บทที่ 7

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

7.1 การวิจารณ์ผลการทดลอง

I การทดลองได้แบ่งออกได้เป็นส่วนใหญ่ๆ 3 ส่วนคือ

1 การวัดค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ

2 การวัดระยะความยาวของเปลวไฟ เพื่อนำไปคำนวนหาค่าความเร็วของการเผาไหม้

3 การวัดปริมาณก๊าซเสียและขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้

โดยการทดลองทั้ง 3 หัวข้อจะใช้วิธีเพิ่มอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (ผงแป้งมันสำปะหลัง) คงที่

7.1.1 ผลของอุณหภูมิเปลวไฟ

7.1.1.1 ผลของอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ (ϕ) ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) ทดลองกับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) 3 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ($\varnothing$) 76.2 , 89 และ 101.6 มม.ตามลำดับ โดยที่ขณะทดลองใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) แต่ละขนาดจะทำการวัด 2 ระยะคือ ระยะ 10 และ 15 เซนติเมตร จากปลายท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle)

เมื่อพิจารณารูปที่ 6.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ burner nozzle ขนาดต่างๆ โดยวัดที่ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle เพราะจากการทดลองวัดอุณหภูมิของเปลวไฟที่ระยะต่างๆ พบว่า ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle จะได้อุณหภูมิสูงสุด เมื่อวัดที่ระยะน้อยกว่านี้จะมีผงแป้งมันสำปะหลังบางส่วนที่ยังไม่เผาไหม้กระทบและเกาะติดกับอุปกรณ์วัด ทำให้อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าน้อย เมื่อวัดที่ระยะมากกว่า 10 ซม.อุณหภูมิของเปลวไฟจะต่ำลงตามระยะห่างที่มากขึ้นเนื่องเพราะส่วนผสมจะเผาไหม้ได้ดีในช่วง 10 ซม.ถ้าห่างกว่านี้มีส่วนผสมเพียงส่วนน้อยที่เผาไหม้ จากรูปที่ 6.1 ช่วง ϕ 0.9-1.5 จะเห็นได้ว่าท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด $\varnothing$ 101.6 มม. จะมีอุณหภูมิของเปลวไฟสูงกว่า burner nozzle ขนาด 76.2 และ 89 มม. เพราะท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็ก เมื่อพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำๆ ส่วนผสมที่เผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์คือมีอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ไม่เพียงพอ เมื่อส่วนผสมถูกเผาไหม้จะเกิดเป็นขี้เถ้ากีดขวางการไหลของส่วนผสม (ที่ยังไม่เผาไหม้) ที่ไหลตามมาทำให้เผาไหม้ได้ยากขึ้นและจะเกิดการอุดตันของ burner nozzle ต่างกับท่อทางออก (burner nozzle) ขนาด 101.6 มม. ซึ่งส่วนผสมจะมีความเร็วต่ำกว่า (burner nozzle $\varnothing$ 76.2 และ 89 มม.) ทำให้การเผาไหม้เกิดได้ดีกว่า ช่วง ϕ ต่ำๆจะมีการเต้นและสะบัดของเปลวไฟ เปลวไฟจะไม่มีเสถียรภาพ (stability) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่อัตราส่วนสมมูล

ต่างๆจะพบว่า ท่อทางออกของเปลวไฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 มม. (3.5 นิ้ว) นอกจากจะได้อุณหภูมิสูงสุด คือมีค่าเป็น 847 C แล้วยังใช้อากาศส่วนเกินน้อยกว่าท่อขนาด ∅ 76.2 และ 101.6 มม.นั่นแสดงถึงการเผาไหม้ที่ดีกว่า เมื่อพิจารณา ที่ ϕ เท่ากับ 1.685 สำหรับ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. เปลวไฟจะมีเสถียรภาพ (stability) ส่วน burner nozzle ขนาด ∅ 101.6 มม.จะมีอุณหภูมิต่ำสุดเนื่องจากส่วนผสม (เชื้อเพลิงและอากาศ) มีการกระจายตัว ทำให้เกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วน สำหรับ burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 มม. ส่วนผสมจะมีความเร็วมากจนเผาไหม้ไม่ทันและจะดับที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) มากกว่า 1.85 ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) มากกว่า 1.85 ส่วนผสมจะมีความเร็วมากขึ้น และ เริ่มจะเผาไหม้ไม่ทัน พบว่า สำหรับ burner nozzle ทั้ง 3 ขนาด อุณหภูมิจะสูงที่สุดในช่วงอัตราส่วนสมมูลระหว่าง 1.65-1.85 หมายถึงใช้อากาศส่วนเกิน 1.65-1.85 เท่าของอากาศทางทฤษฎี

ลักษณะของเส้นกราฟทั้งสามจะคล้ายกันคืออุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้นอย่างช้าๆจนถึงจุดสูงสุด ตามค่า ϕ ที่มากขึ้นจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วและดับลงในที่สุด ที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.685 สัดส่วนของ primary air และsecondary air มีสัดส่วนเป็น (primary air / secondary air) = 14.296/11.358 = 1.258

จากรูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ระยะ 10 และ 15 ซม.จากปลาย burner nozzle โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. เนื่องจากส่วนผสมจะถูกเผาไหม้ได้มากในระยะ 10 ซม.จากท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ที่ระยะห่างออกไปจึงมีอุณหภูมิต่ำลง กราฟทั้งสอง จะมีลักษณะคล้ายกันคือที่ค่า ϕ 0.9-1.5 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆตามค่า ϕ ที่มากขึ้นจนถึงจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็ว

จากรูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับอุณหภูมิของเปลวไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) ใช้ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. วัดที่ระยะ 10 และ 15 ซม.จากปลาย burner nozzle เนื่องจากหัวเผาแบบนี้จะมีจุดที่ส่วนผสมเริ่มติดไฟนั้นใกล้กับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) มาก ส่วนผสม (primary air และผงแป้งมันสำปะหลัง) มีช่วงเวลาที่จะผสมกับ secondary air น้อย และมีการเผาไหม้นอกหัวเผาเป็นส่วนใหญ่ในช่วงระยะ 5-20 ซม. จากปลาย burner nozzle ทำให้อุณหภูมิในช่วง 10 และ 15 ซม.มีค่าใกล้เคียงกัน

