



การพัฒนาหัวเผาพลาสมาความร้อนเพื่อการจัดการ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์

Development of a Thermal Plasma Torch for Electronic Waste Management

ปริญญา คงกระพันซ์ และ นคร ทิพย์awang

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Parin Khongkrapan and Nakorn Tippayawong

Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

E-mail : ame196@hotmail.com

บทคัดย่อ

การใช้พลาสมาความร้อนในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากความสามารถในการลดความเป็นพิษและปริมาตรของของเสียลงได้ดี งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหัวเผาพลาสมาและประเมินลักษณะการกระจายอุณหภูมิ รวมถึงการทดสอบกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ในเตาปฏิกรณ์ พลาสมาอุณหภูมิสูงถูกสร้างขึ้นจากการปล่อยอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้าความเข้มสูงโดยใช้อากาศเป็นก๊าซพาหะระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ การออกแบบขั้นต้นใช้แรงดันไฟคงที่ที่ 380 โวลต์ และปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงระหว่าง 30, 40 และ 50 แอมแปร์ ผลที่ได้แสดงถึงอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับกระแสไฟฟ้าที่จ่าย และพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของพลาสมาจากอากาศทำได้ถึง 1,210 เคลวิน เทียบกับ 600 เคลวินที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟสร้างโดย Bang et al. นอกจากนี้ จากการทดสอบหัวเผากับขยะอิเล็กทรอนิกส์ แสดงให้เห็นว่าหัวเผาพลาสมาจากอากาศทำงานได้ดีในการทำลายและลดความเป็นพิษของขยะ

ABSTRACT

Use of thermal plasma in electronic waste (e-waste) management has gained increasingly attention for its capability of sterilization as well as volume reduction. In this research study the objectives were to develop a plasma torch, evaluate its temperature distribution characteristics, and test run with e-waste in a batch reactor. High temperature plasma was created from electron emission under high strength electric field. Air was used as a carrier gas between cathode and anode. For a preliminary design, applied voltage was fixed at 380 V, by vary input currents of 30, 40 and 50 A. result showed that temperature distribution obtained varied significantly with applied input current. It was found that maximum air plasma temperature of 1210 K could be achieved, compared to 600 K obtained from microwave source by Bang et al. Limited test with e-waste showed that the air plasma torch performed well in disintegrating and sterilizing the e-waste

1. บทนำ

การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ใช้วิธีการเผาทำลายและฝังกลบ ซึ่งการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำกันในปัจจุบันใช้ความร้อนที่ได้จากหัวเผา ซึ่งใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ

หัวเผาพลาสมา (Plasma Torch) คือ อุปกรณ์สร้างพลาสมาอุณหภูมิสูงและนำอุณหภูมิที่ได้จากพลาสมาไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ หัวเผาพลาสมาต้นแบบในงานวิจัยนี้ใช้หลักการสร้างพลาสมาด้วยสนามไฟฟ้ากำลังสูงโดยมีอากาศเป็น Carrier Gas ไม่ใช้ก๊าซเชื้อเพลิงอื่นซึ่งมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและส่งผลให้เกิดสภาวะโลกร้อน หัวเผาพลาสมาจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน

หัวเผาพลาสมาต้นแบบในงานวิจัยนี้มีจุดเด่นในการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ 380V จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 50 A ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปหรืออาจจัดแปลงจากแหล่งจ่ายกระแสของตู้เชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป หัวเผาพลาสมาต้นแบบจึงสามารถพัฒนาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือใช้ในชุมชนได้ต่อไปในอนาคต

2. การนำพลาสมามาใช้ประโยชน์

พลาสมาในทางฟิสิกส์และเคมี คือ สถานะที่สี่ของสสารถัดจากสถานะก๊าซ การแตกตัวของสสารสถานะต่างๆ เป็นสถานะพลาสมาจะทำให้เกิดแสงและอุณหภูมิสูงซึ่งอาจสูงถึง 6000 K ที่แกนกลางของพลาสมา

หัวเผาพลาสมา คือ อุปกรณ์สร้างพลาสมาอุณหภูมิสูงและนำพลังงานที่ได้จากพลาสมาไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การเผาทำลายขยะอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูง เป็นต้น ข้อดีของหัวเผาที่ใช้เทคโนโลยีพลาสมา คือ ไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงซึ่งมีราคาสูงในปัจจุบัน เช่น การใช้อากาศเป็น Carrier Gas ก็สามารถ

