

การวิเคราะห์ตัวแปรทางความร้อนของอุโมงค์อบสีถึงสะสมสารทำความเย็น

ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

THERMAL PARAMETRIC STUDY OF REFRIGERANT ACCUMULATOR DIP LINE TUNNEL BY USING MATHEMATIC SIMULATION MODEL

อมตะ ทัศนภักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : ottocycle33@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาอุโมงค์อบสีถึงสะสมสารทำความเย็นและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน อุณหภูมิแวดล้อมและจำนวนของอุโมงค์อบสีที่มีต่ออุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีและการกระจายของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีรวมทั้งศึกษาหาแนวทางจัดทำมาตรการการประหยัดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของอุโมงค์อบสี

โดยจากการสำรวจภายในอุโมงค์อบสีพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแห้งของสีที่เคลือบคือการกระจายของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่จะต้องมีความเร็วต่ำมากเพื่อให้การแห้งของสีเคลือบเป็นแบบแห้งอย่างช้าๆ และทั่วทั้งถึงสะสมสารทำความเย็นดังนั้นการอบสีเคลือบเป็นลักษณะที่ถึงสะสมสารทำความเย็นที่ผ่านการเคลือบสีแล้วเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนที่เคลื่อนตัวด้วยความเร็วต่ำๆ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่บนพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนพบว่าจำนวนของอุโมงค์อบสีและอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมมีผลกระทบในลักษณะแปรผันตรงต่ออุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีที่อยู่ในรูปแบบความร้อนสูญเสียจากภายในอุโมงค์อบสีสู่อากาศแวดล้อมภายนอก

ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์อุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของอากาศแวดล้อมรวมทั้งความหนาของฉนวนใยแก้วจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในช่วง $25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีเฉลี่ย $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$
2. การมีฉนวนใยแก้วและช่องอากาศระหว่างผนังเหล็กทำให้ผลต่างของโปรไฟล์อุณหภูมิภายในมากขึ้นเฉลี่ย $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ ในช่วงแรกจากช่องทางเข้าของอุโมงค์อบสีและเพิ่มเป็น $3^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$ ในช่วงกลางอุโมงค์อบสีและเพิ่มเป็น $6^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ ในช่วงท้ายอุโมงค์อบสี
3. ความหนาของใยแก้วที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 50 mm มีผลทำให้อุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีเพิ่มขึ้น $0.5^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}$ ในช่วง 3.3 m แรกและเพิ่มขึ้น $2^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ ในช่วงกลางและช่วงท้ายของอุโมงค์อบสี
4. โปรไฟล์ของอุณหภูมิของอุโมงค์อบสีจะมีความชันมากในช่วงแรกและความชันของโปรไฟล์จะลดลงจนเกือบจะคงที่ที่ตำแหน่งกลางและท้ายของอุโมงค์อบสี

5. ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ ($10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} - 80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) เป็นตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิและการกระจายของอุณหภูมิน้อยมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม

คำสำคัญ : อุโมงค์คอบสี อุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การนำความร้อน ฉนวนใยแก้ว

ABSTRACT

The study of refrigerant accumulator dip line tunnel and its mathematic model was conducted with objective to gain insights on the relationship of natural film coefficient of environmental air, environmental air temperature, and insulator of tunnel that effected to inside tunnel temperature and temperature distribution as well as to study to save the energy and to improve the efficiency.

The inside tunnel exploration showed that the parameters which effected to film laminated material were inside tunnel temperature and hot air velocity which must be very low velocity in order to slowly dry the whole film laminated material of the refrigerant accumulator therefore type of film laminated material fumigation was dip in very slow moving hot air. According to mathematic model based on conductive heat transfer, insulator of tunnel and environmental air temperature proportional effected to inside tunnel temperature that was in form of heat loss from inside tunnel to environmental air.

