

การหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลโดยออกซิเดทีฟคัทัลเฟอไรเซชันด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกา

Investigation of Suitable Conditions for Sulfur Removal in Diesel Fuel by Using Oxidative Desulfurization with Silica-Supported Vanadium Catalysts

เมทังกร เสริมสุข และบรรเจิด จงสมจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วโดยออกซิเดทีฟคัทัลเฟอไรเซชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดซ์ที่อัตราส่วนสารออกซิไดซ์ต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ 0.02:1 ถึง 0.06:1 และสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล กรดอะซิติกและอะซิโตน ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในช่วง 0.25:1 ถึง 1:1 ที่ภาวะอุณหภูมิในช่วง 25 ถึง 80 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ที่ขนาดรูพรุนแตกต่างกัน ทำการทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกำจัดกำมะถันถูกใช้ในการศึกษานี้ ได้มาจากโรงกลั่นน้ำมันระยองเพียวริฟายเออร์

จากการศึกษาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารประกอบกำมะถันถูกเปลี่ยนเป็นซัลโฟนหรือซัลฟอกไซด์ที่มีขั้วและจุดเดือดสูงขึ้นกว่าสารประกอบกำมะถัน ทำให้เกิดการย้ายเฟสของสารประกอบกำมะถันจากชั้นของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วไปสู่ชั้นของตัวทำละลาย โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นสารออกซิไดซ์ในอัตราส่วน 0.04 โดยมีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ที่ขนาดรูพรุน 60 mesh ปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วลดลงประมาณ 60.14 เปอร์เซ็นต์ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 ครั้ง แต่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ครั้งจึงจะสามารถลดปริมาณกำมะถันได้น้อยกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซล

คำสำคัญ: การกำจัดกำมะถัน น้ำมันดีเซล ออกซิเดทีฟคัทัลเฟอไรเซชัน

Abstract

This study featured suitable conditions for sulfur removal in high speed diesel by using oxidative desulfurization. Hydrogen peroxide was used as the oxidant at ratio of oxidant per high speed diesel in the range of 0.02:1 to 0.06:1. Sulfur compound was extracted by solvent, such as ethanol, acetic acid, and acetone at the ratio of solvent per high speed diesel in the range of 0.25:1 to 1:1. The temperature used in this study was between 25 to 80 °C and silica-supported vanadium catalysts was used at different mesh sizes. The sulfur contents of high speed diesel was evaluated and compared. High speed diesels before desulfurization unit in this study were taken from Rayong Purifier Refinery.

The result of this experimental revealed that the suitable condition for oxidation reaction of sulfur compounds was oxidized into sulfone and sulfoxide forms. It had higher polarity and boiling point than sulfur compound, which led to the transfer from high speed diesel to solvent layer. Hydrogen peroxide was used as the oxidant at the ratio of high speed diesel to hydrogen peroxide of 0.04 by using acetic acid as solvent at the ratio of high speed diesel to acetic acid of 1:1 at 60 °C. Silica-supported vanadium of 60 mesh was used as the catalyst. Sulfur content in high speed diesel was reduced by approximately 60.14 percent by weight in each oxidation reaction. If the oxidation reaction occurred in three times, it would reduce the sulfur content in high speed diesel less than 0.005 percent by weight of diesel.

Keywords : sulfur removal, diesel fuel, oxidative desulfurization

1. บทนำ

จากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดทั่วทุกมุมโลก ทำให้มนุษยชาติเริ่มเกิดความตระหนักถึงสาเหตุของผลกระทบที่เกิดขึ้น มีการออกมาแสดงความคิดเห็นและร่วมรณรงค์จากหลายองค์กรทั่วโลก ในหลายๆ ประเทศได้มีการออกมาตรการควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นอย่างเข้มงวด รวมถึงประเทศไทย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้มีมติบังคับให้คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงและรถยนต์ที่ผลิตใหม่ได้ตามมาตรฐาน EURO-4 ซึ่งเป็นกฎระเบียบต่างๆของกลุ่มประเทศใน

ทวีปยุโรป ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยตามมติให้มีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2555 (โอภาส, 2542) ซึ่งจะช่วยลดมลพิษในบรรยากาศ สำหรับข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซล Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) ไม่สูงกว่าร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก และปรับลดปริมาณกำมะถันจากไม่สูงกว่า 350 ส่วนในล้านส่วน เป็นไม่สูงกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (โอภาส, 2542)

