

**การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของแผงรับความร้อน
แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์**
**The Study of Heat Transfer Effect of Heat Pipe Evacuated Tube Collector
by using Finite Element Method**

จिरพงษ์ พงษ์สีทอง^{*} รัตนสุดา แนวนเงินดี ทองพูล สังกะเพศ
กมลพรรณ ชุมพลรัตน์ สิริมงคล ไจกล้ำ และเอกชาติ หัตถา
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-7000 ต่อ 2716 โทรสาร 0-2564-7059 E-mail: jiraphong@nstda.or.th

Jiraphong Phongsitong^{*}, Rattanasuda Naewngemdee, Tongpool Sangkapes,
Kamonpan Chumpolrat, Sirimongkhol Jaikla and Ekkachart Hattha
Institute of Solar Energy Technology Development, National Science and Technology Development Agency
111 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand
Tel: 0-2564-7000 ext. 2716 Fax: 0-2564-7059 E-mail: jiraphong@nstda.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อหลักของแผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated Tube Collector; ETC) โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) ในการคำนวณ การศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองของแผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ยี่ห้อ Sunda รุ่น Seido 1-8 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วย FEM โดยมีขั้นตอนการคำนวณเริ่มจาก 1) เขียนแบบของอุปกรณ์ต่างๆ ที่บริเวณที่รับความร้อนเท่าขนาดจริง 2) ระบุเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น (อัตราการไหล อุณหภูมิของน้ำที่ป้อนให้กับระบบ และ อุณหภูมิบริเวณผิวอุปกรณ์รองรับท่อผลิตความร้อน) และ 3) เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ทางออกระบบกับผลที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ 1) อัตราการไหลของน้ำที่เข้า ETC อยู่ที่ 1-8 ลิตร/นาที และ 2) อุณหภูมิของน้ำทางเข้าระหว่าง 30 - 70 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการทดลองจริงและข้อมูลจากการคำนวณมีความสอดคล้องกัน คือ เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิของน้ำเข้า - ออก ลดลงและเมื่ออุณหภูมิที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการทำให้ผลต่างอุณหภูมิของน้ำเข้า - ออก ลดลงด้วยเช่นกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นประโยชน์ในการออกแบบและควบคุมการทำงานระบบ ETC ให้ได้พลังงานความร้อนตามเงื่อนไขที่ต้องการ

Abstract

The objective of this study is to examine the heat transfer characteristics within the header tube of Heat Pipe Evacuated Tube Collector (ETC), using Finite Element Method (FEM). In this study, experimental results from ETC of model Seido 1-8 (manufactured by Sunda) were compared with simulated results obtained by FEM. Work toward this study included: 1) drawing a schematic of the experimental setup, then modeling header tube and its surrounding devices for FEM analysis, at 1:1 scale, 2) defining the boundary conditions and initial conditions (water flow rate, inlet water temperature and surface temperature of heat pipe support devices) and 3) comparing the simulated outlet water temperature with that in the experimental results. Parameters analyzed in this study consisted of 1) inlet water flow rate at 1-8 L/min and 2) inlet water temperature between 30–70°C. The experimental results and simulated results were in good agreement, that is, when water flow rate was increased, the difference between inlet and outlet water temperature decreased; when the inlet water temperature was raised the difference between the inlet and outlet water temperature also decreased. The results of this study are beneficial toward the design and control of the ETC system to obtain the required thermal energy.

1. บทนำ

พลังงานความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนในการผลิตน้ำร้อนหรือลมร้อน สำหรับประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งมีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ทั่วประเทศจากทุกพื้นที่มีค่าเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ [1] หรือโดยประมาณเท่ากับ $5 \text{ kw.hr/m}^2 \cdot \text{day}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) และวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณเพื่อออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ให้ได้แบบจำลอง (Model) ที่หลากหลาย มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานตามเงื่อนไขต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงสามารถนำไปสร้างต้นแบบเพื่อใช้งานจริง [2,3,4]

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อรับความร้อนของแผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated Tube Collector, ETC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตความร้อนรูปแบบหนึ่งและมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อแก้ปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในการคำนวณซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่เหมาะสมในการนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อแสดงผลการถ่ายเทความร้อน [5,6] จากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับผลที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและการผลิตพลังงานความร้อนที่ได้จากระบบ ETC