From the study and analyses of temperature and natural film coefficient of environmental air as well as glass wool insulator thickness, mathematic model give the result as follows:

1. Environmental air temperature in range $25^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ influenced to inside tunnel temperature about $1^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}$

2. Glass Wool insulator and air gap increased the difference of inside temperature profile that first entry section of tunnel increased $1^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}$ and $3^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}$ in middle section and $6^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$ end section

3. The increment of glass wool insulator thickness in every 50 mm increased inside tunnel temperature in rage $0.5^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C}$ in first 3.3 m of tunnel and $2^\circ\text{C} - 3^\circ\text{C}$ in middle and end section of tunnel

4. The slop of tunnel temperature profile is steep in first entry section of tunnel and declined in middle and end section of tunnel

5. The natural film coefficient of environmental air ($10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} - 80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) was parameter which was very less influenced to temperature and temperature distribution when compare to environmental air temperature

KEYWORDS : Tunnel, Temperature, Relative humidity, Glass wool insulator

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

โรงงานผลิตถังสะสมสารทำความเย็น (ผลิตภัณฑ์) โดยใช้ระบบสายพานลำเลียงให้ถังสะสมสารทำความเย็นผ่าน กระบวนการชุบสี (สีดำ) เป็นลำดับแรก แล้วผ่านเข้าสู่อุโมงค์อบสีเพื่อทำให้สีที่ชุบนั่นแห้งจากการศึกษาพบว่ามักมีปัญหาเกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อน (เมษายน – มิถุนายน) เพราะอากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ทำให้สีที่อบไม่เรียบ (เป็นคลื่น) ทางโรงงานต้องนำผลิตภัณฑ์ที่สีไม่เรียบมาทำการลอกสี, พ่นทราย, ชุบสี, และอบสีใหม่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเป็น 2 เท่าของผลิตภัณฑ์ที่เสีย รวมทั้งวิธีจ่ายลมร้อนเข้าสู่อุโมงค์อบสีด้วยแหล่งความร้อนที่ได้จากฮีตเตอร์ไฟฟ้าทำให้สูญเสียการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการวิจัยเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย อุณหภูมิ, ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน คุณสมบัติและความหนาของฉนวนใยแก้วมีผลกระทบต่ออุณหภูมิและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสี ซึ่งจะมีผลกระทบกับผลิตภัณฑ์ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ปรับค่าตัวแปรให้เหมาะสมและลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ เพื่อการประหยัดพลังงานของอุโมงค์อบสี

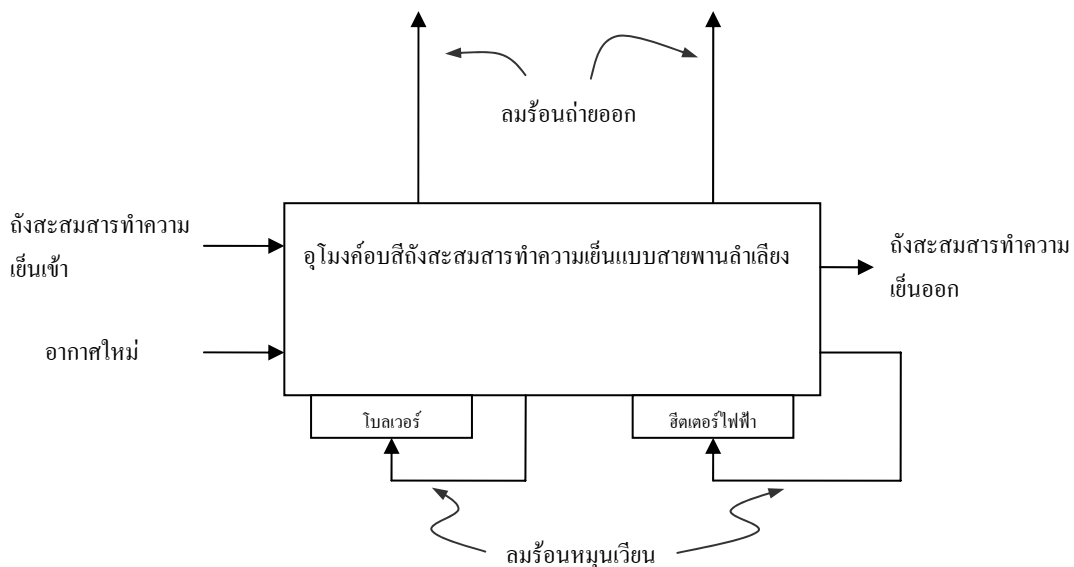
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิ, ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, คุณสมบัติและความหนาของฉนวนใยแก้ว และข้อมูลของระบบ Accumulator DIP line ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และในด้านการประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