ถึงแม้ว่า ไฮโดรดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (HDS) จะใช้อย่างแพร่หลายในการกำจัดปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงเหลว (ปราโมทย์, 2552) แต่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากกฎระเบียบที่เข้มงวดมากขึ้นในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงมีการพัฒนากระบวนการทางเลือกในการกำจัดกำมะถันในโรงกลั่นน้ำมันจำนวนมาก ในปัจจุบันมันค่อนข้างง่ายที่จะกำจัดกำมะถันส่วนใหญ่ออกในรูปแบบของ ซัลไฟด์ ไคซัลไฟด์และเมอร์แคพแทน แต่องค์ประกอบของกำมะถันที่กำจัดได้ยาก คือ benzothiophenic โดยเฉพาะอย่างยิ่ง dibenzothiophene (DBT) และองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกัน (Francisco, 2005) ด้วยเหตุผลหลายกลุ่มจึงพยายามพัฒนากระบวนการทางเลือกใหม่ๆ สำหรับกำจัดกำมะถันใน แก๊สโซลีน น้ำมันดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวอื่นๆ (Jorge, 2006) รวมถึงการใช้วิธี ดูดซับ (adsorption) กระบวนการทางไบโอ (bioprocessing) และวิธีออกซิเดชัน (oxidation) ในการศึกษาจะใช้วิธีการใช้ ออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (ODS) เป็นทางเลือกในการกำจัดกำมะถันเพื่อให้ได้น้ำมันดีเซลกำมะถันต่ำพิเศษ (ultra low-sulfur diesel) ได้เหมือนกับผ่านกระบวนการไฮโดรดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (HDS) (Capel, 2010)

ออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (ODS) เป็นกระบวนการที่ได้รับการกล่าวถึงในช่วงไม่กี่ปีมานี้ ประโยชน์ของ ODS มีมากกว่า HDS คือ โดยทั่วไปเป็นการยากที่ HDS จะกำจัดกำมะถันที่องค์ประกอบที่ทนความร้อน (refractory-substituted) เช่น dibenzothiophenes (DBTs) และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นง่ายที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ สารเปอร้ออกไซด์สามารถใช้เป็นตัวออกซิเดนต์ และปฏิกิริยาโดยไม่จำเป็นต้องใช้ไฮโดรเจนโดยกำมะถันถูกทำให้เปลี่ยนรูปเป็นซัลโฟน (sulfones) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีขั้วสูงและง่ายต่อการแยกออกจากเชื้อเพลิงโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ข้อเสียของ ออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (ODS) คือ ส่วนประกอบของกำมะถัน เช่น ไคซัลไฟด์ (disulfides) จะกำจัดได้ยากกว่าวิธี HDS ดังนั้น ODS ควรใช้เป็นกระบวนการที่สองหลังจากผ่านหน่วย HDS แล้ว เพื่อให้ได้น้ำมันดีเซลกำมะถันต่ำ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซลลดลงเหลือ 0.001 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซล (ULSD) วิธีการนี้จะเป็นการกำจัดกำมะถันชนิดออกซิไดซ์ยาก เช่น dibenzothiophenes (DBTs) ออกหมดไปจากน้ำมันดีเซล (Hilda, 2008)

ซึ่งงานวิจัยในอดีตหลายฉบับแสดงให้เห็นว่าออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (ODS) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ เบนซีนไดออกไซด์บนตัวรองรับชนิดต่างๆ เช่น ไททาเนีย อลูมินา และซิลิกา โดยใช้สารเปอร้ออกไซด์เป็นสารออกซิเดนต์ และสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนในโทลล์ สามารถกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลของโรงกลั่นน้ำมันในเม็กซิโกได้ถึง 99.99% (Hilda, 2008) แต่งานวิจัยนี้จะเลือกทดสอบบนตัวรองรับซิลิกาเนื่องจากมีราคาถูกที่สุดจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจริง

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากรรมวิธีออกซิเดนต์ เพื่อกำจัดสารกำมะถันในน้ำมันดีเซล เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตจริง และยังเหมาะสมกว่าหน่วย ไฮโดรดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (HDS) สำหรับโรงกลั่นน้ำมันที่ไม่มีหน่วยผลิตหรือหน่วย recovery แก๊สไฮโดรเจนภายในโรงกลั่นน้ำมัน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซล ที่ออกจากกระบวนการผลิตของโรงกลั่นน้ำมัน บริษัท ระยองเพียวริฟายเออร์ จำกัด (มหาชน) ให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซล

โดยใช้วิธีการออกซิเดทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชัน (ODS) โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิแดนท์ (Alexander, 2003) สารประกอบซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปของซัลโฟนที่อัตราส่วนตัวต่อน้ำมันดีเซลที่ 0.02:1 ถึง 0.06:1 แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล กรดอะซิติก และอะซีโตน ที่อัตราส่วนตัวต่อน้ำมันดีเซลในช่วง 0.25:1 ถึง 1:1 โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาแวนาเดียมบนตัวรองรับซิลิกาชนิดต่างๆ (Omar, 2009)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ทั้งหมดสั่งซื้อจาก Sigma/Aldrich และ Merck โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิแดนท์ และเอทานอล กรดอะซิติกและอะซีโตนถูกใช้เป็นตัวทำละลาย น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีกำมะถันทั้งหมด 409 ส่วนในล้านส่วนได้จากโรงกลั่นน้ำมันระยอง เพียวริฟายเออร์

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแวนาเดียมบนตัวรองรับซิลิกา (Vx/Si) โดยวิธีการเคลือบฝังแบบเปียกโดยใช้แอมโมเนียมเมทวานาเดต (จุ่งใจ, 2552) ที่อัตราส่วนแวนาเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่ขนาดรูพรุนของตัวรองรับซิลิกาแตกต่างกันที่ 5-15 นาโนเมตร 35-60 mesh และ 60 mesh ตามด้วยการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาในอากาศที่อุณหภูมิสูง 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (Bunjerd, 2011)

3.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ก่อนและหลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ประกอบด้วย ทดสอบความหนาแน่นของน้ำมัน ด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 4052-96 ด้วยเครื่อง Density meter ยี่ห้อ Anton Paar รุ่น DMA 4500 ทดสอบค่าความหนืดด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 445 ด้วยเครื่อง Automatic viscosity ยี่ห้อ HERZOG รุ่น HVU 481 ทดสอบจุดวาบไฟด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 93 ด้วยเครื่อง Flash point unit ยี่ห้อ HERZOG รุ่น HFP 339 จุดไหลเทด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 97 ด้วยเครื่อง Cloud and pour point ยี่ห้อ Stanhope-seta ทดสอบสีด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 1500 และทดสอบปริมาณกำมะถันด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 4294 ด้วยเครื่อง X-Ray Sulfur ยี่ห้อ HORIBA รุ่น SLFA-2100 ซึ่ง เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วจากโรงกลั่นน้ำมันระยองเพียวริฟายเออร์

3.4 การทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชัน

เป็นการทดสอบเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีออกซิเดทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชัน โดยตอนที่ 1 เป็นการหาตัวทำละลายที่เหมาะสม ประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และอะซีโตน ทดสอบที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลหมุนเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสารออกซิแดนท์ต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ 0.04:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 2 เป็นการหาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วระหว่างค่า 0.25:1, 0.5:1 และ 1:1 ทดสอบโดยใช้ตัวทำละลายที่ดีที่สุด

จากตอนที่ 1 อัตราส่วนสารออกซิเจนต่อน้ำมันดีเซล
 หมุนเร็วที่ 0.04:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน
 บรรยากาศและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 3 เป็นการหา
 อัตราส่วนสารออกซิเจนต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
 ระหว่างค่า 0.02:1, 0.04:1 และ 0.06:1 ทดสอบโดยใช้ตัว
 ทำละลายที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนตัวทำละลาย
 ต่อน้ำมันดีเซลหมุนเท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศา
 เซลเซียส ความดันบรรยากาศและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา
 ตอนที่ 4 เป็นการหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของปฏิกิริยา
 ระหว่างที่ 25, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ทดสอบโดยใช้
 ตัวทำละลายที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนตัวทำ
 ละลายต่อน้ำมันดีเซลหมุนเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสาร
 ออกซิเจนต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ 0.04:1 ความดัน
 บรรยากาศและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 5 เป็นการ
 ทดสอบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิ
 กาที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกันที่ 5-15 นาโนเมตร 35-60
 mesh และ 60 mesh ทดสอบโดยใช้ตัวทำละลายที่ดีที่สุด
 จากตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซล
 หมุนเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสารออกซิเจนต่อน้ำมัน
 ดีเซลหมุนเร็วที่ 0.04:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
 ความดันบรรยากาศตอนที่ 6 เป็นการทดสอบผลของการ
 อัตราส่วนแวนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 5, 7.5 และ 10
 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทดสอบโดยใช้ตัวทำละลายที่ดี
 ที่สุดจากตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน
 ดีเซลหมุนเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสารออกซิเจนต่อน้ำมัน
 ดีเซลหมุนเร็วที่ 0.04:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศา
 เซลเซียส ความดันบรรยากาศและตอนที่ 7 เป็นการหา
 จำนวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อลดปริมาณ
 กำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วให้มีค่าต่ำกว่า 0.005
 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทดสอบโดยใช้ตัวทำละลายที่ดี

ที่สุดจากตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซล
 หมุนเท่ากับ 1:1 อัตราส่วนสารออกซิเจนต่อน้ำมันดีเซล
 หมุนเร็วที่ 0.04:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน
 บรรยากาศและมีตัวเร่งปฏิกิริยา ทุกการทดสอบจะหา
 ปริมาณการสูญเสียน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบน้ำหนักก่อน
 ทำปฏิกิริยากับหลังทำปฏิกิริยาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
 น้ำมันดีเซล

3.5 วิธีการทดสอบปฏิกิริยาออกเดทิฟิเคชันเพอร์โรเซชัน

ทำการผสมน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 50 กรัม และตัวทำ
 ละลาย 50 กรัม ลงในปฏิกรณ์พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่
 60 องศาเซลเซียสและปั่นกวนด้วยความเร็ว 1600 รอบต่อ
 นาที เมื่ออุณหภูมิของสารละลายได้ 60 องศาเซลเซียส แล้ว
 เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วปั่นกวน
 ต่อเนื่องเป็นเวลา 60 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลงเท่า
 อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการแยกสารละลายและน้ำมัน
 ดีเซลหมุนเร็วด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที แล้ว
 นำส่วนบนซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็วไปทดสอบปริมาณ
 กำมะถันด้วยเครื่อง X-Ray Sulfur ยี่ห้อ HORIBA รุ่น
 SLFA-2100 ด้วยวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D 4294

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ก่อนและหลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน

พบว่าหลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าความ
 หนาแน่นและปริมาณกำมะถันมีค่าลดลง แต่ค่าความหนืด
 จุดไหลเท ค่าความเข็มสีและค่าการกลั่นมีแนวโน้มสูงขึ้น
 อย่างไรก็ตามหลังจากทำปฏิกิริยาออกซิเดชันไปแล้ว 1 ครั้ง
 แนวโน้มของความเข็มสีไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนจุดวาบ
 ไฟไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ก่อนและหลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน

คุณสมบัติทางกายภาพ	ก่อนทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน	หลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่ 1	หลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่ 2
Density @ 15 °C (g/cm ³)	0.8425	0.8384	0.8286
Viscosity (mm ² /s)	3.0403	3.2207	3.2657
Flash point (°C)	81	81	81
Pour point (°C)	15	18	21
Color (ASTM Color)	1.2	1.7	1.7
Sulfur Content (ppm)	409	163	81.4
Removal Sulfur (%)		60.15	50.06
Distillation (°C)			
IBP	193.9	195.8	198.5
10	212.1	217.6	219.3
50	246.3	249.3	249.4
90	337	337.1	340.1
End point	344.7	346	352

4.2 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสำหรับกำจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชัน ระหว่างเอทานอล กรดอะซิติก และอะซีโตน ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 สารออกซิเดนต์เท่ากับ 0.04:1 อุณหภูมิ 60 °C ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

พบว่าใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีความสามารถในการกำจัดกำมะถันมากที่สุด ตามด้วยอะซีโตนและเอทานอล ตามลำดับ และการใช้กรดอะซิติก

เป็นตัวทำละลายมีการสูญเสียน้ำมันดีเซลน้อยที่สุดหลังเกิดปฏิกิริยา ซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัด ระหว่างเอทานอล อะซีโตน และกรดอะซิติก

สารละลายที่ใช้	ก่อนทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน	หลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน	สูญเสียน้ำมันดีเซล (%)
	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	
เอทานอล	409	343	4.2
อะซีโตน	409	339	4
กรดอะซิติก	409	245	3.6

4.3 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายกรดอะซิติกต่อน้ำมันดีเซลสำหรับกำจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชันระหว่างค่า 0.25:1, 0.5:1 และ 1:1 ที่อัตราส่วนสารออกซิเดนต์ต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.04:1 อุณหภูมิ 60 °C ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

พบว่าที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเท่ากับ 1:1 มีความสามารถในการกำจัดกำมะถันมากที่สุด โดยจะเห็นว่ายังมีปริมาณตัวทำละลายมากขึ้นเท่าไรยังสามารถกำจัดกำมะถันได้มากขึ้น ตามลำดับ และยังมีปริมาณตัวทำละลายน้อยยังทำให้หลังเกิดปฏิกิริยาสูญเสียน้ำมันดีเซลมากเนื่องจากการแยกที่แยกน้ำมันดีเซลออกจากตัวทำละลายน้ำมันดีเซลบางส่วนละลายในชั้นของตัวทำละลายมากซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลของอัตราส่วนตัวทำละลายกรดอะซิติก ต่อ น้ำมันดีเซลระหว่างค่า 0.25:1, 0.5:1 และ 1:1

อัตราส่วนตัว ทำละลายต่อ น้ำมันดีเซล	ก่อนทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสีย น้ำมัน ดีเซล (%)
	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	
0.25:1	409	368	5.6
0.5:1	409	327	6
1:1	409	245	3.6

4.4 ผลของอัตราส่วนสารออกซิเดนต์ต่อน้ำมันดีเซล สำหรับกำจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชันระหว่างค่า 0.02:1, 0.04:1 และ 0.06:1 ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อ น้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 อุณหภูมิ 60 °C ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของตัวออกซิเดนต์มากขึ้นเป็นผลให้สามารถที่จะกำจัดสารประกอบกำมะถันซึ่งเป็นสารที่มีขี้ได้มากขึ้น จากการทดลองใช้ อัตราส่วนของตัวออกซิเดนต์ต่อปริมาณของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 0.02:1 0.04:1 และ 0.06:1 ผลของ 0.06:1 ให้ผล ในการกำจัดปริมาณกำมะถันของน้ำมันดีเซลได้มากที่สุด แต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้อัตราส่วนของตัวออกซิเดนต์ต่อปริมาณของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 0.04:1 เนื่องจาก สามารถกำจัดกำมะถันได้ใกล้เคียงกับที่ 0.06:1 แต่ใช้ปริมาณตัวออกซิเดนต์น้อยกว่าซึ่งช่วยประหยัด ค่าใช้จ่ายและปริมาณตัวออกซิเดนต์ไม่มีผลต่อปริมาณ การ สูญเสียน้ำมันดีเซลเนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยา

ปริมาณการสูญเสียน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกันที่ภาวะอื่นๆ ที่ เหมือนกัน ซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลของอัตราส่วนสารออกซิเดนต์ต่อ น้ำมันดีเซล ระหว่างค่า 0.02:1, 0.04:1 และ 0.06:1

อัตราส่วนออก ซิเดนต์ต่อ น้ำมันดีเซล (%m/m)	ก่อนทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสีย น้ำมัน ดีเซล (%)
	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	
0.02:1	409	270	3.4
0.04:1	409	245	3.6
0.06:1	409	230	3.8

4.5 ผลของอุณหภูมิที่ 25, 60 และ 80 °C สำหรับกำจัด กำมะถัน โดยวิธีออกซิเดชัน ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อ น้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 สารออกซิเดนต์เท่ากับ 0.04:1 ไม่มี ตัวเร่งปฏิกิริยา

พบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ปฏิกิริยาออกเดทีฟดิ ซัลเฟอร์ไรเซชันมีความสามารถในการกำจัดกำมะถันใน น้ำมันดีเซลมากที่สุดตามด้วยที่อุณหภูมิ 25 °C และที่ อุณหภูมิ 80 °C กำจัดกำมะถันได้แย่มากและสูญเสีย ปริมาณน้ำมันดีเซลมากที่สุดด้วยเนื่องจากสูญเสียตัวทำ ละลายบางส่วนจากการระเหยทำให้แยกน้ำมันดีเซลออกจาก ตัวทำละลายได้ยากซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลของอุณหภูมิที่ 25, 60 และ 80 °C ต่อผลของปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

อุณหภูมิ (°C)	ก่อนทำปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสีย น้ำมันดีเซล (%)
	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	
25	409	280	3.6
60	409	245	3.6
80	409	340	7.4

4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกาที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกันสำหรับกำจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชัน ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 สารออกซิแดนต์เท่ากับ 0.04:1 อุณหภูมิ 60 °C ใช้แวนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

พบว่าขนาดรูพรุนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกเคทีฟดีเซลฟอร์ไรเซชัน เนื่องจากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกาที่มีขนาดรูพรุน 5-15 นาโนเมตร ขนาดรูพรุน 35-60 mesh และ ขนาดรูพรุน 60 mesh ให้ผลการกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกันและขนาดรูพรุนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณการสูญเสียน้ำมันดีเซลเนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยาปริมาณการ สูญเสียน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกันที่ภาวะอื่นๆ ที่เหมือนกัน ซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกาที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน

ขนาดรูพรุน ตัวเร่งปฏิกิริยา	ก่อนทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสีย น้ำมัน ดีเซล (%)
	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	
5-15 นาโนเมตร	409	166	3.8
35-60 mesh	409	165	3.6
60 mesh	409	163	3.4

แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบนตัวรองรับซิลิกาที่มีขนาดรูพรุน 60 mesh มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวโดยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจนพบว่า ตัวรองรับซิลิกาที่มีขนาดรูพรุน 60 mesh มีพื้นที่ผิวมากที่สุดแสดง แสดงผลได้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวโดยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจน

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวตัวเร่ง ปฏิกิริยา (m ² /g)
ตัวรองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 5-15 นาโนเมตร	311.2
ตัวรองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 35-60 mesh	341.5
ตัวรองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 60 mesh	432.5
ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบน 5%w บนตัว รองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 5-15 นาโนเมตร	221.8
ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบน 5%w บนตัว รองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 35-60 mesh	228
ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมบน 5%w บนตัว รองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 60 mesh	308.9

4.7 ผลของอัตราส่วนวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสำหรับกำจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชัน ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 สารออกซิแดนต์เท่ากับ 0.04:1 อุณหภูมิ 60 °C

พบว่าเมื่อใส่ปริมาณวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกามากจะยิ่งช่วยให้ปฏิกิริยาออกเตฟิซัลเฟอร์ไรเซชันเกิดได้ดีมากขึ้น ตามลำดับ โดยที่ใส่ปริมาณวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะสามารถกำจัดกำมะถันได้มากที่สุด ตามด้วยปริมาณการใส่วานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 7.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ใส่ปริมาณวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 7.5 เปอร์เซ็นต์เนื่องจาก สามารถกำจัดกำมะถันได้ใกล้เคียงกับที่ 10 เปอร์เซ็นต์แต่ใช้ปริมาณตัววานเนเดียมน้อยกว่าซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและอัตราส่วนวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา ไม่มีผลต่อปริมาณการ สูญเสียน้ำมันดีเซลเนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยาปริมาณการ สูญเสียน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกันที่ภาวะอื่นๆ ที่เหมือนกัน ซึ่งแสดงผลได้ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลของอัตราส่วนวานเนเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน วานเนเดียมต่อ ตัวรองรับซิลิกา (%m/m)	ก่อนทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสีย น้ำมัน ดีเซล (%)
	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	ปริมาณ กำมะถัน (ppm)	
5	409	163	3.8
7.5	409	154	4
10	409	146	3.6

4.8 จำนวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 สารออกซิแดนต์เท่ากับ 0.04:1 อุณหภูมิ 60 °C มีตัวเร่งปฏิกิริยา

พบว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งแรกสามารถกำจัดกำมะถันลดลงเหลือ 163 ppm คือ สามารถกำจัดกำมะถันได้ 60.14% เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่สองสามารถกำจัดกำมะถันลดลงเหลือ 81.4 ppm คือ สามารถกำจัดกำมะถันได้ 80.09% และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่สามสามารถกำจัดกำมะถันลดลงเหลือ 21 ppm คือ สามารถกำจัดกำมะถันได้ 94.86% ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ครั้ง จะช่วยกำจัดกำมะถันได้ต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซลและปริมาณการสูญเสียน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกันที่ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำมันดีเซลต่อการเกิดปฏิกิริยาหนึ่งครั้งแสดงผลได้ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ครั้งที่	ก่อนทำปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	หลังทำปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	สูญเสียน้ำมัน ดีเซล (%)
	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	ปริมาณกำมะถัน (ppm)	
1	409	163	3.8
2	163	81.4	3.7
3	81.4	21	3.9

5. การอภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่า หลังจากกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลโดยออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชันแล้ว ส่งผลให้คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนไปเล็กน้อย เช่น ความหนาแน่นต่ำลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อกำมะถัน และดีเซลที่มีมวลโมเลกุลหนัก สีของน้ำมันดีเซลเข้มขึ้นเนื่องจากน้ำมันดีเซลจะพุ่งขึ้นเมื่อผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลโดยออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชัน คือ ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากกรดอะซิติกมีความสามารถในการละลายของสารประกอบซัลโฟนสูงที่สุดโดย มีความสามารถในการละลายที่ 21.2 g/100 ml ของสารละลาย รองลงมาคือ อะซีโตน 15.36 g/100 ml ของสารละลาย และเอทานอล ไม่ควรใช้เพราะมีความสามารถในการละลายน้อยมากจึงไม่สามารถกำจัดกำมะถันออกจากน้ำมันดีเซลได้ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1:1 มีความสามารถในการกำจัดกำมะถันมากที่สุด เนื่องจากยิ่งปริมาณตัวทำละลายมากยิ่งขึ้นสามารถละลายสารประกอบซัลโฟนออกจากน้ำมันดีเซลได้มากขึ้นแต่ถ้าอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันดีเซลมากกว่า 1:1 จะเป็นปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้สูญเสียเนื้อน้ำมันดีเซลและไม่เหมาะสมกับการใช้ในอุตสาหกรรมจริง อัตราส่วนของตัวออกซิแดนต์ต่อปริมาณของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 0.06:1 ให้ผลในการกำจัดปริมาณกำมะถันของน้ำมันดีเซลได้มากที่สุด เนื่องจากว่าโอกาสในการทำปฏิกิริยาย่อมมีมากขึ้นเมื่อโอกาสมากขึ้น การกำจัดหรือเปลี่ยนรูปสารประกอบกำมะถันก็ยังมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนรูปมากยิ่งขึ้นความสามารถในการสกัดและกำจัดออกของตัวถูกละลายก็ยิ่งมากขึ้นด้วย เป็นผลให้การกำจัด

กำมะถันในน้ำมันมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยแต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้อัตราส่วนของตัวออกซิแดนต์ต่อปริมาณของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 0.04:1 เนื่องจาก สามารถกำจัดกำมะถันได้ใกล้เคียงกับที่ 0.06:1 แต่ใช้ปริมาณตัวออกซิแดนต์น้อยกว่าซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ที่อุณหภูมิ 60 °C ปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชันมีความสามารถในการกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลมากที่สุด เนื่องจาก ปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชันต้องการพลังงานเล็กน้อยในการกระตุ้นปฏิกิริยาแต่เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่ 80 °C จะเกิดการระเหยของตัวทำละลายทำให้สามารถสกัดสารประกอบซัลโฟน ออกจากเนื้อน้ำมันดีเซลได้น้อยลงและมีน้ำมันดีเซลบางส่วนสูญเสียไปกับตัวทำละลาย พบว่าขนาดรูพรุนไม่มีต่อปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีซัลเฟอร์ไรเซชันเนื่องจากผลการทดสอบสามารถกำจัดกำมะถันได้ใกล้เคียงกัน แต่ตัวรองรับซิลิกาขนาดรูพรุน 60 mesh มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อทดสอบด้วยวิธีการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยที่ใส่ปริมาณวานเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะสามารถกำจัดกำมะถันได้มากที่สุด เนื่องจากตัวรองรับมีปริมาณโลหะว่องไวมาก สามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นเช่นกันแต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ใส่ปริมาณวานเดียมต่อตัวรองรับซิลิกา 7.5 เปอร์เซ็นต์เนื่องจาก สามารถกำจัดกำมะถันได้ใกล้เคียงกับที่ 10 เปอร์เซ็นต์แต่ใช้ปริมาณวานเดียมน้อยกว่าซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ครั้ง จะช่วยกำจัดกำมะถันได้ต่ำกว่า 50 ppm คือ สามารถกำจัดกำมะถันได้ลดลงเหลือ 21 ppm คิดเป็นสามารถกำจัดกำมะถันได้ 94.86% และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูญเสียน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำมันดีเซลต่อการเกิดปฏิกิริยาหนึ่งครั้ง

