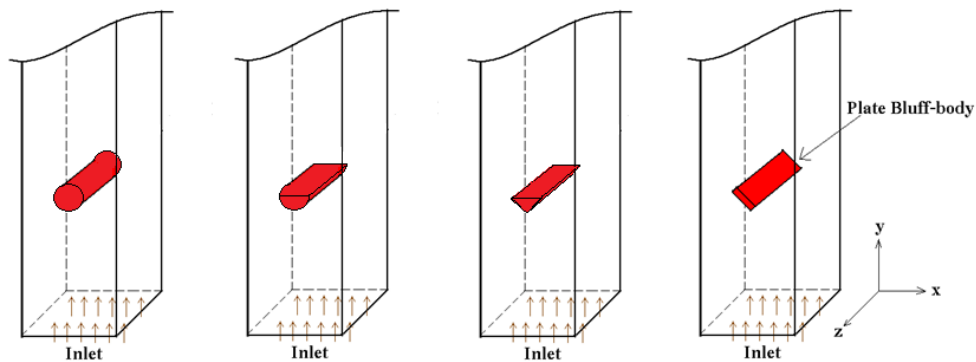


บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์

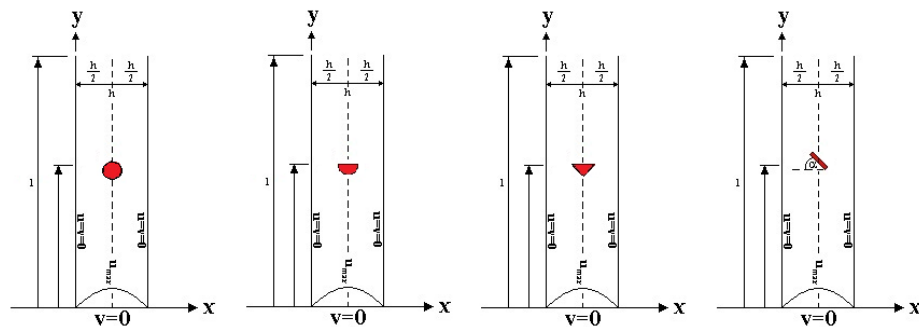
การเพิ่มความสามารถการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจากการเผาไหม้ภายใต้สนามพลาสมา ด้วยการใช้ตัวขวางการไหล ในวิธีดำเนินการวิจัยจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ โดยในส่วนแรก จะทำการศึกษาผลการเกิด Vortex shedding ด้านหลังตัวขวางการไหลด้วย CFD ในเบื้องต้น และนำไปเปรียบเทียบกับผลการไหลที่ได้จากการทดสอบจริง เพื่อเลือกรูปแบบของตัวขวางการไหลที่น่าสนใจ ส่วนที่สอง จะทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรวมตัวของอนุภาค ในกรณีที่ติดตัวขวางและไม่ติดตัวขวางการไหล โดยสามารถแสดงรายละเอียดการดำเนินการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

3.1 แนวทางศึกษาผลการไหลของของไหลผ่านตัวขวางการไหลรูปแบบต่างๆ

การศึกษาการเคลื่อนที่ผ่านตัวขวางการไหลจะทำการศึกษาเบื้องต้นด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Computational fluid dynamics, CFD) แล้วนำไปเทียบกับการทำการทดสอบเสมือน (Visualization) เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องการศึกษาผลของของไหลไหลผ่านตัวขวางการไหล โดยแบบจำลองที่ทำการศึกษา จะศึกษาในลักษณะของท่อลมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ติดตั้งตัวขวางการไหลแบบท่อกลม ท่อครึ่งทรงกลม ท่อสามเหลี่ยม และแบบแผ่น ไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ ซึ่งตัวขวางการไหลดังกล่าวจะยาวขวางตลอดทั้งหน้าตัดท่อลมสี่เหลี่ยมจัตุรัส แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 3.1 ในลักษณะ 3 มิติ ที่มีลักษณะสมมาตรกันในแนวแกน z ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาในลักษณะของ 2 มิติได้ดังรูปที่ 3.1 (ข) และในการกำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขต่างๆกำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1



