



รายงานโครงการวิจัย

การเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ราชบุรีสำหรับการฟอกจางสี
น้ำมันไพโรไลซิส

*Preparation of activated clay from Ratchaburi Bentonite
for Pyrolysis oil decolorization*

โดย

นายอริณชัย อุดมวิทยานุกูล รหัสนิสิต 5832983323

นางสาวปณยตา สุขไย รหัสนิสิต 5832938123

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

โครงการการเรียนรู้และการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

CHEMICAL TECHNOLOGY

การเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ราชบุรีสำหรับการพอกจางสีน้ำมันไพโรไลซิส

นายอริญชัย อุดมวิทยานุกูล

นางสาวปิ่นยตา สุขไย

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Preparation of activated clay from Ratchaburi Bentonite for Pyrolysis oil
decolorization

Mr.Arinchai Udomvitayanugul

Miss.Panyata Sukyai

A Senior Project in Partial Fulfillment of the Requirements for
The Degree of Bachelor of Science Program in Chemical Technology Department
Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

ชื่อโครงการ การเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ราชบุรีสำหรับการพอกจางสีน้ำมัน
ไพโรไลซิส

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ นายอริญชัย อุดมวิทยานุกูล
นางสาวปณยตา สุขไย

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

น้ำมันไพโรไลซิสเป็นน้ำมันที่ผลิตจากชีวมวล และพลาสติก ซึ่งน้ำมันที่ผลิตได้จะมีสีเข้มหรือสีดำ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจึงต้องทำการพอกสีเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน และเม็ดสีต่าง ๆ โดยจะใช้ดินกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมดินกัมมันต์จากดินเบนโทไนท์สำหรับการใช้พอกสีน้ำมันไพโรไลซิส โดยทำการนำเบนโทไนท์จากจังหวัดราชบุรีมาทำปฏิกิริยากระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริก และศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระตุ้นดินกัมมันต์ เช่น อัตราส่วนโดยมวลของดินเบนโทไนท์ต่อกรด (1:1, 1:5 และ 1:10) และเวลาในการกระตุ้น (0.5, 1 และ 2 ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำดินกัมมันต์ที่ได้ไปพอกสีน้ำมันไพโรไลซิสแล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินกัมมันต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET) พบว่าสภาวะที่กระตุ้นเบนโทไนท์ที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนโดยมวล 1:1 เวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าพื้นที่ผิว 140 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อนำดินกัมมันต์ดังกล่าวไปทดลองพอกสีน้ำมันไพโรไลซิส พบว่าน้ำมันที่พอกได้มีสีใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

คำสำคัญ : เบนโทไนท์, ดินกัมมันต์, การพอกสีน้ำมัน, น้ำมันไพโรไลซิส, การกระตุ้นด้วยกรด

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อนิสิต..... ปณยตา สุขไย
ลายมือชื่อนิสิต..... อริญชัย
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

Title Preparation of activated clay from Ratchaburi Bentonite for Pyrolysis oil decolorization

Student name Mr. Arinchai Udomvitayanugul

Miss. Panyata Sukyai

Advisor Prof. Dr. Tharapong Vitidsant

**Department of Chemical Technology, Faculty of science, Chulalongkorn University,
Academic year 2018**

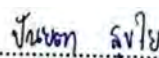
ABSTRACT

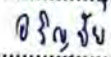
Pyrolysis oil is produced from biomass and plastic waste which the produced oil will have a dark color, so the oil must be decolorized before using. Decolorization process will be used to remove contaminants and pigment in the oil by using activated clay as an adsorbent. This research studies the preparation method of activated clay from Ratchaburi bentonite by activating raw bentonite with Hydrochloric acid by varying the following parameter: weight ratio of bentonite per Hydrochloric acid (1:1, 1:5 and 1:10) and activation time (0.5, 1 and 2 hours) at temperature 100 °C. After that, use activated clay to decolorize the Pyrolysis oil and compare the result with standard diesel oil. Raw bentonite and activated clay were analyzed various properties such as XRF and BET. The results show that the best condition to activated bentonite was weight ratio 1:1 and activation time 1 hour which gives the value of surface area 140 m²/g. The Pyrolysis oil decolorization result of the best activated clay found that the color of oil is similar to the standard diesel oil.

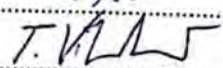
Keywords : Bentonite, Activated clay, Oil decolorization, Pyrolysis oil, Acid activation

Department of Chemical Technology

Major : Chemical Engineering

Student's signature..... 

Student's signature..... 

Advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ประจำปี การศึกษา 2561 ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการดำเนินโครงการ การเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ราชบุรีสำหรับการพอกจางสีน้ำมันไพโรไลซิส นิสิตผู้ดำเนินโครงการได้รับความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ, คณาจารย์ทุกท่าน และ ผู้ให้คำปรึกษาทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี โครงการนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากโครงการการเรียนการสอน เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปี การศึกษา 2561

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 วิธีการดำเนินงาน	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ดินเบนโทไนท์ (Bentonite Clay)	3
2.1.1 การเกิดเบนโทไนท์	3
2.1.2 คุณสมบัติของเบนโทไนท์	3
2.1.3 ชนิดของดินเบนโทไนท์	5
2.1.4 มาตรฐานเบนโทไนท์ในเชิงพาณิชย์	6
2.1.5 การใช้ประโยชน์ของเบนโทไนท์	6
2.2 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)	7
2.2.1 สมบัติที่สำคัญของแร่ดินเหนียว	7
2.2.2 ชนิดของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ	10
2.2.3 ที่มาของประจุลบในแร่ดินเหนียว	11

2.2.4 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน	12
2.2.5 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน	12
2.3 น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis oil)	13
2.3.1 พลาสติก และขยะพลาสติก	13
2.3.2 คุณสมบัติของขยะพลาสติก	14
2.3.3 เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Technology)	14
2.3.4 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส	14
2.4 น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel)	15
2.4.1 น้ำมันเบนซิน (Gasoline)	15
2.4.2 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)	16
2.5 การดูดซับ (Adsorption)	17
2.5.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ	17
2.5.2 ประเภทของการดูดซับ	17
2.5.3 หลักการของกระบวนการดูดซับ	18
2.6 การปรับปรุงคุณภาพของดินเบนโทไนท์	21
2.6.1 การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารอินทรีย์ (Organic treated bentonite)	21
2.6.2 การปรับปรุงคุณภาพด้วยกรด (Acid activation)	21
2.6.3 การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายเกลือโซเดียม (Sodium salts activation)	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	26
3.2 วัสดุดิบ	26
3.3 สารเคมี	27
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
3.4.1 การเตรียมดินเบนโทไนท์	27

3.4.2 การกระตุ้นดินเบนโทไนท์	27
3.4.3 การพอกสีน้ำมันไพโรไลซิส	27
4. ผลการทดลอง	28
4.1 การวิเคราะห์ดินเบนโทไนท์ดิบ	28
4.2 การทดสอบพอกจางสีน้ำมันด้วยดินกัมมันต์	30
4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของดินกัมมันต์	31
4.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของดินกัมมันต์	31
4.5 สีของดินกัมมันต์	33
4.6 ผลของการพอกสีน้ำมันเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน	34
5. สรุปผลการทดลอง	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย (มอก. 1065-2534) ของเบนโทไนท์	6
ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ	11
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินเบนโทไนท์ดิบก่อนทำการกระตุ้น	28
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น, ค่าความเป็นกรด และพื้นที่ผิว ของตัวอย่างดินเบนโทไนท์ ที่ผ่านขั้นตอนการล้าง, บด และนำมาผ่านตะแกรง 200 เมช	29
ตารางที่ 5 ผลการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิสของเบนโทไนท์ดิบ และดินกัมมันต์ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบในแบบต่าง ๆ	29
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ	31
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว และรูพรุนของดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ	32

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของดินเบนโทไนท์	4
รูปที่ 2 แสดงการขยายตัว และหดตัวของแร่ดินเหนียวเมื่อได้รับน้ำ	8
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการดูดซับแคตไอออนของแร่ดินเหนียว	9
รูปที่ 4 แสดงองค์ประกอบของแร่ดินเหนียว	9
รูปที่ 5 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนบวกของดิน	12
รูปที่ 6 ขนาดไอออนที่ถูกดูดซับด้วยน้ำ (hydrate ionic size)	12
รูปที่ 7 รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ในการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส	15
รูปที่ 8 แสดงการดูดซับที่ผิวของเบนโทไนท์ซึ่งมีรูพรุนมาก	17
รูปที่ 9 แสดงการเกิดบริเวณถ่ายโอนมวลสาร	20
รูปที่ 10 แสดงสมการปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับดินเบนโทไนท์	22
รูปที่ 11 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเบนโทไนท์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด	22
รูปที่ 12 น้ำมันไพโรไลซิส และน้ำมันไพโรไลซิสที่พอกสีด้วยดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ	30
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวกับเวลาในการกระตุ้นของสภาวะอัตราส่วนมวล 1:1	33
รูปที่ 14 ดินกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นในสภาวะต่าง ๆ	34
รูปที่ 15 ผลการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิสด้วยดินกัมมันต์สภาวะที่ดีที่สุดเทียบกับน้ำมันดีเซล	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกมีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น และมีมาตรฐานความเป็นอยู่ที่สูงขึ้น โดยพลังงานของประเทศไทยที่สำคัญส่วนใหญ่มาจากแหล่งพลังงานฟอสซิลได้แก่ ปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ และ ถ่านหิน ซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งเห็นได้ว่าแหล่งพลังงานฟอสซิลนั้นลดน้อยลงเรื่อย ๆ และคาดว่าจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ในอนาคต ดังนั้นทั่วโลกจึงมีการแสวงหาเทคโนโลยีมากมายที่จะสร้างพลังงานทางเลือกเพื่อนำมาใช้แทนพลังงานฟอสซิล หนึ่งในนั้นก็คือเทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติก ยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว หรือแม้แต่ชีวมวลต่าง ๆ ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยการให้ความร้อนกับวัตถุดิบในสภาวะอับอากาศ น้ำมันที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันดีเซล แต่จะมีค่าความหนืดที่สูงกว่า, มีสายโซ่ที่สั้นกว่า และมีออกซิเจนสูงกว่า ทำให้ค่าความร้อนต่ำ และมีสีที่เข้ม หรือสีดำ โดยน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสยังคงมีคุณภาพต่ำไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นก่อนการนำไปใช้งานจึงต้องนำน้ำมันที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมก่อน

การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสนั้นสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือการฟอกสีด้วยดินเบนโทไนท์ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย โดยการนำน้ำมันไพโรไลซิส และเบนโทไนท์ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วนำไปปั่นกวนด้วยอุณหภูมิต่ำ และเวลาที่เหมาะสมจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำมัน น้ำมันที่ได้จะมีสีที่ใสมากขึ้น และสิ่งปนเปื้อนที่น้อยลง

เบนโทไนท์นั้นเป็นดินเถ้าภูเขาไฟประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ มากมาย ซึ่งมีพื้นที่ผิว และรูพรุนมากทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี แต่ดินเบนโทไนท์สภาพดิบที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการใด ๆ มาก่อนมีความสามารถในการนำมาดูดซับที่ไม่สูงนัก ในการใช้งานเชิงอุตสาหกรรมจึงต้องนำดินเบนโทไนท์มาทำการกระตุ้น (Activated) ก่อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วยการทำปฏิกิริยากับกรด หรือเบสเข้มข้น ซึ่งจะเรียกเบนโทไนท์หลังผ่านการกระตุ้นว่า ดินกัมมันต์ (Activated clay)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาวิธีการเตรียมดินกัมมันต์จากดินเบนโทไนท์จังหวัดราชบุรี
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นเบนโทไนท์เพื่อใช้สำหรับการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส
3. ศึกษาผลของการฟอกสีน้ำมันของดินกัมมันต์ที่กระตุ้นจากเบนโทไนท์สภาวะที่ดีที่สุดเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

1.3 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้งาน เตรียมเครื่องปฏิกิริยา และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย
3. เตรียมสารตั้งต้น และสารเคมี
4. ออกแบบการทดลองพร้อมทั้งกำหนดตัวแปรที่ต้องการศึกษา
5. ดำเนินการทดลอง และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
6. สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์และบทความทางวิชาการ

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ

ศึกษาวิธีการ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์จังหวัดราชบุรีเพื่อใช้ในการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยการทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อใช้ในการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินเบนโทไนท์ (Bentonite Clay)

เบนโทไนท์เป็นดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอัคนีจากพวกหินทัฟฟ์ หรือเถ้าภูเขาไฟ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มแร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) มีแร่มอนต์มอริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบรองคือ ซิลิคอน, อลูมินา, เหล็ก, แคลเซียม, ควอร์ต, แมกนีเซียม ฯลฯ มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นโครงสร้างของทรงแปดหน้า (octahedral sheet) 2 แผ่นประกบกับแผ่นของโครงสร้างทรงสี่หน้า (tetrahedral sheets) 1 แผ่น ซึ่งประจุลบในโครงสร้างนั้นอยู่อย่างสมดุลเพราะมีประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุกันได้ เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), โซเดียม (Na^+) และ โพแทสเซียม (K^+) ในประเทศไทยสามารถพบแร่เบนโทไนท์ได้ที่จังหวัดราชบุรี, ลพบุรี, ลำปาง, เชียงใหม่, ตาก, เพชรบูรณ์ และขอนแก่น

2.1.1 การเกิดเบนโทไนท์

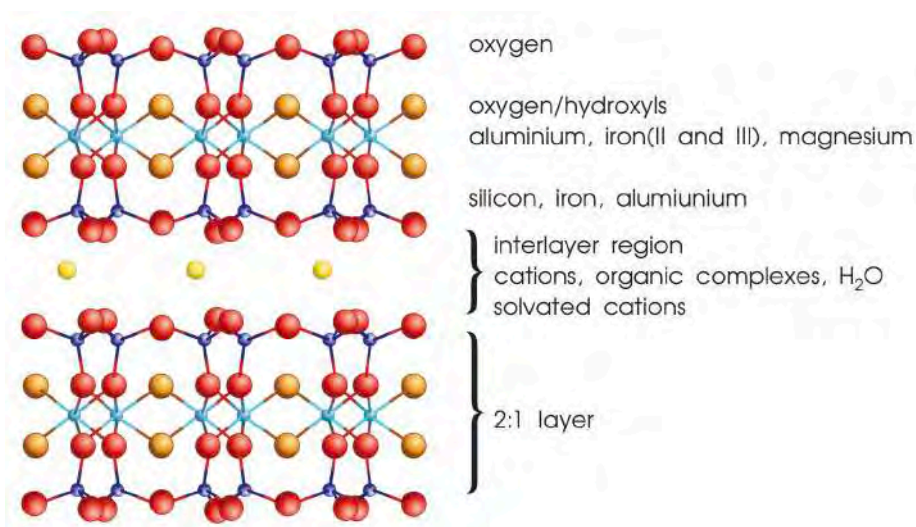
ในทางทรัพยากรธรณี แร่เบนโทไนท์เป็นแร่กลุ่มมอนต์มอริลโลไนท์ซึ่งจะมีสัดส่วนปริมาณธาตุองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพ และเคมีแตกต่างกัน ซึ่งประจุบวกภายในโครงสร้างมักขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ, สภาวะแวดล้อมในช่วงที่ก่อตัว และลักษณะการก่อตัวของแร่ โดยที่การเกิดเบนโทไนท์ถูกแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของเถ้าภูเขาไฟ หรือหินทัฟฟ์แบบอยู่กับที่
2. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอัคนีโดยน้ำร้อน
3. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลหินอัคนีในทันทีทันใดโดยแก๊ส และไอน้ำร้อนที่มีอยู่ภายในมวลหินอัคนีนั้น ๆ
4. การกำเนิดแบบอื่น ๆ ที่ไม่สามารถระบุการกำเนิดได้แน่ชัด

2.1.2 คุณสมบัติของเบนโทไนท์

โครงสร้างทางกายภาพของแร่มอนต์มอริลโลไนท์ซึ่งเป็นแร่ธาตุหลักในเบนโทไนท์ เป็นกลุ่มของเกล็ดหรือผลึก ที่มีระนาบฐานกว้างแตกต่างกันอยู่ในช่วงความยาวที่ 0.2-2.0 ไมครอน และความหนาที่ 6-10 ไมครอน ซึ่งลักษณะ และคุณสมบัติของเบนโทไนท์ในความเป็นจริงนั้นมีความซับซ้อน และยังค่อนข้างมีความเฉพาะตัวแตกต่างกันไปตามแหล่งแร่ คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของเบนโทไนท์คือการมีขนาดของอนุภาคที่ละเอียดมาก และการมีประจุบวกที่ทำการแลกเปลี่ยนประจุได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้สามารถนำไป

ประยุกต์ใช้ได้ดีในการดูดซึม และการเคลื่อนตัว นอกจากนั้นคุณสมบัติเหล่านี้ยังก่อให้เกิดการนำไปใช้ใน รูปแบบต่าง ๆ ได้มากมาย



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของดินเบนโทไนท์^[1]

2.1.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

รูปผลึกโมโนคลินิกปกติลักษณะเนื้อเหมือนดิน, ฝุ่น หรือเป็นเม็ดเล็ก ๆ ละเอียดคล้ายดิน มีสีขาวเทา ออกเหลือง มีความวาวแบบดิน มีความแข็ง 1-2 ซึ่งจัดว่ามีความอ่อนมาก มีน้ำหนักเบา มีความทึบแสงเพราะมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก

2.1.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนโทไนท์ อาจแตกต่างกันทั้งจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน และจากต่างแหล่งกำเนิดกัน ขึ้นอยู่กับระดับของการแทนที่ทางเคมี และจากชนิดของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ แต่โดยทั่วไปแล้ว เบนโทไนท์จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีความสามารถในการแทนที่ของอะตอมประจุบวกด้วยธาตุที่มีวาเลนซ์ต่ำกว่า เช่น Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} และ H^+ ใน Si^{4+} และ Al^{3+} รวมทั้งมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าบวก มีความสามารถในการดึงคือน้ำเข้ามาเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโมเลกุลทำให้น้ำคงอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน มีความหนืด และ เกิดการพองตัวกลายเป็นเจล (Swell ability)
2. มีคุณสมบัติด้านการซึมผ่าน การเคลือบผิว อุดช่องว่างในชั้นหิน ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้
3. มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานใช้ในการทำแบบหล่อทราย, ทำแร่เหล็กอัดเม็ดเพื่อนำไปใช้ในการถลุง และใช้ทำอาหารสัตว์อัดเม็ด
4. มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี ทำให้สามารถดึงอนุมูลของประจุต่าง ๆ ได้
5. มีคุณสมบัติในการยึดเกาะ (Blender) จึงเป็นตัวเคลือบปุ๋ยที่ดี

2.1.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

อ้างอิงข้อมูลตามเอกสาร Environmental Health Criteria 231, BENTONITE, KAOLIN, AND SELECTED CLAY MINERAL โดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2005) ได้สรุปผลกระทบต่อสุขภาพจำแนกตามแต่ละวิธีการได้รับสารประกอบด้วย

การหายใจ : ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานว่าเบนโทไนท์เป็นสาเหตุให้เกิดโรคปอดจากการประกอบอาชีพ ทั้งนี้ด้วยสาเหตุเพราะลักษณะของโครงสร้างของเบนโทไนท์ไม่ได้เป็นเส้นใย (Fibrogenicity)

การสัมผัส : แม้ไม่มีการศึกษาอย่างเจาะจง แต่ผลของการใช้เบนโทไนท์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางที่ผ่านมายังไม่พบอันตรายต่อผิวหนัง

การกลืนกิน : แม้จะไม่มีการศึกษาผลกระทบต่อมนุษย์ในระยะยาว แต่ผลจากทางห้องปฏิบัติการ และในสัตว์ทดลองไม่พบว่าเป็นสารก่อมะเร็ง หรือส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

2.1.2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลการทดลองกับสิ่งมีชีวิตในน้ำหลายชนิด พบว่าเบนโทไนท์มีความเป็นพิษต่ำ อย่างไรก็ตามหากเกิดการรั่วไหลเป็นปริมาณมาก เช่น จากเหมืองผลิต ย่อมส่งผลให้เกิดการรบกวนทางกายภาพ และนำไปสู่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม

2.1.3 ชนิดของดินเบนโทไนท์

แร่ดินเบนโทไนท์มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของแร่มอนต์มอริลโลไนท์ เบนโทไนท์ที่นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ณ ปัจจุบันมี 2 ชนิด ได้แก่

2.1.3.1 โซเดียมเบนโทไนท์ (Na-bentonite)

เบนโทไนท์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เพื่องานอุตสาหกรรม มีความสามารถในการขยายตัว หรือพองตัวเมื่อเปียกน้ำ มีความสามารถในการดูดซับที่ดีขึ้นหลายเท่าเมื่อแห้ง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางการแขวนลอย (Colloidal) ที่ดี เบนโทไนท์ชนิดนี้นิยมใช้เป็นโคลนสำหรับขุดเจาะน้ำมัน (Drilling Mud) สำหรับงานสำรวจเจาะน้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ ตลอดจนงานเจาะสำรวจด้านธรณีวิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังนำเบนโทไนท์ชนิดนี้ไปใช้ในการอุดเชื่อม (Sealant)

2.1.3.2 แคลเซียมเบนโทไนท์ (Ca-bentonite)

เบนโทไนท์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เพื่องานเกษตรกรรม มีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมากกว่าเบนโทไนท์อีกชนิด เบนโทไนท์ชนิดนี้จะไม่บวมน้ำและมีความสามารถในการดูดซับไอออนในสารละลายที่ดีกว่า นอกจากนี้แคลเซียมเบนโทไนท์ยังสามารถปรับเปลี่ยนให้กลายเป็นโซเดียมเบนโทไนท์ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Process)

2.1.4 มาตรฐานเบนโทไนท์ในเชิงพาณิชย์

สำนักพัฒนา และส่งเสริมสำนักวิชาการแร่ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่ได้จัดทำเอกสารวิชาการเรื่อง คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งาน และมาตรฐานการซื้อขายแร่ในตลาดแร่ (กันยายน 2550) โดยรวบรวมมาตรฐาน และข้อกำหนดของเบนโทไนท์เชิงพาณิชย์ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมประเทศไทย (มอก. 1065-2534) ของเบนโทไนท์^[1]

ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	สมบัติทางแฉวนลอย	30*
	1.1 ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความหนืด ที่อัตราเร็ว 600 รอบต่อนาที ไม่น้อยกว่า	
	1.2 ความหนืดพลาสติกเซนติพอยส์ไม่น้อยกว่า	10
	1.3 ยีลด์พอยต์ (yield point) พาสคัล ไม่เกิน	0.48 x 3 เท่า ของค่าตัวเลขที่หาได้ตามข้อ 1.2
	ปอนด์ต่อ 100 ตารางฟุต ไม่เกิน	3 เท่าของตัวเลขที่หาได้ตามข้อ 1.2
1.4 ส่วนที่กรองได้ (30 นาที สัมพันธ์) ลูกบาศก์ เซนติเมตร ไม่เกิน	15	
2	ปริมาณที่ค้ำบนแรง 75 ไมโครเมตร (ร่องเปียก) ร้อยละไม่เกิน	4.0
3	ความชื้น** ร้อยละไม่เกิน	12

หมายเหตุ :

1. ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องวัดความหนืดเมื่อคูณด้วย 0.51216 จะมีหน่วยเป็นพาสคัลและเมื่อคูณด้วย 1.067 จะมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อ 100 ตารางฟุต
2. * ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องวัดความหนืดที่อัตราเร็ว 600 รอบต่อนาที ซึ่งเมื่อหารด้วย 2 จะเป็นค่าความหนืดหน่วยเซนติพอยส์
3. ** เป็นค่าความชื้นของตัวอย่างขณะส่งออกจากโรงงาน

2.1.5 การใช้ประโยชน์ของเบนโทไนท์

เนื่องจากเบนโทไนท์มีหลายชนิด และมีคุณสมบัติมากมายจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้มากมาย เช่น

1. การทำโคลนขุดเจาะ ในการขุดเจาะบ่อบาดาล หรือบ่อน้ำมัน
2. ใช้ฟอกจางสีน้ำมัน และอุตสาหกรรมฟอกจางสี

3. ใช้ผสมอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มแร่ธาตุเสริม
4. ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง
5. ใช้ในการขจัดคราบไขมันในท่อบำบัดน้ำเสีย
6. ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก
7. ผสมดิน หรือคอนกรีตในการก่อสร้างเขื่อนหรือคลอง เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึม
8. ใช้ปรับความเหนียวสำหรับอุตสาหกรรมสี และหมึกพิมพ์
9. ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อเหล็ก
10. ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสีย และรักษาคุณภาพน้ำ โดยการขจัดแก๊สพิษ โลหะหนัก และกลิ่นไม่พึงประสงค์
11. ช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน ปรับสภาพดิน ทำให้ดินดีมีความอุดมสมบูรณ์
12. ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ โดยผสมกับมูลสัตว์เพื่อลดกลิ่น และลดปริมาณเชื้อโรค
13. ใช้ในการดูดซับสารพิษในบ่อเลี้ยงกุ้ง และบ่อเลี้ยงปลา

2.2 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)

แร่ดินเหนียว (Clay minerals) คือ กลุ่มแร่อะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate minerals) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (silica sheet) และแผ่นอะลูมินา (alumina sheet) ซ้อนกัน โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน

2.2.1 สมบัติที่สำคัญของแร่ดินเหนียว

2.2.1.1 รูปร่าง และขนาด

รูปร่างโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ (flake-like) ซ้อนกัน บางครั้งจะเห็นผลึกชัดเจน เช่น เป็นแผ่นหกเหลี่ยม (hexagonal) ส่วนขนาดจะขึ้นอยู่กับชนิด, ลักษณะองค์ประกอบทางแร่ และสภาพที่เกิดแร่ขึ้น ซึ่งปกติจะมีขนาด 0.01-5.0 ไมครอน

2.2.1.2 พื้นที่ผิว (surface area)

จากรูปร่างที่เป็นแผ่นบาง ทำให้แร่ดินเหนียวมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface) สูงมาก พื้นที่ผิวประกอบด้วย

1. พื้นผิวภายนอก (external surface) เป็นพื้นผิวภายนอกของแร่ดินเหนียว
2. พื้นผิวภายใน (internal surface) เป็นพื้นที่ผิวที่อยู่ในซอกระหว่างแผ่นผลึกของแร่ดินเหนียวที่ซ้อนทับกันเป็นอนุภาค (micelle) ของแร่

2.2.1.3 ความเชื่อมแน่น (cohesion) และสภาพพลาสติก (plasticity)

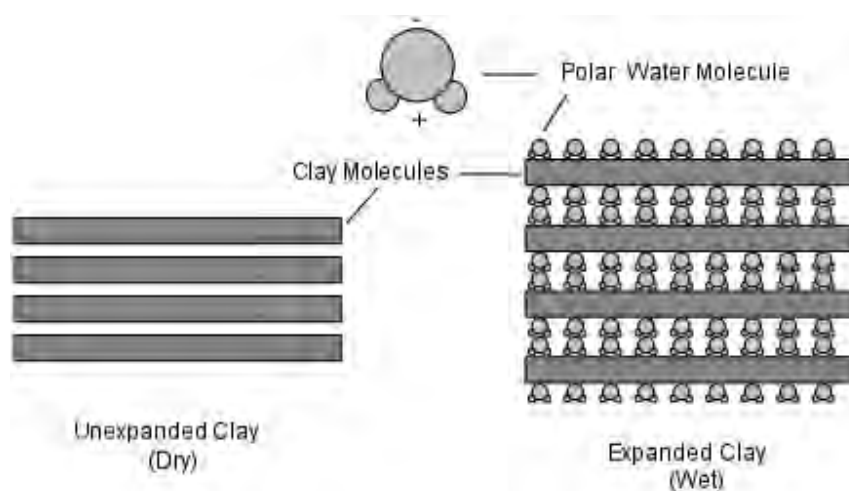
- ความเชื่อมแน่น คือ ความสามารถในการเกาะยึดกันได้ระหว่างอนุภาคของแร่ดินเหนียว ซึ่งขึ้นกับพื้นที่ผิวภายนอกของแร่

- สภาพพลาสติก คือ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้ของแร่ดินเหนียวเมื่อขึ้น ซึ่งขึ้นกับความเชื่อมแน่น และพื้นที่ผิวภายนอกของแร่

2.2.1.4 การขยายตัว (swelling) และการหดตัว (shrinking)

- การขยายตัว เกิดขึ้นในแร่ดินเหนียวบางชนิด โดยเมื่อขึ้นโมเลกุลน้ำสามารถแทรกเข้าไปในช่องระหว่างแผ่นผลึก แล้วเกาะยึดอยู่กับพื้นที่ผิวภายในของแร่ดินเหนียวมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ดินเกิดการพองตัวขึ้น

- การหดตัว เกิดขึ้นเมื่อแร่ที่เกิดการพองตัวสูญเสียน้ำที่อยู่ภายในช่องระหว่างแผ่นผลึกจากการระเหย ทำให้หุบยุบตัว ดินเกิดการหดตัว

