

การทำนายลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในรีเจเนอเรเตอร์แบบโครงสร้างอิฐทนไฟโดยใช้ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

Prediction of Temperature Distribution in a Fireclay Brick Regenerator Using a Numerical Method

มนสิทธิ์ แจ้งจบ¹ พงษ์ธร จรรย์ญากรณ² และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์³
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปทุมวัน กรุงเทพฯ

โทร 0-2218-6637 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail : manosit@hotmail.com¹,
pongton.c@chula.ac.th², fmespt@eng.chula.ac.th³

Manosit Jangjob¹, Pongton Charunyakorn² and Sompong Putivisutisak³
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

Tel : 0-2218-6637 Fax : 0-2252-2889 E-mail : manosit@hotmail.com¹,
pongton.c@chula.ac.th², fmespt@eng.chula.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในโครงสร้างอิฐทนไฟและของไหลสำหรับกระบวนการนำความร้อนที่กลับมาใช้ใหม่ในรีเจเนอเรเตอร์ โดยจะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขประกอบกับการทำการทดลอง ตรวจจับ และเก็บข้อมูลจากการใช้งานจริงในโรงงานสำหรับระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในที่นี้ จะใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิ ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า การนำความร้อนทั้งในทิศทางตามแนวการไหลและในทิศทางตั้งฉากกับการไหลมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุสะสมความร้อน ทั้งนี้สามารถประยุกต์ผลลัพธ์ที่ได้ในการปรับวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสมของรีเจเนอเรเตอร์ เพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนนำกลับมาใช้ที่มากที่สุด คำสำคัญ; รีเจเนอเรเตอร์/ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

Abstract

The objective of this work is to find the temperature distributions in the fire clay bricks and fluid of the heat recovery process in a fireclay brick regenerator by using the numerical simulation and experiments. The experiments are conducted in a factory in order to measure required data. The finite difference method is employed to calculate the temperature distribution. From this work, we have found that both the axial and transverse conductions have effects on the sensible heat storage unit. This data is useful for determining the optimum time cycle and maximum heat recovery of typical fire clay brick regenerators.

Keyword; Regenerator/Finite difference method

1. บทนำ

รีเจเนอเรเตอร์ (Regenerator) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องชนิดหนึ่ง ซึ่งทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลสองชนิด โดยใช้ตัวกลางซึ่งเป็นของแข็งในการสะสมความร้อน โดยมีการทำงาน 2 ช่วงคือ ช่วงสะสมความร้อนและช่วงคายความร้อน (Heating period และ Cooling period) ดังนั้น การหาเวลาสำหรับวัฏจักรการทำงานที่ถูกต้อง (เวลาในการสลับ Period) จะทำให้การนำความร้อนกลับมาใช้มีประสิทธิภาพที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการคำนวณโดยใช้วิธีวิเคราะห์ (Analytical method) ไม่สามารถทำได้โดยง่าย เพราะสมการอนุพันธ์ที่ใช้คำนวณ อยู่ในลักษณะไม่เชิงเส้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการคำนวณ เพื่อหาวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสมใน Regenerator

รูปที่ 1 (a) แสดงการทำงานของ Regenerator โดยที่ Regenerator ทางด้านซ้ายมืออยู่ในช่วง Cooling period ส่วน Regenerator ทางด้านขวามืออยู่ในช่วง Heating period ในช่วง Heating period นั้นก๊าซร้อนจะสะสมความร้อนในวัสดุสะสมความร้อน ส่วนช่วง Cooling period นั้นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะถูกอุ่นเนื่องจากได้รับความร้อนจาก Regenerator เมื่อถึงเวลาที่กำหนดจะมีการสลับการไหลของอากาศ และก๊าซด้วย Reversing valve ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 (b) อากาศที่ไหลเข้ามาได้รับความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อนจาก Regenerator ทางด้านขวามือ จากนั้นจะถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้ และก๊าซเสียจะถูกปล่อยเข้าไปยัง Regenerator ทางด้านซ้ายมือ เพื่อถ่ายเทความร้อนให้วัสดุสะสมความร้อนต่อไป

สำหรับวัสดุสะสมความร้อน

รูปแบบของการกระจายอุณหภูมิในวัสดุสะสมความร้อน สามารถจำลองได้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ของกฎการอนุรักษ์พลังงานดังนี้

