

การตรวจสอบอิทธิพลของการไหลหมุนควงในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผง
สำหรับหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลข

Investigation on Effect of Swirling Flow in the Pulverized Biomass Burner for
Industrial Boiler by Using Numerical Simulation

พงศนันท์ แก่นพรม, นิวัฒน์ สุขสาม, จารุวัตร เจริญสุข และ ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ: โทรศัพท์ : 023 264 197 , โทรสาร : 023 264 198, E-mail : kjvipa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบอิทธิพลของการไหลหมุนควงด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติ ที่กำลังความร้อน 500 kW โดยการเปลี่ยนมุมของใบพัดของตัวสร้างการหมุนควงแบบรัศมี ขนาดมุม 60,80 และ 100 องศา และทำการตัดแปลงการจำลองโดยการเปลี่ยนเงื่อนไขเริ่มต้น ผลการจำลองทั้งสองแบบพบว่าเมื่อมีมุม 100 องศาเท่านั้นที่ให้ผลลัพธ์เข้าสู่คำตอบ สอดคล้องกับการทดลองของ ชินภัทร ฐุการ และคณะ ที่พบว่าเมื่อมุมของใบพัดเท่ากับ 60 และ 80 องศาการไหลหมุนควงมีความรุนแรงน้อยจนไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟ เมื่อทำการคำนวณตัวเลขการหมุนควงพบว่าที่มุม 60,80 และ 100 องศา มีค่าเท่ากับ 0.15,0.48, และ 0.94 ตามลำดับ จากนั้นทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองโดยใช้มุมของใบพัดเท่ากับ 100 องศาพบว่าตัวเลขการหมุนควงเพิ่มขึ้นเป็น 51.06% ทำให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงและปฏิกิริยาการเผาไหม้สิ้นสุดภายในเตาเผา

คำหลัก: การไหลหมุนควง; เชื้อเพลิงชีวมวล; การจำลองการเผาไหม้

Abstract

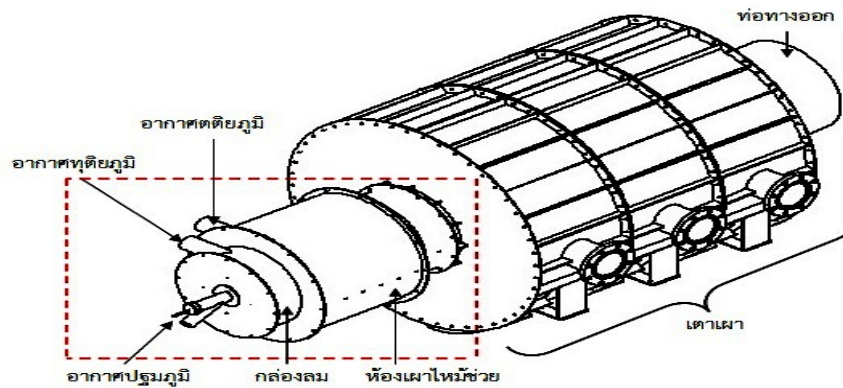
This research aims at the investigation on effect of swirling flow with 3D numerical simulations of 500 kW thermal throughput biomass combustor by changing the angle of blade in the radial-type swirl generator with 60, 80 and 100 degrees. The model was then modified at inlet for simplicity and reduction of computer resource while maintaining predictive quality at acceptable level. The simulation results showed that only 100 degree angle that gives the result converges to answer in accordance with the experimental by Chinnapat Turakarn et al where it had been reported that when the angle is 60 and 80 degrees swirling flow is less and unable to stabilize the flame. When calculating the swirl number, it was found that for 60, 80 and the 100 degree angles, the swirl number were at 0.15, 0.48 and 0.94, respectively. The installation of the second swirler at 100 degree resulted in an increase in swirl number for 51.06%. Consequently, higher temperature was evident and the reaction was completed inside a furnace.

Keywords: Swirling flow; Biomass; Combustion simulation

1. บทนำ

การใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากนโยบายส่งเสริมการผลิตการใช้พลังงานทดแทน โดยใช้งานอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน [1] พบว่าการใช้พลังงานทดแทน จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนมากที่สุด โดยมีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (wood pellets) มาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในส่วนของการผลิตพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบ

เชื้อเพลิงคือ หัวเผา (burner) ซึ่งนำความร้อนที่ได้ไปผลิตไอน้ำ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดี หัวเผาจะต้องพัฒนาให้เหมาะสมกับขนาดกำลังความร้อนที่ใช้ ในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ อิทธิพลการไหลหมุนควงของอากาศเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่มีวิจัยเลือกทำการศึกษา

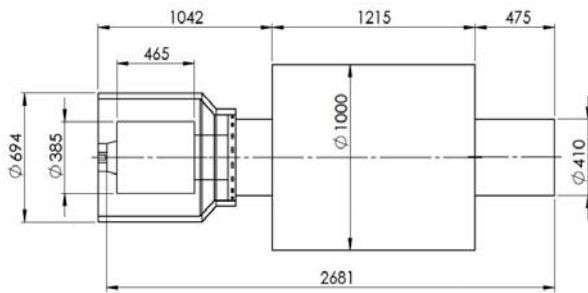
สำหรับการศึกษาในอดีต ชินภัทร ฐรการ และคณะ [2] ทำการจำลองการเผาไหม้ด้วยวิธีการเชิงตัวเลขแบบ 2 มิติ และทำการทดลองหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบผงที่มีห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) ขนาด 500 kW พบว่าที่อัตราส่วนอากาศเท่ากัน มุมของใบพัดของตัวสร้างการหมุนควงการเผาไหม้ที่ 100 องศา ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ดี และรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟไม่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เป่าดับ (blow off) เมื่อเทียบกับมุมที่ต่ำกว่า

งานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นจากการนำเงื่อนไขการทดลองการเผาไหม้ 500 kW ของ ชินภัทร ฐรการ [2] และคณะ มาทำการจำลองด้วยวิธีการเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติ โดยกำหนดมุมของใบพัดเท่ากับ 60, 80 และ 100 องศา จากนั้นนำผลการจำลองที่ได้ในรูปของความเร็วตามแนวแกน (axial velocity) และความเร็วตามแนวสัมผัส (tangential velocity) มาคำนวณหาตัวเลขการหมุนควง (swirl number) ตามที่ H.J. Sheen และคณะ [3] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณตัวเลขการหมุนควงของตัวสร้างการหมุนควงแบบรัศมี (radial type swirl generator) จากนั้นนำค่าองค์ประกอบความเร็ว (velocity component) ที่ได้มาจำลองใหม่เพื่อการเข้าสู่ผลลัพธ์ที่เร็วขึ้น ทีมวิจัยคาดว่า หากสามารถเพิ่มตัวเลขการหมุนควงการไหลของอากาศทุติยภูมิ (secondary air) จะ

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากก่อให้เกิดกระแสไหลวนกลับ [4] ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มอัตราส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศ ตลอดจนรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟและมีการเผาไหม้ที่รุนแรงขึ้น [5-6] ดังนั้นทีมวิจัยจึงทำการจำลองนำตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง ที่มีมุมของใบพัดเท่ากับ 30 องศา มาติดตั้งที่ช่องทางออกของลมกล่องลม จากนั้นนำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง

2. ส่วนประกอบของระบบ

จากรูปที่ 1 ส่วนที่อยู่ในกรอบเส้นประคือหัวเผา ซึ่งประกอบไปด้วยท่อทางเข้าอากาศสามส่วน กล่องลม (wind box) และห้องเผาไหม้ช่วย สำหรับอากาศทั้งสามส่วนประกอบด้วยอากาศปฐมภูมิ (primary air) อากาศทุติยภูมิ (secondary air) และ อากาศตติยภูมิ (tertiary air) โดยอากาศปฐมภูมิ ทำหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา อากาศทุติยภูมิทำหน้าที่ลำเลียงอากาศเข้าสู่กล่องลม ซึ่งภายในติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงการเผาไหม้แบบรัศมี สามารถปรับมุมของใบพัดได้ตั้งแต่ 60 - 100 องศา ทำให้เกิดการหมุนควงการไหลของอากาศ ส่วนอากาศตติยภูมิจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างผนังด้านนอกของปูนทนไฟกับโครงเหล็กที่ครอบอยู่ แล้วไหลออกบริเวณรอยต่อของห้องเผาไหม้ช่วยกับเตาเผา เพื่อหล่อเย็นห้องเผาไหม้ช่วย และทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วย บริเวณเตาเผารูปทรงกระบอกนั้น ภายในจะได้รับความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ที่ส่วนท้ายของเตาเผาคือท่อทางออกที่เชื่อมต่อกับระบบบำบัดที่มีพัดลมดูดเพื่อสร้างความดันลบ หรือ ID fan สำหรับขนาดของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขนาดของระบบในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

3. การจำลองด้วยวิธีการเชิงตัวเลข

งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT 12.0 ในการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้พิกัดทรงกระบอก r, θ, z เป็นพิกัดอ้างอิง 3 มิติ แบบจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างของไหลกับของแข็งเลือกใช้รูปแบบ discrete phase model แบบจำลองการเผาไหม้เลือกใช้ eddy-dissipation model และรูปแบบการไหลปั่นป่วนเลือกใช้สมการ $k - \epsilon$ มาตรฐาน สำหรับตัวแปรควบคุมในการจำลองแสดงได้ดังตารางที่ 1