7.1.1.2 ผลของอุณหภูมิเปลวไฟ ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่างๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner)

ทดลองกับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) 3 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 มม. (3 นิ้ว), 89 มม. (3.5 นิ้ว) , 101.6 มม.(4 นิ้ว) ตามลำดับ โดยที่ขณะทดลองที่ burner nozzle แต่ละขนาดจะทำการวัด 2 ระยะคือ ระยะ 10 และ 15 เซนติเมตรจากปลายท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle)

จากรูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับอุณหภูมิของเปลวไฟ โดยใช้ burner nozzle 3 ขนาด วัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 ซม.เพราะจากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิที่ระยะต่างๆพบว่า ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle จะได้อุณหภูมิสูงที่สุด เมื่อพิจารณาที่ค่า ϕ ในช่วง 0.9-1.4 พบว่า burner nozzle ขนาด ∅ 101.6 มม. จะมีอุณหภูมิของเปลวไฟสูงกว่าขนาดอื่นๆ เพราะในช่วงนี้ burner nozzle ที่มีขนาด ∅ 76.2 และ 89 มม. จะมีความเร็วของส่วนผสมที่ยังไม่เผาไหม้สูงกว่า burner nozzle ขนาด ∅ 101.6

มม. รวมถึง อากาศที่จะใช้ในการเผาไหม้มีไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มีขี้เถ้าเกิดขึ้นในปริมาณมากมีผลให้เกิดการกีดขวางการไหลของส่วนผสมที่ไหลตามมา เป็นผลให้ผงแป้งมันสำปะหลังที่ไหลตามมาไม่ถูกเผาไหม้ กรณีที่ burner nozzle มีขนาด ∅ มากทำให้ส่วนผสม (ผงแป้งมันสำปะหลังและอากาศ) มีความเร็วต่ำ เป็นผลให้ส่วนผสมถูกเผาไหม้ได้ง่ายมีการอุดตันของขี้เถ้าได้ยากกว่า burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 และ 89 มม. เมื่อพิจารณารูปที่ 6.2 ซึ่งวัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle พบว่า burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 , 89 และ 101.6 มม. จะให้อุณหภูมิสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะจุดที่ส่วนผสมเริ่มจะติดไฟนั้น อยู่ใกล้กับปลาย burner nozzle มากส่วนผสม (ผงแป้งมันสำปะหลังและ primary air) มีช่วงเวลาที่จะผสมกับ secondary air สั้นมาก ทำให้ส่วนผสมยังไม่มีการผสมผสานกันของอากาศและเชื้อเพลิงดีพอ ผลของท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) จึงไม่เห็นชัดนัก ที่อุณหภูมิสูงสุดของหัวเผาแต่ละแบบ ที่ใช้ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) จะใช้อากาศส่วนเกินน้อยกว่าแบบที่ 1 (premixed burner) เพราะการผสมผสานกันของอากาศและเชื้อเพลิงยังไม่ทั่วถึงทำให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่ดี

7.1.2 ความยาวของเปลวไฟ (เพื่อนำไปคำนวนหาค่าความเร็วของการเผาไหม้)

โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และ แบบที่ 2 (diffusion burner) ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) 3 ขนาดคือขนาด ∅ 76.2 , 89 และ 101.6 มม.

7.1.2.1 โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner)

จากรูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับความยาวของเปลวไฟ โดยใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ(burner nozzle) ขนาดต่างๆ พบว่าที่อากาศส่วนเกินน้อย (ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำๆ) เปลวไฟจะยาวเพราะส่วนผสมจะเผาไหม้ไม่หมดในช่วงสั้นๆ จึงทำให้มีส่วนผสมที่ยังไม่เผาไหม้ถูกเผาไหม้ในระยะที่ไกลขึ้น แต่!เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นจะได้เปลวไฟที่สั้นลง เนื่องจากส่วนผสมมีการเผาไหม้ดีขึ้น เปลวไฟจะสั้นลงจนถึงจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศต่อไป เปลวไฟก็จะมีความยาวขึ้นอีก เนื่องจากสัดส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกริยาไม่เหมาะสม ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด ∅ 101.6 มม. จะได้เปลวไฟที่ยาวที่สุด ส่วนท่อขนาด ∅ 76.2 มม. จะได้เปลวไฟที่สั้นที่สุดที่ทุกค่าอัตราส่วนสมมูล

7.1.2.2 โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner)

จากรูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับความยาวของเปลวไฟ โดยใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดต่างๆ ที่ค่า ϕ อัตราส่วนสมมูลต่ำๆ เปลวไฟจะยาวเพราะมีอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกริยาน้อย ส่วนผสมจะไม่ถูกเผาไหม้ในระยะสั้น เนื่องจากอากาศไม่เพียงพอ burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 มม. (3 นิ้ว) จะได้ความยาวของเปลวไฟที่สั้นที่สุดเนื่องจากส่วนผสมถูกนำให้ลู่เข้าหากันขณะเกิดการเผาไหม้ ทำให้มีการเผาไหม้ของส่วนผสมดีขึ้น ซึ่งจากหนังสือ Flames their structure , radiation and temperature [8] กล่าวว่าเปลวไฟที่มีลักษณะอ้วนสั้น จะเป็นเปลวไฟที่มีเสถียรภาพสูง

(high stability) มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีกว่าเปลวไฟที่มีความยาวมาก พบว่าความยาวของเปลวไฟที่ได้มีค่าต่ำสุดที่ 30.5 ซม.ที่อัตราส่วนสมมูลประมาณ 1.65 burner nozzle ขนาด ∅ 101.6 มม. จะได้เปลวไฟที่ยาวที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ burner nozzle ขนาดอื่นๆ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของท่อมีขนาดใหญ่ ทำให้ส่วนผสมที่ออกมามีการกระจายตัวมาก ยากแก่การเผาไหม้