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

โดยมีเงื่อนไขขอบดังนี้

$$\begin{aligned} t = 0 & \quad T_f = T_m = T_0 \\ t > 0 & \quad x = 0 \quad T_f = T_{f1} \quad \frac{\partial T_m}{\partial x} = 0 \quad 0 < y < w \\ & \quad x = L \quad \frac{\partial T_m}{\partial x} = 0 \quad 0 < y < w \\ & \quad y = 0 \quad \frac{\partial T_m}{\partial y} = 0 \quad 0 \leq x \leq L \\ & \quad y = w \quad -k_m \frac{\partial T_m}{\partial y} = h(T_w - T_f) \quad 0 \leq x \leq L \end{aligned} \quad (2)$$

สำหรับของไหล

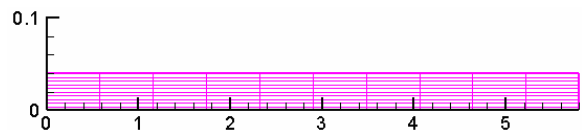
ใช้สมมูลพลังงานของสมการอนุพันธ์พลังงาน ในการคำนวณ

$$\frac{hA\Delta x}{L}(T_m - T_f) + m_f c_f T_f \Big|_x = m_f c_f T_f \Big|_{x+\Delta x} + S_f \Delta x \rho_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial t} \quad (3)$$

รายละเอียดของคุณสมบัติต่างๆของไหลและวัสดุสะสมความร้อน รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ได้จากสมการ Correlation สามารถดูได้จาก [2]

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะใช้ Finite difference method ในการช่วยแก้ปัญหาคำนวณนำความร้อนแบบสองมิติ โดย Grid ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 3

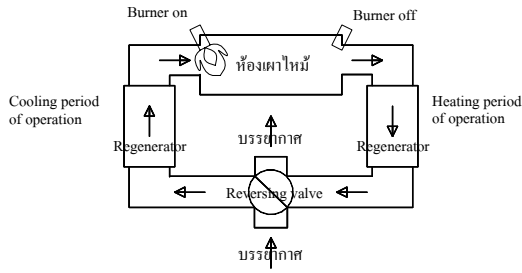


รูปที่ 3 การแบ่ง Node ของ Domain

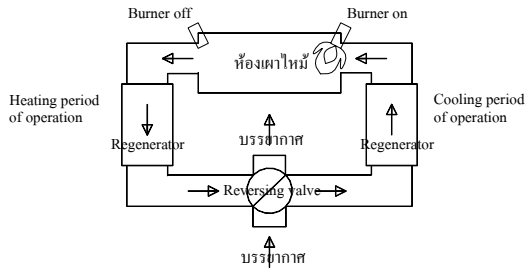
ในการคำนวณจะใช้วิธีแบบปริยาย (Implicit method) เนื่องจากวิธีนี้มีเสถียรภาพการคำนวณแบบไม่มีเงื่อนไข (Unconditionally stable) ทำให้เราสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการลู่ออกของผลลัพธ์ และยังสามารถใช้ค่าช่วงเวลา Δt ที่สูงกว่าเวลาวิกฤตได้

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมจะถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำ งานวิจัยที่เคยมีมาในอดีต และการทดลองกับการใช้งานจริงในโรงงาน เช่น



(a)

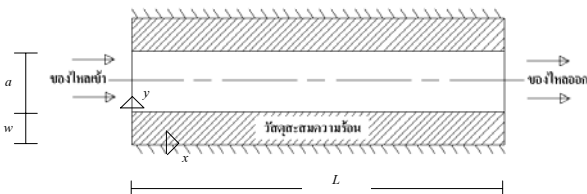


(b)

รูปที่ 1 การทำงานของ Regenerator

2. การจำลองแบบของปัญหา

ในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ Finite difference method ในการแก้ปัญหาคำนวณนำความร้อนแบบสองมิติในสถานะไม่อยู่ตัวในของแข็ง โดยมีลักษณะของโดเมนดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของช่องทางการไหลของ Regenerator

เงื่อนไขขอบ

1. ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านล่าง ไม่มีฟลักซ์ถ่ายเทความร้อน
2. ด้านบนมีการพาความร้อนที่ผิว