การเลือกจำนวนกริดที่เหมาะสม ได้ใช้กริดรูปทรงหลายหน้า (polyhedra) ที่มีจำนวน 485,965, 603,046, 1,438,786 กริด โดยพบว่าจำนวนกริดที่ 603,046 กริดให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการทดลอง เมื่อเทียบกับจำนวน 485,965 และ 1,438,786 กริด ซึ่งไม่สามารถให้ผลการคำนวณที่สอดคล้องกับการทดลอง ดังนั้นจึงใช้กริดที่มีจำนวนเท่ากับ 603,046 กริดในการจำลอง

ตารางที่ 1 ตัวแปรควบคุมในการจำลอง

ตัวแปรควบคุม	ปริมาณ
อัตราป้อนเชื้อเพลิง (kg/s)	0.0317
อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ (kg/s)	0.0223
อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ (kg/s)	0.1449
อัตราการไหลของอากาศตติยภูมิ (kg/s)	0.0557
อากาศส่วนเกินตามทฤษฎี (%)	15
มุมของใบพัด (°)	60,80,100
อุณหภูมิทางเข้าของหัวเผา (K)	313
อุณหภูมิผนังเตา (K)	773
ความดันบรรยากาศ (Pa)	101325
ความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)	-9.81

3.1 ผลการจำลองการเผาไหม้เมื่อเปลี่ยนมุมของใบพัด

ลักษณะการอ้างอิงมุมของใบพัดแสดงได้ดังรูปที่ 3 สำหรับการคำนวณตัวเลขการหมุนควง[3] สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S = \frac{\int_0^R \bar{U} \bar{W} r^2 dr}{R \int_0^R \bar{U}^2 r dr} \quad (1)$$

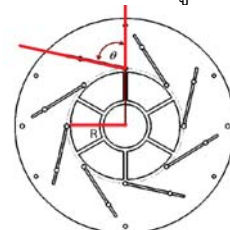
เมื่อ S คือตัวเลขการหมุนควง, \bar{U} คือความเร็วเฉลี่ยตามแนวแกน, \bar{W} คือความเร็วเฉลี่ยตามแนวสัมผัส, r คือตำแหน่งตามแนวรัศมี, R คือรัศมีช่องทางออกของลมทุติยภูมิ การคำนวณองค์ประกอบความเร็วสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\bar{V}_x = \frac{\bar{U}}{\sqrt{\bar{U}^2 + \bar{W}^2}} \quad (2)$$

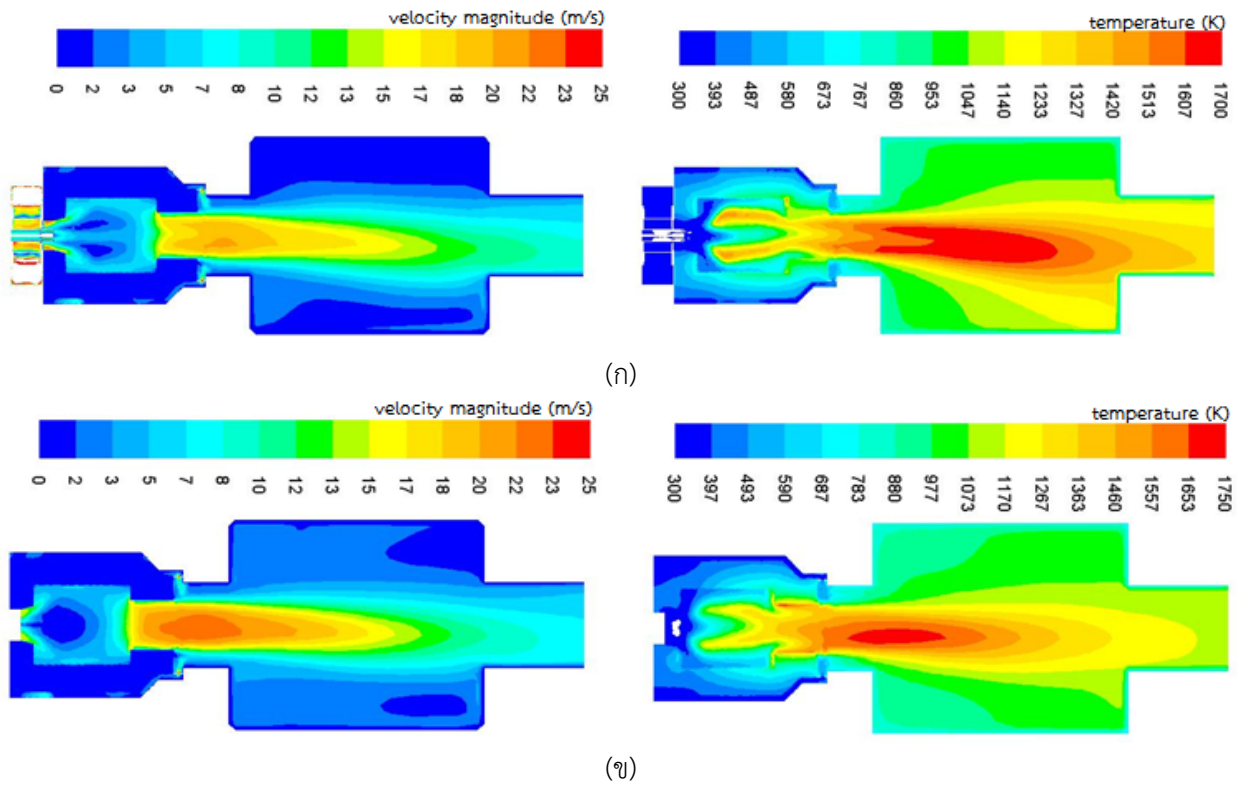
$$\bar{V}_z = \frac{\bar{W}}{\sqrt{\bar{W}^2 + \bar{U}^2}} \quad (3)$$

เมื่อ \bar{V}_x และ \bar{V}_z คือองค์ประกอบความเร็วตามแนวแกน และองค์ประกอบความเร็วตามแนวสัมผัสตามลำดับโดย $\sqrt{\bar{V}_x^2 + \bar{V}_z^2} = 1$

ผลการจำลองพบว่าที่มุมของใบพัดเท่ากับ 60 และ 80 องศาไม่เข้าสู่ค่าตอบ เกิดจากการไหลหมุนควงในหัวเผาไม่เพียงพอ ทำให้ความร้อนถูกเป่าออกไป จึงไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟไว้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ชินภัทร ชูการ และคณะ[2] ที่พบว่าเมื่อมุมของใบพัดเท่ากับ 60 องศาการไหลหมุนควงในห้องเผาไหม้มีความรุนแรงน้อยมากจนไม่สามารถสร้างกระแสความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้ช่วยได้ ในขณะที่มุม 80 องศาความรุนแรงของการไหลหมุนควงยังคงน้อยกว่ามุม 100 องศาซึ่งเสี่ยงต่อการเป่าดับของเปลวไฟ ขณะที่ผลการจำลองมุมของใบพัดเท่ากับ 100 องศาเข้าสู่ค่าตอบ โดยมีการกระจายความเร็วและการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้แสดงได้ดังรูปที่ 4 (ก)



รูปที่ 3 การวัดขนาดมุมของใบพัด



รูปที่ 4 ผลการจำลองการกระจายความเร็ว และการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ที่มุมของไบบิตเท่ากับ 100 องศา (ก) การจำลองปกติ (ข) การจำลองโดยดัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้า

ผลการจำลองจะแสดงเพียงการจำลองที่ใช้มุมของไบบิตเท่ากับ 100 องศา ซึ่งเป็นกรณีเดียวที่ลู่อู่เข้าสู่ค่าตอบ ในส่วนของมุม 60 และ 80 องศา จะนำเสนอเพียงตัวเลขการหมุนควงที่ทำให้เห็นว่ามีค่าต่ำกว่ามุม 100 องศาอย่างมาก

3.2 ผลการจำลองการเผาไหม้เมื่อทำการดัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้า

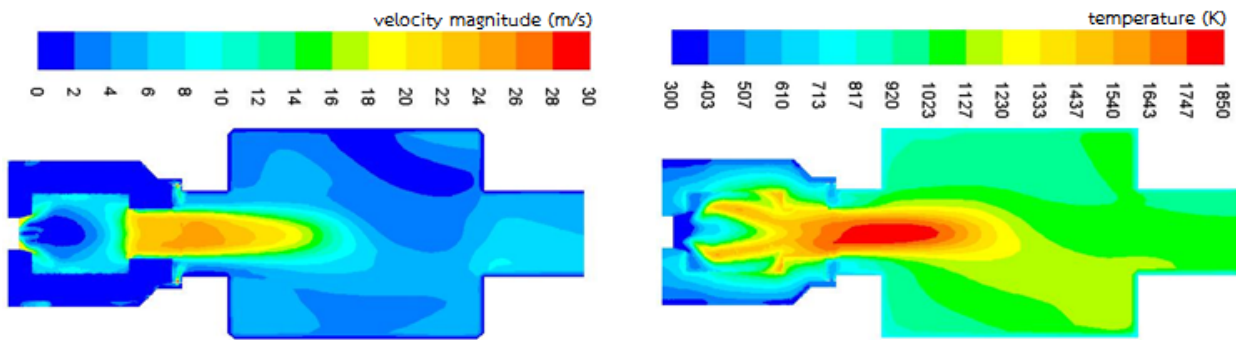
ทำการเปลี่ยนเงื่อนไขทางเข้าของการจำลองด้วยการลดการการคำนวณในส่วนของกล่องลมโดยใช้ค่าความเร็วจากผลการจำลองเดิมช่วงต้นน้ำ (upstream) ที่มีความถูกต้องมาทำการคำนวณหาองค์ประกอบความเร็วตามสมการที่ (2) กับ (3) และคำนวณหาตัวเลขการหมุนควงตามสมการที่ (1) ผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 2 จากนั้นนำองค์ประกอบความเร็วที่ได้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นเข้าสู่การจำลองการเผาไหม้อีกครั้ง ผลการคำนวณที่แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าที่มุมของไบบิตเท่ากับ 60 และ 80 องศา มีค่าตัวเลขการหมุนควงเพียง 0.15 และ 0.48 ตามลำดับ ในขณะที่มุม 100 องศา มีตัวเลขการหมุนควงเท่ากับ 0.94 ผลการจำลองพบว่าที่มุมของไบบิตเท่ากับ 60 และ 80 องศา ไม่ลู่อู่เข้าสู่ค่าตอบ สาเหตุเกิดจากการ

ไหลหมุนควงในห้องเผาไหม้มีความรุนแรงน้อย ในขณะที่มุมของไบบิตเท่ากับ 100 องศา ยังคงให้ผลลัพธ์ลู่อู่เข้าสู่ค่าตอบซึ่งสอดคล้องกับวิธีการจำลองปกติที่ผ่านมาโดยมีผลการจำลองการกระจายความเร็วและอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 4 (ข) จะเห็นว่าข้อดีของการดัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้าของการจำลองคือ เราสามารถกำหนดตัวเลขการหมุนควงในรูปขององค์ประกอบความเร็ว เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการจำลองได้ โดยต้องทราบความเร็วตามแนวแกนและความเร็วตามแนวสัมผัสที่สามารถคำนวณได้จากโปรแกรมเมื่อทำการจำลองที่สภาวะการไหลอย่างเดียวน (cold flow) ซึ่งจะนำวิธีการนี้ไปใช้ในหัวข้อที่ 3.3 ที่ทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

วิธีนี้เพียงแค่ลดเวลาในการคำนวณ ในส่วนของความถูกต้องจะทำการอภิปรายในหัวข้อที่ 4 ต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณตัวเลขการหมุนควง

มุม	\bar{U}	\bar{W}	\bar{V}_x	\bar{V}_z	S
60	8.31	1.90	0.98	0.22	0.15
80	6.60	4.71	0.81	0.58	0.48
100	6.11	8.55	0.58	0.81	0.94



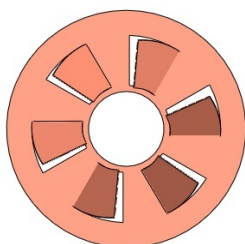
รูปที่ 5 ผลการจำลองการกระจายความเร็ว และการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ที่มีมุมของใบพัดเท่ากับ 100 องศา เมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

3.3 ผลการจำลองการเผาไหม้เมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

จากผลการจำลองการเผาไหม้ เมื่อใช้มุมของใบพัด ทั้งสามมุม พบว่าเมื่อทำการจำลองปกติและการจำลองแบบตัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้าโดยลบส่วนกล่อลมออก มีเพียงมุม 100 องศาเท่านั้นที่ผลการจำลองสู่เข้าสู่ค่าตอบ และมีตัวเลขการหมุนควงสูงสุด ดังนั้นจึงทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองที่มุมองศาในที่บริเวณทางออกของกล่อลม เพื่อเพิ่มอิทธิพลการไหลหมุนควงในรูปของตัวเลขการหมุนควง ลักษณะของตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองแสดงได้ดังรูปที่ 6 โดยมีช่องเปิดให้อากาศไหลผ่านจำนวน 6 ช่อง ซึ่งมีจำนวนเท่ากับช่องทางออกของกล่อลม มีใบพัดทำมุม 30 องศา กับช่องเปิด การจำลองจะใช้วิธีดังหัวข้อที่ 3.2 จากข้อที่ได้กล่าวไปแล้ว สำหรับการคำนวณองค์ประกอบความเร็วและตัวเลขการหมุนควงเมื่อติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณตัวเลขการหมุนควงเมื่อใช้ตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

