



การพาความร้อนแบบธรรมชาติภายในโดเมนรูปสามเหลี่ยม ที่ผนังเอียงบางส่วนมีฉนวน

Natural Convection In Triangular Cavity With Partially Insulated Inclined Walls

วสันต์ ดอนน้อยหนา¹ และ สุพจน์ ไหว่ย่างกูร^{1*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

*Corresponding author, E-mail: supot_wa@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของการไหลสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงบางส่วนมีฉนวน ซึ่งฉนวนที่พิจารณายาวเป็น $1/3$ และ $2/3$ เท่าของผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาในส่วนที่เหลือจะมีอุณหภูมิร้อน โดยที่ผนังด้านล่างมีอุณหภูมิเย็น งานวิจัยนี้ใช้วิธีสมาชิกจำกัดในการแก้ปัญหาและใช้โปรแกรม FlexPDE Student Version 6.36s ในการคำนวณผลเฉลยเชิงตัวเลข โดยกำหนดค่าของเลขเรย์ลีย์ในช่วง $10^2 \leq Ra \leq 10^5$ และเลขพรันด์เทิล $Pr = 0.7$ ผลการศึกษาที่ได้แสดงเป็นการกระจายอุณหภูมิ เส้นสายธาร และการกระจายความร้อน

ABSTRACT

In this research, we study the numerical model for natural convection heat transfer of flow within triangular cavity with partially insulated inclined walls. Boundary conditions; one-third and two-third of both right and left wall lengths are insulated while the rests are heated. The bottom wall is cold isothermal. This research used finite element method to solve and used FlexPDE Student version 6.36s for calculating the numerical solution with Rayleigh number $10^2 \leq Ra \leq 10^5$ and Prandtl number $Pr = 0.7$ The numerical solutions are presented in terms of isotherms, streamlines, and heatlines.

คำสำคัญ: การพาความร้อนแบบธรรมชาติ เลขเรย์ลี ฉนวน สามเหลี่ยม

Keywords: Natural convection, Rayleigh number, Insulated, Triangular

บทนำ

ปัจจุบันประชากรของประเทศมีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านที่อยู่อาศัยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบอุณหภูมิค่อนข้างสูงจึงจำเป็นต้องติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศ จึงทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไปกับระบบปรับอากาศ ประชาชนจึงนิยมใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิภายในหลังคา อาคาร บ้านเรือน เป็นต้น

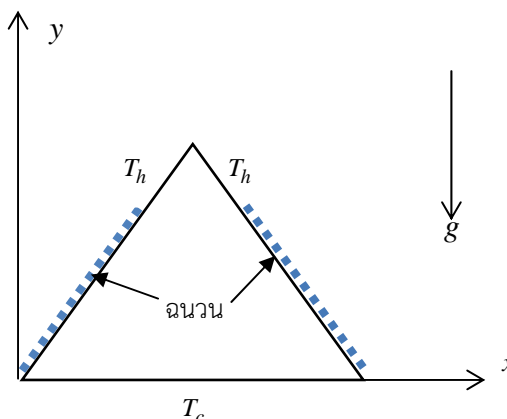
การศึกษาการพาความร้อนแบบธรรมชาติ เป็นการถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่ง ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิมาระหว่างของไหลกับผิวของตัวทำความร้อน การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว (Buoyancy force) ในของไหลโดยที่ไม่มีแรงภายนอกใด ๆ มากระทำ ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาการพาความร้อนแบบธรรมชาติกันอย่างแพร่หลาย เช่น Asan and Namli (2000) ได้ศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในสองมิติของสามเหลี่ยมที่ตัดตามขวางภายใต้เงื่อนไขในช่วงฤดูร้อน ต่อมา Asan and Namli (2001) ได้ศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในสองมิติของสามเหลี่ยมที่ตัดตามขวางภายใต้เงื่อนไขในช่วงฤดูหนาวเช่นเดียวกัน Roy and Basak (2005) ได้ใช้วิธีสมชกจำกัดหาผลเฉลยเชิงตัวเลขสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในโดเมนรูปลี่เหลี่ยม โดยที่ผนังด้านบนเป็นฉนวนและผนังด้านขวามีอุณหภูมิต่ำ ส่วนผนังด้านล่างและด้านซ้ายมีอุณหภูมิสูงแบบมีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ Varol, Koca, and Oztop (2006) ได้ศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีเครื่องทำความร้อนติดอยู่ที่ผนังแนวตั้ง Basak, Roy, and Thirumalesha (2007) ได้ศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่ผนังแนวตั้งมีความร้อนและผนังเอียงมีความเย็นขณะที่ผนังแนวนอนเป็นฉนวน และอีกกรณี คือผนังแนวตั้งมีความเย็นและผนังเอียงมีความร้อนขณะที่ผนังแนวนอนเป็นฉนวน Basak, Anandalakshmi, and Roy (2013) ได้ศึกษาการวิเคราะห์เส้นกระจายความร้อนของการพาความร้อนแบบธรรมชาติในโดเมนปิดรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ผนังเอียงมีความร้อนแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นผลจากการหมุนสามเหลี่ยมในแบบต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของการไหลภายในโดเมนปิดรูปสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงด้านซ้ายและขวาบางส่วนมีฉนวน ซึ่งพิจารณา 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 พิจารณาฉนวนยาวเป็น $1/3$ เท่าของผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาของรูปสามเหลี่ยม