สมมติฐาน

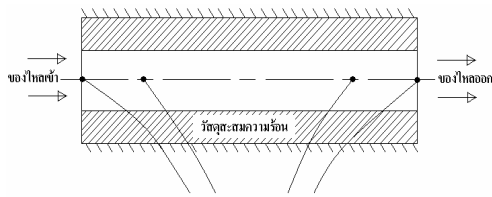
1. คุณสมบัติของของไหลและวัสดุสะสมความร้อนมีค่าคงที่
2. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลมีค่าคงที่
3. ที่เวลาเริ่มต้นของช่วงการไหล การกระจายของอุณหภูมิในเนื้อวัสดุนำความร้อนมีความสม่ำเสมอ
4. ไม่คำนึงถึงความร้อนที่ถ่ายเทออกทางด้านข้างของ Heat storage unit
5. ของไหลมีความเร็วคงที่

1. ปัญหาการนำความร้อนแบบสองมิติในสถานะอยู่ตัว
 - 1.1 กรณีเงื่อนไขขอบแบบอุณหภูมิคงที่และการถ่ายเทความร้อนคงที่
 - 1.2 กรณีเงื่อนไขขอบแบบการถ่ายเทความร้อนคงที่และมีการพาความร้อนที่ผิว
2. ปัญหาการนำความร้อนแบบสองมิติในสถานะไม่อยู่ตัว
 - 2.1 กรณีเงื่อนไขขอบแบบอุณหภูมิคงที่ และมีการพาความร้อนที่ผิว

นอกจากนี้ ยังได้ทำการตรวจสอบโปรแกรมกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์สำหรับปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกันของ Schmidt and Willmott [1] ด้วย (รายละเอียดของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถดูได้จาก [2])

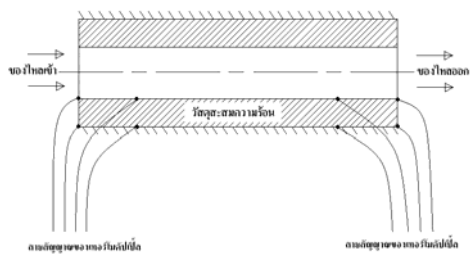
4. การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขกับผลลัพธ์จากการทดลอง

เมื่อโปรแกรมถูกตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นแล้ว จึงนำโปรแกรมไปคำนวณปัญหาของ Regenerator ที่สนใจ ในโรงงานกลู่งแร่แห่งหนึ่ง โดยทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล เพื่อวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหล และวัสดุสะสมความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4 - 5 โดยที่ในบทความฉบับนี้จะยกตัวอย่างการทดลองสลับคาบการไหลที่เวลา 25 นาที ซึ่งมีผลดังรูปที่ 6 - 8



สายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิ้ล

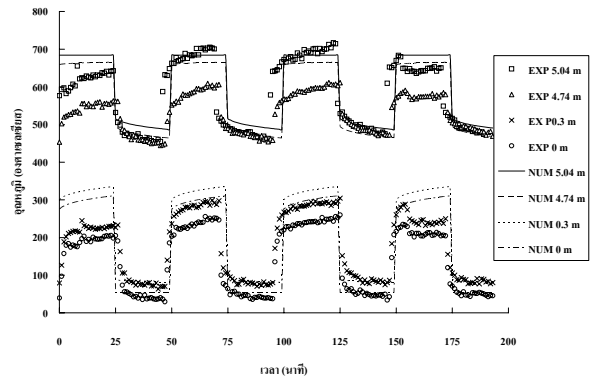
รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในของไหล



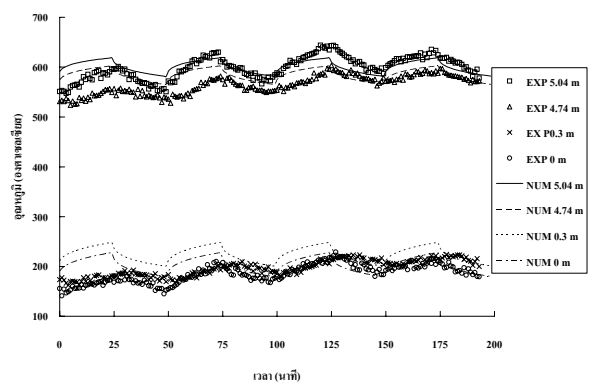
รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในวัสดุสะสมความร้อน