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 แผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน

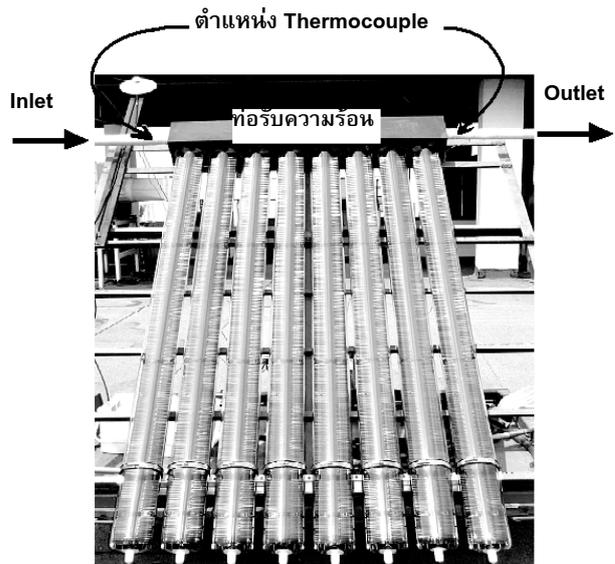
ในงานวิจัยนี้ใช้แผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนยี่ห้อ Sunda รุ่น Seido 1-8 ที่มีขนาดพื้นที่รับแสงเท่ากับ 1.4 ตารางเมตร และมีส่วนประกอบหลักได้แก่ แผ่นอลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นแผ่นรับความร้อน (Absorber) ติดตั้งอยู่ด้านในของท่อหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube) ซึ่งระบบสุญญากาศของท่อหลอดแก้วจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนสูญเสียออกจากแผ่นรับความร้อน ด้านหลังแผ่นรับความร้อนจะมีท่อผลิตความร้อนซึ่งภายในบรรจุสารทำระเหยเพื่อดึงความร้อนออกมาและส่งผ่านความร้อนไปตามแนวยาวของท่อผลิตความร้อน ซึ่งปลายด้านหนึ่งติดตั้งอยู่กับฐานรองรับท่อผลิตความร้อน และจากนั้นความร้อนจะถูกส่งผ่านจากฐานรองรับท่อผลิตความร้อนไปยังท่อรับความร้อน (Header Tube) ซึ่งมีสารระบายความร้อน (Working Fluid) เพื่อดึงความร้อนไปใช้งานสำหรับสารรับความร้อนที่รับความร้อนแล้วจะถูกนำไปใช้งานต่างๆ กัน เช่น หากสารรับความร้อนเป็นอากาศก็จะได้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้ง [7,8,9] และหากสารรับความร้อนเป็นน้ำก็จะได้น้ำร้อน [10,11]

2.2 การวิเคราะห์การผลิตความร้อนของท่อความร้อน

ในการวิเคราะห์การผลิตความร้อนของท่อความร้อนได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ทดลองเพื่อหาปริมาณความร้อนที่ท่อความร้อนผลิตได้จริง และ 2) วิเคราะห์หาปริมาณความร้อนและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธี เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2.1 การทดลองเพื่อหาปริมาณความร้อนที่ท่อความร้อนผลิตได้จริง

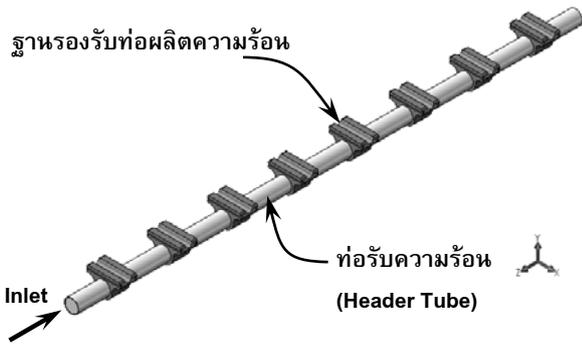
ในการทดลองนั้นได้ทำการติดตั้งระบบท่อความร้อน โดยใช้น้ำเป็นของไหลเพื่อรับความร้อนที่ผลิตได้จากระบบท่อความร้อน ซึ่งอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 3, 4, 6 และ 8 ลิตร/นาที และอุณหภูมิของน้ำที่ป้อนเข้าให้กับระบบท่อความร้อน 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของน้ำในระบบท่อความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) เพื่อทำการบันทึกค่าโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยตำแหน่งที่ทำการวัดคือ ทางเข้าและทางออกของน้ำในระบบท่อรับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งค่าอุณหภูมิของน้ำที่วัดได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 1 ชุดระบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนที่ใช้ทำการทดลอง

