การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด-ขอนแก่น

# การจำลองเชิงตัวเลขการไหลของอากาศในเตาเผาไหม้ชานอ้อย Numerical simulation of flow in bagasse - fired furnace

สัญชัย รำเพยพัด¹ ฉัตรชัย เบญจปิยะพร² เด่นพงษ์ สุดภักดี<sup>3</sup> และ จุฬาภรณ์ เบญจปิยะพร⁴ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โทร 0-43202845 ต่อ149 โทรสาร 0-43202849 E-mail: chaben@kku.ac.th<sup>2</sup>

Sanchai Ramphueiphad, Chatchai Benjapiyaporn, Denpong Soodphakdee and Julaporn Benjapiyaporn Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University *Tel:* 0-43202845 Ext. 149 Fax: 0-43202849 E-mail: chaben@kku.ac.th<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

บทความนี้น้ำเสนอการศึกษาลักษณะการใหลของอากาศ ในเตาเผาใหม้ เพื่อช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลโดยแปรทิศทางการไหลเข้า ชานอ้อย เตาเผาไหม้ของอากาศในชั้นทุติยภูมิ แปรอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้า เตาเผาใหม้สำหรับระบบอากาศปัจจุบัน และแปรทิศทางการใหลเข้าเตาเผา ใหม้ของอากาศในชั้นทุติยภูมิ สำหรับระบบอากาศที่ปรับปรุง การหาผลเฉลย ใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง ด้วยโปรแกรม FLUENT V.6.0.12 ผลจากการแปรทิศทางการไหลของอากาศในช่องทางการ ใหลชั้นทุติยภูมิพบว่าทุกทิศทางการไหล เกิดเซลล์หมุนวนบริเวณกลาง เตาเผาไหม้มีทิศทางตามเข็มนาพิกา และหมุนรอบ แกน z กรณีการไหลใน ระบบอากาศปัจจุบันมุม heta ที่ให้ค่าความเร็วบริเวณพื้นผิวทางออกต่ำ และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความปั่นป่วนภายในเตาเผาไหมัสูง คือมุม heta เท่ากับ 170 190 และ 210 กรณีของระบบอากาศที่ปรับปรุง มุม heta ที่ให้ค่า ความเร็วบริเวณพื้นผิวทางออกต่ำและ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความปั่นป่วน ภายในเตาเผาไหม้สูงคือมุม heta เท่ากับ 170 เมื่อเปรียบเทียบผลที่อัตรา การใหลเดียวกันระหว่างระบบอากาศปัจจุบันกับที่ปรับปรุง พบว่าระบบ อากาศที่ปรับปรุงให้สภาวะการไหลที่ความเร็วบริเวณพื้นผิวทางออกต่ำกว่า และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ ความปั่นป่วนภายในเตาเผาไหม้สูงกว่าที่มุม hetaเท่ากับ 170

#### ABSTRACT

This paper presents a study of the behavior of air flow in bagasse-fired furnace. The variables are the flow directions and flow rate of the secondary air for the present air port system and modified air port system. A finite volume method (FLUENT V. 6.0.12.) is used as numerical tools. From the study, it was found that the most

### 1. บทนำ

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล นำไปใช้ เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ ความร้อนที่ได้ถูกนำไปผลิตไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิต ได้นำไปใช้ประโยชน์ในสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการใช้ในกระบวนการ ผลิตน้ำตาล เช่น ใช้ไอน้ำในการขับกังหันเพื่อสร้างพลังงานกลในการหีบ อ้อย ส่วนที่สองใช้ในการขับกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การเผาไหม้ชาน อ้อยที่สมบูรณ์ในเตาเผาไหม้นั้นเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง เพราะ เป็นการใช้ชานอ้อยให้เกิดประโยชน์สูงสุด การไหลของอากาศในเตาเผา ไหม้นั้นส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้โดยตรง เพราะการไหลของอากาศในเตาเผา ไหม้นั้นส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้โดยตรง เพราะการไหลของอากาศต้อง กระจายทั่วทั้งห้องเผาไหม้ และมีความปั่นป่วน เพื่อที่จะทำให้ชานอ้อยกับ อากาศสามารถผสมกันได้อย่างทั่วถึง การศึกษาทิศทางการไหลเข้า เตาเผาไหม้ของอากาศในชั้นทุติยภูมินั้นมีความสำคัญ เพราะทิศทางการ ไหลเข้าเตาเผาไหม้ของอากาศในชั้นทุติยภูมิส่งผลต่อการกระจายตัว ของ อากาศ และความปั่นป่วนของอากาศภายในเตาเผาไหม้