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของไหล

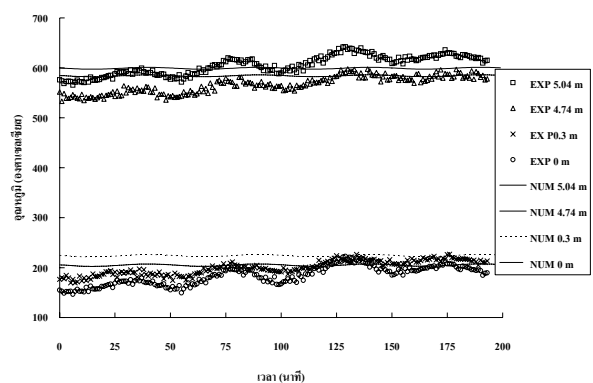
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหล แสดงในรูปที่ 6 โดยสัญลักษณ์ต่างๆแทนผลที่ได้จากการทดลอง ส่วนที่พล็อตเป็นเส้น คือผลที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยมีการสลับคาบการไหลเริ่มจาก Heating period สลับกับ Cooling period เป็นจำนวน 4 Cycle ซึ่งมีประเด็นที่น่าสนใจดังนี้



รูปที่ 6 การกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหลที่ระนาบกึ่งกลางของของไหล



รูปที่ 7 การกระจายตัวของอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนที่ระนาบการพาความร้อนที่ผิววัสดุสะสมความร้อน



รูปที่ 8 การกระจายตัวของอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนที่ระนาบที่สมมติให้เป็น Adiabatic plane

Heating period

1. การลดลงของอุณหภูมิของก๊าซเสียตามระยะทาง ก๊าซเสียจะไหลเข้า Regenerator ที่ตำแหน่ง 5.04 เมตร เมื่อไหลผ่านวัสดุสะสมความร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนให้วัสดุสะสมความร้อน ทำให้ที่ตำแหน่ง 4.74, 0.3 และ 0 เมตร ก๊าซเสียมีอุณหภูมิลดลงตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน
2. การเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซเสียตามเวลา ที่ตำแหน่งใดๆในของไหลอุณหภูมิของของไหลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากเมื่อก๊าซร้อนให้ความร้อนกับวัสดุสะสมความร้อน วัสดุสะสมความร้อนก็จะร้อนขึ้น ผลต่างอุณหภูมิระหว่างก๊าซร้อนกับวัสดุสะสมความร้อนก็จะน้อยลง ทำให้ยิ่งเวลาผ่านไปนานเท่าไรก๊าซเสียก็ให้ความร้อนได้น้อยลงทำให้ก๊าซเสียที่ตำแหน่งใดๆมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก็ยังมี ความสอดคล้องกันดี
3. ความชันของกราฟที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อย เนื่องจากของไหลมีความเร็วต่ำ ทำให้มีการพาความร้อนน้อยเมื่อเทียบกับ การแผ่รังสีความร้อน ซึ่งกราฟที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขก็มีความชันน้อยเช่นกัน

Cooling period

1. การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศดีตามระยะทาง อากาศดีจะไหลเข้า Regenerator ที่ตำแหน่ง 0 เมตร เมื่อไหลผ่านวัสดุสะสมความร้อนก็จะรับความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อน ทำให้ที่ตำแหน่ง 0.3, 4.74 และ 5.04 เมตร อากาศดีมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน
2. การลดลงของอุณหภูมิของอากาศดีตามเวลา ที่ตำแหน่งใดๆในของไหลอุณหภูมิของของไหลจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากเมื่ออากาศดีรับความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อน วัสดุสะสมความร้อนก็จะเย็นลง ทำให้ผลต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศดีกับวัสดุสะสมความร้อนน้อยลง ยิ่งเวลาผ่านไปนานเท่าไรอากาศดีก็รับความร้อนได้น้อยลงทำให้อากาศดีมีอุณหภูมิต่ำลงเท่านั้น โดยพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกันดี
3. ความชันของกราฟที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อย เนื่องจากของไหลมีความเร็วต่ำ ทำให้มีการพาความร้อนน้อยเมื่อเทียบกับ การแผ่รังสีความร้อน ซึ่งกราฟที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขก็มีความชันน้อยเช่นกัน