มุม	\bar{U}	\bar{W}	\bar{V}_x	\bar{V}_z	S
30	7.21	15.30	0.43	0.91	1.42



รูปที่ 6 ตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

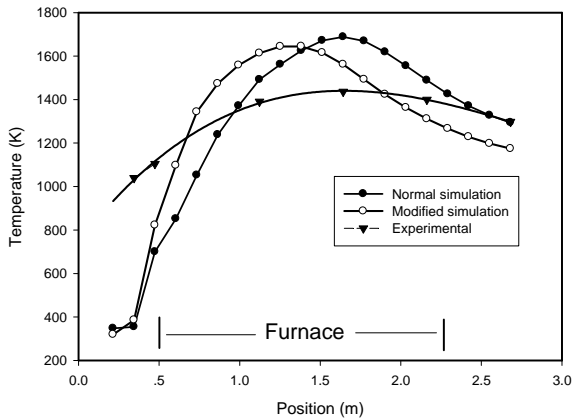
โดยพบว่าตัวเลขการหมุนควงมีค่าเท่ากับ 1.42 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ไม่ถูกติดตั้ง 51.06 % และผลการจำลองการกระจายความเร็วและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้แสดงได้ดังรูปที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้น และมีการกระจายความเร็วที่ต่ำกว่า กรณีไม่ติดตั้ง

งานวิจัยในอนาคตเราจะทำการศึกษาอิทธิพลของการปรับเพิ่มหรือลดขนาดมุมของใบพัดของตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมตัวเลขการหมุนควงได้ตามที่ต้องการเพื่อนำไปใช้จำลองก่อนการทดลองการเผาไหม้จริง

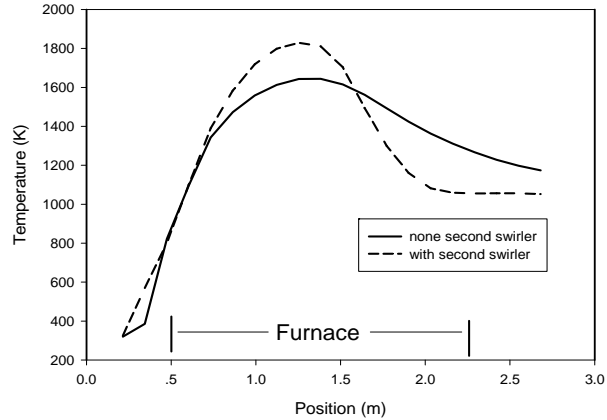
4. อภิปรายผลการจำลอง

4.1 เปรียบเทียบผลการจำลองการเผาไหม้ปกติกับวิธีตัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้า

การจำลองการเผาไหม้เมื่อทำการปรับมุมของใบพัดเท่ากับ 100 องศาปกติเปรียบเทียบกับเมื่อทำการตัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้าในการคำนวณ โดยลบในส่วนของกล่อลมออก จากรูปที่ 7(ก) แสดงกราฟระหว่างอุณหภูมิที่แกนกลางของระบบ ที่มีจุดเริ่มต้นตรงทางออกของกล่อลมถึงท่อทางออกที่เชื่อมต่อระบบบำบัด จะเห็นว่าแม้ทำการตัดแปลงทางเข้าของอากาศทุกตัวให้มีมุมชันน้อยลงแล้ว บริเวณใกล้หัวเผาก็ยังมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการจำลองแบบปกติ ที่รวมกล่อลมเข้าไว้ใน การคำนวณ แต่เมื่อพิจารณาบริเวณเตาเผาถึงท่อทางออก อุณหภูมิมีค่าแตกต่างกัน โดยบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะอยู่ตรงส่วนต้นของเตา ขณะที่การจำลองปกติ นั้น บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะอยู่ที่ตรงกลางถึงส่วนท้ายของเตา แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงการจำลองมีความคลาดเคลื่อน แต่มีข้อสังเกตคือบริเวณอุณหภูมิสูง มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า



(ก)



(ข)

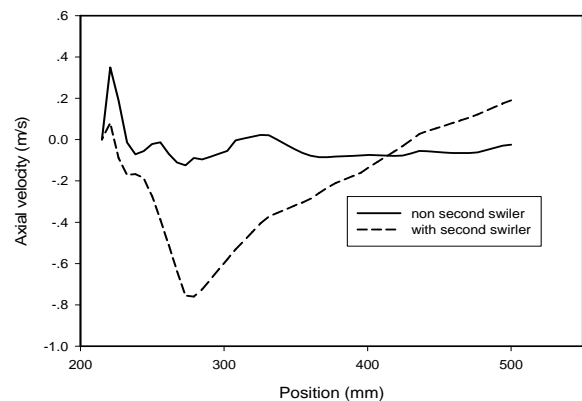
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่งแกนกลางของระบบ
(ก) เปรียบเทียบการจำลองกับการทดลอง (ข) เปรียบเทียบเมื่อติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

ประมาณ 1,600-1,700 K หรือกล่าวได้ว่าการปรับเงื่อนไขที่ทางเข้าให้ง่ายขึ้นโดยการนำส่วนของกล่องลมออกนั้นทำให้บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง เคลื่อนตัวเข้ามาใกล้ทางออกที่เชื่อมต่อกับห้องเผาไหม้ช่วยมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองทั้งสองแบบกับการทดลอง การเผาไหม้ของ ซิงเกิ้ล จูการ์ และคณะ [2] วัดอุณหภูมิตามแนวแกน 7 จุด พบว่าการดัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้าของการจำลอง มีการกระจายอุณหภูมิใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าแบบปกติ

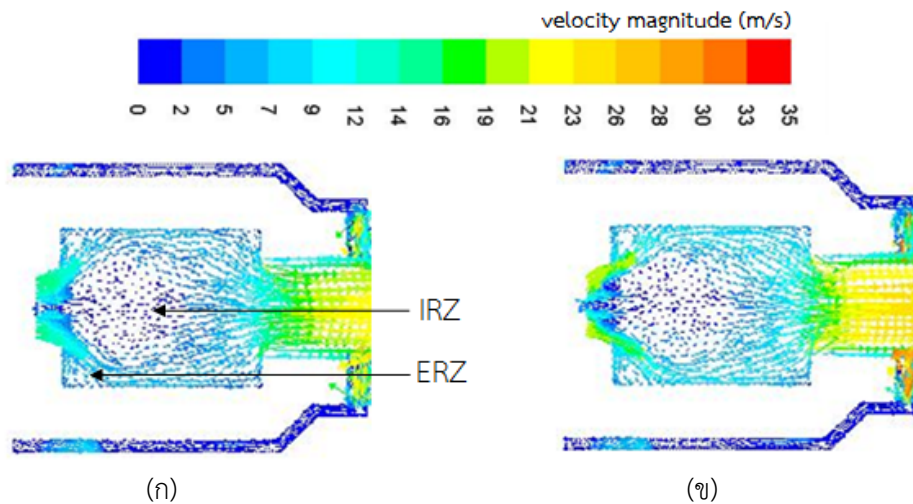
4.2 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

เมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง จากรูปที่ 5 พบว่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าสูงกว่าตอนไม่ติดตั้งและมีการกระจายความเร็วที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองสามารถสร้างกระแสไหลวนกลับที่สูงกว่าแบบไม่ติดตั้ง จึงทำให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้ดีกว่าและมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากรูปที่ 7(ข) จะเห็นว่าเมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง อุณหภูมิที่ตำแหน่งภายในหัวเผา จะมีค่าสูงกว่าแบบไม่ติดตั้งและอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ แล้วค่อยๆลดลงที่ตรงกลางเตาเผาจนเริ่มคงที่ที่บริเวณก่อนเข้าท่อทางออกซึ่งบ่งบอกว่าเชื้อเพลิงได้เผาไหม้จนหมดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งตอนไม่ติดตั้งจะเห็นว่าอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ท่อทางออกยังไม่คงที่หรือเชื้อเพลิงยังเผาไหม้ไม่หมดนั่นเอง เมื่อทำการพิจารณาเสถียรภาพของเปลวไฟจากรูปที่ 9(ข) พบว่าเมื่อทำการติดตั้งตัวสร้าง

การหมุนควงลำดับสอง สามารถทำให้เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศบริเวณของห้องเผาไหม้ช่วย(internal recirculation zone, IRZ) และการหมุนวนของกระแสอากาศภายนอกแกนกลางของเตาเผา (external recirculation zone, ERZ) เหมือนกับแบบไม่ติดตั้งดังรูปที่ 9(ก) ซึ่งจากการทดลองของ ซิงเกิ้ล จูการ์ และคณะ [2] ได้สังเกตเห็นปรากฏการณ์นี้ในการทดลองกระแสหมุนวนทั้งสองบริเวณนี้ส่งผลให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่ติดไฟถูกเหวี่ยงกลับมาชนกลับกลุ่มหมอกอนุภาคที่เข้ามาใหม่ ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ นำไปสู่การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เปลวไฟมีเสถียรภาพ และจากรูปที่ 8 พบว่าเมื่อติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองทำให้บริเวณ IRZ มีความเร็วติดลบมากกว่ากรณีไม่ติดตั้ง ซึ่งทีมวิจัยจะทำการทดลองในอนาคต เพื่อยืนยันปรากฏการณ์นี้



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกนกับตำแหน่งภายในห้องเผาไหม้ช่วย



รูปที่ 9 ผลการจำลองการกระจายความเร็ว และการเกิดการหมุนวนของกระแสอากาศภายในห้องเผาไหม้ช่วย
(ก) ไม่ติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง (ข) ติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการจำลองการเผาไหม้ 3 มิติที่กำลังความร้อน 500 kW โดยกำหนดอัตราส่วนอากาศทั้งสามคงที่เมื่อทำการเปลี่ยนมุมของใบพัด 60,80 และ 100 องศาตามลำดับพบว่าเมื่อมีเพียงมุม 100 องศาเท่านั้นที่เข้าสู่คำตอบ เมื่อทำการคำนวณตัวเลขการหมุนควง พบว่ามุมของใบพัดที่ 60 และ 80 องศา มีค่าเพียง 0.15 และ 0.48 ตามลำดับ ในขณะที่มุม 100 องศา มีตัวเลขการหมุนควง 0.94 เมื่อทำการตัดแปลงการจำลองโดยทำการเปลี่ยนเงื่อนไขที่ทางเข้า โดยการลบส่วนของกล่องลมออกพบว่าเมื่อมีเพียงมุม 100 องศาเท่านั้นที่เข้าสู่คำตอบเช่นเดียวกับการจำลองแบบปกติ แสดงให้เห็นว่าการจำลองทั้งสองแบบ มีแนวโน้มการคำนวณที่ให้ผลลัพธ์ไปในทางเดียวกัน เมื่อนำผลลัพธ์การกระจายอุณหภูมิจากการจำลองทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบ พบว่าการตัดแปลงเงื่อนไขทางเข้าของการจำลอง ส่งผลให้บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเคลื่อนตัวเข้ามาใกล้ทางออกที่เชื่อมกับห้องเผาไหม้ช่วยมากขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของ ชินภัทร ชูการ และคณะ [2] พบว่าการตัดแปลงเงื่อนไขที่ทางเข้าของการจำลอง ให้ผลใกล้เคียงกว่าการจำลองแบบปกติ

เมื่อทำการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองที่ทางออกของกล่องลม ผลการคำนวณพบว่า มีตัวเลขการหมุนควงสูงถึง 1.42 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ไม่ติดตั้ง 51.06% มีการกระจายอุณหภูมิที่สูงและการกระจายความเร็วที่ต่ำกว่ากรณีไม่ติดตั้งส่งผลให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้จนหมดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด เมื่อพิจารณาการรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟ พบว่าการ

ติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงลำดับสอง ความรุนแรงของการไหลหมุนควงส่งผลให้เกิดการหมุนวนของอากาศบริเวณห้องเผาไหม้ช่วย (IRZ) และการหมุนวนของกระแสอากาศภายนอกแกนกลางของเตาเผา (ERZ) อีกทั้งยังพบว่าความเร็วลมที่บริเวณ IRZ มีค่าสูงกว่ากรณีไม่ติดตั้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ชินภัทร ชูการ และคณะ [2] ที่สังเกตเห็นปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับการทดลองการเผาไหม้ปกติ ส่งผลให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่ติดไฟถูกเหวี่ยงกลับมาชนกับกลุ่มหมอกอนุภาคที่เข้ามาใหม่ ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ นำไปสู่การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามจะต้องมีการทดลองการเผาไหม้จริงเพื่อยืนยันปรากฏการณ์นี้

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออิทธิพลการไหลหมุนควงเพิ่มขึ้น จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ในขณะที่อิทธิพลการไหลหมุนควงมีค่าต่ำทำให้เปลวไฟขาดเสถียรภาพ และไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาการเพิ่มหรือลดขนาดมุมของตัวสร้างการหมุนควงลำดับสองที่มีผลต่อการเผาไหม้หรือทำการเปลี่ยนเงื่อนไขของอัตราส่วนอากาศที่แตกต่างกันออกไป เพื่อที่จะสามารถทราบจุดที่หัวเผาทำงานได้ดีที่สุดก่อนที่จะทำการทดลอง อย่างไรก็ตามวิธีการตัดแปลงการจำลองโดยเปลี่ยนเงื่อนไขทางเข้าแม้ว่าจะให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าการจำลองแบบปกติ แต่ก็ไม่ได้ยืนยันว่ามีความถูกต้องกว่าการจำลองแบบปกติ เพียงแต่ใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำกว่าเท่านั้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถานการณ์พลังงานปี 2558 และแนวโน้ม ปี2559. สำนักงานนโยบายแผนพลังงาน (2558) URL: www.eppo.go.th/energysituation/Energy2015-Forecast2016.pdf
- [2] การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [3] H. J. Sheen, W.J. Chen, S. Y. Jeng, T. L. Huang (1995). Institute of Applied Mechanics, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. Correlation of Swirl Number for a Radial-Type Swirl Generator, Experimental Thermal and Fluid Science 1996; vol. 12(444-451)
- [4] Y. Huang, V. Yang (2005), The Pennsylvania State University, University Park. Effect of swirl on combustion dynamics in lean-premixed swirl-stabilized combustor, Proceedings of Combustion Institute 30(1775-1782), (2005)
- [5] Y. Huang, V. Yang (2005), The Pennsylvania State University, University Park. Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion, Energy and combustion science 35(293-364), (2009)
- [6] N. Syred , J.M Beer, Department of Chemical Engineering and Fuel Technology, Sheffield University, England. Combustion in swirling flow: A review, Combustion and Flame vol.23(143-201), (1974)