

การใช้ค่าสภาพการนำความร้อนโดยเฉลี่ยสำหรับคำนวณการถ่ายเทความร้อน ผ่านฉนวนหุ้มท่อ

Using an average thermal conductivity for calculating heat transfer through a pipe insulator

ประเสริฐ อินประเสริฐ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163

โทร. 457-0068 ต่อ 121, โทรสาร 457-3982, อีเมล Prasert_Inp@yahoo.com

Prasert Inprasert

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

235 Petkasem Road, Phasicharoen, Bangkok 10163

Tel: 457-0068 Ext 121, Fax: 457-3982, E-Mail: Prasert_Inp@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอให้ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฉนวนหุ้มท่อในการประมาณค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวน เรียกได้ว่าเป็นค่าสภาพการนำความร้อนโดยเฉลี่ยของฉนวนหุ้มท่อ เพื่อลดความผิดพลาดในการคำนวณตามขั้นตอนปกติที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป

จากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อไอน้ำหุ้มด้วยฉนวน โดยไอน้ำมีอุณหภูมิ 320°C ไหลในท่อเหล็กหล่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 cm และมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5.5 cm ท่อไอน้ำหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 3 cm อยู่ในอากาศหนึ่งที่อุณหภูมิ 5°C กำหนดให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ $60\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกผิวฉนวน $18\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ พบว่าเมื่อคำนวณโดยใช้ค่าสภาพการนำความร้อนโดยเฉลี่ยของฉนวนจะให้ผลที่แตกต่างจากการคำนวณจากขั้นตอนปกติถึง 24.1 % ซึ่งเป็นความผิดพลาดเกินกว่าที่จะยอมรับได้เชิงวิศวกรรม

อย่างไรก็ตามฉนวนบางชนิดค่าสภาพการนำความร้อนเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิน้อยซึ่งจะทำให้การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผิดพลาดน้อยลง นอกจากนี้ค่าสภาพการนำความร้อนที่นำมาในตารางวัสดุโดยทั่วไปจะมีความผิดพลาดจากการวัดเป็นจำนวนหลายเปอร์เซ็นต์ จึงเป็นการยากมากที่จะทำการคำนวณให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง

Abstract

This paper present to use of an average temperature from each point along radius of pipe insulation to find thermal conductivity, call average thermal conductivity of pipe insulation, to reduce error in conventional calculation method.

From the calculation of heat transfer through a pipe cover with insulation. Steam at 320°C flows in a cast iron pipe whose inner and outer diameter 5 cm and 5.5 cm, respectively. The pipe is covered with 3 cm thick glass wool insulation. Heat is lost to the surrounding at 5°C . Taking the heat transfer coefficient inner surface the pipe shell to be $60\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ and outer surface the insulation to be $18\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$. Found that if calculate by average thermal conductivity of pipe insulation will give the difference result from the conventional calculation method 24.1 %. For this large error result can not accept by engineering design.

According to a little change in thermal conductivity of some insulations should be reduced heat transfer error. More over thermal conductivity read from a table will not be the exact value, the errors exist in measurement.

1. บทนำ

บทความนี้เสนอวิธีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนหุ้มท่อ ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากความต้องการอนุรักษ์พลังงาน

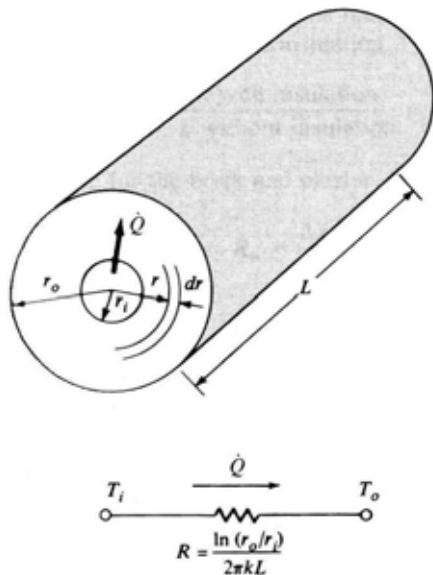
ฉนวนความร้อนเป็นวัสดุที่สำคัญในการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนที่เกิดขึ้นจึงเป็นข้อจำกัดและเป็นค่ากำหนดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณขั้นตอนต่อไป การคำนวณเพื่อให้ผลที่ถูกต้องเท่าที่จะทำได้ตามทฤษฎีที่มีอยู่ก่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการคำนวณขั้นตอนต่อไปและการประยุกต์ใช้งาน

