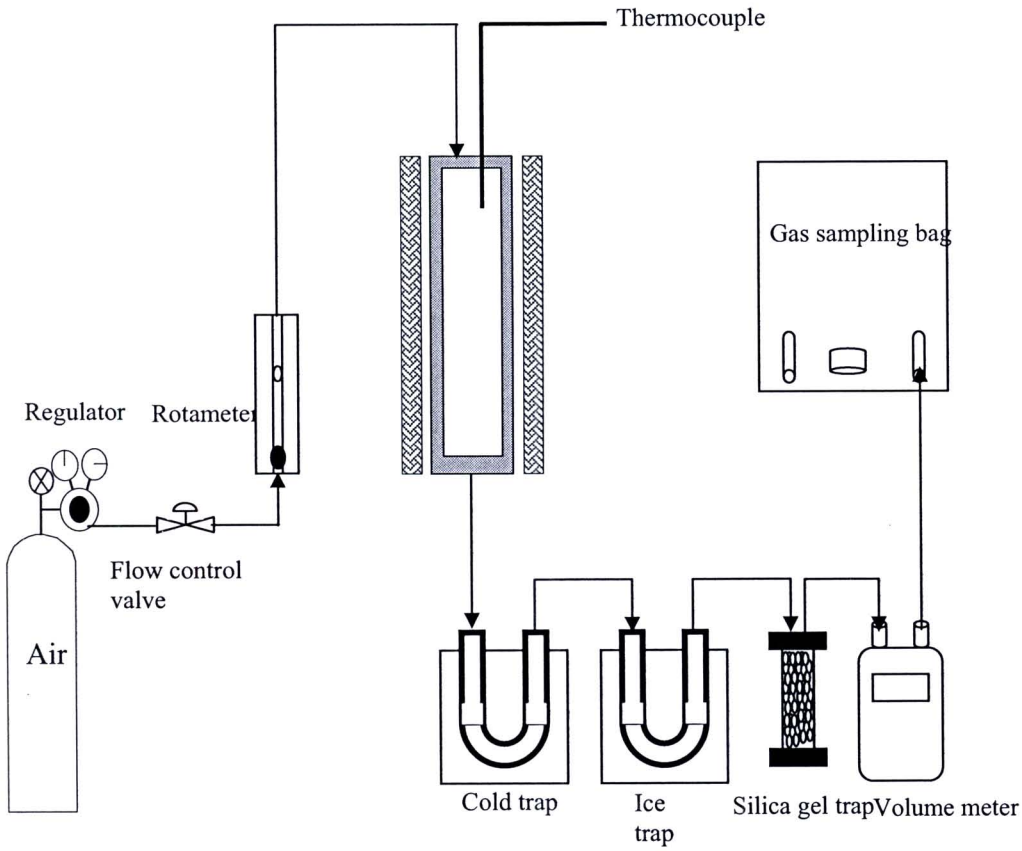
บทที่ 4

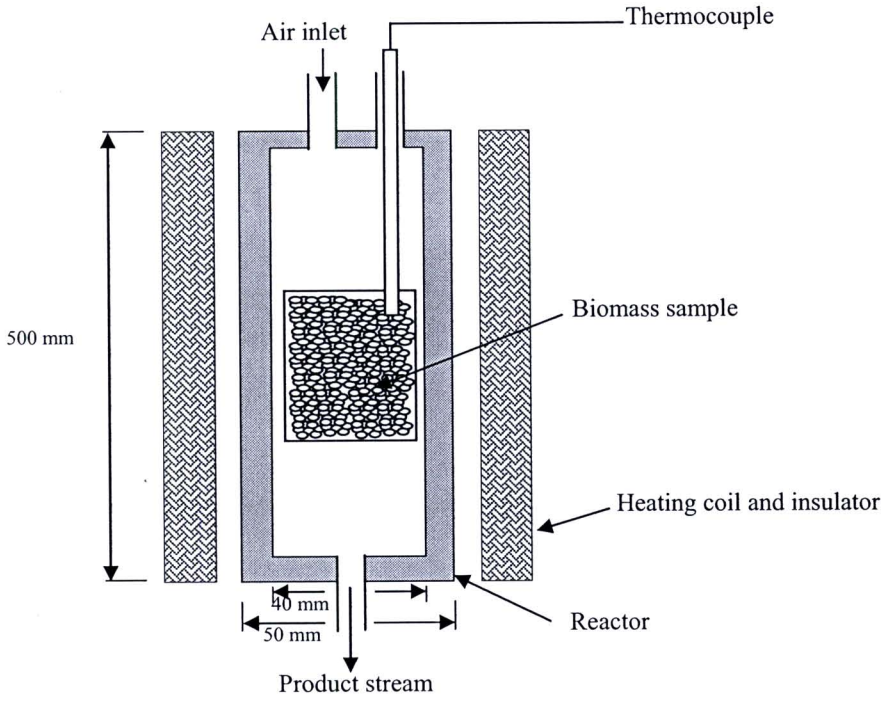
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการทบทวนเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาปฏิกรณ์และชุดทดสอบ ดังนี้

4.1 ชุดทดสอบแบบชั้นวัสดุนิ่ง



รูปที่ 4.1 ชุดทดสอบแบบชั้นวัสดุนิ่งระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.2 แผนภูมิเตาปฏิกรณ์แบบชั้นวัสดุนิ่ง

4.1.1 อุปกรณ์และชุดทดสอบ

ชุดทดสอบนี้แสดงดังรูปที่ 4.1 ชุดเตาปฏิกรณ์เป็นทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิมขนาด 50 มิลลิเมตร สูง 50 เซนติเมตร ให้ความร้อนจากภายนอกด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้า และบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา ดังรูปที่ 4.2 ในชุดทดสอบประกอบด้วยถังอากาศ เตาปฏิกรณ์ หัววัดอุณหภูมิ และชุดเก็บตัวอย่างก๊าซที่มีชุดท่อแก้วที่มีสารไอโซโพรพานอลบรรจุอยู่ จุ่มลงในถังน้ำเย็นและน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ 5 และ -20 องศาเซลเซียสเพื่อดักน้ำมันดิน ก่อนผ่านตัวกรองและชุดวัดปริมาตรออกไปยังถุงเก็บก๊าซ ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบ H_2, O_2, N_2, CH_4, CO, และ CO_2 ด้วยชุดวัดแกสโครมาโตกราฟต่อไป

