

การประยุกต์ใช้หลักการดูดซับในการออกแบบ Salt Filter สำหรับกำจัดน้ำที่แขวนลอยในน้ำมันดีเซล Applying the Adsorption Principle for Design of Salt Filter for Removing Suspended Water from Diesel Oil

ชวริน โปยมรัตน์* ชีรวัดน์ อุตตะโมท* และ จันทรพร ผลการกุล**

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลปัจจุบันใช้เทคโนโลยี Salt Filter แบบ 1 หอในการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันในกรณีที่ปริมาณน้ำในน้ำมันค่อนข้างต่ำ คือช่วงระหว่าง 200–400 ppm แต่ในบางกระบวนการผลิตปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลสูงกว่า 1,000 ppm ซึ่งทำให้ Salt Filter ในรูปแบบเดิมไม่สามารถกำจัดน้ำออกให้ได้ตามมาตรฐานกำหนด การปรับรูปแบบ Salt Filter ให้เหมาะสมกับน้ำมันขาเข้าต้องอาศัยหลักการออกแบบซึ่งไม่สามารถจัดทำได้ง่ายเนื่องจาก Salt Filter มักออกแบบและติดตั้งโดยตรงโดยบริษัทต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหลักการออกแบบ Salt Filter โดยอาศัยหลักการดูดซับ การศึกษาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการหาชนิดของเกลือที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันดีเซล พบว่า เกลือสินเธาว์มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันดีเซลได้ดีกว่าเกลือออสเตรเลียและเกลือทะเล ขั้นตอนต่อมาเป็นการพิจารณาไอโซเทอมการดูดซับของเกลือสินเธาว์จากการทดลองหากราฟสมดุลการดูดซับ พบว่าได้กราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามกฎการดูดซับของเฮนรี จากนั้นทำการทดลองหากราฟเบรคทูร์จ์ ได้เวลาเบรคทูร์จ์และคำนวณความสูงของช่วงที่เกิดการดูดซับได้เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณเมื่อต้องการขยายขนาดของหอดูดซับขนาดใหญ่ ถ้ากำหนดระยะเวลาการดำเนินงาน 720 ชั่วโมง และอัตราการไหลปกติ 2,700 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอ 1.2 เมตร ความสูงของหอดูดซับขนาดใหญ่ได้ 5 เมตร ใช้จำนวน 12 หอต่ออนุกรม หอดูดซับนี้จึงสามารถกำจัดน้ำออกจากน้ำมันจาก 1,500 ppm ลดลงเหลือ 120 ppm

Abstract

At the present, in a fuel oil-refining industry, salt filter with one column is used for removing water from diesel oil with low water content; i.e., 200-400 ppm. In a fuel oil-refining industry, however, diesel oil with high water content (>1,000 ppm) exists in some production processes. In such cases, one-column salt filter could not reduce the water content to the desired specification. Redesign of salt filter is needed. However, the design principle is unavailable because the design is usually done by Knowhow Technology manufacturers. This project aimed to study the design principle for a salt filter system. The principle of adsorption was applied. The first step of the study was the selection of the salt types that yielded highest water removing capacity. The salt obtained from salty soil was found to have higher adsorption capacity than Australian salt and Sea salt. The second step was to find an adsorption isotherm. The adsorption isotherm obtained from the experiment was linear, which followed the Henry's law. The third step was to find a breakthrough curve and to calculate the operating parameters which are necessary for an upscale. From the breakthrough experiment, the calculated operating parameters showed that for an upscale with the operating time of 720 hours and the flow rate of 2700 liter per hour, twelve columns with the diameter of 1.2 m and the height of 5 m connected in series are required in

* นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

order to reduce the water content from 1500 ppm to 120 ppm.