บทความนี้จะมุ่งเน้นถึงความถูกต้องของการคำนวณที่เกิดขึ้นที่ฉนวนความร้อนและชี้ให้เห็นข้อผิดพลาดในการคำนวณตามขั้นตอนปกติที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป

2. ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนหุ้มท่อ เป็นการคำนวณหาถ่ายเทความร้อนผ่านทรงกระบอกกลวง (Hollow cylinder) นั้นเอง ซึ่งมีทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ ดังนี้

2.1 สมการการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 1 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่รัศมี r [3]

อัตราการถ่ายเทความร้อน $\dot{Q}$ ผ่านพื้นที่ A ที่รัศมี r หาได้จากสมการการนำความร้อน [3]

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= kA \frac{dT}{dr} \\ &= k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \\ &\text{เปลี่ยนเป็นรูปสมการ Differential ได้ดังนี้} \\ dT &= - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) \frac{dr}{r}\end{aligned}$$

แก้สมการ Differential โดยการ Integrated กำหนดขอบเขตให้ที่ผิวด้านในรัศมี r_i มีอุณหภูมิ T_i ตลอดความยาวทรงกระบอก และในเนื้อทรงกระบอกที่รัศมี r มีอุณหภูมิ T ตลอดความยาวทรงกระบอก ดังนั้นจะได้

$$\int_{T_i}^T dT = - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) \int_{r_i}^r \frac{dr}{r} \quad \dots(1)$$

$$[T]_{T_i}^T = - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) [\ln(r)]_{r_i}^r$$

$$T - T_i = - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) [\ln(r) - \ln(r_i)]$$

$$T - T_i = - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) \ln(r/r_i) \quad \dots(2)$$

เมื่อกำหนดให้ผิวด้านนอก $r = r_o$ มีอุณหภูมิ $T = T_o$ แทนค่าใน (2) จะได้

$$T_o - T_i = - \left(\frac{\dot{Q}}{2\pi kL} \right) \ln(r_o/r_i) \quad \dots(3)$$

จัดรูปสมการเพื่อหาอัตราถ่ายเทความร้อน

$$\dot{Q} = \left(\frac{T_i - T_o}{\ln(r_o/r_i)} \right) \frac{2\pi kL}{1} \quad \dots(4)$$

จัดรูปสมการเพื่อหาความต้านทานความร้อน

$$R = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} \quad \dots(5)$$

2.2 พิจารณาการคำนวณโดยทั่วไป

ในที่นี้จะอธิบายขั้นตอนการคำนวณเป็นตัวเลขเพื่อให้เข้าใจถึงการนำสูตรไปใช้งานโดยสมมติให้คำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อไอน้ำหุ้มฉนวนคิดที่ความยาว (L_{pipe}) 1 m โดยไอน้ำมีอุณหภูมิ ($T_{\infty,i}$) 320 °C ไหลในท่อเหล็กหล่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ($D_{\text{pipe,i}}$) 5 cm ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ($D_{\text{pipe,o}}$) 5.5 cm ท่อไอน้ำหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา (t_{insu}) 3 cm อยู่ในอากาศนิ่งที่อุณหภูมิ ($T_{\infty,o}$) 5 °C กำหนดให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (h_i) 60 W/m²·°C และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกผิวฉนวน (h_o) 18 W/m²·°C

คำนวณพื้นที่ผิวสำหรับการพาความร้อนด้านในท่อ

$$A_{s,i} = \pi D_{\text{pipe,i}} L_{\text{pipe}} = 0.1570796326795 \text{ m}^2$$

คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของก๊าซในท่อ [1]

$$R_{\text{conv},i} = \frac{1}{h_i A_{s,i}} = 0.1061032955949 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางผิวฉนวนด้านนอก

$$D_{\text{insu,o}} = D_{\text{pipe,o}} + 2t_{\text{insu}} = 11.5 \text{ cm}$$

คำนวณพื้นที่ผิวสำหรับการพาความร้อนด้านนอกฉนวน

$$A_{s,o} = \pi D_{\text{insu,o}} L_{\text{pipe}} = 0.3612831551628 \text{ m}^2$$

คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวฉนวนด้านนอก[1]

$$R_{conv,o} = \frac{1}{h_o A_{s,o}} = 0.1537728918766 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

คำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของท่อโดยใช้ตารางเหล็กหล่อที่อุณหภูมิ 300 K[2]

$$k_{pipe,300} = 80.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของท่อ จาก (5)

$$R_{pipe} = \frac{\ln(D_{pipe,o} / D_{pipe,i})}{2\pi k_{pipe} L} = 1.891407262199(10^{-4}) \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

คำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนโดยใช้ตารางฉนวนใยแก้ว(Cellular glass) ที่อุณหภูมิ 300 K[2]

$$k_{insu,300} = 0.058 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน จาก (5)

$$R_{insu} = \frac{\ln(D_{insu,o} / D_{pipe,o})}{2\pi k_{insu} L}$$

$$R_{insu} = 2.024008927907 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

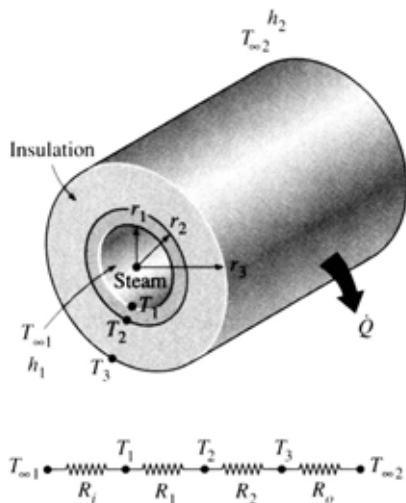
ดังนั้นค่าความต้านทานโดยรวมจะได้[4]

$$R_{total} = R_{conv,i} + R_{pipe} + R_{insu} + R_{conv,o} = 2.284074256103 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad \dots(6)$$

คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้[4]

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,o}}{R_{total}} \quad \dots(7)$$

$$\dot{Q} = 137.9114532543 \text{ W}$$



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านท่อหุ้มฉนวน[4]

จากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้ สามารถคำนวณอุณหภูมิผิวท่อด้านใน($T_{pipe,i}$), อุณหภูมิผิวท่อด้านนอกหรืออุณหภูมิผิวฉนวนด้านใน($T_{pipe,o}$)และอุณหภูมิผิวฉนวนด้านนอก($T_{insu,o}$) ได้ดังนี้

$$T_{pipe,i} = T_{\infty,i} - \dot{Q} R_{conv,i} = 305.3671403096 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \dots(8)$$

$$T_{pipe,o} = T_{pipe,i} - \dot{Q} R_{pipe} \quad \dots(9)$$

$$= 305.3410556371 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{insu,o} = T_{\infty,o} + \dot{Q} R_{conv,o} = 26.20704298974 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \dots(10)$$

2.3 พิจารณาหาอุณหภูมิเฉลี่ย

ให้เริ่มจากพิจารณาจากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าถ้าค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ ไม่คงที่แล้ว($k \neq \text{Constant}$) จะไม่สามารถ Integrate เป็นสมการที่ (2) ได้ เนื่องจากค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุใดๆ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ($k = f(T)$)

สมการการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีทรงกระบอกสามารถหาได้โดยการนำสมการ (1) / (2) จะได้

$$\frac{T - T_i}{T_o - T_i} = \frac{\ln(r / r_i)}{\ln(r_o / r_i)}$$

สมการการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีทรงกระบอกเป็นดังนี้

$$T = T_i + (T_o - T_i) \left[\frac{\ln(r / r_i)}{\ln(r_o / r_i)} \right] \quad \dots(11)$$