1.2.2. เพื่อจำลองแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบ และประเมินประสิทธิภาพของระบบ Accumulator DIP line ใหม่เปรียบเทียบกับระบบ Accumulator DIP line เดิม

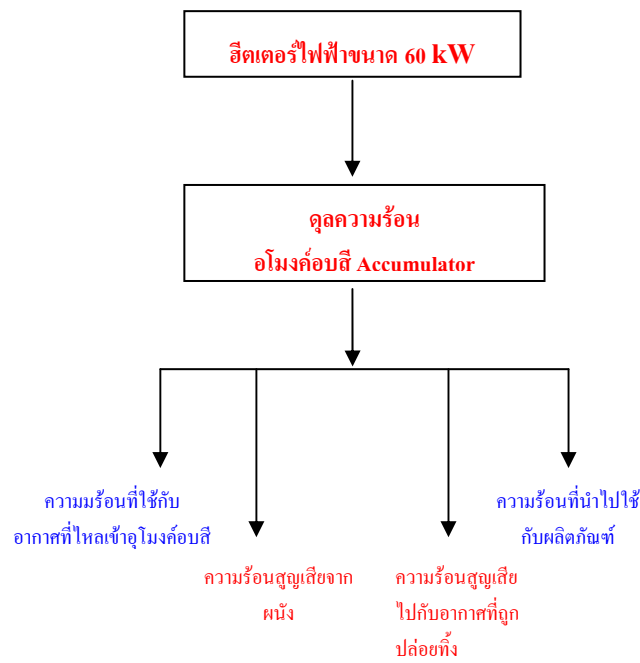
1.2.3. เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่มีผลกระทบต่อ คุณภาพของการชุบและอบสีถังสะสมสารทำความเย็น

2. ใ้ดอะแกรมของระบบอุโมงค์อบสีถังสะสมสารทำความเย็น



ภาพประกอบ 1 หลักการทำงานของอุโมงค์อบสี

การเคลือบและอบสีถึงสะสมสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็น และการปรับอากาศ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ โดยใช้ระบบ Accumulator DIP line นี้ มีหลักการทำงานดังภาพที่ 1 เริ่มตั้งแต่การนำถังสะสมสารทำความเย็น(ชิ้นงาน) มาทำการเคลือบสี(ชุบสี) เสร็จแล้วแขวนชิ้นงานไว้ที่สายพานลำเลียง สายพานลำเลียงนี้เป็นแบบต่อเนื่องมีจุดแขวนทั้งหมด 198 จุด แต่ละจุดแขวนมี 3 ตะขอ ขนาดของชิ้นงานแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ขนาดเล็กมีน้ำหนัก 2.5-4 kg แขวน 3 ลูกต่อ 1 จุดแขวน ส่วนขนาดใหญ่มีน้ำหนัก 20 kg แขวน 1 ลูกต่อ 3 จุดแขวน สายพานลำเลียงนำชิ้นงานเข้าเตาอบสีด้วยความเร็ว 0.45 m/min ความร้อนที่ใช้ในการอบสีได้มาจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า ที่ตรงตำแหน่งกลางเตาอบสีมี hot air circulation fan ขนาด 100 cmm × 70 mmA × 2.2 kW สายพานลำเลียงชิ้นงานเข้าเตาอบสีอย่างต่อเนื่อง ที่จุดก่อนออกต้องผ่าน air curtain fan ขนาด 60 cmm × 30 mmA × 1.5 kW แล้วลำเลียงต่อไปยังกระบวนการผลิตอื่น สำหรับความร้อนที่ใช้เคลือบอบสีแล้วปล่อยออกสู่บรรยากาศ