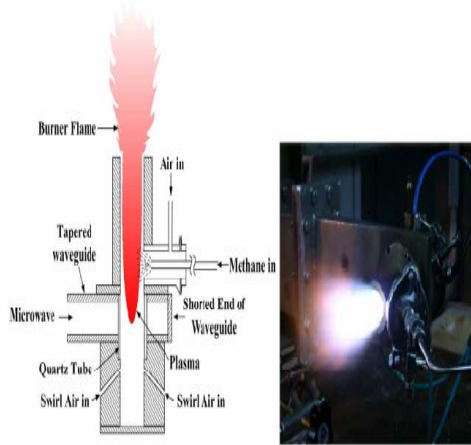
สร้างพลังงานความร้อนได้ อีกทั้งพลังงานความร้อนที่ได้จากหัวเผาพลาสมายังมีต้นทุนต่ำและเป็นพลังงานสะอาด เนื่องจากการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมา นั้นไม่ก่อให้เกิดก๊าซที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ต่างจากหัวเผาที่ใช้หลักการสันดาปเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากผลของการสันดาป

3. งานวิจัยเกี่ยวกับพลาสมา

เพ็ญศรี ประมุขกุล [1] ทำการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของหัวจ่ายพลาสมาชนิด MEVVA (Metal Vapor Vacuum Arc) ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดพลาสมาของโลหะชนิดอาร์คในสุญญากาศ ใช้หลักการปลดปล่อยอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูง พลาสมาจำนวนหนึ่งจะถูกสร้างขึ้นที่ผิวแคโทดซึ่งเป็นโลหะบริสุทธิ์ด้วย “จุดอาร์ค” จากเครื่องจ่ายแรงดันสูงแบบพัลส์ขนาด 10 kV 100 μ s ที่ต่ออยู่ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วทริกเกอร์แบบวงแหวนซึ่งเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงถูกคั่นห่างจากกันด้วยฉนวน พลาสมาจากจุดอาร์คจะเป็นตัวเชื่อมให้เกิดการไหลของกระแสอาร์ค จากเครื่องจ่ายไฟอาร์คแบบพัลส์ขนาด 100 A 100 μ s ที่ต่ออยู่ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด เป็นผลให้ผิวโลหะที่ใช้เป็นขั้วแคโทดเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นแก๊สและแตกตัวอย่างรุนแรงกลายเป็นพลาสมา จากนั้นพลาสมาจะขยายตัวเคลื่อนที่ผ่านช่องของแอโนดออกไป

Bang et al.[2] ทำการวิจัยและออกแบบหัวเผาใช้ก๊าซมีเทน โดยมีคลื่นไมโครเวฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพลาสมา (Methane-Augmented Microwave Plasma Burner) การออกแบบใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.45 GHz กำลัง 1.5 kW เป็นตัวการทำให้เกิดอิเล็กตรอนในอากาศผ่าน 60-L/min แตกตัวได้เป็นพลาสมาอากาศที่มีอุณหภูมิเปลวพลาสมา 600 K และเมื่อทำการฉีดก๊าซผสมที่มีส่วนผสมระหว่างก๊าซมีเทนปริมาณ 10 L/min และอากาศปริมาณ 40 L/min เพิ่มเข้าไปสู่กระแสพลาสมา

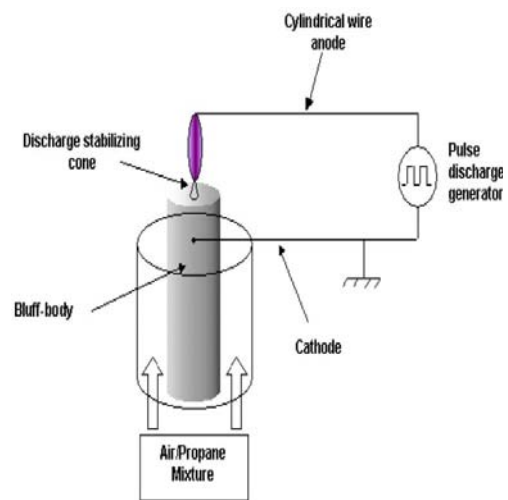
อากาศที่เกิดจากการแตกตัวด้วยไมโครเวฟก็จะทำให้เปลวพลาสมามีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 600 K เป็น 1890 K ที่แกนกลางพลาสมา หัวเผาไมโครเวฟพลาสมาของ Bang et al.[2] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Methane-Augmented Microwave Plasma Burner (Bang et al.[2])