วัสดุสะสมความร้อน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อน แสดงในรูปที่ 7 และ 8 โดยมีการสลับคาบการไหลเริ่มจาก Heating period เช่นเดียวกับในของไหล ซึ่งมีประเด็นที่น่าสนใจคล้ายๆกับในของไหลต่างกันเพียงช่วงรอยต่อระหว่าง Period อุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด แต่ในวัสดุสะสมความร้อนเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิววัสดุสะสมความร้อนและที่ระนาบ

Adiabatic plane ก็มีข้อแตกต่างกัน คือ ที่ระนาบ Adiabatic plane มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซ้ำกว่าที่ผิว เนื่องจากค่าการนำความร้อนของวัสดุสะสมความร้อนมีค่าน้อย ทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะค่อนข้างแบนเมื่อเทียบกับที่ผิว ส่วนพฤติกรรมอื่น ๆ ก็มีความคล้ายกับพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหล

Heating period

1. การลดลงของอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนตามระยะทาง วัสดุสะสมความร้อนที่ตำแหน่ง 5.04 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นก็จะมีค่าลดลงตามแนวการไหล เนื่องจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านช่องทางการไหลมีอุณหภูมิลดลง จึงถ่ายเทความร้อนให้วัสดุสะสมความร้อนได้น้อยลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน
2. การเพิ่มอุณหภูมิวัสดุสะสมความร้อนตามเวลา ที่ตำแหน่งใดๆในวัสดุสะสมความร้อนอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนให้ความร้อนกับวัสดุสะสมความร้อน วัสดุสะสมความร้อนก็จะร้อนขึ้น ยิ่งเวลาผ่านไปนานเท่าไรวัสดุสะสมความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่สูงขึ้นในอัตราที่น้อยลง เนื่องจากผลต่างอุณหภูมิระหว่างก๊าซร้อนกับวัสดุสะสมความร้อนก็จะน้อยลง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกันดี

Cooling period

1. การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุสะสมความร้อนตามระยะทาง อากาศดีจะไหลเข้า Regenerator ที่ตำแหน่ง 0 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัสดุสะสมความร้อนมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ส่วนที่ตำแหน่ง 0.3, 4.74 และ 5.04 เมตร วัสดุสะสมความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากความร้อนที่สะสมเอาไว้จากช่วง Heating period ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน
2. การลดลงของอุณหภูมิวัสดุสะสมความร้อนตามเวลา อุณหภูมิที่ตำแหน่งใดๆในวัสดุสะสมความร้อนจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากเมื่ออากาศดีรับความร้อนจากวัสดุสะสมความร้อน ส่งผลให้วัสดุสะสมความร้อนมีอุณหภูมิลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอัตราการลดของอุณหภูมิจะลดลง เนื่องจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อน และอากาศดีมีค่าน้อยลงตามเวลาที่มากขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกัน

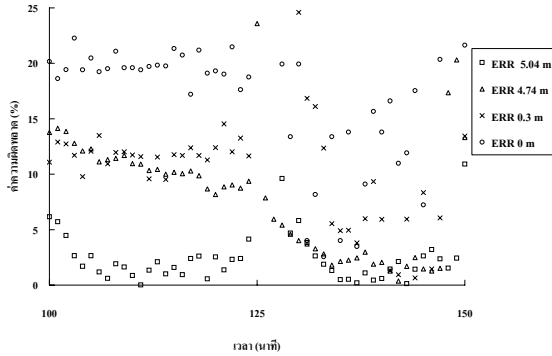
5. การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของโปรแกรม

จากการวิเคราะห์หาค่ามัธยฐานของค่าความผิดพลาดโดยทำการเปรียบเทียบผลระหว่างระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 9 – 11 สามารถสรุปได้ว่า

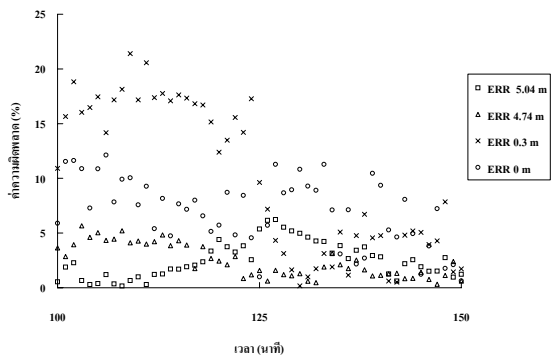
1. ระบายกึ่งกลางของของไหลมีค่ามัธยฐานของความผิดพลาดเท่ากับ 19.60% ส่วนในช่วง Cooling period มีค่า 13.79%