ภาพประกอบ 2 แสดงการดูดความร้อนของอิมมูมค้อบสีจริง

จากภาพประกอบ 2 แสดงให้เห็นว่าพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะถูกแบ่งเป็นส่วนๆ ซึ่ง 2 ส่วนจะเป็นการสูญเสียกับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งและสูญเสียกับผนังของอิมมูมค้อบสี

3. การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของอิมมูมค้อบสี

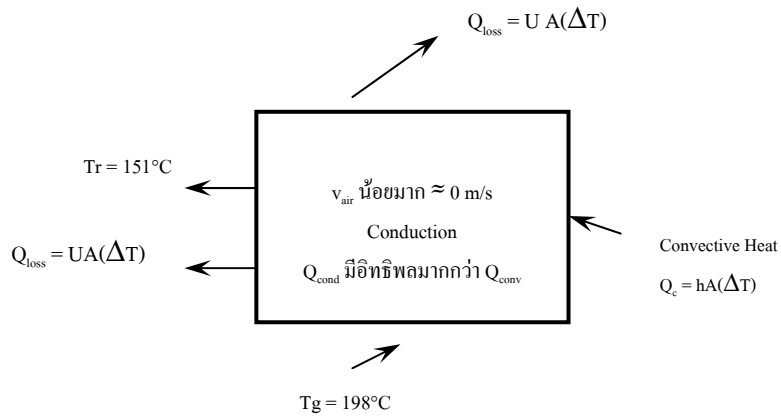
3.1 สมมุติฐานการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. แบบจำลองเป็น 2 มิติ
2. การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ Steady State และ Conductive Heat Transfer
3. มวลอากาศภายในอิมมูมค้อบสีมีความเร็ว น้อยมาก
4. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของวัตถุและอากาศคงที่

5. Boundary Condition ทางช่องรีเทิร์นและพื้นของอุโมงค์อบสีเป็นอุณหภูมิคงที่
6. Boundary Condition ทางผนังด้านซ้ายและด้านบนมีการสูญเสียความร้อน (Q_{loss})
7. Boundary Condition ทางด้านขวาเป็น Convective Heat Transfer

3.2 ทฤษฎีของการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของอุโมงค์อบสี

จากสมมุติฐานมวลอากาศร้อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วช้ามาก ดังนั้น หลักการการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจึงถูกนำมาใช้กับการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ โดยในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุโมงค์อบสีจะให้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 198°C ไหลเข้าและกระจายตัวไปตามพื้นของอุโมงค์อบสี และมีความร้อนสูญเสียผ่านผนังอุโมงค์อบสีทางด้านบนของอุโมงค์อบสีและพื้นที่ผนังด้านล่างที่ต่ำกว่าช่องรีเทิร์นลมร้อน ส่วนอุณหภูมิของลมร้อนในช่องรีเทิร์นจะถูกกำหนดให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 151°C และมีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนที่ตำแหน่งช่องทางเข้าอุโมงค์อบสี ดังแสดงในภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Conductive Heat Transfer และ Boundary Conditions

จากภาพประกอบ 3 จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนโดยการนำของลมร้อนภายในอุโมงค์อบสีดังต่อไปนี้

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 T}{\Delta y^2} = 0 \tag{3.1}$$

นำหลักการของ Finite Difference มาประยุกต์เพื่อแก้สมการ (3.1) หากการกระจายตัวทางอุณหภูมิของลมร้อนภายในอุโมงค์อบสีซึ่งจะได้

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} = \frac{T_{m-1,n} - 2T_{m,n} + T_{m+1,n}}{\Delta x^2} \tag{3.2}$$

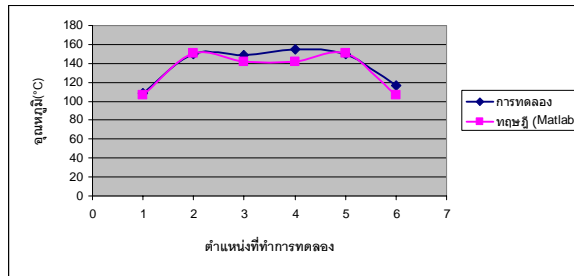
$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta y^2} = \frac{T_{m,n-1} - 2T_{m,n} + T_{m,n+1}}{\Delta y^2} \tag{3.3}$$