4.1.2 กระบวนการทดสอบ

ในช่วงเริ่มกระบวนการ จะทำการเปิดเพื่อส่งไฟฟ้าให้ขดลวดความร้อนทำงาน จนกระทั่งเตาปฏิกรณ์ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ตัวอย่างชีวมวลประมาณ 10 กรัมจะถูกใส่ลงไปในเตาปฏิกรณ์ผ่านช่อง จากนั้นจะป้อนอากาศผ่านเข้าไปยังเตาปฏิกรณ์จากด้านบน โดยควบคุมปริมาณอากาศที่ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ให้ภายในเกิดเป็นปฏิกิริยาแกสซิฟิเคชั่น จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ การทดลองจะทำที่สภาวะอุณหภูมิคงที่ระหว่าง 600 – 900 องศาเซลเซียส มีการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโดโลไมต์กับชีวมวลที่สัดส่วนต่างๆ ด้วย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.2 ชุดทดสอบแบบชั้นของไหล

4.2.1 อุปกรณ์และชุดทดสอบ

ชุดทดสอบนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ชุดเตาปฏิกรณ์ ประกอบด้วย ท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 นิ้ว สูง 2 เมตร มีขดลวดความร้อนแยกเป็น 2 ชุด

1.1) ชุดแรกให้ความร้อนในช่วง 0-50 ซม ประกอบด้วยขดลวดความร้อนขนาด 5 กิโลวัตต์ พันรอบแกนเตา โดยมีวัสดุทนความร้อนและไม่นำไฟฟ้าที่สั่งทำพิเศษเพื่อใช้ร้อยระหว่างขดลวดกับท่อสแตนเลส และมีฉนวนกันความร้อนแบบเซรามิกพันล้อมรอบอยู่ด้านนอก โดยมีเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยสามารถควบคุมอัตราการให้ความร้อนสำหรับส่วนนี้

1.2) ชุดที่สอง ให้ความร้อนในส่วนด้านบนที่เหลือเพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิตลอดแกนเตา ฉนวนความร้อน ประกอบด้วยขดลวดความร้อนขนาด 2 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด โดยใช้เทบกันความร้อนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าพันล้อมรอบท่อคั่นระหว่างขดลวดกันท่อสแตนเลส โดยมีเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยสามารถควบคุมอัตราการให้ความร้อนสำหรับส่วนนี้

2) กรวยและชุดกระจายอากาศ (air distributor) ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นแบบแผ่น ตะแกรงแผ่น เดียวติดกันหลายชั้น

3) ชุดป้อนอากาศ ประกอบด้วย ปั๊มลม โรตามิเตอร์ และฮีทเตอร์อุ่นอากาศขนาด 1กิโลวัตต์และ 500 วัตต์

4) ชุดป้อนไอน้ำ ประกอบด้วย ปั๊มน้ำ เครื่องกรองน้ำ โรตามิเตอร์ และชุดผลิตไอน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์

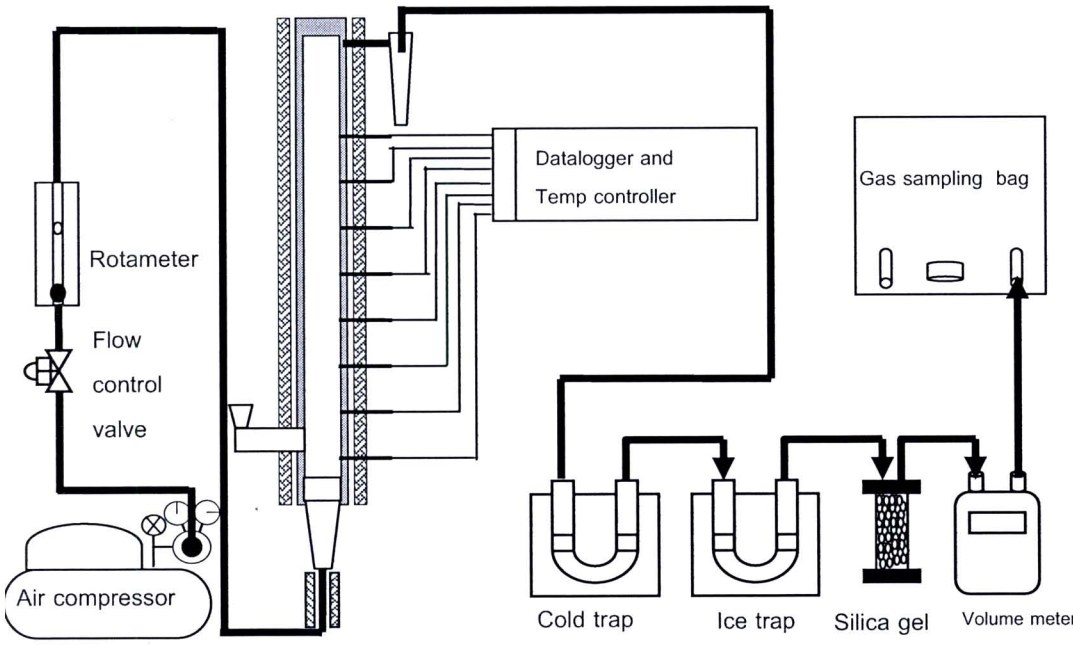
5) ชุดป้อนชีวมวลแบบสกรู แบบถังความดันเพื่อป้องกันชีวมวลไหลย้อนกลับจากเตาปฏิกรณ์มาที่ถังเก็บชีวมวล สามารถปรับความเร็วรอบการป้อนชีวมวลได้

6) ชุดทำความสะอาดแก๊สและเก็บแก๊ส ประกอบด้วย ไซโคลน (Cyclone) ทำจาก stainless steel ท่อดูดแก๊ส ปั๊มดูดแก๊ส หลอดแก้วที่ใส่สารเคมีเพื่อใช้ดักและแยกสารเจือปนออกจากแก๊ส โดยมี 2 ชุดมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ชุดดักความชื้นด้วยซิลิกาเจล เครื่องวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส และถุงเก็บแก๊ส

7) ชุดควบคุมอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย เทอร์โมคับเปิลที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างของเตาตลอดความยาว โดยต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล และต่อกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่สามารถปรับอัตราการให้ความร้อนได้