กรณีที่ 2 พิจารณาฉนวนยาวเป็น $2/3$ เท่าของผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาของรูปสามเหลี่ยม

โดยที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาที่เหลือมีอุณหภูมิร้อน และผนังด้านล่างมีอุณหภูมียุ่่นทั้ง 2 กรณี (ดังรูปที่



รูปที่ 1 แสดงขอบเขตของปัญหา

สำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) ภายในโดเมนปิดรูปสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาบางส่วนมีฉนวน คุณสมบัติของการไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบ หนืด และไม่อัดตัวที่อยู่ในสภาวะคงตัว ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ ที่ประกอบด้วย สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass equation) หรือสมการต่อเนื่อง (continuity equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum equations) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (conservation of energy equation) ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_c) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

โดยที่ x, y แทน ระยะทางในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ (The distances measured along the horizontal and vertical directions, respectively) (m)

u, v แทน ความเร็วตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ (The velocity components in the x - axis and y - axis directions, respectively) (m/s)

T แทน อุณหภูมิของของไหล (Temperature) (K)

T_c, T_h แทน อุณหภูมิเย็นและร้อนที่ผนัง (The temperature at cold and hot walls, respectively) (K)

p แทน ความดัน (Pressure) (N/m^2)

ρ	แทน ความหนาแน่น (Density) (kg / m^3)
ν	แทน ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) (m^2/s)
g	แทน ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Acceleration due to gravity) (m/s^2)
β	แทน สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ (Thermal expansion coefficient) (K^{-1})
α	แทน ค่าการแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) (m^2/s)

วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนาเวียร์-สโตกส์ (1) - (4) โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนตัวแปรและกฎลูกโซ่ เพื่อเปลี่ยนสมการแบบมีมิติให้อยู่ในรูปสมการแบบไร้มิติ โดยใช้ความสัมพันธ์สมการ (5) ดังนี้

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \quad (5)$$

$$P = \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}, Pr = \frac{\nu}{\alpha}, Ra = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^3 Pr}{\nu^2}$$

โดยที่	X, Y	แทน ระยะทางในแนวนอนและแนวตั้งแบบไร้มิติตามลำดับ (Dimensionless coordinates varying along horizontal and vertical directions, respectively)
	U, V	แทน ความเร็วในแนวแกน X และ Y แบบไร้มิติตามลำดับ (Dimensionless velocity components in The X – and Y – directions, respectively)
	L	แทน ความสูงของโดเมนสามเหลี่ยม (Height of the triangular cavity)
	P	แทน ความดันแบบไร้มิติ (Dimensionless pressure)
	θ	แทน อุณหภูมิแบบไร้มิติ (Dimensionless temperature)
	Ra	แทน เลขเรย์ลี (Rayleigh number)
	Pr	แทน เลขพรันด์เทิล (Prandtl number)

จะได้ สมการอนุพันธ์มวล สมการอนุพันธ์โมเมนตัม และสมการอนุพันธ์พลังงานในรูปแบบไร้มิติ ดังนี้

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (6)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Pr \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (7)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Pr \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + RaPr\theta \quad (8)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (9)$$

จาก Reddy (1993) จะได้ความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$P = -\gamma \left(\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} \right) \quad (10)$$

เมื่อ γ เป็นพารามิเตอร์เพนนอลตี้ (Penalty parameter) ซึ่งสมการต่อเนื่อง (6) จะเป็นจริงเมื่อ $\gamma=10^7$ จากนั้นแทนค่า P ลงในสมการ (7) และ (8) จะได้

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = \gamma \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} \right) + Pr \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (11)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = \gamma \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} \right) + Pr \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + RaPr\theta \quad (12)$$

การเคลื่อนที่ของของไหลอธิบายด้วยฟังก์ชันสายธาร (Stream function) ψ ดังนี้

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = \frac{\partial U}{\partial Y} - \frac{\partial V}{\partial X} \quad (13)$$

การไหลของความร้อนภายในโดเมนอธิบายด้วยฟังก์ชันความร้อน (Heat function) H ดังนี้

$$\frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial Y^2} = \frac{\partial}{\partial Y} (U\theta) - \frac{\partial}{\partial X} (V\theta) \quad (14)$$