ดังนั้นจะได้สมการของโหนด (Node) ภายในคือ

$$\frac{T_{m-1,n} - 2T_{m,n} + T_{m+1,n}}{\Delta x^2} + \frac{T_{m,n-1} - 2T_{m,n} + T_{m,n+1}}{\Delta y^2} = 0 \tag{3.4}$$

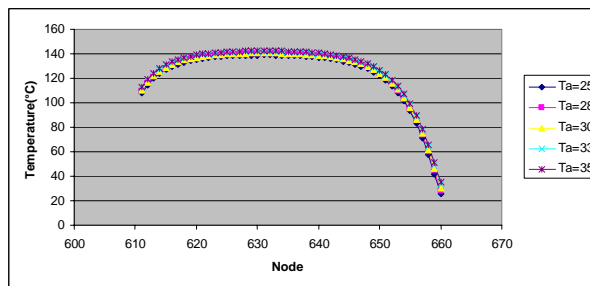
จำนวนโหนดที่ใช้ในมีทั้งหมด 990 โหนด (55 x 18) และ Boundary Conditions ของอุโมงค์ที่ประยุกต์ใช้กับหลักการ Finite Difference แสดงในภาพประกอบ 3

4. ผลการวิเคราะห์ตัวแปรทางความร้อน



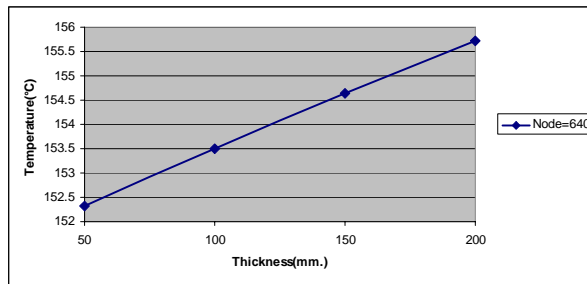
ภาพประกอบ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำการทดลองกับค่าที่ได้จากทฤษฎี(MATLAB) ที่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่ทำการทดลอง

ผลจากภาพประกอบ 4 พบว่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ ได้จากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีค่าใกล้เคียงกับโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งมีความผิดพลาดสูงสุด 8.57% ที่ตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากที่ตำแหน่งการวัดที่ 4 เช่นเซอร์ของ RTD ได้รับลมร้อนมากกว่าตำแหน่งการวัดอื่น เพราะแผ่นเหล็กลดความเร็วของลมร้อนที่ช่องจ่ายลมร้อนบริเวณตำแหน่งการวัดที่ 4 หายไป



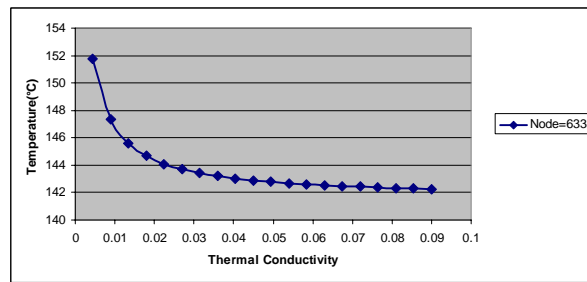
ภาพประกอบ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Ta = 25-35°C ที่เข้าเตาอบ พิจารณาที่ตำแหน่งกลางอุโมงค์อบสัในแนวแกน x และค่า k = 0.08325 W/m·K

ภาพประกอบ 5 แสดงเปรียบเทียบค่า Ta ในช่วงอุณหภูมิ 25°C ถึง 35°C ผลที่ได้ คือ ค่าอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ Ta = 25°C จะมีค่าน้อยกว่าค่าอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ Ta = 35°C อยู่ประมาณ 5°C ถึง 9°C ในช่วง 0.9 m แรกจากช่องทางเข้าอุโมงค์และจากช่วง 0.9 m ไปจนถึงช่วงท้ายอุโมงค์อุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ Ta = 25°C จะมีค่าน้อยกว่าค่าอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสัที่ Ta = 35°C อยู่ประมาณ 3°C ถึง 4°C ซึ่งแสดงว่า Ta ที่ช่องทางเข้าอุโมงค์มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิภายในอุโมงค์ในช่วงต้นทางของอุโมงค์



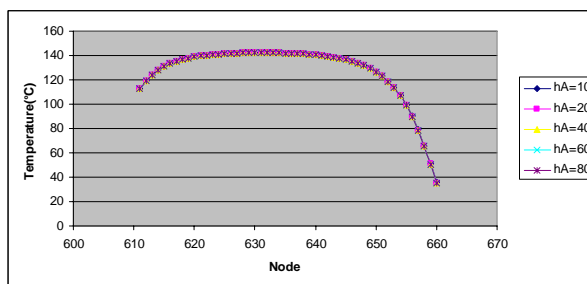
ภาพประกอบ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาของฉนวนใยแก้วพิจารณาที่ตำแหน่งโหนด 640 เป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ทำการวัดจริงที่ตำแหน่งที่ 1 โดยใช้ค่า $k = 0.045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

ภาพประกอบ 6 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความหนาขึ้นจะทำให้ค่าอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสูงขึ้นตามไปด้วย เห็นได้จากเส้นกราฟนั้นเป็นเส้นตรง เพราะว่าเมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วขึ้นแล้ว จะทำให้อุโมงค์อบสามารถรักษาอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบได้ดีขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วขึ้นมากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนเกินไป ดังนั้นควรทำการเปรียบเทียบค่าความหนาของฉนวนใยแก้วที่เหมาะสมทั้งผลกระทบต่อทางความร้อนและราคาของฉนวนใยแก้ว



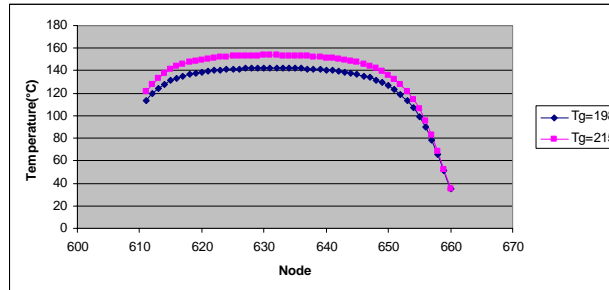
ภาพประกอบ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า k กับค่า $T_a = 35^\circ\text{C}$ ที่เข้าอุโมงค์อบพิจารณาที่ตำแหน่งโหนด 633 เป็นตำแหน่งกลางอุโมงค์อบ

ผลจากภาพประกอบ 7 พบว่าฉนวนใยแก้วที่มีคุณภาพดีจะมีค่า k ที่ต่ำ เริ่มตั้งแต่ $0.0045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ถึง $0.090 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ โดยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน (k) ขึ้นครั้งละ 10% ค่าที่ได้พบว่าค่าอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบจะลดลงเป็นส่วนกลับกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน (k) ที่จะเพิ่มสูงขึ้น โดยตั้งแต่ว่า $k = 0.072 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ไปแล้ว อุณหภูมิภายในอุโมงค์อบค่อนข้างจะคงที่



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะโปรไฟล์ของอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ที่ช่องทางเข้าอุโมงค์อบ

จากภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะ โปรไฟล์ของอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ที่ช่องทางเข้าอุโมงค์อบสี พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วง $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ถึง $80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศของบรรยากาศภายนอกไหลเวียนโดยไม่มีผลกระทบต่อโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสี



ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะโปรไฟล์ของอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของพื้นอุโมงค์ที่วัดได้

จริง ($T_{\text{actual}} = 198 \text{ }^{\circ}\text{C}$) กับอุณหภูมิของพื้นอุโมงค์ที่ค่า set point ($T_{\text{sp}} = 215 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

ผลจากภาพประกอบ 9 แสดงว่าอุณหภูมิที่พื้นอุโมงค์ซึ่งเป็นแหล่งความร้อนของอุโมงค์อบสีมีอิทธิพลต่อโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีในช่วงกลางถึงท้ายของอุโมงค์อบสีอย่างมาก ผลต่างของอุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะช่วง 2.4 m จากช่องทางเข้าอุโมงค์ถึงช่วง 3.4 m ของอุโมงค์มีผลต่างของอุณหภูมิ $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ในช่วง 0.1 m แรกจากช่องทางเข้าอุโมงค์โปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีมีผลต่างของอุณหภูมิตั้งแต่เพียง $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับกลางอุโมงค์อบสี

5. สรุป

ผลสรุปการวิจัยพบว่าสถานะของอุโมงค์อบสีถึงสะสมสารทำความเย็นในปัจจุบันหรือสภาพก่อนการปรับปรุงอยู่ในสถานะที่เบี่ยงเบนไปจากสถานะที่ตั้ง เช่น สภาพของแผ่นเหล็กที่ช่องจ่ายลมร้อน สีเคลือบที่หดยับ ช่องจ่ายลมร้อนเนื่องมาจากแผ่นเหล็กหาย, ฮีตเตอร์ไฟฟ้ามีสีเคลือบเคลือบที่หลุดหรือขดลวดกำเนิดความร้อนการปล่อยอากาศร้อนทิ้งมากเกินไปซึ่งทั้งหมดนี้มีผลต่อการใช้พลังงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าและคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทั้งหมดนี้เนื่องมาจากการใช้งาน โดยขาดการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องอีกทั้งฉนวนใยแก้วของอุโมงค์อบสีเสื่อมคุณภาพ 84.44 % จากการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์พบว่าความหนาและคุณภาพของฉนวนใยแก้วมีผลกระทบต่อ การกระจายอุณหภูมิของลมร้อนภายในอุโมงค์อบสี โดยความหนาของฉนวนเป็นสัดส่วนโดยตรงกำลังหนึ่งกับอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีที่ตำแหน่งใดๆ และคุณภาพของฉนวนมีอิทธิพลต่อโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีอย่างมาก โดยเฉพาะช่วงกลางและท้ายอุโมงค์อบสีและที่ตำแหน่งใดๆ คุณภาพของฉนวนเป็นสัดส่วนกำลังสองกับอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีอีกทั้งอุณหภูมิของอากาศที่ช่องทางเข้าอุโมงค์อบสีและอุณหภูมิที่พื้นอุโมงค์อบสีมีอิทธิพลต่อโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบสีอย่างมาก โดยเฉพาะช่วงกลางและท้ายอุโมงค์อบสี อุณหภูมิแวดล้อมของอุโมงค์อบสีเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิของอุโมงค์อบสีแต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการสร้างอุโมงค์อบสี โดยเฉพาะความหนาฉนวนและชนิดของฉนวน.

จากผลการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของอุโมงค์อบสีและผลิตภัณฑ์ทางผู้ประกอบการควรที่จะทำกิจกรรมดังต่อไปนี้

1. เปลี่ยนจนวนไขแก้วแบบแผ่นหนา 2 นิ้วใหม่
2. จัดตารางทำความสะอาดพื้นอุโมงค์อบสีทุกเดือน
3. ซ่อมแซมหรือเปลี่ยนแผ่นเหล็ก (Cover Plate) ลดความเร็วที่ช่องจ่ายอากาศร้อนที่พื้นอุโมงค์อบสีทั้งหมด
4. จัดตารางทำความสะอาดฮีตเตอร์เป็นประจำทุกเดือน

6. รายการอ้างอิง

โศรฎา แข็งการ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 2551 การใช้ **MATLAB** สำหรับงานทางวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Cengel, A Yunus, 2006. **Heat and Mass Transfer**. 3rd ed. USA: McGraw Hill.

Fausett, V Laurene, 1999. **Applied Numerical Analysis using MATLAB**. USA: Prentice Hall.

Incropera, P Frank. and David P Dewitt, 1990. **Introduction to Heat Transfer**. 2nd ed. USA: John Wiley and Sons.

Patankar, V Suhas, 1980. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. USA: Taylor and Francis.