donald W. Abrams, Heat Pumps, Chapter 10 Heat Pumps, Low Energy Cooling. New York, Van Nostrand Reinhold, (1986) : 212-237

Harry O. Buckman and Nyle C. Brady, The Nature and Properties of Soils. 2 nd Edition, (n.p. , n.d.) : 258-260

http://www.afcesa.af.mil/Directorate/CES/Mechanical/Tech_Data_Bul/grd-src-heat-pumps.html

http://www.groundloop.com/f_geothermal.htm

http://www.pnl.gov/fta/2_ground.htm

<http://www.taunton.com/fh/features/materials/56heatpump.htm>

J.A. Edwards, P.K. Vitta, Heat Transfer from Earth-Coupled Heat Exchanger – Experimental and Analytical Results. ASHRAE Transactions. 91 (1985) :70-80

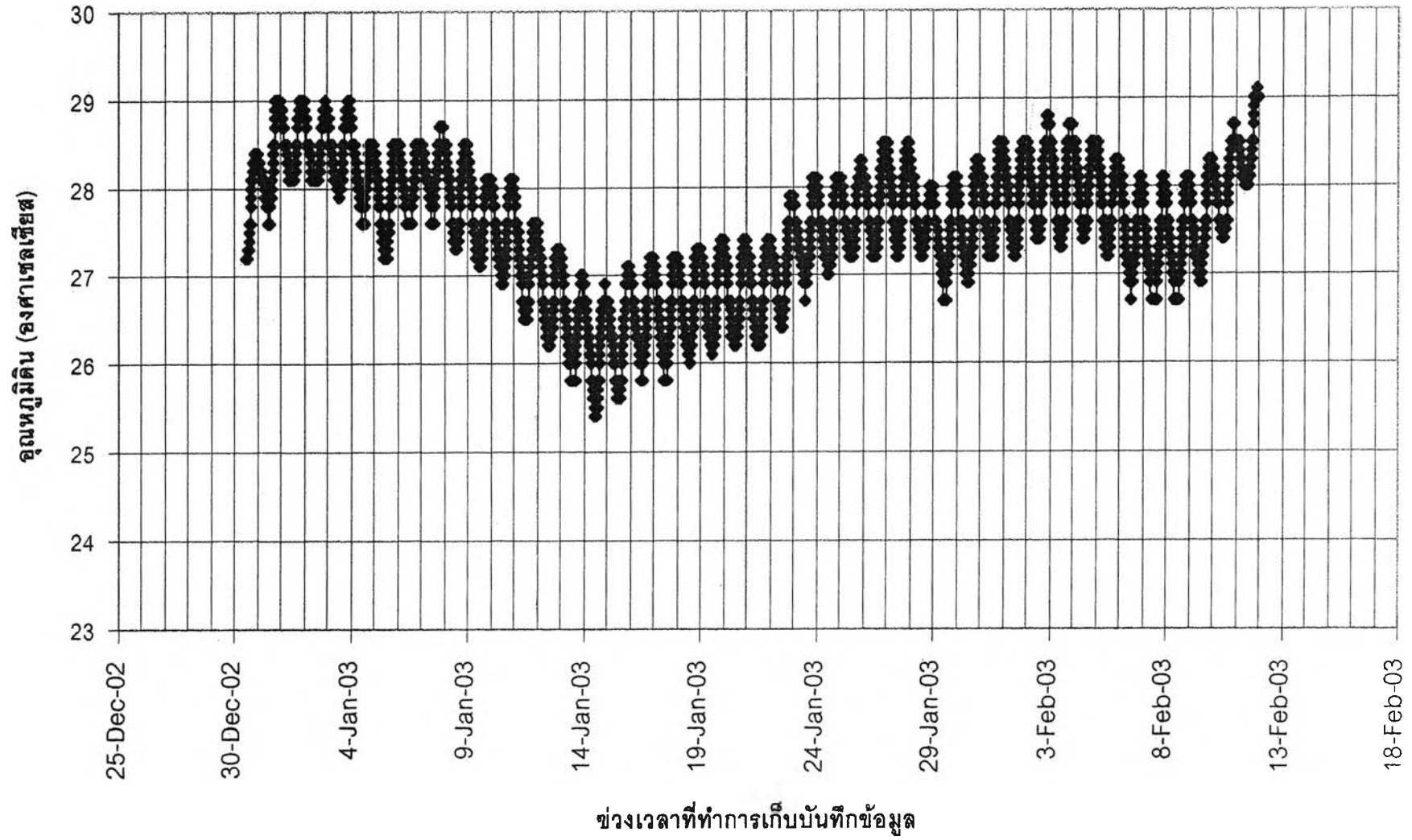
M. Santamouris and D. Asimakopoulos. Passive Cooling of Building. : 368-369

M. Santamouris, G. Mihalakakou, C.A. Balaras, A. Argiriou, D. Asimakopoulos and M. Vallindras. Use of Buried Pipes for Energy Conservation in Cooling of Agricultural Greenhouses. Solar Energy. 55 (1995) :111-124

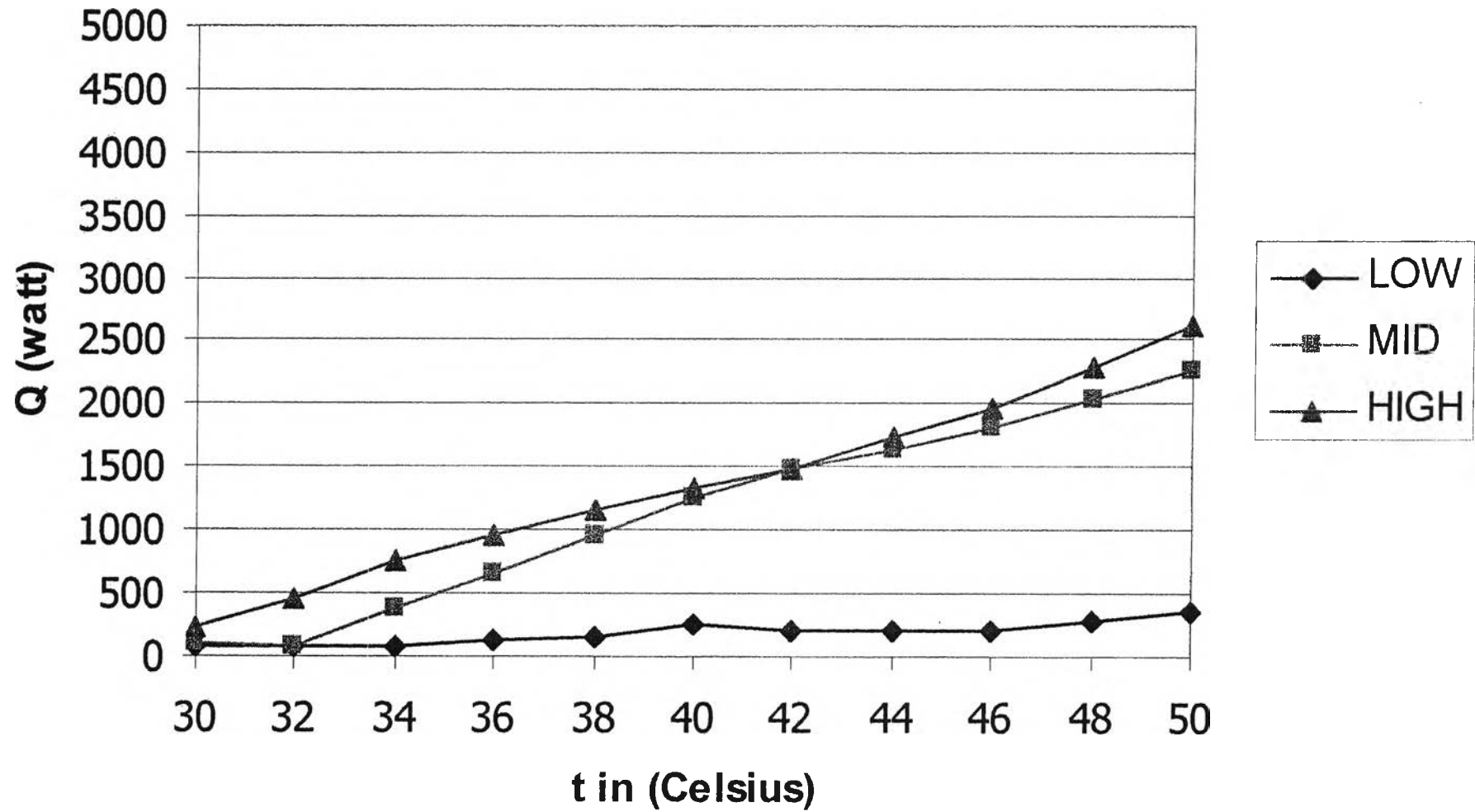
Stoecker, W. F. Design of Thermal Systems. 3rd ed. Malaysia. McGraw-Hill, 1989.

ภาคผนวก

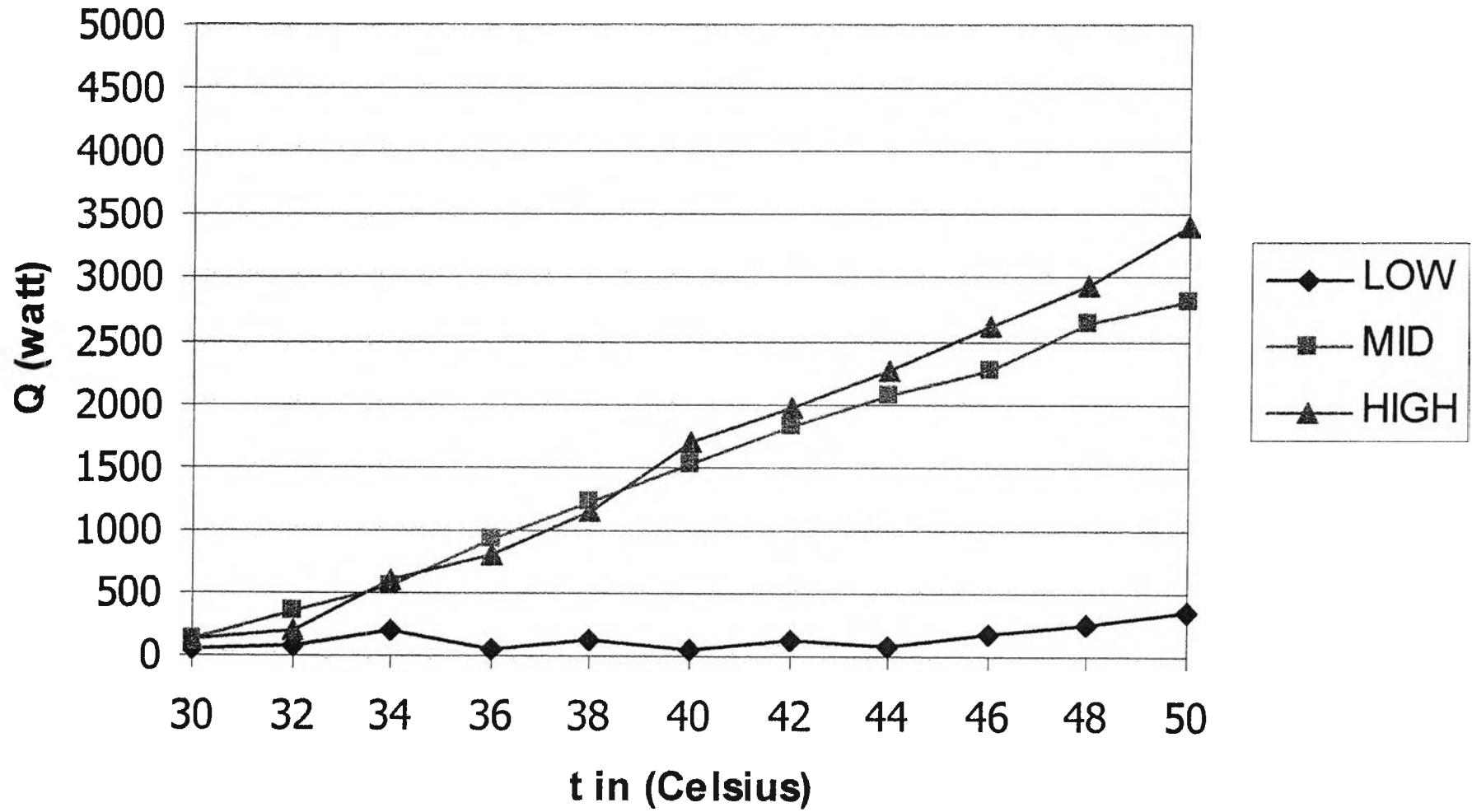
ภาคผนวก ก
กราฟแสดงผลการทดลอง



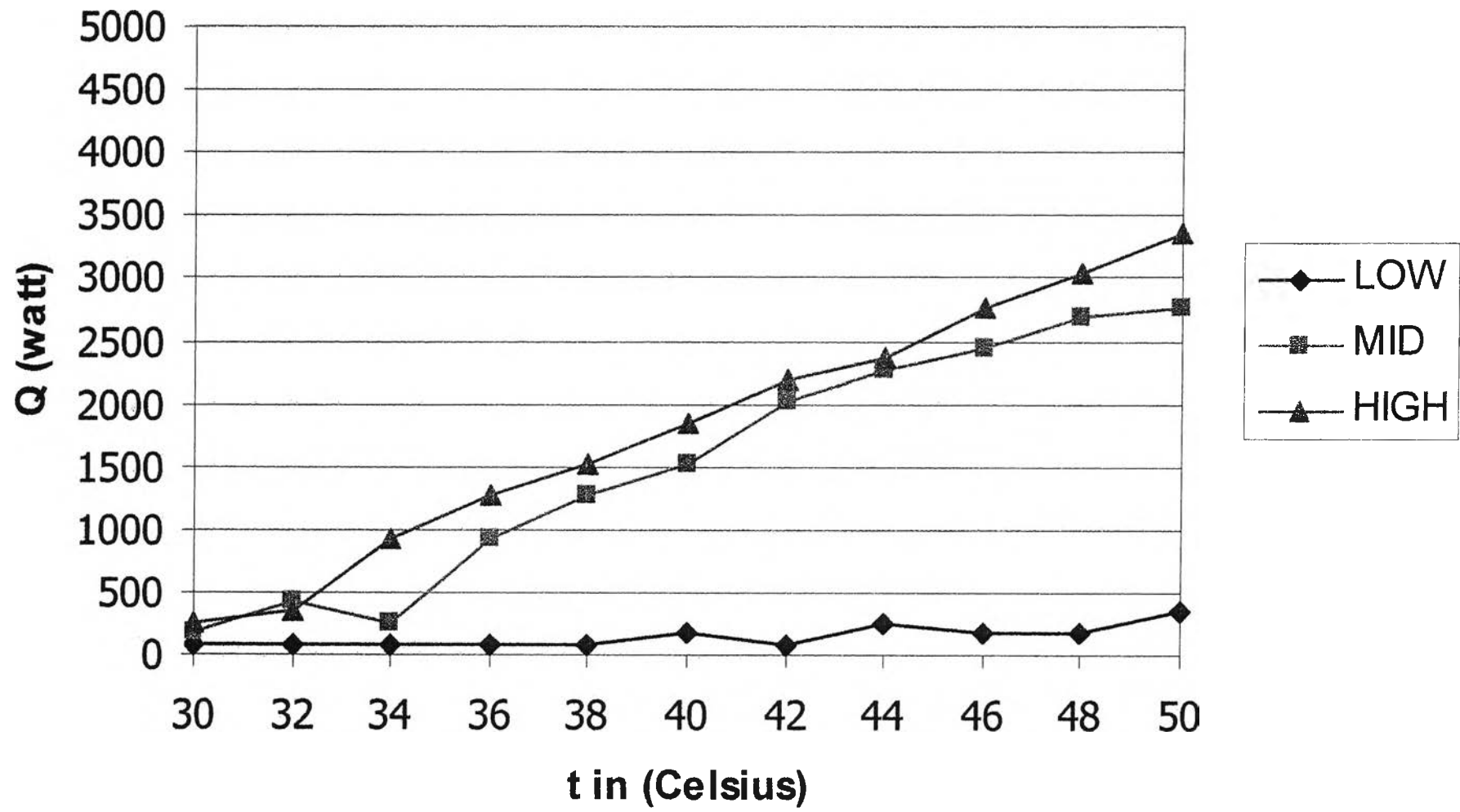
รูปที่ ก.1 แสดงลักษณะของอุณหภูมิติน โดยเลือกใช้ทราย (sand) ในการเก็บข้อมูล ที่ความลึก 0.7 เมตรจากผิวดิน



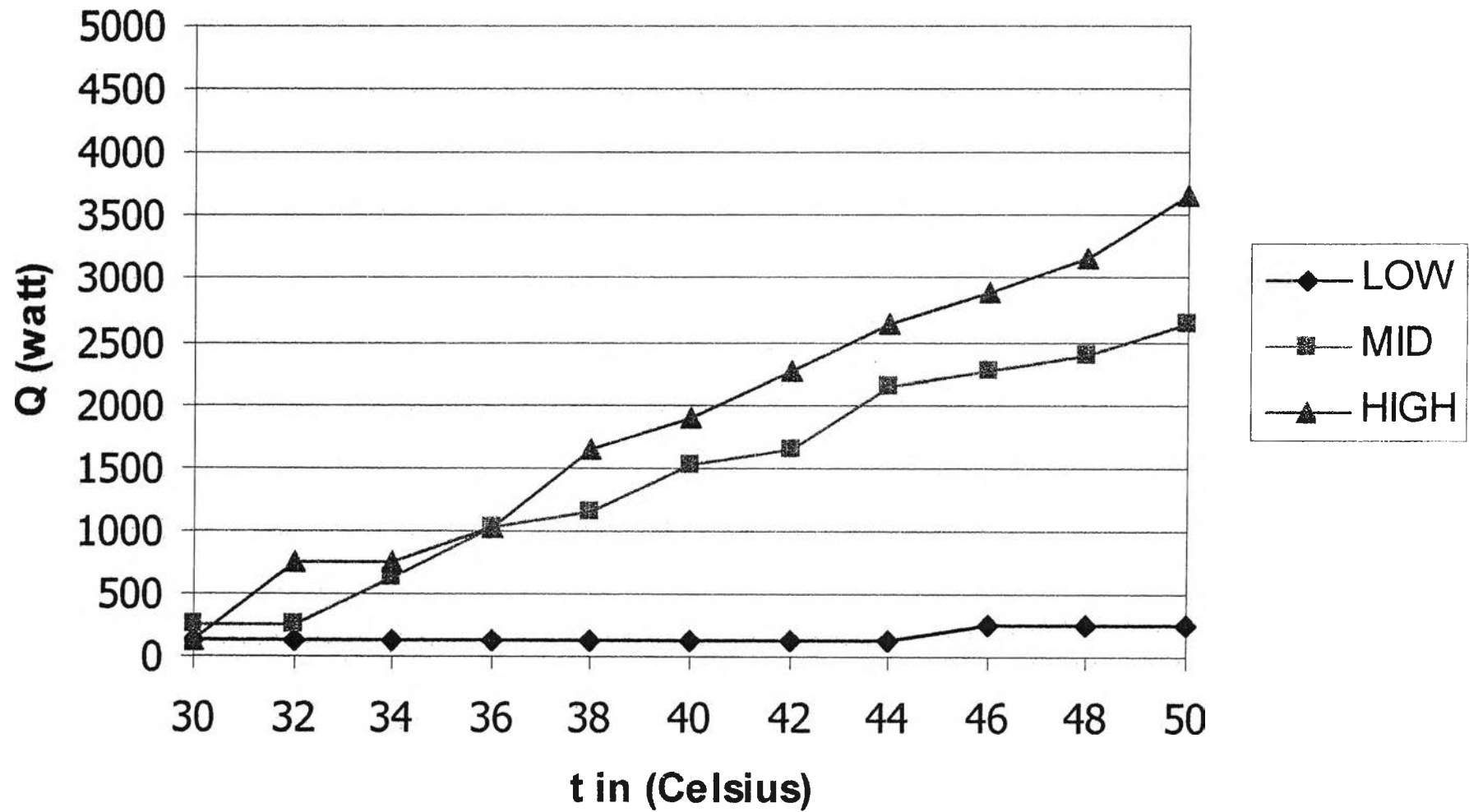
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



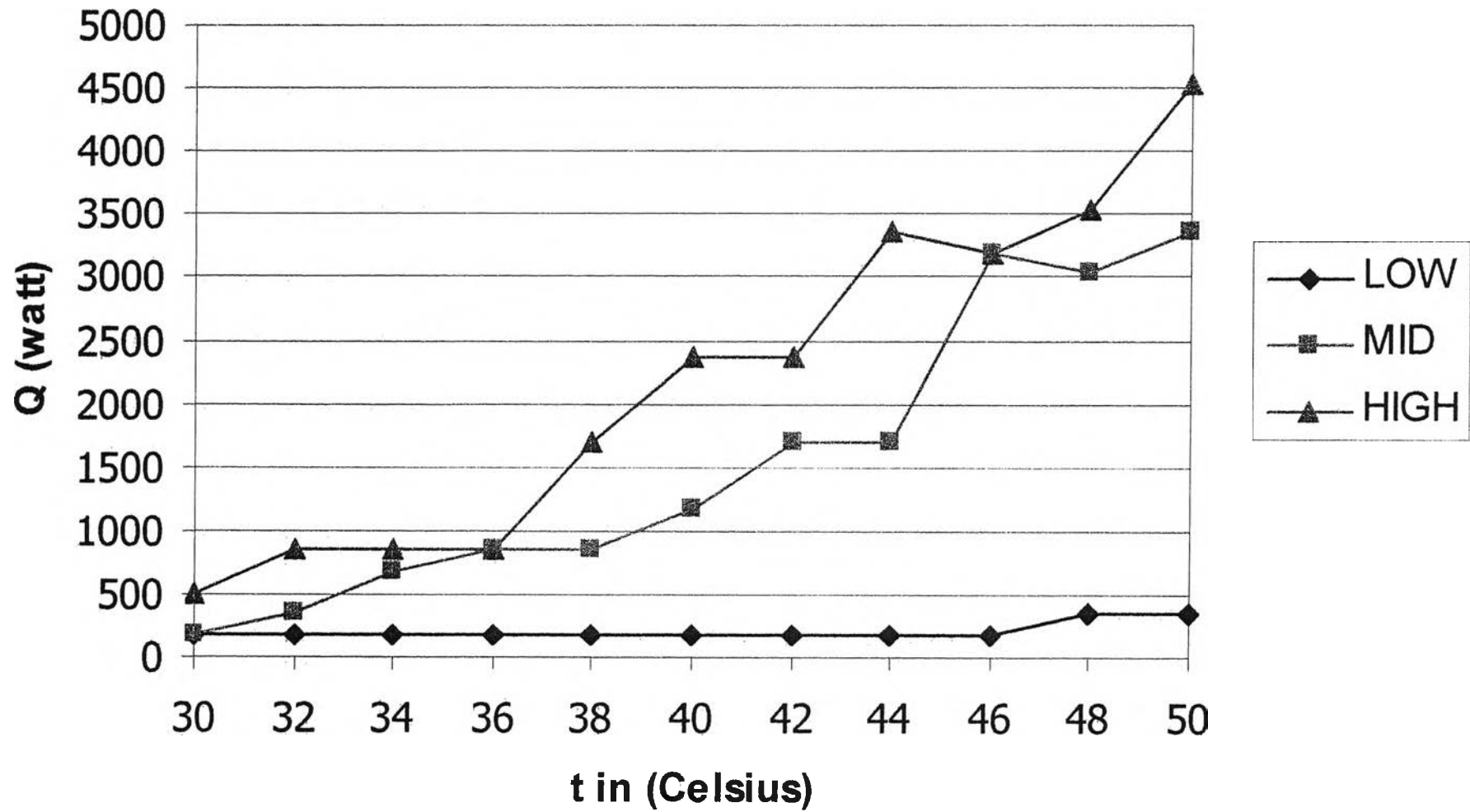
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



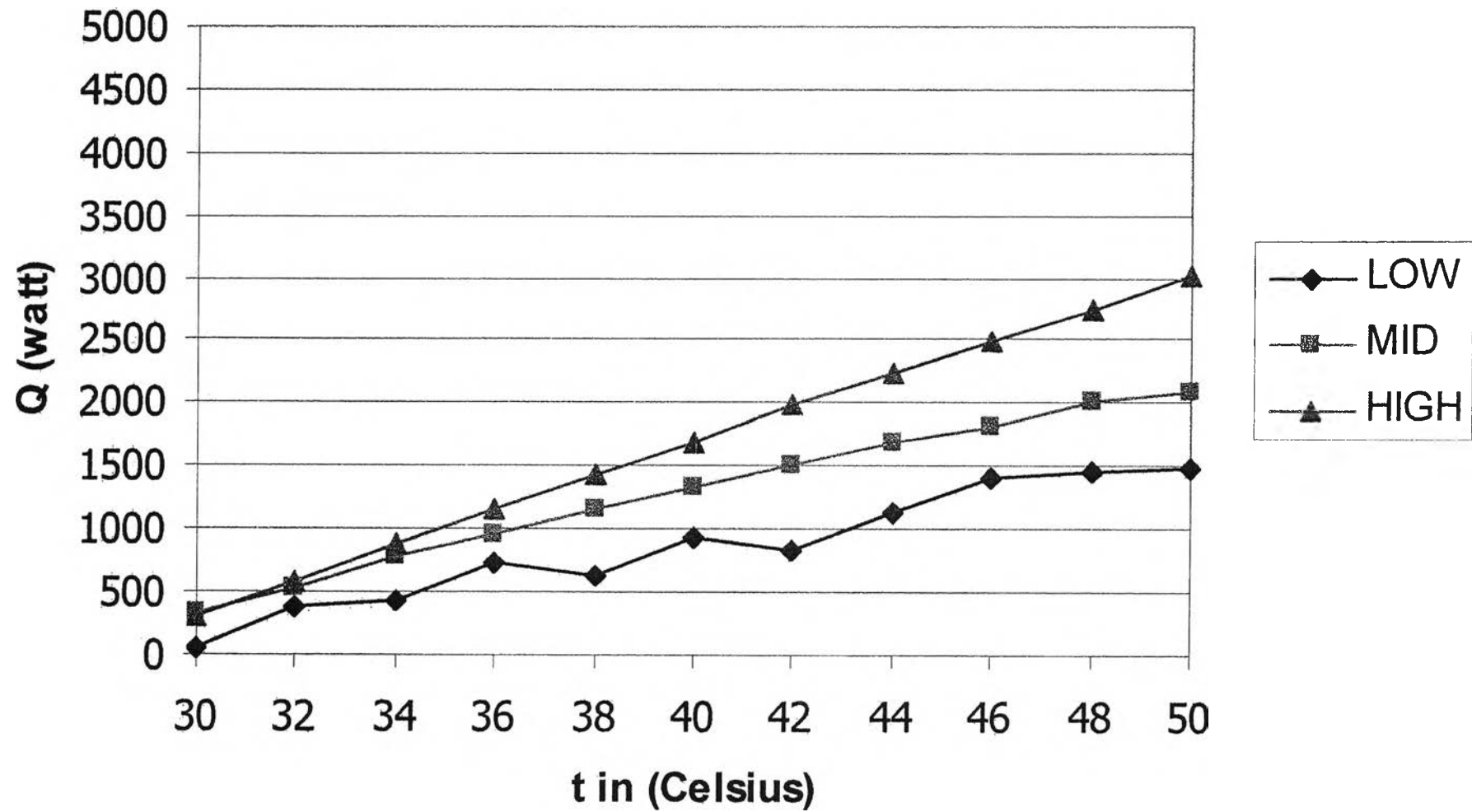
รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



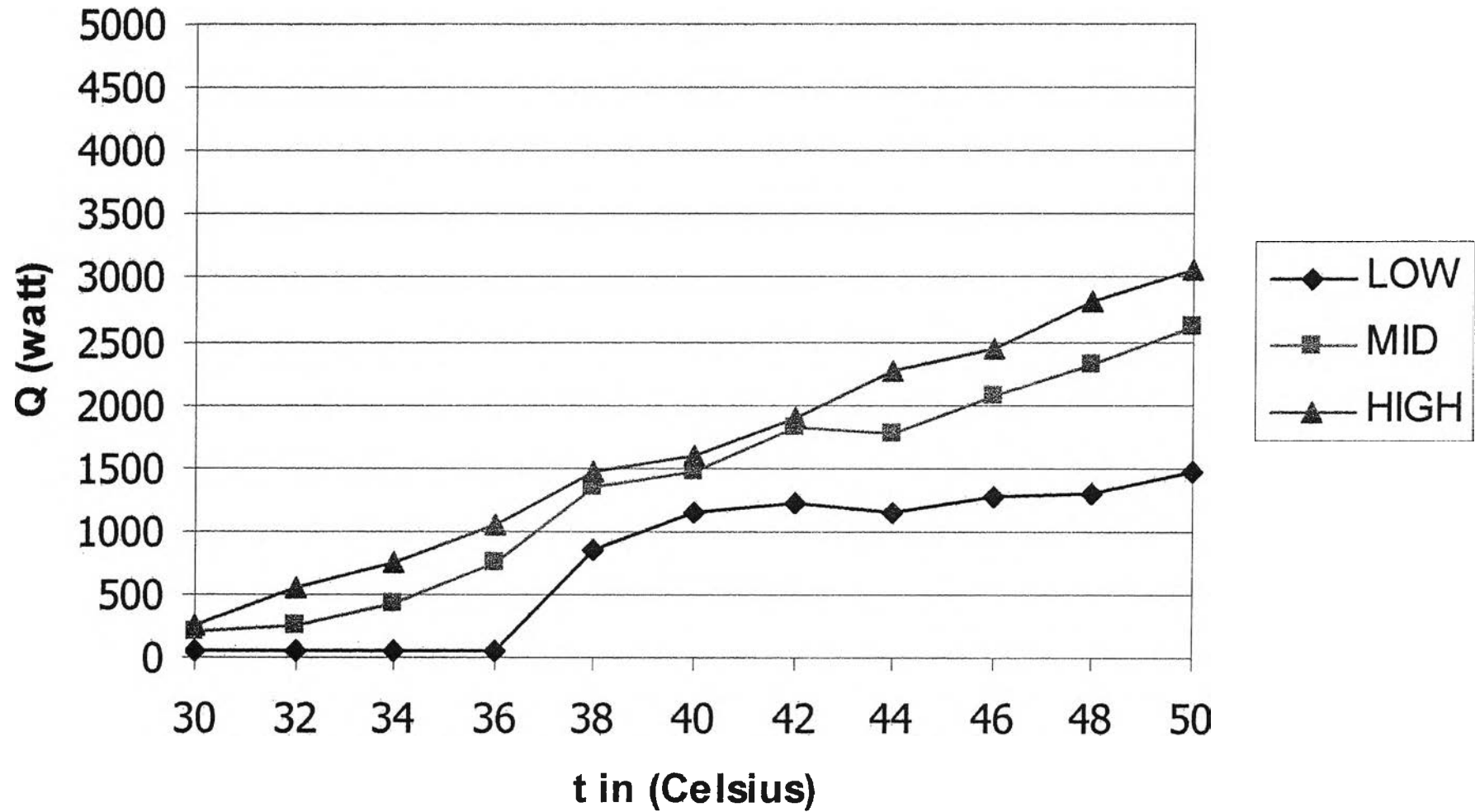
รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



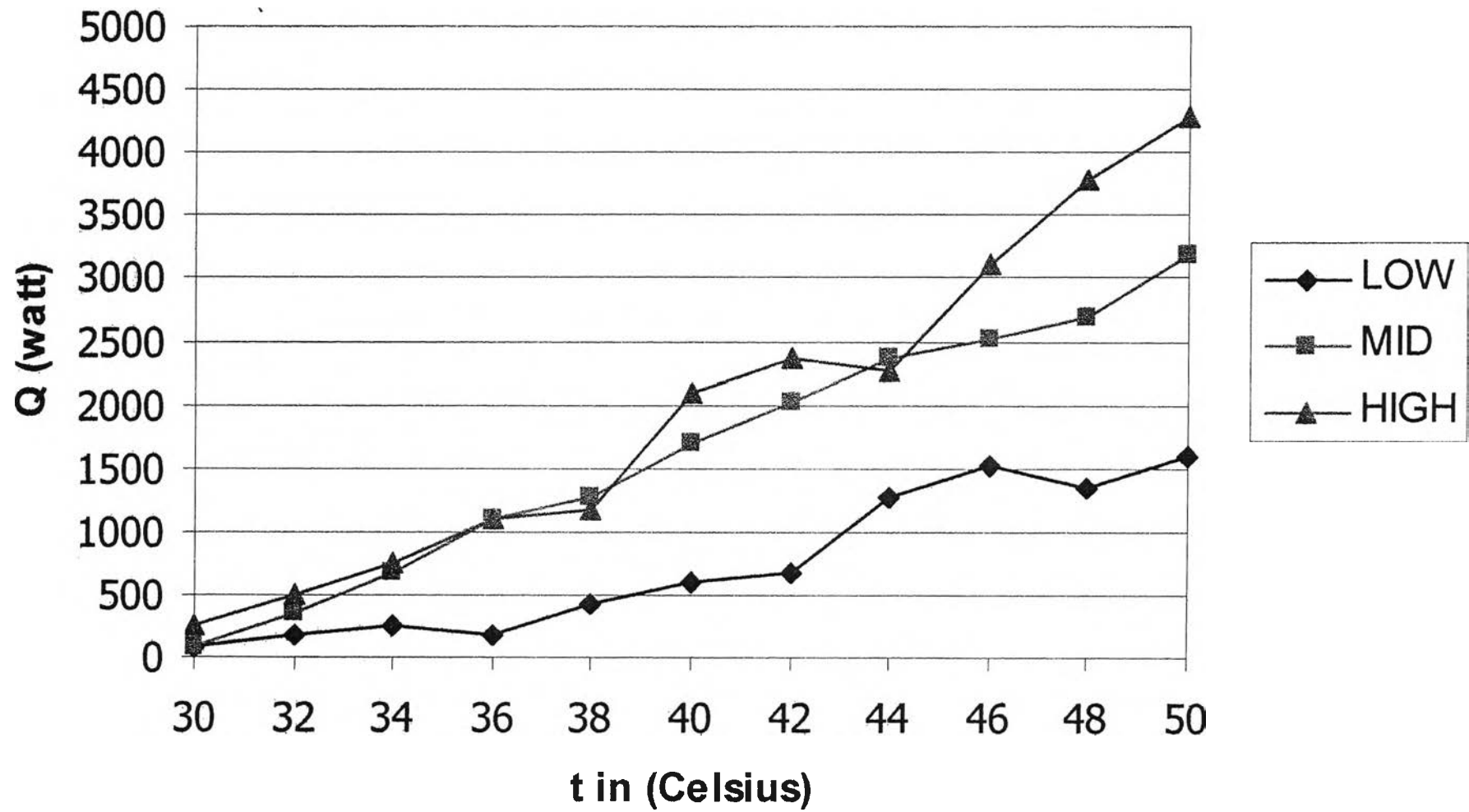
รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



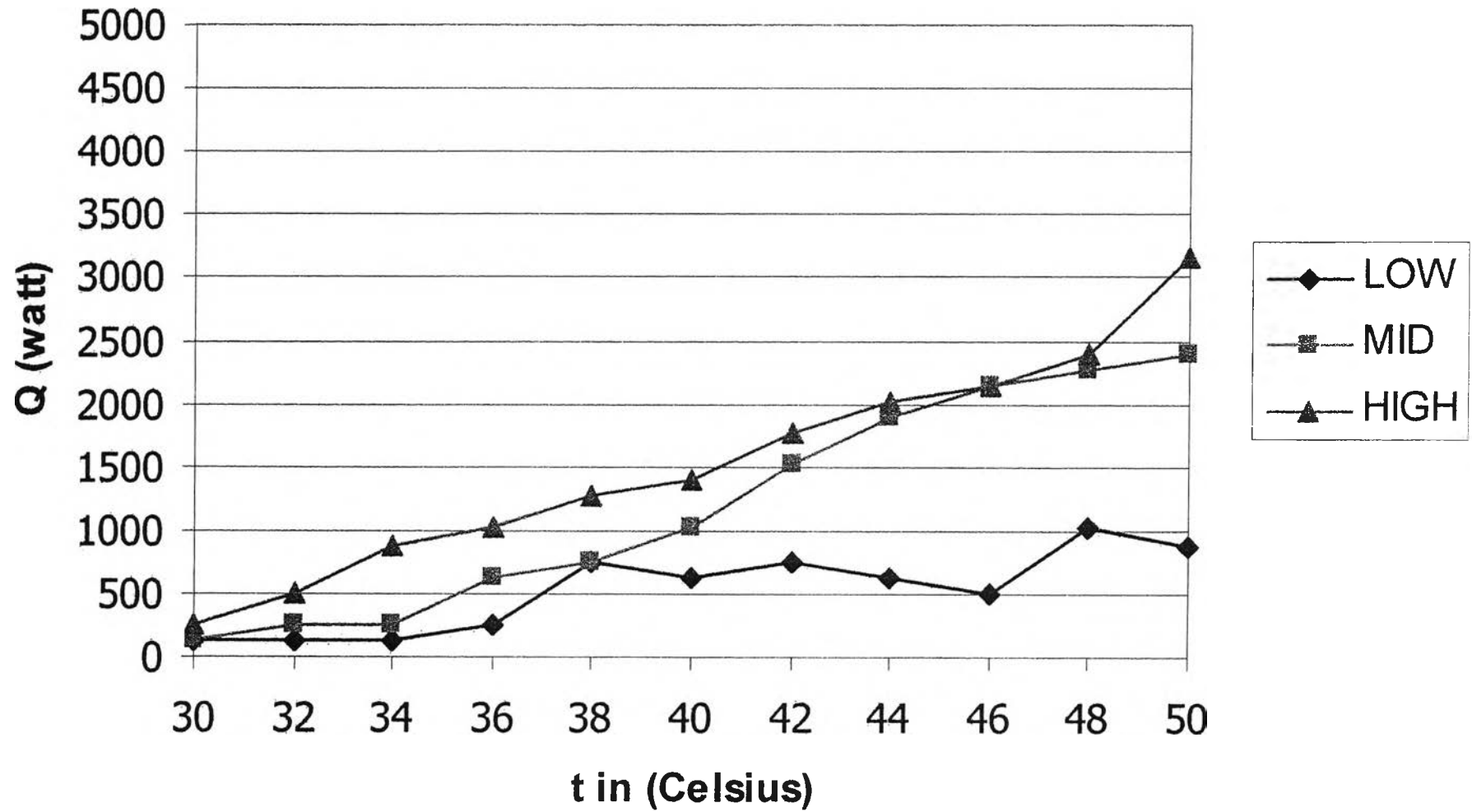
รูปที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปิดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



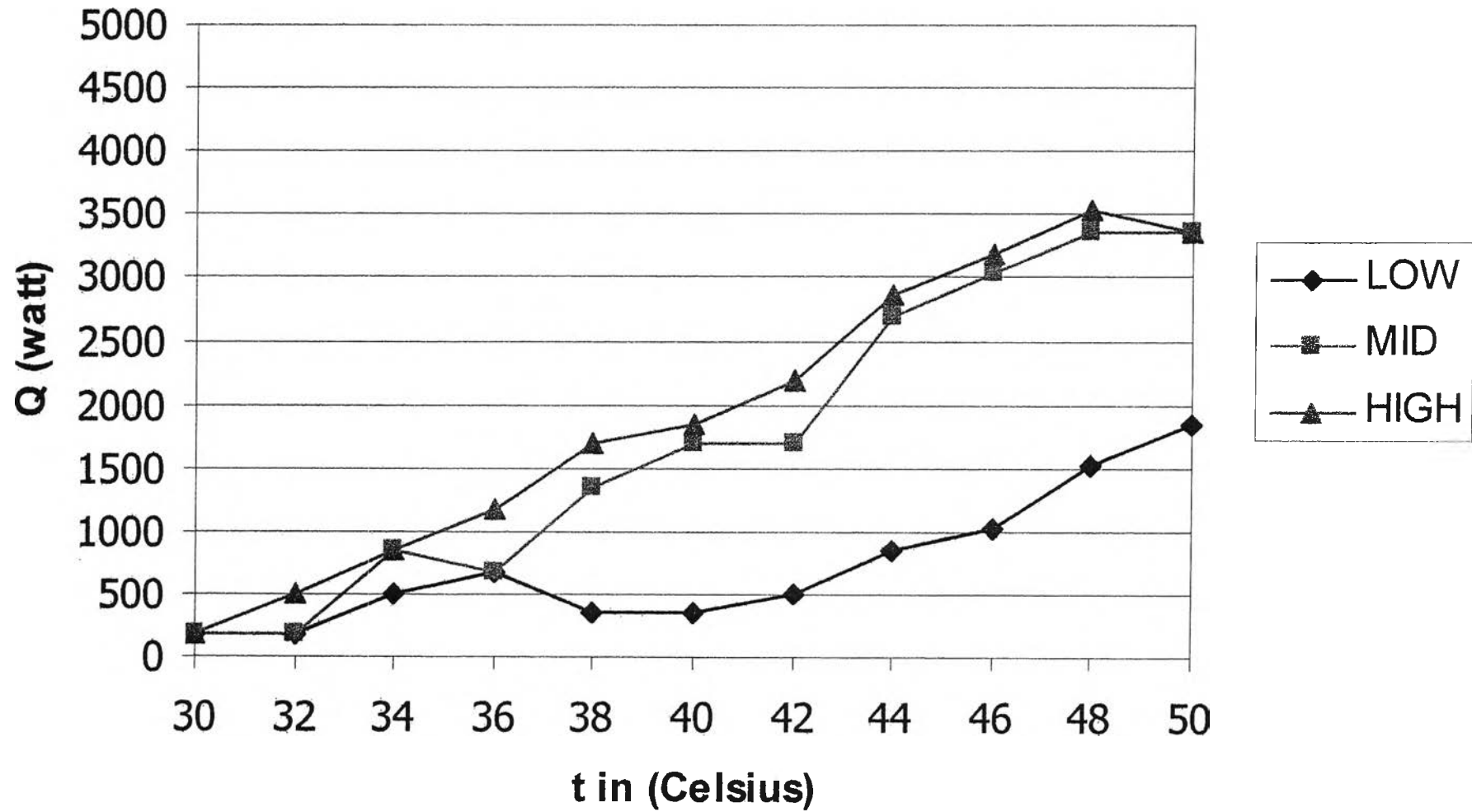
รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



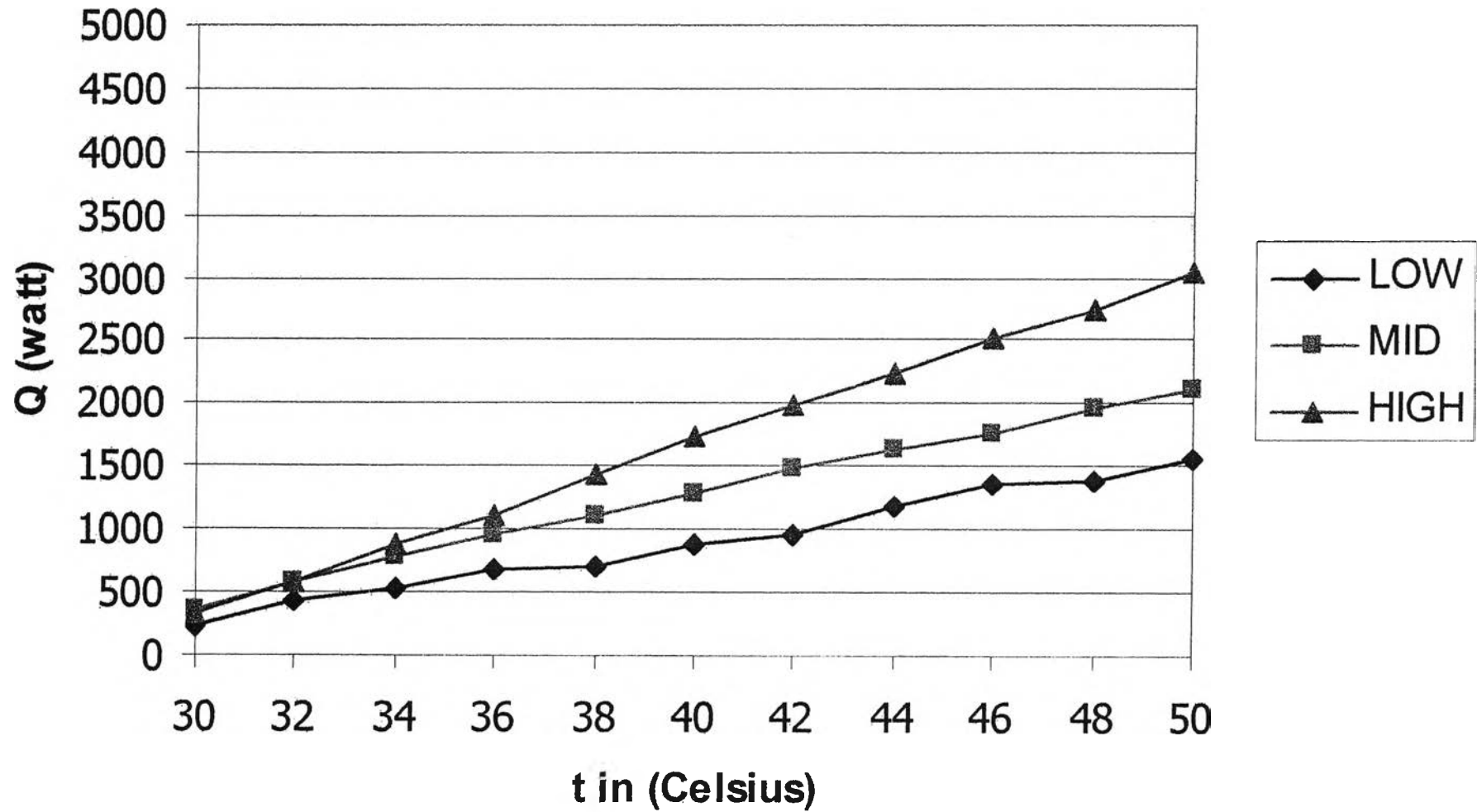
รูปที่ ก.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปิดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



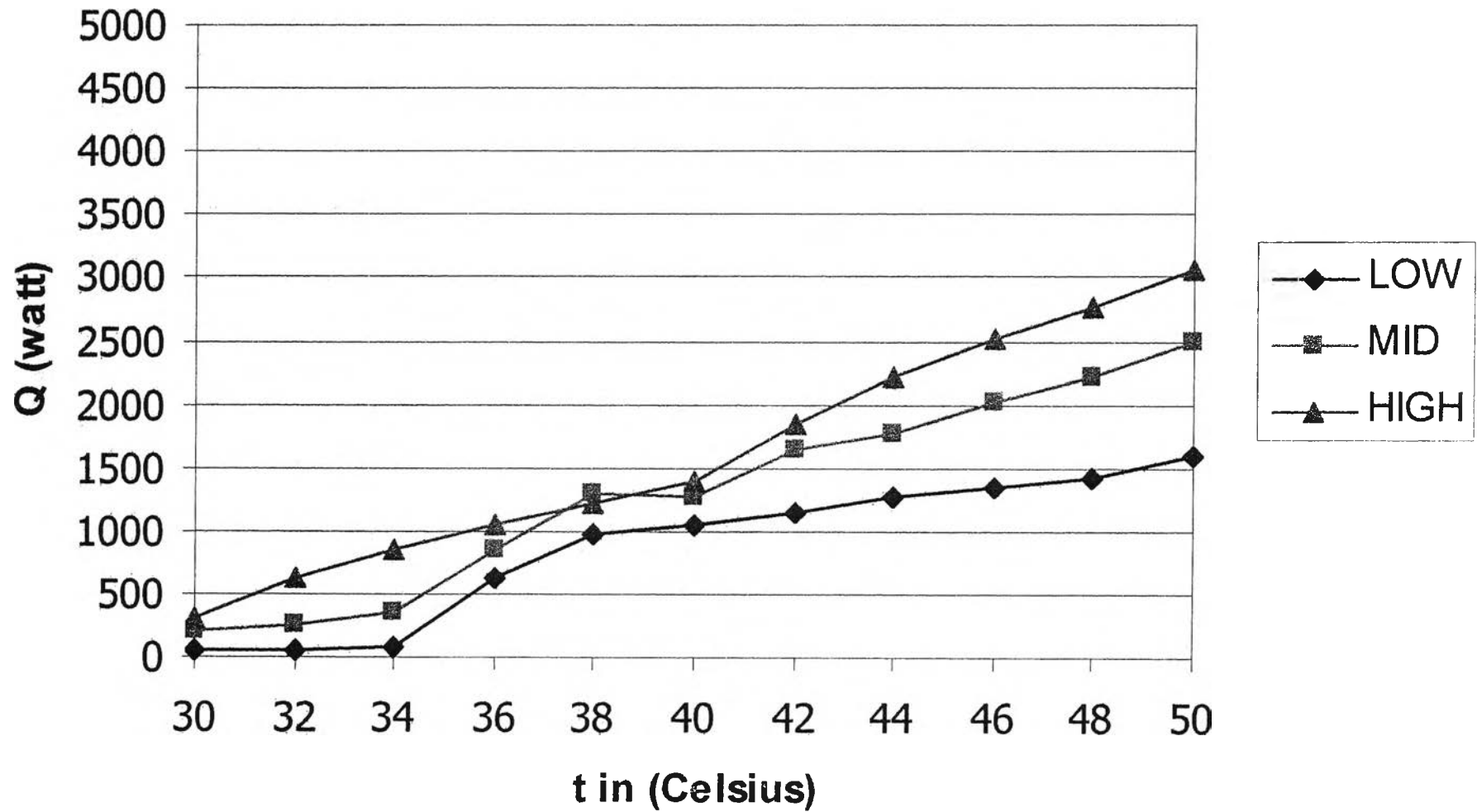
รูปที่ ก.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปิดในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



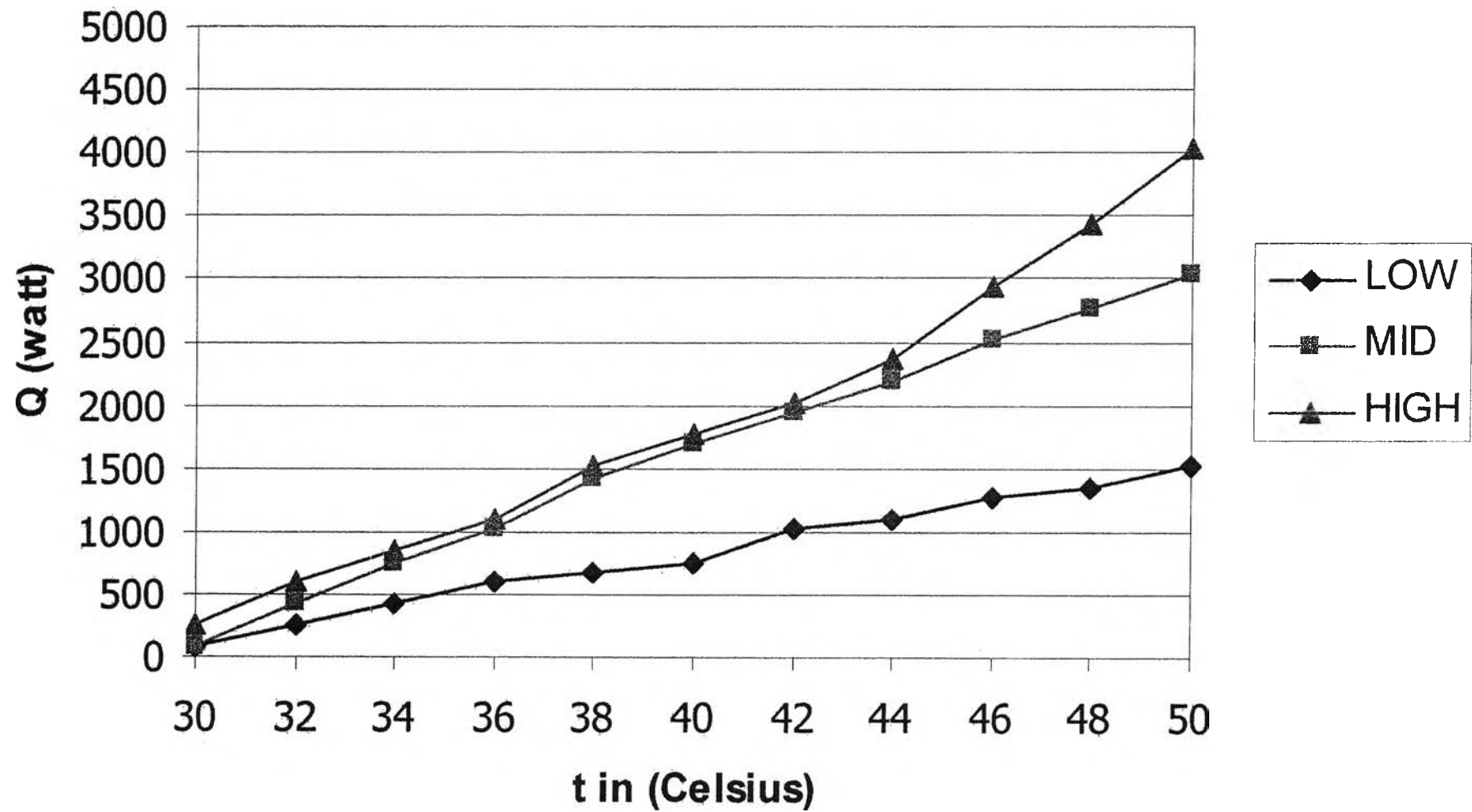
รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



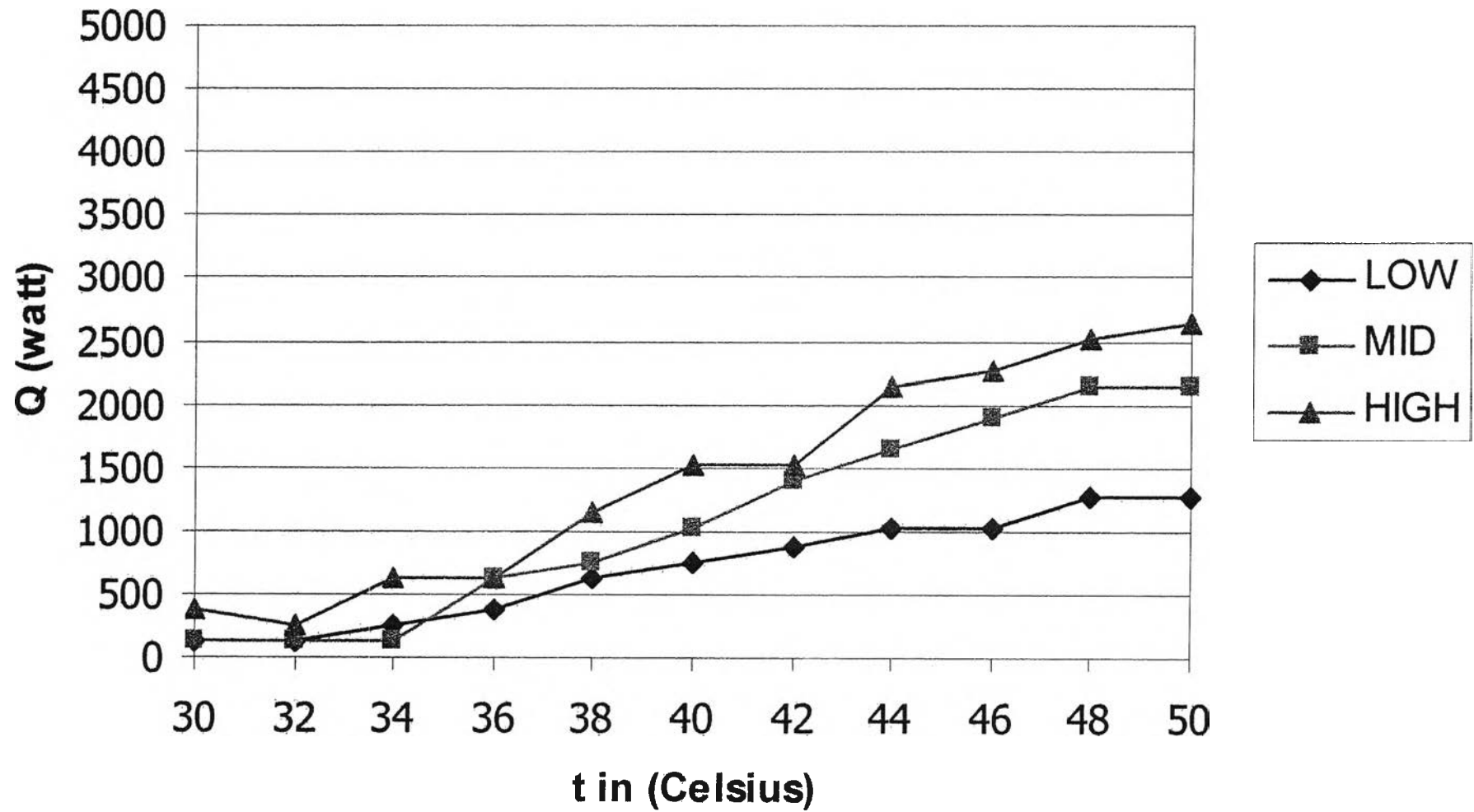
รูปที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



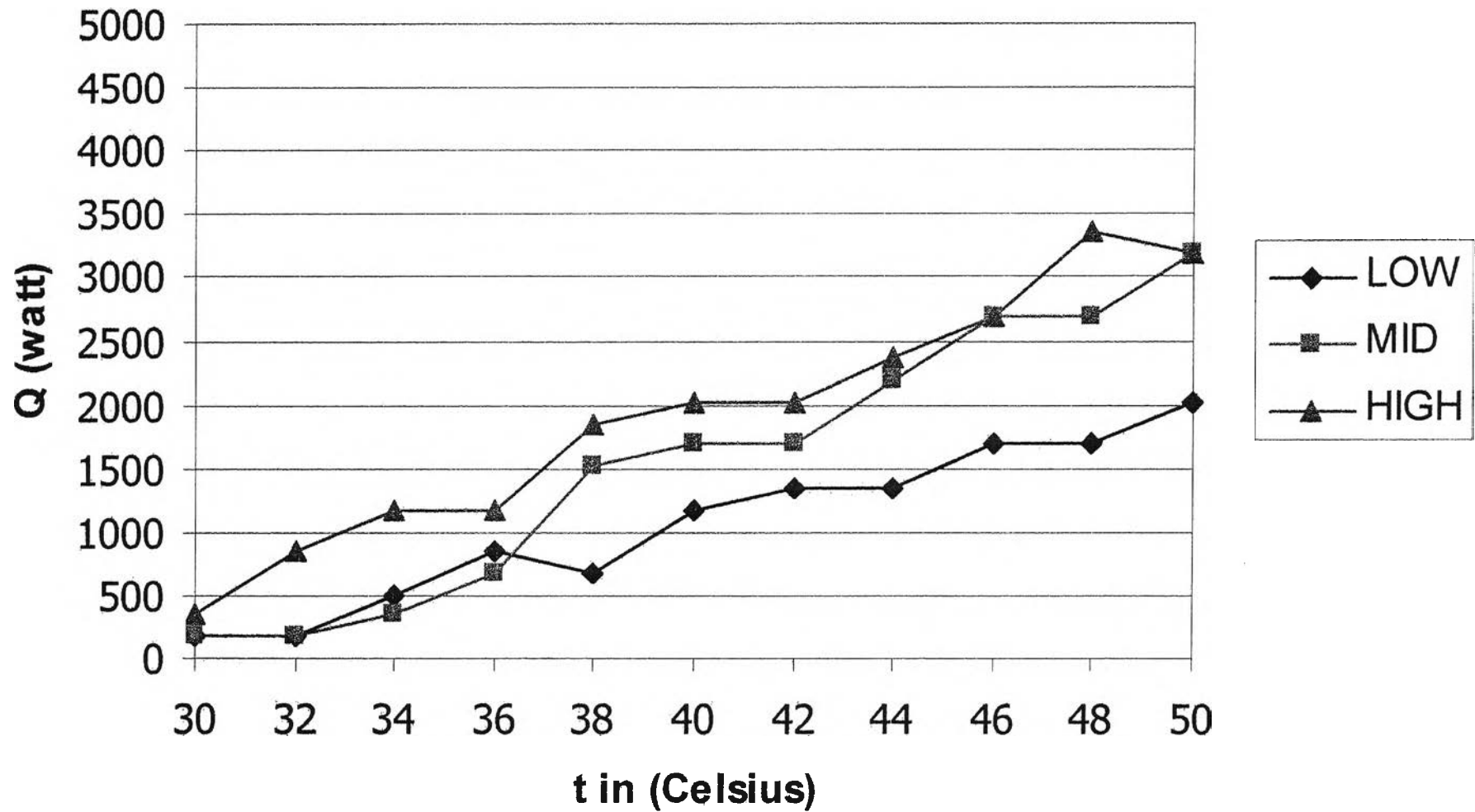
รูปที่ ก.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



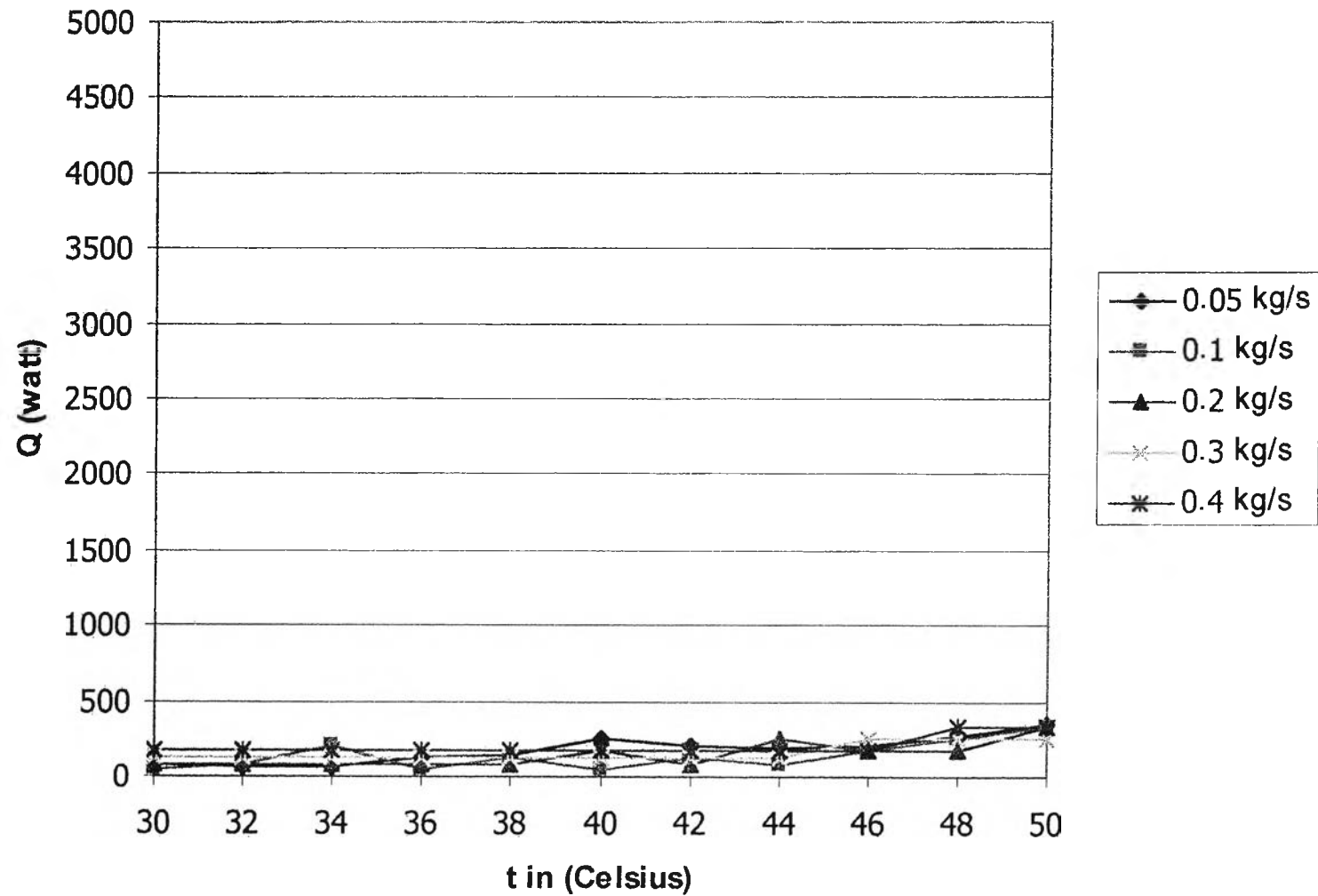
รูปที่ ก.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชดท้อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



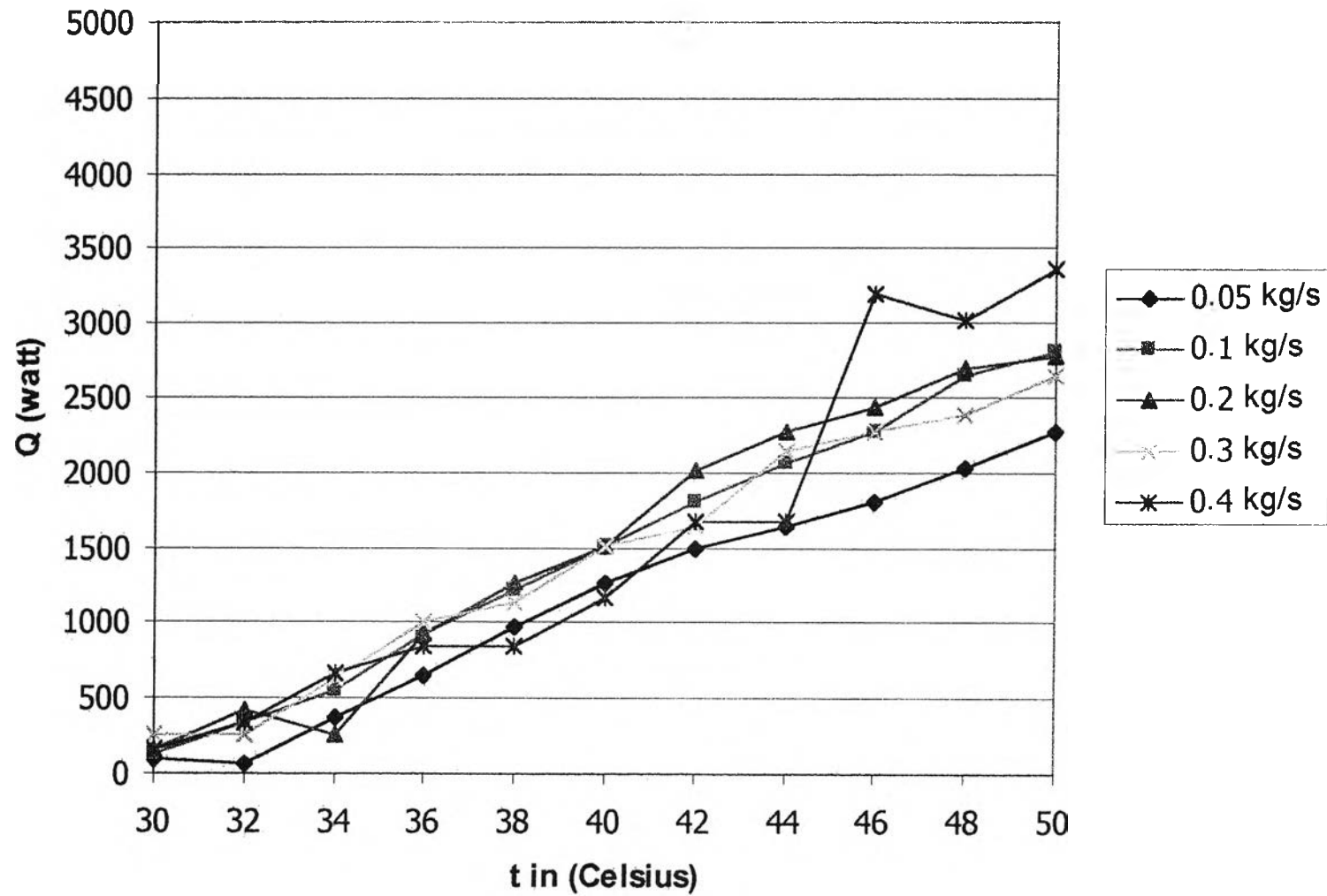
รูปที่ ก.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



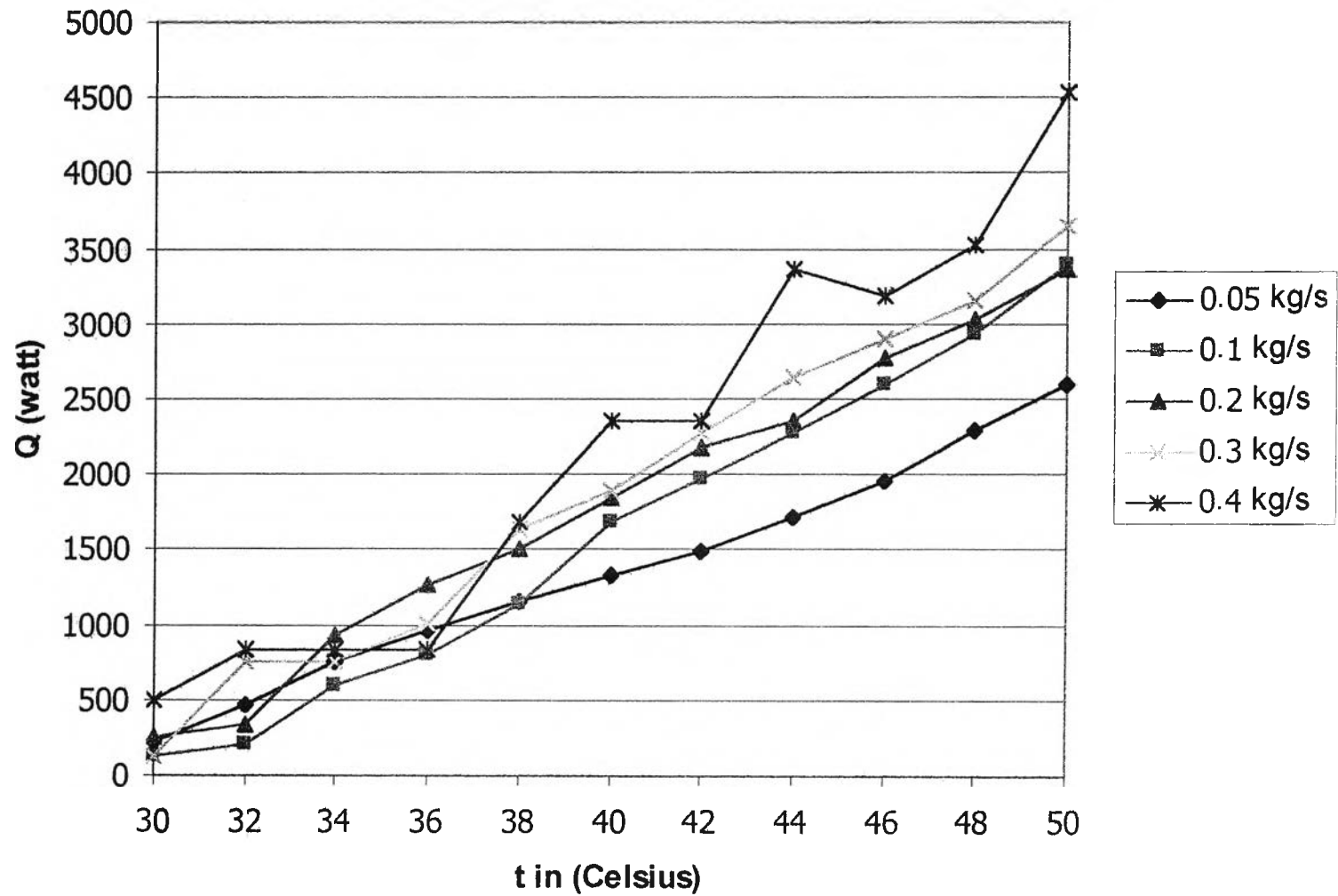
รูปที่ ก.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่คพ้อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



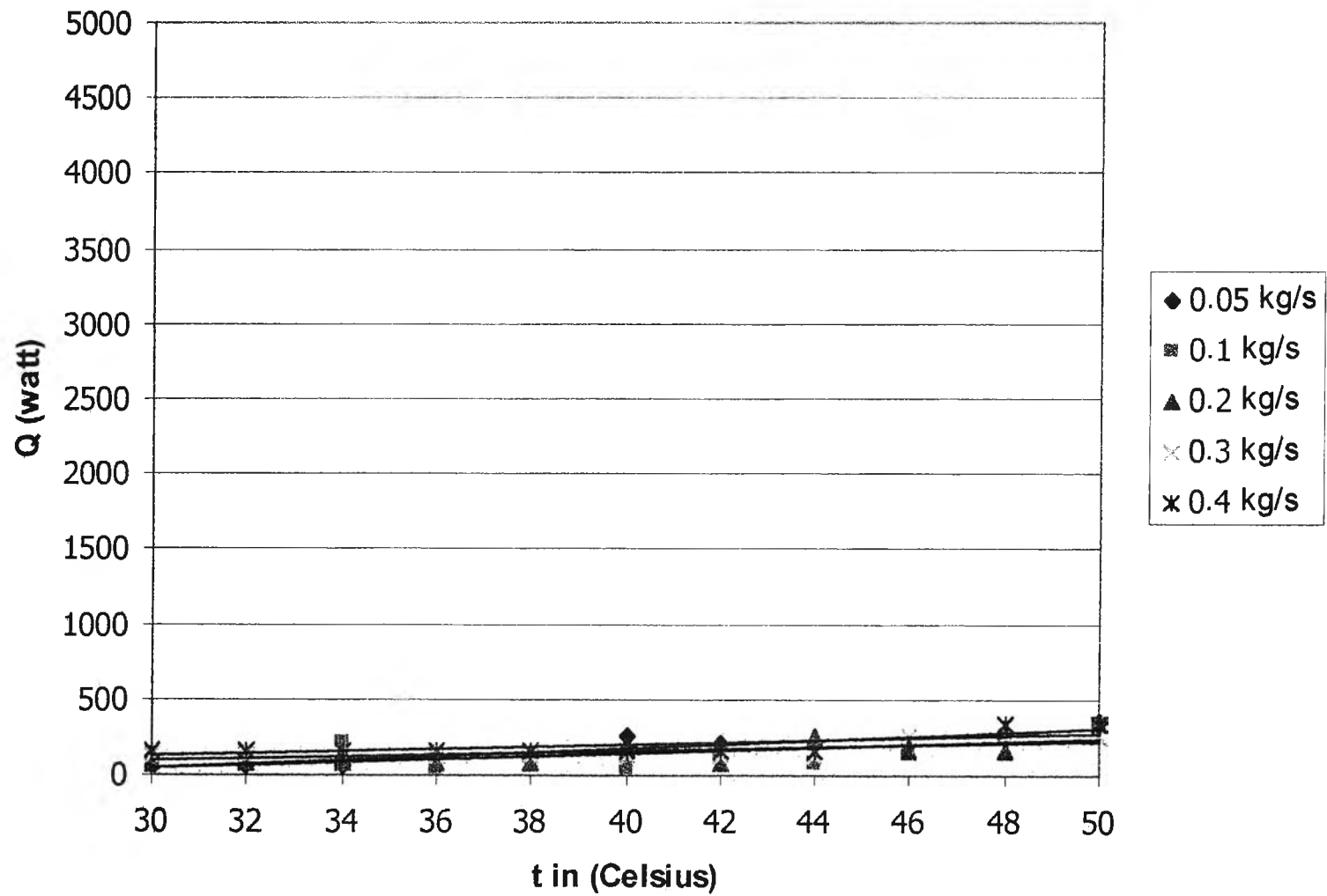
รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%)



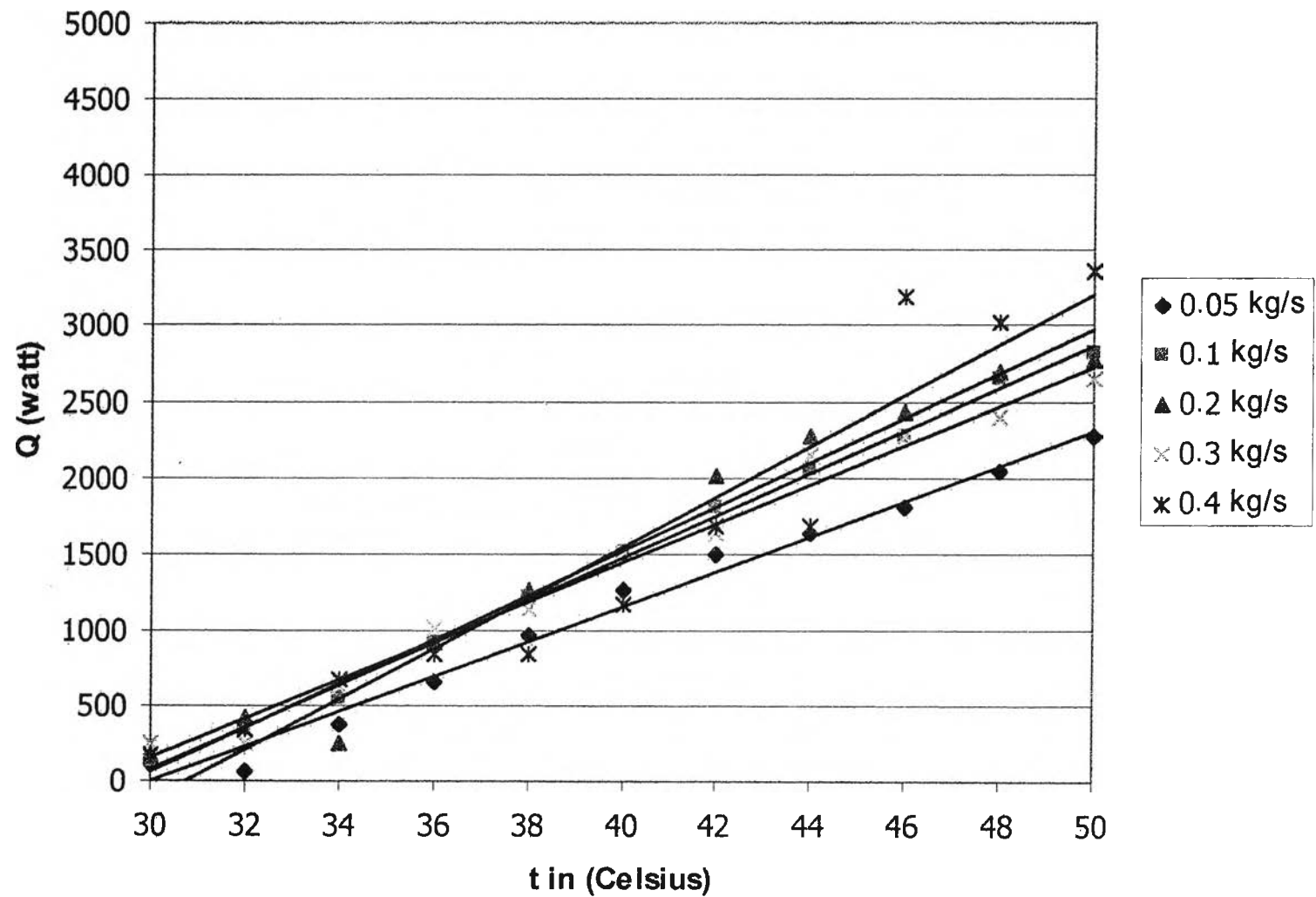
รูปที่ ก.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %)



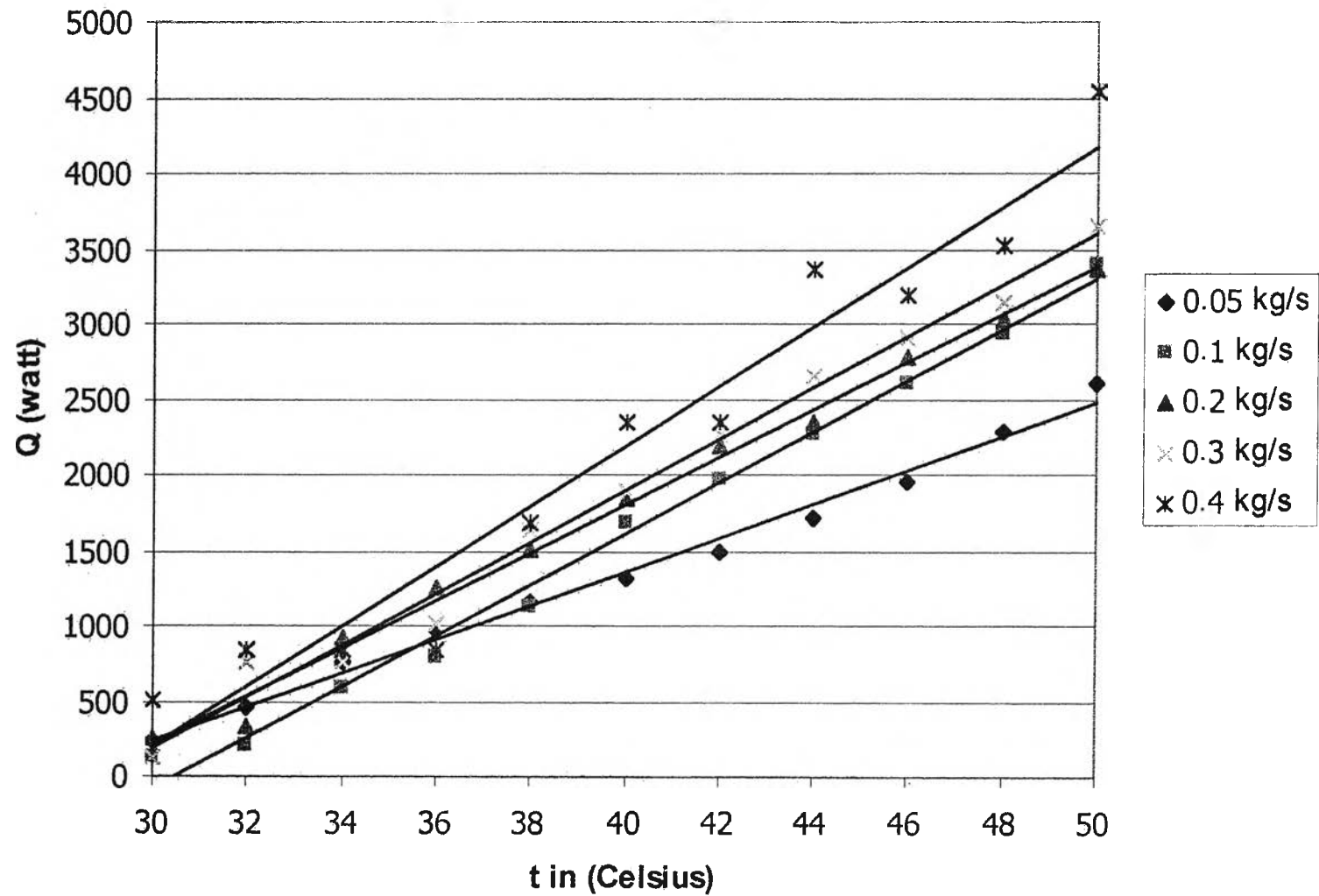
รูปที่ ก.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %)



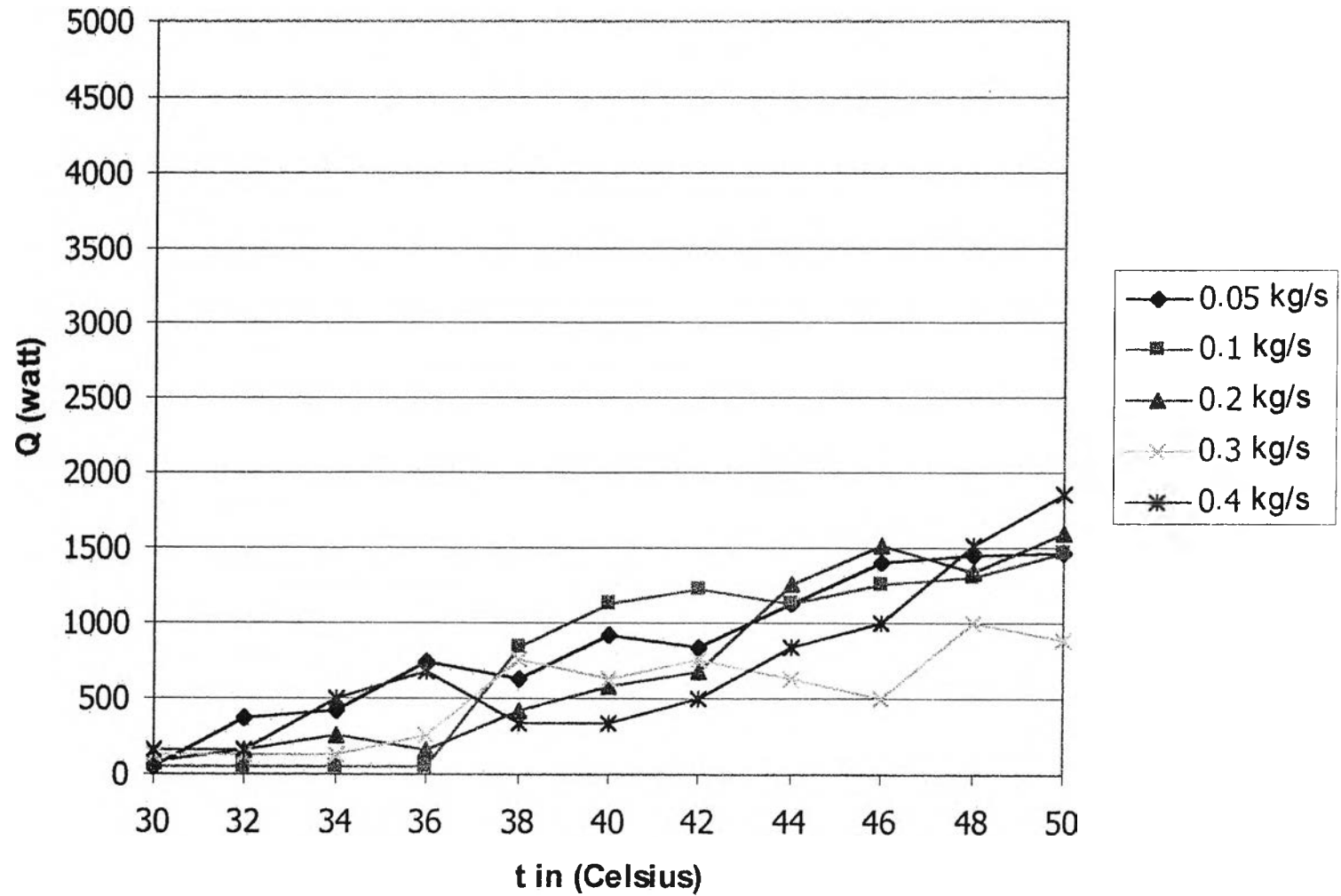
รูปที่ ก.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังท่อที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



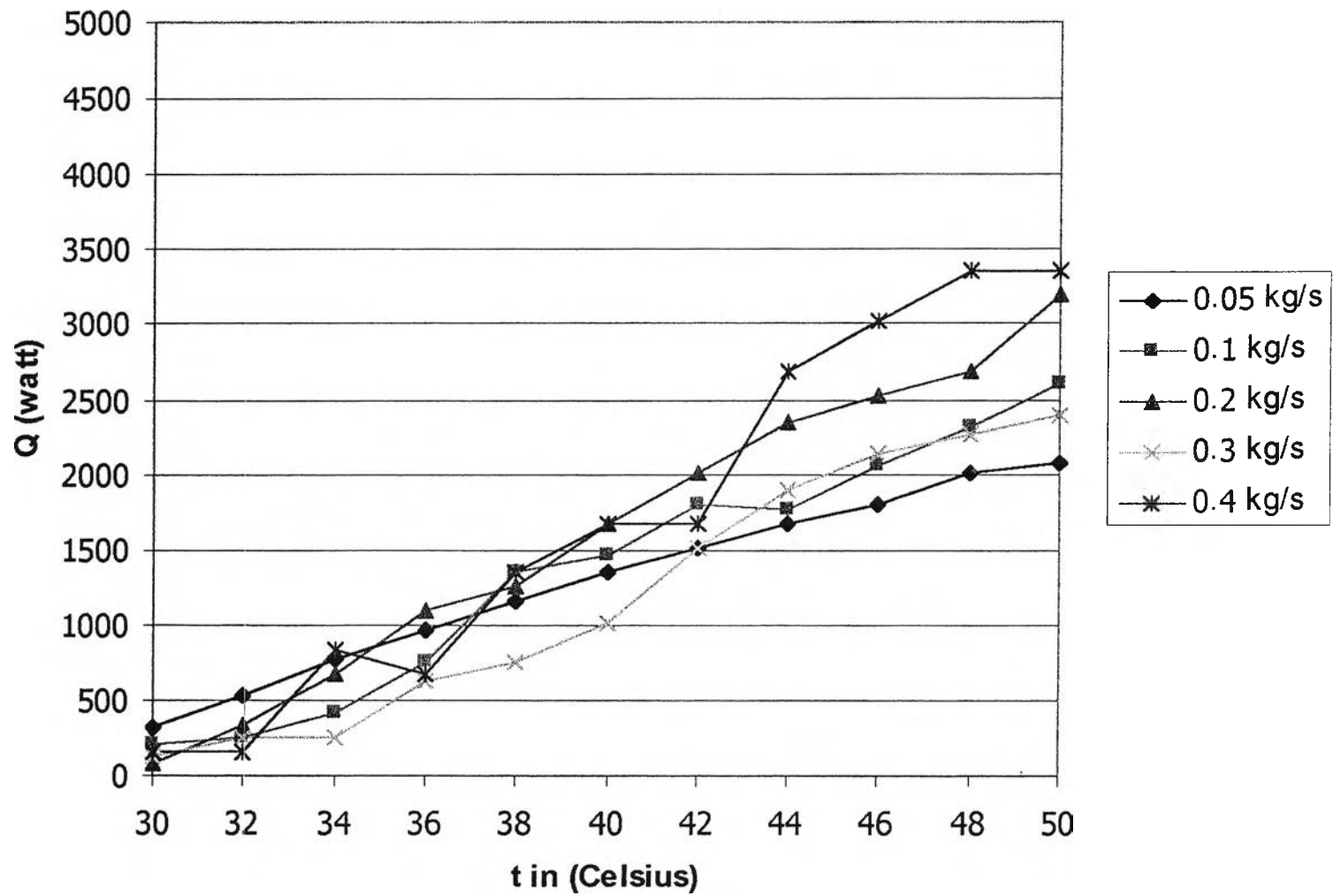
รูปที่ ก.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