Keywords : Salt Filter, Adsorption, Water-oil

1. บทนำ

การปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันเป็นปัญหาสำคัญ เพราะนำมาสู่การเกิดสนิม การกัดกร่อนและการอุดตันของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในเครื่องยนต์ จากข้อกำหนดคุณสมบัติน้ำมันดีเซล ปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันต้องอยู่ในระดับ 100 ppm [1] จากประสบการณ์การทำงานในโครงการสหกิจศึกษาของคณะวิจัยที่บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) พบว่า ปัจจุบันบริษัทบางจากปิโตรเลียมฯ ได้มีการติดตั้งหน่วยกำจัดน้ำในน้ำมันดีเซล ที่แตกต่างกัน 2 หน่วยกลั่นคือ หน่วยกำจัดน้ำในน้ำมันแบบ Prefilter/ Coalescer และหน่วยกำจัดน้ำในน้ำมันแบบ Salt Filter จากการดำเนินการผลิตพบว่า หน่วยกำจัดน้ำในน้ำมันแบบ Prefilter/Coalescer มีประสิทธิภาพสูง ใช้ออร์บ์น้ำมันที่มีปริมาณน้ำสูง แต่ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Operating Cost) สูงเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณน้ำมันที่ผ่านหน่วยนี้น้อยและไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยการหาเทคโนโลยีอื่นที่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอ และค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำลง จากการพิจารณาเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันดีเซล พบว่า Salt Filter มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำต่ำเช่นกัน [2] หากต้องตอบคำถามว่า Salt Filter สามารถใช้แทน Prefilter/Coalescer ได้หรือไม่ จะต้องคำนวณออกแบบขนาดของ Salt Filter ที่สามารถรองรับปริมาณน้ำในน้ำมันขาเข้าและกำจัดน้ำที่ระดับเดียวกับ Prefilter/ Coalescer แล้วพิจารณาความเป็นไปได้ในการจัดสร้างและค่าใช้จ่ายในการผลิต ดังนั้นหลักการออกแบบ Salt Filter จึงมีความสำคัญต่อการตอบคำถามนี้ อีกทั้งหากมีการติดตั้งโรงงานใหม่ หลักการออกแบบนี้จะช่วยในการจัดสร้าง Salt Filter สำหรับรองรับน้ำมันที่มีปริมาณน้ำในระดับใดก็ตาม

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การปนเปื้อนของน้ำในน้ำมัน

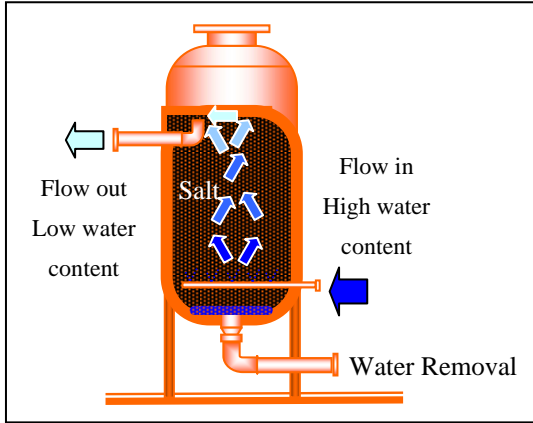
การปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันมี 2 รูปแบบคือ น้ำละลายในน้ำมัน (Dissolved) และ น้ำแขวนลอยในน้ำมัน

(Suspended) ในรูปของอิมัลชัน (Emulsion) โดยในแบบที่สอง อนุภาคของน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันมีขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง $0.1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเว้นแต่ถ้ามีการปนเปื้อนของน้ำในปริมาณมากๆ จะสังเกตเห็นได้จากความขุ่นของน้ำมัน [1] การปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันแบบ แขนวลอยยังสามารถแบ่งเป็นสองกรณีย่อยคือ แบบเสถียรและไม่เสถียร สัดส่วนน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันดีเซลส่วนใหญ่เป็นแบบแขวนลอยและเสถียร (Stably Suspended)

2.2 กระบวนการดูดซับและการละลายน้ำของเกลือ

การดูดซับเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลว หรือก๊าซผสมด้วยของแข็ง เมื่อพิจารณากระบวนการดูดซับที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง ของแข็งที่ดูดซับอะตอมหรือโมเลกุลของของเหลว ไว้ที่ผิวสัมผัสของมันถูกเรียกว่าสารดูดซับ ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าสารถูกดูดซับ ถ้าโมเลกุลของของเหลวที่ถูกดูดซับเอาไว้หลุดออกจากผิวของสารดูดซับกลับเข้าสู่ภูมิภาคของของเหลวอีก เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่าการคายกลับ การนำสารถูกดูดซับออกมาจากตัวดูดซับเพื่อให้สามารถนำเอาสารดูดซับมาใช้ใหม่ เรียกว่ากระบวนการ รีเจนเนอเรชัน (Regeneration) หรือการนำกลับมาใช้ใหม่ [3] การดูดซับแบ่งตามแรงกระทำระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับได้เป็นสองกรณี คือ การดูดซับทางกายภาพและทางเคมี การดูดซับทางกายภาพเป็นผลจากเหตุสามประการคือ ผลของการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Orientation Effect) ผลของการกระจายตัว (Dispersion Effect) และผลของการเหนี่ยวนำ (Induction Effect) ขณะที่การดูดซับทางเคมีเกิดจากแรงกระทำทางเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ กล่าวคือตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของตัวดูดซับโดยพันธะเคมี [4]

น้ำและเกลือเป็นสารที่โมเลกุลมีขั้ว เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้ถูกแบ่งไปอย่างเท่าๆ กันระหว่างอะตอมของโมเลกุล เป็นสาเหตุให้เหลือประจุบางส่วนบนอะตอมของโมเลกุล น้ำประกอบด้วยสองไฮโดรเจนอะตอม และหนึ่งออกซิเจนอะตอม โดยที่อิเล็กตรอนจะใช้เวลาอยู่รอบๆ ออกซิเจนอะตอมมากกว่าไฮโดรเจนอะตอม อะตอมของออกซิเจนจะมีประจุลบส่วนอะตอมของไฮโดรเจนจะมีประจุบวก เกลือประกอบด้วยโซเดียมและคลอไรด์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกันส่วนใหญ่ อิเล็กตรอนจะใช้เวลาเกือบทั้งหมด อยู่ที่ด้านของคลอไรด์



รูปที่ 1 Salt Filter

ทำให้คลอรีนมีประจุลบ และใช้เวลาน้อยมากที่ด้านของโซเดียมทำให้โซเดียมมีประจุบวก เมื่อใส่เกลือเข้าไปในน้ำประจุบวกของน้ำจะจับที่ประจุลบของเกลือ และประจุลบของน้ำจะจับที่ประจุบวกของเกลือ

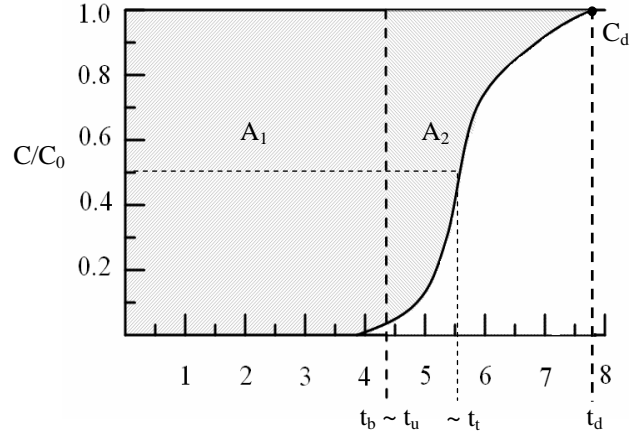
เมื่อเปรียบเทียบความคล้ายกัน ระหว่างปรากฏการณ์การดูดซับและการละลายน้ำของเกลือ จะเห็นได้ว่าสามารถเปรียบเกลือเป็นวัสดุดูดซับและน้ำเป็นองค์ประกอบในสารละลายที่ต้องการแยกออก แรงกระทำระหว่างเกลือกับน้ำเกิดจากความไม่สมดุลของการกระจายตัวของอิเล็กตรอนทำให้ปรากฏการณ์การจับกันระหว่างเกลือกับน้ำคล้ายกับการดูดซับทางกายภาพ ส่วนความแตกต่างที่ชัดเจนคือปรากฏการณ์การจับกันระหว่างเกลือกับน้ำ ไม่มีขั้นตอนการคายกลับและการนำกลับมาใช้ใหม่

2.3 การแยกน้ำออกจากน้ำมันด้วยวิธี Salt Filter

Salt filter (หรือ Salt drier) ในรูปที่ 1 เป็นถังทรงตั้งซึ่งใส่เม็ดเกลืออยู่ภายใน ใช้สำหรับกำจัดน้ำที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมัน โดยเกลือภายในถังจะดูดซับน้ำกลายเป็นน้ำเกลือตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปที่ก้นถัง เพื่อที่จะปล่อยสารละลายน้ำเกลือทิ้งไป อัตราการใช้เกลือประมาณ 20 ปอนด์ต่อ 1000 บาร์เรล (60 กรัม ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร) เมื่ออุณหภูมิดำเนินการเท่ากับ 38 °C [5]