7.1.3 ขอบเขตของการติดไฟและการดับของเปลวไฟ จากการนำผลการทดลองจากรูปที่ 6.7 โดยนำค่าความเร็วของอากาศกับค่าอัตราส่วนสมมูลมาแสดงลงในกราฟดังรูปที่ 6.12 และ 6.13 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับความเร็วของอากาศ โดยใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดต่างๆ 3 ขนาด และใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และแบบที่ 2 (diffusion burner)

จะพบว่าที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากันท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (∅) 76.2 มม.จะติดไฟได้ที่ค่าความเร็วของอากาศสูง แต่จะดับง่ายที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำหรือที่ค่าความเร็วของอากาศต่ำ ส่วน burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มม.จะติดไฟได้ดีที่ค่าความเร็วของอากาศต่ำๆ แต่จะดับได้ง่ายที่ค่าความเร็วของอากาศสูงๆ ทั้งนี้เนื่องจากที่ค่าความเร็วของอากาศต่ำๆท่อทางออกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 มม. จะมีการไหลส่วนผสมที่เกิดจากการเผาไหม้ช้า (rich mixture) ประกอบกับที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำๆ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีไม่เพียงพอ ทำให้เกิดขี้เถ้ากีดขวางส่วนผสมที่ไหลตามมาทำให้ส่วนผสมที่ไหลตามมาไม่เกิดการเผาไหม้ ทำให้เปลวไฟดับ ส่วนท่อทางออกขนาด ∅ 101.6 มม. ที่ค่าความเร็วของอากาศต่ำๆ จะมีการไหลของส่วนผสมช้า ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้มากขี้เถ้าเกิดน้อย มีอากาศจากภายนอกช่วยในการเผาไหม้บ้าง ทำให้เปลวไฟไม่ดับง่าย ส่วนที่ค่าความเร็วของการเผาไหม้สูงๆ burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 มม. ส่วนผสมจะมีการรวมตัว ลู่เข้าหากันขณะเกิดการเผาไหม้ ไม่กระจายออกจากกัน เปลวไฟจึงติดได้ดี ส่วน burner nozzle ขนาด ∅ 101.6 มม. ส่วนผสมที่มีความเร็วมากเมื่อไหลออกมาจาก burner nozzle จะมีการกระจายตัวขณะเผาไหม้ ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่ดีและเป็นลักษณะของเปลวไฟที่มีเสถียรภาพต่ำ (low stability) [8] เปลวไฟจึงดับง่าย ในทำนองเดียวกันสำหรับหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) ในรูป 6.13 แต่กรณีนี้! burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 มม. จะดับได้ง่ายกว่าหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) เนื่องจากที่ค่าความเร็วอากาศสูงๆ เชื้อเพลิง (ผงแป้งมันสำปะหลัง) จะมีช่วงเวลาในการผสมผสานกันกับอากาศส่วนที่สอง (secondary air) น้อยเนื่องเพราะ diffusion (เชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่สองจะพบกันที่จุดเกิดการเผาไหม้พอดี) ความเร็วของอากาศสูงมีผลทำให้การผสมผสานกันของเชื้อเพลิงและอากาศเป็นไปได้ยากขึ้น ทำให้ยากแก่การเผาไหม้

ส่วนรูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับความเร็วของอากาศที่ปลาย burner nozzle โดยใช้หัวเผา 2 ชนิด ใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ∅ 89 มม. เพราะจากรูปที่ 6.1 พบว่า burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. เป็นขนาดที่ให้อุณหภูมิของเปลวไฟสูงกว่าขนาด ∅ 76.2 และ 101.6 มม. จากรูปที่ 6.14 พบว่าหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) จะสามารถติดไฟที่ค่าความเร็วของอากาศและค่าอัตราส่วนสมมูลสูงกว่าหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) เนื่องจากหัวเผาแบบที่ 1 premixed burner มีการ premixed ของเชื้อเพลิงและอากาศเป็นเวลานานกว่า diffusion burner

อากาศและเชื้อเพลิงจะมีเวลาในการคลุกเคล้ากันได้ส่วนผสมที่เหมาะแก่การเผาไหม้มากกว่าหัวเผาแบบที่ 2 diffusion burner โดยที่ diffusion burner อากาศส่วนที่สอง (secondary air) และเชื้อเพลิงจะมีช่วงเวลาผสมผสานกันน้อยกว่า

7.1.4 ปริมาณก๊าซเสียและขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้

7.1.4.1 ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) ใช้กับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 และ 89 มม.

7.1.4.1.1 ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด ∅ 76.2 มม.

เนื่องจากผลการทดลองวัดปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ผงแป้งมันสำปะหลังของท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด ∅ 76.2 มม.มีความสัมพันธ์ชัดเจนกว่าขนาด ∅ 89 มม.จึงนำแสดงทั้ง 2 ขนาด

- พิจารณารูปที่ 6.15 จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ค่าอัตราส่วนสมมูล 0.93 ก๊าซ O_2 และ CO_2 จะมีค่าน้อยเนื่องจากปริมาณของอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ที่ใช้ในการทำปฏิกริยามีน้อยทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่ดีมี CO_2 เกิดขึ้นน้อยมากเหลือ O_2 ในอากาศเสียมากแต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สองมากขึ้นจะมี CO_2 เกิดขึ้นมากขณะเดียวกัน O_2 ก็จะลดลงแสดงถึงการนำเอา O_2 ในอากาศไปใช้ในการทำปฏิกริยามากขึ้นและได้ผลของการทำปฏิกริยาเป็นก๊าซ CO_2 ออกมา ตั้งแต่ค่า ϕ 1.68 ขึ้นไปค่าของ CO_2 เริ่มจะลดลงค่าของก๊าซ O_2 เริ่มจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงไม่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกริยาการเผาไหม้ที่ดี คือมีอากาศส่วนเกินมากเกินไป ความเร็วของอากาศสูงขึ้นจนเผาไหม้ไม่ทันค่าของปริมาณก๊าซออกซิเจนจะน้อยและค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมาก
ในช่วงอัตราส่วนสมมูล (ϕ) ประมาณ 1.68 แสดงให้เห็นว่าจุดนี้มีการเผาไหม้ที่ดีคือมีปริมาณก๊าซ CO_2 เกิดขึ้นมากที่สุด และก๊าซ O_2 เหลือน้อยที่สุด

