

การศึกษาการนำความร้อนของดิน เพื่อใช้ในการฝังท่อก๊าซธรรมชาติ

The Case Study of Heat Conduction of Soil for Natural Gas Pipe Laying

สุรัชย์ ระตะนะอาพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์

โกศล อังกรวิโรจน์
นิสิตปริญญาโท

จริยา วงศาโรจน์
นิสิตปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ 10903

บทความนี้ได้ทำการศึกษถึงการนำความร้อนของดิน จากผิวดินที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังท่อส่งก๊าซ
ใต้ดิน โดยทำการศึกษาในช่วงความลึก 0-2 เมตร จากผิวดิน ที่ผิวดินมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตาม
ช่วงเวลา ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจาก สมการการถ่ายเทความร้อนสภาวะไม่คงตัว จะถูกแปลงให้อยู่
ในรูปของสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ซึ่งนำไปคำนวณค่าการกระจายของอุณหภูมิที่ความลึกใน
เวลาต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่ผิวดินเปลี่ยนแปลงจาก 27-50 องศาเซลเซียส ในช่วง
เวลา 4 ชั่วโมง การกระจายของอุณหภูมิที่ความลึกมากกว่า 0.1 เมตร ค่าของอุณหภูมิไม่มีการ
เปลี่ยนแปลง และ ที่อุณหภูมิผิวดินเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิ 27-40 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา
4 ชั่วโมง การกระจายของอุณหภูมิที่ความลึกมากกว่า 0.075 เมตร ค่าของอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยน
แปลง

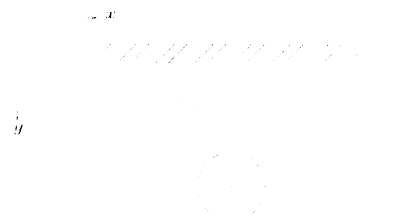
In this paper, we present the results of the case study of heat conduction of soil. The
ranges to be attentive are 0-2 m. depth from the surface. The step of studying started from
the heat transfer equation, unsteady state have been transformed to differential equation
form which are calculated to provide the relation of temperature distribution, depth of the
soil and time. The results indicate that the temperature distribution from the surface to 0.1
m. depth at 4 hr. don't effect to soil when we vary the temperature between 27-50 °C. The
temperature distribution from the surface more 0.075 m depth at 4 hrs. don't effect to soil
when we vary the temperature between 27-40 °C.

1. บทนำ

การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยส่งผ่านท่อใต้ดิน นั้นเป็นวิธี
หนึ่งที่มีความสะดวกและปลอดภัย การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยวิธีส่ง
ผ่านท่อมืดคือ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและ ปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น
และส่งผลเสียหายต่อการขนส่ง ดังนั้น จึงมีปัจจัยหลายอย่างที่จำเป็น
ต้องพิจารณาในการออกแบบวางท่อก๊าซธรรมชาติ เช่น ความลึกของท่อ
จากผิวดิน ขนาดและความยาวของท่อ ความปลอดภัย เป็นต้น

ความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่ง
มีความสำคัญสำหรับการออกแบบวางท่อ ในบทความนี้ได้ทำการศึกษา
ถึงผลกระทบอันเนื่องจากการนำความร้อนจากผิวดินไปยังท่อก๊าซธรรม
ชาติใต้ดิน การศึกษากระทำโดยคำนวณหาการกระจายของอุณหภูมิ
ที่ความลึกและที่เวลาต่าง ๆ จากรูปที่ 1 เป็นรูปแบบการวางท่อ โดยทั่ว

ไปช่วงความลึกของท่อจากผิวดิน h มีค่าประมาณ 1.5-2 เมตร การ
ศึกษาได้ทำการศึกษาโดยหาการกระจายของอุณหภูมิในกรณี
ที่อุณหภูมิที่ผิวดินเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยมีค่าอุณหภูมิช่วง 27-50
องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของการวางท่อ

2. สมการดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับการนำความร้อนใน พิกัดฉาก