2.4 หลักการออกแบบหอดูดซับ [6]

จากกฎทรงมวล และการพิจารณากราฟเบคทรูจ (Breakthrough curve) ในรูปที่ 2 จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทดลอง (เวลาและพื้นที่เหนือกราฟ) ดังสมการที่ (1) และ (2)



รูปที่ 2 กราฟเบคทรูจของกระบวนการดูดซับ

$$t_t = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) dt = A_1 + A_2 \quad (1)$$

$$t_u = \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) dt = A_1 \quad (2)$$

เนื่องจากความสูงของห่อแปรผันตรงกับเวลา

$$\left. \begin{array}{l} H_T at_t \\ H_B at_u \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{H_B}{H_T} = \frac{t_u}{t_t} \quad (3)$$

$$H_B = \frac{t_u}{t_t} H_T \quad (3)$$

$$H_{UNB} = H_T - H_B = \left(1 - \frac{t_u}{t_t}\right) H_T \quad (4)$$

$$H_T = H_B + H_{UNB} \quad (5)$$

$$\frac{t_{b1}}{t_{b2}} = \frac{H_{B1}}{H_{B2}} \quad (6)$$

การขยายขนาดห่อสามารถอาศัยสมการ (3)-(6) โดยยึดหลักอัตราเร็วมวลสารต่อพื้นที่หน้าตัด $[kg/m^2s]$ ในห่อทั้งสองขนาดต้องเท่ากัน H_{UNB} ขึ้นอยู่กับความเร็วของของไหลเท่านั้น ดังนั้น H_{UNB} จึงเท่ากันหมดทั้งที่ขนาดทดลองและที่ขนาดจริง กราฟเบคทรูจสามารถหาได้ที่ขนาดทดลองโดยวัดค่าความเข้มข้นของน้ำในน้ำมัน ที่ขาออกที่เวลาผ่านไปจนกระทั่งหอดูดซับอิ่มตัว คือมีค่า $C_d \sim C_0$ จากพื้นที่บนกราฟจะได้ A_1 และ A_2 เมื่อทราบค่า H_t ก็จะหา H_B ได้ และจะได้ค่าของ $H_{UNB} = H_t - H_B$ ซึ่งค่า H_{UNB} ที่ได้จากระดับทดลองจะเท่ากับค่า H_{UNB} ที่ขนาดจริง การขยายขนาดห่อมี 3 กรณี คือ

1. ถ้าต้องการให้ t_b มากขึ้น (คือดูดซับได้นานขึ้น ก่อนขั้นตอนการนำกลับมาใช้ใหม่) ให้คำนวณ H_b ของขนาดจริงตามสมการ (6)

2. ถ้าต้องการให้ขนาดจริงมีความสามารถในการรับอัตราการไหลของของไหลได้มากขึ้น ก็จะต้องออกแบบให้มีพื้นที่หน้าตัดท่อให้มากกว่าที่ขนาดทดลอง เพื่อจะได้มีค่าอัตราเร็วเท่ากันดังสมการ (7)

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \quad (7)$$

3. ถ้าต้องการให้ขนาดจริงรับอัตราการไหลมากขึ้น และสามารถดูดซับได้นานขึ้น ก่อนขั้นตอนการนำกลับมาใช้ใหม่ (t_{b2} มากขึ้น) ก็จะต้องคำนวณความยาวตามสมการ (6) และพื้นที่หน้าตัดท่อตามสมการ (7)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมัน

เตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมัน ที่ความเข้มข้น 1,500 ppm โดยการนำน้ำมันดีเซลมาปั่นด้วยเครื่องอิมัลซิไฟเตอร์ (Janke&Kunkel, Germany) ที่ความเร็วรอบ 3,000, 5,000, 6,000, 8,000 รอบ/นาที ตามลำดับอย่างละ 1 ตัวอย่าง ในระหว่างการปั่นน้ำมันใช้ไมโครปีเปิดค่อยๆ หยดน้ำลงไป ในน้ำมันดีเซล ให้ได้ความเข้มข้นน้ำ 1,500 ppm จากนั้นนำมาวัด % การส่องผ่านของแสงด้วยเครื่อง UV visible spectrometer (Unicam Analtech, USA) ด้วยความยาวคลื่น 304 nm และวัดความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidity meter (Jenway, United Kingdom) โดยใช้สารละลายมาตรฐาน 20 NTU จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงและความขุ่นที่ความเร็วรอบในการเตรียมน้ำมันค่าต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำกับเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง

เตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมันที่ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1,000 ppm นำแต่ละตัวอย่างมาวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงด้วยเครื่อง UV visible spectrometer ที่ความยาวคลื่น 284, 312, 266 nm และนำแต่ละตัวอย่างมาหาปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer (Metrohm, Switzerland) เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของน้ำกับเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง

3.3 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเกลือในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมัน

เกลือที่ใช้มีเกลือสินเธาว์ เกลือออสเตรเลีย เกลือทะเล โดยนำเกลือแต่ละชนิดมา 250 กรัม เตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมันปริมาตร 200 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้น 1,500 ppm ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 600 มิลลิลิตร ไปเขย่าในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกน้ำมันออกจากเกลือนำไปวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 284 และ 312 nm นำค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานแปลงเป็นความเข้มข้นน้ำในน้ำมัน

3.4 กราฟไอโซเทอมการดูดซับ

ทดสอบหากราฟไอโซเทอมการดูดซับโดยนำเกลือที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันที่ได้จากหัวข้อที่ 3.3 มา 250 กรัม และเตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมันที่ความเข้มข้น 500, 700, 1000, 1100, 1250, 1400, 1500 ppm ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 600 มิลลิลิตร ไปเขย่าในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกน้ำมันออกจากเกลือนำไปวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง

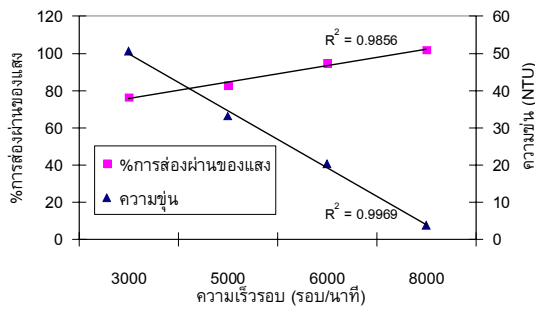
3.5 การทดสอบหากราฟเบเรครูจ์

หอทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.9 เซนติเมตร ความสูง 1.5 เมตร บรรจุเกลือเต็ม ป้อนสารแขวนลอยน้ำในน้ำมันความเข้มข้น 1500 ppm เข้าทางด้านล่างชุดทดลองด้วยอัตราการไหล 9.04 ลิตรต่อชั่วโมง พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาตั้งแต่น้ำมันเริ่มเข้าสู่ชุดทดลอง วัดปริมาณน้ำในน้ำมันขาออกจากชุดทดลองทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาออก เริ่มคงที่ จึงหยุดทำการทดลอง

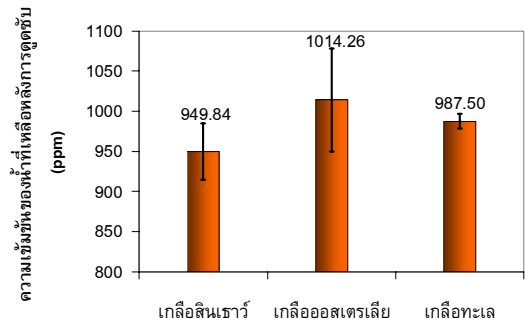
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงและความขุ่น

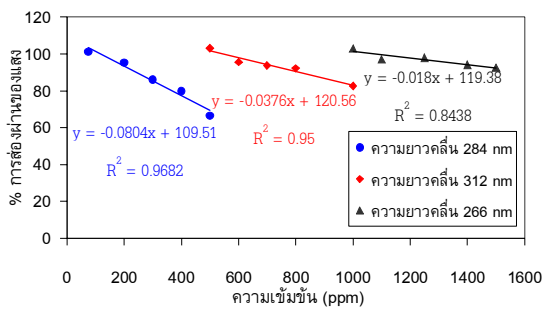
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงและความขุ่นที่ความเร็วรอบในการเตรียมน้ำมันค่าต่างๆ แสดงในรูปที่ 3 พบว่าความเร็วรอบในการเตรียมสารแขวนลอย น้ำในน้ำมันมีผลต่อความขุ่นของน้ำมัน และ



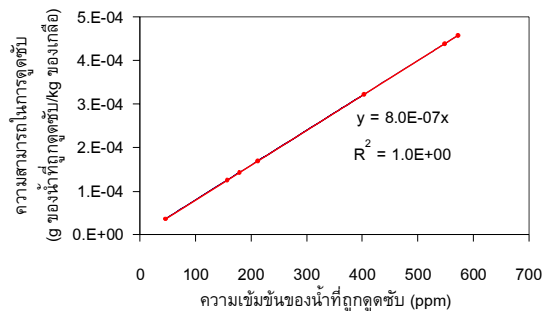
รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความขุ่น และเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำในน้ำมันดีเซลของเกล็ดชนิดต่างๆ



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับ % การส่องผ่านของแสง



รูปที่ 6 กราฟไอโซเทอมของการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันดีเซลด้วยเกล็ดสินเธาว์

เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงในลักษณะเชิงเส้น คือ ที่ความเร็วรอบในการปั่นมากขึ้นค่าความขุ่นจะน้อยลง และค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงมีค่ามากขึ้น

4.2 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของน้ำกับเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง

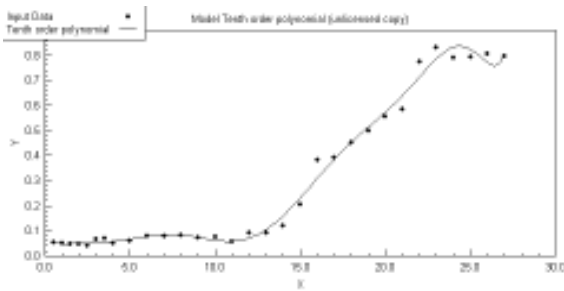
จากผลการทดลอง 4.1 พบว่าที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที น้ำมันที่เตรียมได้มีความขุ่นใกล้เคียงกับน้ำมันเข้าหน่วย Prefilter/Coalescer ของบริษัทบางจากปิโตรเลียมฯ จึงทำการเลือกค่าความเร็วรอบนี้ในการเตรียมตัวอย่างในการทดลองที่ 3.2 รูปที่ 4 พบว่าที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันดีเซล มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง จึงสามารถใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงทำนายความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันได้ โดยค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม สำหรับช่วงความเข้มข้นของน้ำไม่เกิน 500 ppm ความเข้มข้นของน้ำระหว่าง 500 - 1,000 ppm และความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 ppm คือ 284 312 และ 266 nm ตามลำดับ

4.3 ผลการทดสอบการดูดซับของเกล็ดชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเกล็ดสินเธาว์มีความสามารถในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันได้ดีกว่าเกล็ดออสเตรเลีย และเกล็ดทะเล จากผลการประเมินทางสถิติระหว่างกลุ่มข้อมูลจากการทดลองความสามารถในการดูดซับน้ำของเกล็ด 3 ชนิด ได้แก่ เกล็ดสินเธาว์ เกล็ดออสเตรเลีย และเกล็ดทะเล พบว่าค่า P มีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถสรุปได้ว่าเกล็ดสินเธาว์มีความสามารถในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันได้ดีกว่าเกล็ดออสเตรเลียและเกล็ดทะเล โดยที่ขนาดของเม็ดเกล็ดไม่มีผลกระทบต่อการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันดีเซลของเกล็ดแต่ละชนิด เนื่องจากเกล็ดแต่ละชนิดมีขนาดของเม็ดเกล็ดใกล้เคียงกัน

4.4 กราฟไอโซเทอมการดูดซับของเกล็ดสินเธาว์

รูปที่ 6 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยมีความชันเท่ากับ 8×10^{-7} ซึ่งเป็นไปตามกฎของเฮนรี่ $q = Kc$ โดยที่ $K = 8 \times 10^{-7}$ จากทฤษฎีการดูดซับ



รูปที่ 7 กราฟเบรคทอร์จ

พบว่าชนิดของไอโซเทอมที่เป็นเชิงเส้น (Linear Isotherm) ใช้อธิบายการดูดซับของระบบสารละลายที่มีความเจือจาง ซึ่งสอดคล้องกับสารตัวอย่างจากการทดลองที่มีความเจือจางในระดับหนึ่งในล้านส่วน (part per million, ppm)

4.5 กราฟเบรคทอร์จ

กราฟเบรคทอร์จที่ความสูงเกลือ 1.5 เมตร และอัตราการไหลของน้ำมันผ่านชุดทดลองเท่ากับ 2.80 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 7 โดยที่แกน x คือเวลา (ชั่วโมง) แกน y คือความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาออก/ความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาเข้าโมเดล Tenth Order polynomial ถูกใช้ในการ Fit Curve (DataFit Version 8.1.69, Oakdale Engineering, USA) เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นขาเข้า C_0 เท่ากับ 1,500 ppm ความเข้มข้น ขาออก C เท่ากับ 120 ppm และเวลาเบรคทอร์จคือเวลาที่ C/C_0 เท่ากับ 0.08 จากรูปที่ 7 ได้เวลาเบรคทอร์จ (t_b) เท่ากับ 12.4 ชั่วโมง และเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการ Operate (t_d) เท่ากับ 24.8 ชั่วโมง

4.6 การคำนวณขยายขนาดหอดูดซับ

จากสมการ (1) คำนวณได้ t_c เท่ากับ 13.07 ชั่วโมง และจากสมการ (2) t_u เท่ากับ 8.62 ชั่วโมงจากสมการ (4) แทนค่า t_c , t_u และ H_T เท่ากับ 1.5 เมตร ได้ H_{UNB} เท่ากับ 0.51 เมตร และ H_B จากสมการ (5) เท่ากับ 0.99 เมตร

การขยายขนาดหอกรณีที่ 1 คือปรับ Breaking Point Time, t_b มากขึ้น จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยที่ t_{b1} เท่ากับ 12.4 ชั่วโมงและ H_{B1} เท่ากับ 0.99 เมตร และกำหนดเวลาเบรคทอร์จของหอที่ขยายขนาด t_{b2} เท่ากับ 720 ชั่วโมง (1 เดือน) แทนค่าลงในสมการ (6) จะได้ความสูงของเบดที่ใช้ดูดซับของหอที่ขยายขนาด H_{B2} เท่ากับ 57.48 เมตร หลักการขยายขนาดต้องรักษาให้ H_{UNB} เท่ากัน ดังนั้นคำนวณ H_{T2} ได้ 58 เมตรหรือ จำนวน

Salt Filter 12 หอ สูงหอ 5 เมตร ต่อกันแบบอนุกรม

การขยายขนาดหอกรณีที่ 2 คือปรับพื้นที่หน้าตัดหอ เพื่อรองรับอัตราการไหลในการผลิตจริง จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองอัตราการไหล (Q_1) เท่ากับ 2.80 ลิตร/ชั่วโมง เส้นผ่านศูนย์กลางใน (D_1) 3.9 เซนติเมตร และอัตราการไหลของหอดูดซับที่ขยายขนาด (Q_2) 2,700 ลิตร/ชั่วโมง แทนค่าลงในสมการ (7) จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางในของหอดูดซับที่ขยายขนาด (D_2) 1.2 เมตร

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบ Salt Filter หรือพิจารณาเลือกใช้ Salt Filter ในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลได้ โดยที่เทคโนโลยี Salt Filter มีความสามารถในการแยกน้ำในน้ำมันที่เป็นแบบแขวนลอยและมีความเสถียรต่ำ (Unstable Water-in-oil Emulsion) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จากการเตรียมสารแขวนลอยน้ำในน้ำมัน โดยการปั่นด้วยเครื่องอิมัลซิไฟเออร์ แต่กรณีน้ำเจือปนในน้ำมันแบบเสถียร (Stable Water-in-oil Emulsion) ที่ได้จากกระบวนการจริง พบว่าไม่สามารถใช้เกลือในการดูดซับน้ำในน้ำมันที่เสถียรให้เหลือปริมาณน้ำในน้ำมันตามข้อกำหนด (<120 ppm) ได้ หากต้องการใช้ Salt Filter สำหรับกรณีที่น้ำเจือปนในน้ำมันแบบเสถียร ต้องให้น้ำมันผ่านขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชันก่อน ซึ่งปัจจุบันในกระบวนการผลิต ใช้เทคโนโลยี Clay Treater ซึ่งมีหน้าที่กำจัด Surfactant หรือตัวประสานอิมัลชัน [3] ก่อนป้อนเข้าสู่ Salt Filter ซึ่ง Surfactant เป็นตัวที่ทำให้น้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วจับกับน้ำมันซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ ซึ่ง Surfactant เหล่านี้อยู่กับน้ำมันดิบตามธรรมชาติ ทำให้การแยกน้ำกับน้ำมันทำได้ยาก

5. สรุป

การศึกษานี้ได้ทำการทดลองหากราฟเบรคทอร์จ และคำนวณหาความยาวช่วงการดูดซับ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาความยาวช่วงการดูดซับขนาดเล็ก ให้เป็นหอดูดซับขนาดใหญ่ สำหรับกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ โดยถ้ากำหนดระยะเวลาการดำเนินงาน 720 ชั่วโมง (1 เดือน) และอัตราการไหลปกติ 2,700 ลิตร/ชั่วโมง สามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 1.2 เมตร และความสูงของหอดูดซับขนาดใหญ่ได้ 5 เมตร จำนวน 12 หอ โดยต่อกันแบบอนุกรม หอดูดซับนี้สามารถกำจัดน้ำออกจากน้ำมันจาก 1,500 ppm ลดลงเหลือ 120 ppm ถ้าต้องการนำไปกำจัดน้ำในน้ำมันที่ความเข้มข้นของน้ำขาเข้าและขาออกค่าอื่น ต้องทำการทดลองหากราฟ

เบรคทอร์จใหม่ โดยกำหนดปริมาณน้ำในน้ำมันขาเข้า และ
ขาออกของกระบวนการผลิตจริง ให้เท่ากับความเข้มข้น
ที่ใช้ในระดับทดลอง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทบางจากปิโตรเลียม
จำกัดมหาชนที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำงานวิจัยและให้
ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันดีเซล บริษัททอจิกเกอร์เกลือ
ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเกลือ และคณาจารย์ภาควิชา
วิศวกรรมเคมีที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยและ
ทุนอุดหนุนโครงการวิจัย ผ่านโครงการสหกิจศึกษาคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

สัญลักษณ์และหน่วย

H_B	คือ ความสูงของหอดูดซับที่อิ่มตัวแล้ว
H_{UNB}	คือ ความสูงของหอดูดซับที่ยังไม่อิ่มตัวหรือ ความสูงช่วงการถ่ายเทมวล
H_T	คือ ความสูงเบตหอดูดซับ
t_b	คือ เวลาเบรคทอร์จ
t_d	คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการปฏิบัติการ
t_t	คือ เวลาเทียบเท่าเวลาทั้งหมด
t_u	คือ เวลาเทียบเท่ากับเบตส่วนที่ใช้
C	คือ ความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาเข้า
C_o	คือ ความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาออก
C_d	คือ ความเข้มข้นของน้ำในน้ำมันขาออก ขณะที่ เบตอิ่มตัว
Q	คือ อัตราการไหล
A	คือ พื้นที่หน้าตัดหอดูดซับ

สัญลักษณ์กำกับล่าง

B	คือ เบต
UNB	คือ ช่วงเบตที่ยังไม่อิ่มตัว
T	คือ ผลรวม
b	คือ เบรคทอร์จ

d	คือ เบตอิ่มตัว
t	คือ เทียบเท่าทั้งหมด
u	คือ เทียบเท่าเบตส่วนที่ใช้
o	คือ ขาออก
1	คือ ที่ขนาดทดลอง
2	คือ ที่ขนาดจริง

เอกสารอ้างอิง

1. Brown, R.L. Jr. and T. H. Wines T. H. "Improve
Suspended Water Removal from Fuels: A better
understanding of molecular forces enhances
free water separator selection." (Reprinted from
Hydrocarbon Processing) Available from : [http://
www.pall.com/Aerospace_3255.asp](http://www.pall.com/Aerospace_3255.asp), 1994.
2. Gardner A. "Refining Details: Advances in Liquid
/Liquid Coalescing Technology." Available from:
http://www.pall.com/articles_chemical_5214.asp,
1997.
3. อธิชัย นพแก้ว. "การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ
ผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก." *วิท
ยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย*, 2539.
4. ลิขมี เรืองศรี. "การดูดซับไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว
เหลวโดยตัวดูดซับเรซินและเปลี่ยนไอออน." *วิท
ยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี*, 2546.
5. Online Library. "Fuel distribution system." Last
accessed October 24, 2006. [http://www.chevron.
com/products/prodserv/fuels/bulletin/
aviationfuel/A_af_distribution_handling.shtm](http://www.chevron.com/products/prodserv/fuels/bulletin/aviationfuel/A_af_distribution_handling.shtm).
6. Genankoplis, C. J. *Transport Process and
Separation Process Principles*. 4th ed, N.J.:
Prentice-Hall, Inc., 1958.