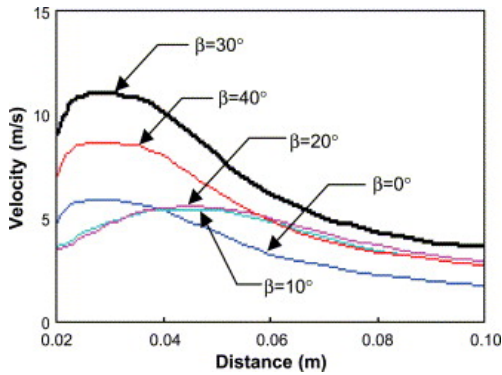
Chen et al.[3] ทำการศึกษาหัวเผาพลาสมาไมโครเวฟกำลังต่ำ (< 1 kW) ที่ความดันบรรยากาศเพื่อสร้างอนุภาคทรงกลมของ Alumina ที่ควบคุมขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคได้ โดยทำการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของ Carrier Gas และ กำลังคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อลักษณะและขนาดอนุภาคของ Alumina จากการศึกษาพบว่าค่าที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของ Alumina คือ ความหนาแน่นของละอองของเหลวหรืออนุภาคน้ำในอากาศขึ้น (Aerosol Stream) ซึ่งใช้เป็น Carrier Gas ที่ไหลผ่านส่วนร้อนของพลาสมาที่เกิดจากไมโครเวฟจะเกิดจากการแตกตัวของละอองของเหลวและให้พลังงานสูงขึ้น และการแตกตัวก็ขึ้นกับการกระจายตัวของโมเลกุลไอน้ำอีกด้วย สามารถสรุปได้ว่าหากมีอนุภาคของ Carrier Gas แตกตัวเป็นพลาสมาได้มากเท่าไรก็จะยิ่งได้พลังงานมากขึ้นเท่านั้น

Pilla et al.[4] ทำการศึกษาพลาสมาโดยใช้เทคนิคการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์นาโนวินาทีที่มีความต่างศักย์ 10 kV ในระหว่าง 10 ns ความถี่สัญญาณ 30 kHz ใช้ Carrier Gas ที่เป็นส่วนผสมระหว่างอากาศกับก๊าซโพรเพนและมีการบังคับให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนของ Carrier Gas ($Re_D = 30000$) ที่ความดันบรรยากาศ จากการศึกษาพบว่าความร้อนที่ปลดปล่อยออกจากพลาสมาจะสูงขึ้นหากการไหลของ Carrier Gas มีการปั่นป่วนมากขึ้น การศึกษาพลาสมาของ Pilla et al.[4] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Premixed Burner Configuration. (Pilla et al.[4])

Moon et al.[5] ทำการศึกษาหัวเผาพลาสมาที่ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าแรงสูงเพื่อวิเคราะห์พลาสมาที่ได้จากลักษณะการเคลื่อนที่ของ Carrier Gas แบบ No-Swirl Flow และ Swirl Flow ซึ่งมีผลต่อทั้งความยาวและความเร็วของเปลวพลาสมา จากการศึกษาพบว่ามุม Inlet Flow Angles (β) ที่เหมาะสมในการจ่าย Carrier Gas สู่อุณหภูมิพลาสมา คือ 30° โดยผลของมุมอื่นๆแสดงดังรูปที่ 3



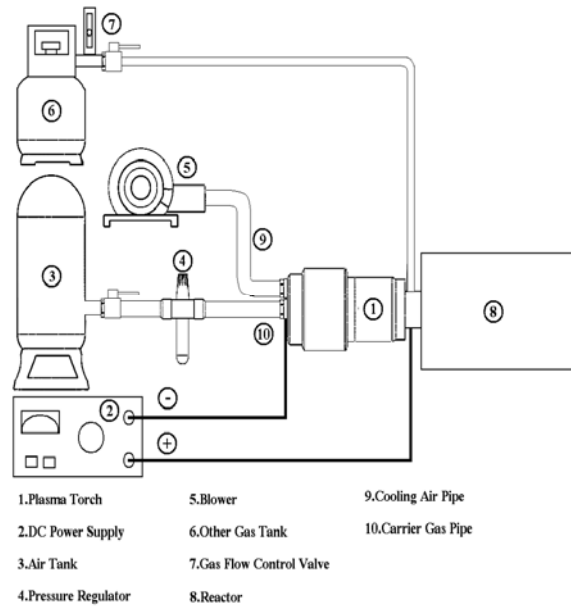
รูปที่ 3 ผลกระทบของมุมไหลที่มีต่อการกระจายตัวของความเร็วก๊าซตามแนวเส้นกึ่งกลาง (Moon et al.[5])

Hur et al.[6] ทำการศึกษาหัวเผาพลาสมาใช้ก๊าซอาร์กอนเป็น Carrier Gas ที่มีความแตกต่างของการจัดวางขั้วแคโทดและหัวฉีด 6 แบบ เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการสร้างเปลวพลาสมาที่สมบูรณ์ ซึ่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการศึกษาครั้งนี้พบว่าเงื่อนไขในการทำให้เปลวพลาสมาที่ได้ออกมา มีความสมบูรณ์แบบมากที่สุดและได้รับความร้อนสูงที่สุดนั้นมิได้ขึ้นอยู่กับ กระแสจ่าย, อัตราการไหลของก๊าซ และระยะอาร์คเท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของหัวฉีดอีกด้วย ซึ่งการคำนวณตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของหัวฉีดที่เหมาะสมต่อค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เพียงค่าเดียว เช่น หัวฉีดหนึ่งตัวจะสามารถสร้างพลาสมาได้สมบูรณ์แบบที่ค่าอัตราการไหลของก๊าซเพียงค่าเดียวเท่านั้น เป็นต้น

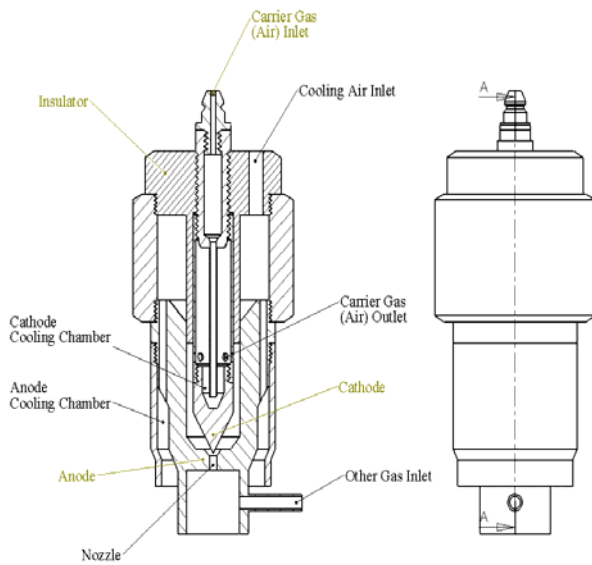
4. หัวเผาพลาสมาความร้อนต้นแบบที่สร้าง

หัวเผาพลาสมาความร้อนต้นแบบใช้หลักการสร้างพลาสมาจากการแตกตัวของอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูง พลาสมาส่วนแรกจะเกิดขึ้นบริเวณจุดอาร์คที่ผิวโลหะซึ่งใช้เป็นขั้วแคโทด หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจาก

พลาสมาของโลหะดังกล่าวจะเหวี่ยงนำให้อิเล็กตรอนของ Carrier Gas รอบๆ ขั้วแคโทดแตกตัวเป็นพลาสมาอย่างต่อเนื่อง พลาสมาส่วนที่สองจะเกิดจากการแตกตัวของภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูงระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดที่ประกอบอยู่ในหัวเผาโดยตรง ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการอัดอากาศซึ่งใช้เป็น Carrier Gas ผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดจากการอาร์คของไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 19 kW ผ่านช่องว่างระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดจนอากาศที่ใช้เป็น Carrier Gas นั้นแตกตัวเป็นพลาสมา ความร้อน ชุดหัวเผาพลาสมาต้นแบบและอุปกรณ์ต่อพ่วงแสดงดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 หัวเผาพลาสมาต้นแบบและอุปกรณ์ต่อพ่วง



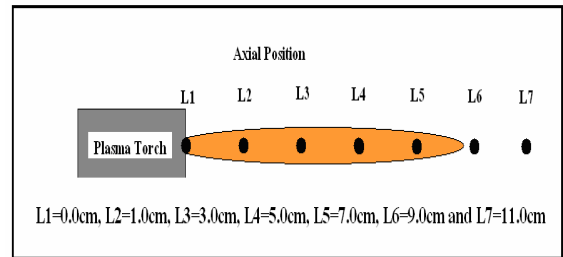
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของหัวเผาพลาสมาดันแบบ

5. การทดสอบ

5.1 การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมา

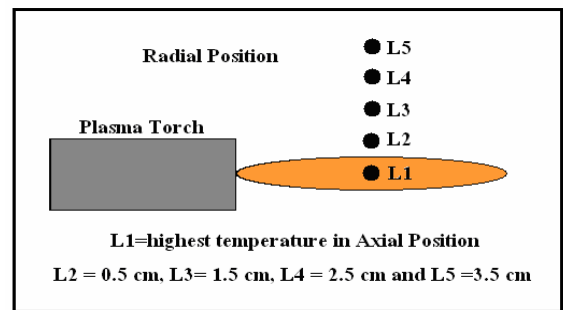
การทดสอบหัวเผาพลาสมาดันแบบในงานวิจัยนี้จะทำการอัดอากาศซึ่งใช้เป็น Carrier Gas ปริมาณ 0.006 kg/s ผ่านสนามไฟฟ้ากำลังสูงที่เกิดจากการอาร์คของไฟฟ้ากระแสตรงกำลังไฟฟ้า 19 kW บริเวณช่องว่างระหว่างขั้วแคโทด และแอโนดเพื่อให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา โดยทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ 380 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรด 3 ค่าคือ 30 A , 40 A และ 50 A ตามลำดับ และวัดอุณหภูมิของเปลวพลาสมาในแนวแกนกลางและแนวรัศมีโดยใช้เทอร์โมคอปเปิลชนิดเค

การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาในแนวแกนกลาง จะวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ห่างจากปากหัวเป็นระยะ L1 = 0.0 cm, L2 = 1.0 cm, L3 = 3.0 cm, L4 = 5.0 cm, L5 = 7.0 cm, L6 = 9.0 cm และ L7 = 11.0 cm ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการวัดอุณหภูมิในแนวแกนกลางของเปลวพลาสมา

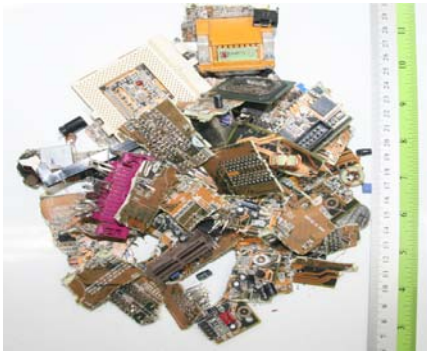
การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาในแนวรัศมีจะวัดตั้งฉากกับแกนกลางของเปลวพลาสมาที่ตำแหน่งต่างๆ เป็นระยะ L1 = 0 cm, L2 = 0.5 cm, L3 = 1.5 cm, L4 = 2.5 และ L5 = 3.5 cm ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการวัดอุณหภูมิในแนวรัศมีของเปลวพลาสมา

5.2 การทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์

ทดสอบการเผาทำลายแผงวงจรไฟฟ้าน้ำหนัก 200 g ที่ใช้เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง โดยบรรจุขยะตัวอย่างในห้องเผาจำลองขนาดห้องปฏิบัติการ ทำการวัดอุณหภูมิห้องเผาขณะทำการเผาทำลายและเก็บตัวอย่างขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เผาทำลายในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเผาทำลายของหัวเผาพลาสมาดันแบบ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการเผาทำลายแสดงดังรูปที่ 8

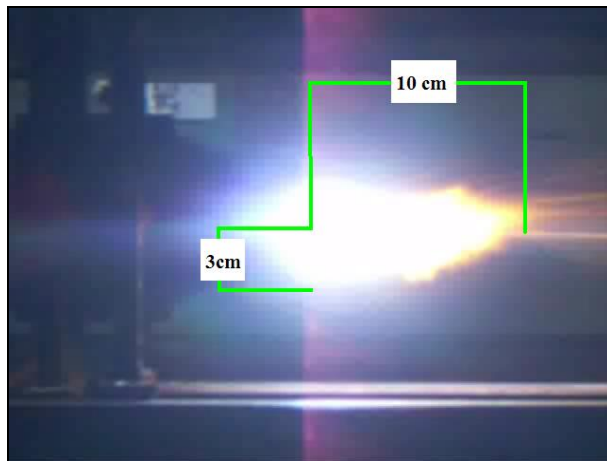


รูปที่ 8 ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง
ที่ใช้ทดสอบการเผาทำลาย

6. ผลการทดสอบ

6.1 มิติของเปลวพลาสมา

หัวเผาพลาสมาต้นแบบสร้างพลาสมาความร้อนที่มีความยาวเฉลี่ยในแนวแกนของเปลวพลาสมาเท่ากับ 10 cm และความกว้างเฉลี่ยในแนวรัศมีของเปลวพลาสมาเท่ากับ 3.0 cm ในทุกค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด มิติของเปลวพลาสมาที่ได้จากหัวเผาพลาสมาต้นแบบแสดงดังรูปที่ 9

