

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การดำเนินงานในโครงการ การเพิ่มความสามารถการตกตะกอนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจากการเผาไหม้ภายใต้สภาวะพลาสมา ด้วยการใช้ตัวขวางการไหล เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องรวมตัวอนุภาคขนาดเล็กด้วยเทคนิคพลาสมาปราศจาก ความร้อน (Non-thermal plasma) ซึ่งจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator, ESP) โดยทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการติดตั้งตัวขวางการไหล และศึกษารูปแบบของตัวขวางการไหล (Bluff-body) ที่มีผลต่อการการดักจับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กด้วยเทคนิคพลาสมา ช่วยเพิ่มสมรรถนะในการกำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก ในระดับเล็กมาก (Submicron) โดยรายละเอียดของการศึกษาโดยสรุปมีดังนี้

5.1 การศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวขวางการไหล

การศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวขวางการไหล โดยมีอากาศเป็นของไหลที่ใช้ทดสอบพบว่า อากาศที่ไหลผ่านตัวขวางการไหลทุกรูปทรงจะเกิดการหมุนวนของอากาศ (Wake) และเกิดการแกว่งของของการหมุนวน (Vortex shedding) บริเวณด้านหลังตัวขวางการไหล โดยรูปทรงทุกแบบของตัวขวางการไหลจะมีพื้นที่หน้าตัด (Projection area) เท่ากัน คือ 0.02 m จากการศึกษาเบื้องต้นด้วย CFD ในลักษณะ 2 มิติ พบว่า รูปทรงของตัวขวางการไหลแบบทรงกระบอกกลมจะเกิดความดันตกคร่อมในอุโมงค์ลม น้อยที่สุด รองลงมาคือ รูปทรงแบบ ทรงกระบอกกลม และทรงกระบอกสามเหลี่ยม โดยรูปร่างที่มีความดันตกคร่อมมากที่สุด คือ แบบแผ่นเรียบ

รูปทรงของตัวขวางการไหลที่น่าสนใจ ในการทดสอบ เพื่อศึกษาผลการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กระดับ ซับไมครอน คือ รูปทรงแบบทรงกระบอกกลม และแบบแผ่นเรียบ เนื่องจาก รูปทรงแบบทรงกระบอกกลม เกิดความดันตกคร่อมน้อยที่สุด ส่วนรูปทรงแบบแผ่นเรียบ จะเกิดผลของการแกว่งของ Wake ได้รุนแรง และเกิดความกว้างของ Vortex shedding มากที่สุด

การติดตั้งตัวขวางการไหลจะทำให้เกิด Vortex shedding ด้านหลังตัวขวางการไหล โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ Near wake instability, Staggered vortices, Far wake instability ซึ่งระยะที่น่าสนใจในการติดตั้งอิเล็กโทรดคือ ระยะระหว่าง Near wake instability และ Staggered vortices เนื่องจากเป็นจุดที่เริ่มมีการแกว่งที่คงที่ และยังคงมีความรุนแรง Wake อยู่มาก โดยในการทดสอบในครั้งนี้ระยะที่ติดตั้ง อิเล็กโทรด คือระยะช่วง 0.30-0.35 m

5.2 การศึกษาผลพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อเครื่องรวมตัวอนุภาคขนาดเล็ก

การศึกษาผลของความเร็วยที่มีผลต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สภาวะพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็กลดลง เนื่องจาก การเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามพลาสมาเร็วเกินไป ส่งผลให้การชาร์ตอนุภาคได้อ่อนและอิเล็กตรอน เกิดขึ้นได้น้อย ทำให้อนุภาคที่ถูกชาร์ตมีหนาแน่นของประจุไฟฟ้าน้อยลง ผลดังกล่าว จะส่งผลให้ความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคลดน้อยลง ดังนั้นการติดตั้งตัวขวาง เพื่อให้เกิดการหมุนวนของอนุภาคจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กได้มากขึ้น

การศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า กรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นสูงเมื่อทำการชาร์จอนุภาคด้วยพลาสมาประสิทธิภาพในการลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็กจะสูงกว่ากรณีที่มีความเข้มข้นของอนุภาคต่ำ เนื่องจากอนุภาคเมื่อถูกชาร์จด้วยพลาสมาจนอนุภาคเกิดเป็นประจุต่างขั้วขึ้น ซึ่งที่ความเข้มข้นของอนุภาคสูงอนุภาคจะอยู่กันหนาแน่นกว่ากรณีความเข้มข้นต่ำ ทำให้อนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงสามารถเกิดการชนและดึงดูดกันได้ดีกว่ากรณีที่มีความหนาแน่นของอนุภาคน้อยหรือความเข้มข้นต่ำ

การศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุด สูงขึ้น ความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดสอบนี้ที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 35 kV จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก โดยเฉพาะอนุภาคขนาด 0.3-0.5 μm สามารถลดจำนวนอนุภาคได้ถึง 94 % ที่ความเร็วก๊าซ 0.5 m/s และความถี่พัลส์ 10 kHz แต่อย่างไรก็ตามในการกระตุ้นแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ที่สูงมากขึ้นจะทำให้มีโอกาส เกิดการ Spark break down ได้ระหว่าง Collecting electrode และ Discharge electrode ที่ระยะห่างเท่าเดิม

การศึกษาผลของความถี่พัลส์ที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า ในการกระตุ้นความถี่พัลส์ให้มากขึ้นจะสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมา ซึ่งในการทดสอบในครั้งนี้ที่ความถี่พัลส์ เท่ากับ 10 kHz จะทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามในการเพิ่มความถี่พัลส์ให้สูงขึ้นอีก อาจจะทำให้ความสามารถในการกระตุ้นให้เกิดพลาสมาลดลง เนื่องจากที่ความถี่สูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการแตกตัวของอากาศให้เกิดขึ้นเป็นไอออน จะลดน้อยลงตามไปด้วย

จากการศึกษาผลของความเร็วก๊าซ ความถี่พัลส์ และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด พบว่า ในการวางแผ่น Discharge electrode แบบพินเลื้อย โดยให้แนวพินของพินเลื้อยอยู่ทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของอากาศ จะมีความสามารถในการลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมา ได้น้อยกว่า การวางแนวพินเลื้อยให้ตั้งฉากหรือวางขวางกับแนวการเคลื่อนที่ของอากาศ เนื่องจาก การวางแนวพินเลื้อยให้อยู่แนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของอากาศจะทำให้เกิดกลุ่มพลาสมาขึ้น 2 ชั้น โดยพลาสมาที่เกิดจะเกิดขึ้นที่ปลายแหลมของพินเลื้อยทั้งบนและล่าง แล้วแยกออกไปทางด้านซ้ายและขวา ไปยัง Collecting electrode ทำให้เกิดการกระจายตัวของกลุ่มพลาสมามากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของกลุ่มพลาสมามีน้อยลง ซึ่งต่างจากการวางแนวพินเลื้อยแบบขวางการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งกลุ่มพลาสมาจะออกจากปลายพินเลื้อยทั้งซ้ายและขวาโดยตรง ไปยัง Collecting electrode ทำให้เกิดกลุ่มพลาสมาเพียงชั้นเดียว ส่งผลให้ความหนาแน่นของไอออนในกลุ่มพลาสมาจะมีมากกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการชาร์จอนุภาคขนาดเล็กที่เคลื่อนผ่านพลาสมาจะเกิดขึ้นได้มากกว่า เมื่อเทียบกับการวางแนวพินเลื้อยตามแนวการเคลื่อนที่ของอากาศ

การศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดลงของอนุภาคเล็ก ที่ขนาด 0.3-0.5 μm มีผลไม่แตกต่างกันหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้นส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเริ่มต้นในการกระตุ้นอากาศให้แตกตัวเป็นพลาสมามีค่าน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม ในการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาอาจไม่ได้สูงขึ้นมาก เนื่องจากอุณหภูมิ

ในการทดสอบมีค่าอุณหภูมิไม่สูงมากนัก อันเป็นผลมาจากหากทดสอบที่อุณหภูมิเกิน 100 °C จะทำให้โอโม่งค์ลุ่มที่เป็นอะคิลิคเกิดการละลายได้

การศึกษาผลของความชื้นของอากาศที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้สนามพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่า เมื่อความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 80.4% ผลของประสิทธิภาพในการลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก จะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับกรณีสภาวะปกติ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 46.3% เนื่องจากการแตกตัวของอากาศให้เป็นไอออนจะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เพราะมีอนุภาคของไอน้ำเข้ามามีผลกระทบ และในกรณีที่อากาศมีความชื้นสูง จะทำให้เกิดไอน้ำเกาะที่ผิวโอโม่งค์ลุ่ม และอิเล็กโทรดแบบพื้นเลื่อยและแผ่น ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรที่ผิวโอโม่งค์ลุ่ม ในกรณีที่ป้อนกระแสไฟฟ้าที่ความถี่พัลส์ต่ำจะทำให้การเกิดการลัดวงจรในอากาศ ดังนั้นในกรณีที่ก๊าซมีความชื้นสูงควรเลือกป้อนแรงไฟฟ้าที่มีความถี่พัลส์สูง

5.3 การศึกษาผลของตัวขวางการไหลที่มีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องตกตะกอนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กด้วยเทคนิคพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน

จากการศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวขวางการไหลในเบื้องต้น ด้วย CFD ซึ่งจะได้รูปทรงของตัวขวางการไหลที่น่าสนใจ คือ แบบทรงกระบอกกลม และแบบแผ่นเรียบ เมื่อนำทั้ง 2 ตัวขวางการไหลมาทดสอบผลกระทบที่มีต่อการลดลงของอนุภาคขนาดเล็กภายใต้พลาสมาชนิดไม่มีความร้อน พบว่าการติดตั้งตัวขวางการไหลสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ในการลดลงของอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะอนุภาคขนาด 0.3-0.5 μm โดยในผลการทดสอบในครั้งนี้ ที่ความเร็ว 1 m/s ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของอนุภาคไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ความเร็ว 2 m/s กรณีติดตั้งตัวขวางการไหลจะเพิ่มเปอร์เซ็นต์การลดลงของอนุภาค 0.3-0.5 μm ได้มากกว่ากรณีไม่ติดตั้งตัวขวางการไหล ถึง 37% และ 27% ซึ่งเป็นผลของการติดตั้งตัวขวางการไหลแบบแผ่นเรียบ และทรงกระบอกกลม ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็ว 2 m/s และ 3 m/s จะได้ผลในแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความเร็ว 1 m/s

การติดตั้งตัวขวางการไหลสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมตัวอนุภาคขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจาก การติดตั้งตัวขวางการไหล จะทำให้เกิด Vortex shedding ที่บริเวณด้านหลังตัวขวางการไหล ซึ่งสามารถช่วยการเพิ่มระยะทางในการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านสนามพลาสมา รวมไปถึงสามารถช่วยเพิ่มโอกาสในการชนกันของอนุภาค หลังจากที่ถูกชาร์ตประจุด้วยพลาสมา ส่งผลให้สามารถช่วยลดจำนวนอนุภาคขนาดเล็กในระดับซับไมครอน ได้มากขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดจำนวนอนุภาคระดับซับไมครอนภายใต้เทคนิคพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน ด้วยการติดตั้งตัวขวางการไหล จะเห็นได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมตัวของอนุภาคได้ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ สิ่งที่น่าสนใจศึกษาเพิ่มเติม คือ การพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม ที่สามารถใช้งานจริงได้ ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ Electrostatic Precipitator (ESP)

การศึกษาในระดับขนาดอุตสาหกรรม จะมีผลของอุณหภูมิก๊าซมาเกี่ยวข้องมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในระดับอุตสาหกรรมจะมีอุณหภูมิสูงมาก ซึ่งความศึกษาผลกระทบการรวมตัวอนุภาคขนาดเล็กที่มาจากผลของอุณหภูมิสูง ต่อไป