(ก)



(ข)

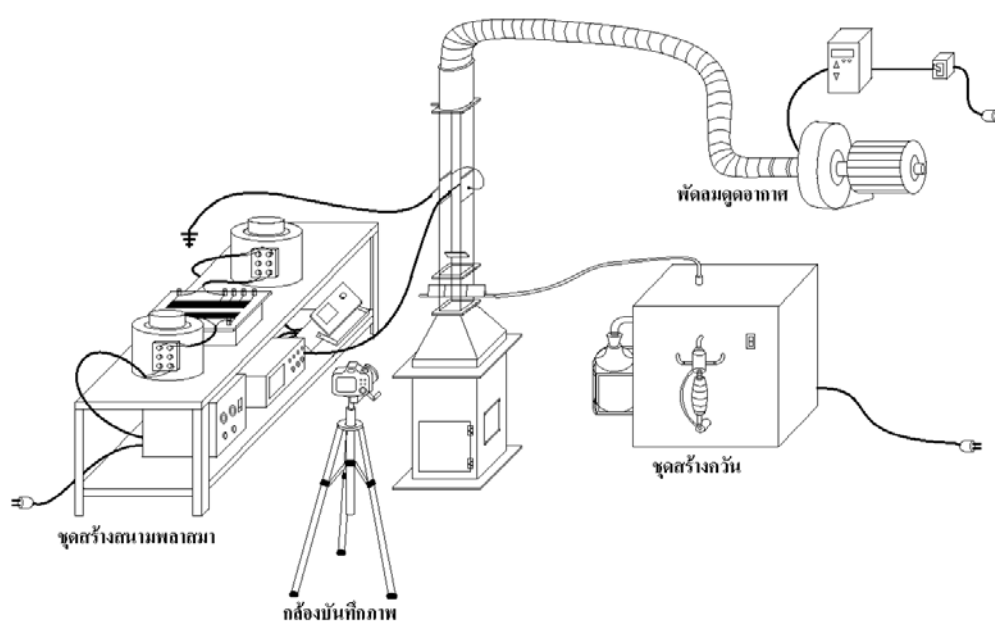
รูปที่ 3.1 ลักษณะของตัวขวางการไหลและลักษณะการติดตั้ง 3 (ก) มิติ และ (ข) 2 มิติ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติและเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณ

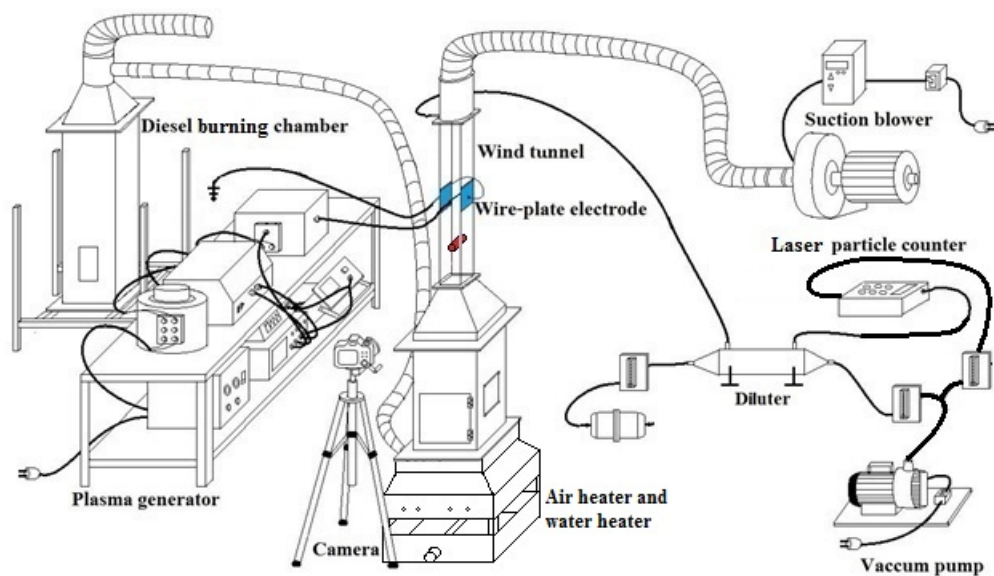
รายการ	รายละเอียด
แบบจำลองการไหลปั่นป่วน	k-epsilon
ขนาดของอุโมงค์ลม กว้าง x ยาว x สูง (m)	0.06 x 0.08 x 0.6
ขนาดตัวขวางการไหล (กว้าง x ความหนา) (m)	0.0005 x 0.025
ตำแหน่งติดตั้งตัวขวางการไหล	กึ่งกลางท่อ
มุมการวางตัวขวางการไหลแบบแผ่น (α)	30° , 45° , 60°
จำนวนเซลล์ (Cells)	1×10^5
ของไหลในท่อ	อากาศ (Air)
ความเร็วอากาศขาเข้า (m/s)	0.5 - 3
ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)	1.1614
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (m^2/s)	1.589×10^{-5}
Kinetic energy (m^2/s^2)	0.0006
Dissipation rate (m^2/s^3)	6.03738×10^{-5}

3.2 อุปกรณ์และชุดทดสอบเพื่อใช้ศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวขวางการไหล และประสิทธิภาพของการรวมตัวของอนุภาคในกรณีติดตัวขวางการไหลและไม่ติดตัวขวางการไหล

จากการศึกษาอุปกรณ์เพื่อสร้างชุดทดสอบในการศึกษาการไหลของอนุภาคควัน ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวขวางการไหลและสนามไฟฟ้า รวมไปถึงการศึกษาจำนวนอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า ชุดอุปกรณ์ทั้งหมดจะแสดงรูปแบบร่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของชุดทดสอบสำหรับศึกษาการไหลของอากาศ



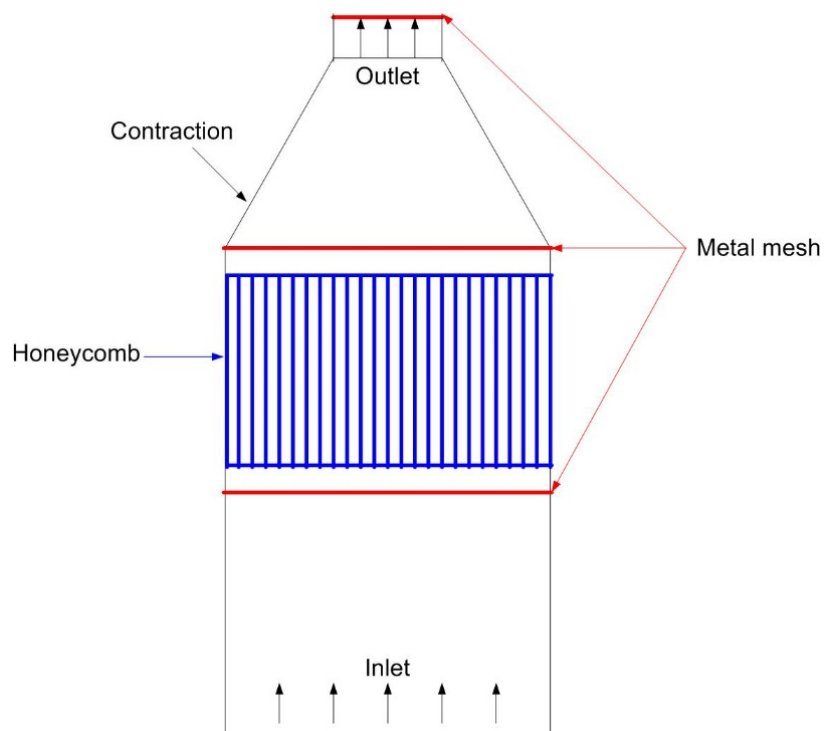
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของชุดทดสอบสำหรับศึกษาการรวมตัวของอนุภาคฝุ่น

จากรูปที่ 3.2 แสดงภาพรวมของชุดทดสอบสำหรับศึกษาการไหลของอากาศ ซึ่งมี ส่วนประกอบหลักของชุดทดสอบดังต่อไปนี้ ชุดอุโมงค์ลมขนาดเล็กวางแนวตั้ง(Wind tunnel) พร้อม ชุดดูดอากาศ (Suction blower) ชุดสร้างพลาสมา (Plasma generator) ชุดกำเนิดควันเพื่อศึกษา การไหลของอากาศผ่านตัวขวางการไหลและอิเล็กโทรด (Smoke generator) ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะ แสดงภาพจริงในรูปที่ 3.4, 3.8 และ 3.10

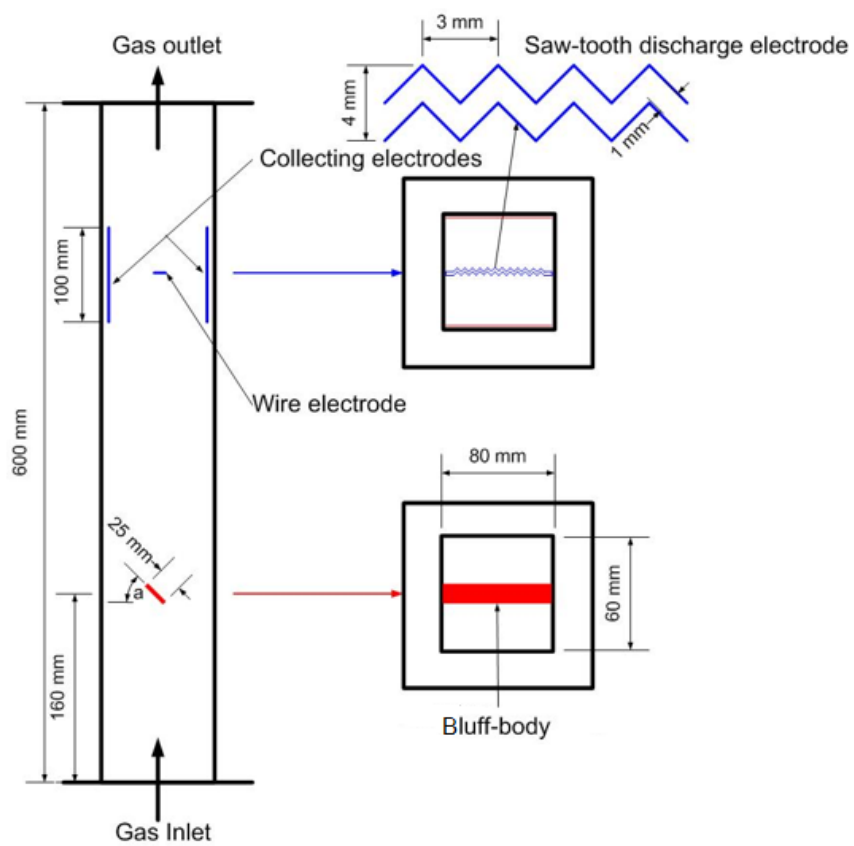


รูปที่ 3.4 อุโมงค์ลมขนาดเล็กแนวตั้ง

จากรูปที่ 3.4 แสดงรูปอุโมงค์ลมขนาดเล็กวางแนวตั้ง โดยจะถูกดูดอากาศออกด้านบน และภายในบริเวณช่วงปล่องเหล็กสีน้ำเงิน จะประกอบด้วย ตาข่ายเหล็ก (Metal Mesh) และ แผงรังผึ้ง (Honeycombs) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งหน้าที่ของ ตาข่ายเหล็ก จะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการไหลที่สม่ำเสมอ (Uniform flow) ของอากาศที่ไหลผ่านให้มากขึ้น ส่วนหน้าที่ของ แผงรังผึ้ง จะทำหน้าที่ให้อากาศที่ไหลผ่านลดการแกว่งตัว และทำให้ความเร็วเฉลี่ยตลอดทั้งหน้าตัดของอุโมงค์ลมมีค่าใกล้เคียงกันและหลังจากนั้นอากาศจะไหลเข้าสู่ในส่วนของท่ออะคลิกไซด์ (Work section) เพื่อศึกษาการไหลผ่านของอากาศผ่านตัวขวางการไหลและบริเวณที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าเพื่อให้เกิดพลาสมา ซึ่งจะมีการติดตั้งอิเล็กโทรดดังรูปที่ 3.6 โดยลักษณะของดิสชาร์จอีเล็กโทรดเป็นแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) และคอลเลคตอร์อิเล็กโทรดเป็นแบบแผ่น ซึ่งทั้งหมดทำมาจากแผ่น เหล็กสแตนเลส หนา 0.3 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยลักษณะของดิสชาร์จอีเล็กโทรด สำหรับสร้างพลาสมาควรมีลักษณะปลายแหลม เนื่องจากสามารถกระตุ้นให้พลาสมาเกิดขึ้นได้ง่าย [22, 23]



รูปที่ 3.5 ภาพภายในบริเวณของช่วงปล่องเหล็ก



รูปที่ 3.6 ลักษณะของอิเล็กโทรด และตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดและตัวขวางการไหล

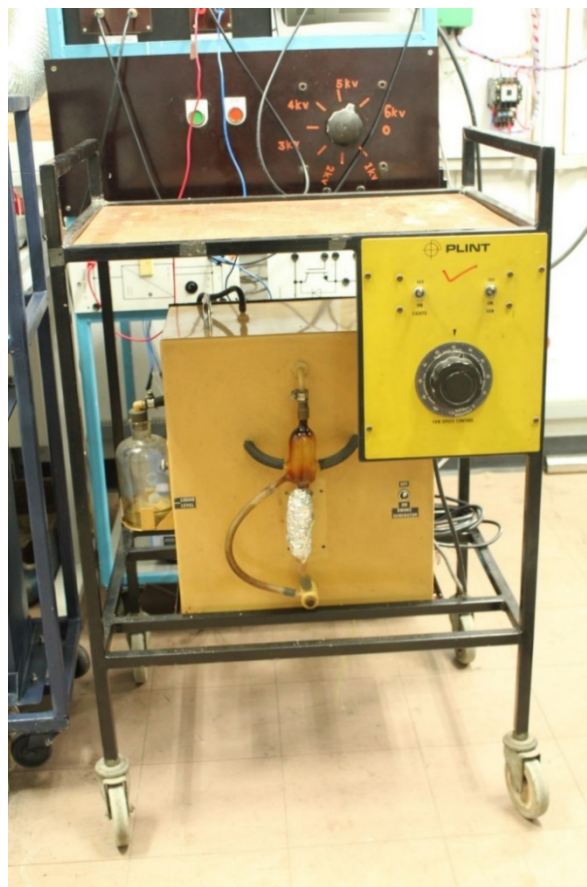


(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 ลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้ทดสอบ (ก) ดิสชาร์จอิเล็กโทรด (Discharge electrode) (ข) คอลเลคตติ้งอิเล็กโทรด (Collecting electrode)

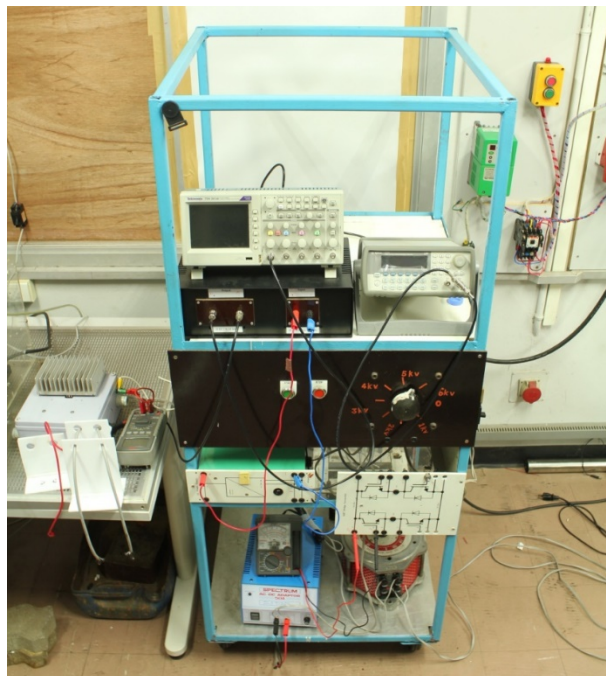


รูปที่ 3.8 เครื่องสร้างควีนเพื่อศึกษาการไหลของอากาศ

จากรูป 3.8 แสดงเครื่องกำเนิดควันเพื่อศึกษาการไหลของอากาศเครื่องดังกล่าวจะซึ่งจะต้องใช้น้ำมัน Ondina No.15 ของ Shell ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยจะต้องทำการให้ความร้อนแก่น้ำมันประมาณ 80°C เพื่อให้ น้ำมันเดือดเป็นไอ และไอน้ำมันดังกล่าวจะถูกป้อนอากาศเข้าไปเพื่อให้เกิดลักษณะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดเป็นควันสีขาว และจะถูกป้อนเข้าไปยังอุโมงค์ลม

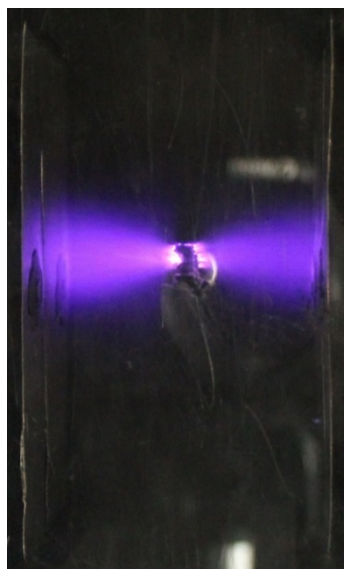


รูปที่ 3.9 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตควัน



รูปที่ 3.10 ชุดกระตุ้นพลาสมา

จากรูปที่ 3.10 จะแสดงชุดกระตุ้นพลาสมา ระบบจะเปลี่ยนจะไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220V ที่ความถี่ 50 Hz เป็นกระแสตรง (DC) ประมาณ 12 V หลังจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกกระตุ้นจนแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 35 kV โดยที่กระแสไฟดังกล่าวจะถูกควบคุมความถี่และความกว้างของพัลส์ ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ หรือ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function generator) ซึ่งจะถูกอ่านด้วยออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) โดยกระแสไฟจะถูกป้อนไปยังดิสชาร์จอิเล็กโทรด ซึ่งชุดกระตุ้นพลาสมาดังกล่าวจะทำให้เกิดพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน (Non-thermal plasma) โดยเกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นจังหวะๆ สู่อิเล็กโทรด ใช้ระยะเวลาห่างกันน้อยกว่า $1\ \mu\text{s}$ ซึ่งจะเกิดเป็นสนามไฟฟ้าแรงสูงขึ้นโดยไม่เกิดการนำไฟฟ้าระหว่างดิสชาร์จอิเล็กโทรด (Discharge electrode) และ คอลเลคตติ้งอิเล็กโทรด (Collecting electrode) หรือที่เรียกว่า ไม่ทำให้เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าในอากาศ (Spark breakdown) ผลก็คือจะได้อิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปราศจากความร้อนที่ความดันบรรยากาศ [5] หลังจากนั้นอิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำการพุ่งชนและเกาะติดกับโมเลกุลของอากาศทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุบวกและลบรวมถึงการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสีม่วงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งทำให้เกิดเป็นกลุ่มก้อนของประจุ ที่เรียกว่า สตรีมเมอร์พลาสมา (Streamer plasma)