เนื่องจากน้ำมันดีเซลบางส่วนละลายไปกับตัวทำละลาย และยากที่จะแยกออก

เมื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาออกเคทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชันที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาวานเดียมบนตัวรองรับซิลิกา พบว่า มีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถกำจัดกำมะถันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหนึ่งครั้งได้ถึง 60.14% แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถกำจัดกำมะถันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหนึ่งครั้งได้เพียง 40.09% เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถกำจัดกำมะถันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหนึ่งครั้งได้สูงสุดเพียง 50% เท่านั้น (ประสิทธิ์, 2539 และ สีนินาฏ, 2547) แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวานเดียมบนตัวรองรับซิลิกามีส่วนช่วยปรับปรุงปฏิกิริยาออกเคทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชัน

6. บทสรุป

ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกเคทีฟดิซัลเฟอร์ไรเซชัน คือ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นสารออกซิเดนต์ในอัตราส่วน 0.04 โดยมีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวานเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ที่ขนาดรูพรุน 60 mesh สามารถกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วได้ประมาณ 60.14 เปอร์เซ็นต์ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 ครั้ง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ครั้งจึงจะสามารถลดปริมาณกำมะถันได้ลดลงเหลือ 0.0021 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คิดเป็นสามารถกำจัดกำมะถันได้ 94.86% ซึ่งภาวะดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการออกแบบหน่วยกำจัดกำมะถันในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ออกจากกระบวนการผลิตจากโรงกลั่น

น้ำมันระเหยของเพียวริฟายเออร์ให้มีค่าต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมันดีเซล

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณมฤดี ประภากรรัตน ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมและเทคนิค บริษัท ระยองเพียวริฟายเออร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

8. เอกสารอ้างอิง

- จงใจ ปิ่นประณต. (2552). *ความรู้พื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยา* วิทยพันธ์. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประสิทธิ์ วงศ์ลำชา. (2539). *การกำจัดกำมะถันของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเปอร์ออกซิแอซิดเป็นสารออกซิเดนต์และการสกัดด้วยตัวทำละลาย*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สินินาฏ เดชวรรณโต. (2547). *การลดสารกำมะถันในน้ำมันดีเซลโดยกระบวนการออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาและสกัดด้วยตัวทำละลาย*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- โอภาส เสพย์ธรรม. (2542). *ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม*. วารสารรายปีบริษัท ปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน).
- ปราโมทย์ ไชยเวท. (2552). *ปิโตรเลียมเทคโนโลยี*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Bunjerd Jongsomjit. (2011). *Heterogeneous Catalysis*.
Department of Chemical Engineering
Chulalongkorn University.
- Francisco Pedraza, Luis Cedeno Caero, Emiliano Hernandez , and Florentino Murrieta. (2005). *Oxidative desulfurization of synthetic diesel using supported catalysts Part I. Study of the operation conditions with a vanadium oxide based catalyst*. Catalysis Today. 107–108 (2005) 564–569.
- Jorge F., Luis Cedeno Caero, Navarro A. and Aida Gutierrez-Alejandre. (2006). *Oxidative desulfurization of synthetic diesel using supported catalysts Part II. Effect of oxidant and nitrogen-compounds on extraction–oxidation process*. Catalysis Today. 116 (2006) 562–568.
- Hilda Gomez-Bernal, Luis Cedeno-Caero, Adriana Fraustro-Cuevas, Hector D. Guerra-Gomez and Rogelio Cuevas-Garcia. (2008). *Oxidative desulfurization of synthetic diesel using supported catalysts Part III. Support effect on vanadium-based catalysts*. Catalysis Today. 113-135 (2008) 244–254.
- M.C. Capel-Sanchez, P. Perez-Presas, J.M. Campos-Martin and J.L.G. Fierro. (2010). *Highly efficient deep desulfurization of fuels by chemical oxidation*. Catalysis Today. 157 (2010) 390–396.
- Omar Gonzalez-Garcia and Luis Cedeno-Caero. (2009). *V-Mo based catalysts for oxidative desulfurization of diesel fuel*. Catalysis Today. 148 (2009) 42-48.
- Alexander V. Anisimov, Elena V. Fedorova, Andrey Z. Lesnugin, Vladimir M. Senyavin, Leonid A. Aslanov, Viktor B. Rybakov and Alla V. Tarakanova.(2003). *Vanadium peroxocomplexes as oxidation catalysts of sulfur organic compounds by hydrogen peroxide in bi-phase systems*. Catalysis Today. 78 (2003) 319–325.