มีเงื่อนไขขอบเขตแบบไร้มิติของทั้งสองกรณี ดังนี้

$$\text{ผนังด้านล่าง} : U(X, 0) = 0 = V(X, 0), \theta(X, 0) = 0, \psi = 0 \text{ และ } \frac{\partial H}{\partial X}(X, 0) = 0$$

$$\text{ผนังเอียงที่มีฉนวน} : U(X, Y) = 0 = V(X, Y), \frac{\partial \theta}{\partial n}(X, Y) = 0, \psi = 0 \text{ และ } H(X, Y) = 0$$

$$\text{ผนังเอียงที่มีอุณหภูมิร้อน} : U(X, Y) = 0 = V(X, Y), \theta(X, Y) = 1, \psi = 0 \text{ และ } \frac{\partial H}{\partial n} = 0$$

และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซล (Nusselt number) นิยามโดย

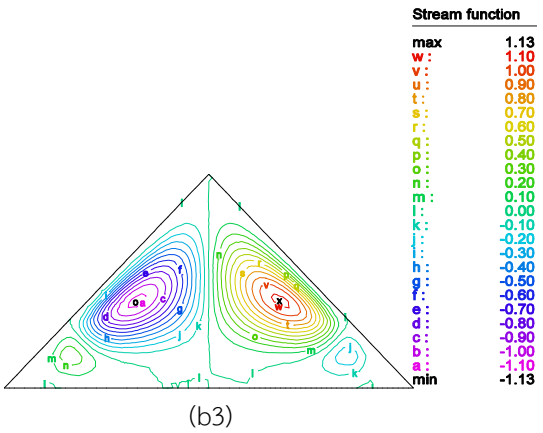
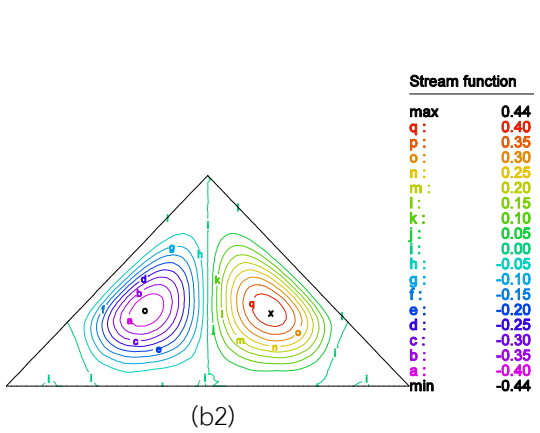
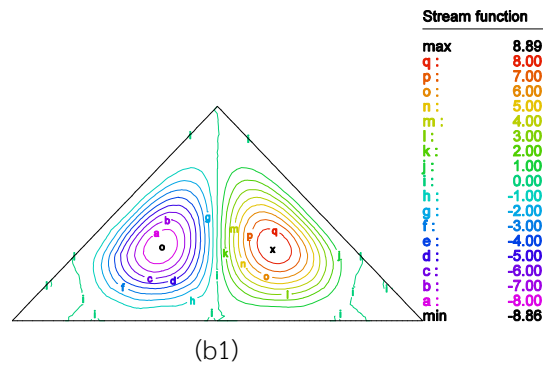
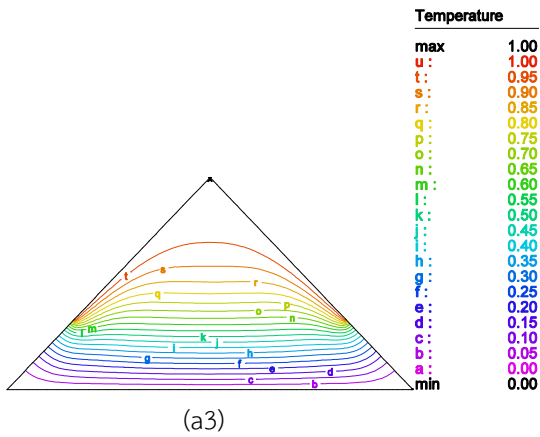
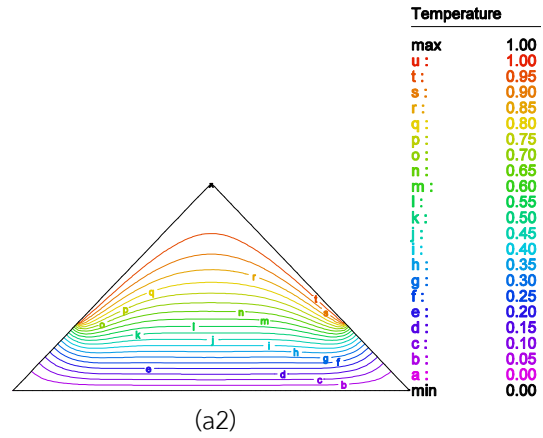
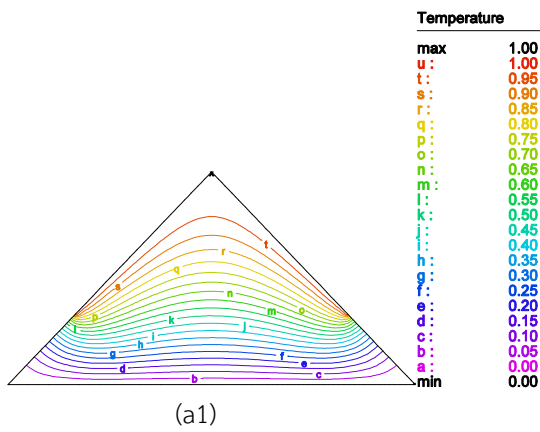
$$Nu = -\sin \varphi \frac{\partial \theta}{\partial X} + \cos \varphi \frac{\partial \theta}{\partial Y} \quad (15)$$

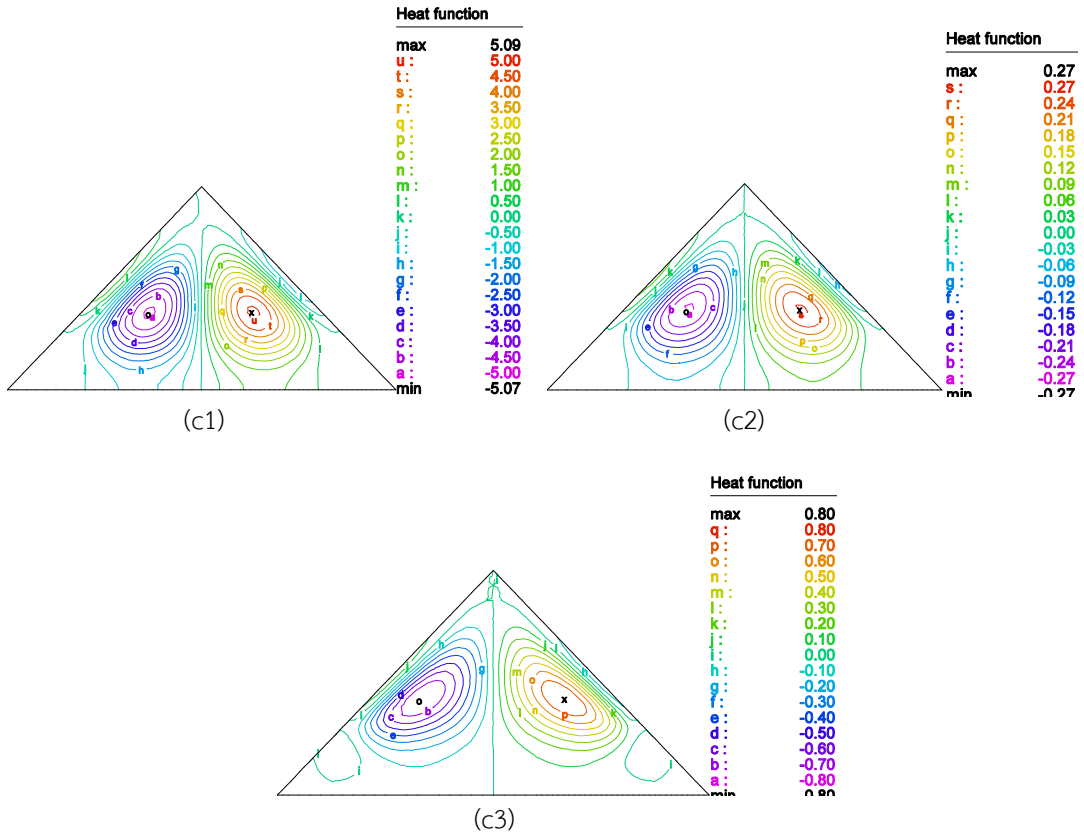
เมื่อ φ เป็นมุมที่ฐานของโดเมนสามเหลี่ยม

ผลการวิจัย

ในการศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของการไหลสำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงมีฉนวน โดยใช้วิธีสมาชิกจำกัดในการแก้ปัญหาและใช้โปรแกรม FlexPDE Student Version 6.36s ในการคำนวณผลเฉลยเชิงตัวเลข เมื่อเลขเรย์ลีย์กับความยาวของฉนวนแตกต่างกัน ขณะที่เลขพริ้นด์เทิลเท่ากับ 0.7 ผลที่ได้แสดงการกระจายอุณหภูมิ เส้นสายธาร และการกระจายความร้อน แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 โดเมนสามเหลี่ยมมีฉนวนที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาเป็น 1/3 เท่าของแต่ละด้าน โดยที่เลขเรย์ลีย์เท่ากับ 10^2 , 10^4 และ 10^5 ตามลำดับ ขณะที่เลขพริ้นด์เทิลเท่ากับ 0.7