- พิจารณารูปที่ 6.16 เริ่มทดลองที่ค่า ϕ ต่ำๆ จากนั้นเริ่มเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นก๊าซ NO จะลดลงและค่าของก๊าซ NO จะมีค่าน้อยที่สุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูลประมาณ 1.68 เช่นเดียวกับก๊าซ O_2 ในรูป 6.15 แสดงว่าที่ค่า ϕ มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ต่อไปก๊าซ NO จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งเกิดจากปริมาณอากาศที่มากเกินไป

- พิจารณารูปที่ 6.17 เนื่องจากการวัดปริมาณก๊าซ CO นี้จะวัดได้ไม่แม่นยำนักเนื่องจากก๊าซจะลอยออกจากจุดที่ใช้วัดเร็วมาก ผลของก๊าซ CO จะแปรปรวนมาก ผลที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้าง แต่พอจะสรุปได้ดังนี้ ที่ค่า ϕ ต่ำๆปริมาณก๊าซ CO จะมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น จะเห็นได้ว่า ค่า CO จะมีค่าต่ำที่สุดในช่วง

ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) 1.75 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าความเร็วในการเผาไหม้สูงสุด แสดงว่าจุดนี้มีการเผาไหม้ดีที่สุดและสมบูรณ์ที่สุด ก๊าซ CO จะเกิดขึ้นน้อย ส่วน ก๊าซ CO_2 จะเกิดขึ้นมาก

- พิจารณารูปที่ 6.18 จากรูปจะเห็นได้ว่าจากการวัดปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณขี้เถ้าจะสูงมากขณะเริ่มทดลองที่ค่า ϕ (อัตราส่วนสมมูล) 0.939 เพราะมีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยแต่เชื้อเพลิง (ผงแป้งมันสำปะหลัง) มาก (Rich Mixture) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นปริมาณขี้เถ้าที่ได้จะเกิดน้อยลงและน้อยที่สุดที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.68 เนื่องจากผลของการทดลองที่แล้วมาพบว่าจุดนี้เป็นจุดที่อุณหภูมิสูงที่สุด ค่าความเร็วของการเผาไหม้สูงสุด เป็นจุดที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดโดยดูจากปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจะมากที่สุดช่วงนี้ ปริมาณขี้เถ้าจะมีค่าต่ำที่สุดที่ค่า ϕ ประมาณ 1.7 จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สองมากขึ้นปริมาณขี้เถ้าก็จะมากขึ้นอีก เพราะมีปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ทำให้ความเร็วของส่วนผสมมาก ส่วนผสมเผาไหม้ไม่ทัน และเปลวไฟจะดับลงในที่สุด

7.1.4.1.2 <u>ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด ∅ 89 มม.(3.5 นิ้ว)</u>

- พิจารณารูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่เป็นไปตามทฤษฎี อาจเนื่องมาจากการวัดค่าของก๊าซมีความคลาดเคลื่อนมาก เมื่อเทียบกับการทดลองโดยใช้ burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 มม. แล้วผลของการทดลองในรูป 6.15 จะชัดเจนกว่า แต่พอสังเกตุได้ว่าที่ช่วง ค่า ϕ 1.65-1.9 ปริมาณก๊าซ O_2 จะลดลง ส่วนปริมาณก๊าซ CO_2 จะเพิ่มขึ้น

- พิจารณารูปที่ 6.20 จากรูป เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น ก๊าซ NO จะลดลง ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลประมาณ 1.55-1.75 ก๊าซ NO จะลดลงมากที่สุด แสดงว่าที่ค่า ϕ นี้! มีการเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาซึ่งพบว่า ค่าของอุณหภูมิและค่าความเร็วของการเผาไหม้มีค่าสูงที่สุดในช่วงนี้เช่นกัน

- พิจารณารูปที่ 6.21 จากรูป เนื่องจากการวัดปริมาณก๊าซต่างๆวัดได้ไม่แม่นยำนัก เนื่องจากการลอยตัวออกสู่บรรยากาศของก๊าซเร็วมาก ผลของก๊าซ CO จึงแปรปรวนมาก จึงมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ที่ค่า ϕ ต่ำๆ เนื่องจากสัดส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม มีอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยมาก (rich mixture) การเผาไหม้จึงเกิดก๊าซ CO มาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น ปริมาณก๊าซ CO จะเกิดขึ้นน้อยลง และน้อยที่สุดที่ค่า ϕ 1.85 ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงที่มีอุณหภูมิและการเผาไหม้สูงที่สุด จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นจะมีการเผาไหม้น้อยลง เนื่องจากส่วนผสมมีความเร็วมากจนเกิดการเผาไหม้ไม่ทัน เป็นผลให้เกิดก๊าซ CO น้อย

- พิจารณารูปที่ 6.22 จากรูป ปริมาณขี้เถ้าจะสูงมากขณะเริ่มทดลองที่ค่า ϕ 0.939 เพราะมีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยแต่เชื้อเพลิง (ผงแป้งมันสำปะหลัง) มาก (Rich Mixture) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นปริมาณขี้เถ้าจะเกิดขึ้นน้อยลงและน้อยที่สุดที่ค่า ϕ 1.68 ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าเป็นจุดที่มีอุณหภูมิและค่าความเร็วของการ

เผาไหม้สูงที่สุดพอดี ปริมาณขี้เถ้าจะมีค่าน้อย เมื่อมีค่าความเร็วในการเผาไหม้สูง ในรูปนี้จะเกิดที่ค่าอัตราส่วน สมมูล 1.75 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นปริมาณขี้เถ้าก็จะมากขึ้นอีก เพราะส่วนผสมมีสัดส่วนที่ไม่เหมาะแก่การเผาไหม้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 เปรียบเทียบผลการทดลอง