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศในเตาเผาไหม้โดยตรงนั้น ทำได้ยาก ในที่นี้นำระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มา ประยุกต์ใช้กับปัญหาการไหลของอากาศในเตาเผาไหม้ เพราะเป็นวิธีที่มี

turbulent flow is in the middle of furnace. In the present air port system, the directions of the air flow have low velocity at the outlet and high turbulent in the middle of the furnace at 170°, 190° and 210° measured from the horizontal plane. For the modified air port system, the direction of the air flow has low velocity at the outlet and high turbulent in the middle of the furnace as 170°. From the comparison, it was observed that the air flow from the modified air port system has lower velocity at the outlet and more turbulent intensity than that from the present air port system at the angel ( $\theta$ ) of 170°.

<sup>\*</sup> Corresponding author

ประสิทธิภาพสูงช่วยในการออกแบบเตาเผาไหม้ได้เร็วขึ้น ประหยัดเวลา และ ค่าใช้จ่าย

ปี ค.ศ. 2001 Wei Dong. [1] ได้ศึกษาระบบอากาศที่ทำให้มลพิษ จากการเผาไหม้ลดลงในหม้อไอน้ำแบบสโตกเกอร์เคลื่อนที่ขนาด 25 เมกะวัตต์ ศึกษาโดยเพิ่มระบบอากาศในเตาเผาซึ่งเรียกว่า Ecotube และทำการ ดิดตั้งในเตาเผาไหม้ด้วยกันสามตำแหน่ง ในบริเวณทางเข้าของหม้อไอน้ำซึ่ง ใช้ถ่านหิน และเชื้อเพลิงชีวมวล การศึกษาแบ่งเป็นสี่กรณี กรณีที่หนึ่งนั้น เป็นแบบปัจจุบันคือไม่มีการดิดตั้ง Ecotube กรณีที่สองมีการติดตั้ง Ecotube อยู่สูงเหนือตะกรับ 2 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต่ำที่สุด กรณีที่สาม มีการติดตั้ง Ecotube อยู่สูงเหนือตะกรับ 3 เมตร กรณีที่สี่มีการติดตั้ง Ecotube อยู่สูงเหนือตะกรับ 5 เมตรซึ่งเป็นตำแหน่งสูงสุด ใช้โปรแกรม FLUENT ในการคำนวณหาผลเฉลย ผลปรากฏว่าในกรณีที่สองการเผา ใหม้สมบูรณ์ที่สุด ในกรณีที่สี่ให้ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (No.)ต่ำที่สุด

Paul Chapman. [2] ได้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการสึกหรอของ ท่อน้ำในหม้อไอน้ำ โดยการศึกษาพฤติกรรมการไหล ของก๊าซเสียจาก การเผาไหม้ ใช้โปรแกรม FLUENT พบว่าที่สภาวะการไหลของกรณีที่ใช้ อยู่ในปัจจุบัน ก๊าซเสียเกิดการหมุนวนภายในเตาเผาไหม้ ส่งผลให้ก๊าซ เสียส่วนหนึ่งไหลชนกับผนังเตาด้านหน้า ซึ่งมีท่อน้ำติดอยู่ด้วย ทำให้ท่อ น้ำเกิดการสึกหรอเร็ว ดังนั้นจึงมีการออกแบบระบบอากาศใหม่ และให้ผล พฤติกรรมการไหลเปลี่ยนไป โดยทำให้ลำธารการไหลย้ายจากบริเวณผนัง เตาไปบริเวณกลางเตา