2.2.2 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ระบบท่อความร้อนในส่วนของ 1) ฐานรองรับท่อผลิตความร้อน และ 2) ท่อรับความร้อนที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายเทความร้อนที่ผลิตได้จากฐานรองรับท่อผลิตความร้อนเพื่อส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำหรือของไหลอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของระบบท่อรับความร้อนที่ใช้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ได้แก่

- เขียนแบบของอุปกรณ์ต่างๆ ที่บริเวณท่อรับความร้อนเท่าขนาดจริง
- ระบุเงื่อนไขในการคำนวณ

สมมติฐาน ได้แก่

- เป็นการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงตัว (Steady State)
- ไม่มีการสูญเสียความร้อนระหว่างผิวสัมผัสของฐานรองรับท่อผลิตความร้อนและท่อหลัก

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ได้แก่

- ไม่มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อน (no thermal expansion)
- ผิวท่อหลักไม่มีสภาพการลื่นไหล (no slip condition)
- เป็นระบบหุ้มฉนวน
- อุณหภูมิบริเวณผิวอุปกรณ์รองรับท่อผลิตความร้อนในส่วนที่ติดกับท่อผลิตความร้อนมีค่าคงที่ คือ 100 องศาเซลเซียส (อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง)

เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial conditions)

- อัตราการไหลของน้ำที่เข้าท่อรับความร้อนของระบบ ETC อยู่ที่ 1 - 8 ลิตร/นาที
- อุณหภูมิของน้ำทางเข้าอยู่ระหว่าง 30 - 70 องศาเซลเซียส

- เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ทางออกกับผลที่ได้จากการทดลอง

2.3 ทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาโดยวิเคราะห์ในส่วนของการไหลและการถ่ายเทความร้อนซึ่งสมการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย

- สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) เพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของการไหล

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ u คือ เวกเตอร์ความเร็ว (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m³)

- สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) เพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของการไหล

$$\nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho g \quad (2)$$

เมื่อ p คือ ความดันสถิต (Pa)

g คือ ค่าแรงดึงดูดของโลก (m/s²)

μ คือ ค่าความหนืดของของเหลว (Pa·s)

- การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฐานรองรับท่อผลิตความร้อน (อลูมิเนียม) และท่อรับความร้อน (ทองแดง) ได้อาศัยสมการการนำความร้อนซึ่งเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของความร้อน จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลของตัวกลางมีการสัมผัสกันโดยตรง ปริมาณของความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนนั้นมีค่าแปรผันกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตามระยะทาง ในกรณีนี้คิดในแบบสามมิติซึ่งสมการนำความร้อนภายใต้ทิศทาง x , y และ z สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$q_x = -k \, dy \, dz \, \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

$$q_y = -k \, dx \, dz \, \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4)$$

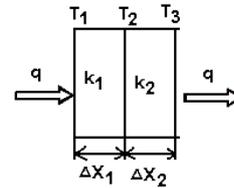
$$q_z = -k \, dx \, dy \, \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอน (Watt)

k คือ ค่าการนำความร้อน (W/m·°C)

∂T คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)

- การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างฐานรองรับท่อผลิตความร้อนและท่อรับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การนำความร้อนผ่านผนังเรียบซ้อนกันแบบอนุกรม

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2}} \quad (6)$$

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิของฐานรองรับท่อผลิตความร้อน (°C)

T_3 คือ อุณหภูมิของท่อรับความร้อน (°C)

Δx_1 คือ ความหนาของฐานรองรับท่อผลิตความร้อน (m)

Δx_2 คือ ความหนาของท่อรับความร้อน (m)

k_1 คือ ค่าการนำความร้อนของฐานรองรับท่อผลิตความร้อน (W/m·°C)

k_2 คือ ค่าการนำความร้อนของท่อรับความร้อน (W/m·°C)

- การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างท่อรับความร้อนและน้ำ นั้นเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อน มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนคือกฎการเย็นตัวของนิวตัน "Newton's cooling law"

$$q = hA \Delta T \quad (7)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

A คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

- การสมมูลพลังงาน กรณีการถ่ายเทความร้อนของน้ำสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (8)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ (Watt)

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($KJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำด้านขาเข้า ($^{\circ}C$)

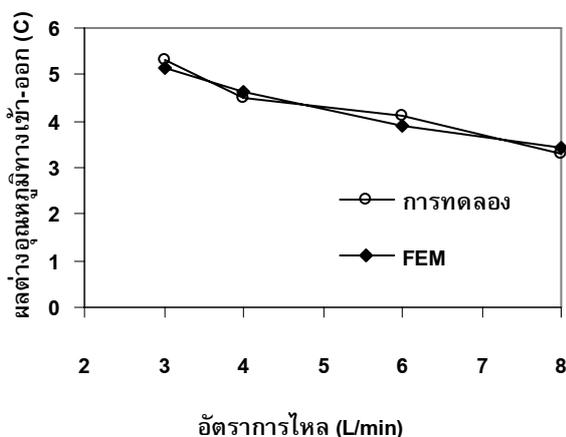
T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำด้านขาออก ($^{\circ}C$)

3. ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในระบบที่รับความร้อน

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบที่รับความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถสรุปรายละเอียดที่ได้วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.1 การเปรียบเทียบและยืนยันความถูกต้องในการวิเคราะห์แบบจำลองที่รับความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

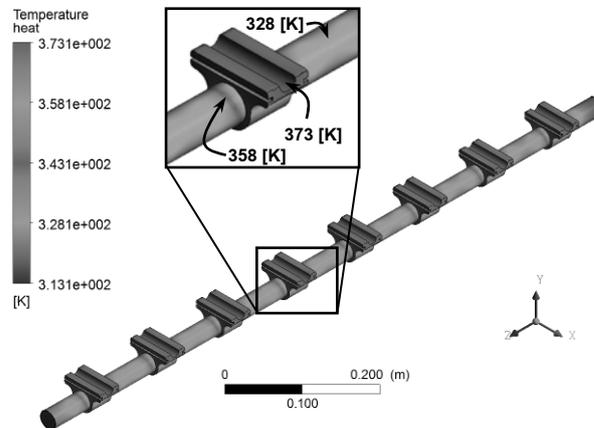
ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ที่รับความร้อนจากทั้ง 2 ส่วนคือ ผลจากการทดลองจริงและผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากทั้ง 2 ส่วนพบว่า มีแนวโน้มและมีความสอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การวิเคราะห์แบบจำลองระบบที่รับความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับวิเคราะห์แบบจำลองที่รับความร้อนได้



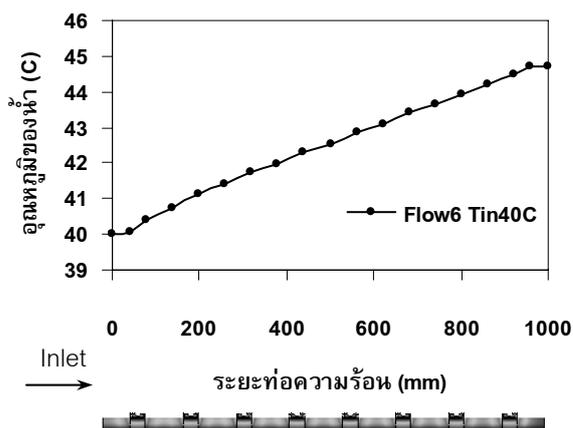
รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลจาก FEM ที่อุณหภูมิด้านเข้าของน้ำ $50^{\circ}C$

3.2 ผลการวิเคราะห์การผลิตความร้อนที่ได้จากระบบที่รับความร้อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากการทดลองจริงไม่สามารถทำการวัดและอธิบายได้ถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิกายในระบบที่รับความร้อน ดังนั้นวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาและแสดงผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