7.2.1 เปรียบเทียบผลของขนาดท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ที่มีต่ออุณหภูมิเปลวไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1(premixed burner) วัดที่ระยะ 10 ซม.จากปลายท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle)

พิจารณาจากรูปที่ 6.1 พบว่า เมื่อใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาด ∅ 89 มม. ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) จะได้อุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุดคือ 850 C ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) 1.685 ส่วน burner nozzleขนาด ∅ 76.2 มม. นั้น เปลวไฟจะดับง่ายที่ค่า ϕ ต่ำๆ เนื่องจาก มีอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ช่วยในการเผาไหม้น้อยจึงเกิดขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นปริมาณมาก กีดขวางการไหลของส่วนผสมที่ไหลตามมาเป็นผลให้ส่วนผสมที่ไหลตามมาไม่ถูกเผาไหม้ อุณหภูมิที่ได้จึงไม่สูงนักและเมื่อมีการตกค้างของผงแป้งมันสำปะหลังมากเปลวไฟก็จะดับ ส่วนเมื่อใช้ท่อขนาด ∅ 101.6 มม. จะมีการระบายขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ ดีกว่า burner nozzle ที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็ก อุณหภูมิที่ได้ก็สูงกว่า เปลวไฟก็ดับยากกว่า burner nozzle ขนาด 76.2 และ 89 มม. ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำๆ

7.2.2 เปรียบเทียบผลของท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ที่มีต่ออุณหภูมิ ขณะที่ใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) วัดที่ระยะ 10 ซม.จากปลายท่อทางออกท่อทางออกของเปลวไฟ

- พิจารณารูปที่ 6.2 พบว่า ท่อขนาด ∅ 76.2 , 89 และ 101.6 มม. จะให้อุณหภูมิสูงสุดใกล้เคียงกัน เนื่องจาก diffusion burner มีช่วงเวลาในการผสมผสานกันของส่วนผสมน้อย และจุดที่ส่วนผสม (primary air กับ ผงแป้งมันสำปะหลัง) และ secondary air ติดไฟ อยู่ใกล้กับปลาย burner nozzle มากทำให้เปลวไฟที่ได้มีความยาวจากปลาย burner nozzle มาก ดังนั้นเมื่อวัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle จึงทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟใกล้เคียงกัน

7.2.3 เปรียบเทียบผลของรูปแบบของหัวเผาที่มีต่อค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ โดยใช้ burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (∅) 89 มม.วัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 ซม.จากปลายท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle)

จากรูปที่ 6.5 ขณะใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) ใช้ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. เพราะจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าหัวเผาแบบ premixed burner ที่ใช้ร่วมกับ burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. จะได้อุณหภูมิของเปลวไฟมีค่าสูงที่สุด เนื่องจาก premixed burner มีช่วงเวลาในการผสมผสานของผงแป้งมันสำปะหลังกับ secondary air นานกว่าแบบ diffusion burner ทำให้ส่วนผสมมีการเผาไหม้ดีกว่า อุณหภูมิเปลวไฟจึงสูงกว่า diffusion burner สำหรับ diffusion burner ผงแป้งมันสำปะหลังและ primary air จะทำปฏิกริยากับ secondary air ที่จุดติดไฟที่บริเวณใกล้กับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ทำให้มีช่วงเวลาการผสมผสานกันของเชื้อเพลิงและอากาศสั้น การเผาไหม้จึงเกิดได้ไม่ดี เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงมีอุณหภูมิต่ำ

กว่า premixed burner เนื่องจากที่ค่า ϕ ต่ำๆ premixed burner มีความเร็วของอากาศน้อยเป็นผลให้เกิดการหมุนวน (swirl) ของส่วนผสมน้อย ส่วนผสมจะผสมผสานกันไม่ดีพอ ขณะที่ diffusion burner มีช่วงเวลาในการผสมผสานกันของเชื้อเพลิงและอากาศน้อยก็จริงแต่มีการผสมผสานกันของ (ผงแป้งมันสำปะหลังกับ primary air) และ secondary air ใกล้กับปลาย burner nozzle อุณหภูมิของ diffusion burner จึงสูงกว่า premixed burner แต่ที่ค่า ϕ มากกว่า 1.6 ขึ้นไป diffusion burner จะมีอุณหภูมิน้อยกว่าและดับง่ายกว่า premixed burner เพราะที่ความเร็วของอากาศสูงๆ diffusion burner เชื้อเพลิงและอากาศจะผสมกันไม่ดีพอต่างกับ premixed burner เชื้อเพลิงและอากาศจะผสมกันได้ดีกว่า และมีช่วงเวลาผสมผสานกันนานกว่า ทำให้เผาไหม้ได้ที่ค่า ϕ มากกว่า

7.2.4 <u>เปรียบเทียบผลของขนาดของท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ที่มีต่อค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner)</u>

จากรูปที่ 6.7 พบว่าเมื่อใช้ burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 76.2 มม. และ 89 มม. จะได้ค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) ใกล้เคียงกันและจะได้เส้นกราฟของ burning velocity ในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ส่วน burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 101.6 มม. จะให้ค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมที่ออกจาก burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 101.6 มม.จะกระจายตัวออกจากแกนกลางของหัวเผา รูปร่างของเปลวไฟที่ได้ไม่ลู่เข้าซึ่งเป็นลักษณะของเปลวไฟที่ไม่มีเสถียรภาพ (stability) [8] ต่างกับ burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 76.2 และ 89 มม.เปลวไฟที่ได้จะมีลักษณะลู่เข้าส่งผลให้เปลวไฟมีเสถียรภาพ (stability)

7.2.5 <u>เปรียบเทียบผลของขนาดของท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ที่มีต่อค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner)</u>

พิจารณาจากรูปที่ 6.8 และ 6.9 ที่ค่า ϕ 0.9-1.6 พบว่าค่าความยาวของเปลวไฟที่ได้จาก burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 101.6 มม. จะยาวมากกว่า burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 76.2 และ 89 มม.เนื่องจากส่วนผสมมีการกระจายตัวออกจากแกนกลางของหัวเผา เปลวไฟที่ได้จะไม่ลู่เข้า ส่วนผสมจะเผาไหม้ไม่หมดที่ระยะสั้นจึงเกิดการเผาไหม้โดยใช้ระยะมากขึ้น จากรูปที่ 6.9 ที่ค่า ϕ ต่ำๆ burner nozzle ขนาด $\varnothing$ 76.2 มม. จะมีความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) สูง แต่เมื่อความเร็วอากาศมากขึ้น คือ ที่ค่า ϕ สูงๆ burner nozzle ขนาด $\varnothing$101.6 มม.จะดับได้ยากกว่าเพราะ พื้นที่หน้าตัดมาก ทำให้ส่วนผสมมีความเร็วน้อย ทำให้มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ได้นานกว่า ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กส่วนผสมจะมีความเร็วสูง ทำให้เผาไหม้ไม่ทัน

7.2.6 เปรียบเทียบผลของรูปแบบหัวเผาที่มีต่อค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity)

เนื่องจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า burner nozzle ขนาด ∅ 89 มม. จะได้อุณหภูมิสูงที่สุด จึงใช้! burner nozzle ขนาดนี้ในการเปรียบเทียบชนิดของหัวเผาทั้ง 2 แบบ จากรูปที่ 6.10 และ 6.11 ที่ค่า ϕ 0.9-1.7 ค่าความยาวของเปลวไฟจาก premixed burner จะยาวกว่า diffusion burner และจากรูปที่ 6.5 พบว่า อุณหภูมิเปลวไฟที่ได้จาก premixed burner จะต่ำกว่า diffusion burner ในช่วง ϕ 0.7-1.7 เนื่องจากที่ค่า ϕ ต่ำๆ ความเร็วและริมาณของ secondary air น้อย เป็นผลให้เกิดการหมุนวน (swirl) ของส่วนผสมน้อย เชื้อเพลิงและอากาศผสมผสานกันไม่ดี เปลวไฟที่ได้จะยาวกว่า diffusion burner ดังนั้นค่า burning velocity ของ premixed burner มีค่าน้อยกว่า diffusion burner เมื่อพิจารณาที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.75 ค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) ของหัวเผาแต่ละแบบจะสูงที่สุด แต่หัวเผาแบบ premixed burner จะสูงกว่าเนื่องจากส่วนผสมมีช่วงเวลาของการผสมผสานกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศนานกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น ส่วนผสมของ diffusion burner จะเผาไหม้ได้ไม่ดีเนื่องจากส่วนผสมมีช่วงเวลาในการผสมผสานกับอากาศส่วนที่สอง (secondary air) สั้นมากประกอบกับอากาศมีความเร็วสูงที่ค่า ϕ สูงๆ ส่งผลให้เปลวไฟดับง่ายขึ้น

7.2.7 ผลการทดลองของหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) โดยใช้ burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (∅) 76.2 มม. ที่มีต่อปริมาณก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้

เนื่องจากผลการวัดปริมาณก๊าซต่างๆของ burner nozzle ขนาด ∅ 76.2 มม. แสดงความสัมพันธ์ได้ชัดเจนกว่าขนาด ∅ 89 มม. จึงนำแสดงทั้ง 2 ขนาด

- พิจารณาจากรูปที่ 6.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการเผาไหม้กับอัตราส่วนสมมูล และอุณหภูมิของเปลวไฟ (โดยวัดที่ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle) กับอัตราส่วนสมมูล ซึ่งจากการทดลองวัดอุณหภูมิของเปลวไฟที่ระยะต่างๆพบว่า ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle เป็นระยะที่ได้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุด พิจารณาที่ค่า ϕ 0.9-1.5 อุณหภูมิและค่าความเร็วของการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากมีอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกริยาน้อย ที่ค่า ϕ 1.5-1.85 อุณหภูมิและความเร็วของการเผาไหม้จะสูงขึ้น เพราะเป็นจุดที่มีสัดส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกริยาเหมาะสม จะได้ว่าค่าอุณหภูมิของเปลวไฟจะสูงสุด และค่าความเร็วของการเผาไหม้ก็มีค่าสูงที่สุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเดียวกัน จากลักษณะของเส้นกราฟทั้งสอง พบว่าเส้นกราฟทั้งสองจะมีค่าสูงต่ำที่ค่าอัตราส่วนสมมูล ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น (ค่า ϕ มากกว่า 1.85) อุณหภูมิจะลดต่ำลงเนื่องจาก ส่วนผสมเผาไหม้ไม่ทัน

- พิจารณาจากรูปที่ 6.24 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนสมมูลกับค่าความเร็วของการเผาไหม้และค่าอัตราส่วนสมมูลกับก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ พิจารณาที่ช่วง ϕ 0.9-1.5 เป็นช่วงที่ค่าความเร็วในการเผาไหม้ต่ำ ก๊าซ O_2 ในอากาศถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกริยาได้น้อย จึงเหลือก๊าซ O_2 ในอากาศเสียเป็นปริมาณมาก ขณะเดียวกันจะเกิดก๊าซ CO_2 น้อยด้วย เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศต่อไปจนถึงช่วง ϕ

1.5-1.75 เป็นช่วงที่มีความเร็วในการเผาไหม้สูง ก๊าซ O_2 จะเหลือน้อยลง เพราะถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกริยามากขึ้น ส่วนปริมาณก๊าซ CO_2 จะสูงขึ้น และ ก๊าซ CO_2 จะมีค่าสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) ประมาณ 1.68 ส่วนค่าความเร็วของการเผาไหม้จะมีค่าสูงสุดที่ ϕ เท่ากับ 1.75 แสดงว่าที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.75 มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด หลังจากเพิ่มปริมาณอากาศต่อไป ก๊าซ CO_2 จะลดต่ำลง ส่วนก๊าซ O_2 จะมากขึ้นอีก เนื่องจากมีปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไปจนเกินจุดเหมาะสม ความเร็วในการเผาไหม้ก็จะลดลง แต่ก็มีค่าสูงกว่าช่วง ϕ เท่ากับ 0.9-1.5 ถ้า ϕ มากกว่า 2.0 เปลวไฟจะดับ และค่า CO_2 ก็จะลดลงเพราะไม่มีการเผาไหม้ ส่วนก๊าซ O_2จะเพิ่มขึ้น

- พิจารณารูปที่ 6.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูลกับค่าความเร็วของการเผาไหม้และค่าอัตราส่วนสมมูลกับปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ จะเห็นได้ว่า ที่ค่า ϕ ต่ำๆ มีอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ความเร็วในการเผาไหม้จะต่ำ ทำให้เกิดปริมาณขี้เถ้ามาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้น จนถึงจุดเหมาะสม ϕ 1.75 ค่าความเร็วของการเผาไหม้จะสูง จึงมีปริมาณขี้เถ้าที่ได้ จากการเผาไหม้น้อยลง หลังจากเพิ่มปริมาณอากาศต่อไปจนเกินจุดเหมาะสม ความเร็วในการเผาไหม้จะลดลง และปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นอีก

7.2.8 เปรียบเทียบผลการทดลองของหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) โดยใช้ ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 มม.

- พิจารณารูปที่ 6.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนกับอุณหภูมิเปลวไฟและอัตราส่วนสมมูลกับค่าความเร็วของการเผาไหม้ อุณหภูมิของเปลวไฟและค่าความเร็วของการเผาไหม้จะมีค่าสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเดียวกัน คือ 1.7

- พิจารณารูปที่ 6.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูลกับค่าความเร็วของการเผาไหม้และค่าอัตราส่วนสมมูลกับปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากรูป ค่าความเร็วในการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วง ϕ 0.9-1.5 และสูงสุดที่ค่า ϕ1.7 หลังจากนั้นจะลดลง ปริมาณก๊าซ O_2 และ CO_2 ที่วัดได้ไม่สอดคล้องกับทางทฤษฎีเนื่องจาก ก๊าซจะลอยตัวไปสู่อากาศภายนอกเร็วมาก ยากแก่การวัดและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองวัดปริมาณก๊าซนี้ค่อนข้างหยาบ เป็นผลให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนบ้าง ปริมาณก๊าซ O_2 จะต่ำลงขณะที่ค่าของก๊าซ CO_2 จะสูงขึ้น และค่าความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) สูงสุดในช่วงอัตราส่วนสมมูลเดียวกันซึ่งเท่ากับ 1.75

- พิจารณารูปที่ 6.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูลกับค่าความเร็วของการเผาไหม้และค่าอัตราส่วนสมมูลกับปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ จะพบว่าเมื่อเริ่มทดลองที่ค่า ϕ ต่ำๆ ซึ่งเป็นค่าที่มีปริมาณอากาศช่วยในการทำปฏิกริยาน้อย ความเร็วในการเผาไหม้จะต่ำ ปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะสูงมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) มากขึ้นจนถึงจุดเหมาะสม คือช่วง ϕ 1.65-1.85 ค่าความเร็วในการเผาไหม้จะสูง เมื่อค่าความเร็วในการเผาไหม้มีค่าสูง ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มที่จะลดลง หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน (secondary air) มากขึ้นอีก ค่าความเร็วในการเผาไหม้จะลดลงแต่ยังคงมากกว่าที่ค่า ϕ ต่ำๆ ปริมาณขี้เถ้าก็จะสูงขึ้นอีก

7.3 สรุปผลการทดลอง

7.3.1 ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) ที่ทำให้ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟ มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 1.55-1.75

7.3.2 ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 มิลลิเมตรซึ่งใช้ร่วมกับหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) จะให้ผลของอุณหภูมิเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้สูงสุดคือประมาณ 850 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 และ 101.6 มิลลิเมตรที่ใช้ร่วมกับหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) จะให้ผลของอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด

7.3.3 เมื่อใช้ท่อทางออกของเปลวไฟที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ($\varnothing$) 76.2 และ 89 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ร่วมกับหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) จะให้ความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) สูงที่สุดคือ 80 ซม.ต่อวินาที ส่วนเมื่อใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ($\varnothing$) 101.6 มิลลิเมตรที่ใช้ร่วมกับหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) จะได้ค่าความเร็วในการเผาไหม้ต่ำที่สุด

7.3.4 ค่าของอุณหภูมิและค่าความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) จะมีจุดที่สูงที่สุดใกล้เคียงกัน ในช่วงอัตราส่วนสมมูล (ϕ) 1.6-1.75

7.3.5 ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) เท่ากับ 1.6-1.75 ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) จะมีค่าต่ำสุด และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีค่าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าของอุณหภูมิและค่าความเร็วของการเผาไหม้ (burning velocity) จะมีค่าสูงที่สุดในช่วงนี้ ซึ่งแสดงถึงช่วงอัตราส่วนสมมูลนี้จะมีการเผาไหม้ดีที่สุดและสมบูรณ์ที่สุด เช่นเดียวกัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะมีปริมาณน้อยที่สุดในช่วงอัตราส่วนสมมูล 1.6-1.75 ด้วย

7.3.6 จากการทดลองเก็บปริมาณขี้เถ้าหลังการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล(ϕ)ต่างๆ พบว่าที่ค่าอัตราส่วนสมมูลในช่วง 1.65-1.75 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิและค่าความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) สูงสุดจะมีปริมาณขี้เถ้าหลังการเผาไหม้น้อยที่สุด

7.3.7 สีของเปลวไฟที่ได้จะมีสีน้ำเงินม่วงที่แกนกลางของเปลวไฟ ขณะเกิดการลุกไหม้ภายในหัวเผา (ทั้ง 2 แบบ)