ในปี ค.ศ. 2000 Woodfield, P.L. [3] ศึกษาการเผาไหม่ใน เตาเผาไหม้ของหม้อไอน้ำชนิดสโตกเกอร์แบบกระจาย ซึ่งใช้ชานอ้อยเป็น เชื้อเพลิง มีขนาด 109 เมกกะวัตต์ โดยศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการ เนื่องจากการเผาใหม้ไม่มีเสถียรภาพเพราะใช้ชานอ้อยเป็น เผาไหม้ เชื้อเพลิง ซึ่งมีความชื้นสูงอยู่ในช่วง 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไป พฤติกรรมความไม่เสถียรของเตาเผาไหมั ทำให้เกิดการระเบิดอย่าง รุนแรงซึ่งทำให้เตาเผาไหม้เกิดความเสียหาย ในการศึกษาใช้ระเบียบ ้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ใช้ไพล้อตทิ้ววัดการไหลของอากาศ ในงานจริง วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัพเปิ้ล และเก็บตัวอย่างชานอ้อย ทั้งผลของการจำลองและการทดลอง มาวิเคราะห์ขนาดของความชื้น แสดงผลเป็น วัฐจักรซึ่งอุณหภูมิก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว 300-600 <sup>°</sup>c และลดลงอย่างช้าๆ จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความถี่ของ การขึ้นลงสำหรับการจำลองมีมากกว่าการวัด

## 2.ทฤษฎีการคำนวณ

การไหลในที่นี้เป็นการไหลแบบสามมิติเกิดขึ้นที่สภาวะคงตัวโดย ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ คำนวณด้วยระเบียบวิธีการปริมาตรสืบเนื่อง ใช้กริดแบบเยื้องกัน และใช้ SIMPLEC algorithm ในการคำนวณหา ความเร็ว *u<sub>i</sub>* และความดัน *p* สมการการไหลพื้นฐานของการไหลคือ สมการความต่อเนื่องและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมที่ใช้ความเร็วเฉลี่ยเป็น ดัวแปรตาม สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\rho \bar{u_j} \frac{\partial \bar{u_i}}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u_j}}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$
(2)

เมื่อ  $au_{ij}=ho u_i u_j^{'}$ เป็นค่า Reynolds stress

เนื่องจากมีตัวแปรมากกว่าสมการ โดยที่มีตัวแปร  $au_{ij}$  เพิ่มขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วนมาช่วยในการคำนวณ ซึ่งใน ที่นี้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Standard  $k - \varepsilon$  ซึ่งในแบบจำลองนี้ใช้ Boussinesq approximation ในการหาค่า Reynolds stress ดังนี้

$$\tau_{ij} = -\frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} + \mu_i \left( \frac{\partial \bar{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u_j}}{\partial x_i} \right)$$
(3)

ซึ่งเมื่อแทนค่า Reynolds stress ลงในสมการโมเมนตัม (สมการ (2)) จะ ได้

$$\rho \bar{u_j} \frac{\partial \bar{u_i}}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p^*}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial \bar{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u_j}}{\partial x_i} \right) \right]$$
(4)

โดยเทอม ของ Modified pressure  $\left(p^*
ight)$  และ Effective viscosity  $\left(\mu_{\scriptscriptstyle eff}
ight)$  สามารถนิยามได้ดังนี้

$$p^{*} = p + \frac{2}{3}\rho k, \mu_{eff} = \mu + \mu_{t}, \mu_{t} = c_{\mu}\rho \frac{k^{2}}{\varepsilon}$$
(5)

สมการ Transport equation ของ Turbulent kinetic energy ( k ) และ Dissipation rate ( $\mathcal E$ )

$$\rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - \rho \varepsilon$$
(6)

$$\rho u_{j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_{j}} = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left( \frac{\mu_{t}}{\sigma_{\varepsilon}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_{j}} \right) + c_{1\varepsilon} G \frac{\varepsilon}{k} - c_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^{2}}{k}$$
(7)

เมื่อ G คือ Rate of turbulent kinetic energy production ซึ่งนิยามโดย

$$G = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$
(8)

และค่าคงที่ต่างๆใน  $k-{\mathcal E}$  Model แสดงได้ดังนี้

$$c_{\mu} = 0.09, c_{1\varepsilon} = 1.44, c_{2\varepsilon} = 1.92, \sigma_{k} = 1.0, \sigma_{\varepsilon} = 1.3$$