จากกฎพื้นฐานที่ใช้สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อน คือ กฎการไม่สูญหายของพลังงาน โดยพิจารณาอัตราการเคลื่อนที่ของ ความร้อนโดยการนำ เข้าและออกจากวัตถุ และ จากสมการของฟูเรียร์ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ แปรผันโดยตรงกับค่าการนำ ความร้อน และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทางสามารถ เขียนเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับการนำความร้อนได้ และ สำหรับการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติในสภาวะสม่ำเสมอไม่มีแหล่ง ความร้อนภายใน สมประสิทธิ์การนำความร้อน k เป็นค่าคงที่ ไม่ขึ้นอยู่ กับอุณหภูมิและไม่ขึ้นอยู่กัตำแหน่ง y

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิที่จุด y ใด ๆ t คือเวลา $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ k คือค่าการนำความร้อน ρ คือความหนาแน่น c_p ค่าความร้อนจำเพาะ

เงื่อนไขขอบเขตในการแก้สมการ การนำความร้อน ซึ่งเป็น สมการดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในวัตถุ เราจำเป็นต้องทราบเงื่อนไขขอบเขต และเงื่อนไขเริ่มต้นของระบบ สำหรับเงื่อนไขขอบเขต โดยทั่วไปของปัญหามันดังนี้

เงื่อนไขขอบเขตชนิดที่หนึ่ง เงื่อนไขขอบเขตแบบนี้จะระบุ อุณหภูมิคงที่ อุณหภูมิที่ผิวอาจจะมีความคงที่ หรือขึ้นอยู่กัตำแหน่งและ เวลา

$$T = f(r, t) \quad (2)$$

เงื่อนไขขอบเขตชนิดที่สอง เงื่อนไขนี้จะระบุฟลักซ์ความร้อน ที่ผิวของตัวกลาง ซึ่งฟลักซ์ความร้อนที่ผิวนี้จะมีความคงที่หรือขึ้นอยู่กัตำแหน่งและเวลาก็ได้

$$k \frac{\partial T}{\partial n} = f(r, t) \quad (3)$$

เงื่อนไขขอบเขตชนิดที่สาม เงื่อนไขขอบเขตชนิดนี้จะกำหนด ผลรวมระหว่างอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทิศตั้งฉาก กับผิวของตัวกลาง เป็นค่าคงที่หรือขึ้นอยู่กัตำแหน่งและเวลาก็ได้

$$k \frac{\partial T}{\partial n} + hT = hT_s(r, t) \quad (4)$$

เมื่อ n คือพื้นผิวใด ๆ

2.1. สมการดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับแบบจำลองท่อส่ง ก๊าซธรรมชาติ

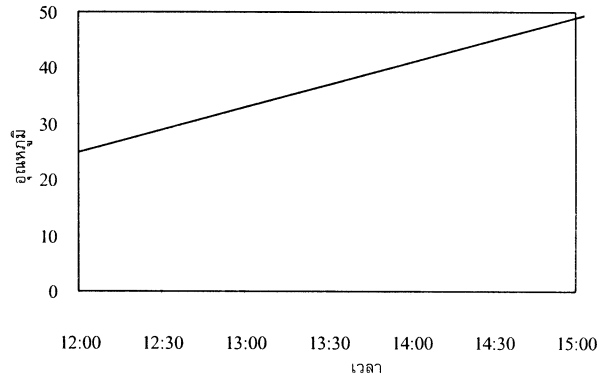
จากสมการดิฟเฟอเรนเชียลการถ่ายเทความร้อน (1) และ รูปที่ 1 พิจารณาในกรณีเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติความยาว เป็นอนันต์ที่ $0 \leq y < \infty$ และ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น $F(y)$ พิจารณาใน กรณีที่ ระยะ $y = 0$ มีอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของเวลา ไม่มีแหล่งความ ร้อนภายในตัวกลาง สามารถเขียนสมการดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับ ปัญหาได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{ที่} \quad 0 < y < \infty, t > 0 \quad (5)$$

เงื่อนไขขอบเขต

$$T = f(y, t) \quad \text{ที่} \quad y = 0, t > 0 \quad (6)$$

พิจารณาช่วงอุณหภูมิ เปลี่ยนแปลงในแต่ละวันอุณหภูมิสูงสุดช่วง 12.00-15.00 น. กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามเวลามี ลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลา

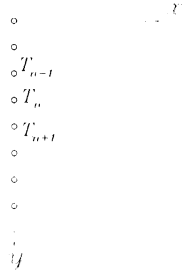
เงื่อนไขเริ่มต้น

$$T = F(y) \quad \text{ที่} \quad t = 0, 0 \leq y < \infty \quad (7)$$

2.2 การวิเคราะห์โดยวิธีเชิงตัวเลข

การแก้ปัญหาเกี่ยวกับการนำความร้อนโดยวิธีการวิเคราะห์ ทางคณิตศาสตร์แบบแยกตัวแปรนั้น เป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน วิธี ดังกล่าวใช้แก้ปัญหาได้เฉพาะในกรณีที่ตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ ผ่านมีรูปทรงไม่ยุ่งยากซับซ้อน และเงื่อนไขขอบเขตไม่ยุ่งยากมากนัก ในกรณีที่ไม่สามารถใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แบบแยกตัวแปรได้ เราอาจใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ในการแก้ปัญหาได้ ข้อดีของการ วิเคราะห์โดยวิธีเชิงตัวเลข คือ สามารถใช้ได้กับปัญหาที่มีรูปทรงและ เงื่อนไขขอบเขตที่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นวิธีที่ง่ายแก่การทำความเข้าใจ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับข้อเสีย การ วิเคราะห์โดยวิธีเชิงตัวเลขไม่สามารถหาค่าของอุณหภูมิได้ทุกจุด ซึ่งวิธี วิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้

สำหรับปัญหาการนำความร้อนของดิน สามารถหาค่าคำตอบ ได้โดยวิธีเชิงตัวเลข โดยมีขั้นตอนดังนี้ จากสมการที่ (5) การนำความ ร้อนในหนึ่งมิติที่สภาวะไม่คงตัวและไม่มีแหล่งความร้อนภายในและจากรูปที่ - พื้นที่ ที่ต้องการคำนวณจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ซึ่งแต่ละช่องมี ความกว้าง Δy มีอุณหภูมิ $T(y, t)$ ในช่วงเวลา Δt หลังจากแบ่งพื้นที่ ของแผ่นโลหะได้แล้วขั้นตอนต่อไปคือ แปลงสมการดิฟเฟอเรนเชียล ที่ (5) ให้อยู่ในรูปของสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่จุดต่อต่าง ๆ จาก ค่าอนุพันธ์อันดับสอง ของอุณหภูมิสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ อุณหภูมิที่จุดต่อโดยใช้การประมาณจากผลต่างแบบตรงกลาง (central differences)



รูปที่ 3 แสดงจุดต่อเพื่อใช้หาอุณหภูมิ

$$\left[\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right]_{n,i} = \frac{T_{n+1}^i - 2T_n^i + T_{n-1}^i}{\Delta y^2} \quad (8)$$

และการประมาณจากผลต่างแบบไปข้างหน้า (forward difference) เข้ากับอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่แปรผันกับเวลา

$$\left[\frac{\partial T}{\partial t} \right]_{n,i} = \frac{T_n^{i+1} - T_n^i}{\Delta t} \quad (9)$$

แทนค่าสมการ (8) (9) ลงในสมการ (5)

$$T_n^{i+1} = rT_{n-1}^i + (1 - 2r)T_n^i + rT_{n+1}^i \quad (10)$$

เมื่อ $r = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta y^2}$

$i = 0, 1, 2, \dots$ และ $n = 1, 2, \dots$

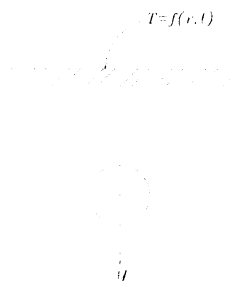
สมการที่ (10) เป็นสมการแปลงจากสมการดิฟเฟอเรนเชียลการนำความร้อน เป็น สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ที่จุดต่อต่าง ๆ ในตัวกลางจากสมการ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่จุด n ที่ เวลา $i + 1$ สามารถคำนวณได้โดยตรงจากอุณหภูมิของจุดโดยรอบที่เวลา i สำหรับข้อจำกัดของการใช้สมการที่ (11) คือ ค่า $r \leq \frac{1}{2}$ เมื่อ $r = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta y^2}$ หมายถึงค่าของ Δt จะมีค่าสูงสุดได้เพียงค่าหนึ่ง หากค่าของ Δt มีค่ามากกว่าข้อกำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดข้อผิดพลาดจากผลลัพธ์ที่ควรจะเป็น

3. ผลการคำนวณ

จากสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่จุดต่อ (10) กำหนดให้ระยะห่าง $\Delta y = 0.05 \text{ m}$ ที่เวลา $\Delta t = 60 \text{ s}$ ทำการคำนวณค่าการกระจายของอุณหภูมิในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

3.1 กรณีที่ผิวดินมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27-50 องศาเซลเซียส

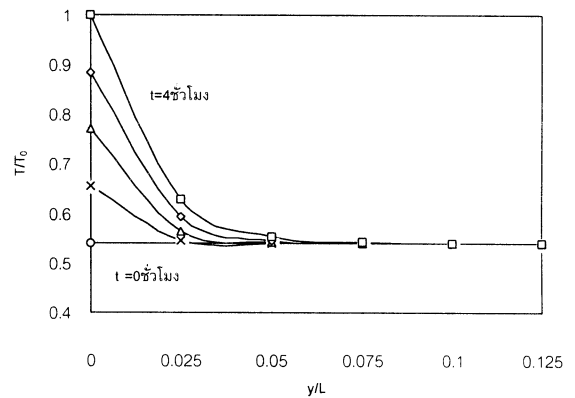
องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 กรณีที่ผิวดินมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4 ที่สภาวะเริ่มต้นอุณหภูมิที่ผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาจาก 27-50 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลา 12:00-15:00น. อุณหภูมิภายในชั้นดินเป็น 27 องศาเซลเซียส จากข้อมูลค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน สำหรับดินทราย [2] $k = 0.027 \text{ w/m}^\circ\text{C}$, $\rho = 1515 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 800 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$, $\alpha = 2.2277 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

จากข้อมูลแทนค่าลงในสมการที่ (10) เพื่อคำนวณค่าการกระจายของอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ จากรูปอุณหภูมิที่ระยะ $y = 0.1$ เมตร ที่เวลา $t = 4$ ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้น ที่ความลึกมากกว่า 0.1 เมตรค่าของอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

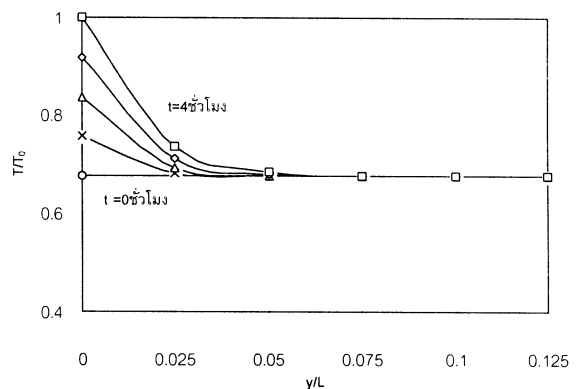


รูปที่ 4 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ

3.1 กรณีที่ผิวดินมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27-40 องศาเซลเซียส

องศาเซลเซียส

ที่สภาวะเริ่มต้นอุณหภูมิที่ผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาจาก 27-40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12:00-15:00น. อุณหภูมิภายในชั้นดินเป็น 27 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ จากรูปอุณหภูมิที่ระยะ $y = 0.075$ เมตร ที่เวลา $t = 4$ ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ความลึกมากกว่า 0.075 เมตรค่าของอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

4.สรุปผลการคำนวณ

จากผลการคำนวณ ที่สภาวะเริ่มต้น อุณหภูมิที่ผิวดินเปลี่ยนแปลงจาก 27-50 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความลึกมากกว่า 0.1 เมตร จากผิวดิน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ที่สภาวะเริ่มต้น อุณหภูมิที่ผิวดินเปลี่ยนแปลงจาก 27-40 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความลึกมากกว่า 0.075 เมตร จากผิวดิน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นผลกระทบเนื่องจากความร้อนจากผิวดินมีน้อย สำหรับการออกแบบวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติ

หนังสืออ้างอิง

[1] Ozisik, M.N., 1993, *Heat Conduction* John Wiley & Sons, Inc., Singapore

[2] Ozisik, M.N., 1985, *Heat Transfer* McGraw-Hill, Inc, 1985

[3] Kersten, M.S., *Thermal Property of Soil* University of Minesota Institute of Technology Bulletin, No 28