รูปที่ 3.11 แสงสีม่วงที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะของ Streamer plasma

จากรูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของชุดทดสอบสำหรับศึกษาการรวมตัวของอนุภาคฝุ่น โดยจะทำการนับจำนวนอนุภาคที่ขนาดต่างๆ ที่เงื่อนไขในการทดสอบต่างๆ ซึ่งในชุดทดสอบดังกล่าวจะไม่มีในส่วนของชุดกำเนิดควัน แต่จะเพิ่มในส่วนของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดจำนวนอนุภาค ชุดสร้างอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (Small diesel burner) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ถึง 3.13



รูปที่ 3.12 ชุดวัดจำนวนอนุภาคควัน

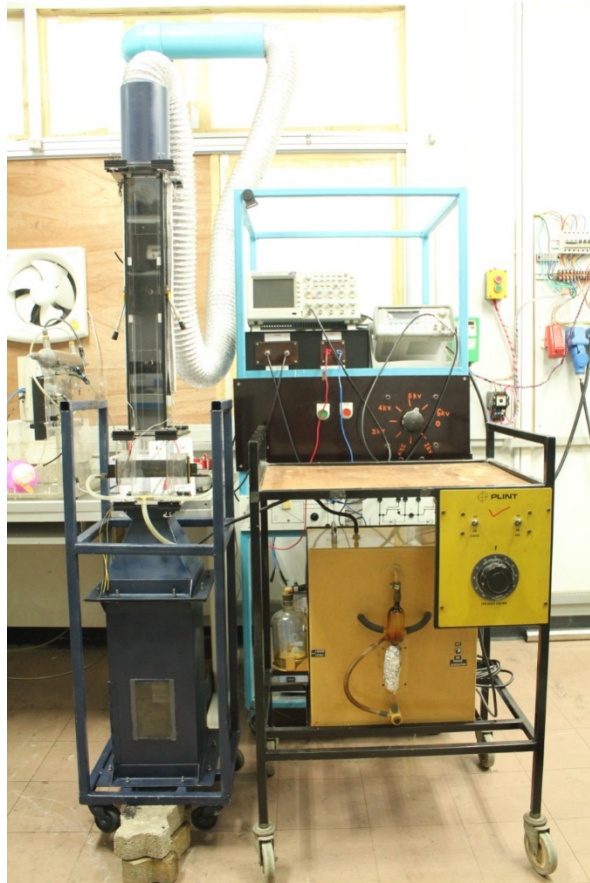
จากรูปที่ 3.12 แสดงชุดวัดจำนวนอนุภาค จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือเครื่องวัดอนุภาค (Lacer particle counter) ตัวเจือจางควัน (Diluter) และเครื่องดูดอากาศ (Vacuum) เครื่องวัดอนุภาคจะสามารถอ่านค่าจำนวนอนุภาคได้ ตั้งแต่ขนาดใหญ่มากกว่า 0.3 ไมครอนขึ้นไป โดยจะถูกบันทึกข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ยังคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคควันที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.13 เครื่องผลิตอนุภาคควัน

จากรูปที่ 3.13 แสดงเครื่องผลิตอนุภาคควัน หลักการทำงานของเครื่องดังกล่าวจะทำการฉีดน้ำมันดีเซลสู่หัวเทียนที่ทำการจุดระเบิดตลอดเวลา ทำให้น้ำมันดีเซลเกิดการเผาไหม้และเกิดควันจากการเผาไหม้ขึ้นมา ป้อนสู่อุปกรณ์ต่อไป