2. ระบายการพาความร้อนที่ผิววัสดุสะสมความร้อนมีค่ามัธยฐานของความผิดพลาดเท่ากับ 7.84% ส่วนในช่วง Cooling period มีค่า 5.71%

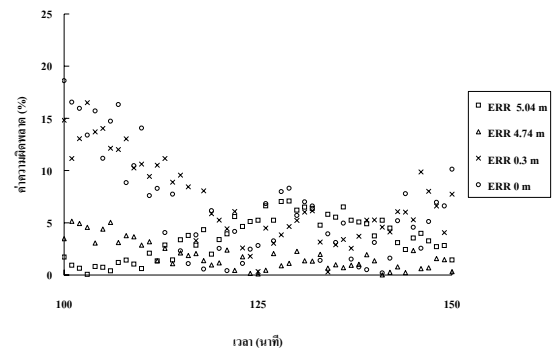
3. ระบายที่สมมติให้เป็น Adiabatic plane ในวัสดุสะสมความร้อนมีค่ามัธยฐานของความผิดพลาดเท่ากับ 7.74% ส่วนในช่วง Cooling period มีค่า 4.57%



รูปที่ 9 ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิของของไหลที่ระนาบกึ่งกลางของของไหล



รูปที่ 10 ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนที่ระบายการพาความร้อนที่ผิววัสดุสะสมความร้อน



รูปที่ 11 ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนที่ระบายที่สมมติให้เป็น Adiabatic plane

จากผลการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความผิดพลาด ทำให้ทราบว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดน้อยกว่า 10% สำหรับผลลัพธ์ที่บริเวณระบายการพาความร้อนที่ผิววัสดุสะสมความร้อน และระบายที่

สมมติให้เป็น Adiabatic plane ในวัสดุสะสมความร้อน การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในเนื้อวัสดุสะสมความร้อนอาจคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ทั้งนี้ ความผิดพลาดอาจเกิดจากลักษณะของพื้นผิว ซึ่งไม่เรียบเหมือนในสมมติฐาน เนื่องจากการกัดกร่อน และเศษ Slag ที่เกาะบนพื้นผิว

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของผลลัพธ์บริเวณระนาบกึ่งกลางของของไหล ค่าความผิดพลาดกลับมีค่าสูงขึ้นถึงเกือบ 20% ทั้งนี้ ความผิดพลาดในการคำนวณอาจเกิดมาจาก

1. ในการถลุงจะมีเศษ Slag จากการถลุงปลิวมาเกาะที่ช่องทางการไหล ซึ่งจะหนามากบริเวณปากทางเข้าของก๊าซเสีย และลดลงตามระยะในแนวการไหล ทำให้ค่าการนำความร้อน และขนาดของช่องทางการไหลที่ใช้ในการคำนวณเปลี่ยนไป
2. ช่องทางการไหลก่อนถึงวัสดุสะสมความร้อนของ Regenerator สามารถสะสมและคายความร้อนได้ ทำให้อุณหภูมิก่อนถึงปากทางเข้า Regenerator มีค่าไม่คงที่

6. บทสรุป

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้การทดลอง และการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข พบว่าแนวโน้มของกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิทั้งในของไหล และวัสดุสะสมความร้อนมีความสอดคล้องกัน ทำให้มั่นใจได้ว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้อย่างน่าพอใจ โดยสามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการคำนวณหาวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสมของรีเจเนอเรเตอร์ทั่วไป

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้

8. เอกสารอ้างอิง

1. Schmidt F. W. and Willmott A.J. (1981), Thermal Energy Storage and Regeneration, McGraw-Hill Book Company.
2. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2005), การปรับปรุงประสิทธิภาพการนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับรีเจเนอเรเตอร์แบบโครงอิฐทนไฟ, รายงานวิจัย, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).
3. Dong S.N., Sung K.H., Hong S.R. and Seong H.L. (2001), An Experimental and Numerical Study on Thermal Performance of a Regenerator System with Ceramic Honeycomb, vol.15, p357-365.
4. Willmott A.J. (1964), Digital Computer Simulation of a Thermal Regenerator, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.7, p.1291-1302.
5. Incropera F.P. and De Witt D.P. (1996), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc.