บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 น้ำมันดีเซลจาก 2 บริษัท

1.1.1 น้ำมันดีเซลจากบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) (คุณสมบัติในภาคผนวก ข1)

1.1.2 น้ำมันดีเซลจากบริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
(คุณสมบัติในภาคผนวก ข1)

1.2 ตัวทำละลาย

1.2.1 เมทานอล (commercial grade)

1.2.2 เฟอร์ฟูรอล (2-Furaldehyde, $C_5H_4O_2$, technical grade)

1.3 เฟอร์ริกไนเตรต ($Fe(NO_3)_3*9H_2O$)

1.4 โอโซน

1.5 ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (activated carbon)

1.6 น้ำกลั่น

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 เครื่องมือวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนต์ สเปคโตรมิเตอร์ (Philips PW2400)

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟ-เฟลมไอออไนเซชัน ดีเทคเตอร์ (GC-FID)
(Agilent, model-HP 6890)

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-5800LV)

2.4 เครื่องผลิตโอโซน (อัตราการผลิตโอโซน 4.5 กรัม/ชั่วโมง) (ภาพประกอบ 2-1)

2.5 เตาเผา (Carbolite, Control 201)

2.6 เตาให้ความร้อน

2.7 โรตามิเตอร์

2.8 ออกซิเดชันคอลัมน์ (คอลัมน์แก้ว รูปทรงกระบอก)

2.9 ตัวกระจายโอโซนชนิดแก้ว (distributor)

2.10 ปั๊ม

2.11 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.12 อุปกรณ์กวน

2.13 นาฬิกาจับเวลา

ภาพประกอบ **2-1** แสดงแผงควบคุมของเครื่องผลิตโอโซน

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายเฟอร์ริกไนเตรต ($Fe(NO_3)_3$) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ และละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 ml

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

นำน้ำมันดีเซลจาก บริษัทน้ำมันไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) มาวัดคุณสมบัติพื้นฐาน และออกซิไดส์ด้วยโอโซนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ แล้วทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลในกระบวนการออกซิเดชัน เช่น ระยะเวลาการสัมผัส (retention time) ของโอโซนกับน้ำมันดีเซลในระบบดำเนินการเบดนิ่งแบบกึ่งกะ และแบบต่อเนื่อง น้ำมันดีเซลที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันแล้วจะถูกนำไปแยกส่วนที่มีปริมาณกำมะถันต่ำและสูงโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดมีขั้ว (polar) ที่เลือกไว้แล้ว คือ เมทานอล รวมถึงการศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายในขั้นตอนของการสกัด โดยการ

เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายเมทานอลและเฟอร์ฟูรอล ร้อยละผลได้ (yield) ของน้ำมันดีเซล และร้อยละผลได้ของการแยกคืนตัวทำละลาย ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ (แสดงการทดลองในภาพประกอบ 2-2)

วัดคุณสมบัติพื้นฐานของถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ดก่อนการเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกไนเตรต ได้แก่ การหาปริมาณ %Fe โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer) พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง BET surface area และการถ่ายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย

(1) นำถ่านกัมมันต์มาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกไนเตรต ($Fe(NO_3)_3$) 100 ml ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนคนให้สารละลายมีการกระจายอย่างทั่วถึง พร้อมกับให้ความร้อนให้น้ำระเหยออกไปจนหมด

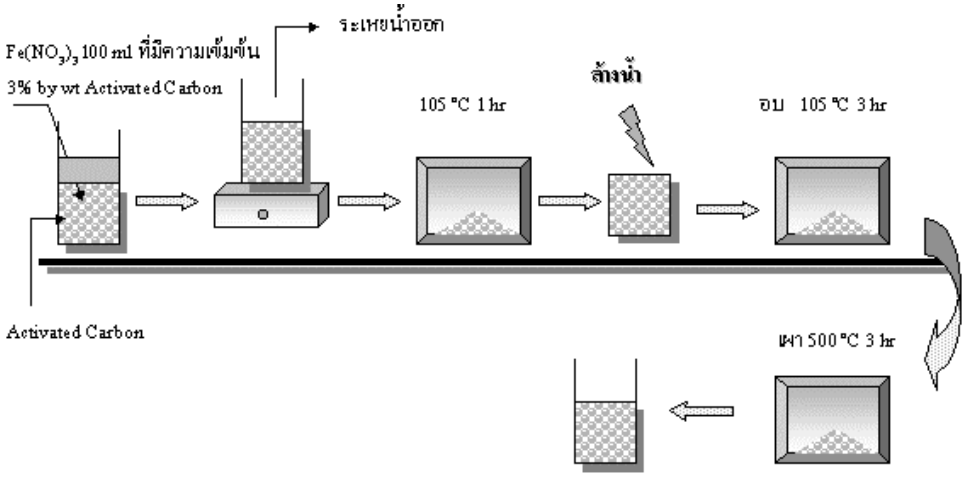
(2) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ^{O}C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

(3) นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการอบแห้งไปล้างน้ำเพื่อกำจัด Fe^{3+} ส่วนเกินที่เกาะบนผิวออก จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ^{O}C อีกครั้ง โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมง

(4) นำถ่านกัมมันต์ที่แห้งแล้วไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยน $Fe(NO_3)_3$ ให้เป็น Fe_2O_3

(5) ทำการเคลือบเฟอร์ริกไนเตรตบนถ่านกัมมันต์ซ้ำอีกครั้ง โดยดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4

(6) นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเคลือบ 1 และ 2 ครั้ง ไปวิเคราะห์หาปริมาณ %Fe โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer) พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง BET surface area และการถ่ายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พร้อมกับเปรียบเทียบผลที่ได้กับถ่านกัมมันต์ก่อนทำการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไนเตรต



ภาพประกอบ 2-2 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์

3.2.2 การศึกษาการเปรียบเทียบผลของตัวทำละลายในขั้นตอนการสกัด

การทดลองครั้งนี้ได้เลือกเมทานอลเป็นตัวทำละลายในขั้นตอนการสกัด เนื่องจากเมทานอลสามารถละลายได้เพียงบางส่วนกับน้ำมัน ราคาถูก หาได้ง่าย มีความหนาแน่นที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลทำให้สามารถแยกชั้นออกจากกันได้เองเมื่อตั้งทิ้งไว้ อย่างไรก็ตามได้นำตัวทำละลายอีกทางเลือกหนึ่งมาศึกษาเปรียบเทียบกับตัวทำละลายเมทานอล คือ เฟอร์ฟูรอล ซึ่งเฟอร์ฟูรอลที่นำมาทดลองในครั้งนี้เป็นเทคนิคอลเกรดทำให้มีราคาแพงกว่าเมทานอลที่เป็นคอมเมอร์เชียลเกรด ส่งผลทำให้สัดส่วนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันดีเซลระหว่างเมทานอลและเฟอร์ฟูรอลต่างกัน โดยสัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3 (เยาวนาฏ ยกรัตน์, 2544) ส่วนสัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเฟอร์ฟูรอล เป็น 1: 1 สำหรับเฟอร์ฟูรอลจัดเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลทำให้สามารถแยกชั้นออกจากกันได้เองเมื่อตั้งทิ้งไว้เช่นกัน

3.2.2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันดีเซล ประกอบด้วย

(1) นำน้ำมันดีเซลวัตถุดิบเริ่มต้น น้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์ด้วยโอโซนร่วมกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไนเตรต โดยมี retention time ของโอโซน 3.877 วินาที น้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์ด้วยโอโซนร่วมกับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเคลือบด้วยเฟอร์-ริกไนเตรตจำนวน 2 ครั้ง โดยมี retention time ของโอโซน 1.944 วินาที มาทำการผสมกับเมทานอลในสัดส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3 และสัดส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเฟอร์ฟูรอล เป็น 1: 1

(2) ทำการกวนน้ำมันดีเซลและตัวทำละลายให้เข้ากันโดยใช้แมกเนติกสเตอเรอร์

(3) นำสารละลายที่ผ่านการกวนแล้วมาใส่กรวยแยก ตั้งทิ้งไว้จนน้ำมันดีเซลกับตัวทำละลายแยกชั้น ซึ่งสำหรับการสกัดน้ำมันดีเซลด้วยตัวทำละลายเมทานอลจะได้ส่วนของน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันต่ำในส่วนล่าง ในขณะที่การสกัดน้ำมันดีเซลด้วยตัวทำละลายเฟอร์ฟูรอลได้ส่วนของน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันต่ำในส่วนบน

(4) นำน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันต่ำมาล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3 ครั้ง เพื่อเป็นการดึงให้ตัวทำละลายที่ปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลออก

(5) นำน้ำมันดีเซลมาให้ความร้อนอีกเล็กน้อย เพื่อเป็นการไล่ตัวทำละลาย

(6) นำน้ำมันดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันโดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer)

(7) เปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3.2.2.2 ขั้นตอนการแยกคืนตัวทำละลาย

(1) นำชั้นของน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันสูง (ชั้นของตัวทำละลาย) จากขั้นตอนการสกัดมาทำการกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่น ASTM D86

(2) ให้ความร้อนกับสารละลายจนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย โดยจุดเดือดของเมทานอลประมาณ 65 ^{O}C และเฟอร์ฟูรอลประมาณ 161 ^{O}C

(3) ณ อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายจะเริ่มเห็นไอของตัวทำละลายผ่านท่อคอนเดนเซอร์ (condenser tube)

(4) หาภาชนะมารองรับตัวทำละลายที่ผ่านการควบแน่น พร้อมทั้งบันทึกปริมาตรของตัวทำละลายที่กลั่นได้

(5) หลังจากการกลั่นแยกคืนตัวทำละลายจะได้น้ำมันดีเซลที่ค้างอยู่ในภาชนะกลั่น (residue diesel oil) บริเวณส่วนล่างของภาชนะ พร้อมทั้งบันทึกปริมาตรของน้ำมันดีเซล

(6) จากนั้นคำนวณร้อยละการแยกคืนของตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3.2.3 การศึกษาผลของ retention time ของโอโซนกับน้ำมันดีเซลในระบบดำเนินการเบดนิ่งแบบกึ่งกะ (semi-batch system) (แสดงการทดลองในภาพประกอบ 2-3)

การทดลองกระทำโดยนำน้ำมันดีเซลมาใส่ทางตอนบนของคอลัมน์ออกซิเดชัน ซึ่งคอลัมน์ออกซิเดชันเป็นคอลัมน์แก้วรูปทรงกระบอก (ทรงสูง) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.50 cm มีความยาวตลอดทั้งคอลัมน์ประมาณ 132.50 cm และความยาวของคอลัมน์ที่ไม่คิดรวมจุกยางตอนใต้ของคอลัมน์ประมาณ 128 cm โดยภายในคอลัมน์มีตัวกระจายโอโซนชนิดแก้ว (distributor) ซึ่งตัวกระจายโอโซนจะช่วยทำให้โอโซนแตกเป็นฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสัมผัสที่ดีระหว่างโอโซนกับน้ำมันดีเซลภายในคอลัมน์ออกซิเดชัน ในการปล่อยโอโซนเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์จะใช้โรตามิเตอร์ในการควบคุมอัตราการไหลของโอโซน ซึ่งควบคุมไว้ที่ 1,000 l/hr ส่วนการออกซิไดส์น้ำมันดีเซลด้วยโอโซนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยากระทำโดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์หรือถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไนเตรตจำนวน 2 ครั้ง (เฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์) ใส่ในตะแกรงเบดซึ่งบรรจุลงในคอลัมน์ออกซิเดชัน สำหรับขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย

3.2.3.1 ขั้นตอนการออกซิไดส์น้ำมันดีเซลด้วยโอโซน ประกอบด้วย

(1) นำน้ำมันดีเซลจาก บริษัทน้ำมันไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และบริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 300 ml มาผสมกับน้ำร้อยละ 1 โดยปริมาตรของน้ำมันกวนให้เข้ากันโดยใช้แมกเนติกสเตอเรอร์ แล้วนำน้ำมันดีเซลป้อนเข้าทางตอนบนของคอลัมน์ออกซิเดชัน จากนั้นทำการออกซิไดส์โดยการปล่อยโอโซนเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ โดยควบคุมอัตราการไหล 1,000 l/hr ดำเนินการเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

(2) นำน้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์มาสกัดด้วยเมทานอล โดยใช้สัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3

(3) นำน้ำมันดีเซลหลังจากผ่านขั้นตอนการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer)

3.2.3.2 ขั้นตอนการออกซิไดส์น้ำมันดีเซลด้วยโอโซนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วย

(1) นำน้ำมันดีเซลจาก บริษัทน้ำมันไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และ บริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 300 ml มาผสมกับน้ำร้อยละ 1 โดยปริมาตรของน้ำมันกวนให้เข้ากันโดยใช้แมกเนติกสเตอเรอร์

แล้วนำน้ำมันดีเซลป้อนเข้าทางตอนบนของคอลัมน์ออกซิเดชันซึ่งภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ จากนั้นทำการออกซิไดส์โดยการปล่อยโอโซนเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ โดยการควบคุมอัตราการไหล 1,000 l/hr ดำเนินการเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ retention time ของโอโซนกับน้ำมันดีเซลจาก บริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) เป็น 1.426 2.365 และ 3.877 วินาที ส่วน retention time ของโอโซนกับน้ำมันดีเซลจาก บริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เป็น 3.877 วินาที

(2) นำน้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์มาสกัดด้วยเมทานอล โดยใช้สัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3

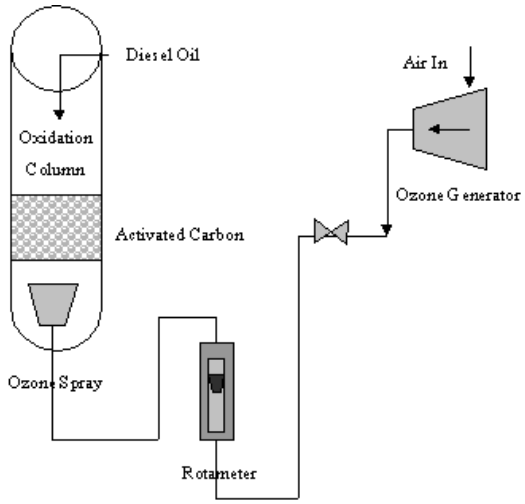
(3) นำน้ำมันดีเซลหลังจากผ่านขั้นตอนการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer)

3.2.3.3 ขั้นตอนการออกซิไดส์น้ำมันดีเซลด้วยโอโซนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริก-ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วย

(1) นำน้ำมันดีเซลจาก บริษัทน้ำมันไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และบริษัทบาง-จาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 300 ml มาผสมกับน้ำร้อยละ 1 โดยปริมาตรของน้ำมัน กวนให้เข้ากันโดยใช้แมกเนติกสเตอเรอร์ แล้วนำน้ำมันดีเซลป้อนเข้าทางตอนบนของคอลัมน์ออกซิเดชันซึ่งภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไนเตรต จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำการออกซิไดส์โดยการปล่อยโอโซนเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ โดยการควบคุมอัตราการไหล 1,000 l/hr ดำเนินการเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ retention time ของโอโซนกับน้ำมันดีเซล เป็น 1.944 3.089 3.370 และ 3.877 วินาที ตามลำดับ

(2) นำน้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์มาสกัดด้วยเมทานอล โดยใช้สัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3

(3) นำน้ำมันดีเซลหลังจากผ่านขั้นตอนการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer)



ภาพประกอบ **2**-3 **แสดง** Catalytic Ozonation Unit (semi-batch system)

3.2.4 การศึกษาผลของ retention time ของน้ำมันดีเซลกับโอโซนในระบบดำเนินการเบดนิ่งแบบต่อเนื่อง (continuous system) (แสดงการทดลองในภาพประกอบ 2-4 และ 2-5)

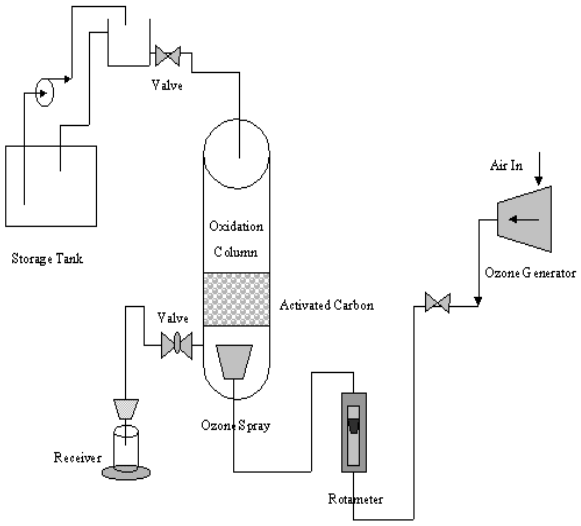
ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของ retention time ของน้ำมันดีเซลกับโอโซน โดยการลดอัตราการป้อนเข้าของน้ำมันดีเซล (Q) เพื่อเป็นการเพิ่ม retention time โดยมีตัวแปรควบคุม ได้แก่ อัตราการไหลของโอโซน 1,000 l/hr ความสูงของชั้นเบด (เฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์) 22.60 cm ระยะเวลาในการดำเนินการ 3 ชั่วโมง และสัดส่วนในขั้นตอนการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3 ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย

(1) นำน้ำมันดีเซลจาก บริษัทน้ำมันไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และบริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 300 ml มาผสมกับน้ำร้อยละ 1 โดยปริมาตรของน้ำมัน กวนให้เข้ากันโดยใช้แมกเนติกสเตอเรอร์ แล้วนำน้ำมันดีเซลป้อนเข้าทางตอนบนของคอลัมน์ออกซิเดชัน ซึ่งภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริกออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ที่มีความสูง 22.60 cm จากนั้นทำการออกซิไดส์โดยการปล่อยโอโซนเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ โดยควบคุมอัตราการไหล 1,000 l/hr ดำเนินปฏิกิริยาเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

(2) ควบคุมอัตราการป้อนเข้าของน้ำมันดีเซลทางตอนบนของคอลัมน์ เป็น 15 7.5 5 และ 3 ml/min หรือ retention time ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 20 40 60 และ 100 นาที ตามลำดับ พร้อมกับสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันดีเซลในขณะเวลาดำเนินการในคอลัมน์ออกซิเดชันเป็น 1 2 และ 3 ชั่วโมง

(3) นำน้ำมันดีเซลที่ผ่านการออกซิไดส์มาสกัดด้วยเมทานอล โดยใช้สัดส่วนในการสกัดระหว่างน้ำมันดีเซลต่อเมทานอล เป็น 1: 3

(4) นำน้ำมันดีเซลหลังจากผ่านขั้นตอนการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer)

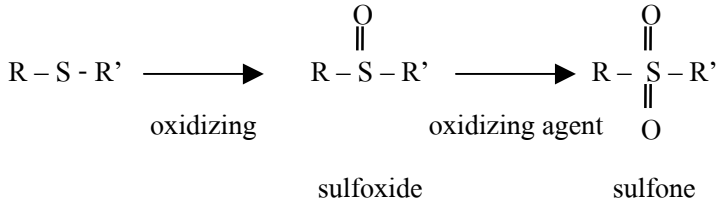


ภาพประกอบ **2**-4 แสดง Catalytic Ozonation Unit (Continuous System)

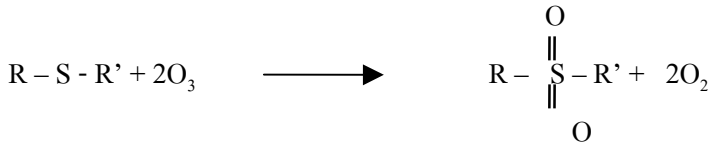
ภาพประกอบ **2**.5 **แสดง** Catalytic Ozonation Unit (Continuous System), **ใช้ในการทดลองจริง**

4. แนวคิดพื้นฐานการคำนวณปริมาณโอโซนที่ใช้ในปฏิกิริยา

จากหลักการเปลี่ยนสารประกอบกำมะถันจากสถานะไม่มีขั้วเป็นสถานะมีขั้ว โดยการออก-ซิไดส์ด้วยโอโซนได้ใช้ฐานการคำนวณปริมาณโอโซนที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบกำมะถันดังนี้



ในการเปลี่ยนสารประกอบกำมะถัน 1 อะตอมให้เป็นสารประกอบ sulfone จะต้องใช้โอโซน 2 โมเลกุล ดังสมการ



บนสมมติฐานแสดงว่าโอโซนที่ผลิตได้จำนวน 96 กรัม จะทำปฏิกิริยากับธาตุกำมะถันจำนวน 32 กรัม ดังนั้นหากเครื่องผลิตโอโซนในการทดลองนี้มีกำลังการผลิต 4.50 กรัมต่อชั่วโมง ก็จะสามารถขจัดกำมะถันได้เท่ากับ 1.50 กรัม/ชั่วโมง

หากสมมติให้น้ำมันดีเซลที่ต้องการลดกำมะถันมีปริมาณร้อยละ 0.050 โดยน้ำหนัก และความหนาแน่นน้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.84 กรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นน้ำมันดีเซล 1 ลิตรจะมีธาตุกำมะถันหนักเท่ากับ 1000*0.84*0.05/100 = 0.42 กรัม

หากสมมติว่าต้องการลดปริมาณกำมะถันให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น นั่นคือให้เหลือกำมะถันร้อยละ 0.025 โดยน้ำหนัก จากน้ำมันดีเซล 1 ลิตร จะต้องลดกำมะถันไป 0.21 กรัม หากพิจารณาจากปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ก็จะสามารถลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลได้เท่ากับ 1.50/0.21 = 7.14 ลิตร/ชั่วโมง