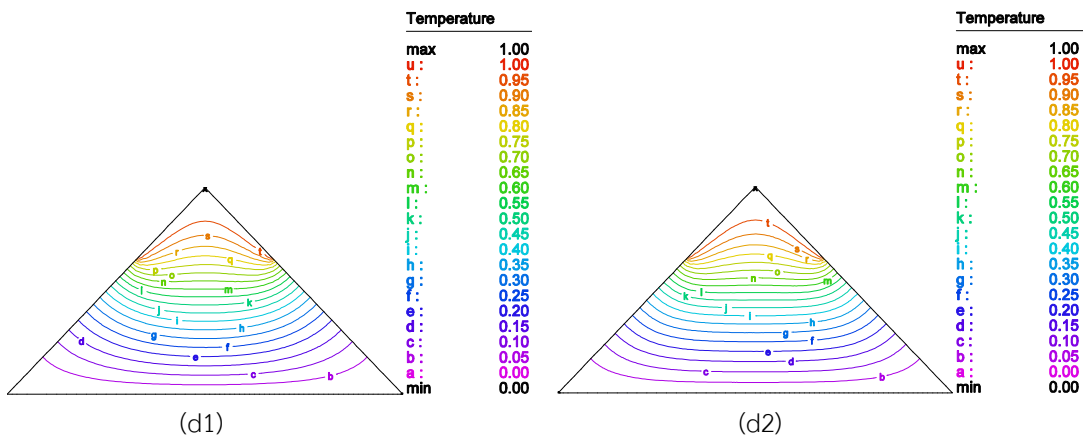


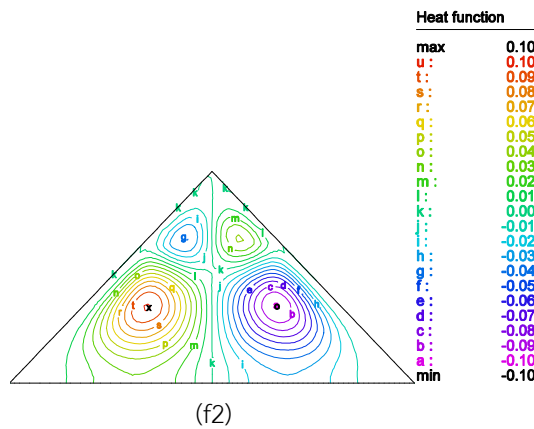
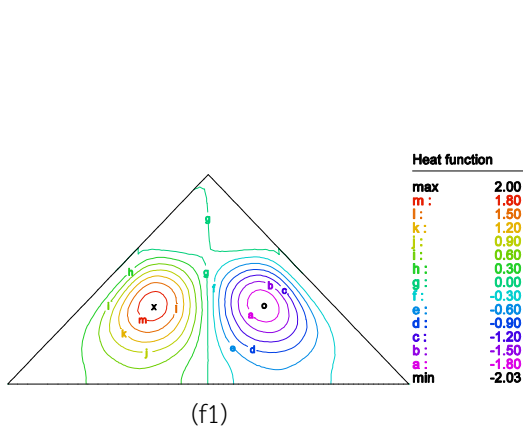
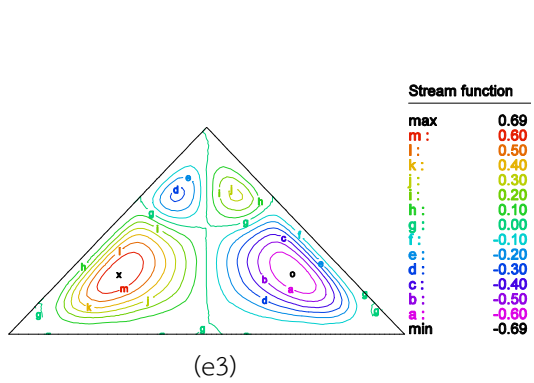
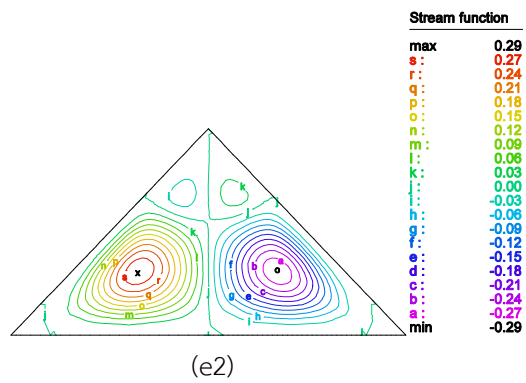
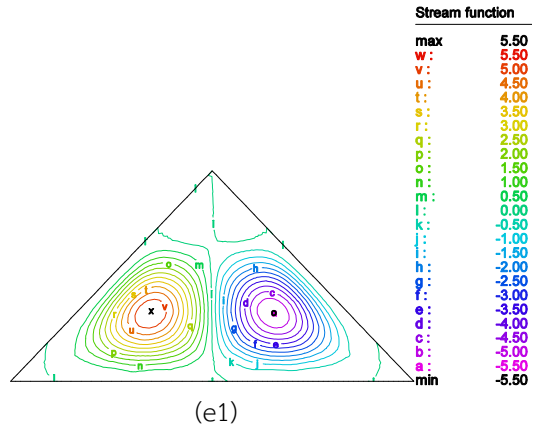
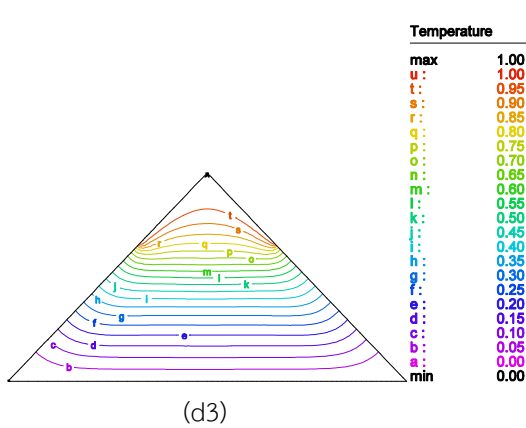