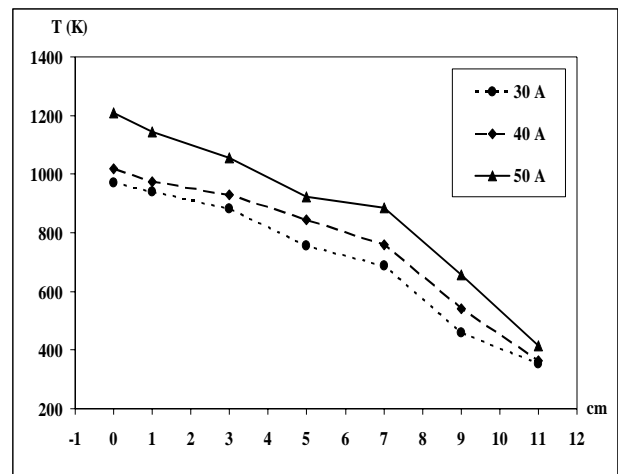


รูปที่ 9 มิติของเปลวพลาสมาในแนวแกนและแนวรัศมี

6.2 อุณหภูมิของเปลวพลาสมา

6.2.1 อุณหภูมิในแนวแกนของเปลวพลาสมา

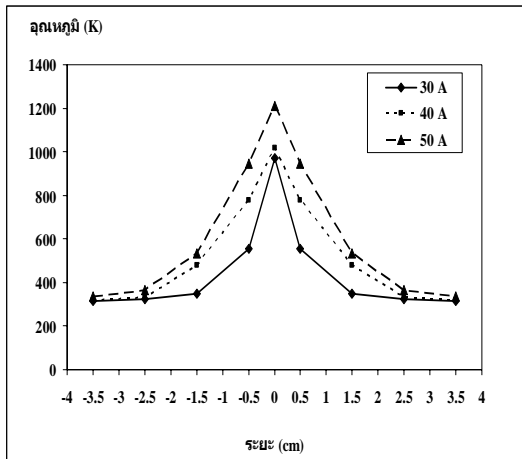
ผลการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรด 3 ค่าคือ 30 A, 40 A และ 50 A ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิในแนวแกนของเปลวพลาสมามีค่าสูงสุดเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 50 A อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1210 K ที่ปากทางออกของหัวเผา ซึ่งอุณหภูมิของเปลวพลาสมาจะมีค่าลดลงตามความยาวในแนวแกนที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 อุณหภูมิในแนวแกนกลางของเปลวพลาสมา

6.2.2 อุณหภูมิในแนวรัศมีของเปลวพลาสมา

ผลการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรด 3 ค่าคือ 30 A, 40 A และ 50 A ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิในแนวรัศมีของเปลวพลาสมามีค่าสูงสุดเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 50 A อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1210 K ที่ปากทางออกของหัวเผา ซึ่งอุณหภูมิของเปลวพลาสมาจะมีค่าลดลงตามความยาวในแนวรัศมีที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 อุณหภูมิในแนวรัศมีของเปลวพลาสมา

6.3 ผลทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

หัวเผาพลาสมาต้นแบบสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องเผาจำลองขนาดห้องปฏิบัติการได้สูงสุดเท่ากับ 1099 K เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 50 A ให้กับขั้วอิเล็กโทรด และสามารถเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างให้เป็นเถ้าที่สามารถนำไปฝังกลบในขบวนการจัดการขยะอุตสาหกรรมต่อไปได้ การแปรสภาพของขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างตามระยะเวลาการเผาทำลายแสดงดังรูปที่ 12 และ 13



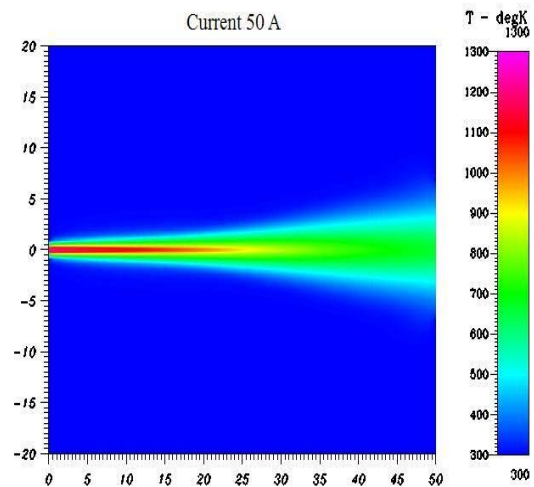
รูปที่ 12 ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่มีการแปรสภาพ หลังการเผาทำลาย 1 นาที