7.3.8 จากการทำการทดลองพบว่า ไม่มีการระเบิด (Explosion) หรือการลุกไหม้แบบย้อนกลับของเปลวไฟของเชื้อเพลิง (ผงแป้งมันสำปะหลัง) เลย

7.3.9 ขณะที่ใช้ส่วนผสมหนา (Rich Mixture) จะเกิดเปลวไฟที่ระยะห่างจากท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) ของหัวเผามากกว่า ขณะที่ใช้ส่วนผสมบาง (Lean Mixture) เนื่องจากส่วนผสมหนาต้องการอากาศจากภายนอก (ambient air) มาช่วยในการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมเบาบางลงเหมาะแก่การเกิดการเผาไหม้ [9]

7.3.10 ได้ทำการทดลองใช้หัวเผาแบบมีใบเกลียวแต่ใช้การผสมอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ พบว่าจะมีการตกค้างของผงแป้งมันสำปะหลังปริมาณมากและเมื่อทดลองต่อไปผงแป้งมันสำปะหลังจะสะสมมากขึ้น จนเกิดการอุดตันของท่อส่งผงแป้งมันสำปะหลังในที่สุด

7.3.11 <u>ข้อดีและข้อเสียของหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และแบบที่ 2 (diffusion burner)</u>

เนื่องจากหัวเผาแบบ premixed burner มีระยะเวลาของการผสมของส่วนผสม (primary air และ ผงแป้งมันสำปะหลัง) กับ secondary air นานกว่าทำให้มีการผสมผสานกันของแป้งมันสำปะหลังและอากาศได้ดีกว่าแบบ diffusion burner ซึ่ง diffusion burner ส่วนผสมจะพบกับ secondary air ที่จุดเกิดการเผาไหม้พอดี ทำให้มีข้อดีแตกต่างกันดังนี้

7.3.11.1 premixed burner จะเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อุณหภูมิสูงกว่า diffusion burner ในช่วงอัตราส่วนสมมูล 1.55-2.1

7.3.11.2 diffusion burner จะดับง่ายกว่า premixed burner ที่ค่าความเร็วของอากาศสูงๆ หรืออัตราส่วนสมมูลมากๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.11 และ 6.14 เปลวไฟจาก diffusion burner จะดับที่ค่า ϕ 1.75 ส่วนเปลวไฟจาก premixed burner จะดับที่ค่า ϕ 2.15 เพราะส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง ที่ได้จาก diffusion burner ไม่ผสมผสานกันดีพอและผสมผสานกันเป็นช่วงสั้นๆ ทำให้ส่วนผสมเผาไหม้ไม่ทัน

7.3.11.3 หัวเผาแบบ premixed burner จะได้อุณหภูมิสูงสุดที่ค่า อัตราส่วนสมมูล ϕ มากกว่าแบบ diffusion burner ซึ่งหมายถึงหัวเผาแบบ premixed burner จะใช้อากาศส่วนเกินมากกว่า

7.3.11.4 หัวเผาแบบ premixed burner มีค่าความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity)สูงกว่าแบบ diffusion burner มากที่ในช่วง ϕ 1.7-1.75 เนื่องจากช่วงเวลาการผสมผสานกันของเชื้อเพลิงและอากาศของ premixed burner นานกว่า ส่วนผสมจึงเผาไหม้ได้ง่ายกว่าแบบ diffusion burner premixed burner จะมีค่าความเร็วในการเผาไหม้สูงสุดที่ค่า ϕ มากกว่าหัวเผาแบบ diffusion burner หมายถึงใช้อากาศส่วนเกินมากกว่าและเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากกว่าหัวเผาแบบ diffusion burner

7.3.12 เนื่องจากการคำนวนประสิทธิภาพของหัวเผานั้นขึ้นกับปริมาณก๊าซต่างๆ ที่ได้จากอากาศเสียที่เป็นผลจากการเผาไหม้ผงแป้งมันสำปะหลังของหัวเผา แต่การวัดปริมาณก๊าซให้ได้ความถูกต้องนั้นทำได้ยาก ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของหัวเผาที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้าง ดังนั้นจึงใช้วิธีหาประสิทธิภาพของหัวเผาแบบถือเสมือนว่าหัวเผานั้นช่วยเพิ่มพลังงานให้อากาศที่ช่วยในการเผาไหม้

โดยใช้สูตร $Q = M\ Cp\ \Delta T$

M คือมวลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ , kg

Cp คือค่าความจุความร้อนของอากาศ , kJ/ kg C

ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิอากาศขณะออกจากหัวเผาและอุณหภูมิเข้าหัวเผา , K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.4 ข้อเสนอแนะ

7.4.1 ควรพัฒนารูปแบบหัวเผาที่ช่วยให้เชื้อเพลิงและอากาศผสมผสานกันได้ดียิ่งขึ้น เพื่อผลของการเผาไหม้ที่ดี เช่นใช้ใบพัด ช่วยในการทำให้อากาศเกิดการหมุนวน

7.4.2 ควรนำรูปแบบห้องเผาไหม้แบบเตาไซโคลน มาใช้ในการเผาไหม้ผงแป้งมันสำปะหลัง ไม่ว่าจะเป็นเตาไซโคลนในแนวนอนหรือแนวตั้ง เพราะเตาไซโคลน เป็นเตาแบบหนึ่งที่ มีรูป แบบที่ช่วยให้อากาศและเชื้อเพลิงผสมผสานกันดี และมีช่วงเวลาให้ส่วนผสมได้เผาไหม้นาน

7.4.3 ปรับปรุงและพัฒนาระบบการจ่ายผงแป้งมันสำปะหลังสู่หัวเผา ให้มีความต่อเนื่องและควบคุมอัตราการจ่ายได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น

7.4.4 ควรมีการอุ่นอากาศที่จะใช้ผสมกับผงแป้งมันสำปะหลังและควรมีการอบผงแป้งมันสำปะหลังเพื่อไล่ความชื้นออกจากอากาศและผงแป้งมันสำปะหลังเพราะมีพลังงานบางส่วนสูญเสียไปกับความชื้นของอากาศและผงแป้งมันสำปะหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย