การศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุต ต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมา

The Study of Effects of Carrier Gas Pressure and Input Current on Plasma Flame Characteristics

นรินทร์ ปิ่นแก้ว และ ปริญ คงกระพันธ์*
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาของหัวเผาพลาสมาแบบอาร์คทางไฟฟ้าต้นแบบ การทดสอบทำได้โดยปรับเปลี่ยนค่าความดันของอากาศป้อนที่ใช้เป็นก๊าซนำพาทั้งสิ้น 3 ค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6 MPa และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตทั้งสิ้น 2 ค่าเท่ากับ 60 และ 80 A จากผลการทดสอบพบว่าค่าความดันก๊าซนำพามีผลต่อความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงจะทำให้การไหลของกระแสอากาศบริเวณทางออกของหัวฉีดเกิดปั่นป่วนมากขึ้นทำให้ความสมบูรณ์ในการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาลดลงส่งผลต่อมิติของเปลวพลาสมาที่ลดลงด้วย และเมื่อพิจารณาผลของค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าเมื่อเพิ่มค่ากระแสดังกล่าวจะทำให้พลังงานในการกระตุ้นการแตกตัวของพลาสมาสูงขึ้นส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลวพลาสมาที่ดีขึ้นสังเกตได้จากมิติของเปลวพลาสมาที่ใหญ่ขึ้น สี และความสว่างของเปลวพลาสมาที่สูงขึ้น กล่าวโดยสรุปคือเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซนำพาจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพลดลงและการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพสูงขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา โดยเปลวพลาสมาที่หัวเผาต้นแบบสามารถสร้างขึ้นได้มีความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดประมาณ 120 mm และ 25 mm ตามลำดับ ที่ความดันก๊าซนำพาและค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 4 MPa และ 80 A

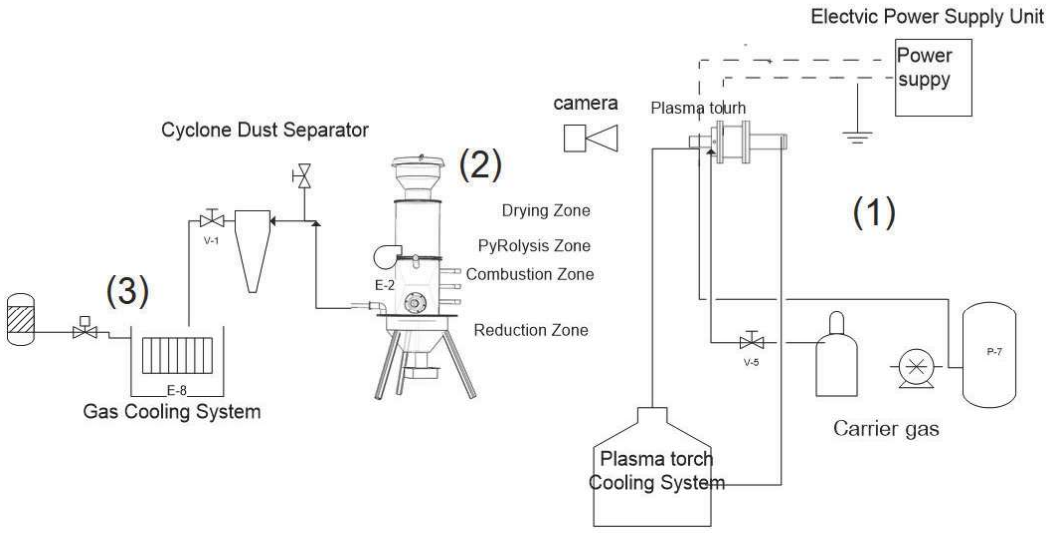
คำสำคัญ: พลาสมา; หัวเผาพลาสมา; แก๊สซิฟิเคชัน; พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน; พลังงานทดแทน

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการจัดการขยะชนิดต่าง ๆ นิยมควบรวมกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) ไว้ในระบบด้วย เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการเผาทำลายขยะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับกระบวนการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี แต่การเผาทำลายขยะจำพวกพลาสติกจะก่อให้เกิดปัญหาด้านก๊าซพิษจำพวกไดอ็อกซิน (Dioxin) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยก๊าซพิษกลุ่มนี้ไม่สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่า 1,000 °C ทำให้การใช้หัวเผาความร้อนสูงประเภทหัวเผาพลาสมาที่สามารถสร้างเปลวความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหัวเผาแบบใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปมากจึงมีความจำเป็นสำหรับการแก้ปัญหานี้ ข้อได้เปรียบของหัวเผาพลาสมาคือระบบดังกล่าวไม่ใช้เพลิงและไม่สร้างมลพิษในภาพแบบของแก๊สเรือนกระจก ควบคุมง่าย อีกทั้งระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้หัวเผาพลาสมายังสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่มีคุณภาพสูงกว่ากระบวนการเคมีความร้อนทั่วไปอาทิ กระบวนการไพโรไลซีสและแก๊สฟิเคชันแบบปกติที่ใช้แหล่งความร้อนประเภทอื่น อีกทั้งความร้อนสูงจากหัวเผาพลาสมายังสามารถกำจัดสารพิษประเภทไดอ็อกซิน (Dioxin) และฆ่าเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ทั้งนี้เทคโนโลยีพลาสมาความร้อนในประเทศไทยยังมีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างขึ้นใช้เองน้อยมาก ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจาก

* Corresponding author: Tel : 0819723859 E-mail address : parin.khongkrapan@gmail.com

ต่างประเทศเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นในการออกแบบ สร้าง และทดสอบหัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Arc Plasma Torch) ต้นแบบสำหรับเตาปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชัน โดยหัวเผาพลาสมาต้นแบบสร้างและประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ใช้อากาศเป็นก๊าซนำพา (carrier gas) ทำให้ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงลดลง หัวเผาต้นแบบใช้หลักการอาร์คทางไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในการกระตุ้นให้ก๊าซนำพาแตกตัวเป็นพลาสมา โดยความดันอากาศที่จ่ายให้กับหัวเผาจะส่งผลโดยตรงต่อค่าอัตราการไหลและลักษณะการไหลของก๊าซนำพาบริเวณหัวฉีดทำให้ได้เปลวพลาสมาที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาเพื่อนำผลที่ได้ไปออกแบบหัวเผาพลาสมาความร้อนที่มีความเหมาะสมกับเตาปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชั่นแบบต่างๆ ต่อไป โดยระบบพลาสมาแก๊สซิฟิเคชั่นในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบดังภาพที่ 1



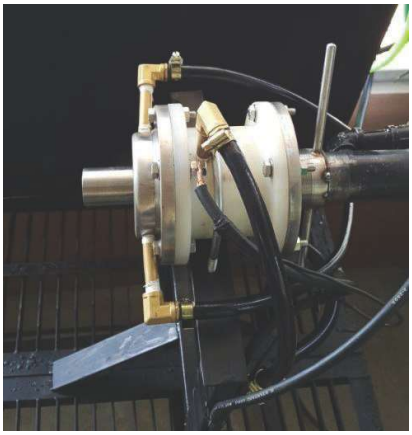
ภาพที่ 1 ระบบพลาสมาแก๊สซิฟิเคชั่นประกอบด้วย
(1) หัวเผาพลาสมา (2) เตาปฏิกรณ์พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน และ (3) ระบบจัดเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส

วิธีการวิจัย

การออกแบบหัวเผาพลาสมา

การประกอบหัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC arc plasma torch) ในงานวิจัยนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ขั้วอิเล็กโทรด (electrode) ประกอบด้วย 1) ขั้วแคโทด (cathode) หรือ ขั้วลบ อุปกรณ์นี้เป็นชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนสูงสุดของระบบหัวเผาพลาสมาความร้อนแบบอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชิ้นส่วนดังกล่าวจากโลหะทังสเตน (tungsten) ที่มีจุดหลอมเหลวสูงและสามารถคงสภาพการนำไฟฟ้าได้ดีที่อุณหภูมิสูง การออกแบบได้กำหนดลักษณะของขั้วดังกล่าวให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ปลายแหลมทำมุม 90^{o} ความยาวรวม 30 mm บริเวณปลายแหลมของแคโทดจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงส่งผลให้เกิดการอาร์คที่ดีขึ้น และ 2) ขั้วแอโนด (anode) หรือ ขั้วบวก อุปกรณ์นี้เป็นชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนสูงรองลงมาจากขั้วแคโทด เนื่องจากขั้วแอโนดเป็นตำแหน่งที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและรับความร้อนที่ถ่ายเทจากเปลวพลาสมา คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชิ้นส่วนดังกล่าวจากโลหะชนิดสแตนเลสสตีลที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การออกแบบแอโนดคำนึงถึงการระบายความร้อนและการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพวงอาทิ ขั้วไฟฟ้า ระบบระบายความร้อน และสามารถติดตั้งหัวฉีด (nozzle) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อลักษณะของเปลวพลาสมาอย่างมาก ทำหน้าที่กำหนดการไหลของแก๊สนำพาซึ่งจะแตกตัวของ

เป็นเปลวพลาสมา ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ออกแบบหัวเผาพลาสมาที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดได้เพื่อการทดสอบในหลายรูปแบบการใช้งาน เบื้องต้นได้ทำการออกแบบหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแก๊สคงที่ 10 mm ความยาวท่อนำก๊าซ 100 mm โดยหัวเผาพลาสมาต้นแบบในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC arc plasma torch)

ตารางที่ 1 รายละเอียดหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

ข้อมูล	พิกัด	หน่วย
ความต่างศักย์ไฟฟ้า	380	V
กระแสไฟฟ้า (สูงสุด)	100	A
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด	10	mm
ความยาวท่อนำก๊าซ	100	mm
ความดันก๊าซนำพา (สูงสุด)	7	MPa
ขั้วแคโทดทังสเตน	20	mm

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

การทดสอบหัวเผาพลาสมาต้นแบบที่มีขนาดความยาวหัวฉีดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำก๊าซเท่ากับ 100 mm และ 10 mm ตามลำดับ ทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าอินพุต (Input current) ที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดทั้งสิ้น 2 ค่า เท่ากับ 60 และ 80 A ตามลำดับ ปรับค่าความดันก๊าซนำพา 3 ค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6 MPa เมื่อหัวเผาเริ่มทำงานจะทำการบันทึกภาพเพื่อวัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมานับจากปากทางออกของหัวฉีด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

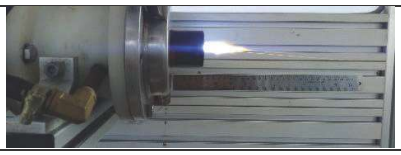
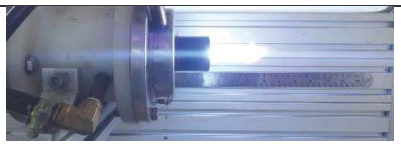
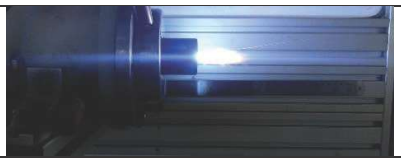
จากผลการทดสอบหัวเผาพลาสมาต้นแบบโดยปรับเปลี่ยนค่าความดันของอากาศป้อนที่ใช้เป็นก๊าซนำพาพบว่าเมื่อป้อนอากาศที่ความดัน 4, 5 และ 6 MPa ที่ค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 60 A เปลวพลาสมามีความยาวประมาณ 100, 70 และ 50 mm ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเปลวพลาสมาประมาณ 20, 15 และ 10 mm ตามลำดับ โดยเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเพิ่มขึ้นเป็น 80 A ที่ค่าความดันของอากาศป้อนแตกต่างกัน 3 ค่าดังข้างต้นพบว่าเปลวพลาสมามีความ

ยาวโดยมีค่าประมาณ 120, 90 และ 60 mm ตามลำดับ อีกทั้งเปลวพลาสมาที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25, 20 และ 15 mm ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลของค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงขึ้นส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาด้านความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงนั้นเกิดจากลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ของกระแสอากาศ ณ บริเวณทางออกของหัวฉีดที่มากขึ้นตามค่าความดันอากาศป้อนทำให้การแตกตัวของอากาศที่ใช้เป็นก๊าซนำพาเกิดขึ้นได้ไม่ดีส่งผลต่อเปลวพาสมาที่มีขนาดสั้นลงตามความดันที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลจากค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตที่จ่ายให้กับหัวเผาพลาสมาพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาจะเพิ่มขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา อีกทั้งสีของเปลวพลาสมาจะเป็นสีฟ้าขาวสว่างกว่ากรณีป้อนกระแสไฟฟ้าต่ำซึ่งจะให้สีของเปลวพลาสมาเป็นสีส้ม ทั้งนี้เกิดจากปริมาณพลังงานที่กระตุ้นการแตกตัวของก๊าซนำพาได้มากกว่าจึงทำให้เปลวพลาสมาที่ค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตสูงกว่ามีความเสถียรสูงกว่า โดยลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาที่ได้จากหัวเผาพลาสมาตัวแบบในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าค่าความดันก๊าซนำพามีผลต่อความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงจะทำให้การไหลของกระแสอากาศบริเวณทางออกของหัวฉีดเกิดปั่นป่วนมากขึ้นทำให้ความสมบูรณ์ในการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาลดลงส่งผลต่อมิติของเปลวพลาสมาที่ลดลงด้วย และเมื่อพิจารณาผลของค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าเมื่อเพิ่มค่ากระแสดังกล่าวจะทำให้พลังงานในการกระตุ้นการแตกตัวของพลาสมาสูงขึ้นส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลวพลาสมาที่ดีขึ้นสังเกตได้จากมิติของเปลวพลาสมาที่ใหญ่ขึ้น สี และความสว่างของเปลวพลาสมาที่สูงขึ้น กล่าวโดยสรุปคือเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซนำพาจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพลดลงและการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพสูงขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา

ตารางที่ 2 ผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมา

Input Current 60 A	Input Current 80 A
Pressure 4 MPa	Pressure 4 MPa
	
Pressure 5 MPa	Pressure 5 MPa
	
Pressure 6 MPa	Pressure 6 MPa

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญ คงกระพันธ์และ นคร ทิพยาวงศ์ (2560) การออกแบบสร้างและทดสอบหัวเผาพาสมาสำหรับระบบพลาสมาก๊าซซิฟิเคชั่นขนาดห้องปฏิบัติการ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13, โรงแรมดิเอ็มเพรสเชียงใหม่

[2] Sneha Samal (2016), “Thermal plasma technology: The prospective future in material processing” Journal of Cleaner production, vol.142, pp.3131-3150.

[3] Ge Pu, Hu-Ping Zhou and Gong-TaoHao (2013), “Study on pine biomass air and oxygen/steam gassification in the fixed bed gasifier”, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 38.

[4] A. sanlisoy and M. O. Carpinlioglu., (2016), “A review on plasma gasification for soil waste disposal”, Hydrogen Energy, vol. 42, pp. 1361-1365.