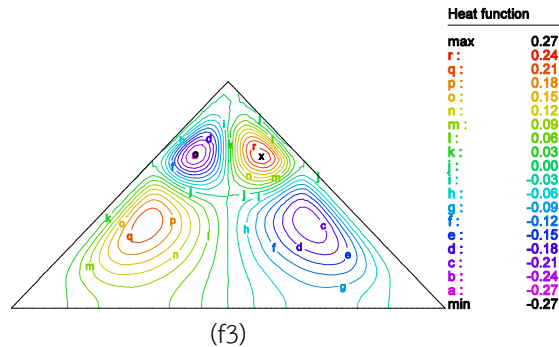
รูปที่ 2 แสดงแสดงการกระจายอุณหภูมิ (a) เส้นสายธาร (b) และการกระจายความร้อน (c)

เมื่อ $Ra = 10^2, 10^4$ และ 10^5

กรณีที่ 2 โดเมนสามเหลี่ยมมีฉนวนที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวายาวเป็น $2/3$ เท่าของแต่ละด้าน โดยที่เลขเรย์ลีเท่ากับ $10^2, 10^4$ และ 10^5 ตามลำดับ ขณะที่เลขพรันด์เทิลเท่ากับ 0.7







รูปที่ 3 แสดงแสดงการกระจายอุณหภูมิ (d) เส้นสายธาร (e) และการกระจายความร้อน (f) เมื่อ $Ra = 10^2, 10^4$ และ 10^5