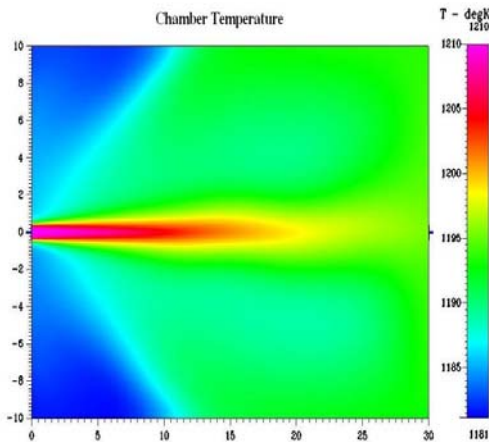
รูปที่ 13 ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่มีการแปรสภาพ หลังการเผาทำลาย 2 นาที

6.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากแบบจำลองการถ่ายเทความร้อน

แบบจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิจะสมมุติให้กระแสก๊าซร้อนเป็นตัวแทนของเปลวพลาสมาที่พุ่งออก จากหัวเผาพลาสมาต้นแบบใน 2 กรณี คือ ก๊าซร้อนพุ่งออกสู่บรรยากาศโดยตรง และก๊าซร้อนพุ่งออกสู่ห้องเผาไหม้จำลอง ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม CFD ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 14 และ 15



รูปที่ 14 การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิด้วยโปรแกรม CFD เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 50 A ให้กับขั้วอิเล็กโทรด

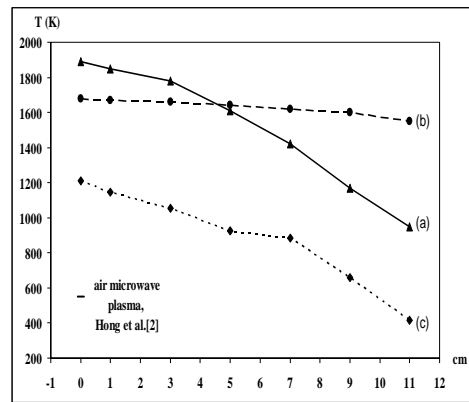


รูปที่ 15 การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาจำลองด้วยโปรแกรม CFD เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 50 A ให้กับขั้วอิเล็กโทรด

7. การเปรียบเทียบผลการทดสอบ

7.1 อุณหภูมิพลาสมาของหัวเผาพลาสมาต้นแบบเทียบกับอุณหภูมิ Microwave Plasma ของ Bang et al.[2]

ผลการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรด 50 A หัวเผาพลาสมาต้นแบบสามารถสร้างพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Microwave Plasma ขนาด 1.5 kW ของ Bang et al.[2] ที่สร้างพลาสมาซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุด 600 K ในกรณีที่ใช้อากาศเป็น Carrier Gas เพียงชนิดเดียว แต่ในกรณีที่ Microwave Plasma [2] ใช้ Carrier Gas เป็นก๊าซผสม (a) 60-L/min swirl air + mixture of 10-L/min CH₄ and 40L/min air, (b) 40-L/min swirl air + mixture of 10-L/min CH₄ and 60L/min air โดยอุณหภูมิ Microwave Plasma [2] ที่ได้จากก๊าซผสมทั้งสองชนิดจะแสดงดังกราฟ (a), (b) ของรูปที่ 16 ตามลำดับ และกราฟ (c) จะแสดงอุณหภูมิพลาสมาที่ได้จากหัวเผาพลาสมาต้นแบบซึ่งใช้อากาศเป็น Carrier Gas เพียงชนิดเดียว



รูปที่ 16 อุณหภูมิที่วัดได้ในแนวแกนของเปลวพลาสมาจากหัวเผาต้นแบบกับอุณหภูมิ Microwave Plasma ของ Bang et al.[2]

8. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

หัวเผาพลาสมาต้นแบบใช้หลักการสร้างพลาสมาด้วยสนามไฟฟ้ากำลังสูงขนาด 19 kW สามารถสร้างพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงสุดได้สูงกว่าอุณหภูมิ Microwave Plasma ขนาด 1.5 kW ของ Bang et al. [2] ในกรณีที่ใช้อากาศเป็น Carrier Gas เพียงชนิดเดียว เนื่องจากพลังงานที่จ่ายให้กับหัวเผาพลาสมาต้นแบบสูงกว่าพลังงานที่จ่ายให้กับ Microwave Plasma จึงทำให้อากาศที่เป็น Carrier Gas แยกตัวเป็นพลาสมาได้มากกว่าและให้ความร้อนสูงกว่า แต่ในกรณีที่ Microwave Plasma ใช้ Carrier Gas เป็นก๊าซผสม (a) 60-L/min swirl air + mixture of 10-L/min CH₄ and 40L/min air จะได้พลาสมาที่มีอุณหภูมิ 1890 K และ (b) 40-L/min swirl air + mixture of 10-L/min CH₄ and 60L/min air จะได้พลาสมาที่มีอุณหภูมิ 1680 K ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิพลาสมาดังกล่าวสูงกว่าอุณหภูมิพลาสมาของหัวเผาพลาสมาต้นแบบ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซผสมที่ใช้เป็น Carrier Gas มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งสามารถเกิดการสันดาปได้หากโมเลกุลของก๊าซนั้นแยกตัวเป็นพลาสมาไม่หมด สังเกตได้จากก๊าซผสมดังกล่าวมีส่วนผสมของ

