

## การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยติดตั้งพินเอียง

### Enhancement of Heat Transfer on a surface mounted inclined pins

ปฐมพร นระระโต<sup>1</sup>, ภาสกร เวสสะโกศล<sup>1</sup>, มักรัตร์ แวหะยี่<sup>1</sup>, ประภิต หงษ์หิรัญเรือง<sup>1</sup> และ ชยุต นันทคุลิต<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตาลคองหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

\*ติดต่อ: E-mail chayut@me.psu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 074-28-7035, เบอร์โทรสาร 074 -55-8830

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในอุโมงค์ลมหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยการติดตั้งแถวของพินบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยโปรแกรมจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (ANSYS ver.13.0,Fluente) โมเดลการจำลองเป็นแบบสามมิติ การไหลเป็นแบบคงตัว และอัดตัวไม่ได้ สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลเป็นแบบ Shear Stress Transport (SST) ลักษณะของพินเป็นแบบทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D = 10$  mm ติดตั้งเรียงเป็นแบบแถว ความสูงของพิน ( $H$ ) และระยะห่างระหว่างพิน ( $S$ ) กำหนดให้คงที่  $H/D = 2$  และ  $S/D = 2$  ตามลำดับ ในการจำลองนี้ได้ศึกษาผลของมุมเอียงระหว่างแกนของพินกับพื้นผิวที่ติดตั้งพินอยู่ในช่วง  $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, -30^\circ, -45^\circ$  และ  $-60^\circ$  สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลภายในอุโมงค์ลมกำหนดให้คงที่  $Re = 5,200$  การถ่ายเทความร้อนจะถูกศึกษาในส่วนของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเพียงเท่านั้น ซึ่งจากผลการจำลองจะแสดงการกระจายตัวของค่าตัวเลขไนต์ในแต่ละตำแหน่งและค่าตัวเลขไนต์เฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบผลของมุมพินที่ติดตั้งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการจำลองพบว่ากรณีมุมพินกระทำต่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่แคบจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่สูงกว่ากรณีมุมที่กว้าง สำหรับมุมพิน  $\theta = 30^\circ$  ให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าในทุกกรณี

**คำหลัก:** โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล, การถ่ายเทความร้อน, มุมของพินที่กระทำต่อพื้นผิว

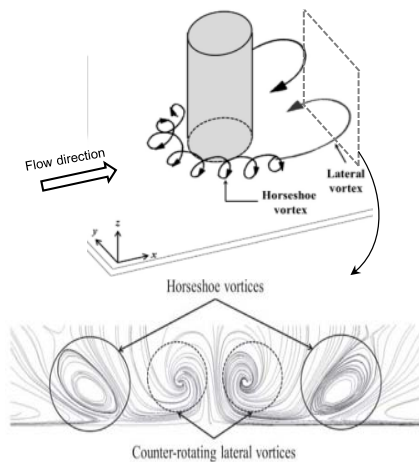
#### Abstract

The aim of this research is to study flow and heat transfer characteristics on an internal surface of rectangular channel by mounting a row of pin on heat transfer surface, ANSYS ver.13.0 (Fluent ) to simulate 3-D steady flow and heat transfer (incompressible flow). The model of fluid flow and heat transfer were analyzed using the shear stress transport turbulence model. The cylinder pins which have diameter of  $D = 10$  mm were mounted with inline arrangement. The pin height ( $H$ ) and pin-to-pin distance ( $S$ ) were fixed at  $H/D = 2$  and  $S/D = 2$ , respectively. In the simulation, the effects of inclination angle between pin centerline to mounted surface were investigated in the range of  $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, -30^\circ, -45^\circ$  and  $-60^\circ$ . The Reynolds number of internal flow was fixed at  $Re = 5,200$ . The heat transfer was studied on heat transfer surface. The results of our analysis show that local and average Nusselt number was comparison of inclination angle to mounted heat transfer surface. The results show that the heat transfer for the case of mounting pins with small angle is higher than the one with large angle. The heat transfer for the case of  $\theta = 30^\circ$  was the highest.

**Keywords:** Computation Fluid Dynamics, Heat transfer, inclination angle

## 1. บทนำ

กลุ่มของฟินถูกใช้ในการเพิ่มการระบายความร้อนในใบกังหันแก๊ส อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ติดตั้งกลุ่มฟิน โดยทั่วไปฟินที่ใช้กันจะแบ่งตามอัตราส่วนของความสูงฟินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฟิน (H/D) โดยที่ความสูงของฟินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฟินอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 4 เป็นฟินชนิดกลางมักจะถูกใช้ในการระบายความร้อนในใบกังหันแก๊ส [1] ฟินที่มีความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฟินมากกว่า 8 จัดเป็นฟินชนิดยาวถูกใช้ในการผลิตพวกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [2] สำหรับฟินชนิดสั้นที่มีอัตราส่วนความสูงฟินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฟินน้อยกว่า 0.5 ถูกใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นครีบบางประเภท ซึ่งการไหลผ่านฟินจะช่วยสร้างความปั่นป่วนในการไหลส่งผลต่อการระบายความร้อนบนพื้นผิว [3] กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งฟินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ติดตั้งฟินและ 2. การเพิ่มพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน กระแสการไหลที่ไหลตัดพินทรงกระบอกโดยทั่วไปจะเกิดลักษณะการไหลแบบหมุนควงรูปเกือกม้าด้านหน้าพินและการไหลแบบเวคที่ด้านหลังพิน ในส่วนของระนาบการไหลด้านหลังพินจะเกิดการไหลวน 2 ชุดคือการไหลวนรูปเกือกม้าและการไหลวนด้านข้างพินที่มีการไหลวนตรงข้ามกันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การไหลของอากาศผ่านพินทรงกระบอกหน้าตัดกลม [4]

การไหลของอากาศในช่องการไหลผิวเรียบพบว่าการระบายความร้อนบนพื้นผิวจะสูงบริเวณที่เริ่มเกิดชั้นขอบเขตของการไหลและจะค่อยๆลดลงไปเมื่อกระแสการไหลพัฒนาตัวเต็มที่แล้ว (fully developed) สำหรับการไหลของอากาศผ่านพินพบว่าการระบายความร้อนค่อยๆเพิ่มขึ้นก่อนเกิดการไหลแบบพัฒนาตัวเต็มที่ซึ่งการไหลในบริเวณที่พัฒนาตัวเต็มที่เกิดจากพฤติกรรมของการไหลระหว่างการไหลหมุนวนเป็นผลมาจากการไหลผ่านพินในด้านกระแสการไหลก่อนชนพินและกระแสการไหลหลังชนพิน [5] สำหรับการศึกษามรรณะการถ่ายเทความร้อนของพินหน้าตัดรูปพัดที่ติดตั้งเพียงแท่งเดียวในช่องการไหลโดยการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (ANSYS-CFX) 11.0 ด้วยโมเดล 3 มิติ การไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้เทียบกับพินทรงกระบอกหน้าตัดกลม พบว่าค่า Nu เฉลี่ยทั้งพื้นผิวที่ติดพินรูปพัดให้ค่าที่สูงกว่าพินรูปทรงกระบอกกลม [4] ลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลด้วยการติดตั้งกลุ่มฟินในรูปแบบทรงหน้าตัดรีหน้าตัดรูปหยดน้ำเทียบกับพินหน้าตัดกลมด้วยการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล (ANSYS Fluent ) จากผลการจำลองและทดลองพบว่าการไหลแบบเวคนำไปสู่การไหลแบบแยกตัว จะเห็นได้ที่ขอบของพินโดยที่การหมุนวนรูปเกือกม้ามีโครงสร้างการไหลที่เล็กซึ่งไม่ค่อยส่งผลต่อพลศาสตร์การไหลเมื่อเทียบกับการไหลหมุนวนแบบเวค พินหน้าตัดแบบหยดน้ำช่วยลดการไหลแบบแยกตัวได้อย่างมากด้วยผลของการไหลแบบเวคที่ลดลงแต่ในการถ่ายเทความร้อนโดยรวมพินหน้าตัดกลมให้การถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าในทุกๆรูปแบบ [6]

ในการศึกษาพฤติกรรมของการไหลและการถ่ายเทความร้อนของพินทำมุมเอียงกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการทดลองและการจำลองการไหลพบว่าผลของมุมเอียงช่วยลดความดันสูญเสียในช่องการไหลซึ่งเป็นผลให้การไหลแบบเวคที่ด้านหลังพินลดลง [7] และ [8]

จากการทบทวนเอกสารพบว่าการไหลของอากาศผ่านพินช่วยเพิ่มความปั่นป่วนในการไหล ส่งผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและพบว่าผลของการติดตั้งพินเอียงส่งผลให้ลักษณะการไหลแบบเวคลดลง ซึ่งจุดประสงค์ของบทความนี้เพื่อศึกษาผลของมุมพินที่กระทำต่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเนื่องด้วยผลของมุมเอียงช่วยสร้างการไหลหมุนควงทำลายการไหลแบบเวคด้านหลังพินเทียบกับ

กรณีของพินตรงหน้าตัดกลมจากการจำลองพฤติกรรม การไหลโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล (ANSYS Fluent) ซึ่งจะติดตั้งพินในช่องการไหลแบบไม่เต็มช่อง การไหล ทำให้เห็นผลการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนได้ชัดเจน จากการทบทวนเอกสารผลของมุมเอียงที่ลดลงยังไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเมื่อเทียบกับพินตั้งตรงมุม  $90^\circ$

## 2. โมเดลการจำลองลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อน

### 2.1 โมเดลของตัวแปร

ตัวแปรที่ใช้ในการจำลองเป็นพินทรงกระบอกหน้าตัดกลมติดตั้งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุโมงค์กลมหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยที่การติดตั้งพินจะวางตัวเป็นแนวเส้นตรงจำนวน 9 ตัว 1 แถวในแนวขวางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3 การติดตั้งจะวางในระยะ  $6.75D$  จากความยาวของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งระยะห่างระหว่างพินต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพินเท่ากับ 2 ( $S/D=2$ ) และความสูงพินในแนวตั้งต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพินเท่ากับ 2 ( $H/D=2$ ) เช่นกัน ในส่วนมุมของพินที่กระทำต่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ( $\theta$ ) เท่ากับ  $\pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$  และ  $90^\circ$  สำหรับ พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาด  $18D \times 27D$  โดยที่  $D = 10$  mm ซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพินที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 และ 6 แสดงรูปแบบของกริดที่ใช้ในการจำลอง เส้นประที่แสดงในรูปที่ 3 คือบริเวณที่พิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากการติดตั้งพินมุมต่างๆ

### 2.2 โมเดลอุโมงค์ลม

ในรูปที่ 2 แสดงโมเดลอุโมงค์ลมที่ใช้ในการจำลองลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล (ANSYS ver.13.0,Fluente) โมเดลการจำลองเป็นแบบสามมิติ การไหลเป็นแบบคงตัว และอัดตัวไม่ได้ สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลเป็นแบบ Shear Stress Transport (SST) โดยการติดตั้งพินบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน จากรูปอุโมงค์ลมมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 300 mm สำหรับความสูงของอุโมงค์ลมสูง 32 mm ความยาวของอุโมงค์ลมแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) ส่วนทางเข้าอุโมงค์ลมก่อน

เข้าสู่ส่วนทดสอบจะออกแบบให้มีความยาวเพียงพอต่อการไหลที่พัฒนาตัวเต็มที่แล้ว (Fully develop flow) ซึ่งในส่วนนี้มีความยาว 1,535 mm (2) ส่วนของส่วนทดสอบเป็นบริเวณที่ใช้ศึกษาผลของการติดตั้งพินบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อดูผลของการกระจายตัวของค่าสเกลลบนพื้นผิวจากผลการติดตั้งพินในมุมต่างๆ มีความยาว 270 mm และ (3) ส่วนของอุโมงค์ลมหลังส่วนทดสอบมีความยาว 533 mm

### 2.3 สมการและแบบจำลองที่ใช้

#### 2.3.1 สมการควบคุมการไหล

- สมการกฏทรงมวล (Continuity Equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\rho u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i u_j} \right] - \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad (2)$$

- สมการพลังงาน (Energy Equation)

$$\rho c_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \overline{\rho c_p u_i T} \right] \quad (3)$$

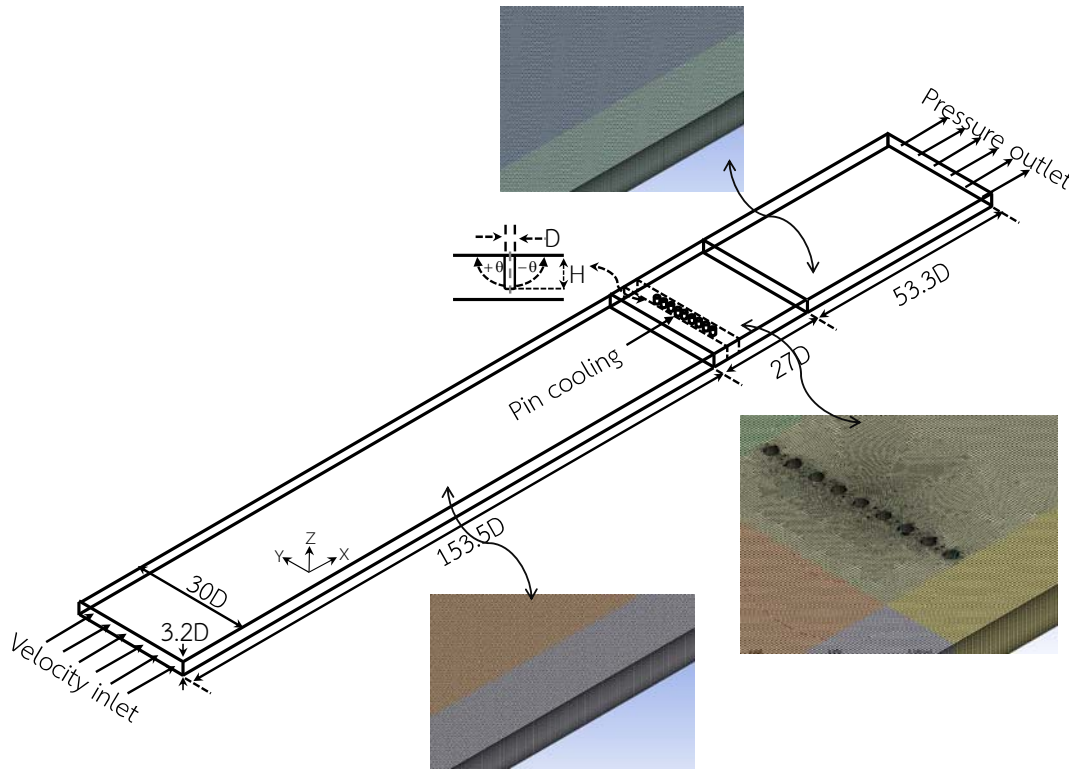
โดยที่  $c_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ ) ,  $U_i, U_j$  คือ ส่วนประกอบของความเร็วจลื่น ( $\text{m/s}$ ) และ  $T$  คือ อุณหภูมิของของไหล ( $^\circ\text{C}$ )

#### 2.3.2 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน

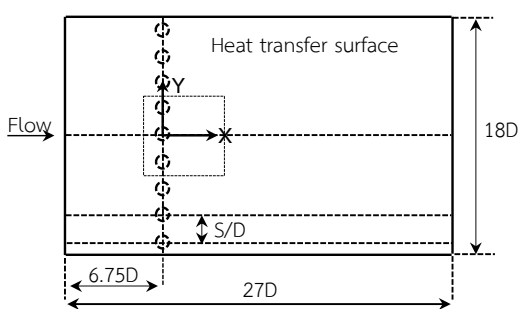
การไหลแบบปั่นป่วนเป็นการไหลที่ของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบมีความเร็วไม่สม่ำเสมอและมีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน การไหลแบบปั่นป่วนความเร็วของของไหลจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ณ จุดหนึ่งในสนามการไหลซึ่งในการจำลองในครั้งนี้จะใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนชนิด Shear stress transport

k- $\omega$  model (SST k- $\omega$  model) เป็นโมเดลที่มีการรวมเอาข้อดีของแบบจำลอง 2 ชนิด ผสมเข้าด้วยกันคือแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard k- $\epsilon$  model สำหรับการคำนวณการไหลบริเวณชั้นไกลผนัง (outer

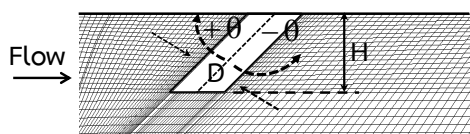
layer) และแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด k- $\omega$  model สำหรับการคำนวณการไหลบริเวณชั้นชิดผนัง (inner layer) ซึ่งจะทำให้คำตอบที่ได้จากการจำลองมีผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น [4]



รูปที่ 2 แสดงโมเดลของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการจำลองลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหล



รูปที่ 3 ขนาดของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและตำแหน่งการวางพิน



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของการติดตั้งพินบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน

### 2.3.3 สมการที่ใช้ในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน

การไหลของอากาศที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ( $25^{\circ}\text{C}$ ) ผ่านพินที่ติดตั้งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำการระบายความร้อน โดยสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะจุดบนพื้นผิว ( $h$ ) ได้จากสมการที่ (4)

$$h = \frac{\dot{Q}_{\text{net}}}{A(T_w - T_a)} \quad (4)$$

$\dot{Q}_{\text{net}}$  คือ อัตราการเกิดความร้อนสุทธิบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน  $A$  คือ พื้นที่ของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน  $T_w$  คือ อุณหภูมิบนพื้นผิวที่กระจายตัวในแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน และ  $T_a$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าอุโมงค์ลม

การคำนวณค่าตัวเลขนัสเซิลต์ (Nusselt number) บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนได้จากสมการที่ (5)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

ในที่นี้  $D$  คือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางพิน และ  $k$  คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ

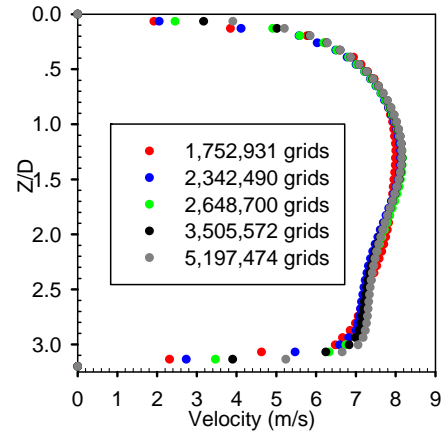
สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลภายในอุโมงค์ลม แสดงดังสมการที่ (6) คำนวณจากความเร็วที่ตำแหน่งกลางของช่องการไหลก่อนเข้าส่วนทดสอบในส่วนของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในช่องการไหลหาได้จากสมการที่ (7) คำนวณจากความเร็วเฉลี่ยในช่องการไหลและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของช่องการไหล

$$Re = \frac{V_c D}{\nu} \quad (6)$$

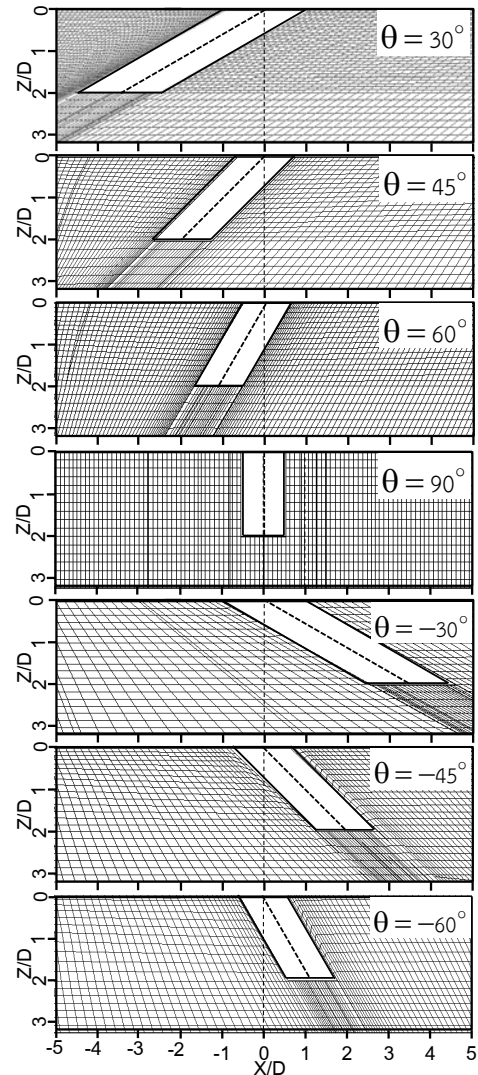
$$f = \left( \frac{\Delta P}{\rho V_{ave}^2} \right) \left( \frac{D_h}{L} \right) \quad (7)$$

## 2.4 การพิจารณาจำนวนกริดในการจำลองพฤติกรรม การไหลและการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว

ในรูปที่ 5 เป็นการเปลี่ยนแปลงจำนวนกริดต่อผลของความเร็วมตามแนวความสูงของช่องการไหลด้านหลังของส่วนทดสอบ ซึ่งเป็นกรณีของการติดตั้งพินมุมเอียง  $30^\circ$  ที่  $Re = 5,200$  พบว่ากริดที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรม การไหลและการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ 2,648,700 กริด ถึง 3,505,572 กริด เนื่องด้วยให้ผลของค่าความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกรณีกริดละเอียดสุด



รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนกริดต่อผลของความเร็วมตามแนวความสูงของช่องการไหลที่  $Re=5,200$



รูปที่ 6 แสดงกริดในส่วนของพินมุมเอียงต่างๆ ที่ติดตั้งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน

### 3. ผลจากการจำลอง

#### 3.1 การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวด้วยการติดตั้งพินทำมุมต่างๆกับพื้นผิว

ผลของการกระจายตัวของค่านัสเซิลต์บนพื้นผิว แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งแถวพิน 1 แถววางขวางการไหลทำมุมกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลกำหนดให้คงที่เท่ากับ 5,200 ด้วยความเร็วกึ่งกลางช่องการไหลก่อนเข้าส่วนทดสอบ 8.14 m/s และกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่กระจายตัวบนพื้นผิวคงที่ การไหลของอากาศจะไหลจากซ้ายมือไปขวามือ จากผลการจำลองพบว่าค่านัสเซิลต์จะเพิ่มขึ้นสูงในด้านกระแสการไหลหลังผ่านพินในทุกกรณีและจะสูงอยู่อีกบริเวณคือบริเวณกระแสการไหลก่อนชนพิน เนื่องด้วยกระแสการไหลเป็นการหมุนวนรูปเกือบกึ่งวงกลมปั่นป่วนที่สูง

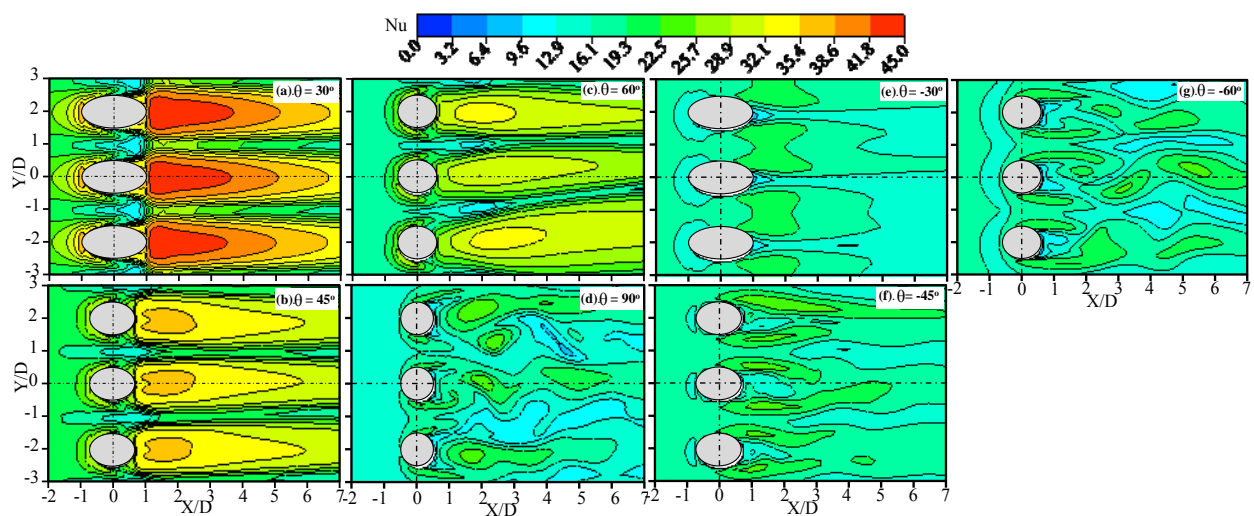
จากผลของมุมพินที่ลดลงในด้านมุมบวกส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการวางพินแบบตั้งตรง ( $\theta = 90^\circ$ ) แต่ผลของมุมพินที่ลดลงในด้านมุมลบไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการวางพินแบบตั้งตรง ( $\theta = 90^\circ$ ) นั้นหมายความว่าผลของการติดตั้งพินในด้านมุมบวกด้วยมุมที่น้อยย่อมมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในที่นี้การติดตั้งพินมุม  $30^\circ$  ให้ค่าการกระจายตัว

ของค่านัสเซิลต์บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่สุดดังแสดงในรูปที่ 7

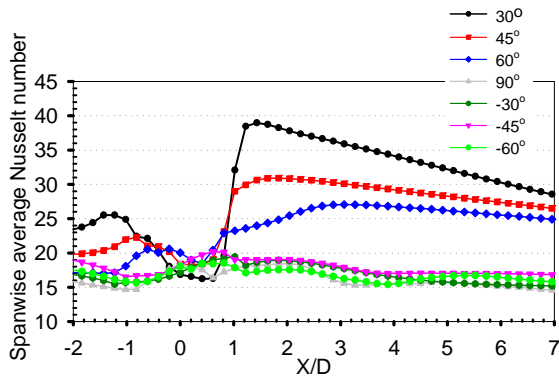
ค่านัสเซิลต์เฉลี่ยในแนวขวางการไหลที่ไม่พิจารณาการถ่ายเทความร้อนใต้พื้นผิวพินรวมไปด้วยพบว่าค่านัสเซิลต์เฉลี่ยในแนวขวางการไหลจะเพิ่มขึ้นในช่วงของกระแสการไหลก่อนชนพินและลดลง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกครั้งเมื่อกระแสการไหลไหลผ่านพินไปแล้วจากนั้นก็ลดลงตามระยะ  $X/D$  ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความปั่นป่วนของการไหลจากการติดตั้งพิน ผลของการติดตั้งมุมพินที่ลดลงในด้านมุมบวกเมื่อเทียบกับพินตั้งตรง ( $\theta = 90^\circ$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและสูงสุดที่การติดตั้งมุมพิน  $30^\circ$  ดังแสดงในรูปที่ 8

ค่านัสเซิลต์เฉลี่ยทั้งพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนโดยไม่พิจารณาการถ่ายเทความร้อนใต้พื้นผิวของพินรวมไปด้วยนั้นพบว่ากรณีติดตั้งพินมุม  $30^\circ$  ให้ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นผิวสูงที่สุดและเมื่อเทียบกับพินตั้งตรงมุม  $90^\circ$  การติดตั้งพินมุม  $30^\circ$  ให้ค่านัสเซิลต์เฉลี่ยทั้งพื้นผิวเพิ่มขึ้น 82.74 % และผลของการติดตั้งมุมพินในด้านมุมบวกด้วยมุมที่น้อยมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของค่านัสเซิลต์เฉลี่ยทั้งพื้นผิวเมื่อเทียบกับกรณีติดตั้งพินตรง ( $\theta = 90^\circ$ ) ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10

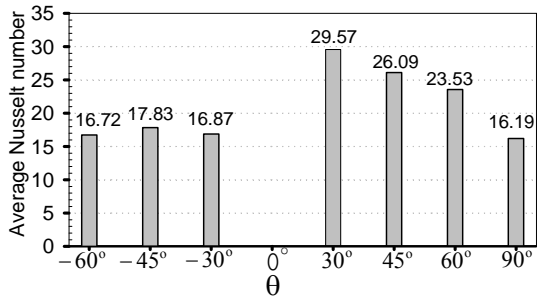
ในส่วนของความดันสูญเสียในช่องการไหลจากการติดตั้งพินเอียงแถวเดียวพบว่าความดันสูญเสียในช่องการไหลไม่ต่างกันมากนักและมีค่าน้อยดังแสดงในรูปที่ 11



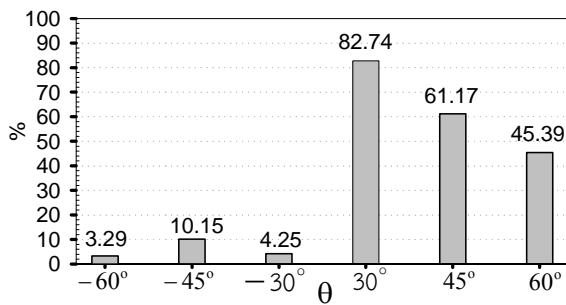
รูปที่ 7 การกระจายตัวของค่านัสเซิลต์บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนจากการติดตั้งพินทำมุมต่างๆที่  $Re=5,200$



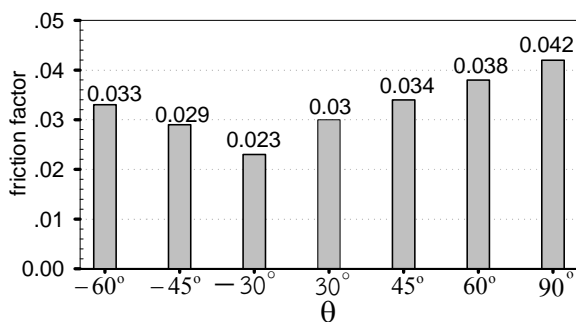
รูปที่ 8 ค่านัสเซลต์เฉลี่ยในแนวขวางการไหลจากการติดตั้งพินทำมุมต่างๆที่  $Re=5,200$



รูปที่ 9 ค่านัสเซลต์เฉลี่ยบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนจากการติดตั้งพินทำมุมต่างๆที่  $Re=5,200$



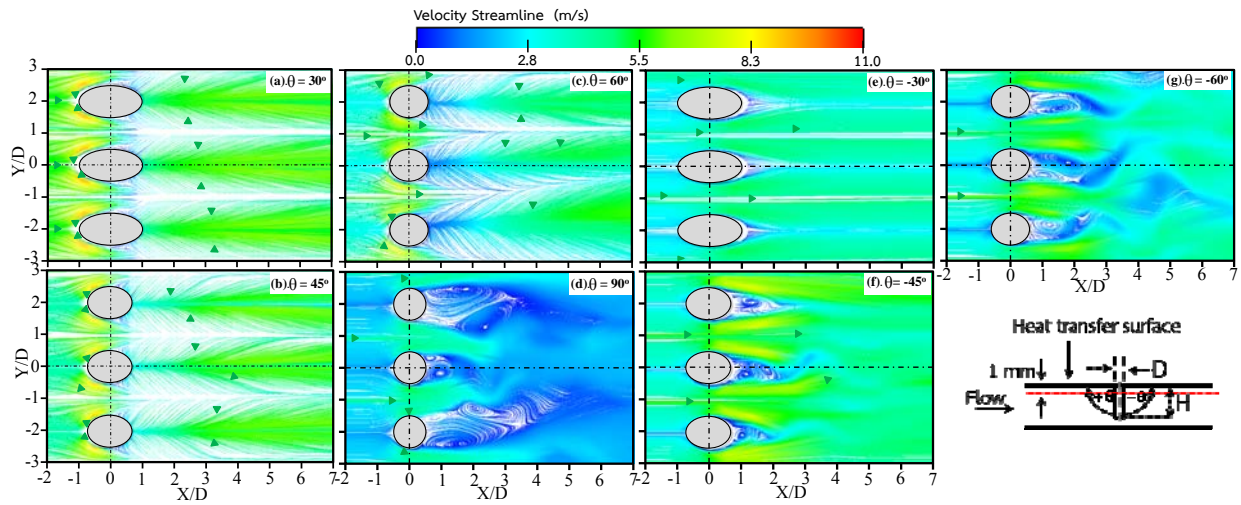
รูปที่ 10 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่านัสเซลต์เฉลี่ยทั้งพื้นผิวเทียบกับการติดตั้งพินตรงมุม  $90^\circ$  ที่  $Re=5,200$



รูปที่ 11 แสดงผลของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในช่องการไหลจากการติดตั้งพินเอียงมุมต่างๆที่  $Re=5,200$

### 3.2 ลักษณะการไหลของอากาศผ่านพิน

จากลักษณะการไหลของอากาศผ่านพินตรงบนพื้นผิว ( $\theta=90^\circ$ ) กระแสการไหลจะเกิดการหมุนวนรูปเกือบม้า ด้านกระแสการไหลก่อนชนพินและหลังชนพินจะเกิดการไหลแบบเวกหมุนวนอยู่กับที่ซึ่งจะเป็นตัวสะสมความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี จากผลของการลดมุมพินในด้านมุมลบก็ยังมีบริเวณที่เกิดการไหลแบบเวก เช่นเดียวกับการติดตั้งพินตรงบนพื้นผิว แต่ผลของการลดมุมพินในด้านมุมบวกเป็นตัวสร้างการไหลหมุนควง (counter rotating vortices) ด้านหลังพินซึ่งเป็นตัวทำลายการไหลแบบเวกออกไป ดังนั้นการไหลหมุนควง (counter rotating vortices) เป็นตัวเพิ่มความปั่นป่วน ด้านหลังพินส่งผลให้สามารถดึงความร้อนจากพื้นผิวออกไปได้สูงทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งผลของเส้น Streamline จะตัดต่ำลงมาจากพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน 1 mm ดังแสดงในรูปที่ 12 ในส่วนของการกระจายความเร็วก็จะพบว่าบริเวณที่เกิดเวกความเร็วมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ซึ่งเกิดกับกรณีพินวางตรงมุม  $90^\circ$  และเกิดขึ้นกับทุกมุมด้านมุมลบ โดยผลของการกระจายความเร็วตัดผลที่กึ่งกลางของช่องการไหลผ่านพินตัวกึ่งกลางของการติดตั้งพินแถวเดียวดังแสดงในรูปที่ 13 ดังนั้นผลของการติดตั้งพินในด้านมุมบวกที่ลดลงเป็นตัวสร้างการไหลหมุนควง (counter rotating vortices) ด้านหลังพินและทำลายการไหลแบบเวกด้านหลังพินทำให้ความปั่นป่วนของการไหลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูง [9] แต่ผลของการลดมุมพินในด้านมุมลบบังคับไม่สามารถทำลายการไหลแบบเวกด้านหลังพินได้ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวไม่ดีเท่าการลดมุมของพินในด้านมุมบวก



รูปที่ 12 แสดงผลของเส้น streamline ที่ไหลผ่านพินที่ทำมุมต่างๆกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่  $Re=5,200$

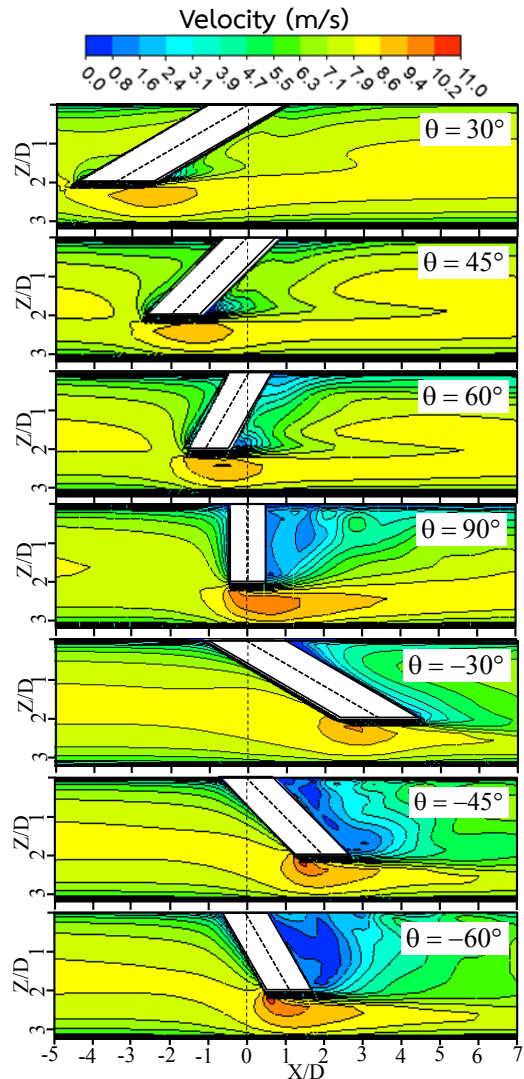
4.สรุปผล

จากผลการศึกษาลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการจำลองพฤติกรรมกรไหล จากการติดตั้งพินทำมุมเอียงกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นมุม ( $\theta$ ) และคงที่ระยะห่างระหว่างพิน  $S/D=2$  ความสูงพินในแนวตั้งต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิน  $H/D=2$  ที่  $Re =5,200$  พบว่า

4.1 ผลของการติดตั้งมุมพินที่ลดลงในด้านมุมบวกเป็นตัวสร้างการไหลหมุนควง (counter rotating vortices) ด้านหลังพินส่งผลให้ความปั่นป่วนของการไหลมีค่าสูงทำให้การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวดีขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีของการติดตั้งพินตรงมุม  $90^\circ$

4.2 การติดตั้งพินในด้านมุมบวกที่ลดลงมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเมื่อเทียบกับพินตรงมุม  $90^\circ$  และเมื่อเทียบถึงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งพื้นผิวพบว่าติดตั้งพินมุม  $30^\circ$  ทำให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งพื้นผิวเพิ่มขึ้น 82.74%

4.3 การไหลของอากาศผ่านพินมุมเอียงในด้านมุมบวกเป็นตัวทำลายการไหลแบบเวคด้านหลังพินเมื่อเทียบกับกรณีพินทั้งตรงซึ่งส่งผลให้ความปั่นป่วนของพินมุมเอียงด้านบวกมีค่าสูงจึงทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจากผลของการไหล ในส่วนของความดันสูญเสียในช่องกรไหลจากการติดตั้งพินเอียงแถวเดียวไม่แตกต่างกันมากและมีค่าน้อย



รูปที่ 13 แสดงผลการกระจายความเร็วที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านพินทำมุมต่างๆ ที่  $Re=5,200$



### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. C. Lau, Y.S. Kim, and J. C. Han, "Effects of Fin Configuration and Entrance Length on Local Endwall Heat/Mass Transfer in a Pin Fin Channel," ASME Paper No. 85-Wa/HT-62, 1985.
- [2] A. A. Zukauskas, "Heat Transfer from Tube in Cross Flow," *adv.in Heat Transfer*, Vol.8, pp. 116-133, 1972.
- [3] R. L. Webb, "Air-Side Heat Transfer in Finned Tube Heat Exchangers," *Heat Transfer Engineering*, Vol. 1, pp. 33-49, 1980.
- [4] M. A. Moon, and K. Y. Kim, "Analysis and optimization of fan-shaped pin-fin in a rectangular cooling channel," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.72, pp.148-162, 2014.
- [5] D. E. Metzger, R. A. Berry, and J. P. Bronson, "Developing Heat Transfer in Rectangular Ducts with Staggered Arrays of Short Pin Fins," *ASME Journal of Heat Transfer*, vol.104, pp. 700-706, 1982.
- [6] F. Wang, J. Zhang, and S. Wang, "Investigation on flow and heat transfer characteristics in rectangular channel with drop-shaped pin fins", *Propulsion and Power Research*, Vol.1, No.1, pp.64-70, 2012.
- [7] M. K. Chyu, E.O. Oluyede, and H.-K. Moon, "Heat Transfer on Convective Surfaces with Pin-Fins Mounted in Inclined Angles," *Proceedings of ASME Turbo Expo*, Vol. 4, No. GT2007-28138, pp.861-869, 2007.
- [8] K. Takeishi, Y. Miyake, Y. Oda, and Y. Motoda, "Experimental and numerical study on the convective heat transfer and pressure loss in rectangular ducts with inclined pin-fin on a wavy endwall," *Proceedings of ASME Turbo Expo*, Vol. 4, No.GT2012-69625, pp.1061-1072, 2012.
- [9] I. K. Choi, T. Kim, S. J. Song, and T. J. Lu, "Endwall heat transfer and fluid flow around an inclined short cylinder," *International Journal of*

*Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp.919-930, 2007.