อย่างไรก็ตามเป็นการไม่ถูกต้องนักที่จะให้ค่าสภาพการนำความร้อนมีค่าคงที่เนื่องจากเกิดการขัดแย้งกันเองในสมการที่(11) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงให้เห็นการกระจายอุณหภูมิที่ระยะต่างๆ โดยมีสมมุติฐานให้ค่าสภาพการนำความร้อนมีค่าคงที่ไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามการที่จะให้ค่าสภาพการนำความร้อนมีค่าไม่คงที่จะทำให้การแก้สมการ Differential เพื่อให้ได้คำตอบ Exact solution จะยากมากหรือเป็นไปได้เลย ดังนั้นในการแก้สมการ Differential จึงให้ค่าสภาพการนำความร้อนเป็นค่าคงที่ จึงเขียนได้เป็นสมการที่ (1) แล้วแก้สมการไปเป็นสมการที่ (4) และ (11) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กันโดยทั่วไป

แต่บทความนี้นำเสนอให้ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากทุกๆจุดของฉนวนความร้อนในการประมาณค่าสภาพการนำความร้อน เรียกได้ว่าเป็นค่าสภาพการนำความร้อนโดยเฉลี่ยของฉนวนความร้อน เพื่อให้การคำนวณถึงจุดที่แม่นยำยิ่งขึ้น เพิ่มเติมก่อนการนำสมการที่ (4)

2.3.1 กรณีท่อโลหะ วัสดุที่ใช้มีค่าสภาพการนำความร้อนมากและมีความหนาแน่น จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกแตกต่างจากผิวด้านในไม่มาก การหาอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดแนวรัศมีทรงกระบอกในกรณีนี้ เป็นการนำค่าเฉลี่ยเชิงเลขคณิตก็ให้ค่าที่ถูกต้องและยอมรับได้ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จะเป็น

$$T_{avg} = \frac{T_i + T_o}{2} \quad \dots(12)$$

2.3.2 กรณีฉนวนหุ้มท่อ วัสดุที่ใช้มีค่าสภาพการนำความร้อนน้อยและมีความหนาแน่น จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกแตกต่างจากผิวด้านในมาก การหาอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดแนวรัศมีทรงกระบอกในกรณีนี้ จึงต้องคำนวณอย่างละเอียด การนำค่าเฉลี่ยเชิงเลขคณิตให้ค่าผิดพลาดเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_{avg} = \frac{\int_{r_i}^{r_o} T dr}{(r_o - r_i)}$$

จากสมการที่ (11) แทนค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
T_{avg}(r_o - r_i) &= \int_{r_i}^{r_o} \left\{ T_i + (T_o - T_i) \left[\frac{\ln(r/r_i)}{\ln(r_o/r_i)} \right] \right\} dr \\
&= \int_{r_i}^{r_o} T_i dr + \frac{(T_o - T_i)}{\ln(r_o/r_i)} \int_{r_i}^{r_o} \ln(r/r_i) dr \\
&= T_i(r_o - r_i) + \frac{T_o - T_i}{\ln(r_o/r_i)} \left\{ \int_{r_i}^{r_o} \ln(r) dr - \ln(r_i) \int_{r_i}^{r_o} dr \right\} \\
&= T_i(r_o - r_i) + \frac{T_o - T_i}{\ln(r_o/r_i)} \left\{ [r \ln(r) - r]_{r_i}^{r_o} - \ln(r_i)(r_o - r_i) \right\} \\
&= T_i(r_o - r_i) + \frac{T_o - T_i}{\ln(r_o/r_i)} \left\{ r_o [\ln(r_o) - 1] - r_i [\ln(r_i) - 1] - \ln(r_i)(r_o - r_i) \right\} \\
&\quad \text{ดังนั้นจะได้สมการอุณหภูมิเฉลี่ย} \\
T_{avg} &= T_i + \frac{(T_o - T_i)}{\ln(r_o/r_i)} \left\{ \frac{r_o [\ln(r_o) - 1] - r_i [\ln(r_i) - 1]}{(r_o - r_i)} - \ln(r_i) \right\} \\
&\quad \dots(13)
\end{aligned}$$