อากาศทำให้การสันดาปอาจเกิดขึ้นได้ภายในท่อที่ใช้เป็นส่วนกำเนิดพลาสมาหรืออาจเกิดขึ้นหลังจากโมเลกุลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ไม่แตกตัวเป็นพลาสมาหลุดออกมาผสมกับอากาศที่ปากท่อแล้วได้รับความร้อนจากเปลวพลาสมาจนเกิดการสันดาปให้ความร้อนเพิ่ม ส่งผลให้อุณหภูมิพลาสมาที่ได้จาก Microwave Plasma สูงกว่าอุณหภูมิพลาสมาของหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

9. สรุปผล

(1) หัวเผาพลาสมาต้นแบบสามารถสร้างพลาสมาความร้อนที่มีความยาวเฉลี่ยในแนวแกนของเปลวพลาสมาเท่ากับ 10 cm และความกว้างเฉลี่ยในแนวรัศมีของเปลวพลาสมาเท่ากับ 3.0 cm ในทุกค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ใช้เป็น Carrier Gas คงที่เท่ากับ 0.006 kg/s

(2) อุณหภูมิในแนวแกนและแนวรัศมีของเปลวพลาสมามีค่าสูงสุดที่ปากทางออกของหัวฉีดวัดได้เท่ากับ 1210 K เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 50 A ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 380 V สูงกว่าอุณหภูมิ Microwave Plasma ของ Bang et al.[2] ที่มีอุณหภูมิพลาสมาเท่ากับ 600 K ในกรณีใช้อากาศเป็น Carrier Gas เพียงชนิดเดียว

(3) การใช้แบบจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิสามารถทำนายผลได้ดีในช่วงตั้งแต่ปากทางออกหัวเผาจนถึงระยะ 3.0 cm ในแนวแกนและระยะ 1.5 cm ในแนวรัศมี

(4) หัวเผาพลาสมาต้นแบบสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องเผาจำลองได้สูงสุดเท่ากับ 1099 K และใช้เวลา 2 นาทีในการเผาทำลายแผงวงจรคอมพิวเตอร์น้ำหนัก 200 g ที่ใช้เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างให้เป็นเถ้าที่สามารถนำไปฝังกลบในกระบวนการกำจัดขยะอุตสาหกรรมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เพ็ญศรี ประมขกุล. การเกิดอนุภาคขนาดใหญ่จากเครื่องกำเนิดไอออนชนิดเอ็ม อี วี วี เอ เมื่อใช้ทองแดงเป็นแคโทด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [2] C.U.Bang , Y.C.Hong , S.C.Cho, H.S.Uhm and W.J.Yi (2006). Methane-Augmented Microwave Plasma Burner. IEEE Transactions on Plasma Science, vol.34, No.5, October 2006, 1751-1756
- [3] C.-K.Chen, S.Gleiman and J.Phillips (2000). Low Power Plasma Torch Method for the production of crystalline spherical ceramic particles. Los Alamos National Laboratory ESA-WMM, MS C930, LOS Alamos, Aiche 2000 Annual Meeting, 16 November 2000, Advances in Ceramic Processing, NM 87545
- [4] G.Pilla, D.Galley, D.A. Lacoste, F.Lacas, D.Veynante and C.O. Laux (2006). Stabilization of a Turbulent Premixed Flame Using a Nanosecond Repetitively Pulsed Plasma. IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 34, No. 6, December 2006, 2471-2477
- [5] J.-H.Moon, J.-G.Han and Y.J. Kim (2005). Performance of an atmospheric plasma torch with various inlet angles. Science Direct, Surface and Coatings Technology, vol. 193, Issues 1-3, Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering 2003, 94 –100
- [6] M.Hur, C.M.Lee and S.H.Hong (2002). Development of a transferred plasma torch for the efficient vitrification treatment for hazardous wastes. American Physical Society, 55th Gaseous Electronic Conference, October 15-18, 2002, Minneapolis, MN, Meeting ID GEC02, abstract #GTP.090