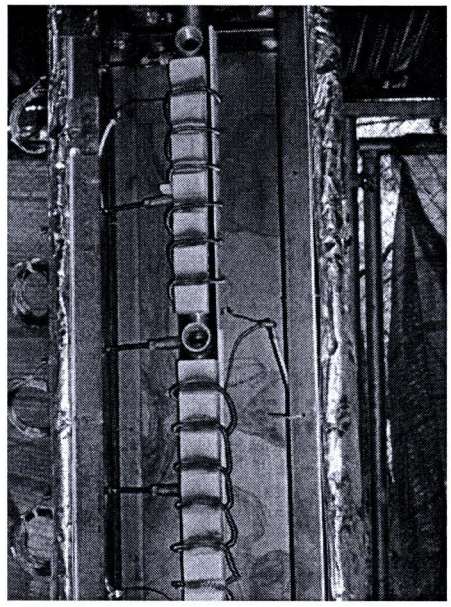
8) เครื่องบดชีวมวล ที่สามารถบดกิ่งไม้ให้มีความละเอียดเพียงพอต่อการทำฟลูอิดไดซ์ โดยสามารถบดไม้ได้หลายขนาด ตามความต้องการโดยเปลี่ยนตะแกรงภายในเครื่อง

9) เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์แก๊ส แก๊สเฉื่อย แก๊สตัวอย่าง เข็มฉีดแก๊ส

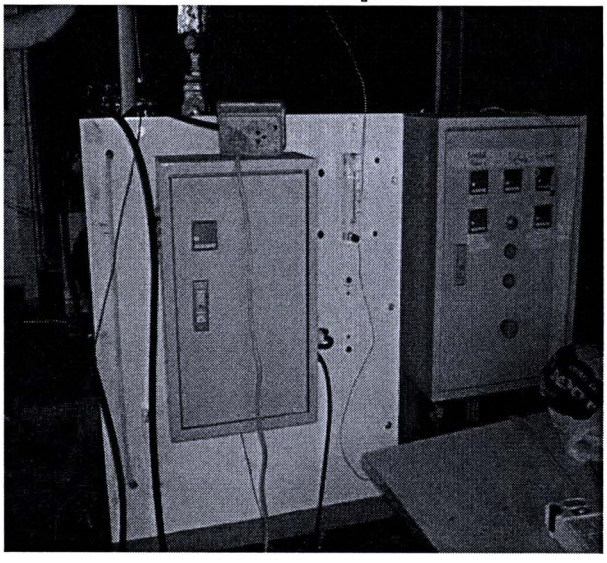


รูปที่ 4.3 ชุดทดสอบแบบชั้นของไหลระดับห้องปฏิบัติการ

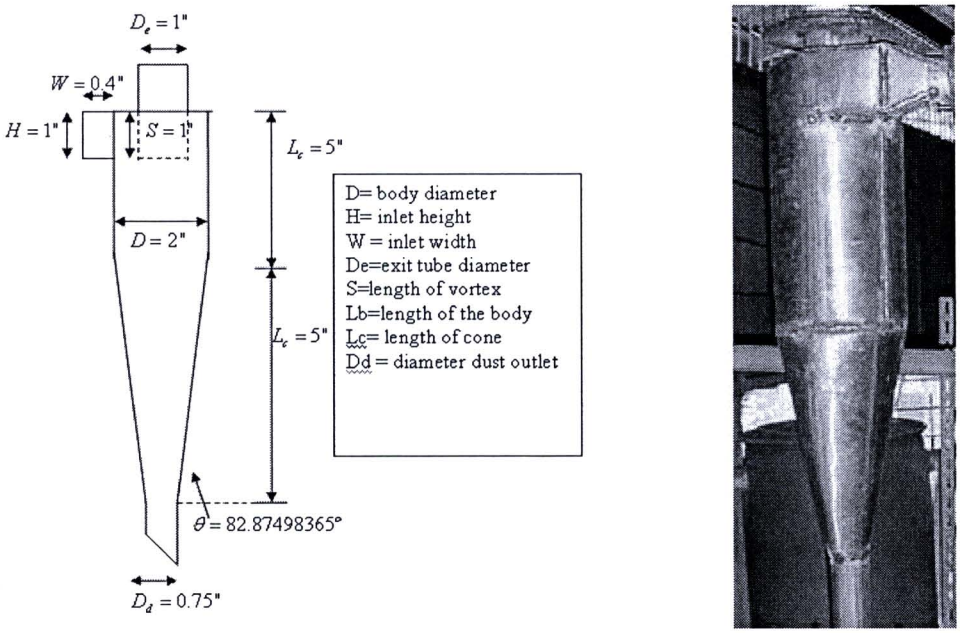
แผนผังของเครื่องที่ทำการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นท่อทำจากสเตนเลส มีความสูงประมาณ 2 เมตร ถูกพันด้วยขดลวดความร้อนเพื่อให้ความร้อนและมีฉนวนกันความร้อนหุ้มอยู่ภายนอกเตาปฏิกรณ์ (รูปที่ 4.4) เตาปฏิกรณ์จะได้รับความร้อนจากขดลวดและถูกควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (รูปที่ 4.5) และสามารถให้ความร้อนได้สูงสุดที่ 500 °C เมื่อไม่ได้อุ่นอากาศ หากอุ่นอากาศจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาขึ้นไปถึงจุดที่ต้องการทดสอบที่ 700 องศาเซลเซียส โดยแก๊สที่ออกจากเครื่องเตาปฏิกรณ์นี้จะเป็นแก๊สที่มีสิ่งเจือปนอยู่มากจึงต้องทำการขจัดสิ่งเจือปนออก โดยการใช้ไซโคลน (รูปที่ 4.6) ลดปริมาณฝุ่นและตะกอนที่ไปกับแก๊ส หลังจากออกจากไซโคลนจะเข้าสู่ชุดดักน้ำมันดินออกจากแก๊ส (รูปที่ 4.7) ที่ใช้สารละลายที่ใส่ในขวดแก้วและแช่ในถังที่ควบคุมอุณหภูมิ หลังจากจะลดความชื้นของแก๊สด้วยซิลิกาเจลและวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร และเก็บแก๊สลงในถุงเก็บแก๊สที่มีขนาดบรรจุ 40 ลิตร แล้วนำแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี ยี่ห้อ Shimatsu รุ่น GC-8A detector แบบ TCD โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สเฉื่อยที่เป็นตัวพา (รูปที่ 4.8 และ 4.9) การวิเคราะห์แก๊สเริ่มต้นด้วยการดูดแก๊สด้วยเข็มฉีดแก๊สจากถุงแก๊สแล้วฉีดลงไปในช่องฉีดแก๊สของเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี แก๊สจะถูกให้ความร้อนและถูกพาไปยังคอลัมน์ที่ทำหน้าที่แยกแก๊สทำให้เคลื่อนที่ออกไปยัง detector ที่เวลาต่างกัน โดยค่าที่ได้จะแสดงผลที่เครื่องพิมพ์ จะแสดงตามลำดับของแก๊สดังต่อไปนี้ H_2, O_2, N_2, CO, CH_4, CO_2 ซึ่งจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น โดยทั่วไปจะแสดงแก๊ส 6 ชนิดนี้ ในการวิเคราะห์จะนำแก๊สมาตรฐานที่รู้ปริมาณส่วนผสมที่แน่นอนฉีดลงไปเพื่อใช้นำมาคำนวณหาความเข้มข้น ปริมาณแก๊ส เวลาที่แก๊สแต่ละตัวแสดงผล ยี่ห้อโดยแก๊สตัวอย่างที่ใช้คือ Supelco cataloc no 501697 ซึ่งมีองค์ประกอบที่แน่นอนคือ CO_2 5.00%, CO 4.97%, H_2 4.04%, CH_4 3.99%, N_2 และ O_2 อย่างละ 5.00% ที่เหลือเป็น He



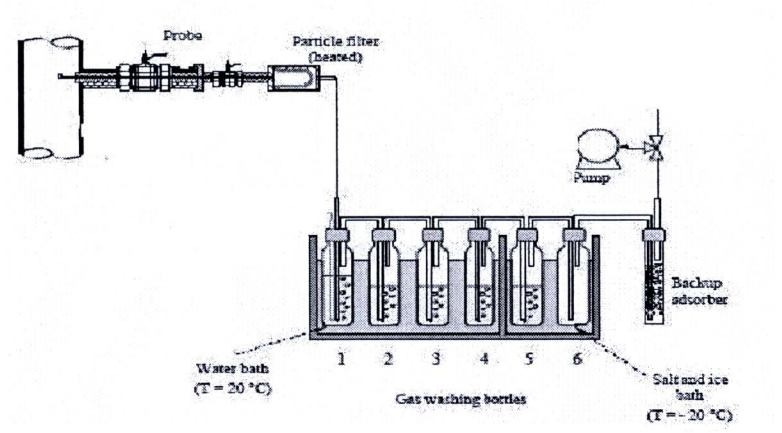
รูปที่ 4.4 เตาปฏิกรณ์แบบชั้นของไหล

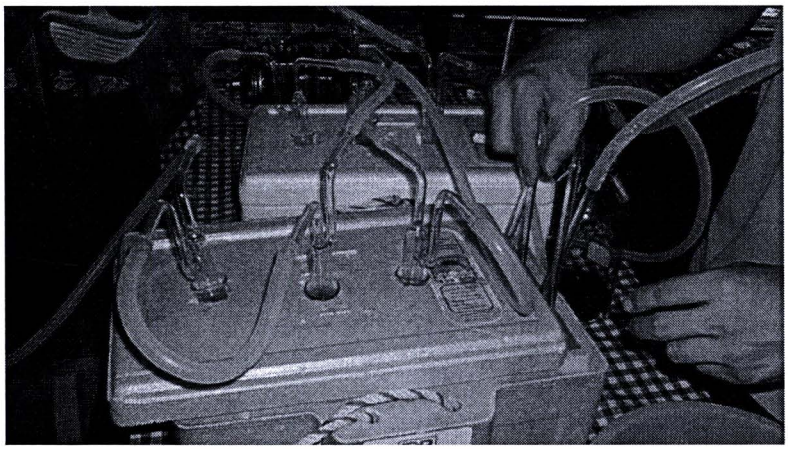


รูปที่ 4.5 ชุดควบคุมไฟฟ้าและอุณหภูมิ

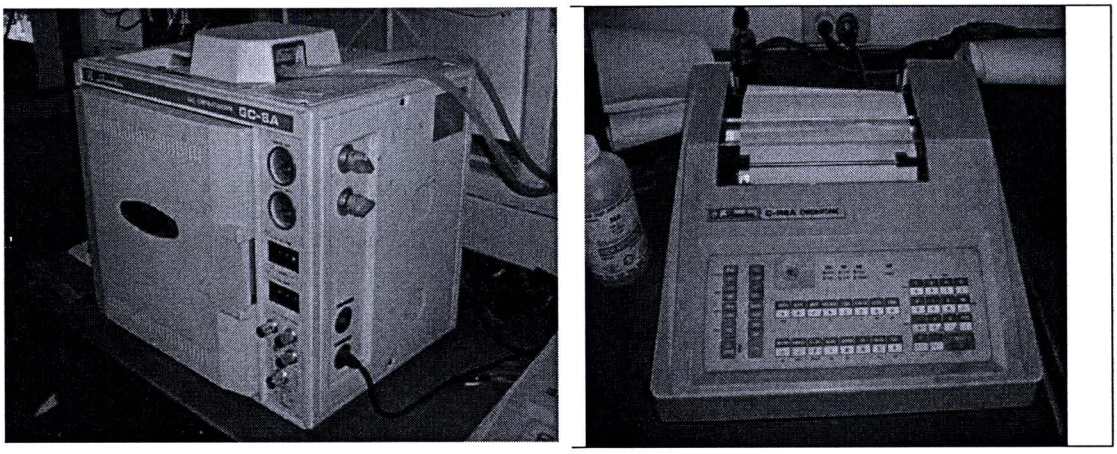


รูปที่ 4.6 ลักษณะไซโคลนที่ทำการออกแบบ

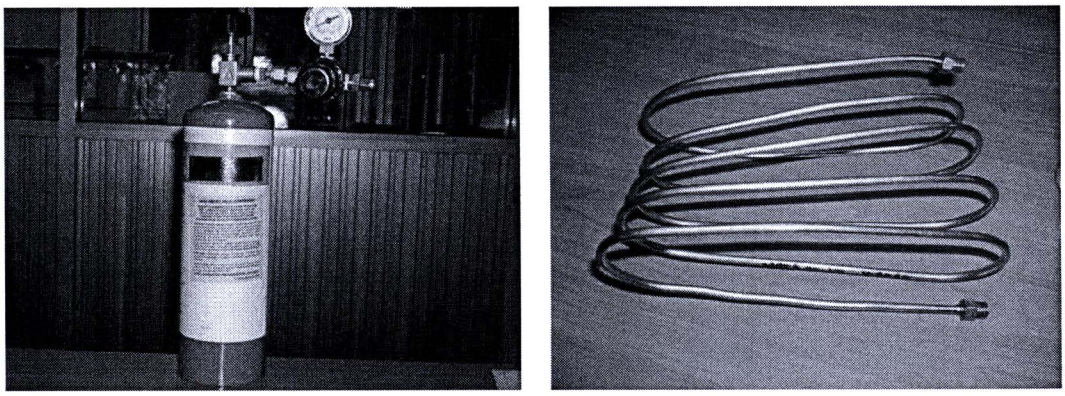




รูปที่ 4.7 ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซ



รูปที่ 4.8 ลักษณะของเครื่อง GC และเครื่องพิมพ์ที่ใช้วิเคราะห์แก๊ส



รูปที่ 4.9 แก๊สตัวอย่างและคอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์แก๊ส

4.2.2 กระบวนการทดสอบ

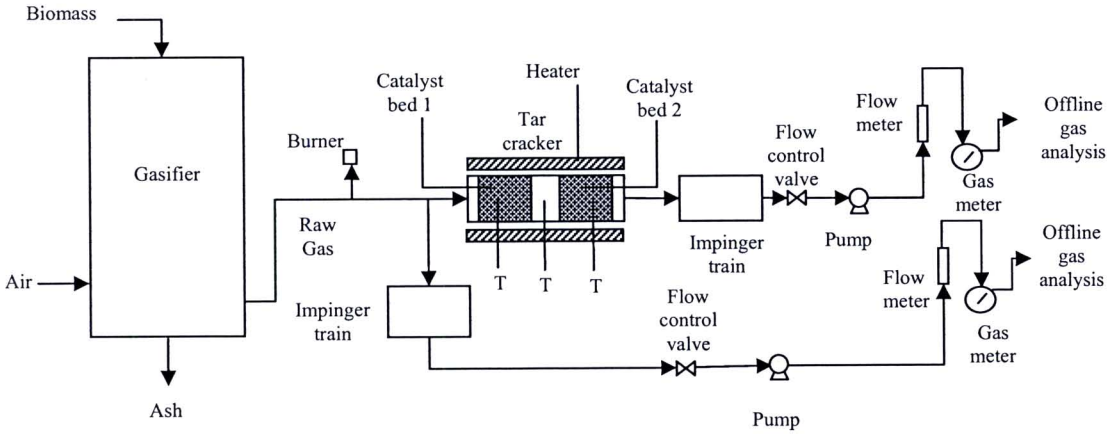
ในช่วงเริ่มกระบวนการจะทำการเปิดเพื่อส่งไฟฟ้าให้ขดลวดความร้อนที่ติดอยู่รอบคอลัมน์ทำงาน และค่อยปล่อยก๊าซเข้าพร้อมกับให้ความร้อนต่อก๊าซเข้า มีการป้อนทรายที่ร่อนแล้วเข้าไป จนกระทั่งภายในเตาปฏิกรณ์ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ควบคุมก๊าซผ่านเข้าไปยังเตาปฏิกรณ์ตามที่ต้องการ ทำการวัดหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในคอลัมน์ ตัวอย่างชีวมวลจึงจะถูกป้อนเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ผ่านช่องป้อนให้ภายในเกิดเป็นปฏิกิริยาแกสซิฟิเคชั่น จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ การทดลองจะทำที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ มีการผสมตัวเร่งปฏิกิริยา และการป้อนไอน้ำเข้าไปด้วย

4.3 ชุดทดสอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.1 อุปกรณ์และชุดทดสอบ

ชุดทดสอบประกอบด้วยเตาแกสซิฟายเออร์แบบคอคอดก๊าซไหลลงเพื่อใช้สร้างก๊าซเชื้อเพลิงป้อนชุดปฏิกรณ์เร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับกำจัดน้ำมันดิน สร้างมาจากท่อเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์ภายใน 14 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ให้ความร้อนจากด้านนอกโดยฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ ด้านในของชุดปฏิกรณ์เร่งปฏิกิริยามีหัววัดอุณหภูมิสอดเข้าไปในแต่ละช่วงตามความยาวของชุดทดสอบ ที่ตำแหน่งก่อนและหลังชุดปฏิกรณ์เร่งปฏิกิริยาต่อเข้ากับชุดเก็บตัวอย่างก๊าซและน้ำมันดิน ดังรูป 4.10

การสลายของน้ำมันดินในก๊าซเชื้อเพลิงทำได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิดคือ โดโลไมต์ แคลไซน์โดโลไมต์ และถ่านชาร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเฉลี่ยประมาณ 3.4 มิลลิเมตร กระบวนการแคลไซน์ของโดโลไมต์เตรียมที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสในเตาอบเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 ชุดทดสอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.2 กระบวนการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกใช้เป็นชีวมวลป้อนเข้าเตาแกสซิฟายเออร์เพื่อสร้างก๊าซเชื้อเพลิง ส่วนประกอบของชีวมวลตัวอย่างเป็นดังแสดงในตาราง 4.1

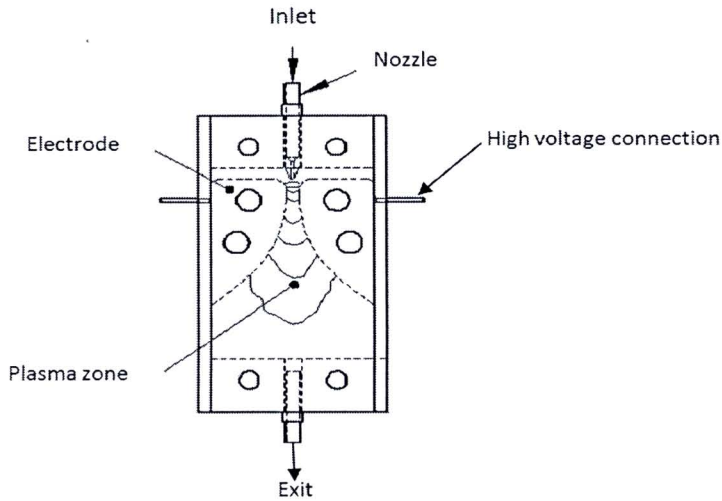
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบของเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

property	value
C	48.7 %
H	7.0 %
O	43.9 %
N	0.4 %
Heating value	17.6 MJ/kg

ในช่วงเริ่มการทดสอบ ทำการติดเตาปฏิกรณ์ แล้วป้อนชีวมวลลงบนตะแกรง ในขณะเดียวกัน ก็ได้เปิดไฟฟ้าให้ความร้อนต่อชุดตัวเร่งปฏิกิริยา โดยให้ร้อนอยู่ในช่วง 650 – 850 องสาเซลเซียส เมื่อก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาแกสซิฟายเออร์ออกมานิ่งแล้วภายในครึ่งชั่วโมงจากเริ่ม ก็ป้อนเข้าไปยังชุดตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ และน้ำมันดิน ก่อนและหลังการสลายน้ำมันดินด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเก็บข้อมูลซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง น้ำหนักของน้ำมันดินที่ได้กับปริมาณก๊าซที่วัดจะเป็นตัวบ่งถึงปริมาณน้ำมันดินในก๊าซเชื้อเพลิง

4.4 ชุดทดสอบด้วยพลาสม่า

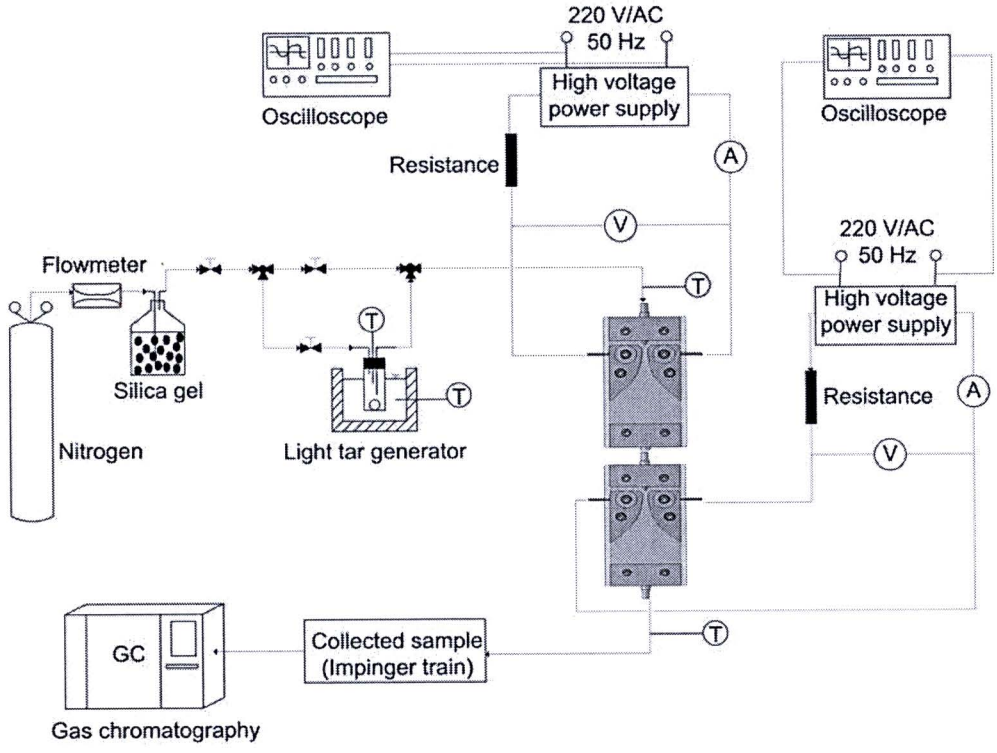
4.4.1 อุปกรณ์และชุดทดสอบ



รูปที่ 4.11 เตาปฏิกรณ์พลาสม่าแบบไกลด์อาร์ค

การออกแบบเตาพลาสมาแบบอยู่ในขอบเขตขนาดสำหรับห้องปฏิบัติการทดลอง โดยมีเงื่อนไขการสร้างพลาสมาเป็นแบบ non-thermal plasma หรือพลาสมาความร้อนต่ำ และสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ เตาพลาสมาต้นแบบใช้หลักการสร้างพลาสมาด้วยหลักการสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดและขั้วแอโนดแต่ในหลักการของไฟฟ้ากระแสสลับแล้วขั้วแคโทดและขั้วแอโนดจะสลับกันไปมาซึ่งการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดเป็นลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดเป็นแผ่นโลหะรูปส่วนโค้งพาราโบลาแบ่งครึ่ง เมื่อนำขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองชิ้นมาวางให้ส่วนโค้งหันเข้าหากันแล้ว จะเป็นการเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วของขั้วอิเล็กโทรดจากน้อยไปมาก ดังรูป 4.11 วัสดุที่นำมาใช้คือเหล็กเสตนเลส ผนังเตาพลาสมาทำจากอะครีลิค (Acrylic plastic) ที่โปร่งใส สามารถมองทะลุได้ทั้งสองด้าน โดยเป็นแผ่นพลาสติกชนิดเรียบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งสามารถสังเกตเห็นลักษณะการเกิดขึ้นของพลาสมาภายในเตาได้ชัดเจนจนถึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีของเปลวพลาสมาที่เกิดขึ้น หัวฉีดเป็นแบบแท่งโลหะรูปทรงกระบอกที่ทำการกลึงปลายให้เป็นรูปกรวย โดยทำการเจาะรูภายในเพื่อเป็นการบังคับให้ลำการไหลของแก๊สที่เข้ามาให้ผ่านระหว่างระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด และเป็นการบังคับให้รูปร่างของเปลวพลาสมาให้เกิดไปตามส่วนโค้งของขั้วอิเล็กโทรด โดยทำจากทองเหลืองจาก

เหตุผลทางด้านการกลึงและการขึ้นรูปเพราะสามารถกลึงรูปร่างและเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดได้ง่าย โดยมีขนาดที่ 1.5 mm เป็นขนาดของหัวสว่านเจาะที่มีขนาดต่ำสุดที่สามารถหาได้ ซึ่งขนาดของเส้นผ่านศูนย์ต้องมีขนาดให้น้อยกว่าความหนาของแผ่นอิเล็กโทรด และน้อยกว่าระยะระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เพื่อให้ลำแก๊สที่พ่นออกสัมผัสกับพื้นที่ที่เป็นพลาสมามากที่สุด และความยาวหัวฉีด 50 mm

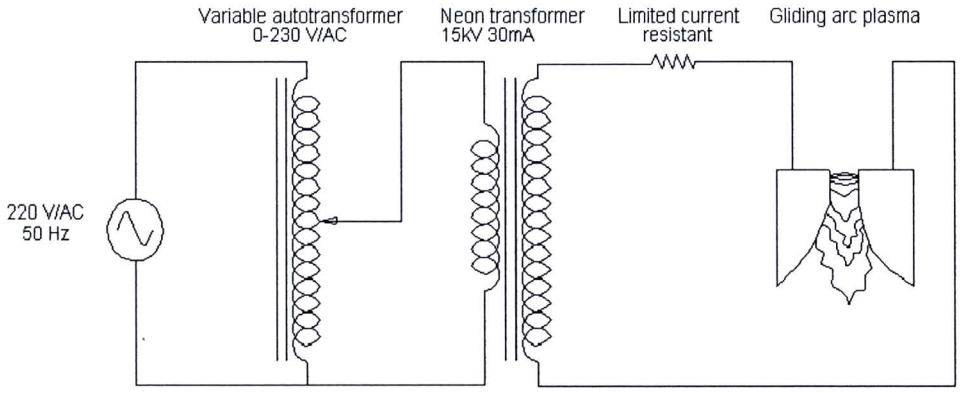


รูปที่ 4.12 ชุดทดสอบด้วยพลาสม่า

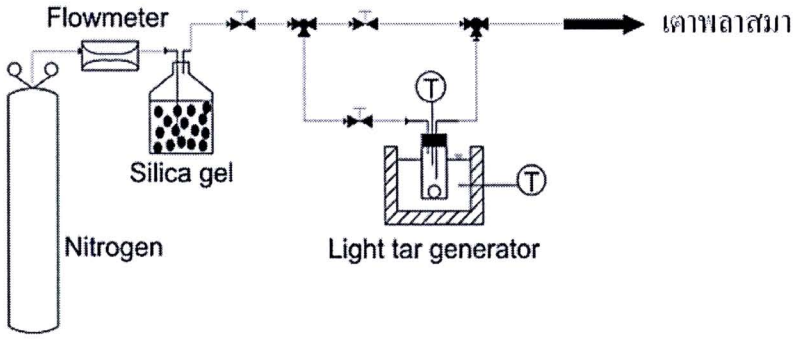
จากรูป 4.12 แสดงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของเตาปฏิกรณ์พลาสมา โดยส่วนประกอบใหญ่หลักๆ มี 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนเครื่องผลิตน้ำมันดินเบาหรือเครื่องจ่ายน้ำมันดินเบา ส่วนที่ 2 ส่วนเตาพลาสมาและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง ส่วนที่ 3 คือส่วนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลทางเคมี

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง มีช่วงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 15 kV ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแหล่งจ่ายที่สามารถปรับค่าได้โดยต่อหม้อแปลงปรับค่าได้หรือ Variable transformer ซึ่งเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ตั้งแต่ 0 ถึง 230 V และแรงดันไฟฟ้าแรงสูงขาออกจากแหล่งจ่ายเป็น 0 – 15,000 V (รูปที่ 4.13) นอกจากนั้นในระบบแหล่งจ่ายต้องมีตัวต้านทานมาต่อแบบอนุกรมด้านไฟฟ้าแรงสูง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปสู่ขั้วอิเล็กโทรดขณะที่กำลังเกิดพลาสมาขึ้น ในส่วนของเครื่องจ่ายน้ำมันดินเบา (ดังรูปที่ 4.14) เริ่มต้นจากปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่ปรับอัตราการไหลโดยตัวปรับอัตราการไหล จากนั้นแก๊สไนโตรเจนผ่านชุดซิลิกาเจลเพื่อเอาความชื้นออก แล้วนำไปผ่านลูกเหม็นที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วที่แช่

อยู่ในอ่างน้ำร้อนที่ปรับค่าได้เมื่อผ่านชุดนี้แล้วจะได้แก๊สผสมระหว่างไนโตรเจนและแนฟธาลีนเพื่อนำไปผ่านเตาพลาสมาต่อไป



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถปรับค่าได้



รูปที่ 4.14 แผนภาพอุปกรณ์ชุดเครื่องจ่ายน้ำมันดินเบา

4.4.2 กระบวนการทดสอบ

i) การจ่ายน้ำมันดินเบา

การทดสอบการหาค่าปริมาณการจ่ายน้ำมันดินเบาโดยการนำลูกเหม็น ลักษณะที่เป็นของแข็งมาบรรจุอยู่ในหลอดแก้วที่แช่อยู่ในอ่างน้ำร้อนโดยให้แก๊สไนโตรเจนไหลผ่านลูกเหม็น ซึ่งมีการปรับค่าความร้อนที่ให้กับอ่างน้ำร้อน โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

การจ่ายน้ำมันดินเบาที่อุณหภูมิต่างกัน

(1) เตรียมแก๊สไนโตรเจน ลูกเหม็น สารละลายไอโซไพรพานอล เกลือ น้ำ และน้ำแข็ง

(2) จัดเตรียมอุปกรณ์การวัด เช่น เทอร์โมคอปเปิล -200 °C ถึง +1,350 °C และเครื่องวัดอัตราการไหล อยู่ที่ 0 ถึง 20 L/min

(3) จัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันสารระเหย เช่น ที่กรองอากาศ ถุงมือยาง

(4) จัดเตรียมชุดเก็บตัวอย่าง

(5) วัดค่าน้ำหนักของลูกเหม็นก่อนจ่ายแก๊สไนโตรเจนผ่านลูกเหม็นที่ทำการปรับอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนเป็น 30 °C, 50 °C และ 70 °C และที่อัตราการไหล 5, 10 และ 15 L/min ที่ค่าความดันบรรยากาศ

(6) ต่อเชื่อมท่อต่างๆเข้ากับอุปกรณ์

(7) ตรวจดูการรั่วที่ข้อต่อเชื่อมต่างๆ

(8) ปรับค่าการให้ความร้อนของอ่างน้ำร้อนไปที่ 30°C

(9 ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีอัตราการไหลที่ 10 L/min

(10) จับเวลา โดยใช้เวลาในการทดลอง 30 นาที

(11) เมื่อครบเวลา 30 นาที ทำการปิดการไหลของไนโตรเจน

(12) วัดค่าน้ำหนักของลูกเหม็นที่ลดลงหลังจากการทดสอบแล้ว

(13) ทำการเก็บตัวอย่างจากชุดเก็บตัวอย่าง

(14) ทำความสะอาดอุปกรณ์เพื่อนำมาทดลองในครั้งต่อไป

(15) นำตัวอย่างที่เก็บอยู่ในรูปของสารละลายไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ

(16) ตรวจสอบสภาพโดยรวมของแต่ละอุปกรณ์ และทำการแก้ไข

การจ่ายน้ำมันดินเบาที่อุณหภูมิที่ 50°C และที่ 70°C ทำการทดลองตามข้อ 1-15 โดยมีข้อแตกต่างกันที่ข้อ 8 คือปรับค่าอุณหภูมิเป็น 50°C และที่ 70°C ตามลำดับ โดยการทดลองทั้งหมดได้ทำซ้ำทั้งหมดอย่างละ 7 ครั้ง

การจ่ายน้ำมันดินเบาที่ได้ปรับค่าอัตราการไหลของไนโตรเจนเป็น 5 L/min และ 15 L/min แต่ทำการปรับค่าอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนคงที่ที่ 50°C โดยมีขั้นตอนการทดลองเหมือนข้อ 1-15 แต่มีข้อแตกต่างที่ข้อ 8 และ 9 โดยทำการปรับอุณหภูมิไปที่ 50°C และปรับอัตราการไหลเป็น 5 และ 15 L/min ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง

ii) การสร้างพลาสมา

พลาสมาที่ได้นั้นได้มาจากการป้อนไฟฟ้าแรงสูงเข้าไปสู่ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็น 0.45 cm และให้แก๊สไนโตรเจนไหลผ่านแล้วทำให้เกิดเป็นเปลวแสงขึ้นโดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) หาแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 15,000 V

(2) จัดเตรียมอุปกรณ์การวัดไฟฟ้า อุปกรณ์การวัดไฟฟ้าแรงสูง คือ หัววัดไฟฟ้าแรงสูงมีช่วงการวัดได้สูงสุดที่ 40,000 V

(3) เตรียมอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

(4) ทำการเปรียบเทียบค่าการวัดของอุปกรณ์

(5) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

(6) ทดลองการสร้างพลาสมากับอากาศ

(7) ดูผลการทดลองสามารถเกิดเปลวแสงได้

(8) ทดลองการสร้างพลาสมากับแก๊สไนโตรเจน

(9) ดูผลการทดลองสามารถเกิดเปลวแสงได้

เมื่อพิจารณาอากาศ และแก๊สไนโตรเจน ทั้งสองนั้นเป็นแก๊สที่ไม่มีสี เมื่อผ่านเตาพลาสมาเกิดการมองเห็นเป็นลักษณะเปลวแสงได้ ซึ่งอากาศมีลักษณะสีการเกิดพลาสมาเป็นสีชมพูปนสีขาวและไนโตรเจนซึ่งมีลักษณะเป็นสีชมพูเข้มอมสีม่วง โดยสามารถดูได้จากสายตา ซึ่งแสดงว่าได้เกิดการแตกตัวของแก๊สเกิดเป็นไอออนและอิเล็กตรอนอิสระ ดังหัวข้อที่ 2.4.2 ซึ่งจัดอยู่ในสถานะของพลาสมา

(10) เตรียมเตาพลาสมา

(11) ทำการต่อเชื่อมแหล่งจ่ายกับเตาพลาสมา ระบบทางเดินแก๊สและอุปกรณ์การวัดไฟฟ้า

(12) เปิดแก๊สไนโตรเจนสู่เตาพลาสมา

(13) ปรับอัตราการไหลไนโตรเจนเป็น 5, 10, 15 L/min ตามลำดับ

(14) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดขณะเกิดการอาร์ค ของทั้งอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 5, 10, 15 L/min ตามลำดับ

(15) วัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับแหล่งจ่าย

iii) การหาประสิทธิภาพการสลายตัวของน้ำมันดินเบา

สามารถหาได้

$$x = \frac{c_{in} - c_{out}}{c_{in}} \cdot 100\ \%$$

x ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดินเบา

c_{in} ค่าความเข้มข้นของน้ำมันดินเบาก่อนเข้าเตาพลาสมา (mg/m^3)

c_{out} ค่าความเข้มข้นของน้ำมันดินเบาหลังออกจากเตาพลาสมา (mg/m^3)

การทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาผลพลาสมาที่มีต่อน้ำมันดินเบา โดยวิเคราะห์ผลพลาสมาแบบเตาเดียว และแบบสองเตาต่อเรียงกัน ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลองมีดังนี้

การทดสอบเตาพลาสมาแบบเตาเดี่ยว

(1) เตรียมอุปกรณ์ส่วนจ่ายน้ำมันดินเบา

(2) เตรียมอุปกรณ์ส่วนการสร้างพลาสมา

(3) เตรียมชุดเก็บตัวอย่าง

(4) ตรวจสอบภาพอุปกรณ์โดยรวมทุกส่วน

(5) ต่อเชื่อมส่วนจ่ายน้ำมันดินเบาเข้ากับเตาพลาสมาแบบเตาเดี่ยว

(6) ต่อเชื่อมอุปกรณ์การวัดค่าต่างๆ

(7) ต่อเชื่อมกับชุดเก็บตัวอย่าง

(8) ตรวจสอบดูรอยต่อเชื่อม

(9) ตรวจสอบระบบไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

(10) ปรับค่าการให้ความร้อนของอ่างน้ำร้อนไปที่ 30°C

(11) ปล่อยแก๊สไนโตรเจนผ่านเตาพลาสมาโดยยังไม่ผ่านชุดจ่ายน้ำมันดินเบา

(12) ปล่อยแรงดันไฟฟ้าแรงสูงเพื่อเป็นการทำให้เกิดพลาสมาที่เตาก่อน

(13) ปรับอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเป็น 10 L/min

(14) ปรับทิศทางการไหลของแก๊สไนโตรเจนมาไหลผ่านชุดจ่ายน้ำมันดินเบา

(15) จับเวลาการทดลอง โดยใช้เวลาในการทดลอง 30 นาที

(16) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดพลาสมา

(17) วัดค่าพลังงานที่จ่ายให้กับแหล่งจ่าย

(18) เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปิดวาล์วแหล่งจ่ายน้ำมันดินเบา และปรับทิศทางของไนโตรเจนให้ไหลผ่านเตาโดยตรงเป็นเวลา 10 นาที

(19) ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

(20) ถอดชุดเก็บตัวอย่างออกจากชุดการทดลอง

(21) เก็บตัวอย่างสารละลาย

(22) ใช้อากาศพ่นผ่านเตาพลาสมาโดยตรงเป็นเวลา 30 นาที

(23) ทำความสะอาดท่อต่อต่างๆจากแหล่งจ่ายน้ำมันดินเบาและชุดเก็บตัวอย่าง

(24) ตรวจดูสภาพของอุปกรณ์หลังการทดสอบ

(25) แก้ไขอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพใช้งานได้

(24) นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