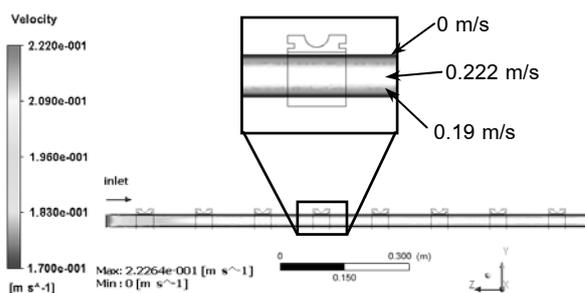


รูปที่ 5 ตัวอย่างผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในระบบที่รับความร้อน



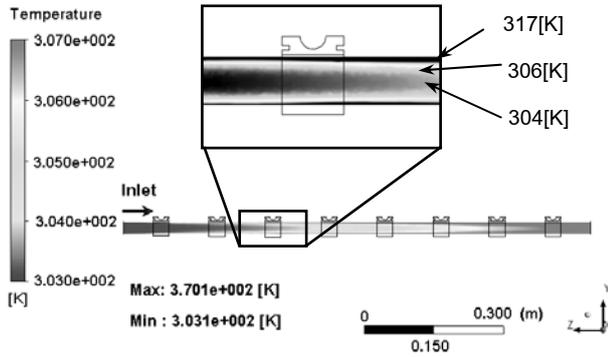
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในท่อรับความร้อนตามระยะของท่อ

จากผลการจำลองที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าการกระจายตัวของความเร็วของไหลเป็นไปตามทฤษฎีการไหล คือ ที่ผิวท่อการไหลของน้ำจะมีความเร็วต่ำที่สุดคือ $0 m/s$ ส่วนที่บริเวณกลางท่อจะมีความเร็วมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 7



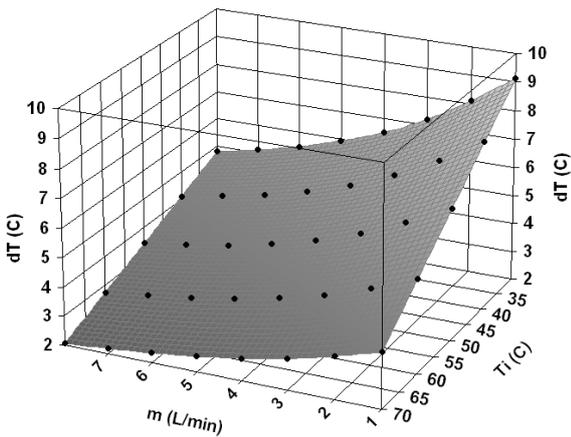
รูปที่ 7 ผลการกระจายตัวของอัตราการไหลภายในท่อรับความร้อน

นอกจากนี้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับน้ำภายในท่อได้ เป็นไปตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งอุณหภูมิของน้ำบริเวณผิว ท่อจะสูงกว่าบริเวณกลางท่อ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำภายในระบบท่อรับ ความร้อน

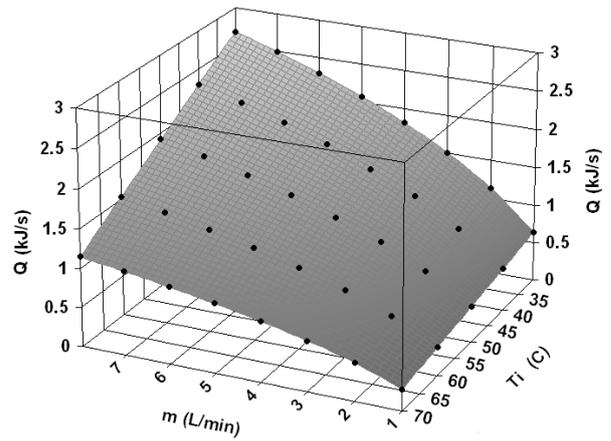
ผลของการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการไหล อุณหภูมิน้ำที่ป้อนเข้าให้กับระบบท่อรับความ ร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ท่อรับความร้อนผลิตได้ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (m) อุณหภูมิน้ำที่ป้อนเข้า ให้กับระบบท่อรับความร้อน (T_i) และอุณหภูมิน้ำที่ท่อรับความร้อน ผลิตได้ (dT)