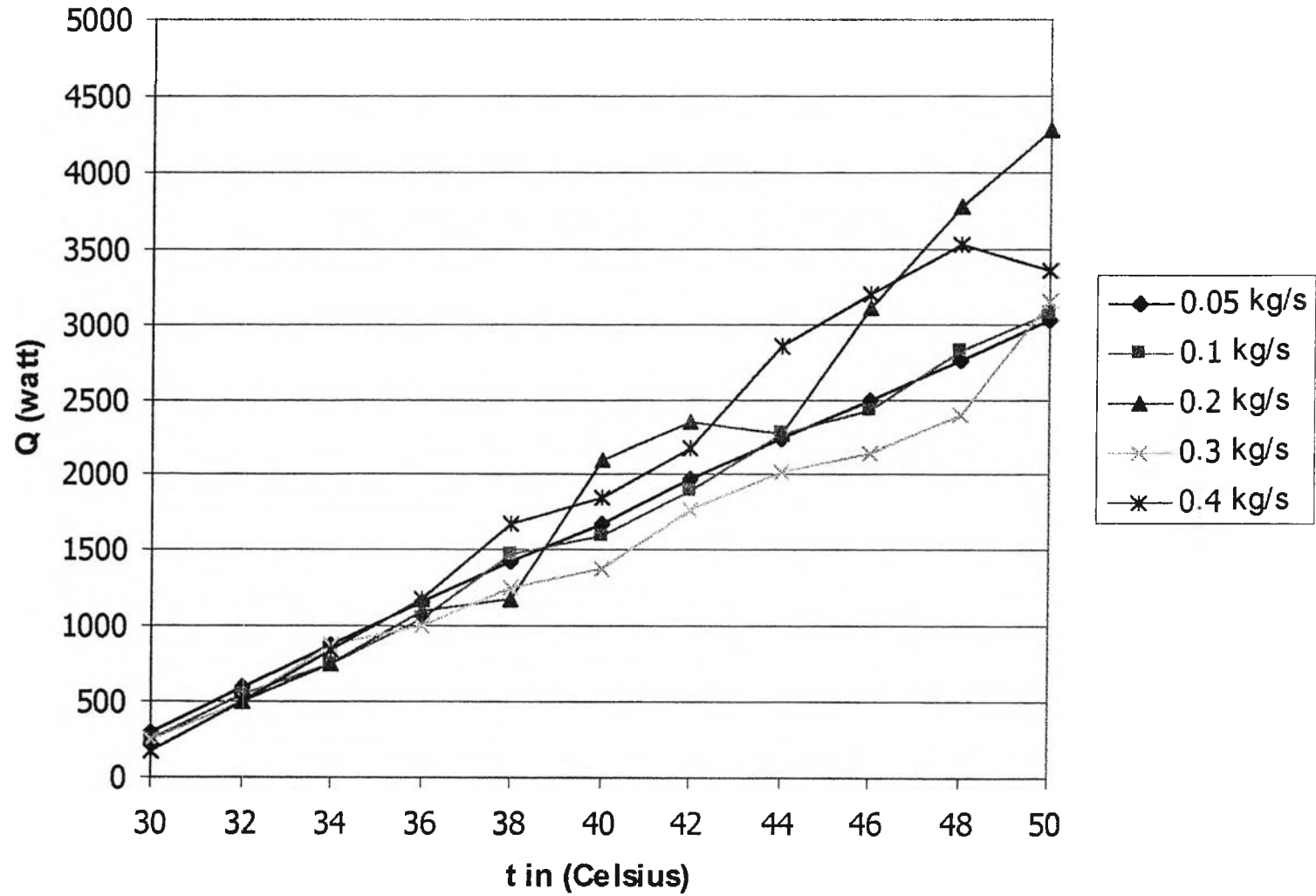
รูปที่ ก.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



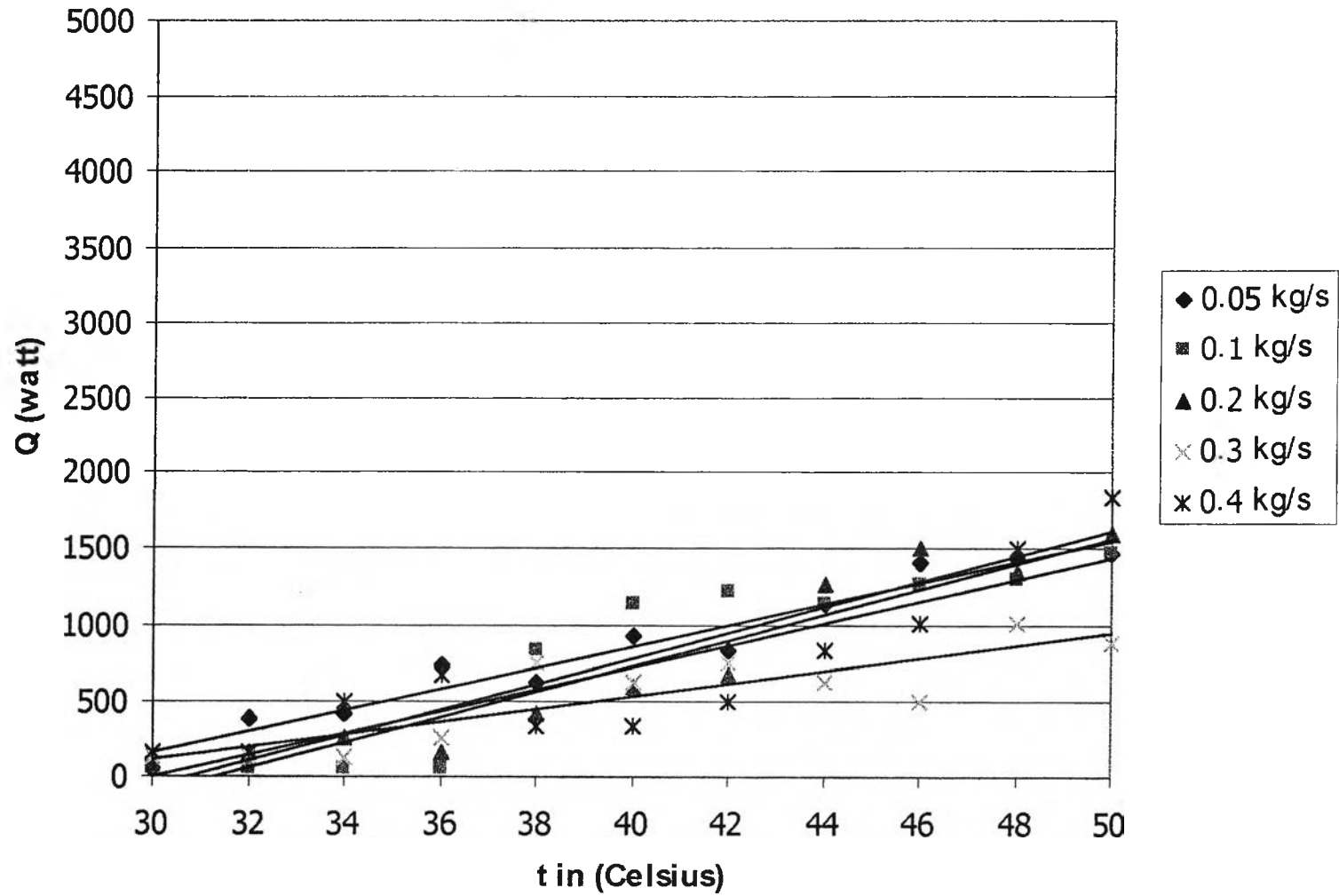
รูปที่ ก.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%)



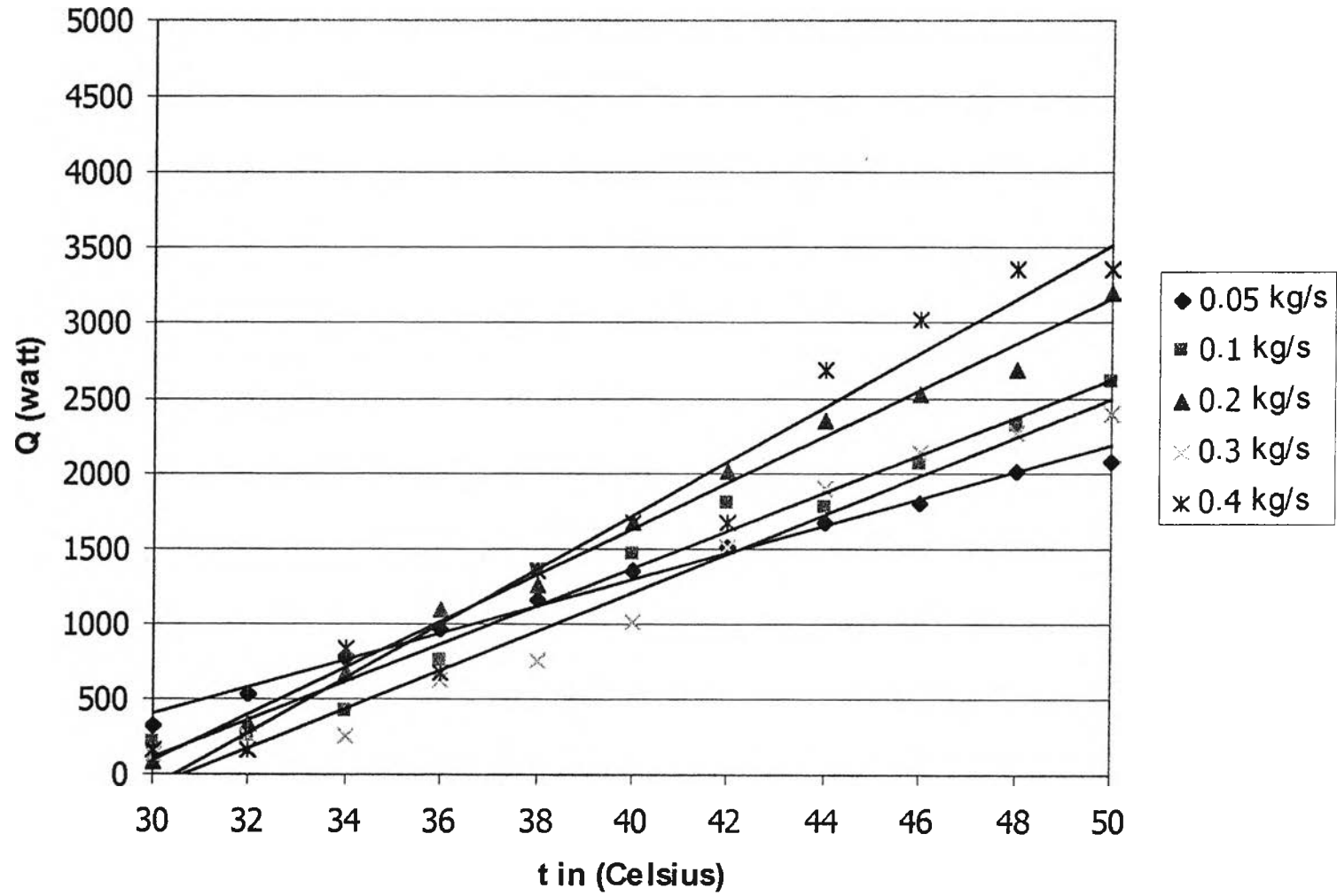
รูปที่ ก.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการฝังลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %)



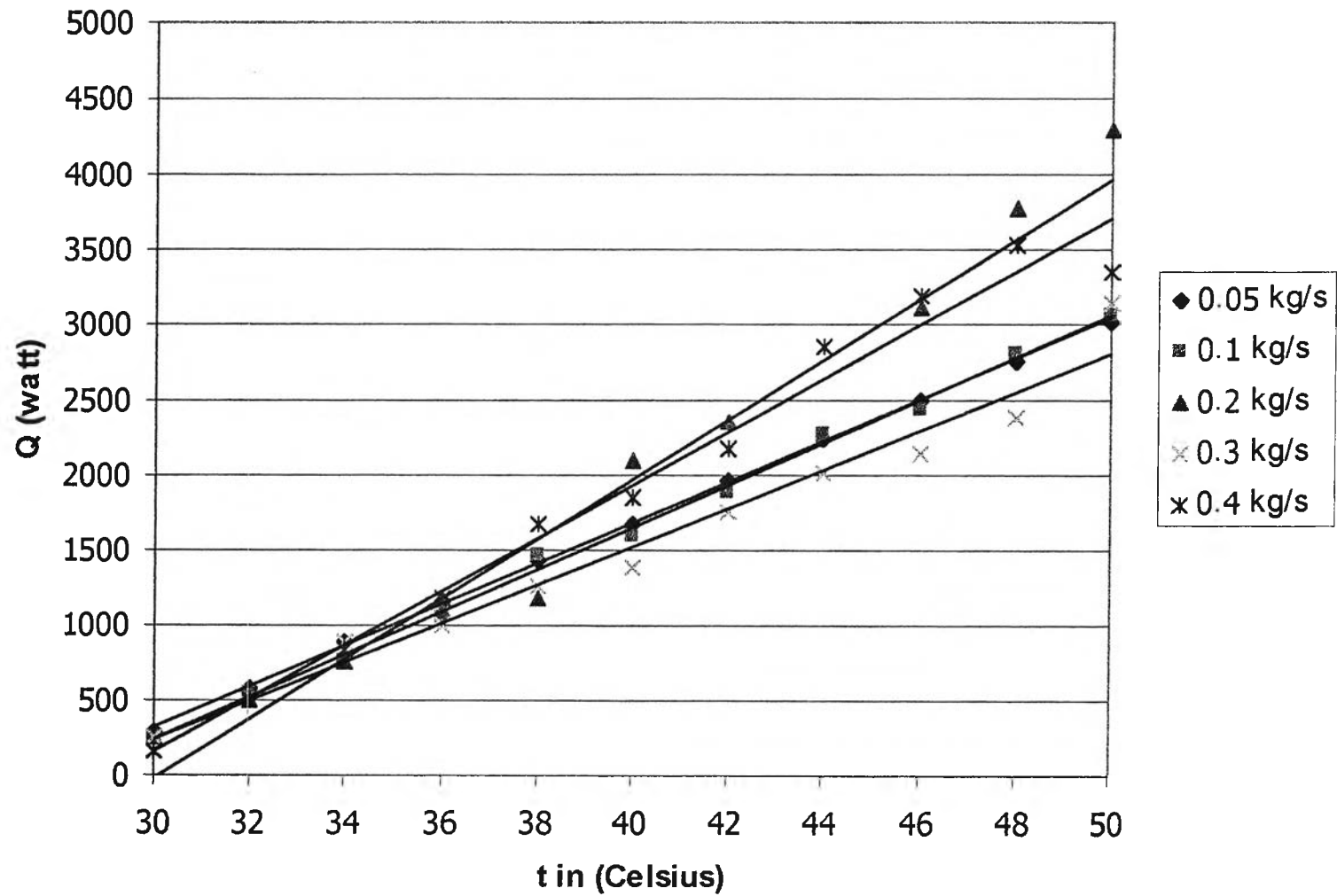
รูปที่ ก.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %)



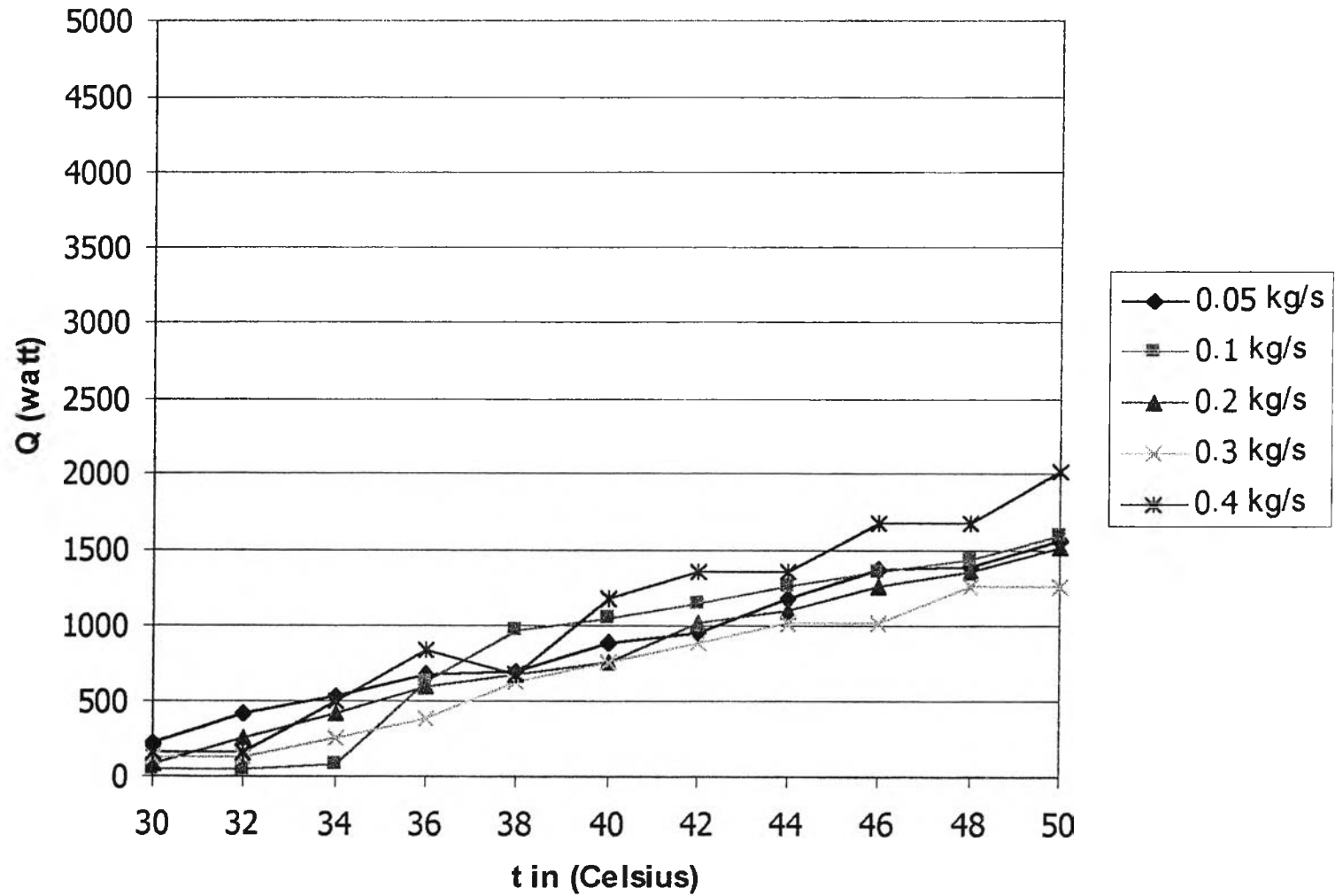
รูปที่ ก.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



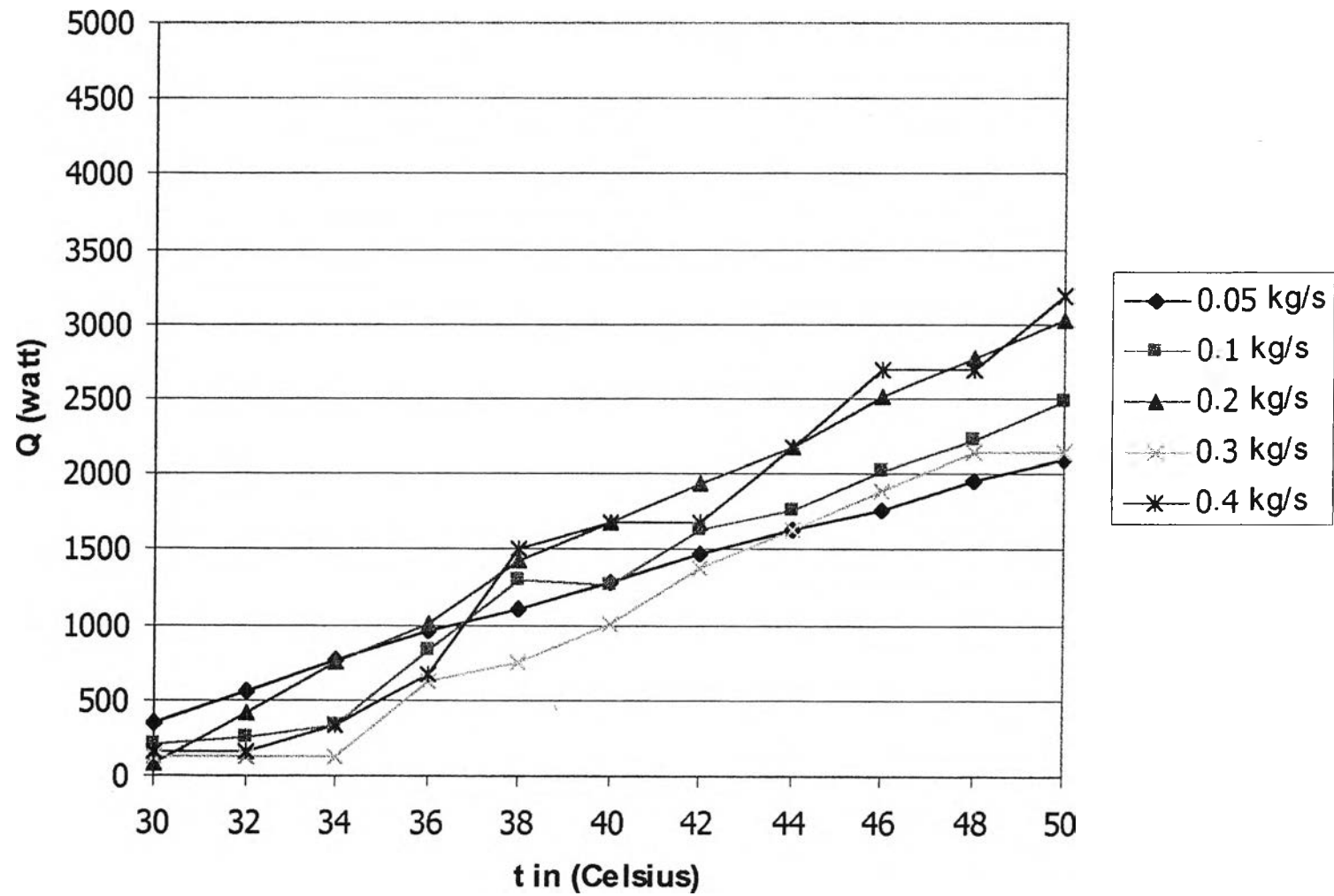
รูปที่ ก.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการฝังกลบท่อที่อัตราไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



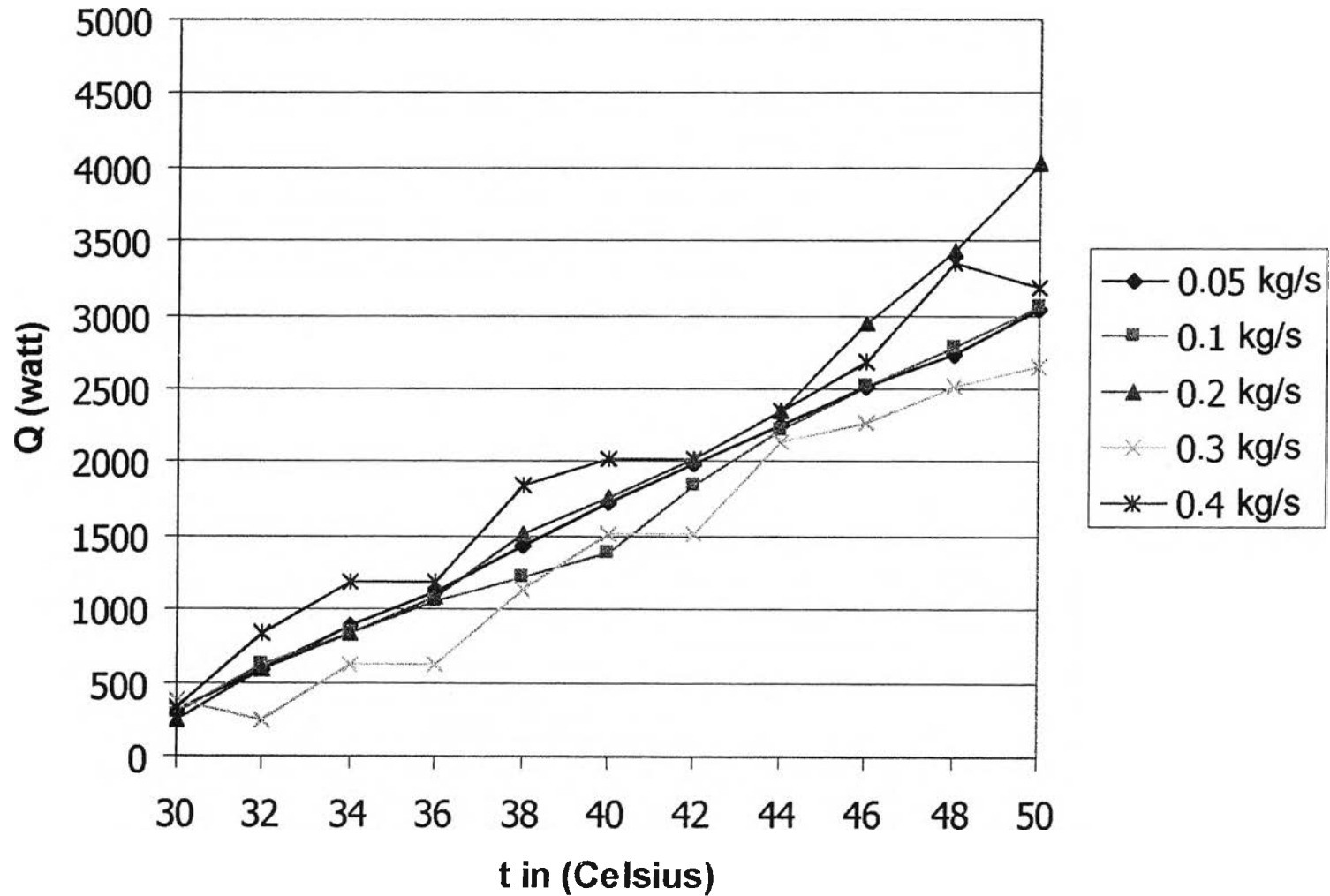
รูปที่ ก.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการฝังกลบท่อที่อัตราการใช้ทรายซีเมนต์ต่างกัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



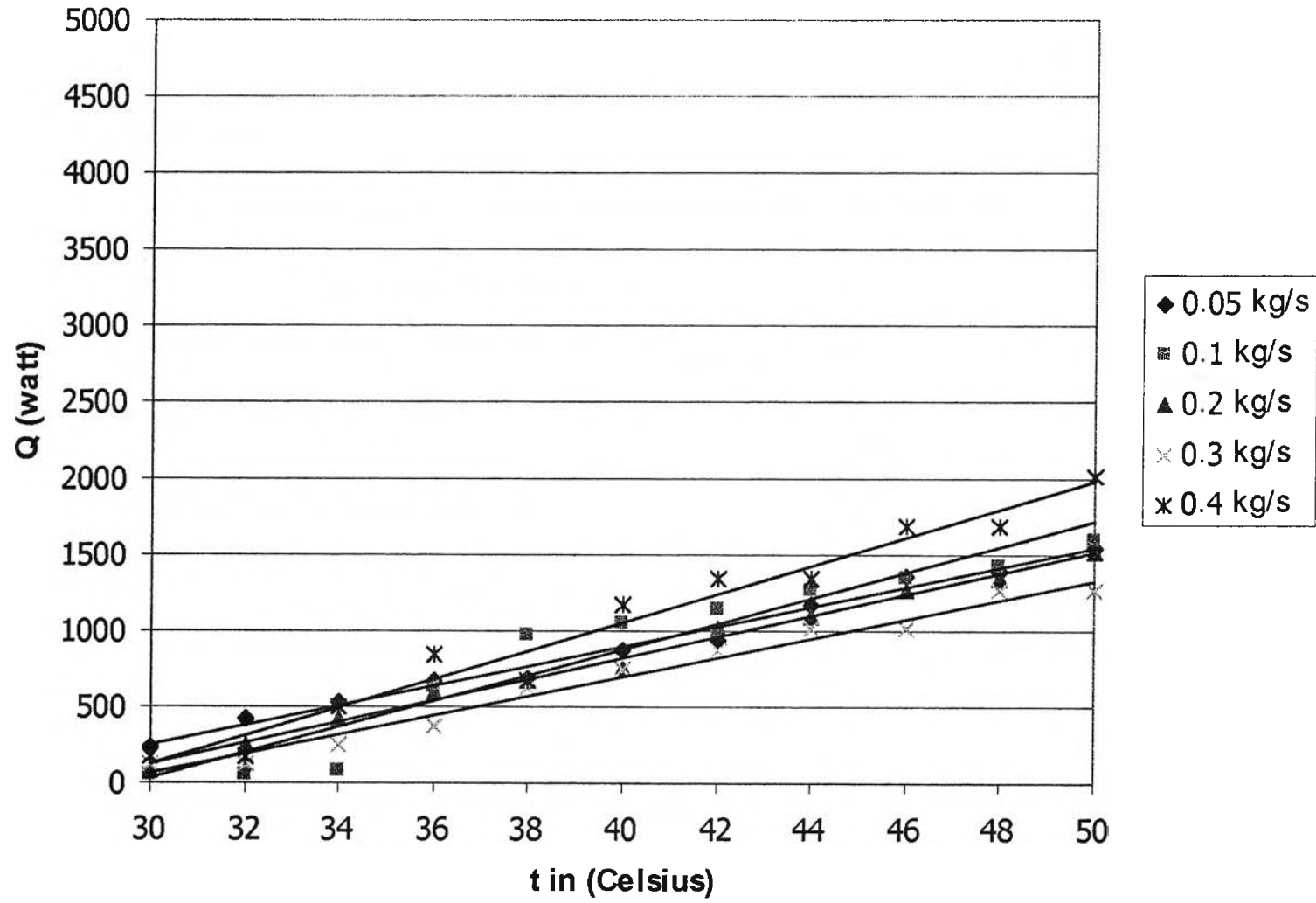
รูปที่ ก.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังท่อที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%)



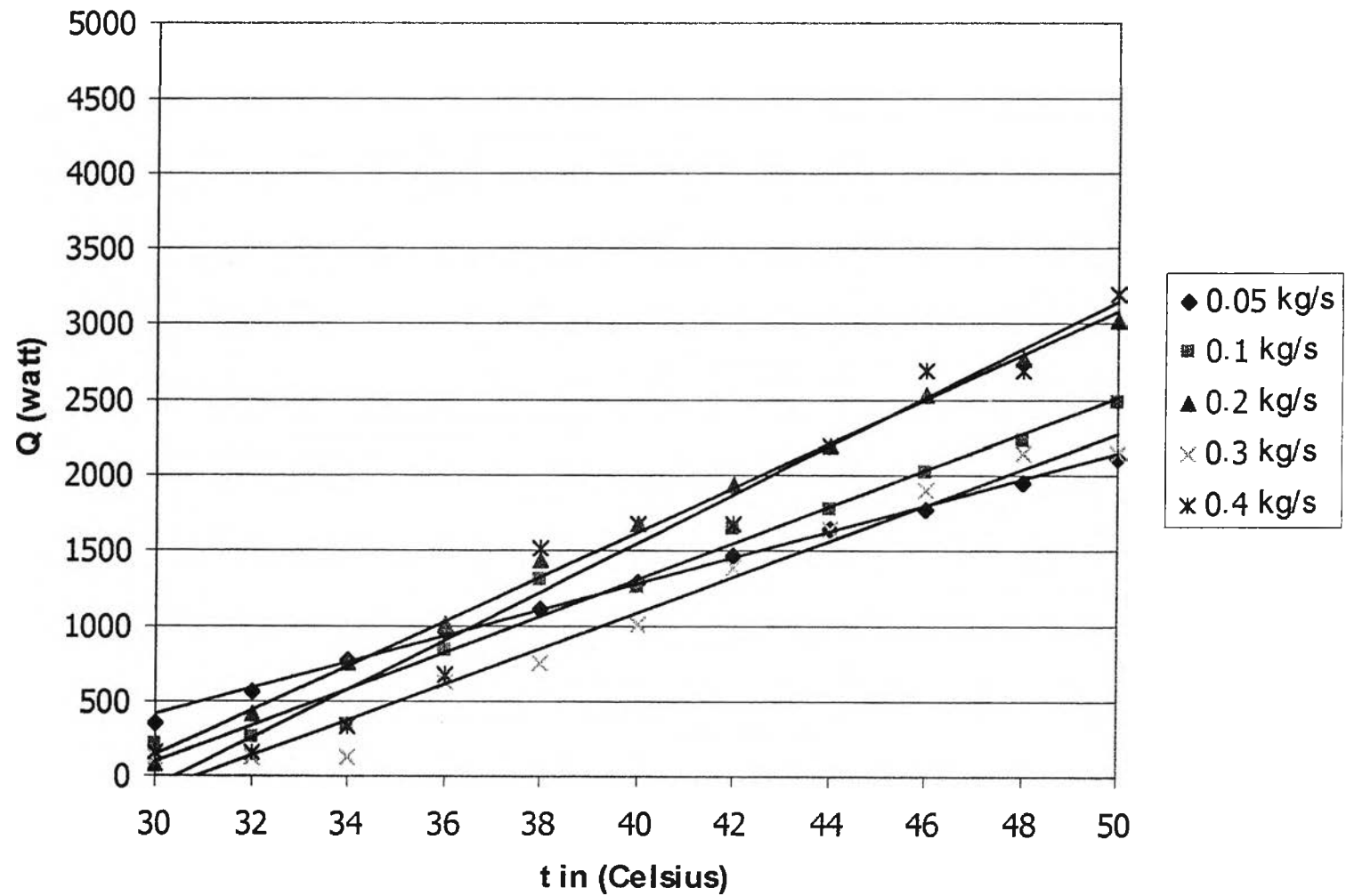
รูปที่ ก.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %)



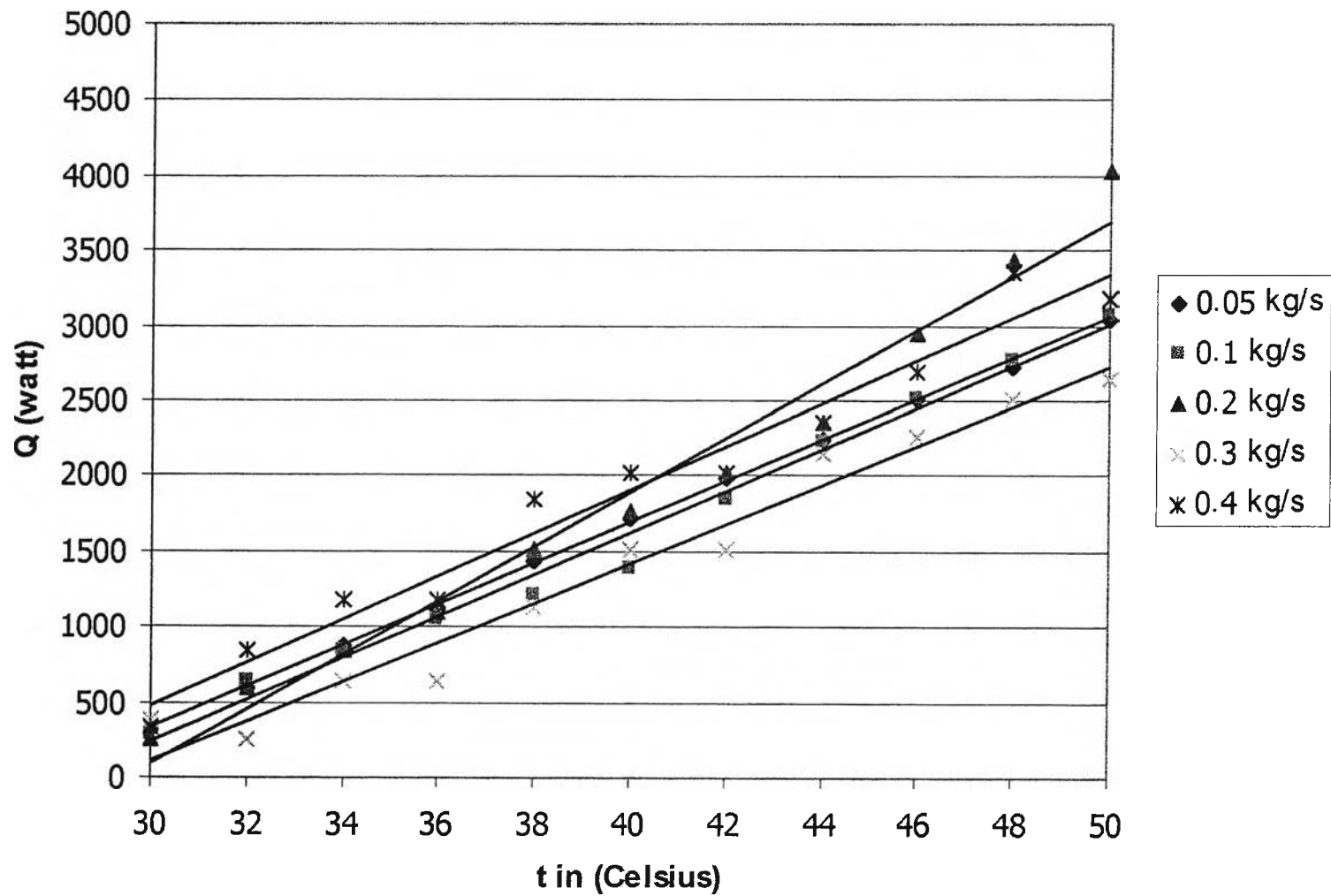
รูปที่ ก.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %)



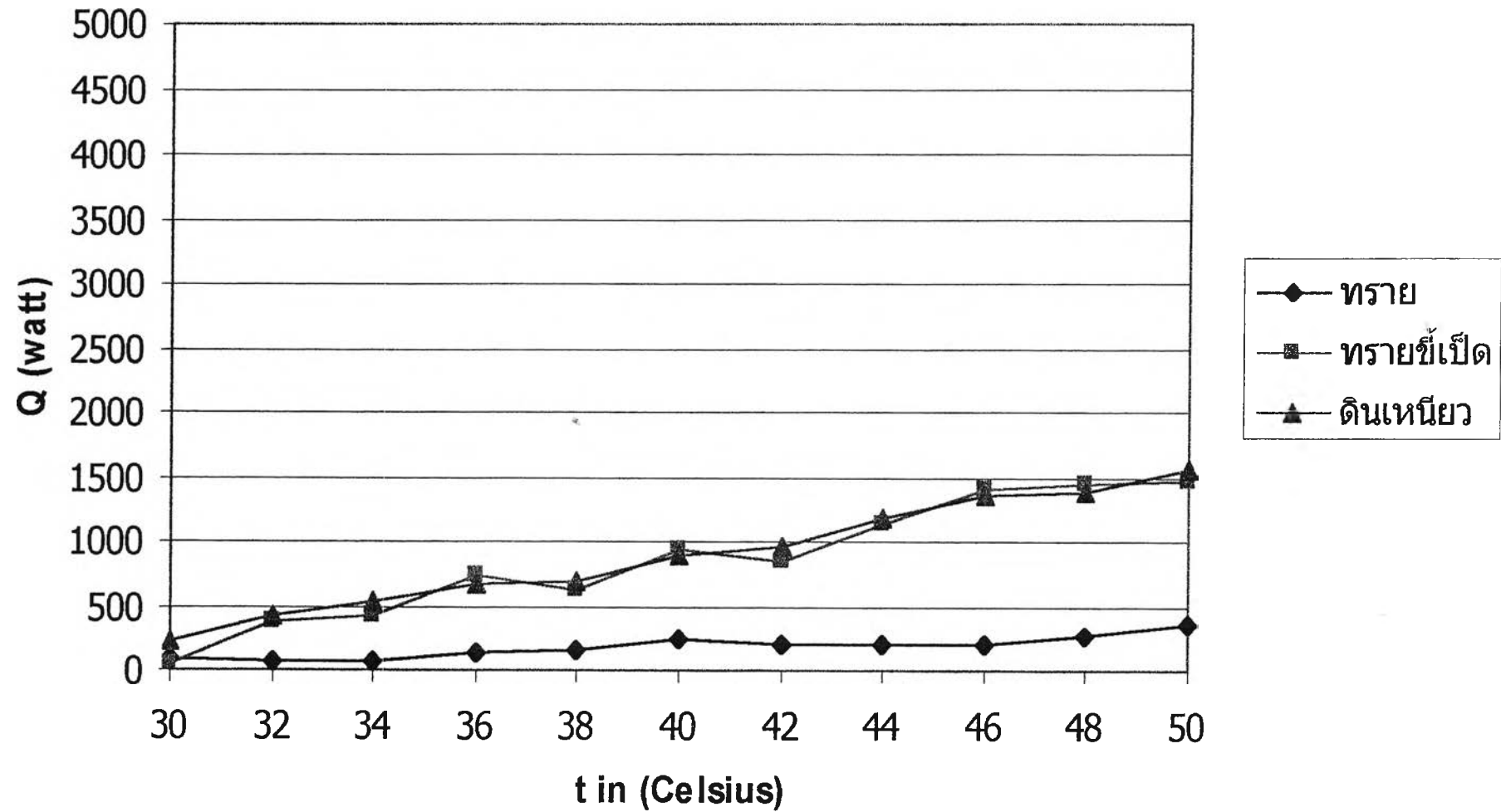
รูปที่ ก.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับต่ำ (น้อยกว่า 4%) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



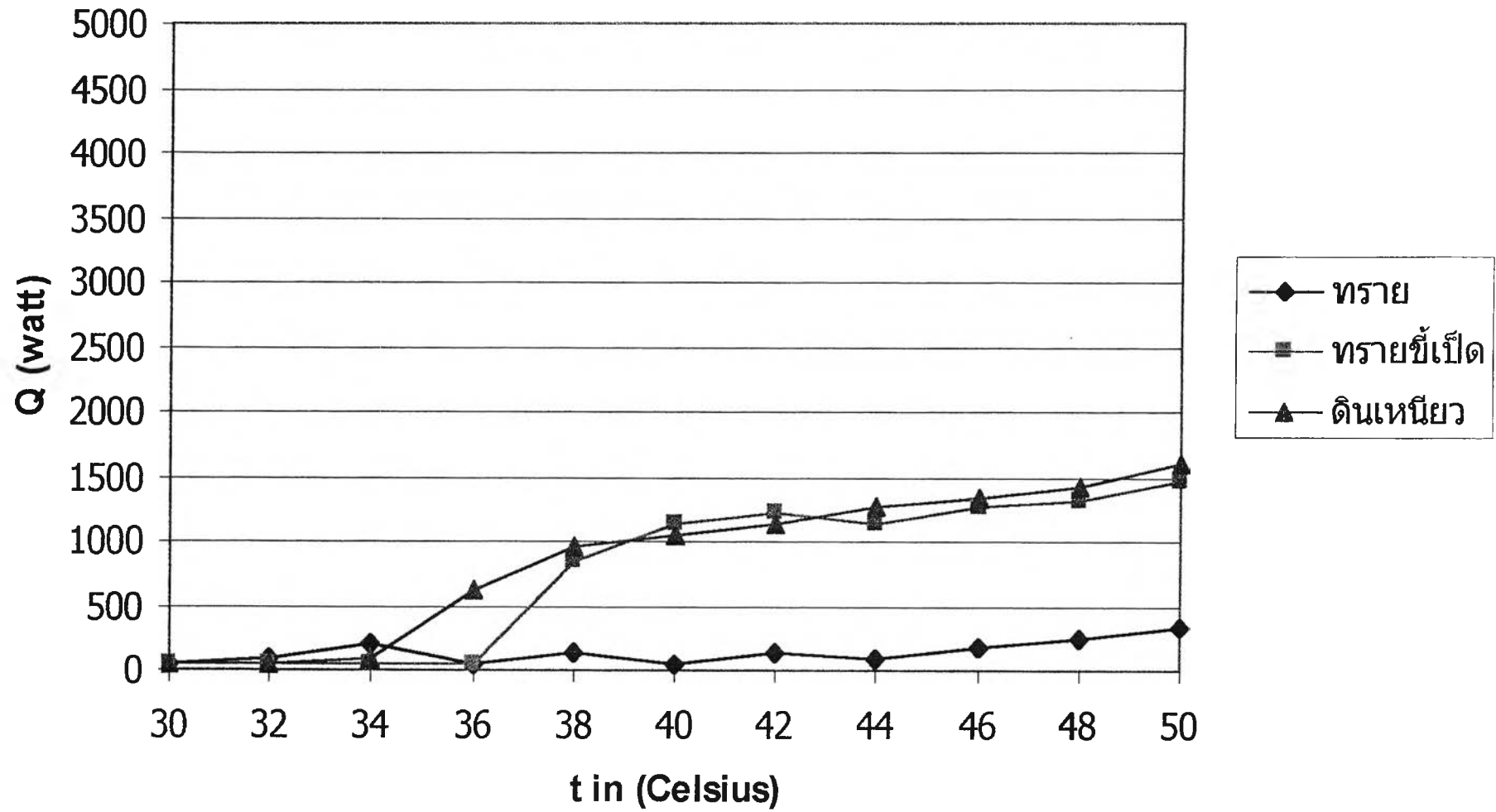
รูปที่ ก.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง (ระหว่าง 4 ถึง 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