ข้อสังเกตสำหรับสมการที่ (13) นี้คือค่าที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยกว่าสมการที่ (12) ในกรณีที่อุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอก แต่สำหรับกรณีที่อุณหภูมิภายนอกสูงกว่าภายในค่าที่คำนวณจากสมการที่ (13) จะมีค่ามากกว่าสมการที่ (12)

การใช้สมการนี้สำหรับคำนวณการถ่ายเทความร้อนต้องทำการ Trial & Error หาค่า T_{avg} และ k ให้ได้ค่าสอดคล้องซึ่งกันและกัน นำค่า k ที่ได้จากการหาอุณหภูมิเฉลี่ยไปใช้ในสมการที่ (4) แล้วตรวจสอบกลับจากสมการที่ (9),(10) และ (13)

2.4 พิจารณาการคำนวณโดยใช้อุณหภูมิเฉลี่ย

ในที่นี้จะแสดงการหาค่า T_{avg} และ k_{avg} จากตัวอย่างที่สมมุติขึ้น 1st trial;

จาก (8),(9) และ (12)

$$T_{pipe,avg} = 305.3540980 \text{ }^{\circ}\text{C} = 578.504098 \text{ K}$$

$$k_{pipe,avg} = 56.29069675 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{pipe} = 0.000269477 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

จาก (9),(10) และ (13)

$$T_{insu,avg} = 148.7702238 \text{ }^{\circ}\text{C} = 421.9202238 \text{ K}$$

$$k_{insu,avg} = 0.0793491316 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{insu} = 1.479443006 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (6) } R_{total} = 1.739588671 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (7) } \dot{Q} = 181.0772887 \text{ W}$$

$$\text{จาก (8) } T_{pipe,i} = 300.7871029 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (9) } T_{pipe,o} = 300.7383067 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (10) } T_{insu,o} = 32.84477834 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2nd trial;

จาก (8),(9) และ (12)

$$T_{pipe,avg} = 300.7627048 \text{ }^{\circ}\text{C} = 573.9127048 \text{ K}$$

$$k_{pipe,avg} = 56.63045984 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{pipe} = 0.000267860 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

จาก (9),(10) และ (13)

$$T_{insu,avg} = 150.4724463 \text{ }^{\circ}\text{C} = 423.6224463 \text{ K}$$

$$k_{insu,avg} = 0.0796586266 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{insu} = 1.473694976 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (6) } R_{total} = 1.733839023 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (7) } \dot{Q} = 181.6777658 \text{ W}$$

$$\text{จาก (8) } T_{pipe,i} = 300.7233903 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (9) } T_{pipe,o} = 300.6747261 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (10) } T_{insu,o} = 32.93711544 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3th trial;

จาก (8),(9) และ (12)

$$T_{pipe,avg} = 300.6990582 \text{ }^{\circ}\text{C} = 573.8490582 \text{ K}$$

$$k_{pipe,avg} = 56.63516969 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{pipe} = 0.000267838 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

จาก (9),(10) และ (13)

$$T_{insu,avg} = 150.4963225 \text{ }^{\circ}\text{C} = 423.6463225 \text{ K}$$

$$k_{insu,avg} = 0.079662967 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (5) } R_{insu} = 1.473614682 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (6) } R_{total} = 1.733758708 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{จาก (7) } \dot{Q} = 181.6861819 \text{ W}$$

$$\text{จาก (8) } T_{pipe,i} = 300.7224973 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (9) } T_{pipe,o} = 300.6738348 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก (10) } T_{insu,o} = 32.9384096 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

สมมุติให้เป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น

$$\dot{Q} = 181.6861819 \text{ W}$$

% ความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อน

$$\begin{aligned}
\% k \text{ error} &= 100 \left(\frac{0.058 - 0.079662967}{0.079662967} \right) \\
&= -27.19327162394 \%
\end{aligned}$$

% ความผิดพลาดของอัตราการถ่ายเทความร้อน

$$\begin{aligned}
\% \dot{Q} \text{ error} &= 100 \left(\frac{137.911453 - 2543 - 181.6861819}{181.6861819} \right) \\
&= -24.09359269259 \%
\end{aligned}$$

สังเกตได้ว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมากกับขั้นตอนการคำนวณ โดยปกติ ซึ่งเป็นการประมาณค่าสภาพการนำความร้อน จะเห็นได้ว่าสมการ (7) ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำความร้อนเป็นอย่างมากซึ่งในตัวอย่างที่คำนวณมาให้ที่นี่ เลือกใช้ค่าสภาพการนำความร้อนผิดพลาด -27.19327162394 % แต่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผิดพลาด -24.09359269259 %

อย่างไรก็ตามสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ผิวฉนวนด้านใน ($T_{pipe,o}$) สูงเพียง $300.67 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ 573.82 K แต่จากตารางฉนวนก็อาจเลือกใช้ฉนวนชนิด Magnesite,80%[2] ซึ่งแนะนำให้ใช้งานได้อุณหภูมิสูงสุด 590 K และค่าสภาพการนำความร้อนก็ต่ำกว่าฉนวนใยแก้ว ดังนั้นในบทความนี้จะลองคำนวณในกรณีใช้ฉนวนชนิด Magnesite,80%

เมื่อคำนวณตามวิธีหั่วข้อ 2.3 โดยใช้ค่า $k_{insu} = 0.0503 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ ได้ $R_{insu} = 2.333847272736 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ และ $\dot{Q} = 121.4381702323 \text{ W}$ แต่เมื่อคำนวณตามวิธีหั่วข้อ 2.4 ค่าที่ยอมรับได้จาก Trial&Error คือ $k_{insu} = 0.06123817166909 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$, $R_{insu} = 1.916982735101 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$

และ $\dot{Q} = 144.6860171819 \text{ W}$ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการเลือกใช้ค่าสภาพการนำความร้อน -17.86168883049% มีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผิดพลาด -16.06779107088% โดยมีอุณหภูมิผิวฉนวนด้านใน ($T_{\text{pipe,o}}$) สูงเพียง 304.61°C หรือ 577.76 K ซึ่งน้อยกว่า 590 K ตามข้อกำหนดของฉนวน

จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอัตราการถ่ายเทความร้อนของฉนวน Magnesite, 80% น้อยกว่าของฉนวนใยแก้ว เนื่องจากค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวน Magnesite, 80% เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิน้อยกว่าของฉนวนใยแก้ว

3. บทสรุป

การใช้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของฉนวนหุ้มท่อในการประมาณค่าสภาพการนำความร้อนทำให้มั่นใจในผลการคำนวณมากกว่าการประมาณโดยไม่มีสูตรหรือสมการมารองรับ โดยคาดหวังว่าการคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสภาพการนำความร้อนมีผลน้อย แต่จากการคำนวณพบว่า การเลือกใช้ค่าสภาพการนำความร้อนน้อยกว่าค่าที่ถูกต้อง -27.2% ก็มีผลให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนถึง -24.1% ซึ่งเป็นความผิดพลาดเกินกว่าที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าไม่ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในการคำนวณก็จะไม่สามารถที่จะทราบค่าความผิดพลาดได้เลย และเมื่อใช้อุณหภูมิเฉลี่ยในการคำนวณแล้วก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ค่าอุณหภูมิอื่นใดอีก

อย่างไรก็ตามวัสดุบางชนิดค่าสภาพการนำความร้อนเปลี่ยนตามอุณหภูมิน้อยซึ่งจะทำให้การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผิดพลาดน้อยลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Frank P. Incropera; David P. DeWitt; U.S.A.; Purdue University; 'Introduction to Heat Transfer'; Third edition; John Wiley & Sons, Inc; 1993; pp 77
- [2] Frank W. Schmidt, Robert E. Henderson, Carl H. Wolgemuth; U.S.A.; The Pennsylvania State University; 'Introduction to Thermal Sciences'; Second edition; John Wiley & Sons, Inc; Singapore; 1993; pp 430, 438
- [3] Jack P. Holman; U.S.A.; Southern Methodist University; 'Heat Transfer'; Eighth edition; McGraw-Hill, Inc; 1997; pp 30
- [4] Yunus A. Cengel; U.S.A.; University of Nevada, Reno; 'Heat Transfer a Practical Approach'; McGraw-Hill, Inc; 1998; pp 136, 174