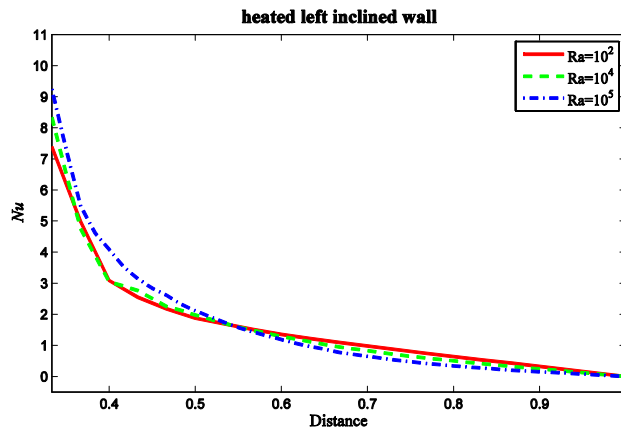
วิจารณ์ผลการวิจัย

กรณีที่ 1 โดเมนสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงกับแนวระดับเท่ากับ 45 องศา ที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวามี ฉนวนยาวเป็น 1/3 เท่าของด้าน และมีเลขพรันด์เทิลเท่ากับ 0.7 เมื่อเลขเรย์ลีเท่ากับ $10^2, 10^4$ และ 10^5 ตามลำดับ พบว่าการกระจายอุณหภูมิที่ $Ra = 10^2$ และ 10^4 มีการกระจายของอุณหภูมิชั้นหายอดมบนของ สามเหลี่ยม โดยอุณหภูมิที่สูงที่สุดอยู่ใกล้ยอดมด้านบน แต่เมื่อ $Ra = 10^5$ พบว่าการกระจายอุณหภูมิของเส้นไอโซเทอมถูกบีบอัดลงมาด้านล่างของสามเหลี่ยม พิจารณาการไหลที่ $Ra = 10^2$ และ 10^4 มีลักษณะการไหลที่ คล้ายกันคือมี 2 วงวนอยู่ตรงกลางสามเหลี่ยม เมื่อ $Ra = 10^5$ พบว่าการไหลของ 2 วงวนเกือบชิดกับผนังเอียง ด้านซ้ายและขวาและมีวงวนการไหลเพิ่มขึ้น 2 วงวนเล็ก ๆ อยู่ที่ผนังด้านล่าง การกระจายความร้อนเมื่อ $Ra = 10^2$ และ 10^4 มีการกระจายความร้อนเกือบทั่วโดเมนมี 2 วงวน เส้นความร้อนไหลตามขอบผนังเอียงที่มีอุณหภูมิร้อน และไหลจากผนังด้านล่างที่มีอุณหภูมิเย็น ซึ่งมีลักษณะการกระจายความร้อนคล้ายกันที่ Ra แตกต่างกัน แต่เมื่อ $Ra = 10^5$ พบว่าเส้นความร้อนมีการไหลเป็น 2 วงวนขึ้นไปตามขอบผนังเอียงที่มีอุณหภูมิร้อน

กรณีที่ 2 โดเมนสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงกับแนวระดับเท่ากับ 45 องศา ที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวามี ฉนวนยาวเป็น 2/3 เท่าของด้าน และมีเลขพรันด์เทิลเท่ากับ 0.7 เมื่อเลขเรย์ลีเท่ากับ $10^2, 10^4$ และ 10^5 ตามลำดับ จะพบว่าการกระจายอุณหภูมิที่ $Ra = 10^2$ และ 10^4 มีการกระจายอุณหภูมิที่ลักษณะคล้ายกันคือเป็น เส้นโค้ง และเมื่อ $Ra = 10^5$ การกระจายอุณหภูมิของเส้นอุณหภูมิเกือบจะเป็นเส้นตรง ซึ่งที่ Ra แตกต่างกันจะมีการกระจายของเส้นอุณหภูมิที่เหมือนกันคือ เส้นอุณหภูมิจะกระจายจากผนังเอียงที่มีฉนวนและกระจายเกือบเต็ม โดเมน พิจารณาการไหลจะพบว่าที่ $Ra = 10^2$ และ 10^4 เกิดการไหลขึ้น 2 วงวนที่ผนังเอียงด้านซ้ายและขวา เมื่อ $Ra = 10^5$ การไหลมีวงวน 4 วง เกือบเต็มโดเมนสามเหลี่ยม จะเห็นว่าเมื่อ Ra เพิ่มขึ้นวงวนการไหลก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทุกค่า Ra จะมีวงวนที่มุมซ้ายไหลเร็วที่สุด การกระจายความร้อนเมื่อ $Ra = 10^2$ มีการกระจายเป็น 2 วงวน อยู่ที่ผนังเอียงด้านซ้ายและด้านขวาที่มีฉนวน ซึ่งมีเส้นความร้อนบางเส้นไหลมาจากผนังด้านล่างที่มีอุณหภูมิเย็นมี เมื่อ $Ra = 10^4$ มีการกระจายความร้อนเป็น 4 วงวนเกือบเต็มโดเมนที่มุมด้านบนและมุมด้านล่างซ้ายขวา แต่เมื่อ $Ra = 10^5$ มีลักษณะการกระจายความร้อนเป็น 4 วงวนคล้ายกับ $Ra = 10^4$ แต่จะแตกต่างกันที่เส้นความร้อนของ

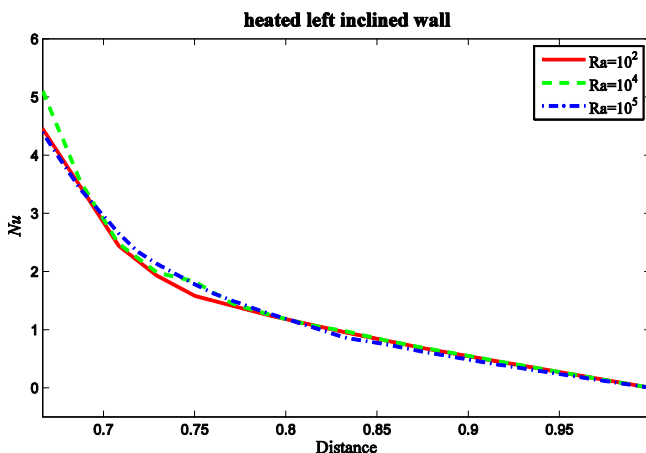
$Ra = 10^5$ จะมีกระจายชนิดกันมากขึ้นและกระจายเต็มโดเมน ซึ่ง Ra มากขึ้นเส้นความร้อนก็จะกระจายมากขึ้นด้วย