จากผลการคำนวณที่ได้พบว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำเข้า – ออก ลดลงและเมื่ออุณหภูมิน้ำที่ทางเข้า เพิ่มขึ้นก็จะเป็นการทำให้ผลต่างอุณหภูมิของน้ำเข้า – ออก ลดลงด้วย เช่นกัน

ส่วนพลังงานความร้อนที่คำนวณได้พบว่า เมื่ออัตราการไหล เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ท่อรับความร้อนผลิตได้เพิ่ม สูงขึ้นและเมื่ออุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานความ ร้อนที่ได้ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (m) อุณหภูมิน้ำที่ ป้อนเข้าให้กับระบบท่อรับความร้อน (T_i) และพลังงานความ ร้อนที่ท่อรับความร้อนผลิตได้ (Q)

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อรับความร้อน ของแผงรับความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน โดย ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับทดลองจริง

จากการเปรียบเทียบผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และข้อมูลที่ได้จาก การทดลองจริงนั้นพบว่า ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความ สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง จึงสามารถใช้ผลการคำนวณด้วย วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาอ้างอิงได้ ดังนั้นผลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็น ต้นแบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบสำหรับติดตั้งระบบแผงรับ ความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ยี่ห้อ Sunda รุ่น Seido 1-8 ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของแผงรับความร้อนแบบ หลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิที่ทางด้านเข้า ของน้ำและอัตราการไหลของน้ำ โดยผลต่างของอุณหภูมิที่ท่อรับความ ร้อนผลิตได้นั้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ทางด้านเข้าและอัตราการไหลของ น้ำเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานความร้อนที่ท่อรับความร้อนสามารถผลิตได้นั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ ทางด้านเข้าของน้ำเพิ่มขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

1. มหาวิทยาลัยศิลปากรและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, “แผนที่ ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย”, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและภาควิชาฟิสิกส์ คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ, 2542.
2. Cui, P., Yang, H., and Fang, Z., “Numerical Analysis and Experimental Validation of Heat Transfer in Ground Heat Exchangers in Alternative Operation Modes”, Energy and Buildings, Vol. 40, pp. 1060-1066, 2008.
3. Ranganayakulu, Ch., Seetharamu, K.N., and Sreevatsan, K.V., “The Effect of Longitudinal Heat Conduction in Compact Plate-Fin and Tube-Fin Heat Exchangers Using a Finite

- Element Method”, International Journal Heat and Mass Transfer, Vol. 96, No. 6, pp. 1261-1277, 1997.
4. Ranganayakula, Ch. And Seetharamu, K.N., “The Combined Effect of Wall Longitudinal Heat Conduction, Inlet Fluid Flow Nonuniformity and Temperature Nonuniformity in Compact Tube-Fin Heat Exchanges: A Finite Element Method”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 42, pp. 263-273, 1999.
 5. Hassan, M.M., and Beliveau, Y., “Design, Construction and Performance Prediction of Integrated Solar Roof Collectors Using Finite Element Analysis”, Construction and Building Materials, Vol. 21, pp. 1069-1078, 2007.
 6. Subba, R., and Gorla, R., “Finite Element Analysis of a Flat Plate Solar Collector”, Finite Element in Analysis and Design, Vol. 24, pp. 283-290, 1997.
 7. สุทธิชัย ภมรสมิต, ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, “การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมรังสีอินฟราเรด”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, 2549.
 8. สันติ หวังนิพนพานโต, วิศุรีย์ อบรม, ณรงค์ชัย คงจันทร์ และ วรเดช ชาวสอง, “เทคโนโลยีการวัดและระบบควบคุมในกระบวนการอบแห้ง”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, 2549.
 9. Koyuncu T., “Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications”, Renewable Energy, Vol. 31, pp.1073-1088, 2006.
 10. Hussein, H.M.S., El-Ghetany, H.H., and Nada, S.A., “Performance of Wickless Heat Pipe Flat Plate Solar Collectors Having Different Pipes Cross Sections Geometries and Filling Ratios”, Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 1539-1549, 2006.
 11. Esen, M., and Esen, H., “Experimental Investigation of a Two-Phase Closed Thermosyphon Solar Water Heater”, Solar Energy, Vol. 79, pp. 459-468, 2005.