บริเวณใกล้ผนังจะมีผลของ Viscous sublayer ซึ่งมีอิทธิพลต่อการไหล ค่า ความเร็วที่บริเวณใกล้ผนังนี้คำนวณได้โดยใช้วิธี Standard wall function 3.รายละเอียดของปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะรูปร่างการไหลของอากาศ ภายใน เตาเผาไหม้แบบ Spreader/stoker type bagasse – fired boiler การศึกษา แบ่งเป็นสองกรณีหลัก กรณีแรกคือระบบอากาศแบบปัจจุบันซึ่งแสดงดัง ภาพที่ 1(ก) กรณีที่สองเรียกว่าระบบอากาศที่ปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 1(ข) ซึ่ง เพิ่มระบบอากาศในชั้นตดิยภูมิ และ ทั้งสองกรณีทำการแปรทิศทางการไหล ของอากาศในช่องทางการไหลชั้นทุติยภูมิตามค่ามุม hetaดังนี้คือ 150° 160° 165° 170° 175° 180° 185° 190° 195° 200° 210°

ระบบอากาศแบบปัจจุบันนั้น ประกอบไปด้วยช่องทางการไหลเข้าของ อากาศต่าง ๆดังนี้คือ ช่องทางการไหลปฐมภูมิ (Primary air) ช่องทางการ ไหลทุติยภูมิ (Secondary air) และช่องทางการไหลกระจายชานอ้อย (Spreader air) ช่องทางการไหลชั้นปฐมภูมิ คือบริเวณพื้นที่ด้านล่างของ เตาเผาไหม้ อากาศไหลเข้าด้วยความเร็ว ระหว่าง 1 ถึง 1.75 เมตรต่อวินาที ช่องทางการไหลชั้นทุติยภูมิ ใช้ช่องทางการไหลแบบสี่เหลี่ยม ผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.015 เมตร ยาว 0.11 เมตร จำนวน 170 ช่อง มีเฉพาะ ด้านหลังของเตา ตำแหน่งอยู่เหนือสโตกเกอร์ 1.5 เมตร ความเร็วของ อากาศไหลเข้าห้องเผาไหม้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 80 เมตรต่อวินาที ช่อง ทางการไหล ของ Spreader air ใช้ช่องทางการไหลขนาด กว้าง 0.2 เมตร ยาว 0.6เมตร มีด้วยกัน 8 ช่อง มีเฉพาะด้านหน้าของเตา ตำแหน่งอยู่เหนือ สโตกเกอร์ 1.75 เมตร ความเร็วของอากาศไหลเข้าห้องเผาไหม้อยู่ระหว่าง 7 ถึง 15 เมตรต่อวินาที



ภาพที่1 แบบจำลองทางกายภาพ (ก) ระบบอากาศแบบปัจจุบัน (ข) ระบบอากาศแบบที่ปรับปรุง

ระบบอากาศที่ปรับปรุง เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศใน แบบปัจจุบันนั้น ถูกตั้งข้อสมมติว่าให้การไหลของอากาศที่ทำให้การเผา ไหม้ไม่สมบูรณ์เหลือปริมาณคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ ออกจากเตาเผา มาก ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงระบบอากาศ โดยการเพิ่มช่องทางการไหลใน ชั้นตติยภูมิ เพื่อให้การไหลของอากาศที่ออกจากช่องทางการไหลในชั้น ตติยภูมิ มาควบคุมการไหลของอากาศไม่ให้ออกจากห้องเผาไหม้ร็ว เกินไป และช่วยเสริมสร้างความปั่นป่วนภายในเตาเผาไหม้มากขึ้น ช่องทางการไหลชั้นตติยภูมิ มีขนาด กว้าง 0.015 เมตร ยาว 0.11 เมตร จำนวน 170 ช่อง มีเฉพาะด้านหน้าของเตา ดำแหน่งอยู่เหนือสโตกเกอร์ 6.5 เมตร ความเร็วของอากาศไหล เข้าห้องเผาไหม้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 80 เมตรต่อวินาที แบบจำลองการไหลสร้างขึ้นบนสมมติฐาน คือ เป็นปัญหาการไหลใน 3 มิติ ที่สภาวะคงตัว และเป็นการไหลแบบปั่นป่วน โดยไม่คำนึงถึงอิทธิพล ของความร้อน อากาศเป็นของไหลไม่อัดตัว และสมบัติคงที่ ในที่นี้ให้อากาศ มีความหนาแน่น (ρ) 1.225 kg/m<sup>3</sup> และมีความหนึดสมบูรณ์ (μ) 1.7894×10<sup>5</sup> N.s/m<sup>2</sup>