จากการอธิบายอุปกรณ์ ระบบ และหลักการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด จะสามารถเห็นภาพรวมของชุดทดสอบเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านตัวขวางการไหลและสนามไฟฟ้า และชุดทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคควันเมื่อผ่านสนามไฟฟ้าและเปลี่ยนแปลงของอนุภาคควันที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ 3.15 ตามลำดับ

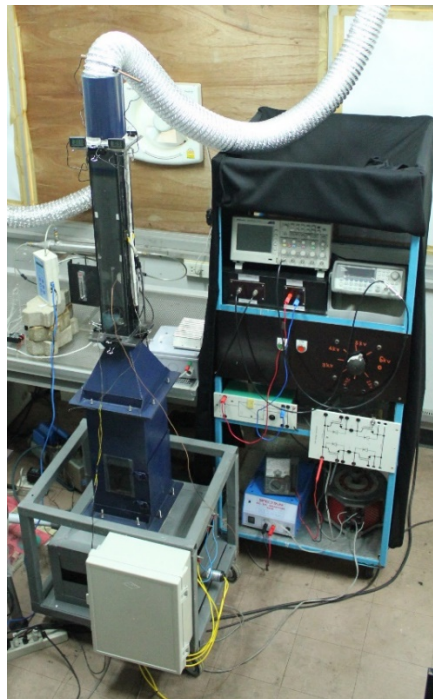


รูปที่ 3.14 ภาพรวมชุดทดสอบการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.15 ภาพรวมชุดทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การทดสอบที่ผลเนื่องจากความร้อนและความชื้นที่มีต่อการรวมตัวของอนุภาคนาโนเล็ก จะทำการติดตั้งฮีตเตอร์ (Heater) ทั้งแบบฮีตเตอร์น้ำและอากาศ โดยฮีตเตอร์น้ำจะทำหน้าที่ระเหย น้ำเพื่อให้อากาศมีความชื้นมากขึ้น และฮีตเตอร์อากาศจะทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปยัง อุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ภาพติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนฮีตเตอร์

การสร้างชุดทดสอบทั้งหมดสามารถทำการทดสอบในข้างต้นได้เป็นอย่างดี ซึ่งชุดทดสอบดังกล่าวจะสามารถนำไปทดสอบ เพื่อศึกษาผลของตัวขบวนการไหลที่มีผลต่อการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก ภายใต้เทคนิคพลาสมาชนิดไม่มีความร้อน ซึ่งสามารถทดสอบตามเงื่อนไขในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ

รายการ	รายละเอียด
ความหนาของดิสชาร์จอีเล็กโทรด แบบพินเลื่อย (m)	0.0003
ความกว้างของดิสชาร์จอีเล็กโทรด แบบพินเลื่อย (m)	0.004
ความยาวของดิสชาร์จอีเล็กโทรด แบบพินเลื่อย (m)	0.08
ขนาดของอุโมงค์ลม กว้าง x ยาว x สูง (m)	0.06 x 0.08 x 0.6
ขนาดพื้นที่หน้าตัดขวางของตัวขบวนการไหล (กว้าง x ยาว) (m)	0.08 x 0.02
ตำแหน่งติดตั้งตัวขบวนการไหล	กึ่งกลางท่อ
อุณหภูมิก๊าซในอุโมงค์ลม ($^{\circ}\text{C}$)	35-80
ความชื้นอากาศ (%ความชื้น)	40-60
ความเร็วอากาศขาเข้า (m/s)	0.5-3
แรงดันไฟฟ้าสูงสุดขาออก (kV)	15-35
ความถี่พัลส์ (kHz)	1-10
ความกว้างช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (μs)	0.0006