เลขนัสเซล



รูปที่ 4 แสดงเลขนัสเซลที่ผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อนเมื่อ $Ra = 10^2$, 10^4 และ 10^5 ที่ $Pr = 0.7$ ดังกรณีที่ 1

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากรณีของผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อน สำหรับ $Ra = 10^2$, 10^4 และ 10^5 พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของผนังเอียงด้านซ้ายจะสูงมากที่ขอบด้านล่างของผนัง และลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทาง เนื่องจากการกระจายอุณหภูมิของเส้นไอโซเทอมรวมกันอย่างหนาแน่นที่ขอบด้านล่างของผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อน ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงมากที่สุดในช่วงเริ่มแรกหรือที่ขอบล่างของผนังและลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงระยะ 0.33 ถึง 0.5 จากนั้นก็ค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงขอบด้านบนของผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อน และมีลักษณะคล้ายกันหมดทั้งสามกรณีสำหรับ Ra ที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยรวมแล้วอัตราการถ่ายโอนความร้อนจะลดลงเมื่อ Ra เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 แสดงเลขนัสเซลที่ผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อนเมื่อ $Ra = 10^2$, 10^4 และ 10^5 ที่ $Pr = 0.7$ ดังกรณีที่ 2

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากรณีของผนังเอียงด้านซ้ายที่มีอุณหภูมิร้อน สำหรับ $Ra = 10^2, 10^4$ มีลักษณะของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมือนกันคือ ที่ขอบด้านล่างสุดของผนัง จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทาง จนถึงขอบบนที่มีค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนน้อยที่สุด สำหรับ $Ra = 10^5$ จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างออกไปจาก $Ra = 10^2$ และ 10^4 เล็กน้อย แต่จะมีลักษณะที่เหมือนกันคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนจะมากที่สุดที่ขอบล่างของผนังและลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงขอบบนสุดของผนัง

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิ เส้นสายธาร และการกระจายความร้อน สำหรับการพาความร้อนแบบธรรมชาติของของไหลที่สภาวะคงตัวภายในโดเมนรูปสามเหลี่ยมที่ผนังเอียงบางส่วนมีฉนวน และมีเลขเรย์ลีแตกต่างกัน ขณะที่เลขพรินด์เทิลเท่ากับ 0.7 ซึ่งผลการศึกษาดังนี้

1. เลขเรย์ลีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการกระจายอุณหภูมิ เส้นสายธาร และการกระจายความร้อนค่อนข้างมาก โดยที่เมื่อเลขเรย์ลีเพิ่มขึ้นจะทำให้การกระจายอุณหภูมิถูกบีบอัดลงมาที่ผนังด้านล่าง ให้ค่าเส้นสายธารที่เพิ่มขึ้นด้วย และการกระจายความร้อนลดลง
2. สามเหลี่ยมที่ผนังเอียงบางส่วนมีฉนวนเป็น $2/3$ เท่าของด้าน จะมีอุณหภูมิเย็นที่ผนังแนวนอนมากกว่าสามเหลี่ยมที่มีฉนวนเป็น $1/3$ เท่าของด้าน ซึ่งฉนวนมีส่วนเกี่ยวข้องในการกระจายอุณหภูมิต่อข้างมาก
3. สำหรับผู้ที่สนใจศึกษา สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดอุณหภูมิภายใน อาคาร บ้านเรือน ตามความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- Asan, H., and Namli, L. (2000). Laminar natural convection in a pitched roof of triangular cross-section: summer day boundary conditions. *Energy and Buildings* 33(2000): 69-73.
- Asan, H., and Namli, L. (2001). Numerical simulation of buoyant flow in a roof of triangular cross-section under winter day boundary conditions. *Energy and Buildings* 33(2001): 753-757.
- Basak, T., Roy, S., and Thirumalesha, Ch. (2007). Finite element analysis of natural convection in a triangular enclosure: Effects of various thermal boundary conditions. *Chemical Engineering Science* 62(2007): 2623 –2640.
- Basak, T., Anandalakshmi, R., and Roy, M. (2013). Heatlines based natural convection analysis in tilted isosceles triangular enclosures with linearly heated inclined walls : effect of various orientations. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 43(2013): 39–45.
- Reddy, J. N. (1993). *An Introduction to the finite element method*. New York: McGraw-Hill.

Roy, S. and Basak, T. (2005). Finite element analysis of natural convection flow in a square cavity with nonuniformly heated wall(s). *International Journal of Engineering Science* 43: 668-680.

Varol, Y., Koca, A., and Oztop, H.F. (2006). Natural convection in a triangle enclosure with flush mounted heater on the wall. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 33(2006): 951-958.