### 4. การตรวจสอบผลเฉลย

การตรวจสอบผลการคำนวณเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในผลเฉลยจาก การคำนวณด้วยระเบียบวิธีการปริมาตรสืบเนื่อง นั้นกระทำโดย ได้ศึกษา ปัญหาการไหลของอากาศในเตาเผาไหม้สำหรับการศึกษาปัญหาการไหล ในครั้งนี้ ได้นำปัญหาการไหลในเตาเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ซึ่งนำเสนอ โดย W. Blasiak [4] ขนาด 230 เมกกะวัตต์ สูง 40 เมตร กว้าง 10 เมตร ยาว 10 เมตร จำนวนของเซลล์ทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ 170,000 เซลล์มี ช่องทางการไหลในชั้นทุติยภูมิ 122 ช่อง ขั้นที่สอง 61 ช่อง และขั้นตติยภูมิ 24 ช่อง ปัญหาการไหลของอากาศในเตาเผาไหม้ มีความสลับซับซ้อนมาก ไม่ สามารถหาผลเฉลยแม่นตรงได้โดยตรง จากการหาผลเฉลยโดยวิธีการปริมาตร สืบเนื่อง นำมาเปรียบเทียบผลกับ ผลการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข ของ W. Blasiak ผลที่ได้สามารถยอมรับได้ [8]

## 5.ผลการศึกษาและวิจารณ์ 5.1 ระบบอากาศปัจจุบัน

ผลจากแปรทิศทางการไหลของอากาศในชั้นทุติยภูมิทุกทิศทาง ให้ พฤติกรรมการไหลของอากาศที่ชั้นทุติยภูมิในลักษณะหมุนวน รอบแกน z ทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่มีขนาดความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้ และ บริเวณพื้นผิวทางออกต่างกันที่มุม *θ* เท่ากับ 170<sup>°</sup> 190<sup>°</sup>และ 210<sup>°</sup> ให้ค่า ความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้สูง และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น ของความปั้นป่วนสูงด้วย ซึ่งได้แสดงตัวอย่างผลการคำนวณในรูปของ คอนทัวร์ความเร็วดังภาพที่ 2

ผลเมื่อเพิ่มอัตราการไหล ให้พฤติกรรมการไหลของอากาศเหมือนกัน แต่มีขนาดความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้ และบริเวณพื้นผิวทางออกที่ มากกว่ากรณีอัตราการไหนน้อยกว่า ที่มุม θ เท่ากับ 170° 190°และ 210°ให้ค่าความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้สูง และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความ หนาแน่นของความปั้นป่วนสูงด้วย

สำหรับมุมของช่องทางการไหลของอากาศในชั้นทุติยภูมิ (θ) น้อยกว่า 180° ซึ่งทิศทางต้านทิศการไหลของอากาศบริเวณเซลล์หมุนวนใกล้กับช่อง ทางการไหลชั้นทุติยภูมิ ส่งผลให้อากาศที่ไหลจากช่องทางการไหล ทุติยภูมิ ออกมาผสมกับอากาศบริเวณเซลล์หมุนวน จากภาพที่ 2 ที่มุม (θ) เท่ากับ 150° ซึ่งเป็นมุมที่มีทิศทางต้านทิศการไหลของอากาศบริเวณเซลล์หมุนวน มาก ส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้อยู่ในระดับต่ำ





ภาพที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของความปั่นป่วน ที่อัตราการไหล 6,800 กับ 7,500 *m*³ / *hr* 