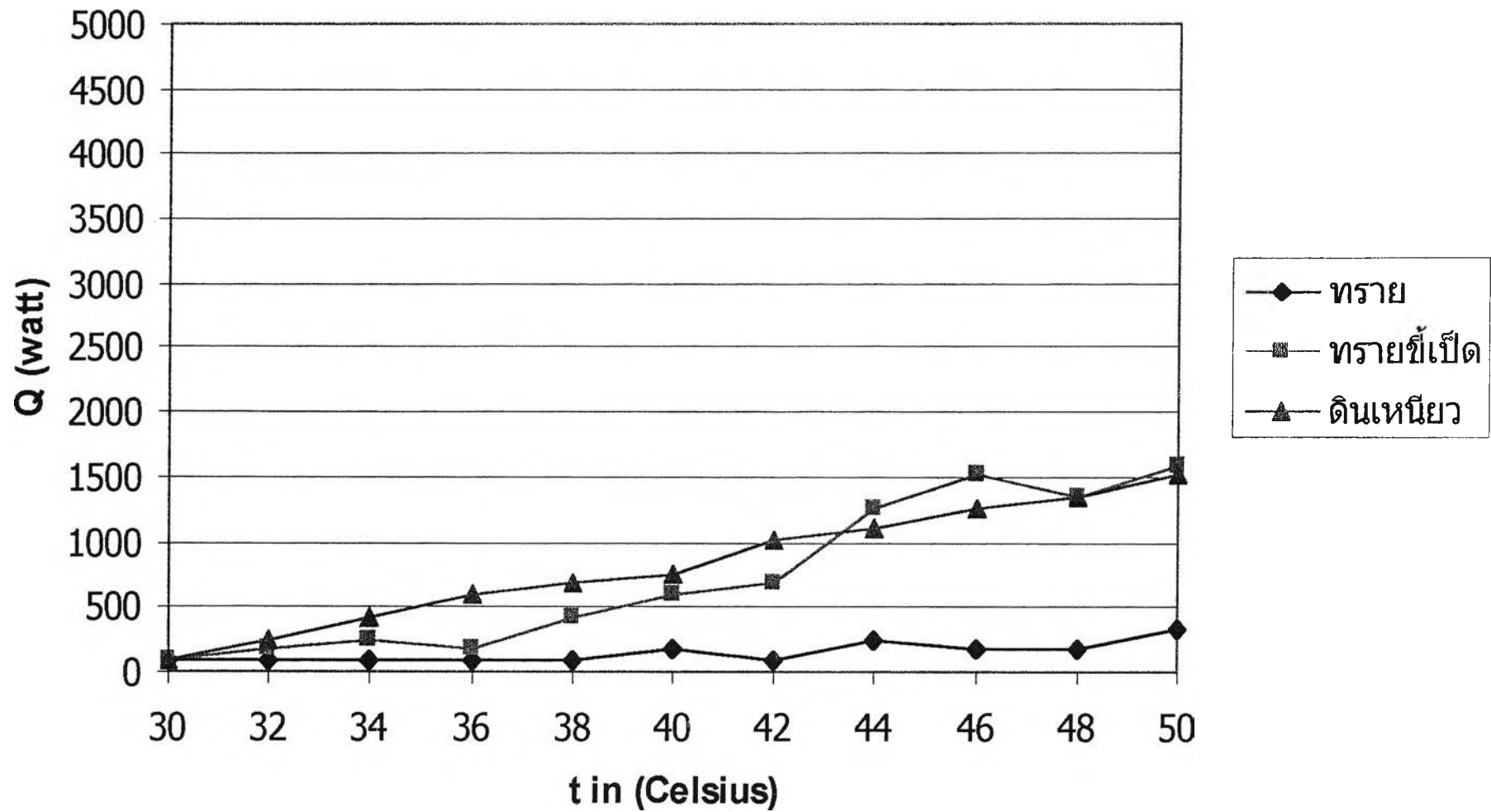
รูปที่ ก.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่บดท่อ เมื่อใช้ดินเหนียวในการฝังกลบท่อ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน โดยมีความชื้นโดยมวลระดับสูง (มากกว่า 20 %) เมื่อทำการเพิ่มเส้นแนวโน้ม



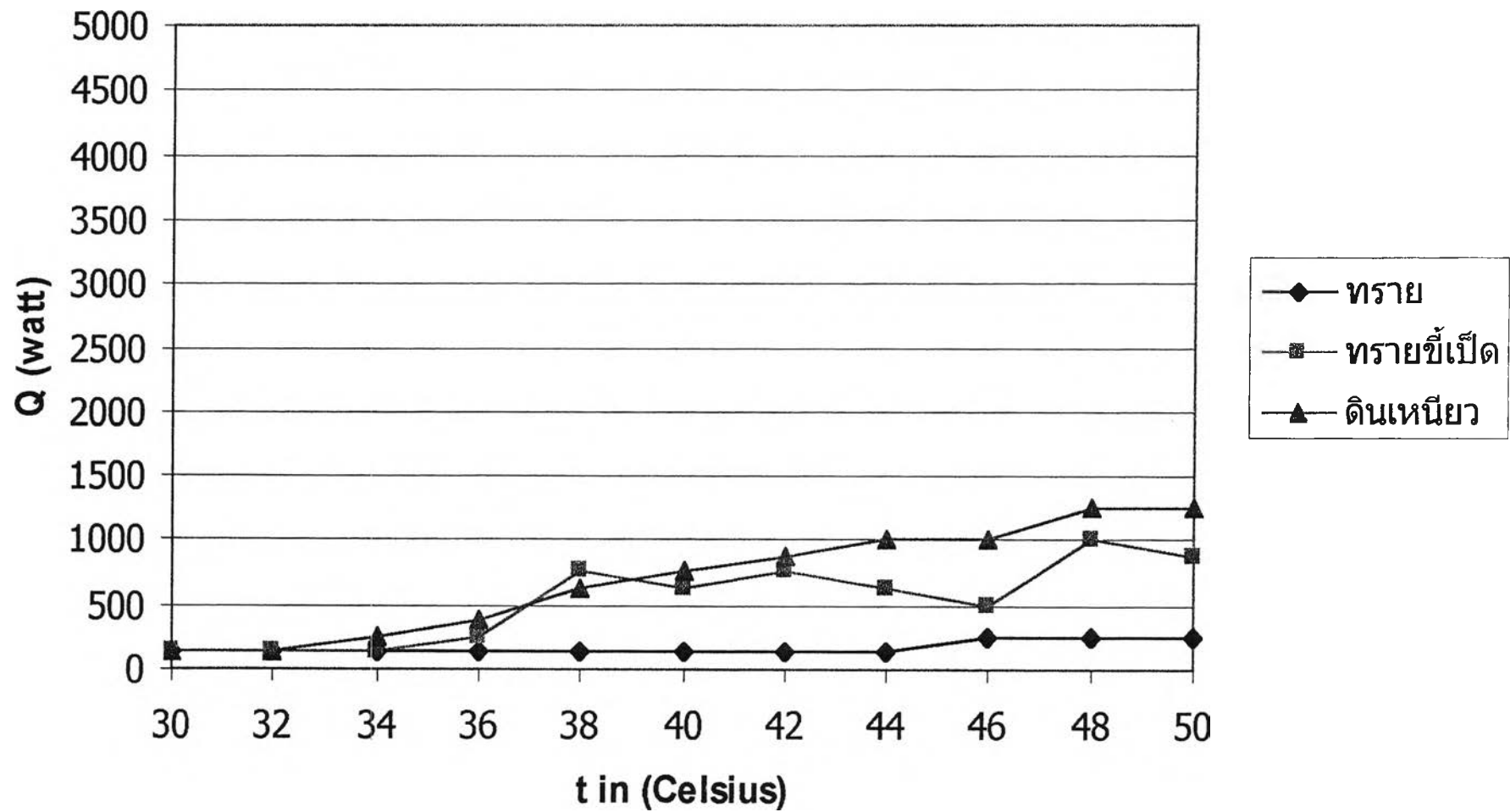
รูปที่ ก.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



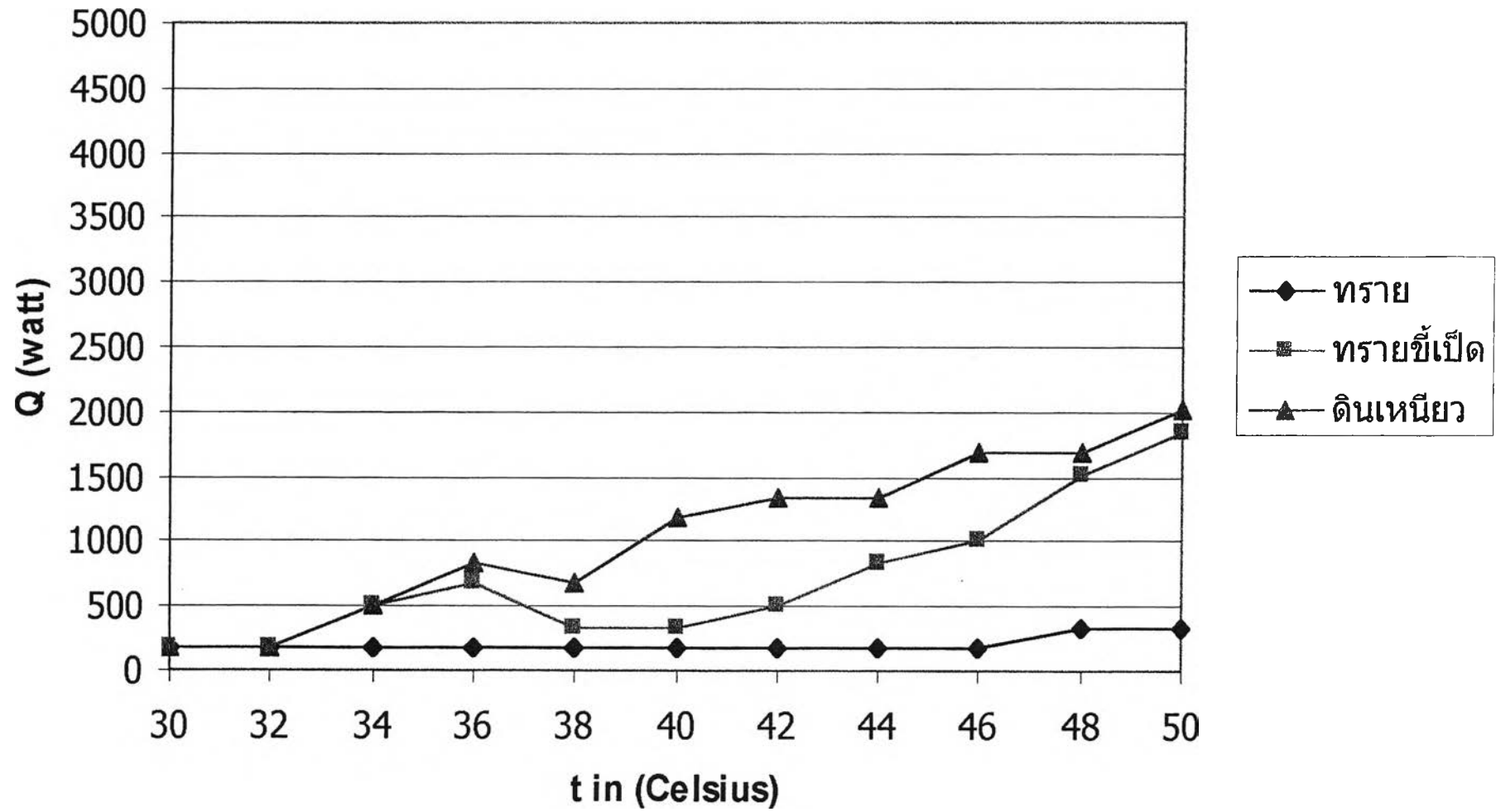
รูปที่ ก.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



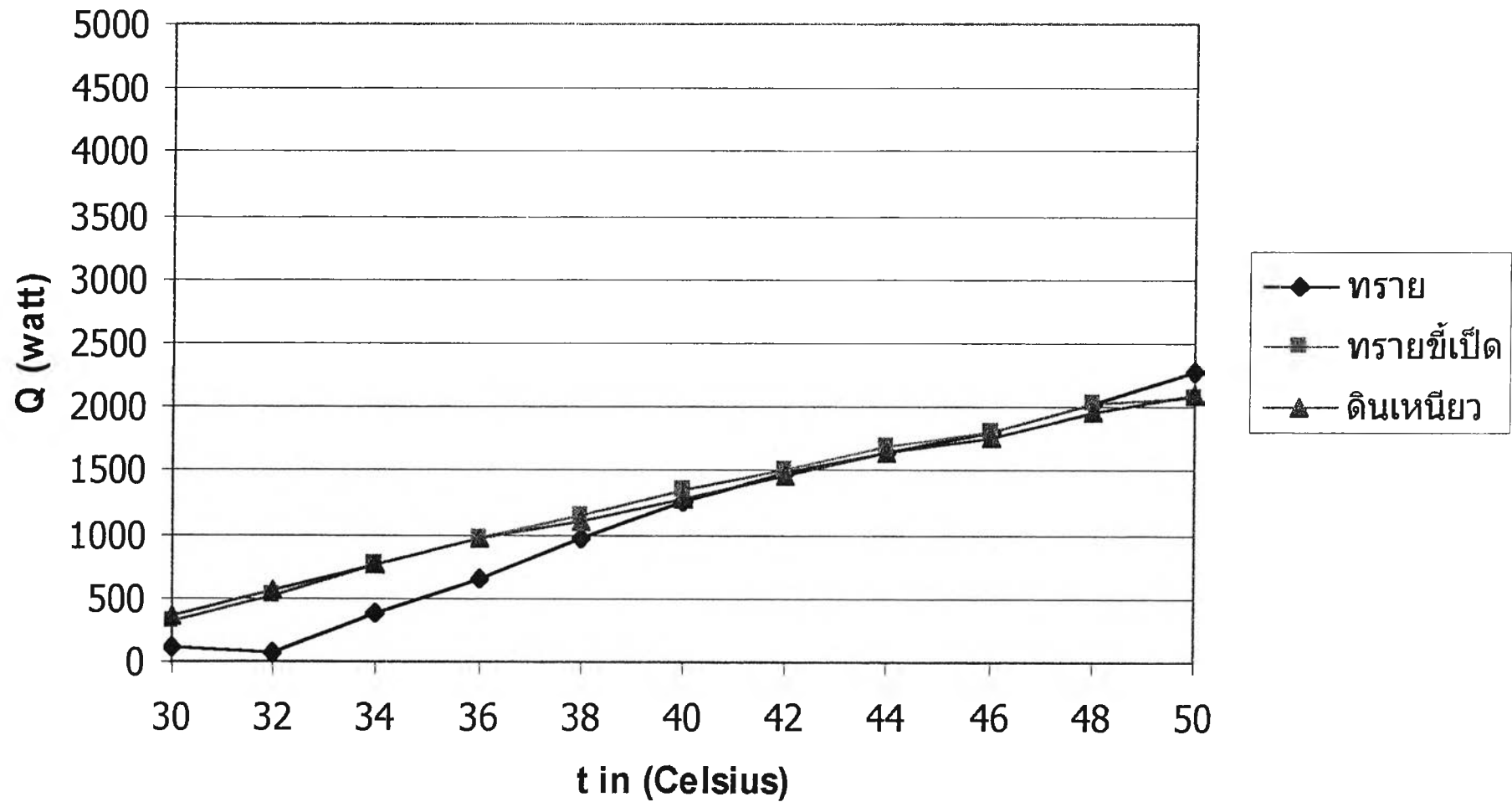
รูปที่ ก.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



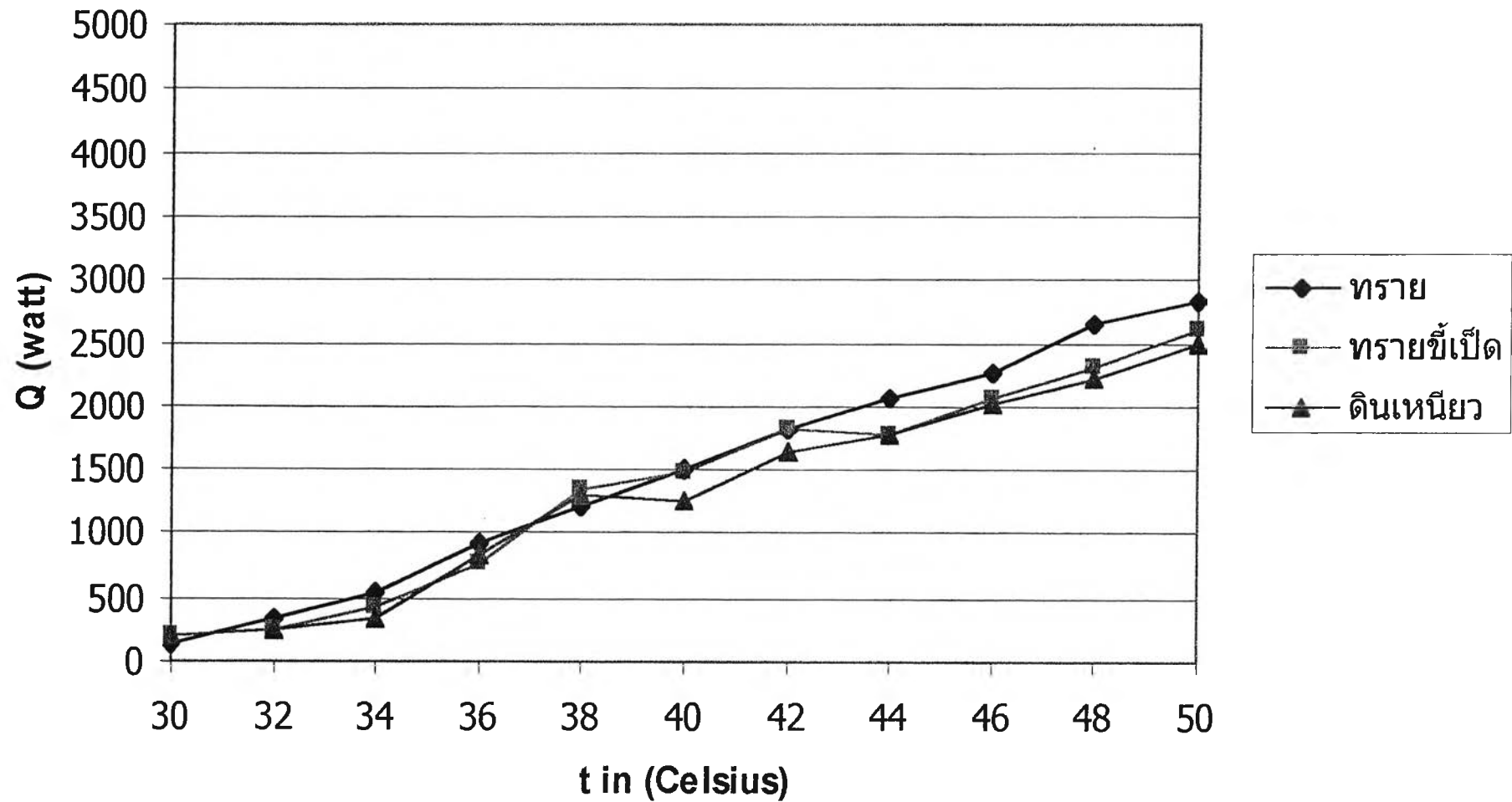
รูปที่ ก.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



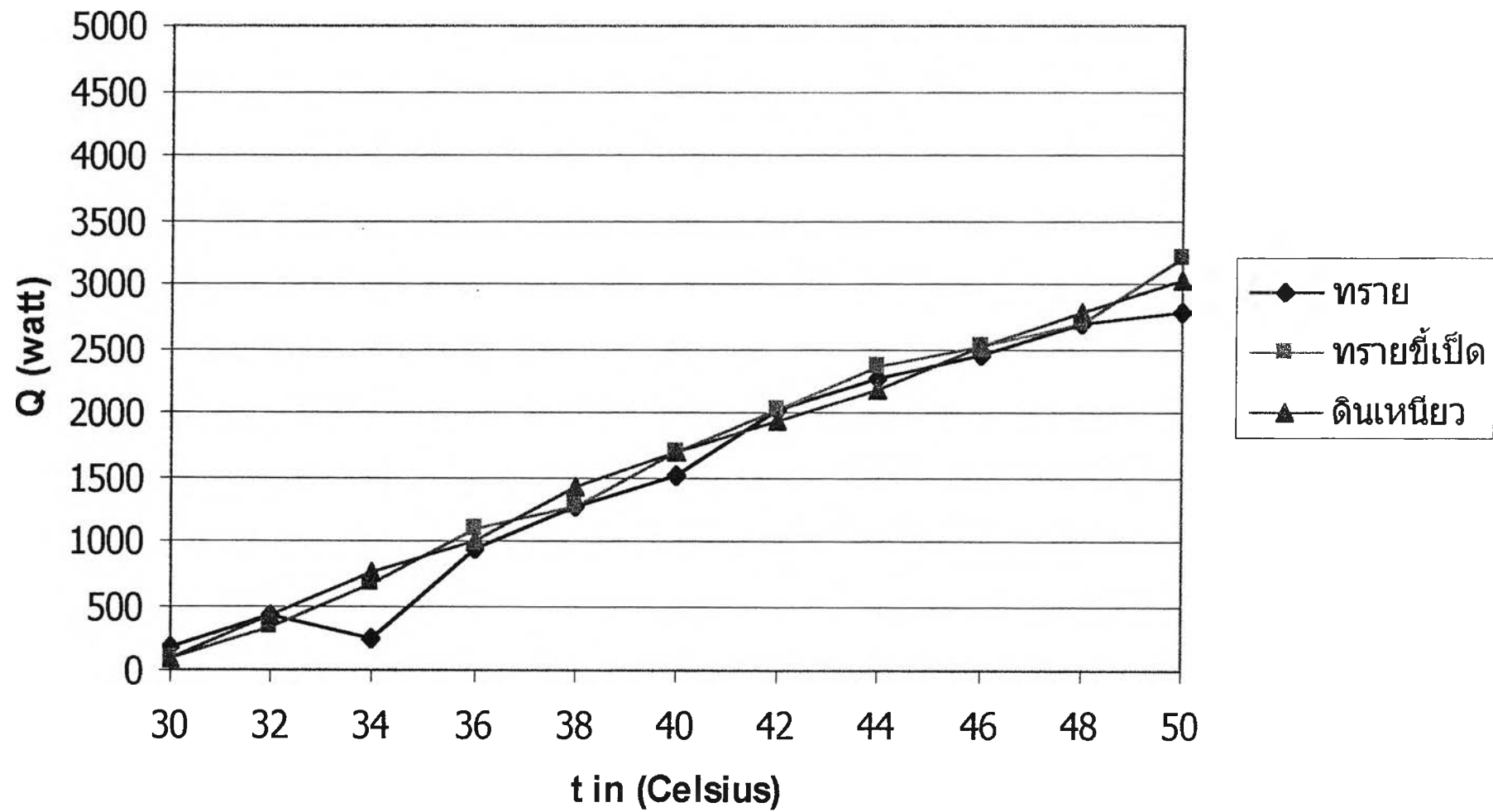
รูปที่ ก.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลน้อยกว่า 4 % และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



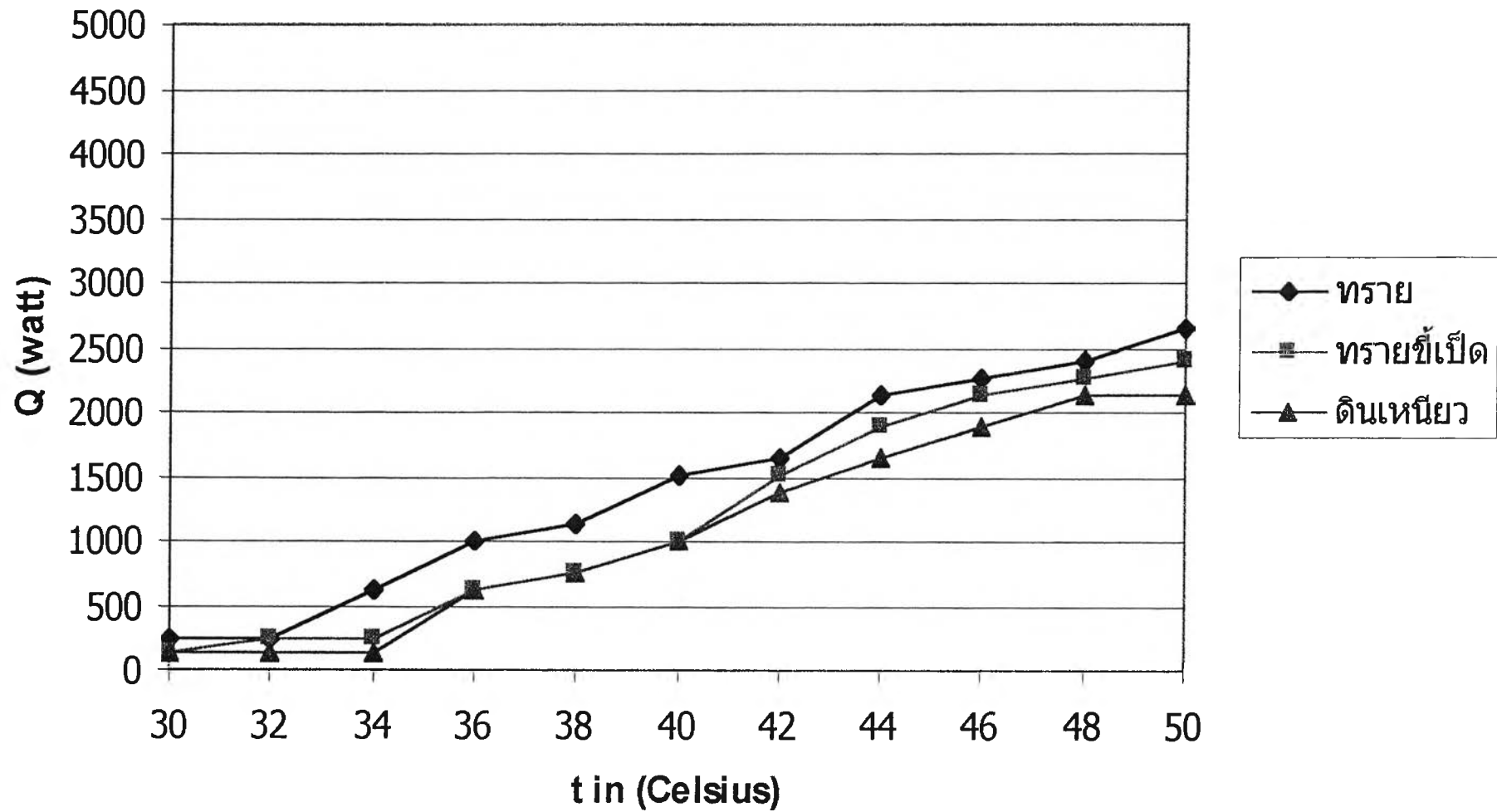
รูปที่ ก.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



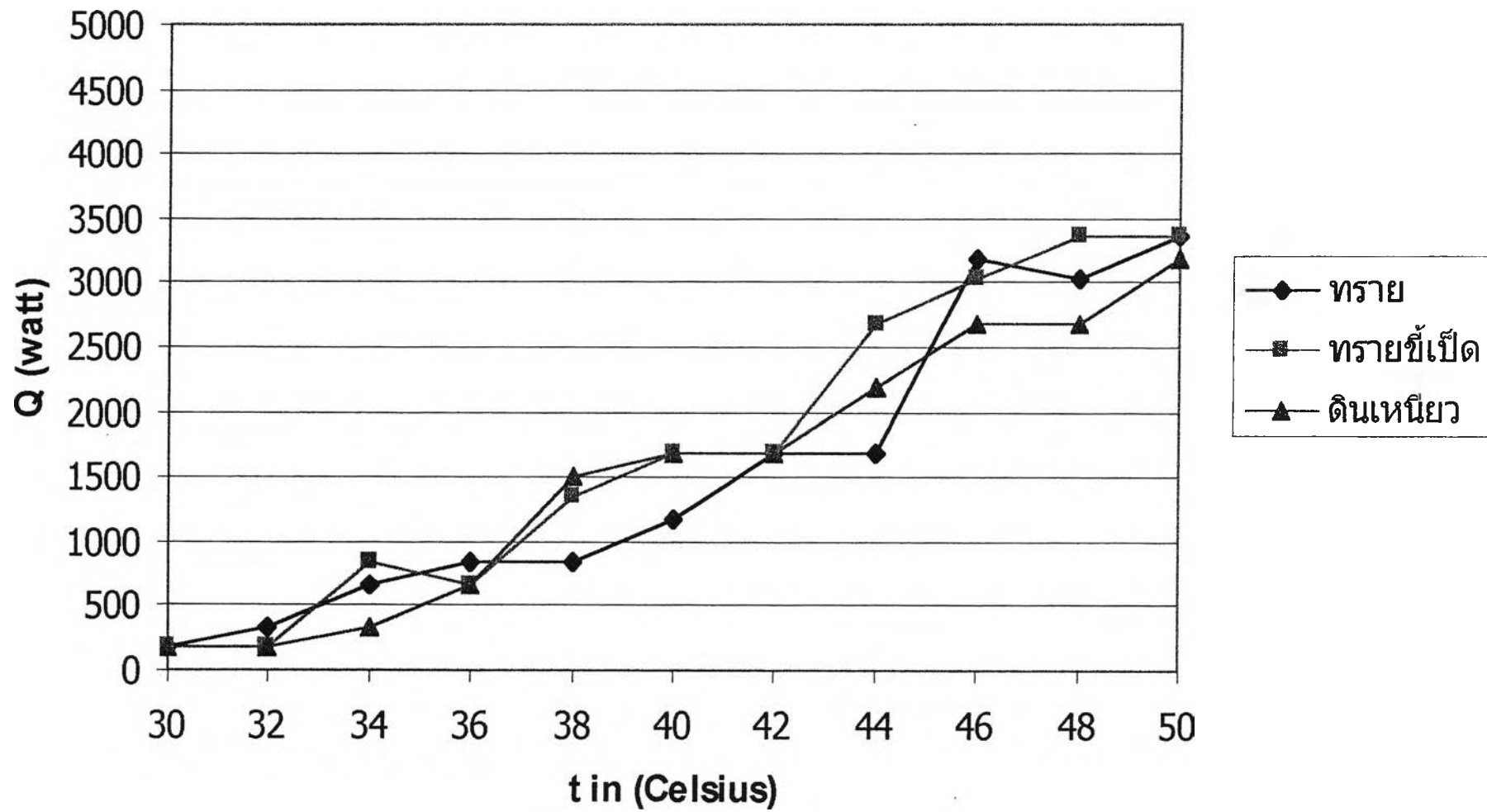
รูปที่ ก.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



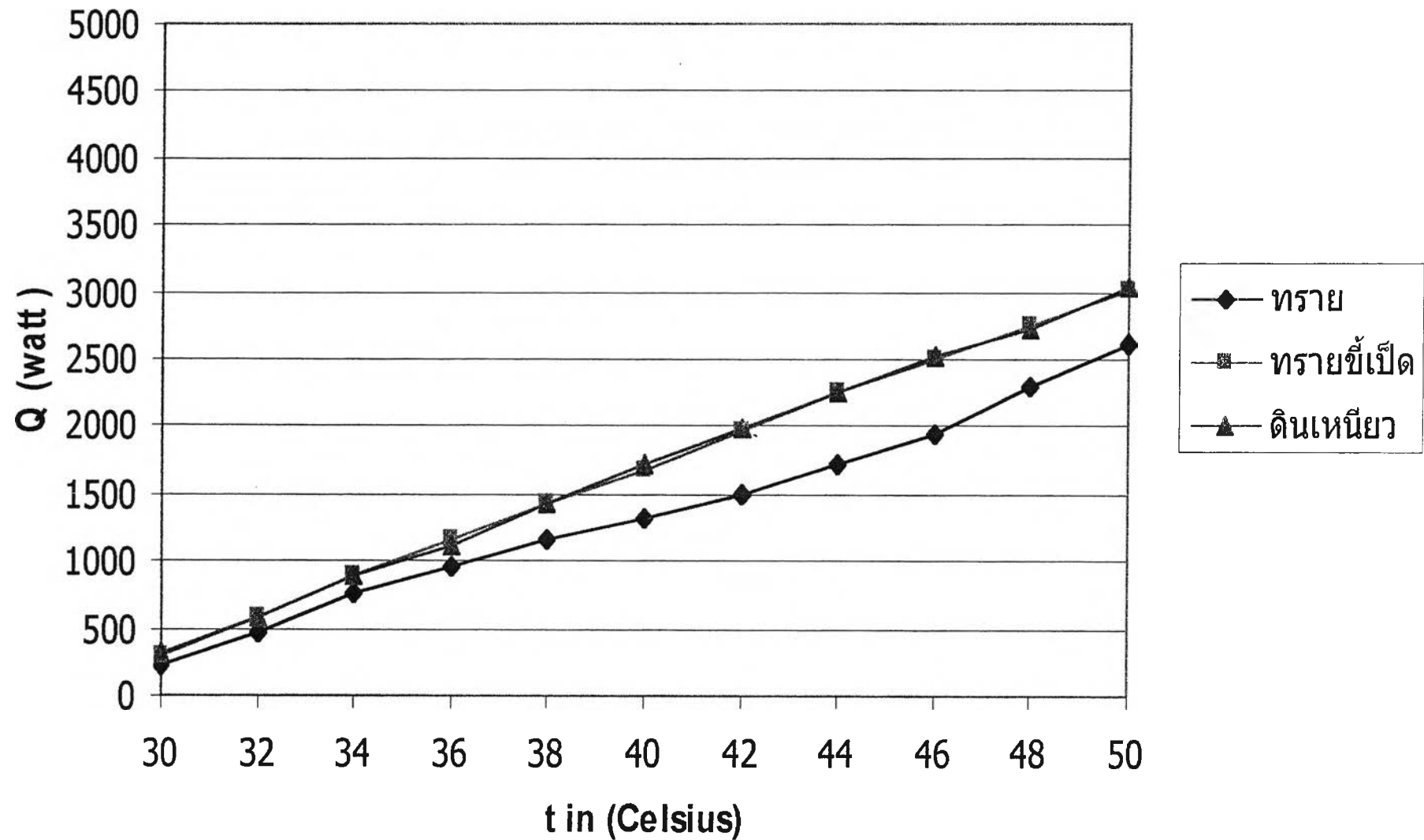
รูปที่ ก.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



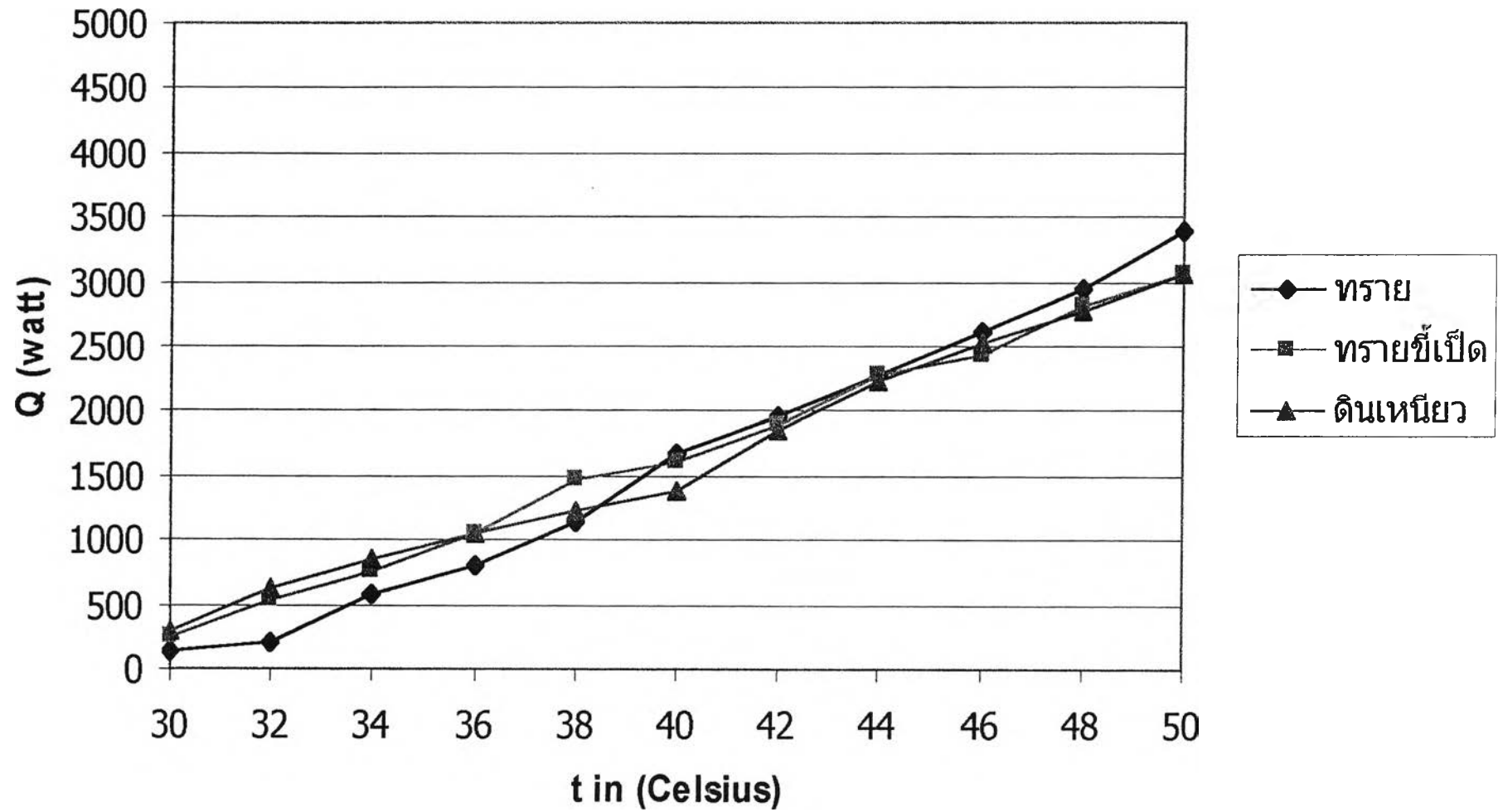
รูปที่ ก.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



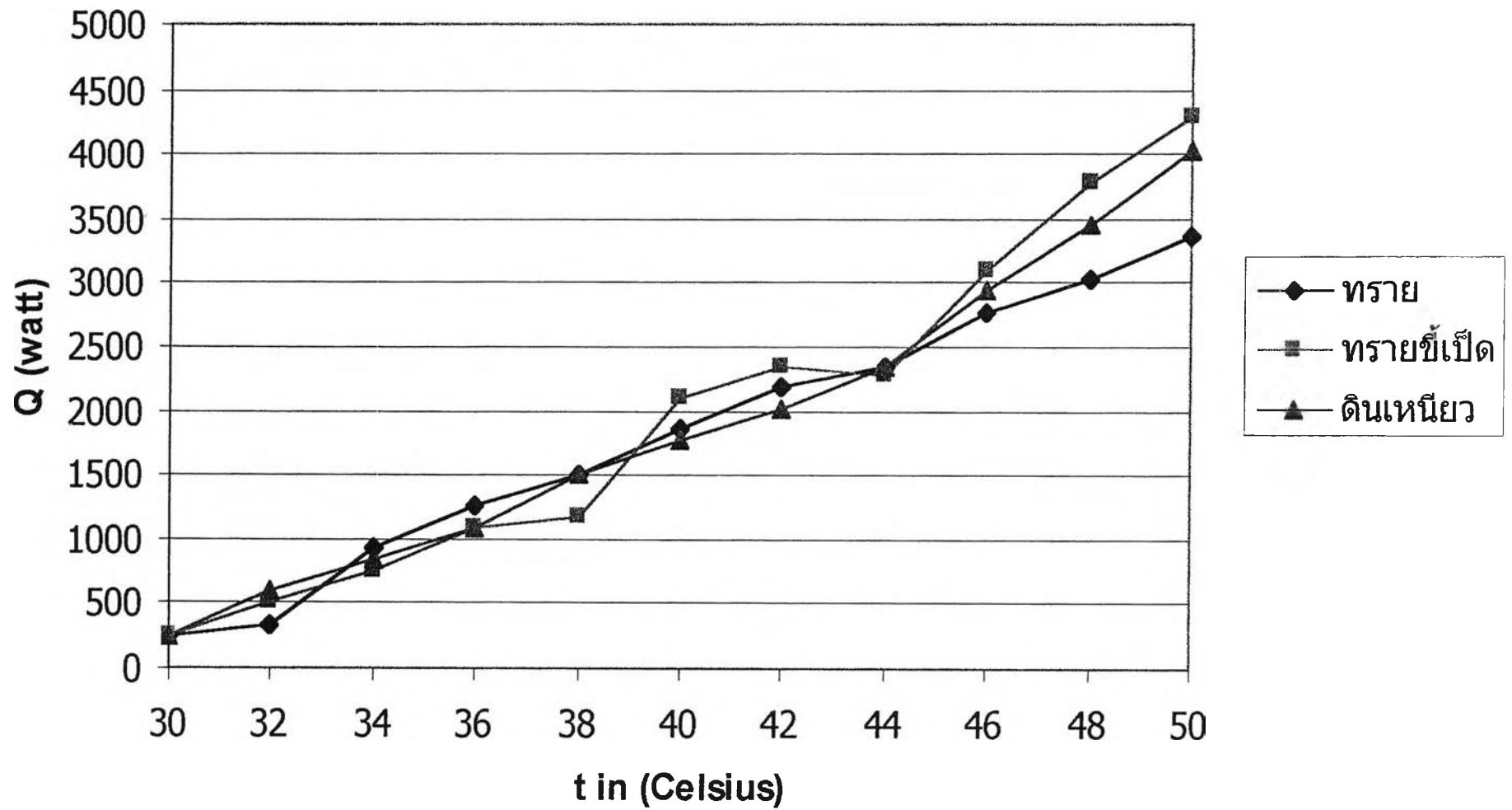
รูปที่ ก.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลระหว่าง 4 ถึง 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



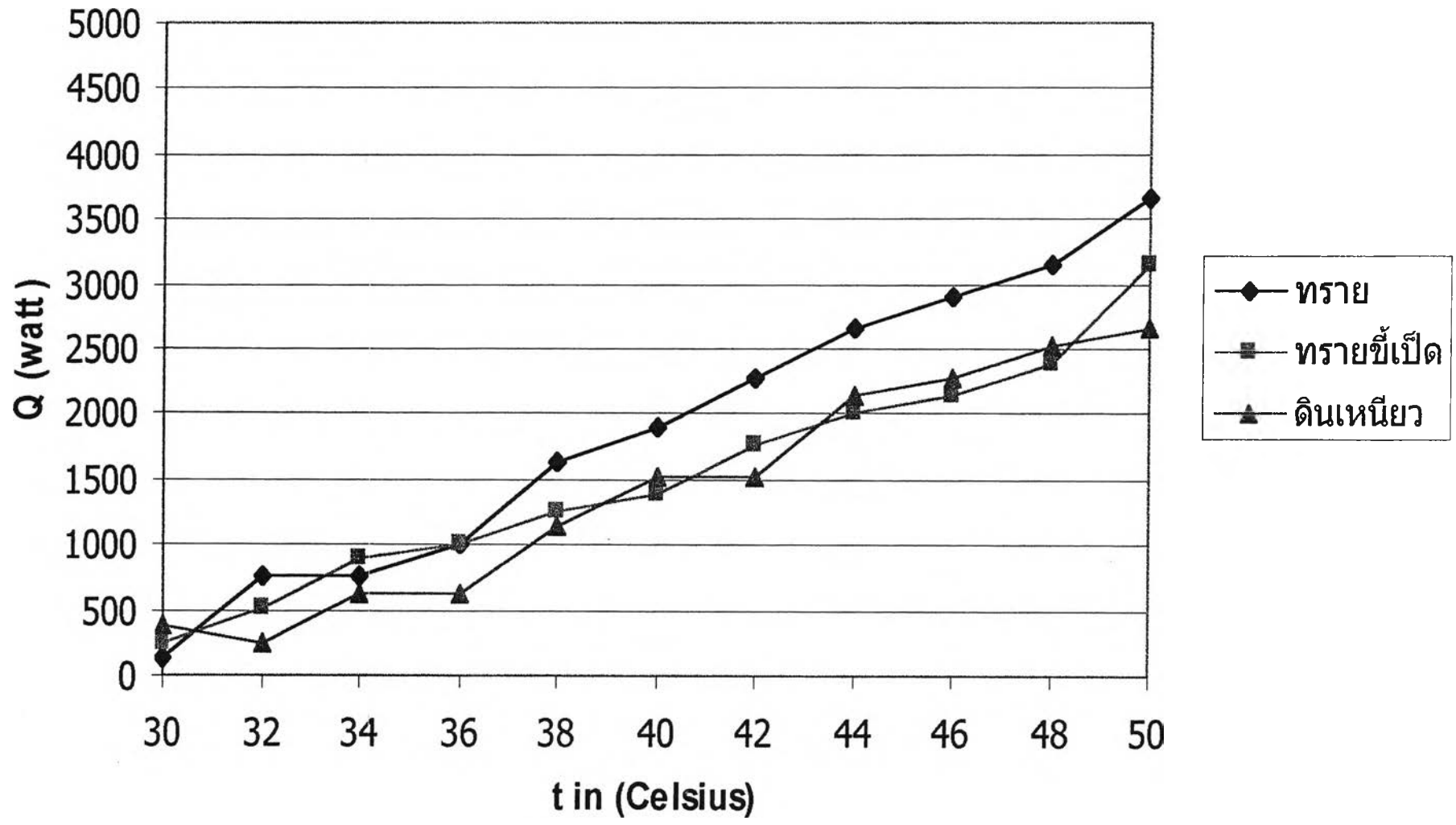
รูปที่ ก.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.05 kg/s



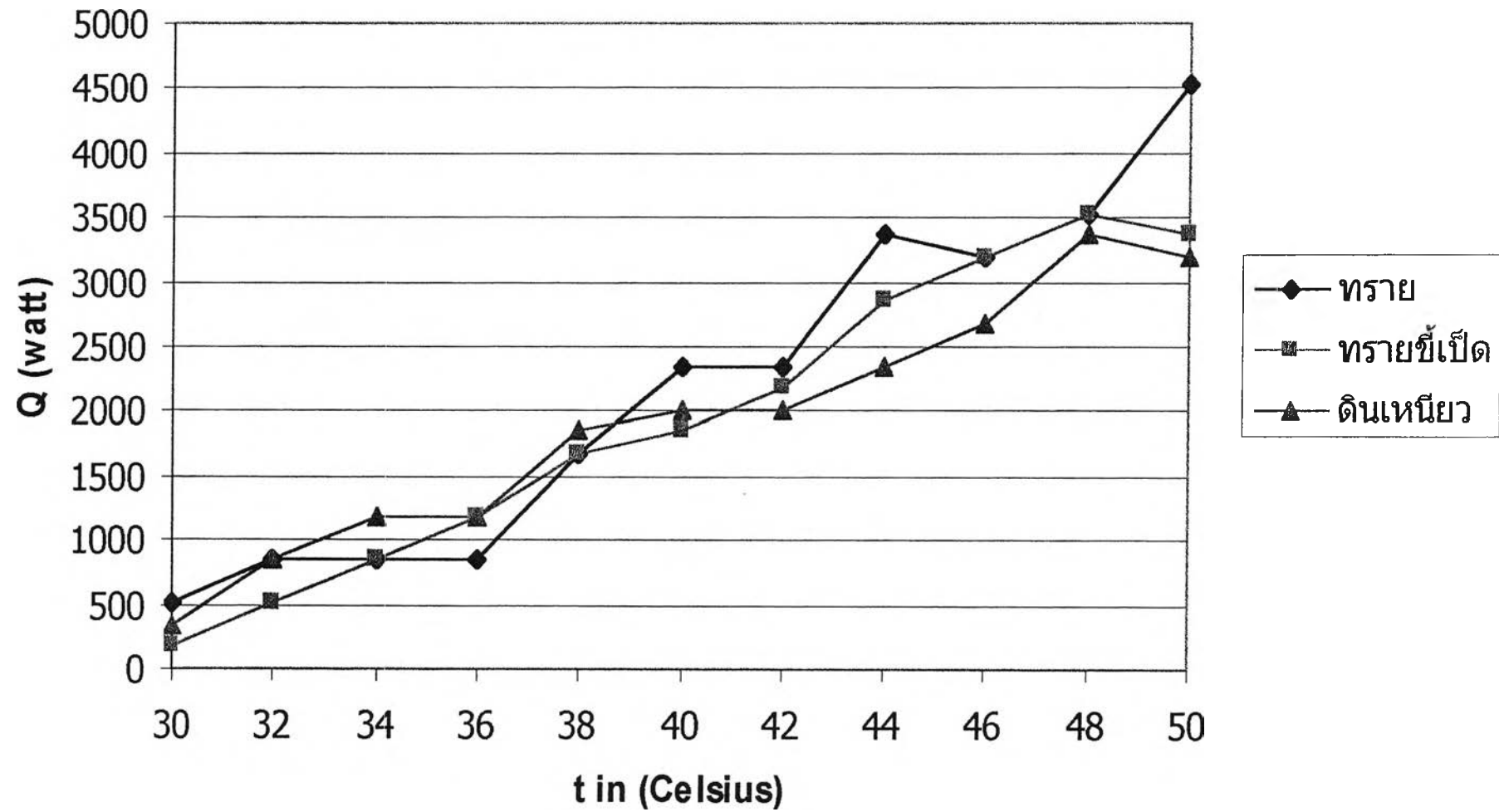
รูปที่ ก.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.1 kg/s



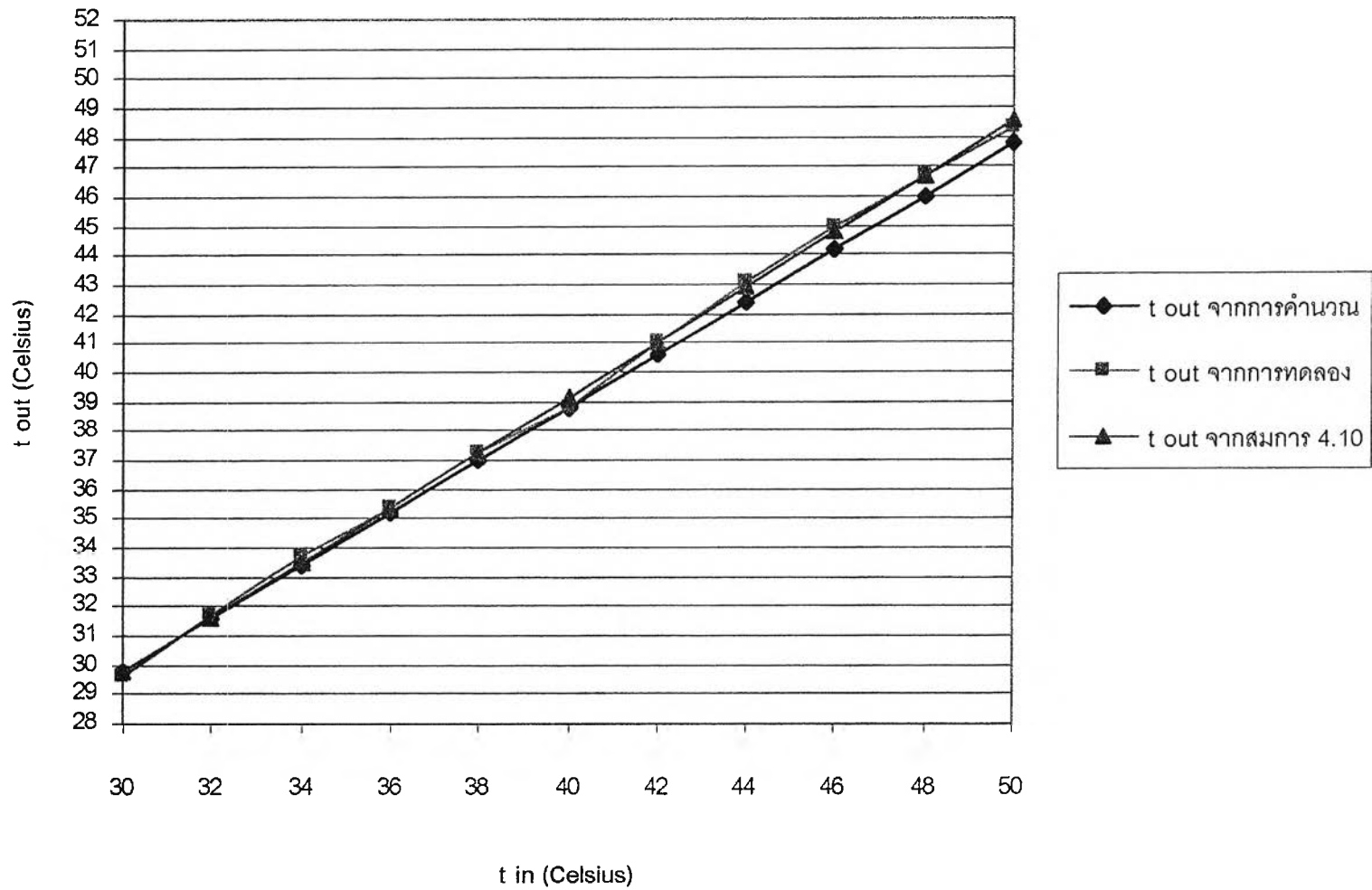
รูปที่ ก.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.2 kg/s



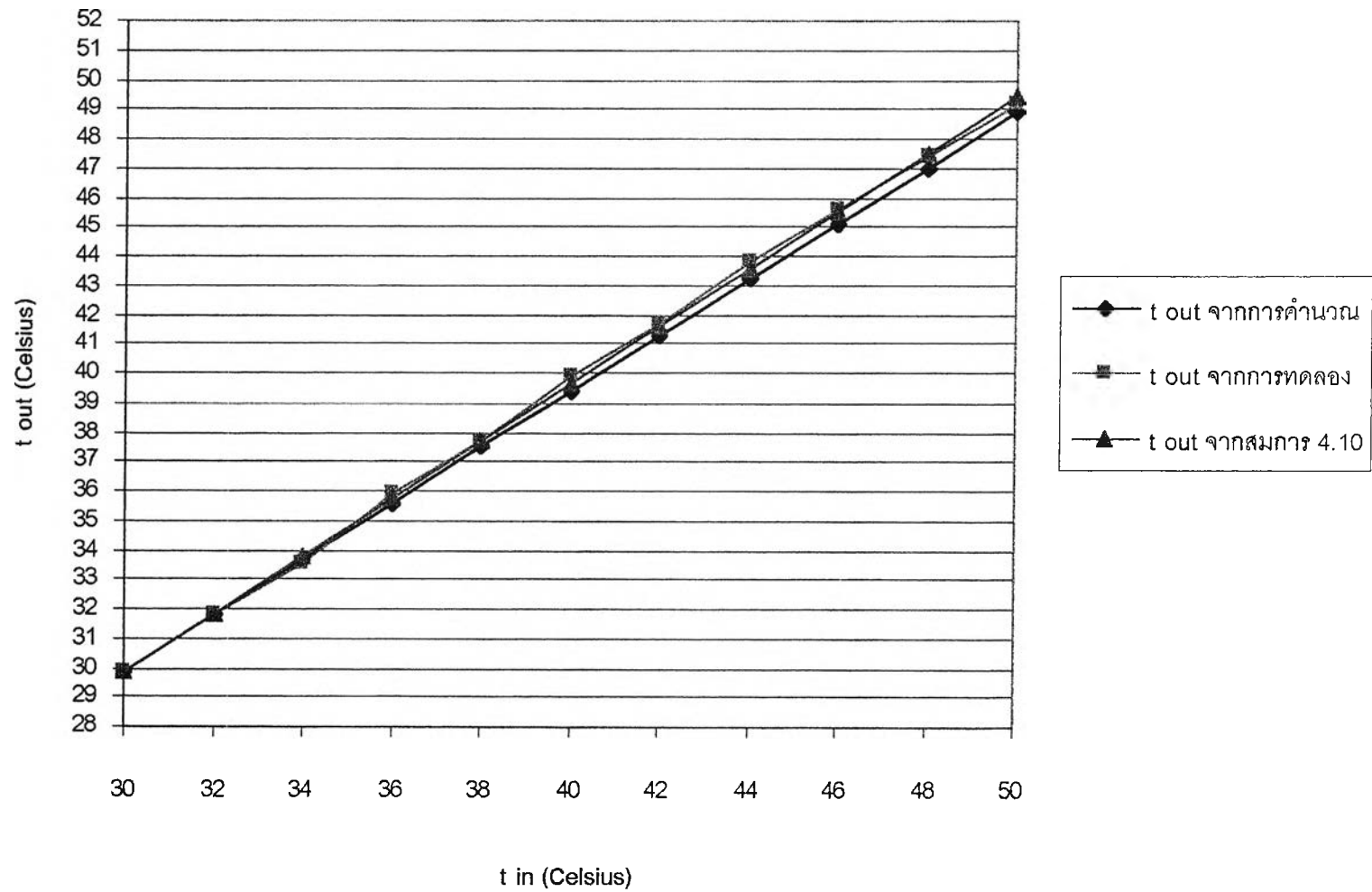
รูปที่ ก.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ชุดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 kg/s



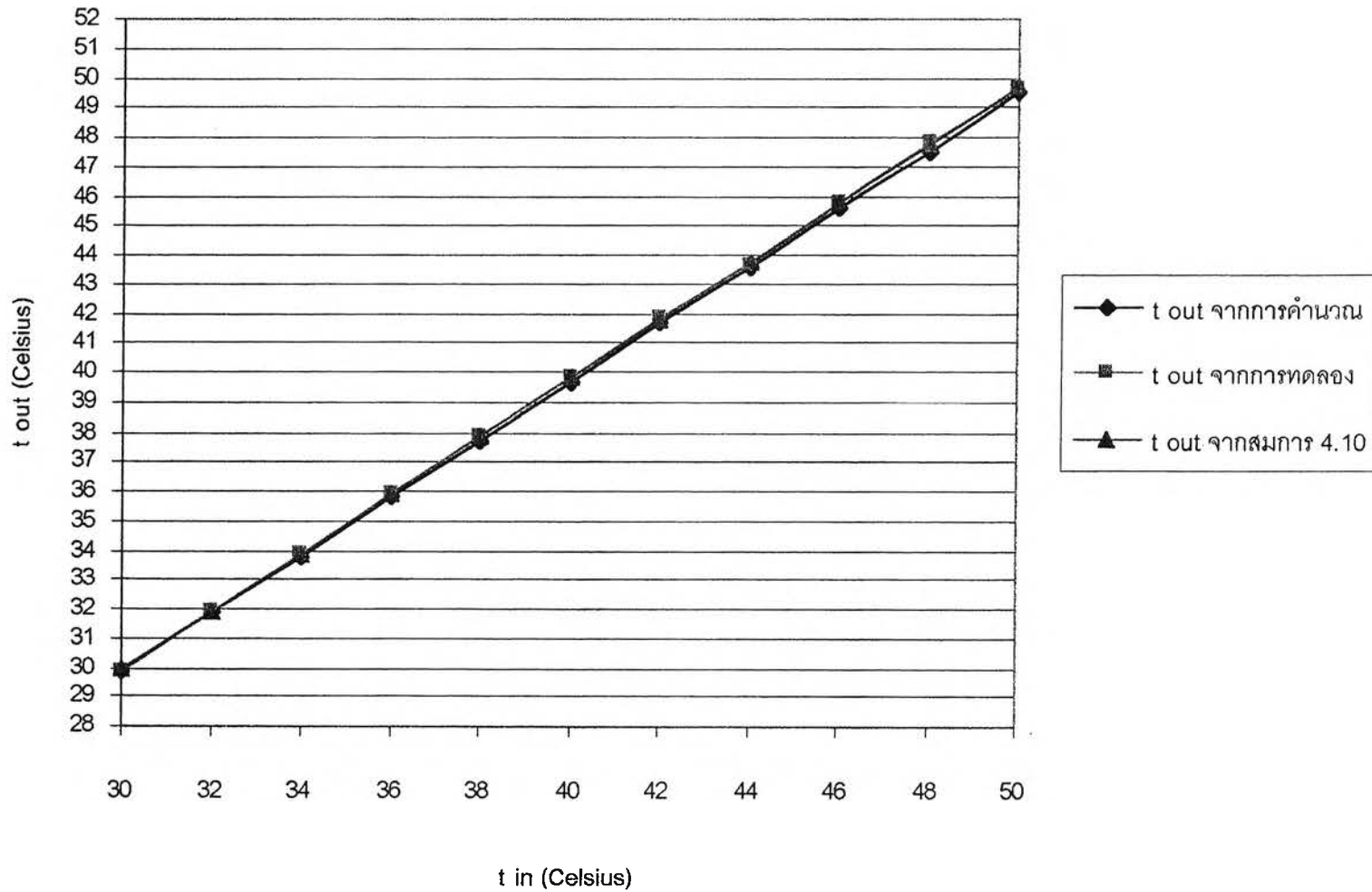
รูปที่ ก.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่ขดท่อ ของดินชนิดต่าง ๆ โดยมีระดับความชื้นโดยมวลมากกว่า 20% และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน 0.4 kg/s



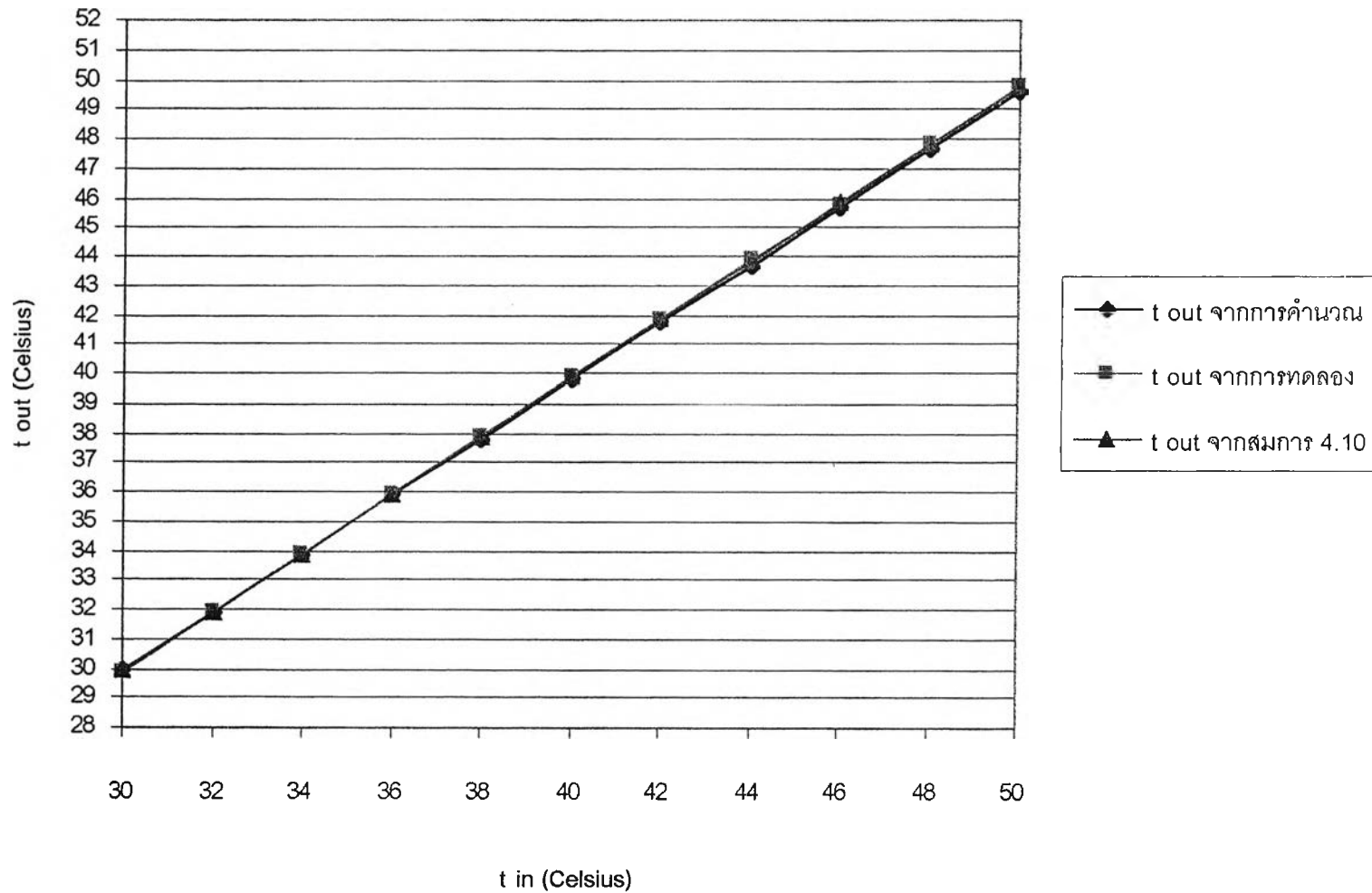
รูปที่ ก.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ (t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



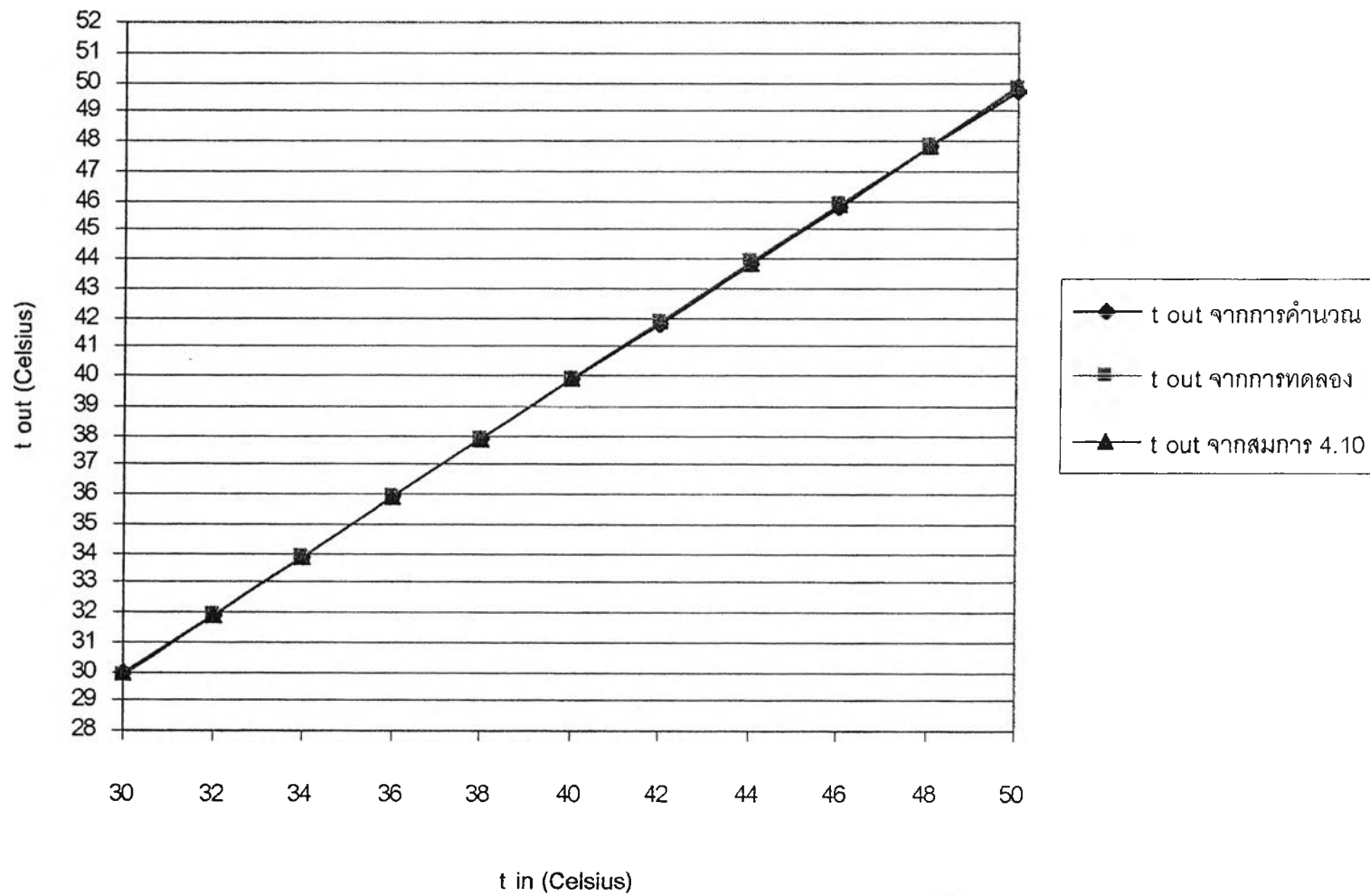
รูปที่ ก.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



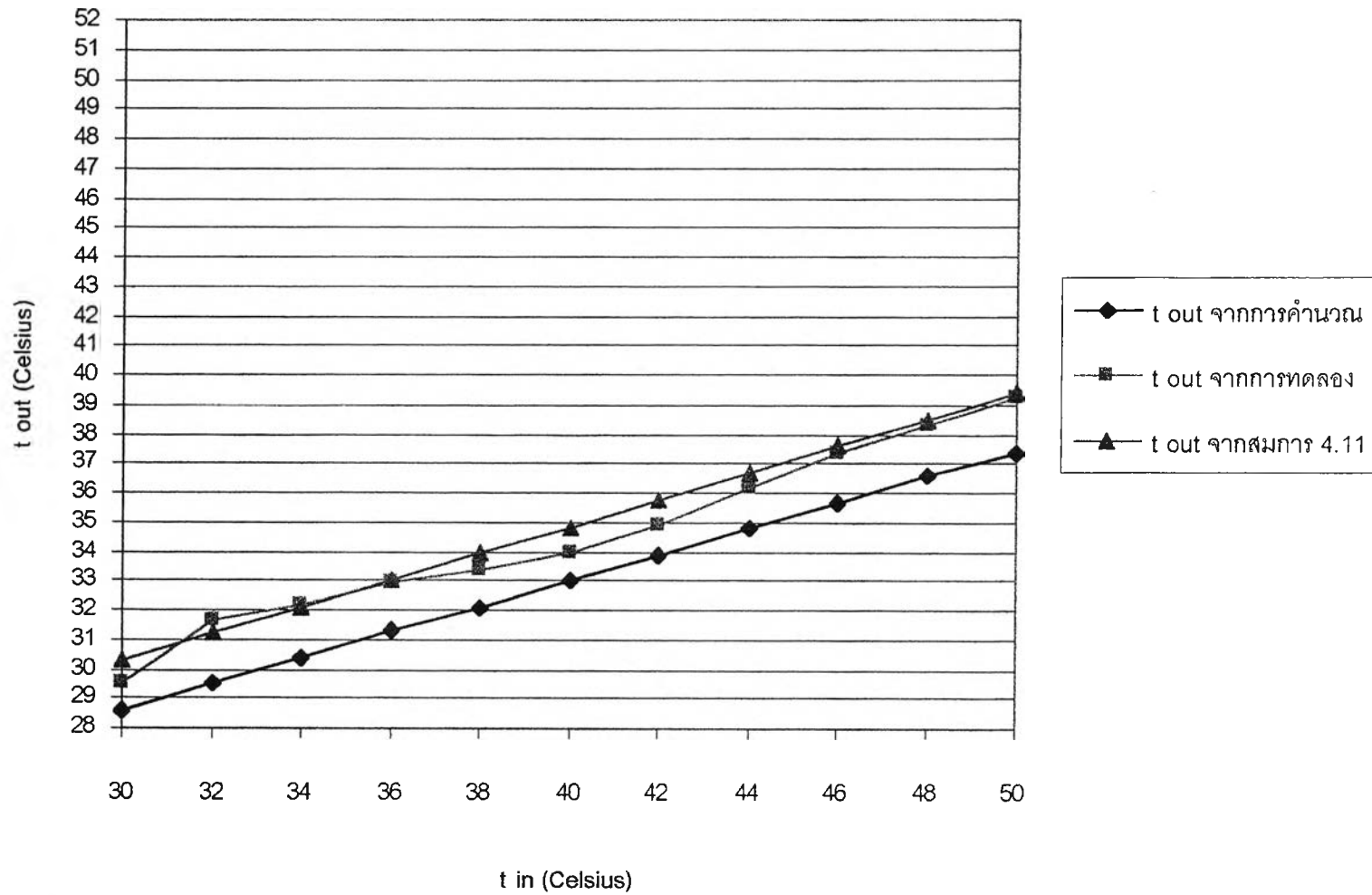
รูปที่ ก.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



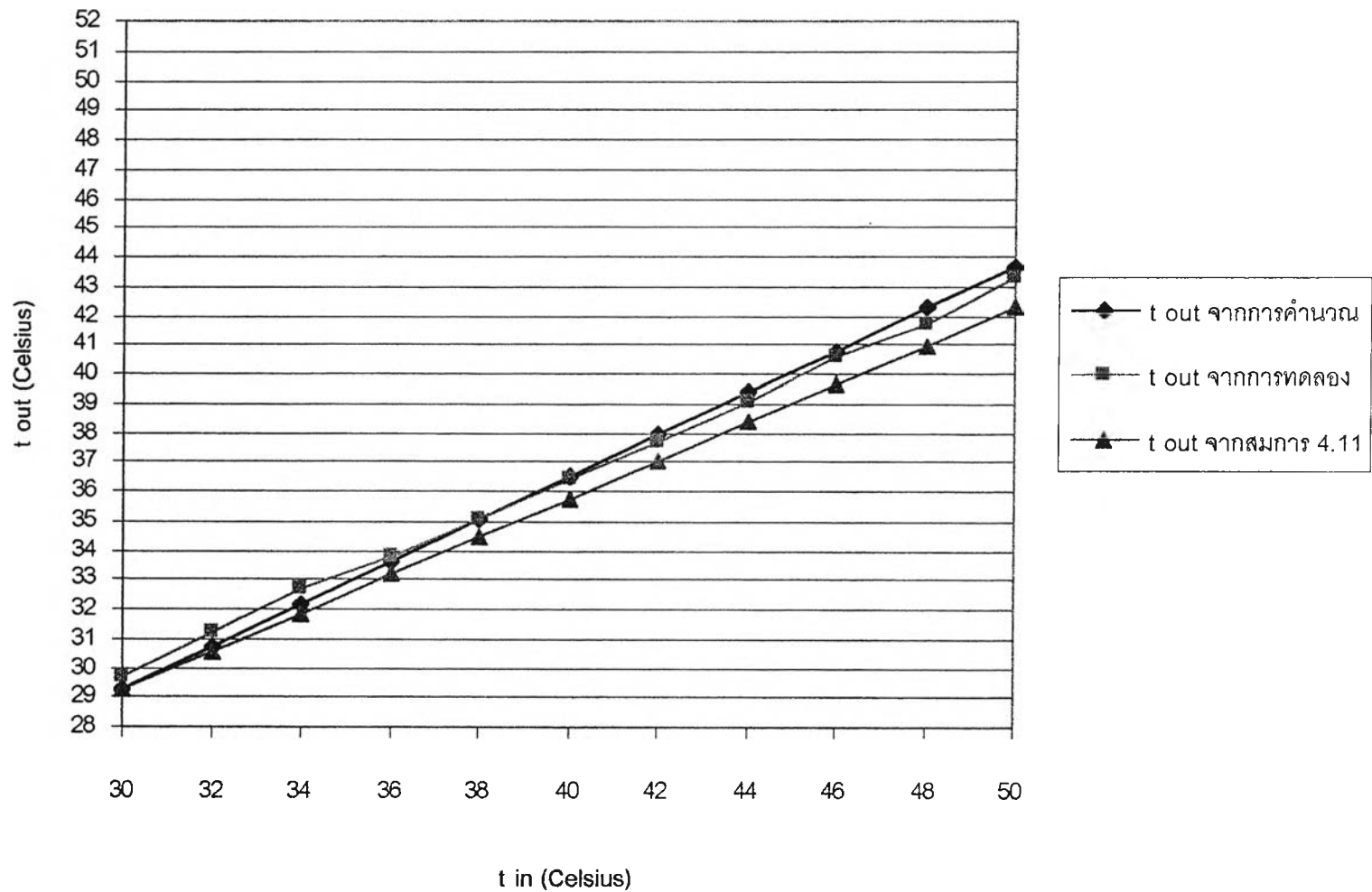
รูปที่ ก.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



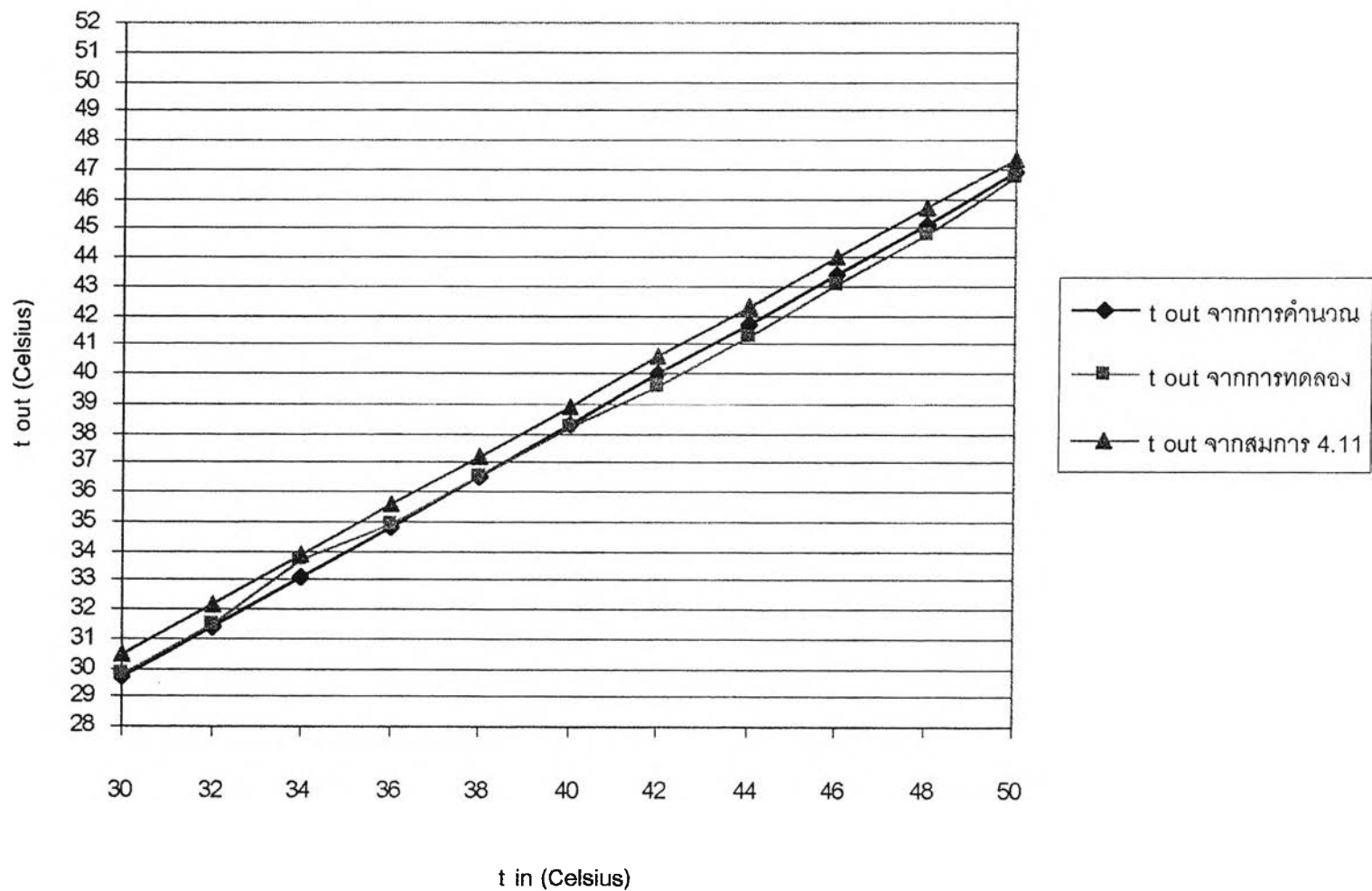
รูปที่ ก.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.10 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



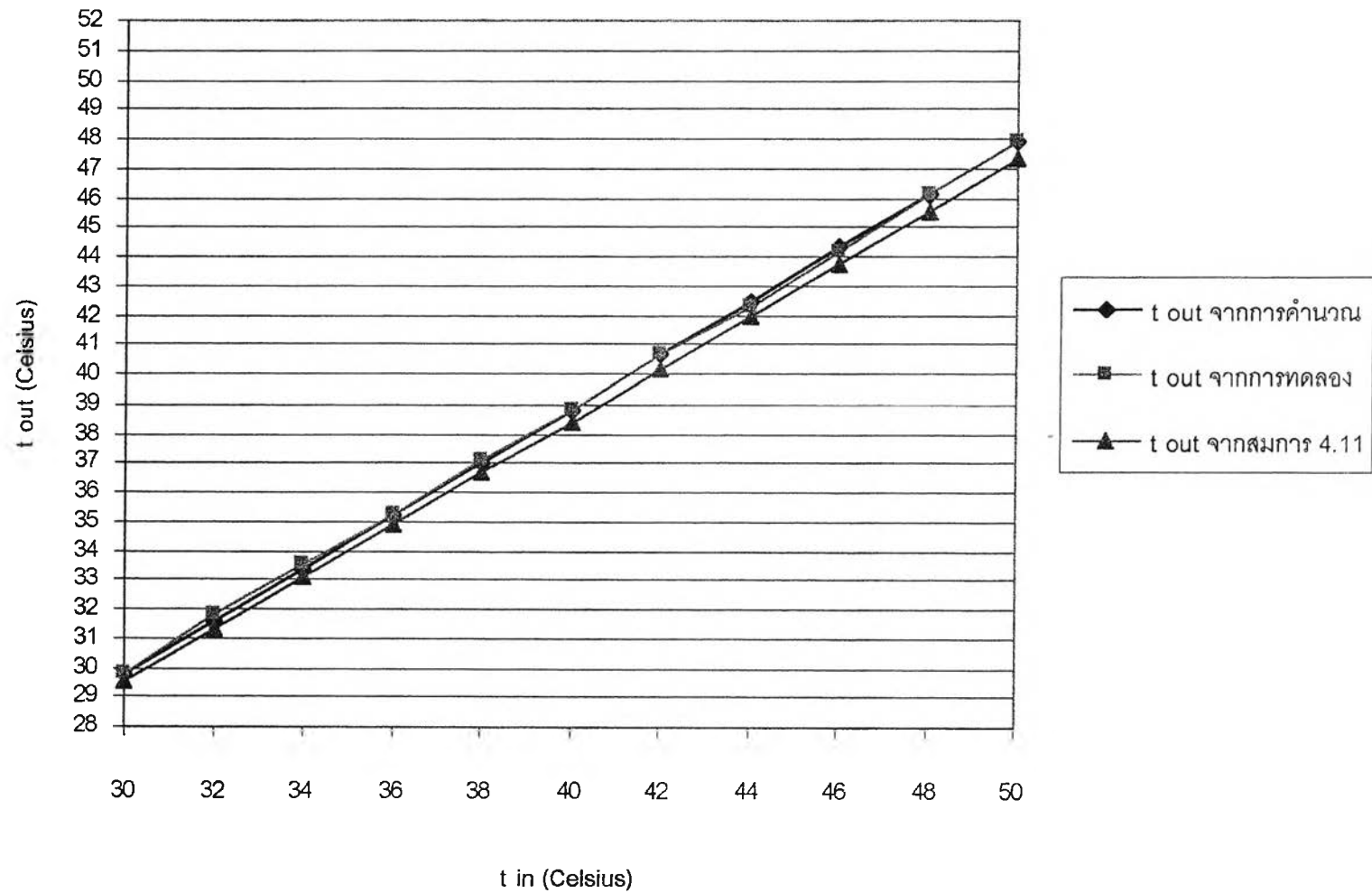
รูปที่ ก.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



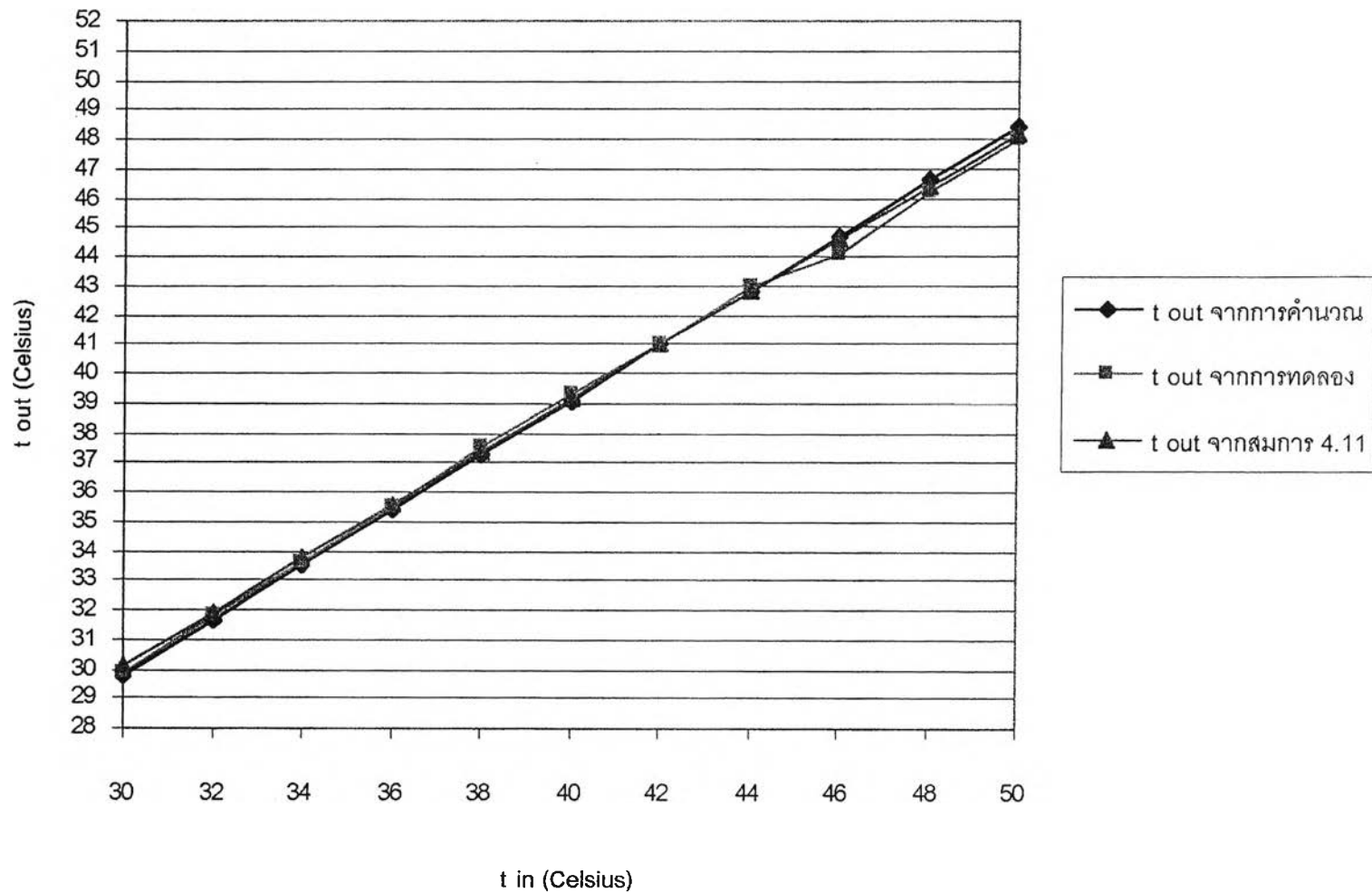
รูปที่ ก.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ (t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



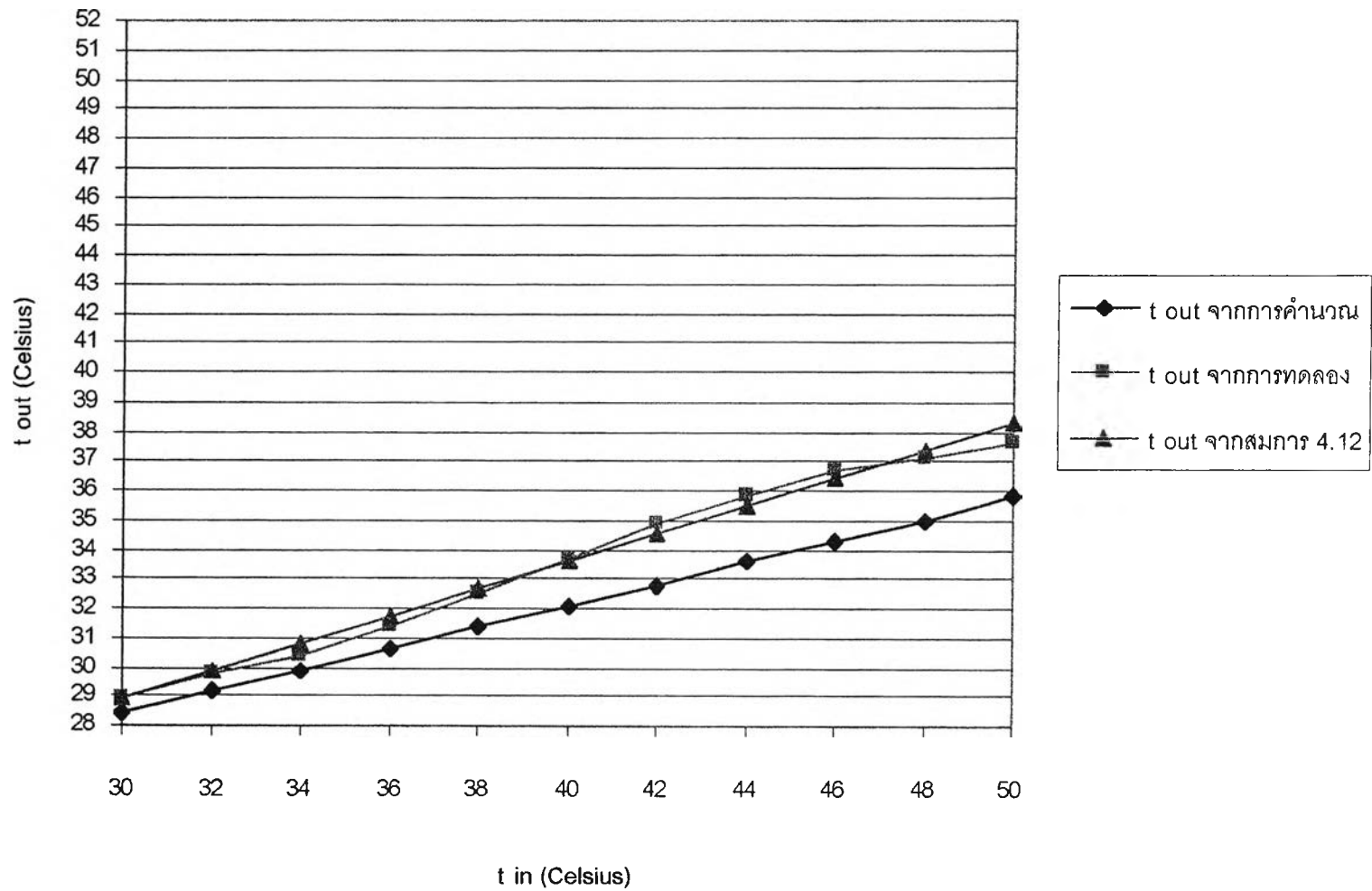
รูปที่ ก.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.11 เมื่อให้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



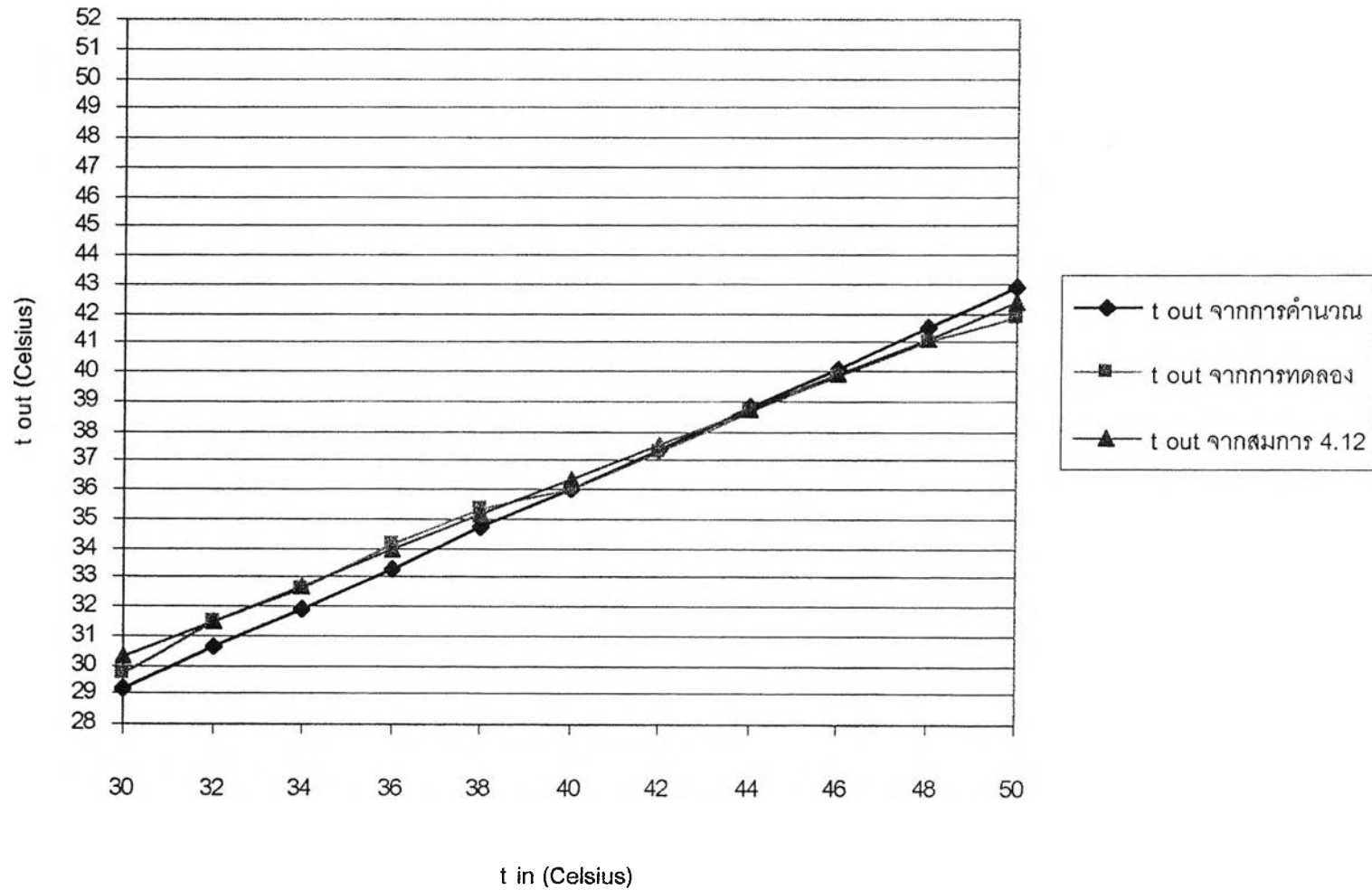
รูปที่ ก.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



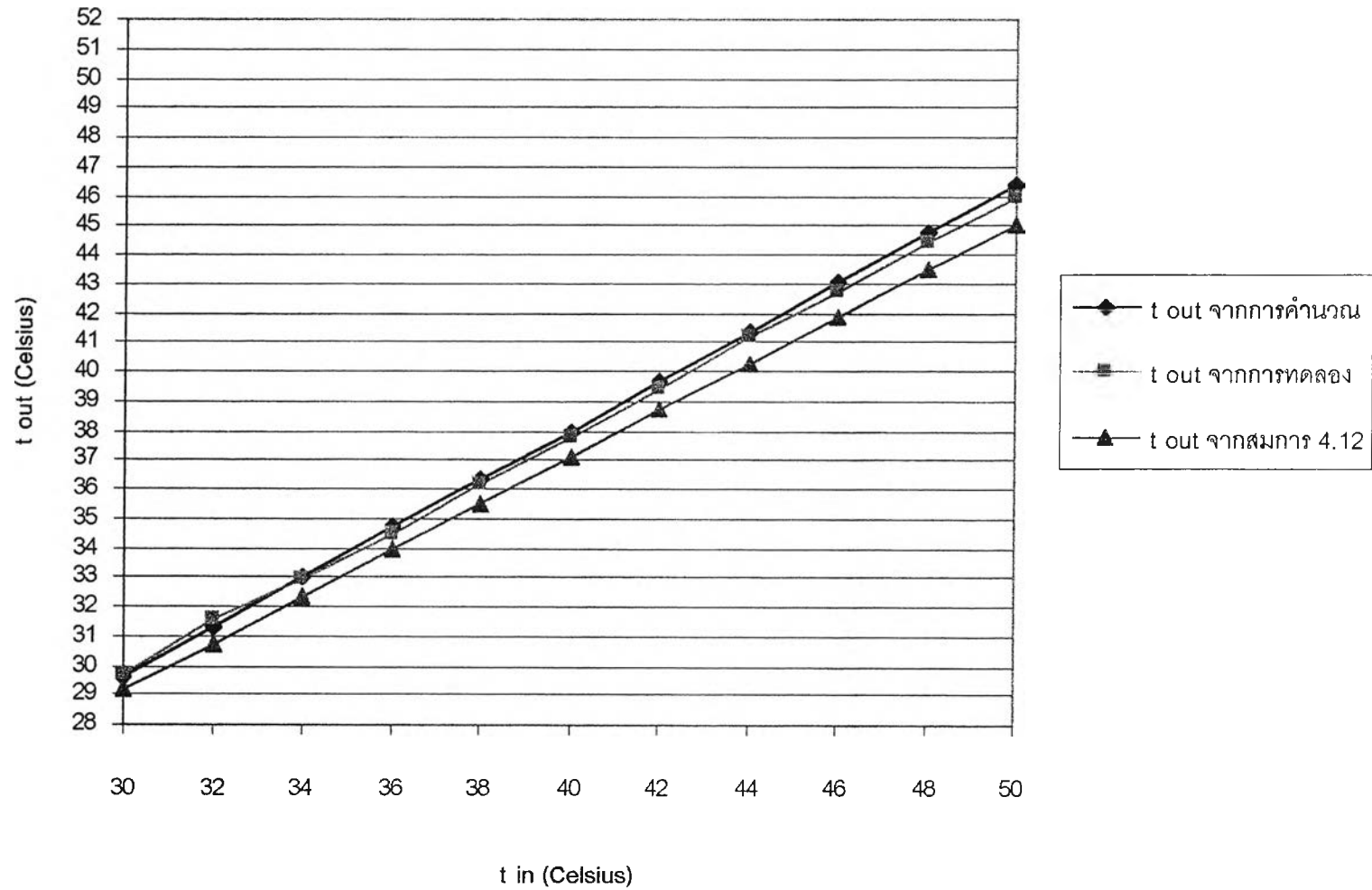
รูปที่ ก.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.11 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



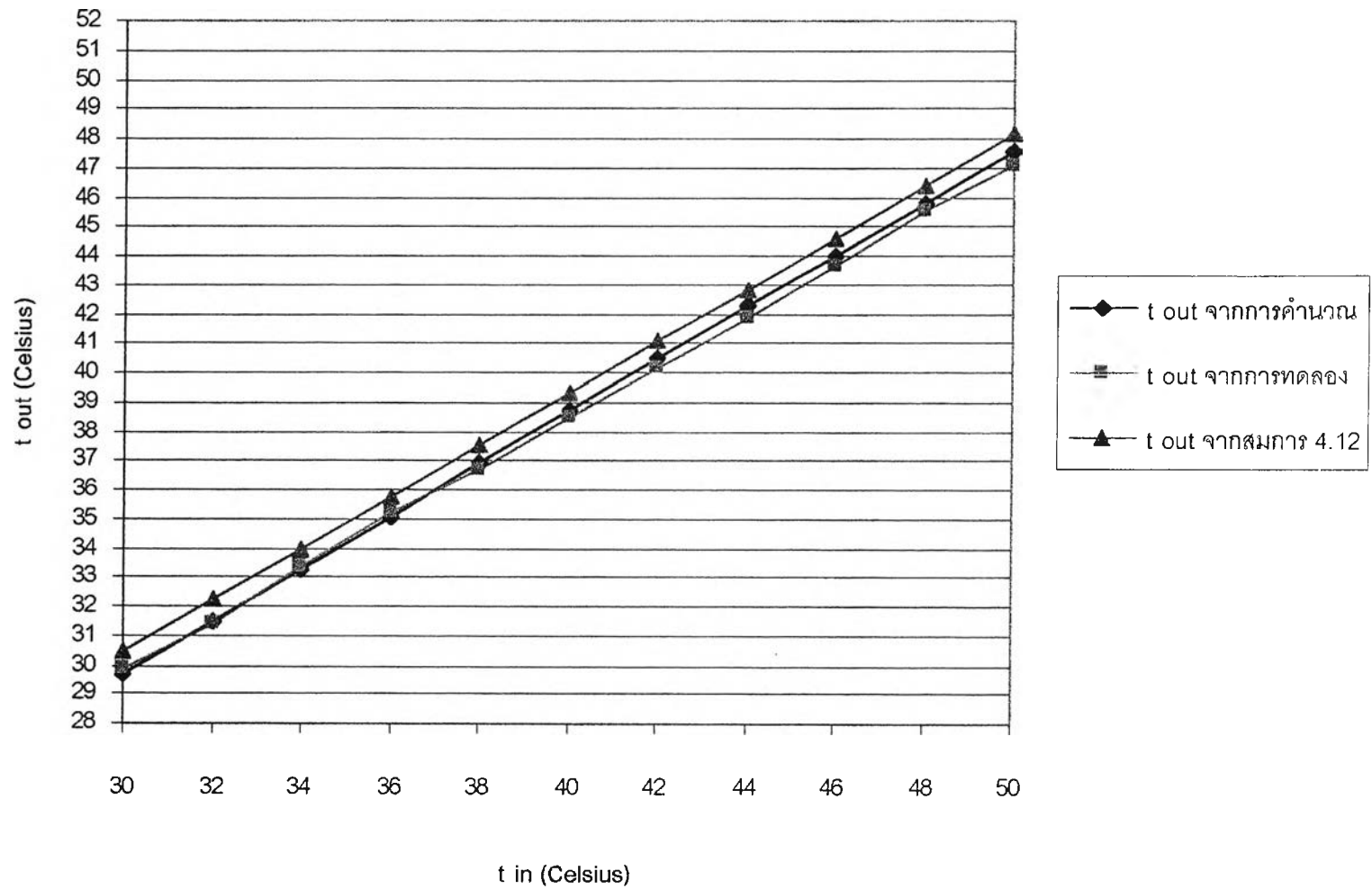
รูปที่ ก.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



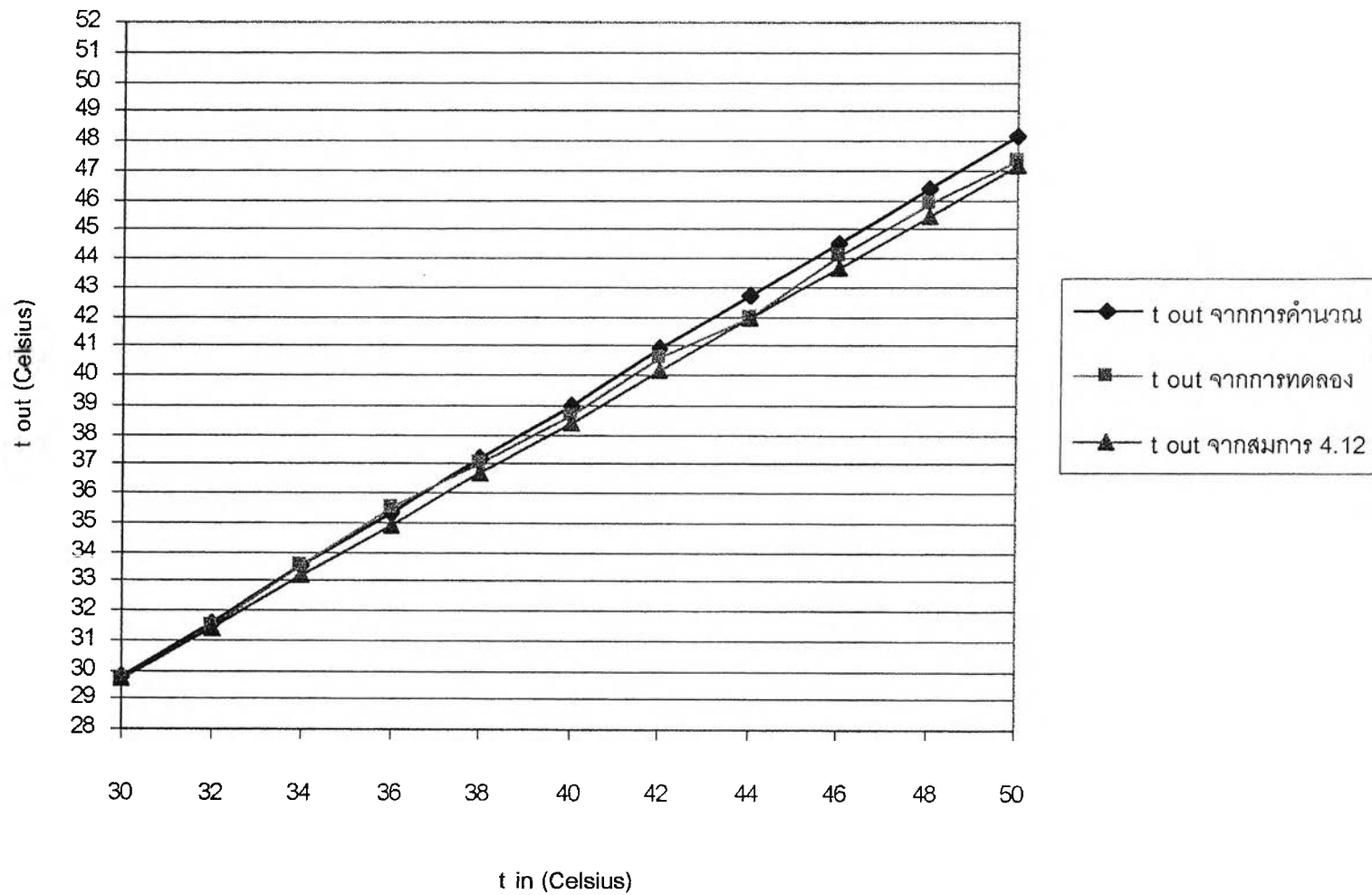
รูปที่ ก.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



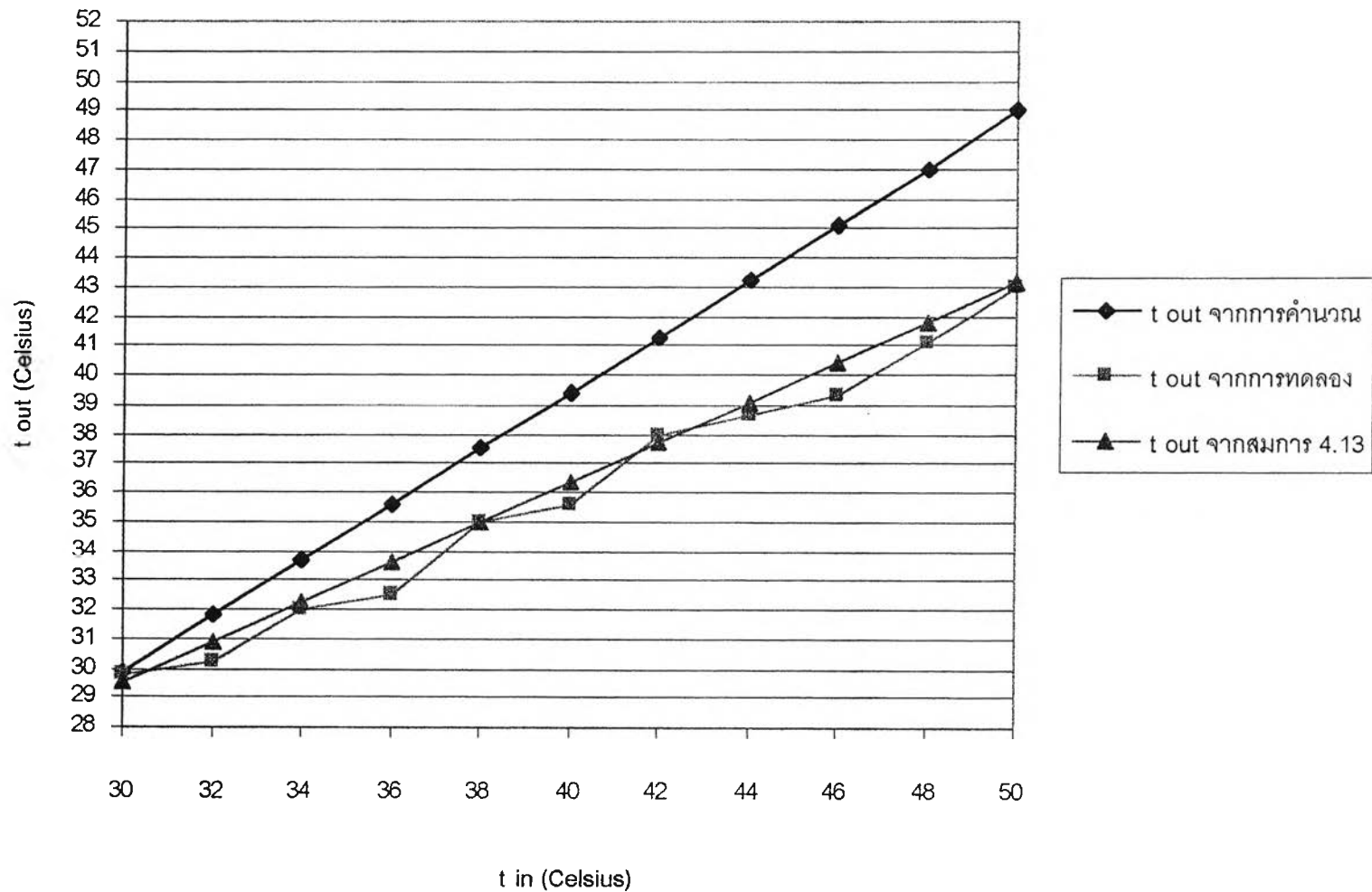
รูปที่ ก.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



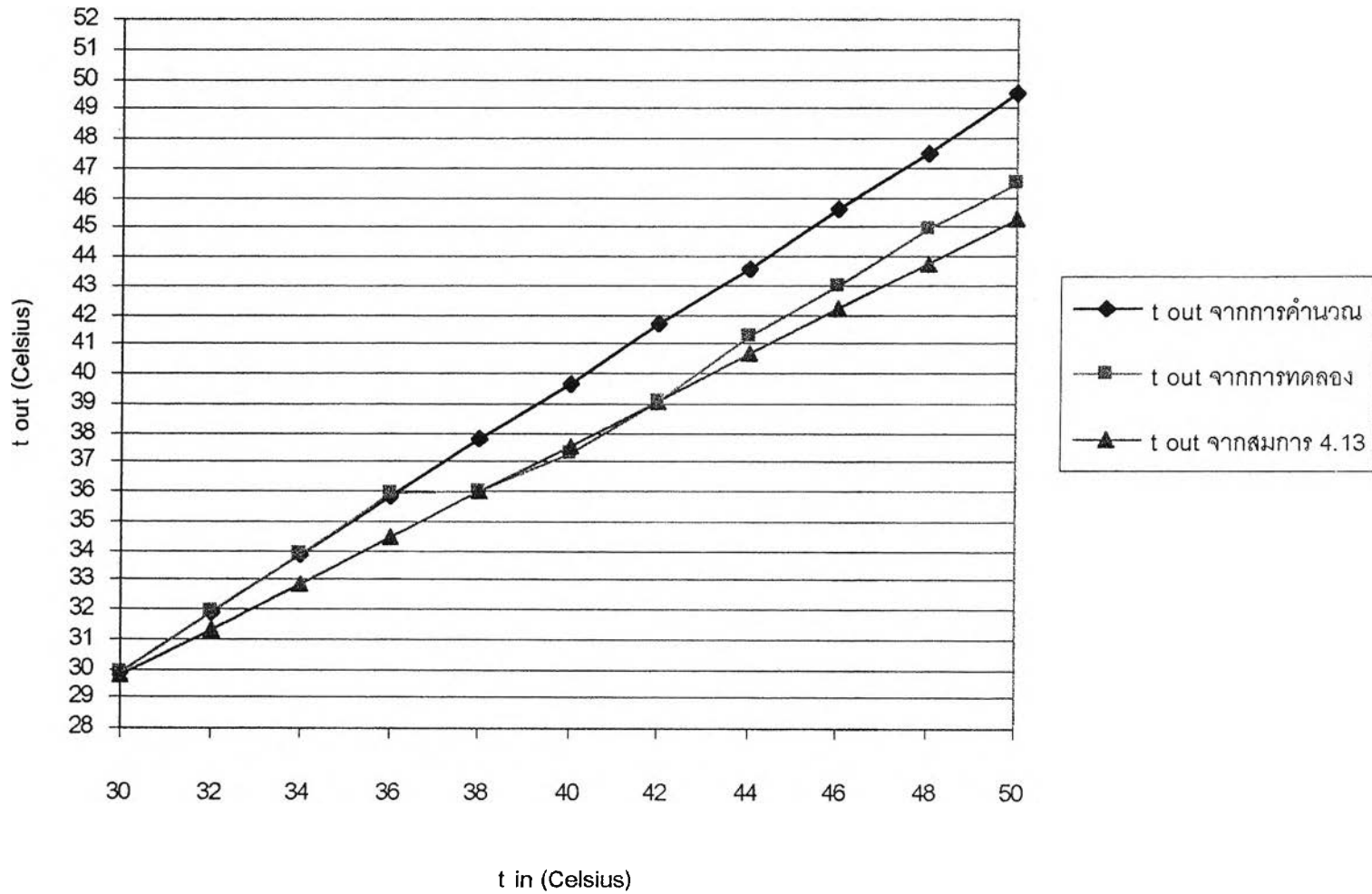
รูปที่ ก.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



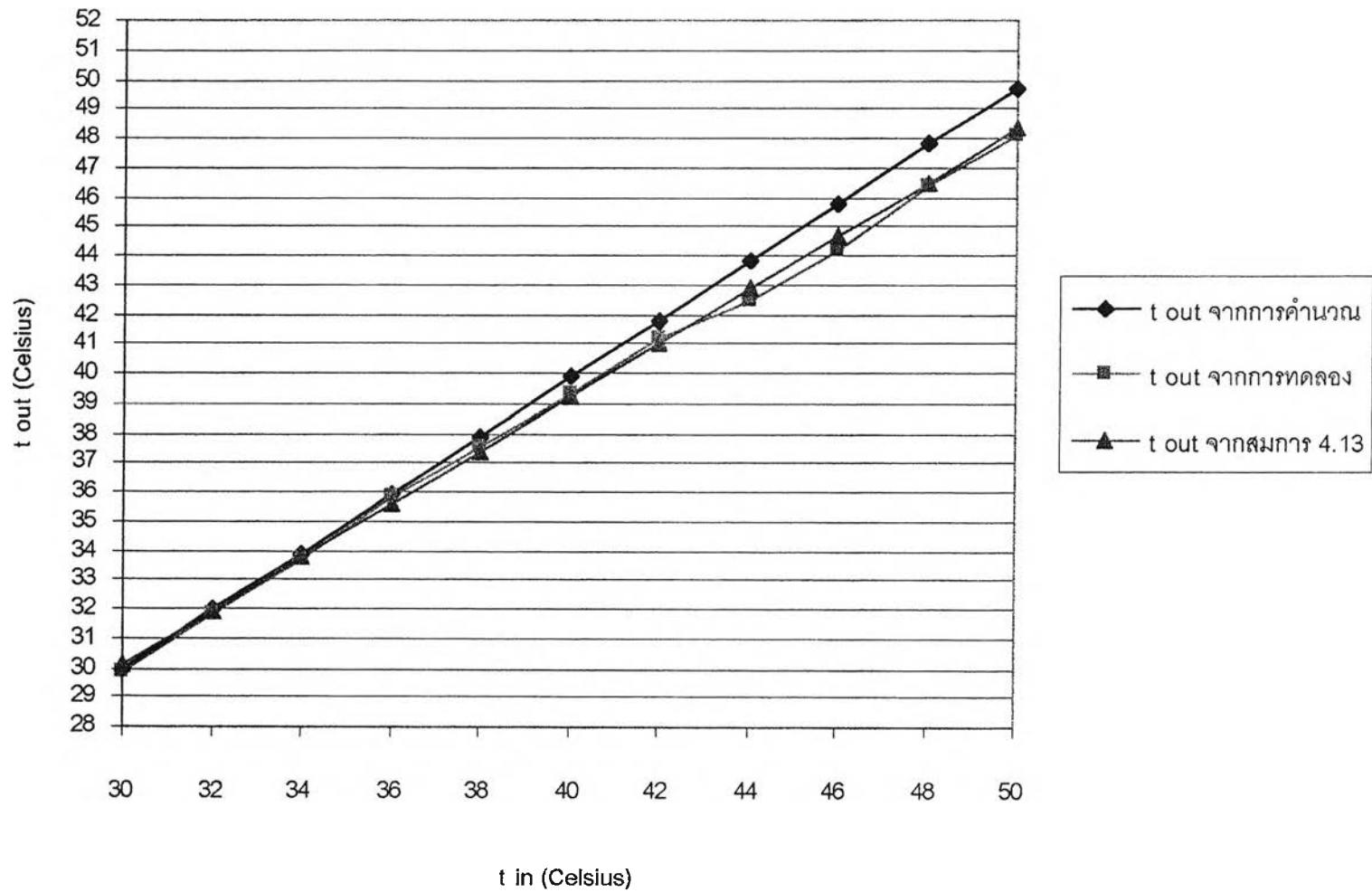
รูปที่ ก.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.12 เมื่อใช้ทรายในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



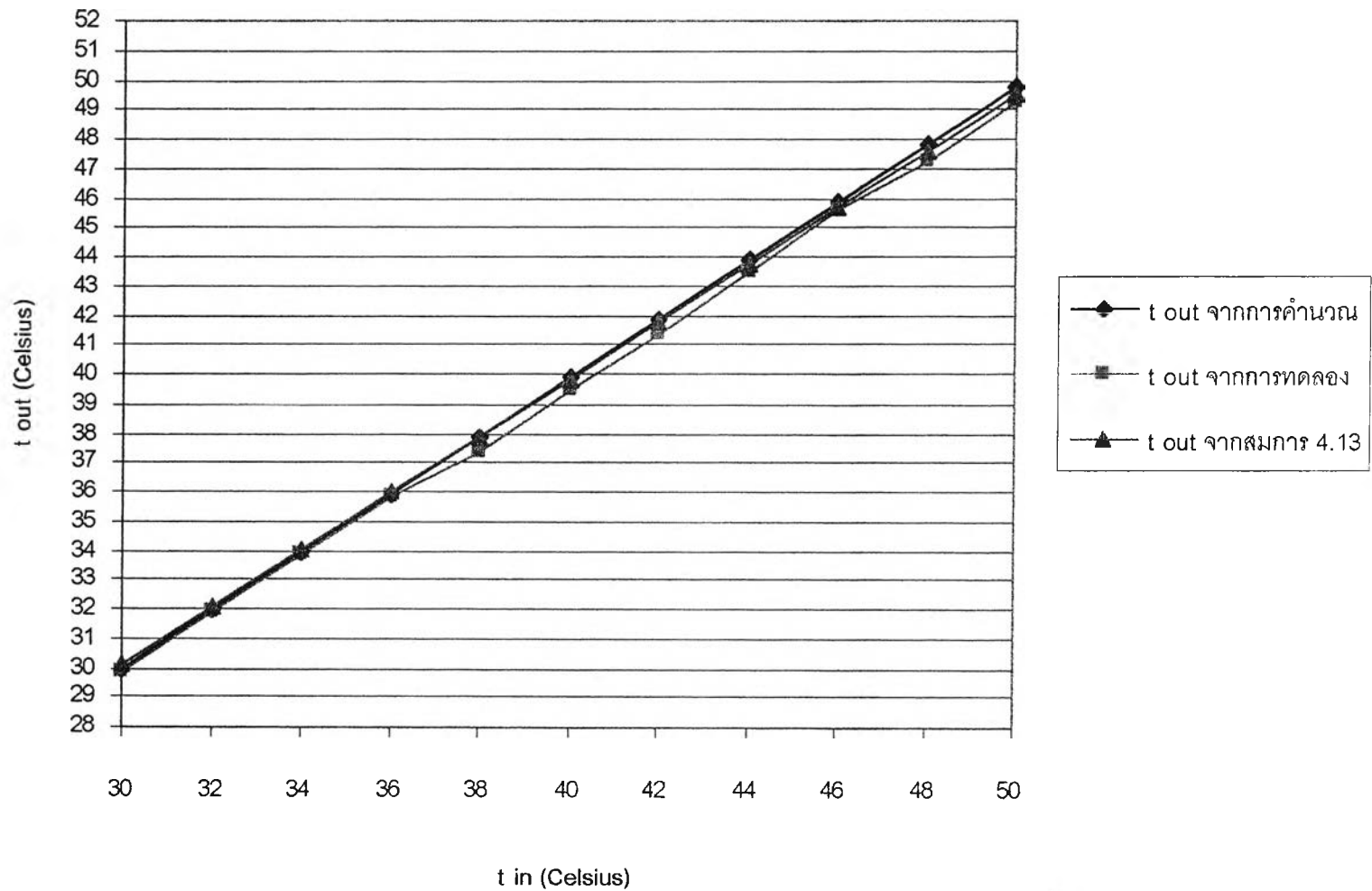
รูปที่ ก.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



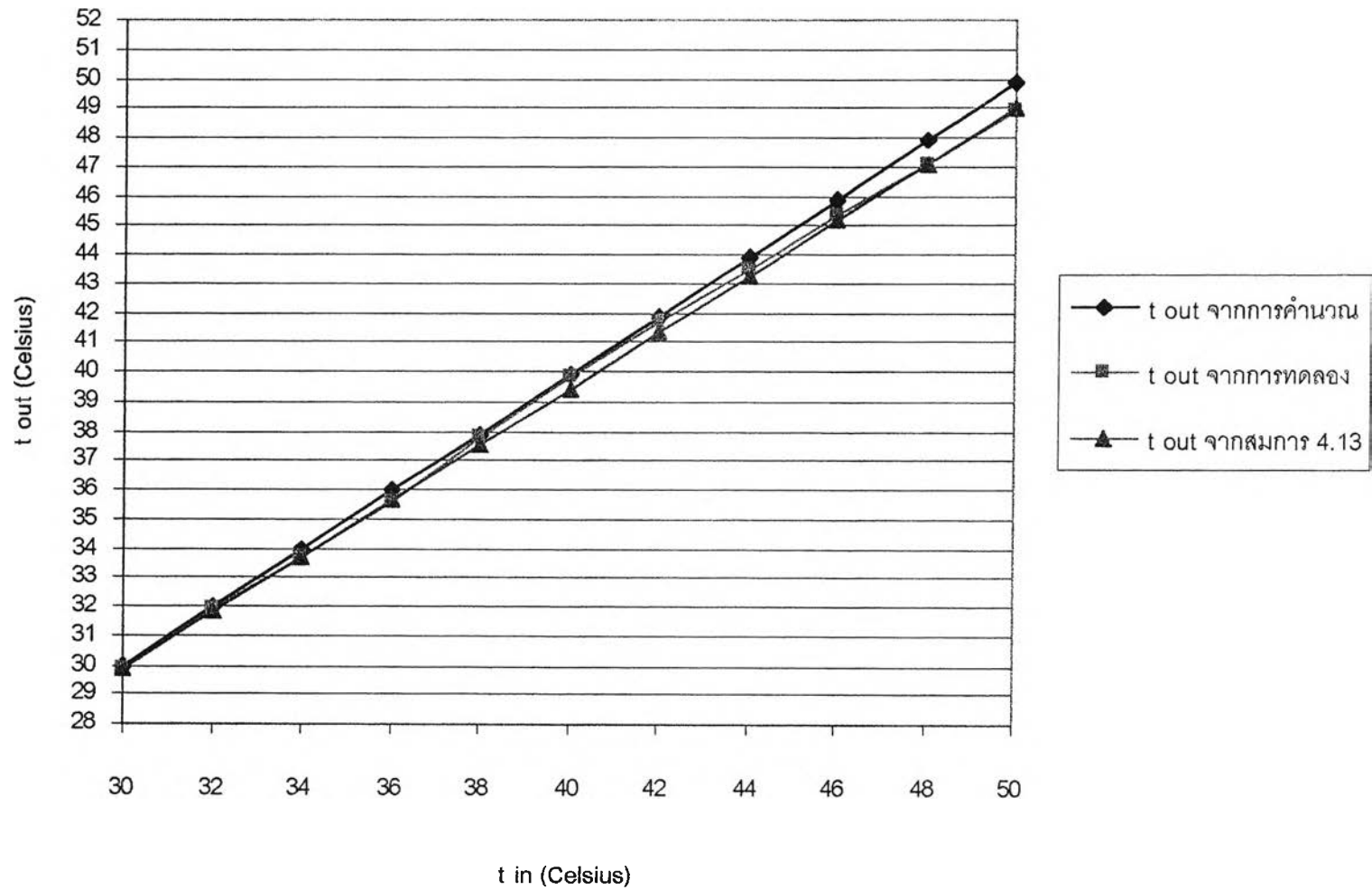
รูปที่ ก.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



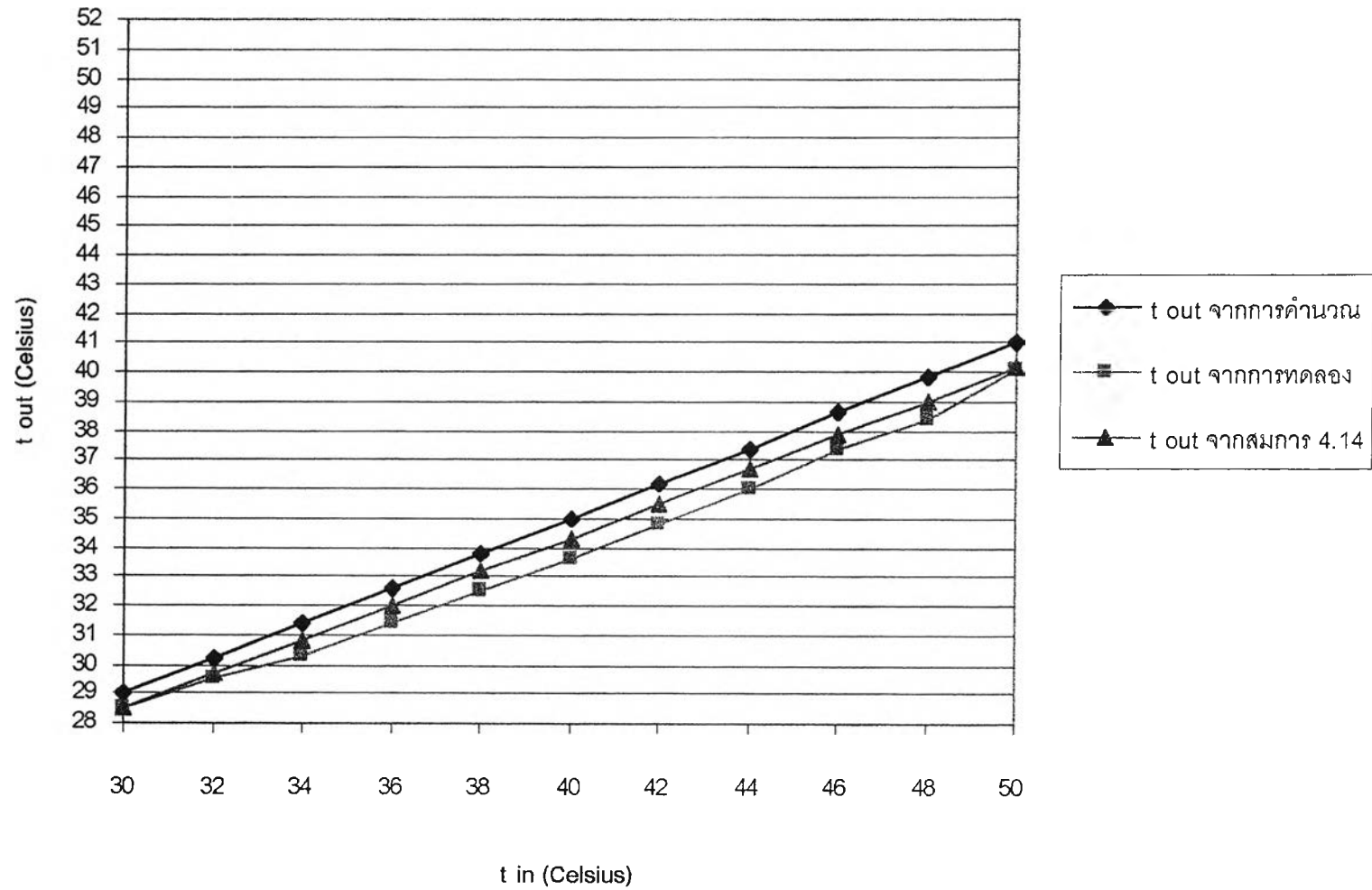
รูปที่ ก.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.13 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



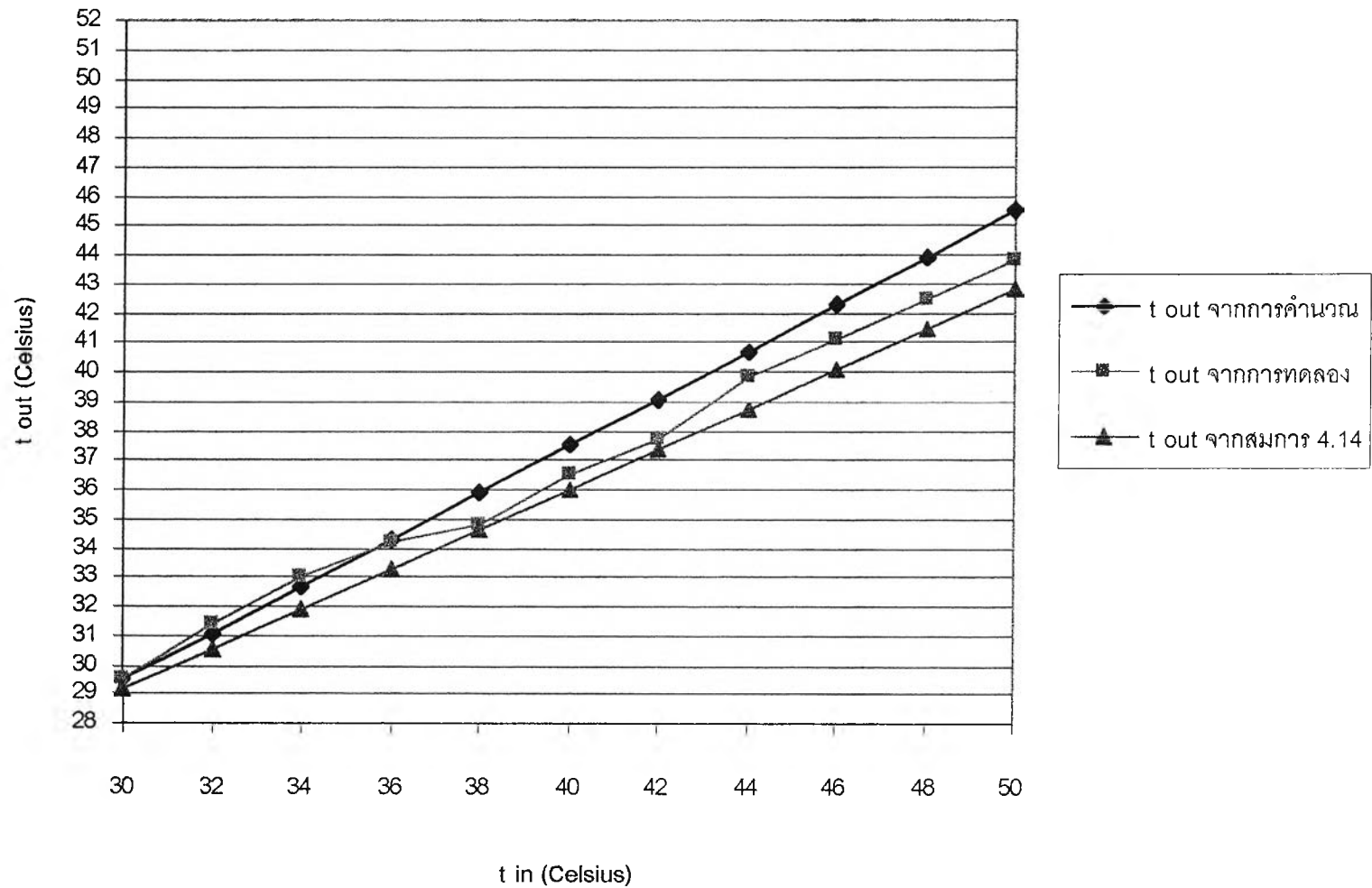
รูปที่ ก.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.13 เมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



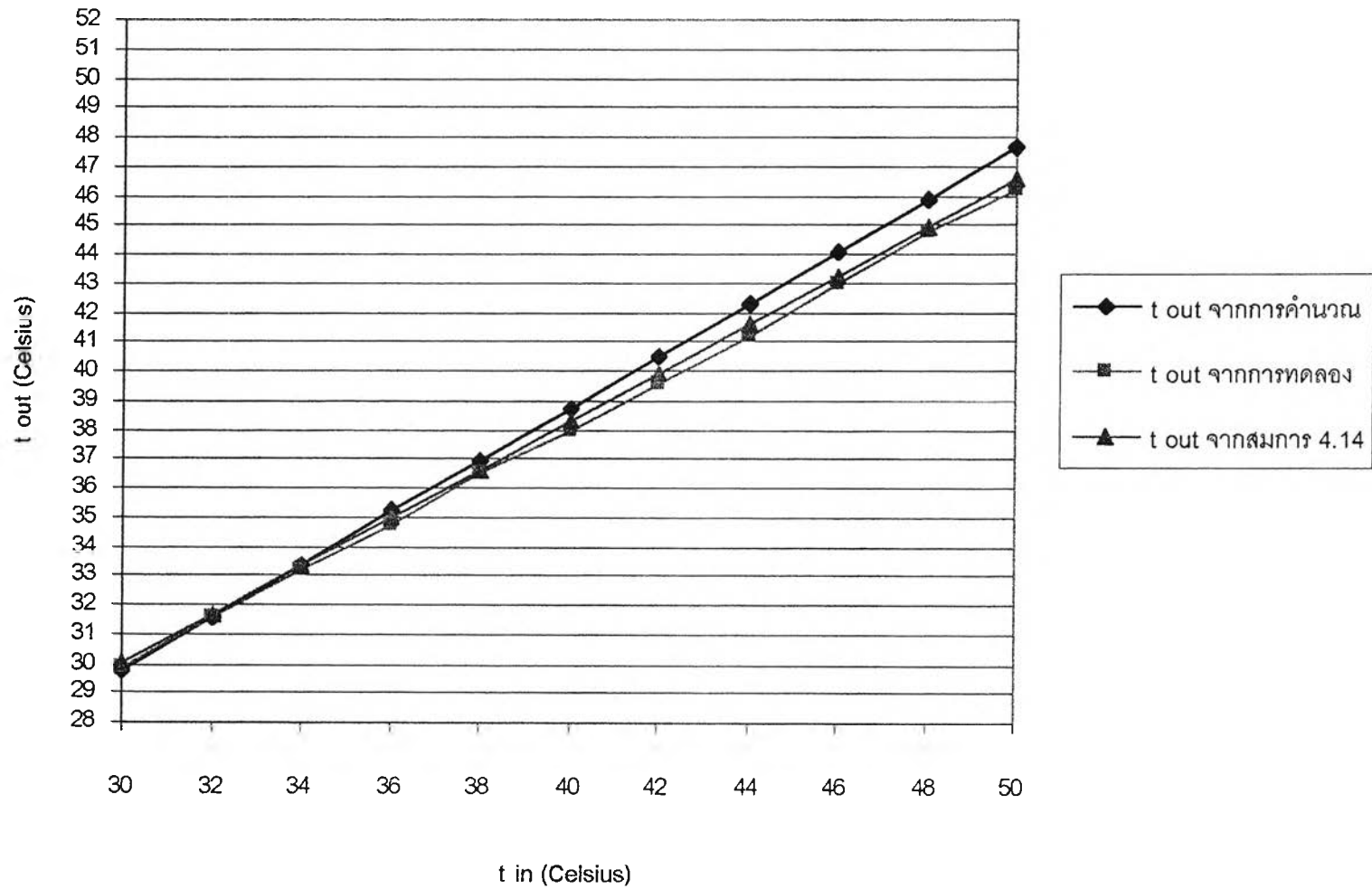
รูปที่ ก.69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.13 เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