สำหรับมุมของช่องทางการไหลของอากาศในชั้นทุติยภูมิ (θ) เท่ากับ 180<sup>°</sup> พิจารณาภาพที่ 4 อากาศไหลเข้าเตาเผาไหม้ในแนวราบ ทำให้ด้านกับ อากาศบริเวณเซลล์หมุนวนใกล้กับบริเวณช่องทางการไหลชั้นทุติยภูมิ และ เนื่องจากปริมาณอากาศที่น้อยกว่าอากาศบริเวณเซลล์หมุนวนทำให้อากาศ จากช่องทางการไหลทุติยภูมิ (θ) เท่ากับ 180<sup>°</sup> จึงมีทิศทางการไหลของ อากาศตามทิศทางการไหลของอากาศบริเวณเซลล์หมุนวน จากผลดังกล่าว ทำให้อากาศที่ออกจากช่องทางการไหลทุติยภูมิผสมกับอากาศบางส่วนของ บริเวณเซลล์หมุนวนมีความเร็วลดลง ทำให้ความเร็วในเตาเผาไหม้อยู่ใน ระดับต่ำ ส่งผลให้ค่าความเร็วเฉลี่ย และค่าความหนาแน่นของความ ปั้นป่วนก็ต่ำด้วยดังแสดงในภาพที่ 5-6

สำหรับมุมของช่องทางการไหลของอากาศในชั้นทุติยภูมิ (heta) มากว่า 180<sup>°</sup> ซึ่งทิศทางการไหลของอากาศเข้าเตาเผาไหม้มีความคล้อยตามทิศ ทางการไหลของอากาศบริเวณเซลล์หมุนวน ส่งผลให้อากาศที่ไหลจากช่อง ทางการไหลทุติยภูมิออกมาผสมกับอากาศบริเวณเซลล์หมุนวน เนื่องจากมี ทิศทางคล้อยตามกันทำให้ยังสามารถรักษาสภาพความเร็วอยู่ในระดับสูงได้



ภาพที่ 2 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม *Ө* เท่ากับ 150<sup>°</sup> ของระบบอากาศปัจจุบัน



ภาพที่ 3 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม *Ө*เท่ากับ 180<sup>°</sup> ของระบบอากาศปัจจุบัน



ภาพที่ 4 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม heta เท่ากับ 210 ของระบบอากาศปัจจุบัน



ภาพที่ 9 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม heta เท่ากับ 210 ของระบบอากาศที่ปรับปรุง



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณพื้นที่หน้าตัดทางออก และความเร็วเฉลี่ย ภายในเตาเผาไหม้



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความหนาแน่นของความปั่นป่วน

## 5.2 ระบบอากาศที่ปรับปรุง

เมื่อมีการปรับปรุงระบบอากาศ โดยเพิ่มช่องทางการไหลชั้นตติยภูมิ ซึ่งได้แสดงตัวอย่างผลการคำนวณในรูปของเวคเตอร์ความเร็วดังภาพที่7-9



ภาพที่ 7 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม heta เท่ากับ 150  $\degree$  ของระบบอากาศที่ปรับปรุง



ภาพที่ 8 แสดงคอนทัวร์ความเร็วที่มุม heta เท่ากับ 180  $^{\circ}$ ของระบบอากาศที่ปรับปรุง

พฤติกรรมการไหลของอากาศมีความแตกต่างจากระบบอากาศแบบปัจจุบัน บริเวณด้านบนของเตาเผาไหม้ ซึ่งพบว่าที่มุมของช่องทางการไหลชั้นทุติยภูมิ (heta) มากขึ้น และมุมที่น่าสนใจ คือมุม heta เท่ากับ 170 เพราะให้ความเร็ว เฉลี่ยที่พื้นผิวทางออกต่ำสุด และให้ค่าความเร็วเฉลี่ยภายในสูงสุด และ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของความปั่นป่วนสูงตามดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 11 เวคเตอร์ของความเร็วที่ระนาบกลางเตาเผาไหม้

#### 5. สรุปผล

จากผลคำนวณทุกกรณีบ่งบอกถึง พฤติกรรมการไหลของอากาศที่มี การหมุนวนของอากาศขนาดใหญ่หนึ่งเซลล์ ในลักษณะหมุนวนรอบแกน z ทิศทางตามเข็มนาพิกา ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณกลางเตาเผาไหม้ดังภาพที่ 11 สำหรับกรณีการไหลที่ไม่เพิ่มช่องทางการไหลชั้นตติยภูมิ เมื่อเพิ่มอัตรา การไหลส่งผลให้ความเร็วของอากาศที่ทางออกเตาเผาไหมัเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในทุกทิศทางการไหลของอากาศเข้าในชั้นทุติยภูมิ แต่ความเร็วเฉลี่ยที่ ทางออกที่มีค่าต่ำสุดอยู่ที่มุม  $heta=180^\circ$  เพราะอากาศไหลเข้าเตาเผาไหม้ ในแนวราบ ทำให้ต้านกับอากาศบริเวณเซลล์หมุนวนใกล้กับบริเวณช่องทาง การไหลชั้นทุติยภูมิ และเนื่องจากปริมาณอากาศที่น้อยกว่าอากาศบริเวณ เซลล์หมุนวนทำให้อากาศจากช่องทางการไหลทุติยภูมิ (heta) เท่ากับ 180  $\degree$ จึง มีทิศทางการไหลของอากาศตามทิศทางการไหลของอากาศบริเวณเซลล์หมุน ้วน จากผลดังกล่าว ทำให้อากาศที่ออกจากช่องทางการไหลทุติยภูมิผสมกับ อากาศบางส่วนของบริเวณเซลล์หมุนวนมีความเร็วลดลง ทำให้ความเร็ว ในเตาเผาไหม้อยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้ค่าความเร็วเฉลี่ย และค่าความ หนาแน่นของความปั่นป่วนต่ำด้วย และมุมที่น่าสนใจ นั้นทั้งสองกรณีให้ผล สอดคล้องกันคือมุม heta เท่ากับ 170 190 และ 210 ในกรณีเพิ่มช่อง ทางการไหลชั้นตติยภูมิอากาศที่ไหลผ่านช่องทางดังกล่าวจะเข้าไปทำลาย ฐปร่างการหมุนวนได้เพียงเล็กน้อย มีเพียงมุม heta เท่ากับ 170 เท่านั้นที่ ให้ค่าความเร็วเฉลี่ยภายในเตาเผาไหม้สูง และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความ หนาแน่นของความปั่นป่วนสูง

#### สัญลักษณ์

$c_{1}$ , $c_{2}$ , $c_{3}$ , $\sigma_{1}$ , $\sigma_{2}$	ค่าคงที่จากการทดลอง
$\mathcal{E}_{\mu}, \mathcal{E}_{1\varepsilon}, \mathcal{E}_{2\varepsilon}, \mathcal{E}_{k}, \mathcal{E}_{\varepsilon}$	
p	Mean pressure
$\overline{U}$	Mean velocity
<i>u</i> ′	Fluctuating velocity
k	Turbulence kinetic energy
Greek Symbols	
$\delta_{_{ij}}$	Kronecker delta tensor
ε	Dissipation rate
$\mu_t$	Eddy viscosity
$ au_{ij}$	Reynolds Stress tensor
Subscripts	
l, j, k	Cartesian index
т	Turbulence
Superscripts and Overbars	
í.	Fluctuating quantity
-	Mean quantity
เอกสารอ้างอิง	

#### 011011001000

- Wei Dong and Wlodzimierz Blasiak. CFD modeling of Ecotube system in coal and waste grate combustion. International Journal of Energy Conversion and Management. [serial online] 2001; Volume42: 1887-1896.
- Paul Chapman, ABB Power Plant Laboratories. Combustor Design and Modification Integrates Computational Fluid Dynamics. [cited 20 October 2003]. from http:// www.fluent.com/solutions/articles/ja068.pdf
- Woodfield, P.L. Computationnal modelling of combustion instability in bagasse-fired furnaces. International Journal of Experimental Thermal and Fluid Science [serial online] 2000; Volume21: 17-25.
- W.Blasiak, Tao, L. Vaclavinek, J. Lidegran. Modeling of kraft recovery boilers. International Journal of Energy Conversion and Management [serial online] 1997; Volume38: 995 – 1005
- Versteeg HK, Malalasekera W. An Introduction to Computationnal Fluid Dynamics. The finite volume method, Essex, England: Longman Scientific & Technical; 1995.
- 6. FLUENT Inc. Fluent 6.0 Documentation: User's Guide; 1998.
- สัญชัย รำเพยพัด. การจำลองเชิงตัวเลขการไหลของอากาศใน เตาเผาไหม้ชานอ้อย [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547.