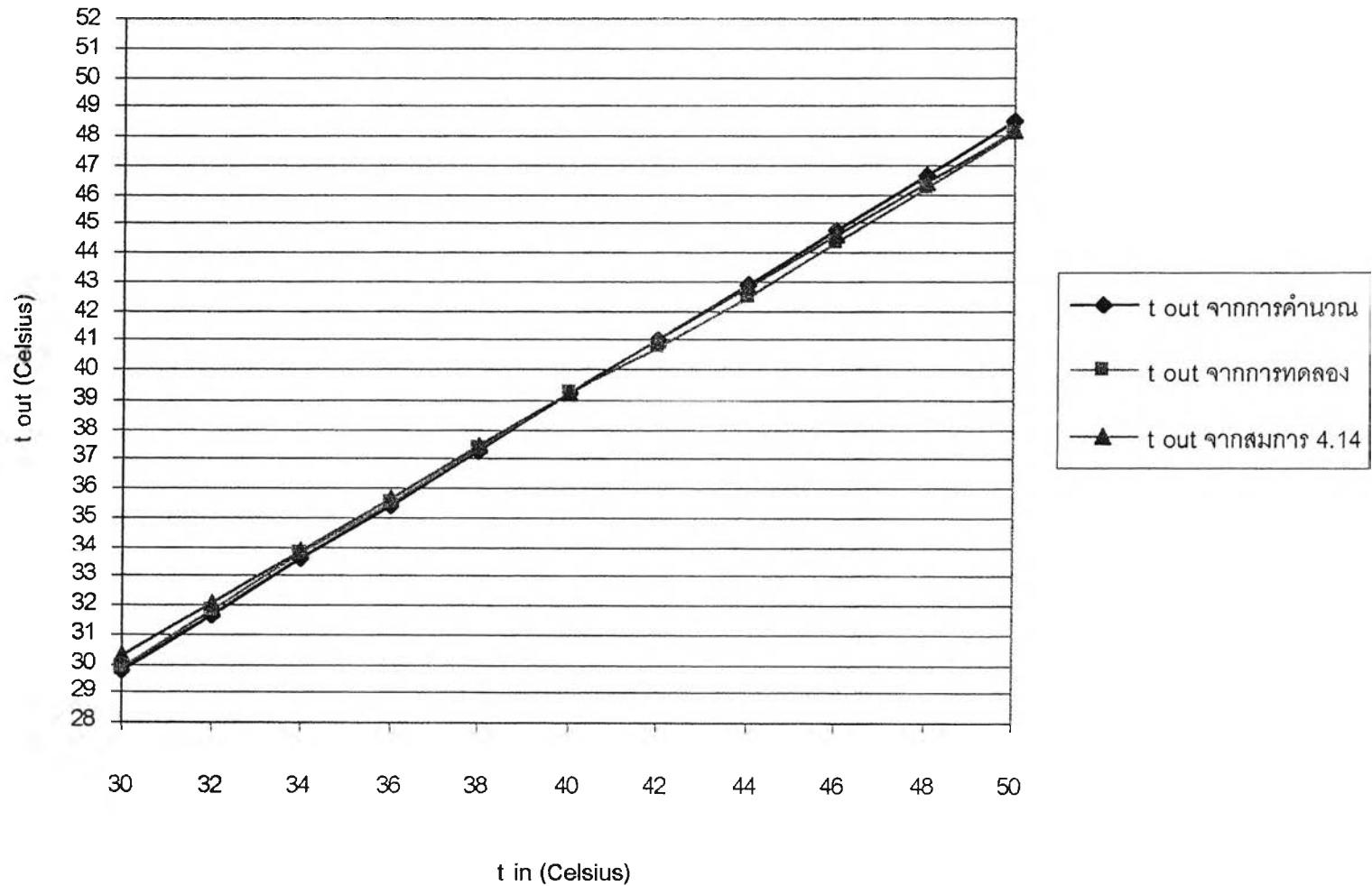
รูปที่ ก.70 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



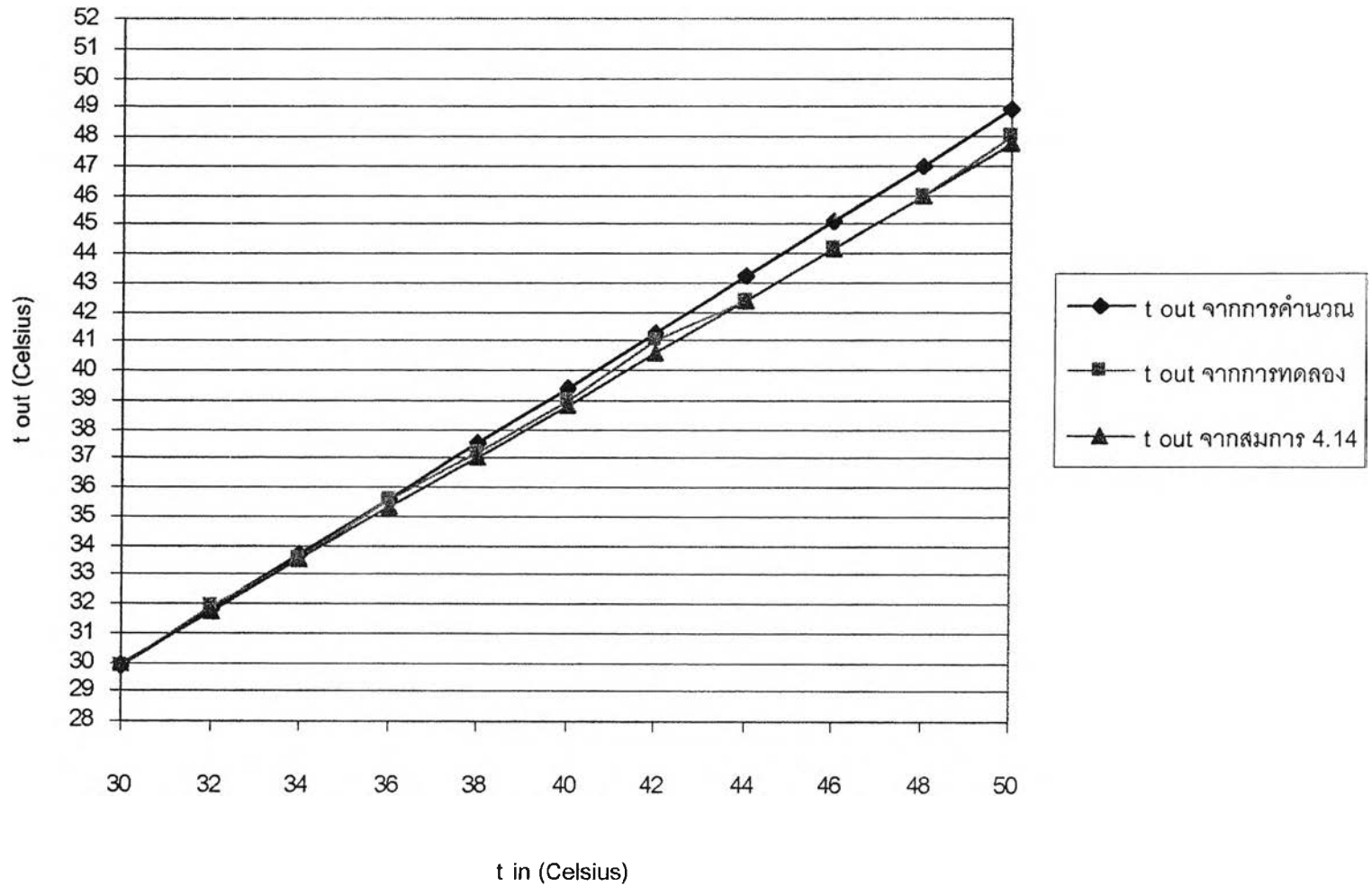
รูปที่ ก.71 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.14 เมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



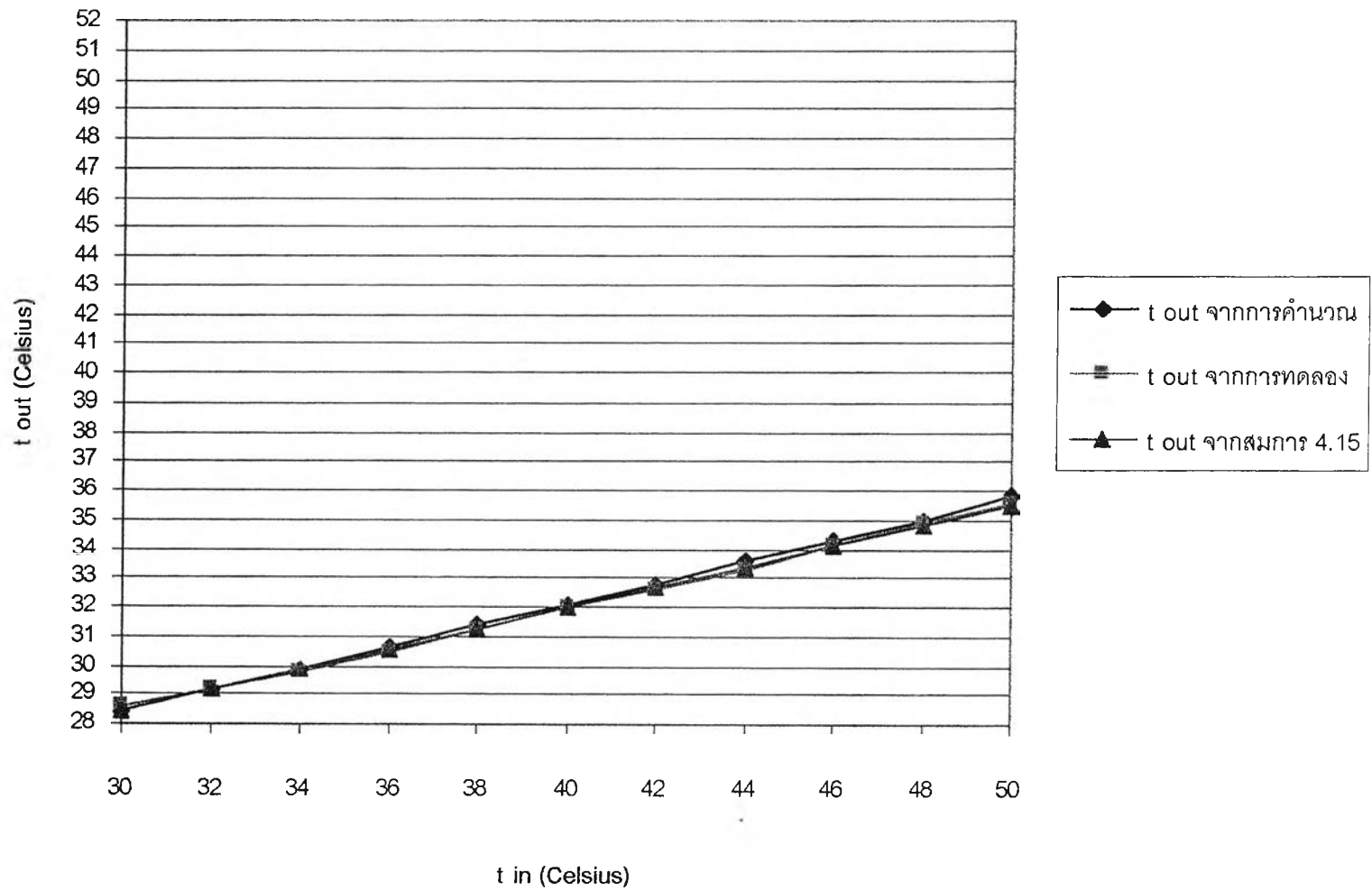
รูปที่ ก.72 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.14 เมื่อใช้ทรายซีเปิดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



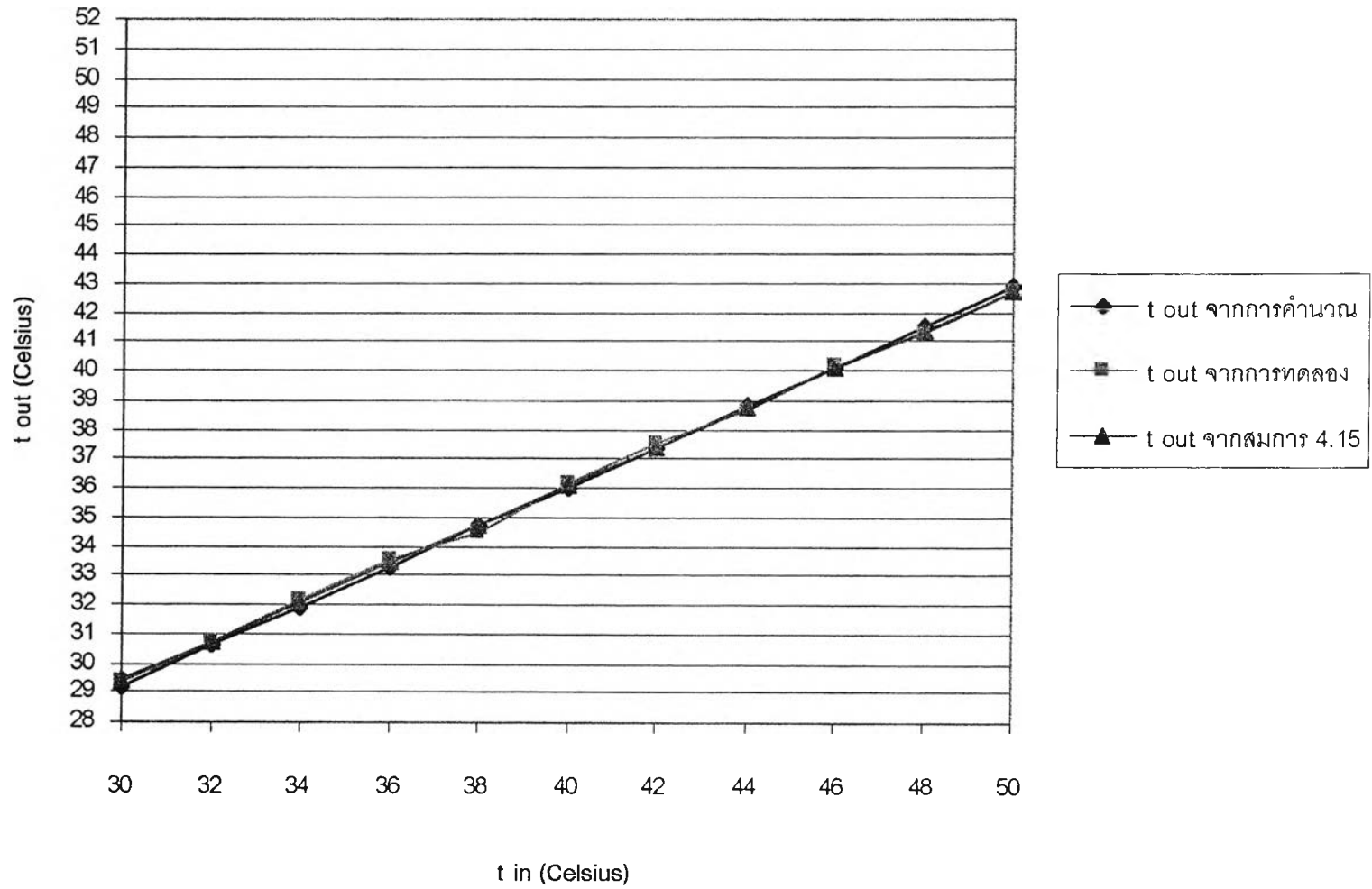
รูปที่ ก.73 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.14 เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



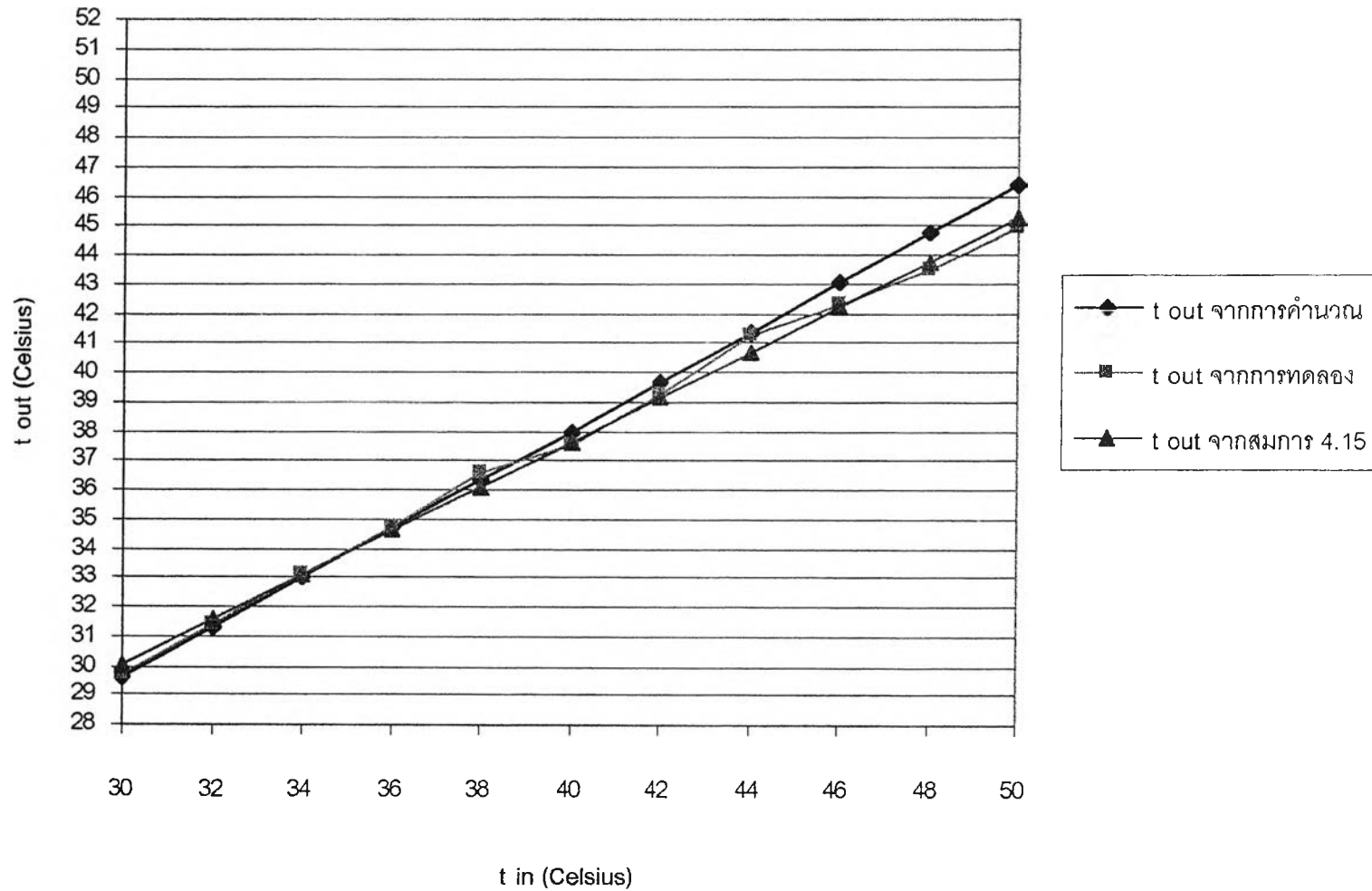
รูปที่ ก.74 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.14 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



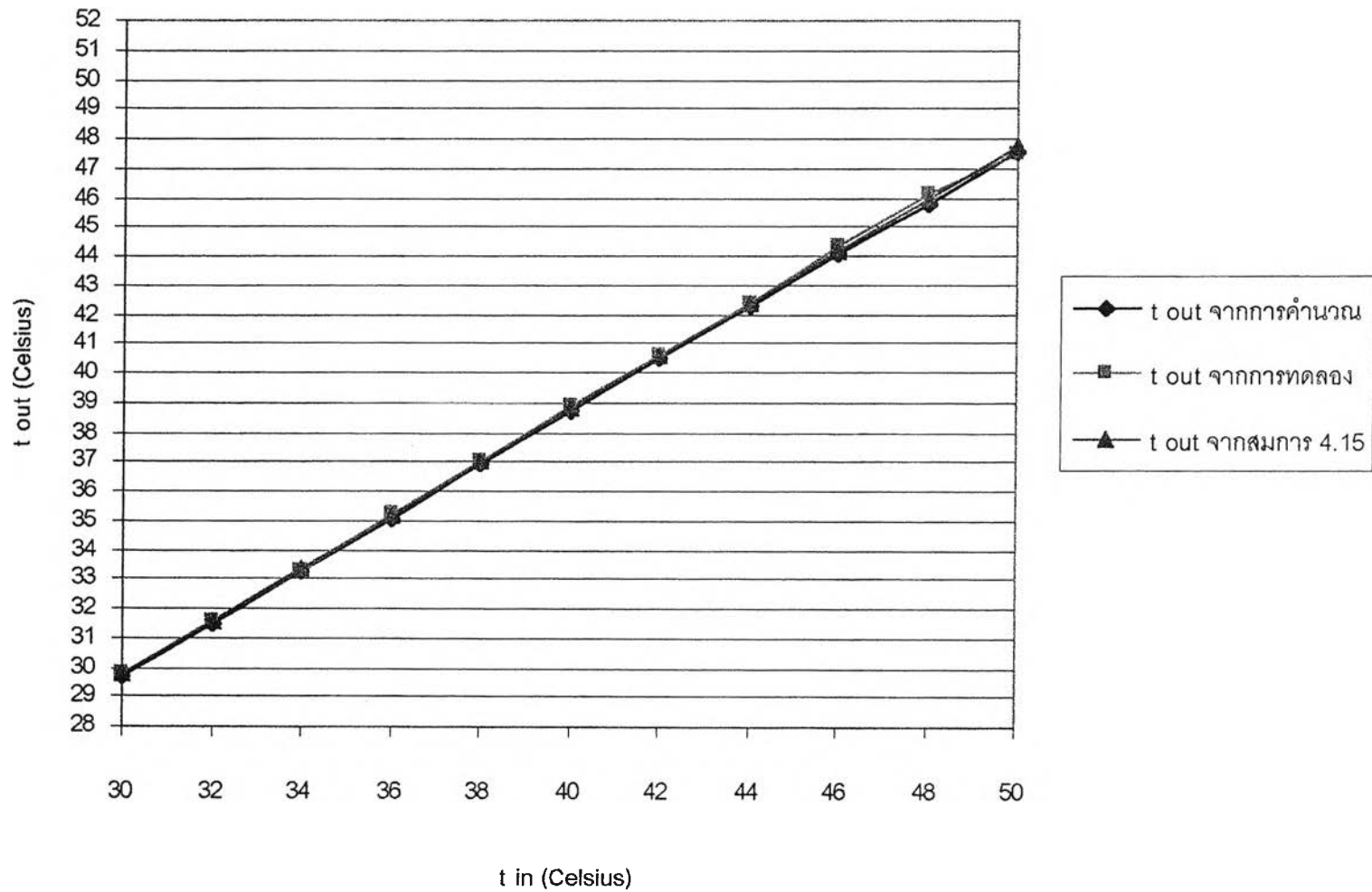
รูปที่ ก.75 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.15 เมื่อใช้ทรายซีเมนต์ในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



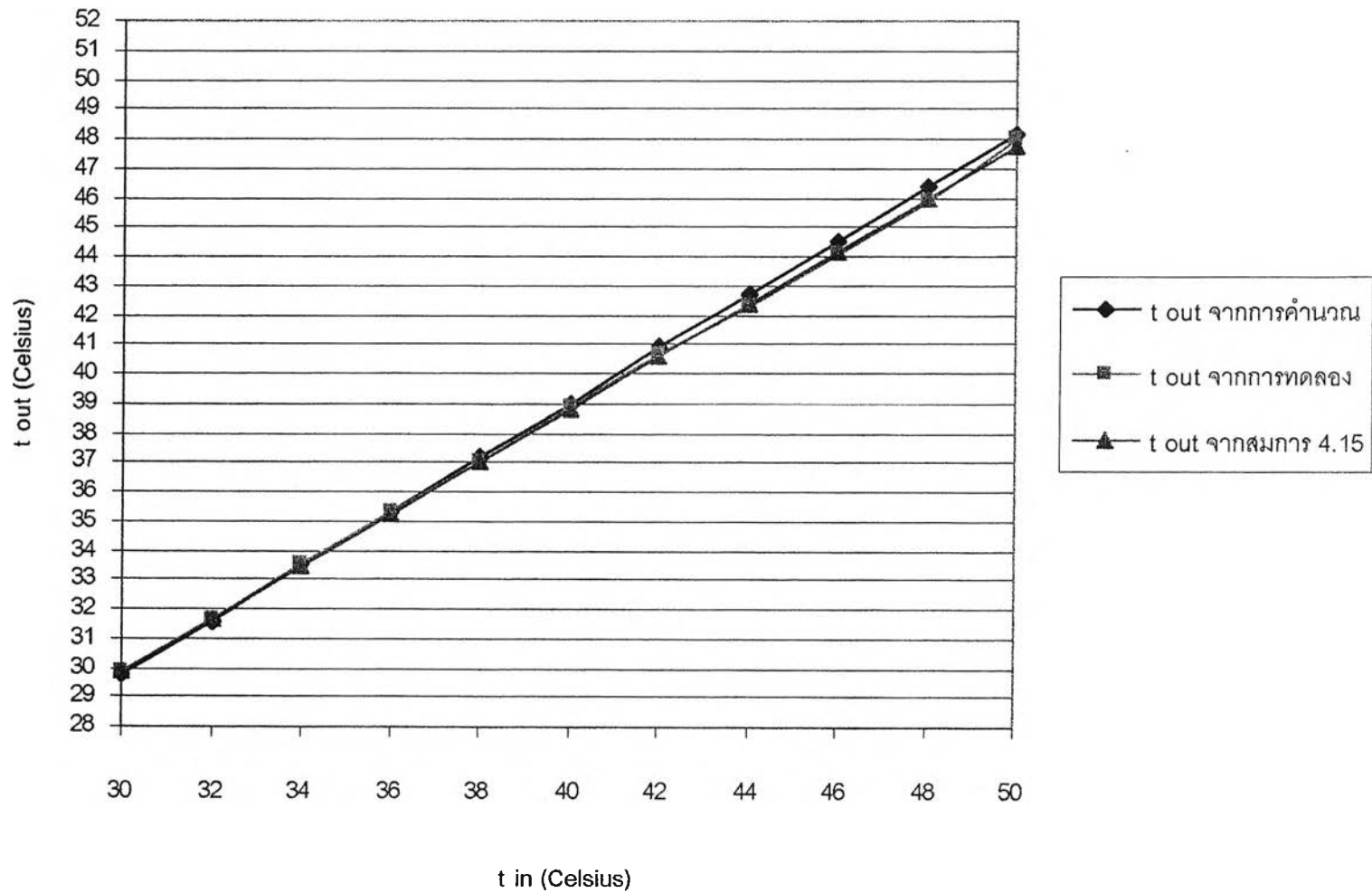
รูปที่ ก.76 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.15 เมื่อให้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



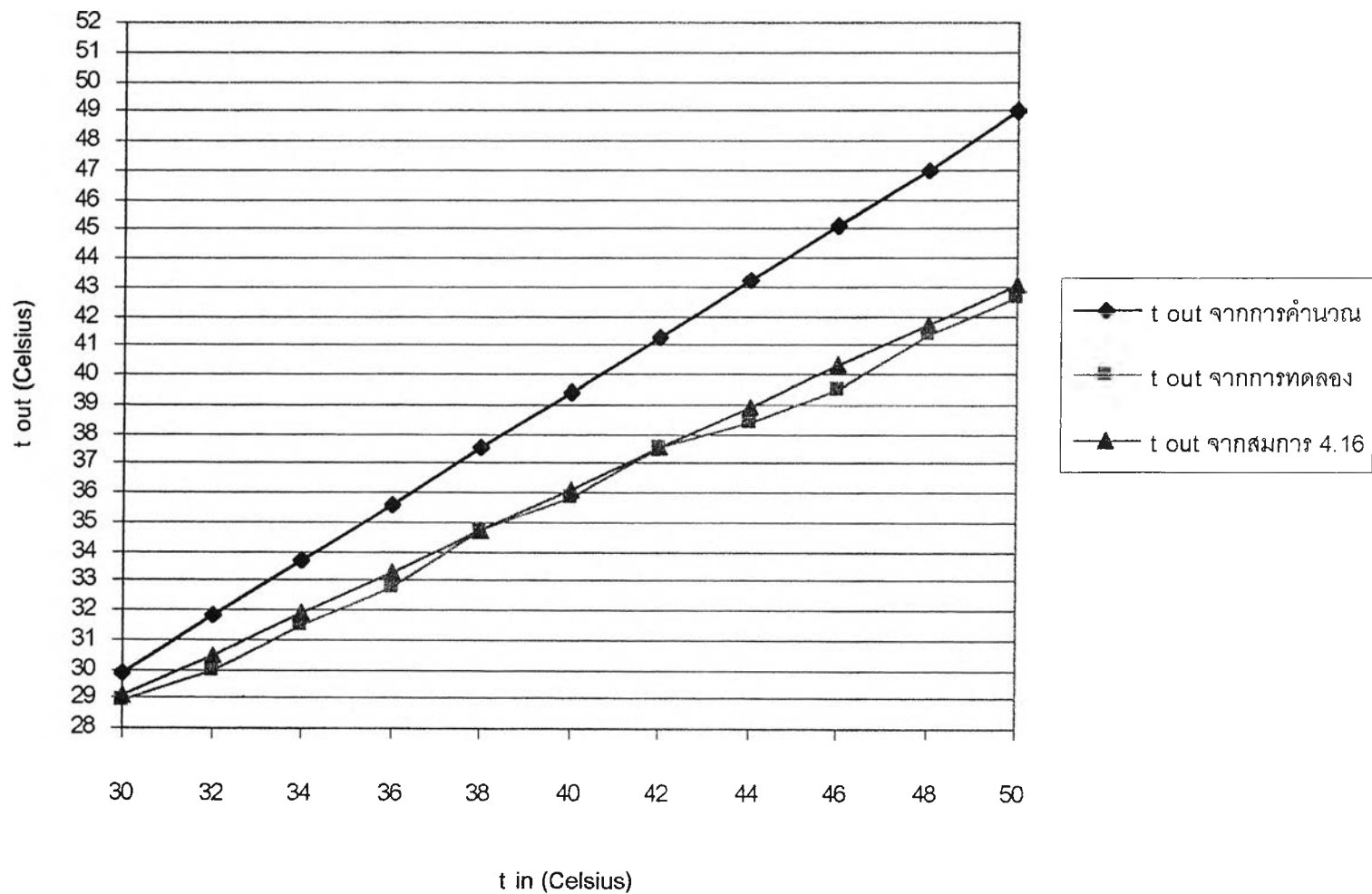
รูปที่ ก.77 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.15 เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



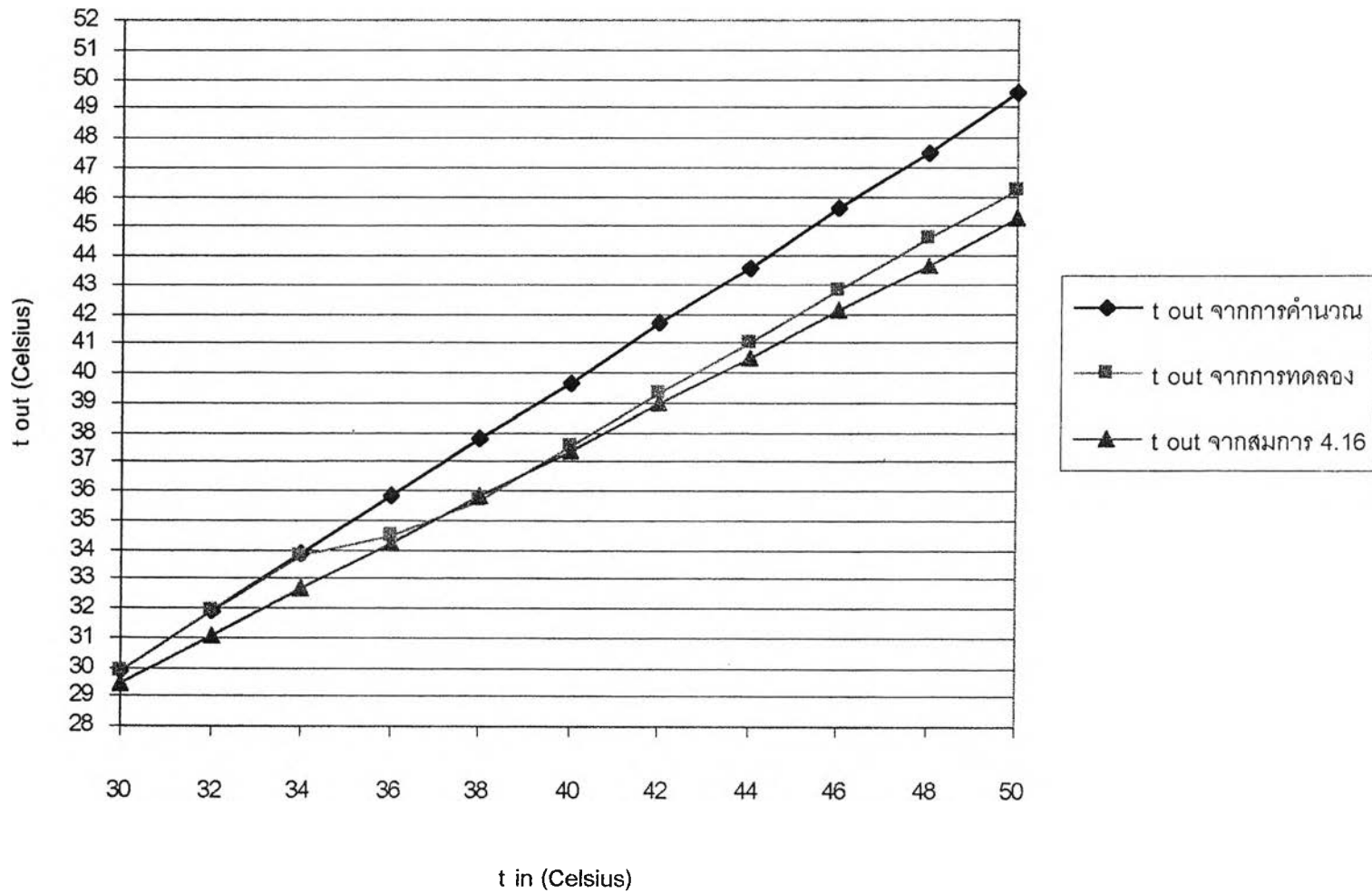
รูปที่ ก.78 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



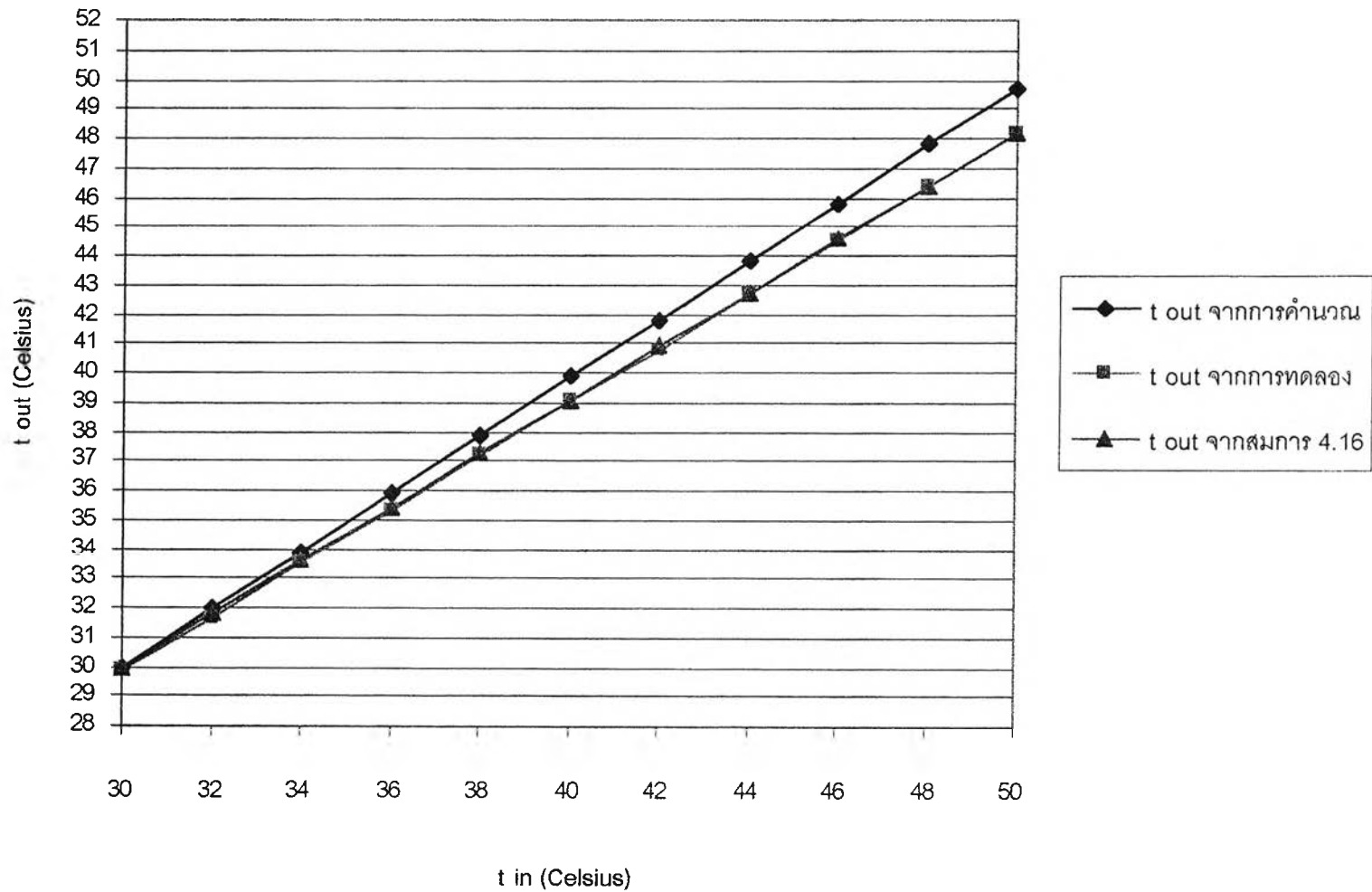
รูปที่ ก.79 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.15 เมื่อใช้ทรายขี้เป็ดในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



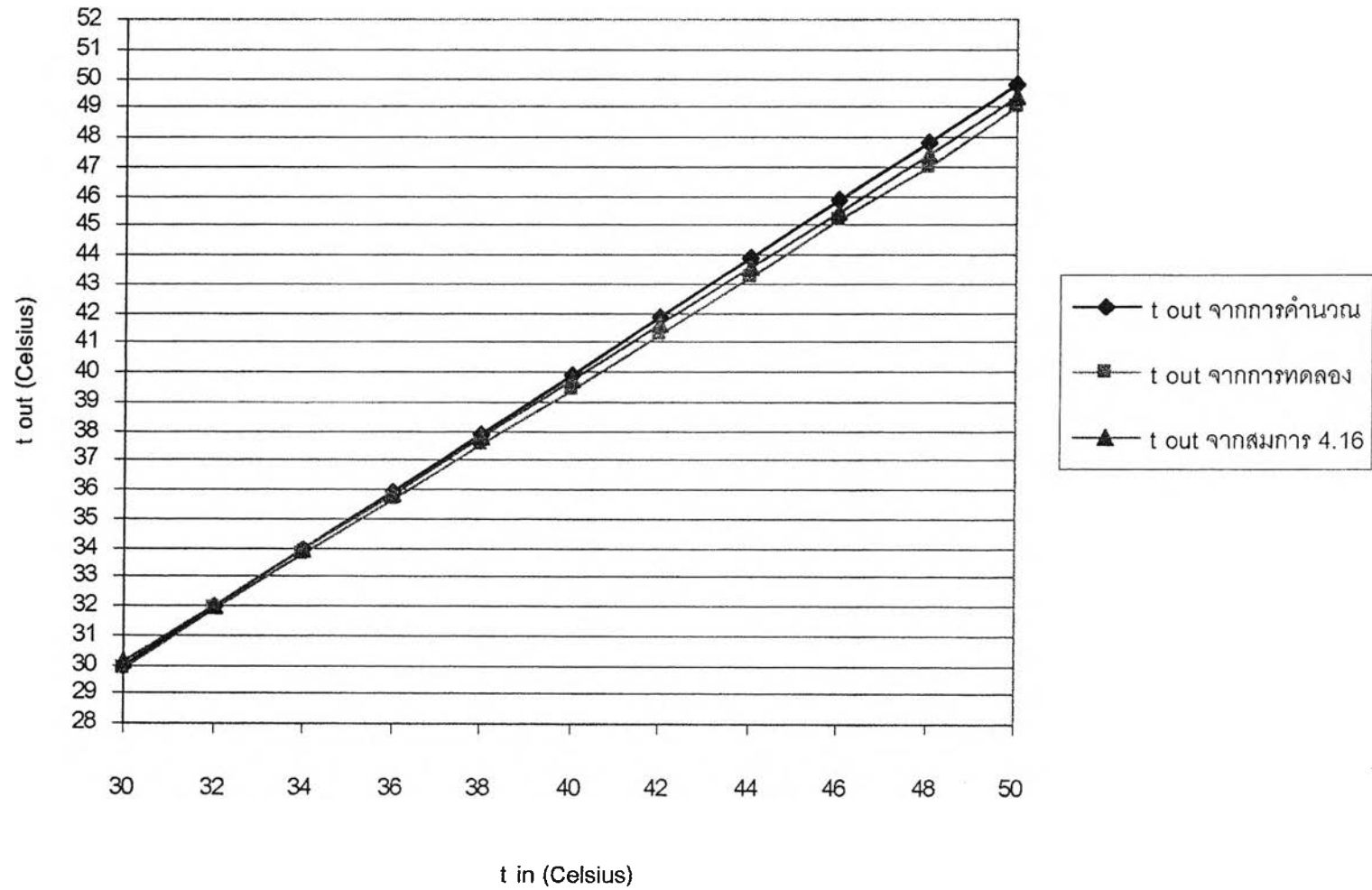
รูปที่ ก.80 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



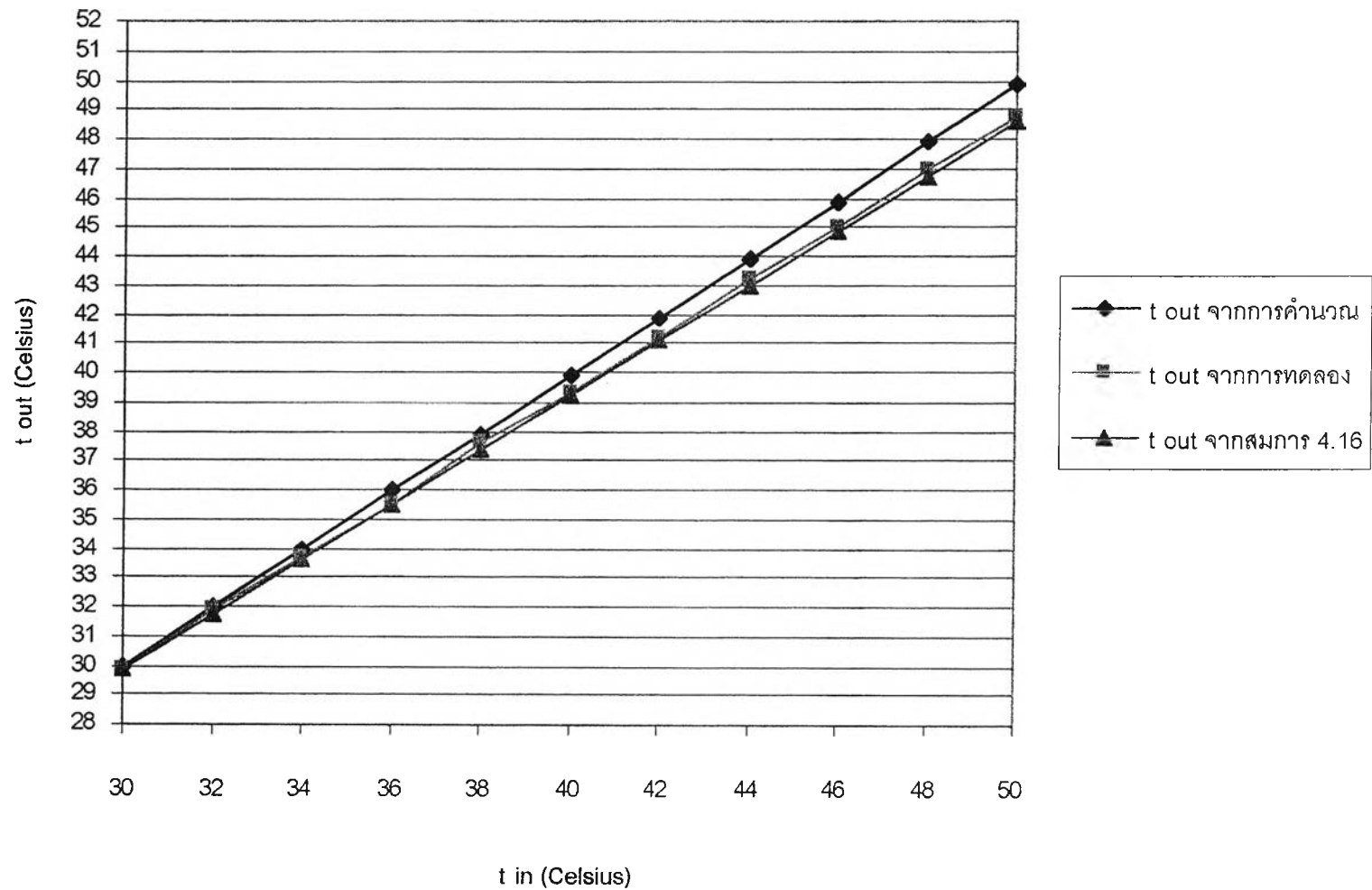
รูปที่ ก.81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



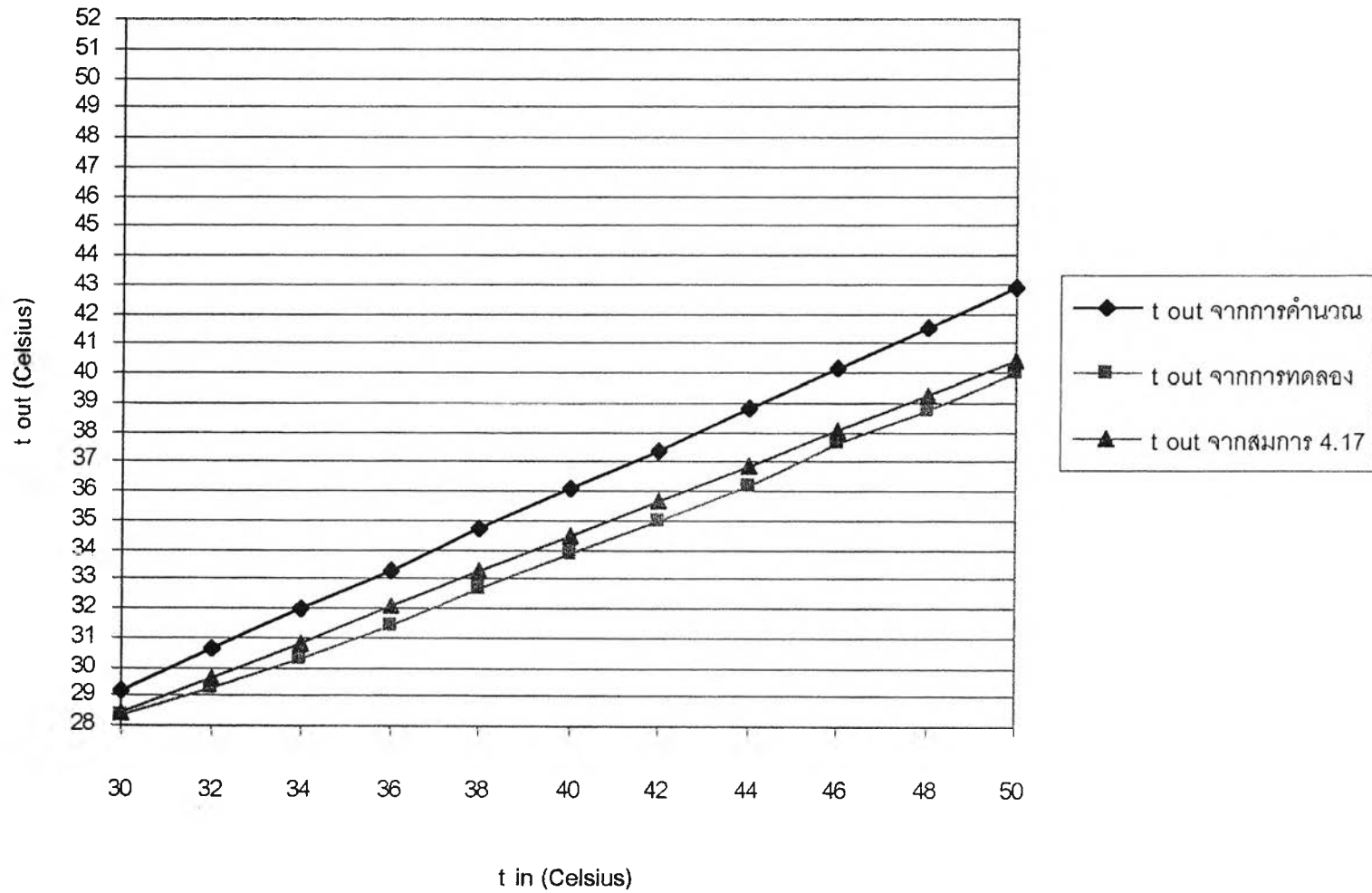
รูปที่ ก.82 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



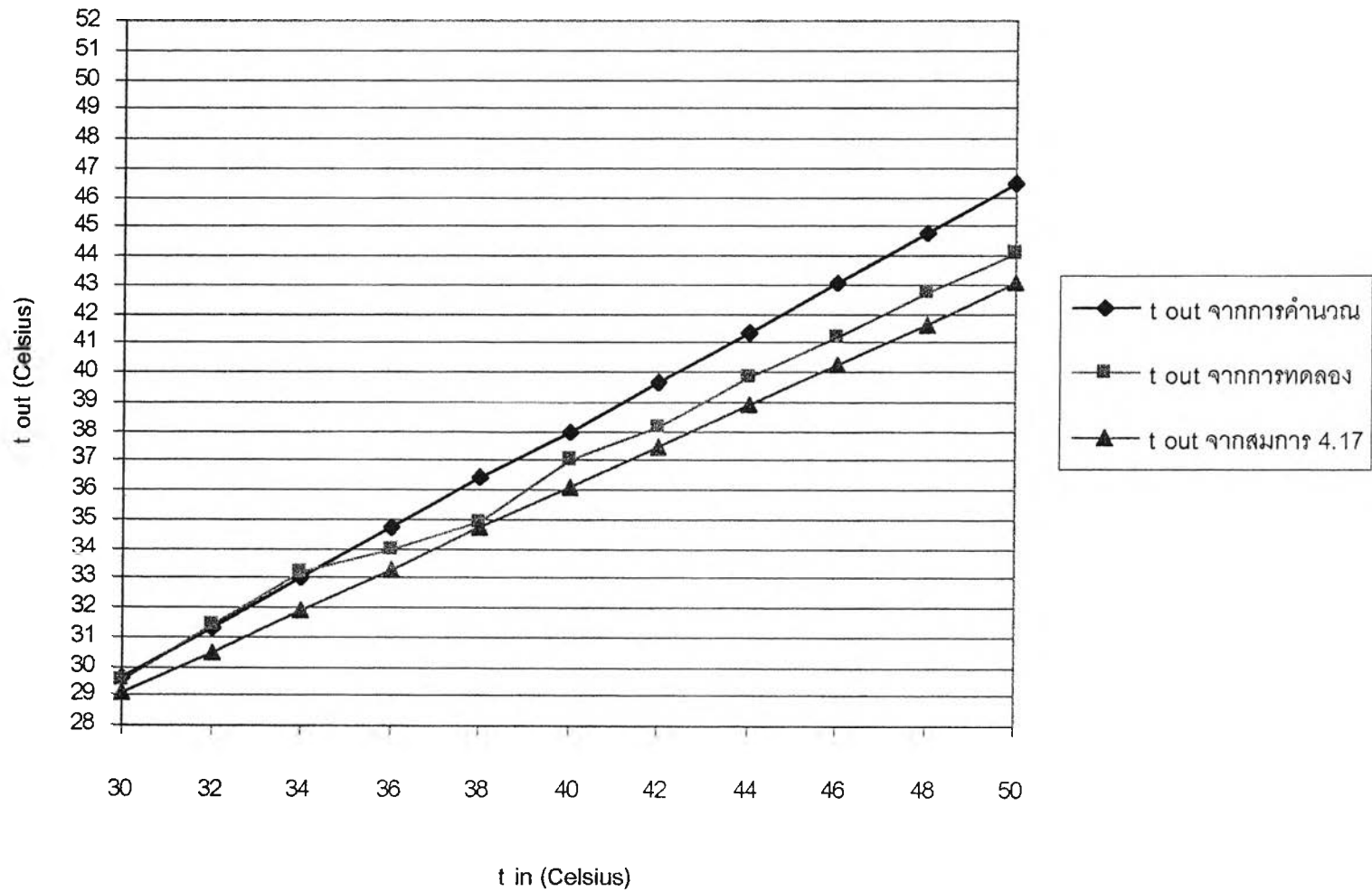
รูปที่ ก.83 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



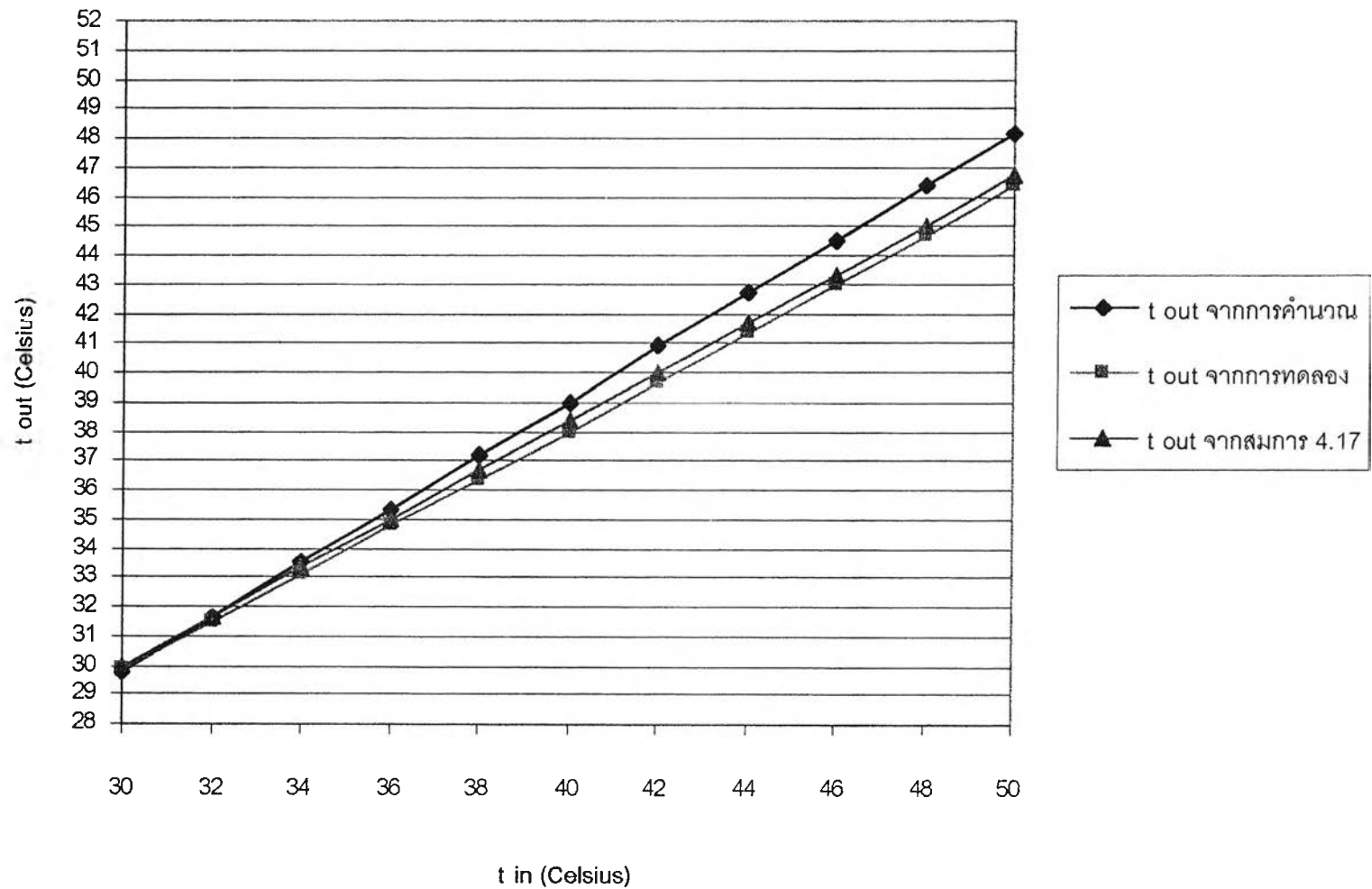
รูปที่ ก.84 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.16 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



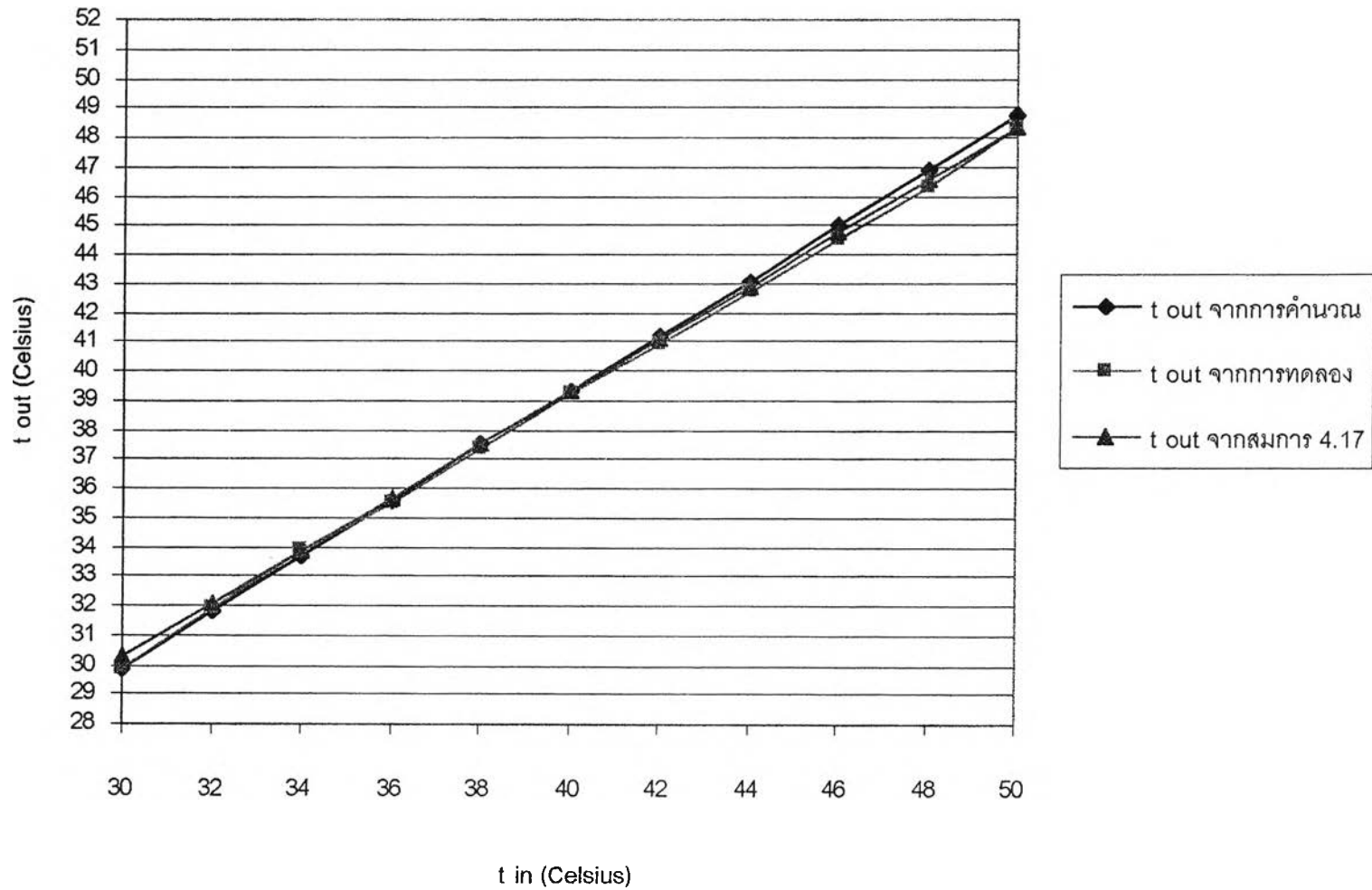
รูปที่ ก.85 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



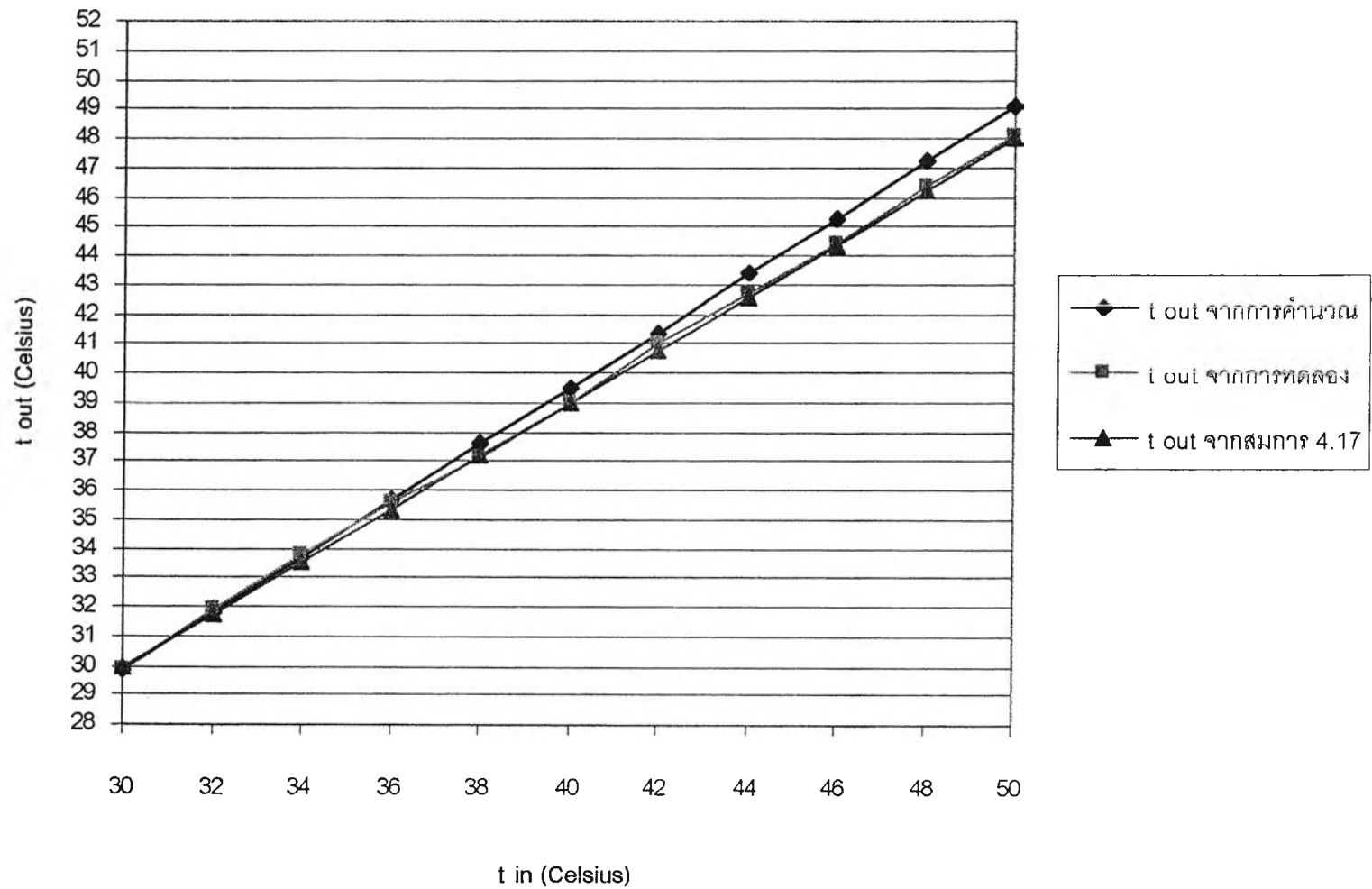
รูปที่ ก.86 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



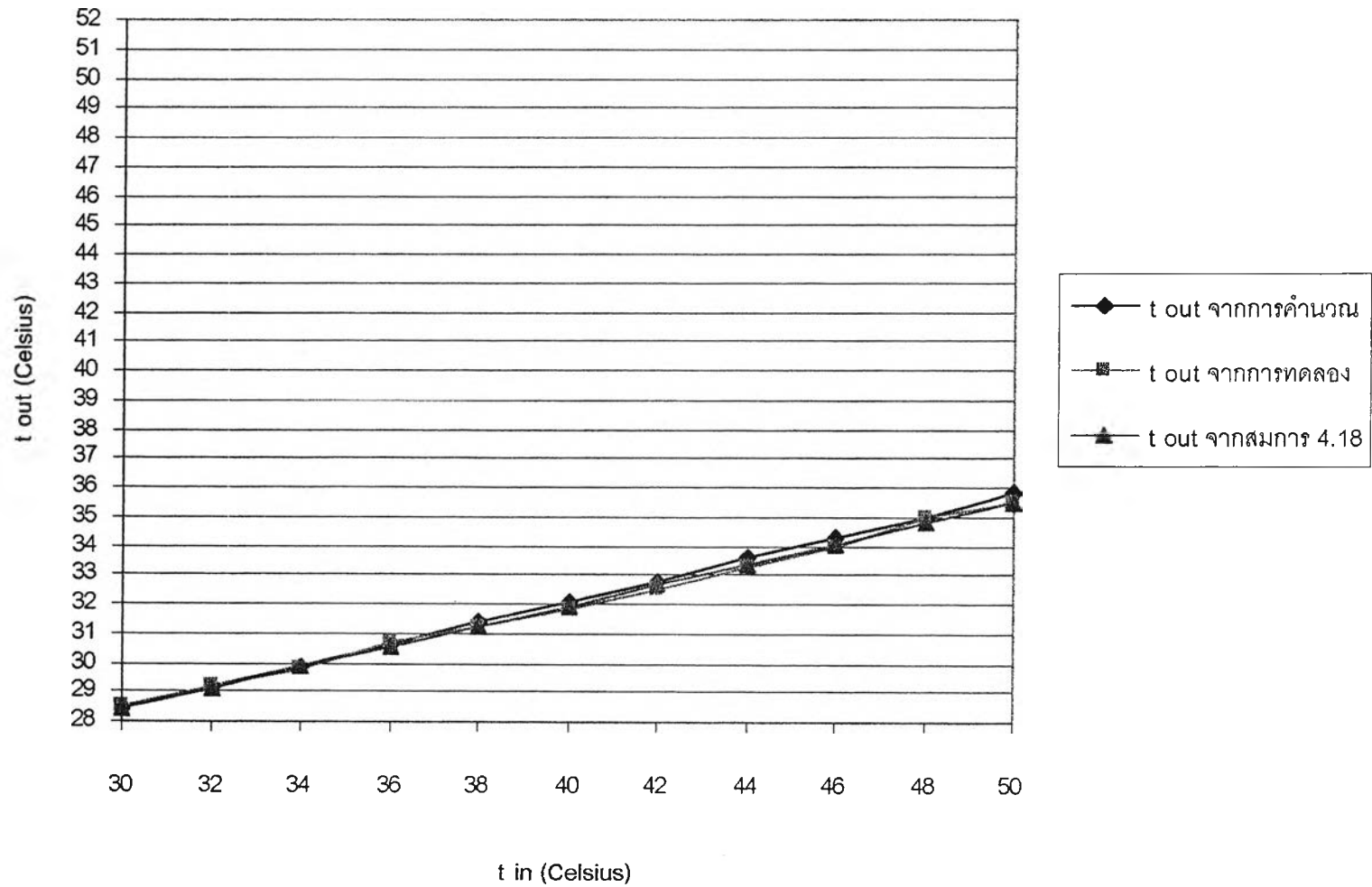
รูปที่ ก.87 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



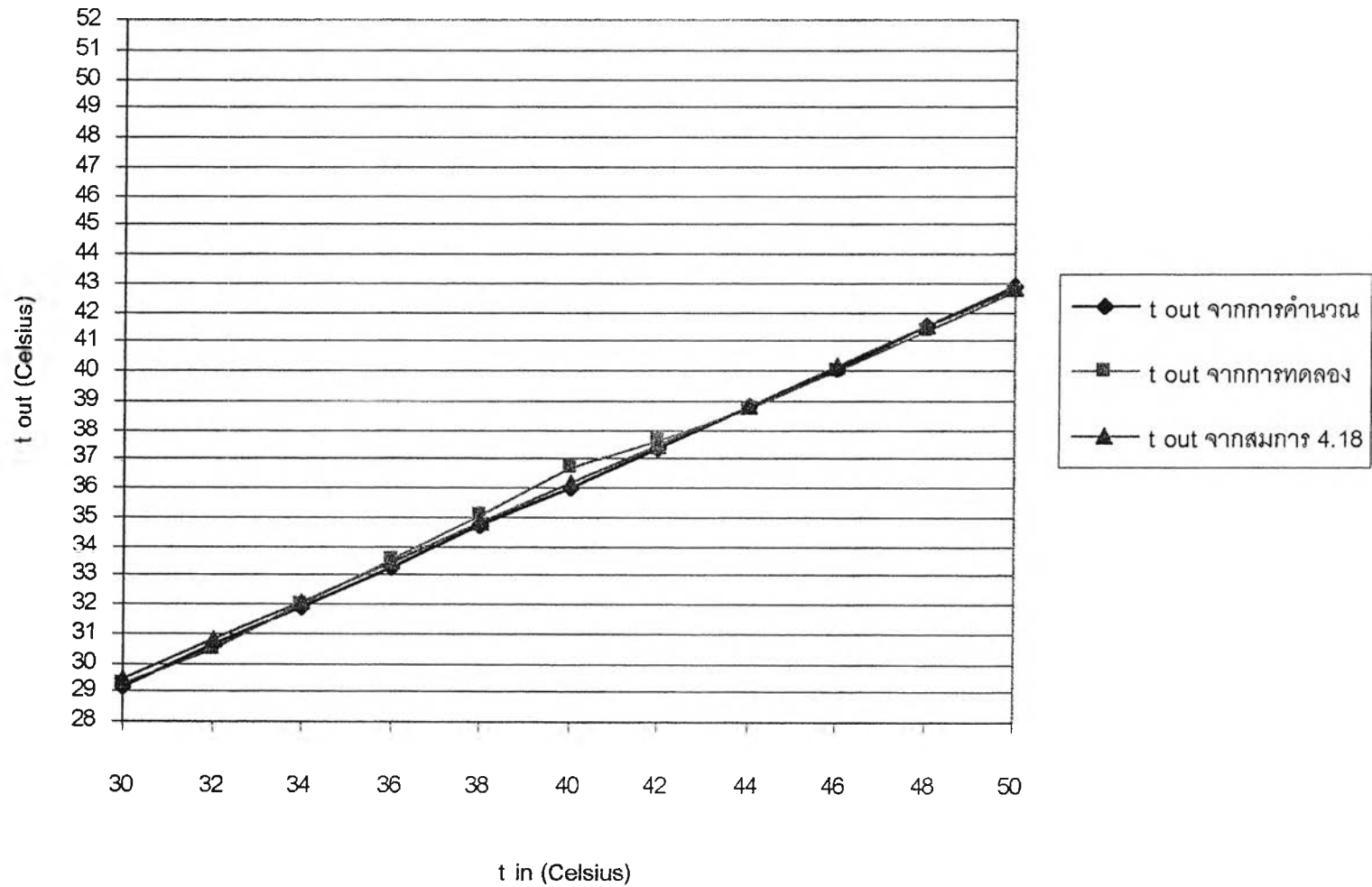
รูปที่ ก.88 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ (t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ (t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



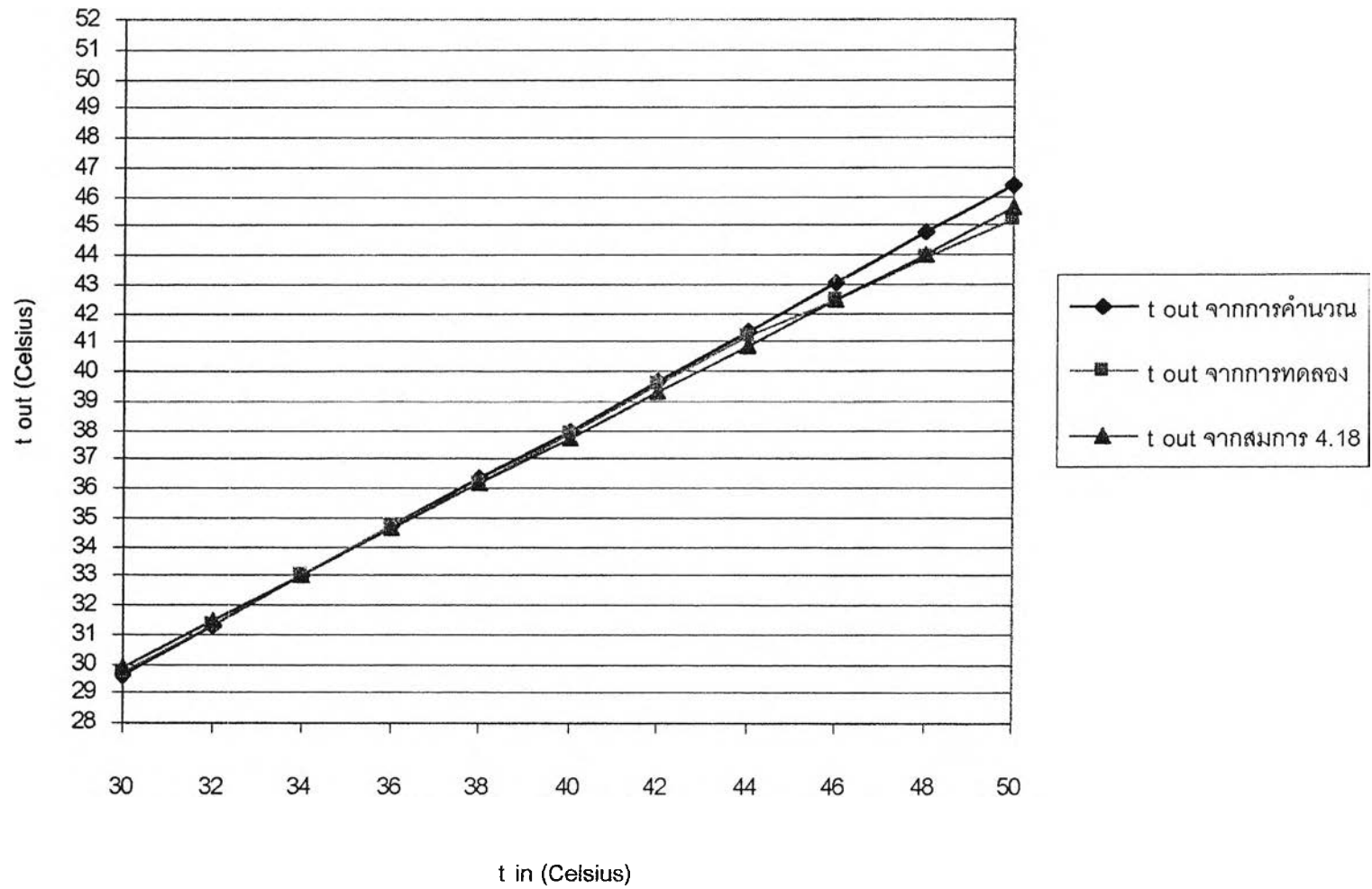
รูปที่ ก.89 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.17 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s



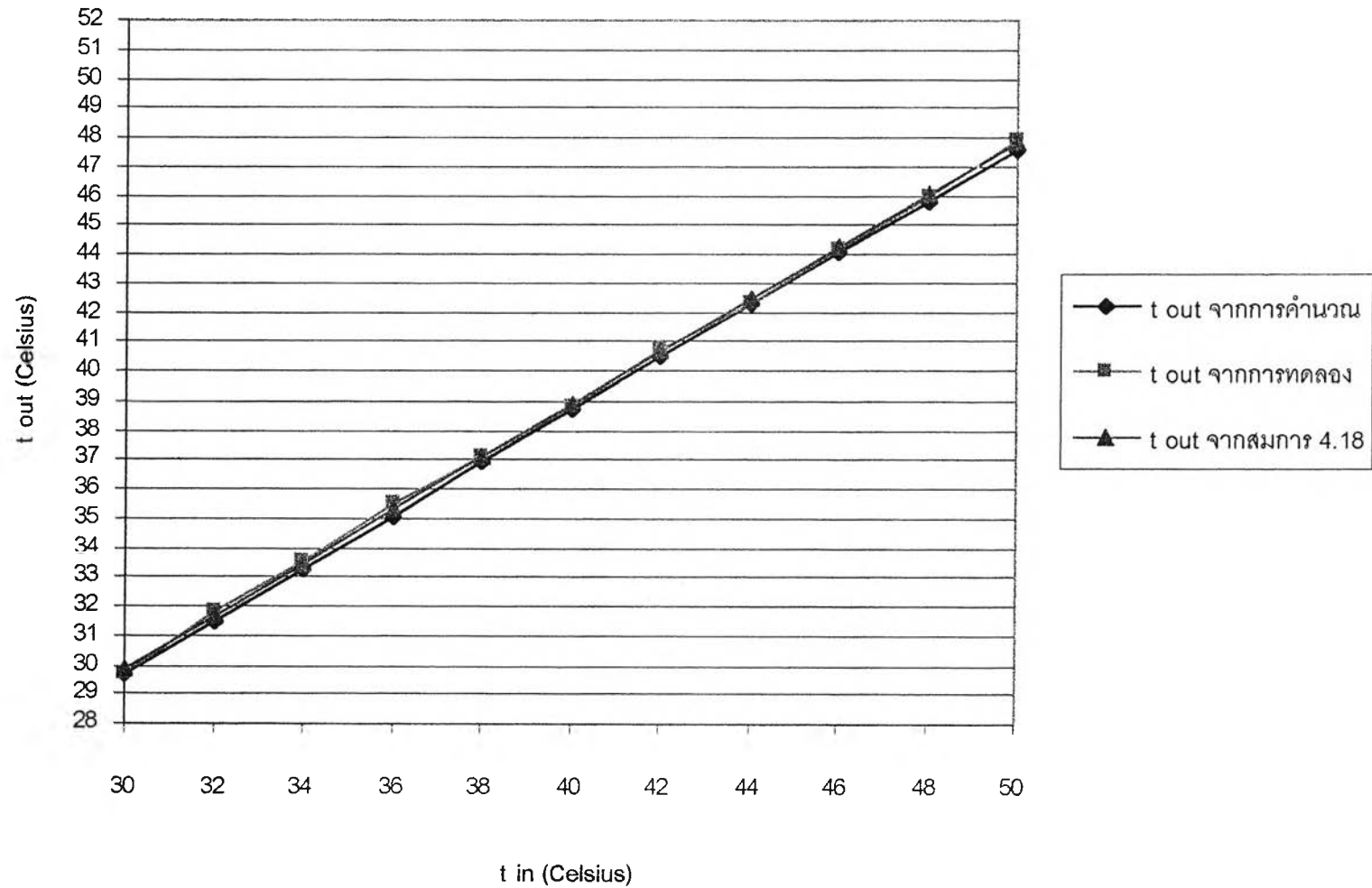
รูปที่ ก.90 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากขดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.05 kg/s



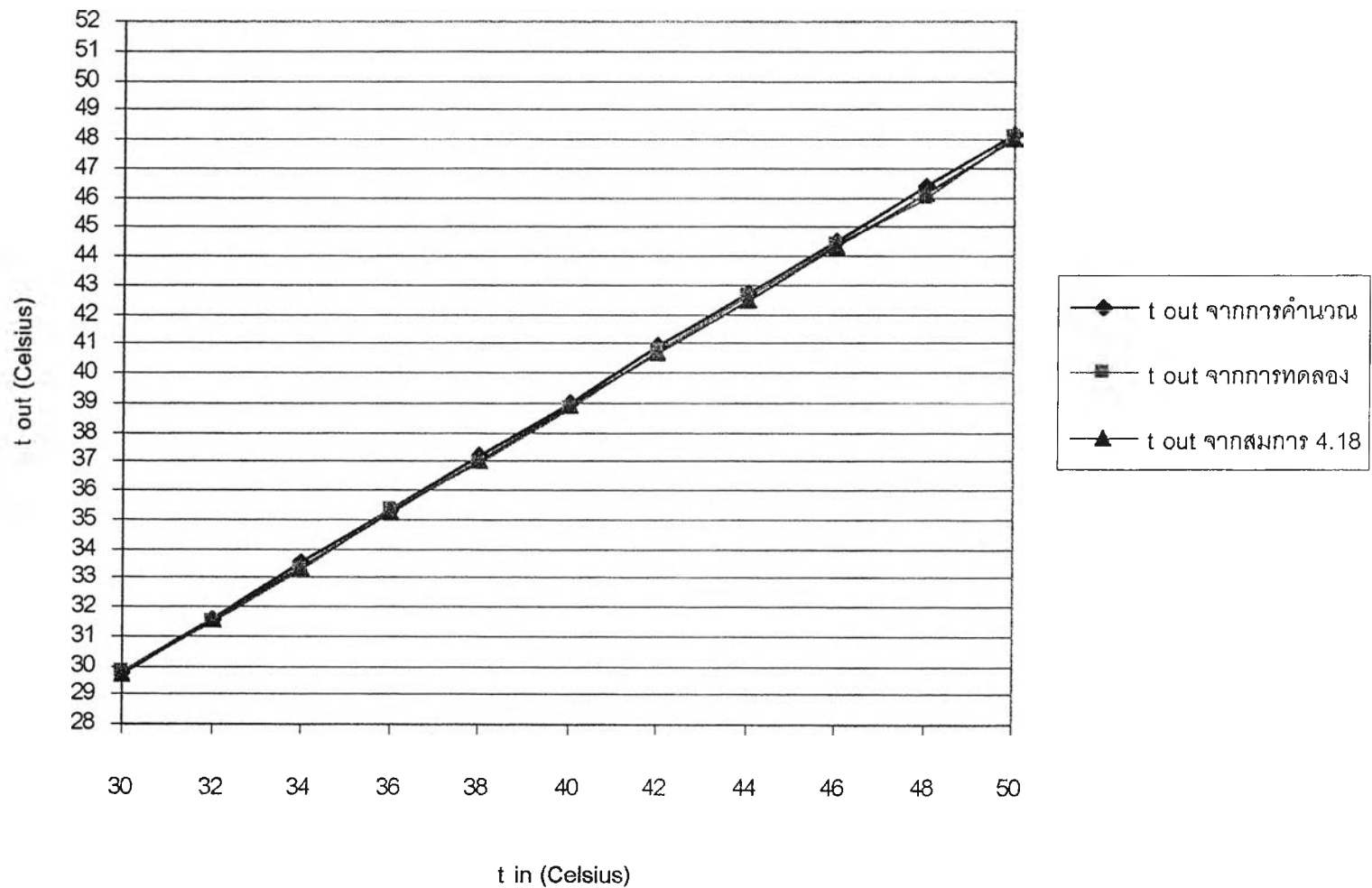
รูปที่ ก.91 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.1 kg/s



รูปที่ ก.92 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.2 kg/s



รูปที่ ก.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.3 kg/s



รูปที่ ก.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อ(t_{in}) และอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อ(t_{out}) โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากชุดท่อที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และ สมการที่ 4.18 เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลอง ที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง โดยมีอัตราการไหล 0.4 kg/s

ภาคผนวก ข
ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

moisture content by mass	LOW				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	29.6	29.9	29.9	29.9	29.9
32	31.7	31.8	31.9	31.9	31.9
34	33.7	33.5	33.9	33.9	33.9
36	35.4	35.9	35.9	35.9	35.9
38	37.3	37.7	37.9	37.9	37.9
40	38.8	39.9	39.8	39.9	39.9
42	41	41.7	41.9	41.9	41.9
44	43.1	43.8	43.7	43.9	43.9
46	45	45.6	45.8	45.8	45.9
48	46.7	47.4	47.8	47.8	47.8
50	48.3	49.2	49.6	49.8	49.8

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

moisture content by mass	MID				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	29.5	29.7	29.8	29.8	29.9
32	31.7	31.2	31.5	31.8	31.8
34	32.2	32.7	33.7	33.5	33.6
36	32.9	33.8	34.9	35.2	35.5
38	33.4	35.1	36.5	37.1	37.5
40	34	36.4	38.2	38.8	39.3
42	34.9	37.7	39.6	40.7	41
44	36.2	39.1	41.3	42.3	43
46	37.4	40.6	43.1	44.2	44.1
48	38.3	41.7	44.8	46.1	46.2
50	39.2	43.3	46.7	47.9	48

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

moisture content by mass	HIGH				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	28.9	29.7	29.7	29.9	29.7
32	29.8	31.5	31.6	31.4	31.5
34	30.4	32.6	32.9	33.4	33.5
36	31.4	34.1	34.5	35.2	35.5
38	32.5	35.3	36.2	36.7	37
40	33.7	36	37.8	38.5	38.6
42	34.9	37.3	39.4	40.2	40.6
44	35.8	38.6	41.2	41.9	42
46	36.7	39.8	42.7	43.7	44.1
48	37.1	41	44.4	45.5	45.9
50	37.6	41.9	46	47.1	47.3

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

moisture content by mass	LOW				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	29.8	29.9	29.9	29.9	29.9
32	30.2	31.9	31.8	31.9	31.9
34	32	33.9	33.7	33.9	33.7
36	32.5	35.9	35.8	35.8	35.6
38	35	36	37.5	37.4	37.8
40	35.6	37.3	39.3	39.5	39.8
42	38	39.1	41.2	41.4	41.7
44	38.6	41.3	42.5	43.5	43.5
46	39.3	43	44.2	45.6	45.4
48	41.1	44.9	46.4	47.2	47.1
50	43	46.5	48.1	49.3	48.9

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

moisture content by mass	MID				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	28.5	29.5	29.9	29.9	29.9
32	29.5	31.4	31.6	31.8	31.9
34	30.3	33	33.2	33.8	33.5
36	31.4	34.2	34.7	35.5	35.6
38	32.5	34.8	36.5	37.4	37.2
40	33.6	36.5	38	39.2	39
42	34.8	37.7	39.6	40.8	41
44	36	39.8	41.2	42.5	42.4
46	37.4	41.1	43	44.3	44.2
48	38.4	42.5	44.8	46.2	46
50	40.1	43.8	46.2	48.1	48

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลอง เมื่อใช้ทรายที่เปียกในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

moisture content by mass	HIGH				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	28.6	29.4	29.7	29.8	29.9
32	29.2	30.7	31.4	31.6	31.7
34	29.8	32.2	33.1	33.3	33.5
36	30.5	33.5	34.7	35.2	35.3
38	31.2	34.5	36.6	37	37
40	32	36.2	37.5	38.9	38.9
42	32.6	37.5	39.2	40.6	40.7
44	33.3	38.6	41.3	42.4	42.3
46	34.1	40.2	42.3	44.3	44.1
48	34.9	41.3	43.5	46.1	45.9
50	35.6	42.7	44.9	47.5	48

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลอง เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับต่ำ

moisture content by mass	LOW				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	28.9	29.9	29.9	29.9	29.9
32	30	31.9	31.7	31.9	31.9
34	31.5	33.8	33.5	33.8	33.7
36	32.8	34.5	35.3	35.7	35.5
38	34.7	35.7	37.2	37.5	37.6
40	35.8	37.5	39.1	39.4	39.3
42	37.5	39.3	40.8	41.3	41.2
44	38.4	41	42.7	43.2	43.2
46	39.5	42.8	44.5	45.2	45
48	41.4	44.6	46.4	47	47
50	42.6	46.2	48.2	49	48.8

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลอง เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับปานกลาง

moisture content by mass	MID				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in (°C)	t out (°C)				
30	28.3	29.5	29.9	29.9	29.9
32	29.3	31.4	31.5	31.9	31.9
34	30.3	33.2	33.1	33.9	33.8
36	31.4	34	34.8	35.5	35.6
38	32.7	34.9	36.3	37.4	37.1
40	33.9	37	38	39.2	39
42	35	38.1	39.7	40.9	41
44	36.2	39.8	41.4	42.7	42.7
46	37.6	41.2	43	44.5	44.4
48	38.7	42.7	44.7	46.3	46.4
50	40	44.1	46.4	48.3	48.1

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลอง เมื่อใช้ดินเหนียวในการทดลองที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

moisture content by mass	HIGH				
flow rate (kg/s)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
t in ('C)	t out ('C)				
30	28.5	29.3	29.7	29.7	29.8
32	29.2	30.5	31.3	31.8	31.5
34	29.8	32	33	33.5	33.3
36	30.7	33.5	34.7	35.5	35.3
38	31.2	35.1	36.2	37.1	36.9
40	31.8	36.7	37.9	38.8	38.8
42	32.5	37.6	39.6	40.8	40.8
44	33.3	38.7	41.2	42.3	42.6
46	34	40	42.5	44.2	44.4
48	35	41.4	43.9	46	46
50	35.5	42.7	45.2	47.9	48.1

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากขดท่อโพลีเอทิลีน (t_{out})
จากสมการ 4.24

กำหนดให้ใช้ทรายในการฝังกลบขดท่อที่ความชื้นโดยมวลระดับสูง

อัตราการไหลของน้ำ 0.05 kg/s และมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลเข้าท่อโพลีเอทิลีน 50 องศาเซลเซียส

ค่าคงที่อื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณให้ใช้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} r_i &= 14.5 \text{ mm} \\ r_o &= 16.5 \text{ mm} \\ L &= 50 \text{ m} \\ d &= 0.7 \text{ m} \\ k_p &= 0.42 \text{ W / m}\cdot\text{K} \\ C_p &= 4.2 \text{ KJ / (Kg}\cdot\text{°C)} \\ t_s &= 27.5 \text{ °C} \end{aligned}$$

จากสมการ

$$t_{out} = t_{in} - \frac{Lx(t_{in} - t_s)}{\dot{m}C_pR_t \times 1000} \quad (4.24)$$

ทำการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวม $R_t = R_s + R_p$

เนื่องจาก $d/r_o = 0.7 / (16.5 \times 10^{-3}) = 42.42$ ซึ่งมากกว่า 4

ดังนั้น เลือกสมการ 2.2 มาใช้ในการคำนวณหาค่า R_s

$$R_s = \frac{\ln(2d / r_o)}{2\pi K_s} \quad (2.2)$$

ค่า K_s เมื่อใช้ทรายในการฝังกลบขดท่อ และมีความชื้นโดยมวลระดับสูงให้เลือกใช้ค่าจากตารางต่อไปนี้

Soil Conductivities

Soil moisture content (% by mass)	Soil Thermal Conductivity, K_s (W /m ² K)		
	sand	silt	clay
low , < 4%	0.29	0.14	0.14
medium , 4% to 20 %	1.87	1.30	1.00
high , > 20 %	<u>2.16</u>	2.16	2.16

แทนค่าจะได้

$$R_s = \frac{\ln(2 \times 0.7 / 16.5 \times 10^{-3})}{2\pi(2.16)}$$

$$R_s = 0.3272 \frac{m \cdot K}{W}$$

ทำการคำนวณค่า R_p จากสมการ 2.8

$$R_p = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi K_p}$$

(2.8)

แทนค่าจะได้

$$R_p = \frac{\ln(16.5 / 14.5)}{2\pi(0.42)}$$

$$R_p = 0.0490 \frac{m \cdot K}{W}$$

ดังนั้น $R_t = 0.3272 + 0.0490 = 0.3762 \frac{m \cdot K}{W}$

แทนค่าต่างๆในสมการ 4.24 จะได้

$$t_{out} = 50 - \frac{50 \times (50 - 27.5)}{0.05 \times 4.2 \times 0.3762 \times 1000}$$

$$t_{out} = 35.76^\circ C$$

อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากขดท่อโพลีเอทิลีนที่สิ้นโดยการคำนวณตามเงื่อนไขข้างต้นมีค่า $35.76^\circ C$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรภัทร์ ตั้งพรพิพัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อ พ.ศ. 2542 จากนั้นได้เข้ารับการศึกษาคณะในหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543