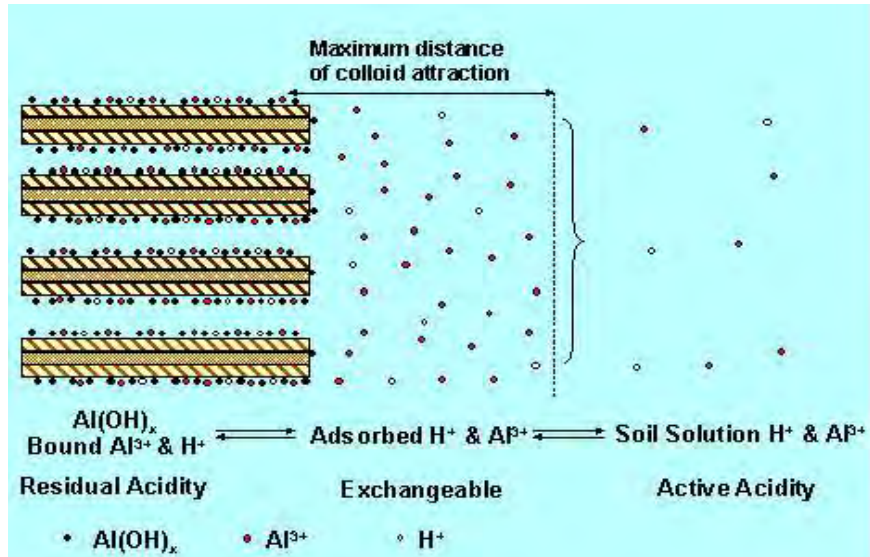


รูปที่ 2 แสดงการขยายตัว และหดตัวของแร่ดินเหนียวเมื่อได้รับน้ำ^[2]

2.2.1.5 ประจุลบ (electronegative charge) และการดูดซับแคตไอออน (adsorption of cation)

- ประจุลบ โดยทั่วไปเกิดจากการแทนที่ของไอออนบวกที่ขนาดเท่ากันแต่มีประจุบวกลดกว่าในแผ่นอะลูมินาโดยโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้แร่ดินเหนียวมีลักษณะคล้ายแอนไอออน (anion)

- การดูดซับแคตไอออน เกิดขึ้นบริเวณผิวของแร่ดินเหนียวซึ่งดูดซับกันอย่างหลวม ๆ หรือเรียกว่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) แคตไอออนที่ถูกดูดซับ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H^+), แคลเซียม (Ca^{+2}), แมกนีเซียม (Mg^{+2}), โพแทสเซียม (K^+) และ โซเดียม (Na^+)

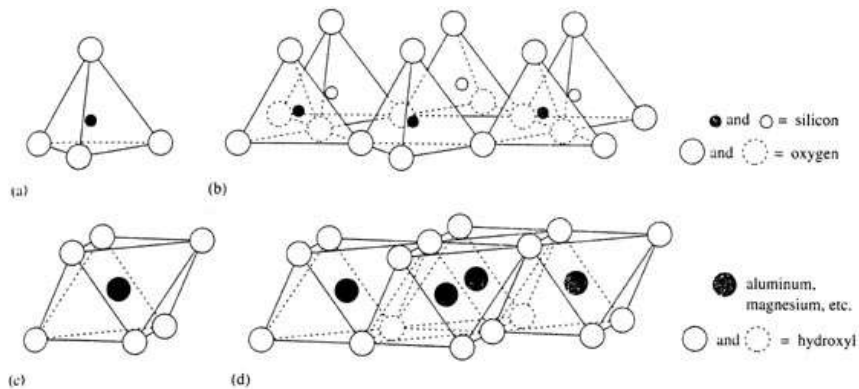


รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการดูดซับแคตไอออนของแร่ดินเหนียว^[2]

2.2.1.6 โครงสร้าง และชนิดของแร่ดินเหนียว

- Silica tetrahedral unit ประกอบด้วยซิลิกา 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม เกิดเป็นรูปที่มี 4 ด้าน หน่วยโครงสร้างจะเกาะเชื่อมกันเป็นแผ่นเหมือนรังผึ้ง เรียกว่า แผ่นซิลิกา

- Alumina octahedral unit เกิด ประกอบด้วยอะลูมิเนียม 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 6 อะตอม เกิดเป็นรูปที่มี 8 ด้าน หน่วยโครงสร้างจะเกาะเชื่อมกันเป็นแผ่นแน่นทึบ เรียกว่า แผ่นอะลูมินา



Top diagram is of a single silica tetrahedron (a) and sheet structure of silica tetrahedra arranged in a hexagonal network (b). Lower diagram shows a single octahedral unit (c) and a sheet structure of octahedral units (d). After *Clay mineralogy* by R. E. Grim. Copyright © 1968 by McGraw-Hill, Inc. Used with permission of The McGraw-Hill Book Companies.

รูปที่ 4 แสดงองค์ประกอบของแร่ดินเหนียว^[2]

2.2.2 ชนิดของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ

2.2.2.1 แร่เคลโอไลน์ (kaolinite) หรือแร่ดินขาว

- สูตรเคมี $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- โครงสร้าง ประกอบด้วยแผ่นซิลิกาและอะลูมินาประกบกันอย่างระนาบ (1:1 type clay) มีผลึกรูปหกเหลี่ยม ต่อกันในแนวระนาบไม่จำกัด แผ่นโครงสร้างมีความหนา 7 \AA
- สมบัติแร่ พันธะระหว่างผลึกเป็นพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกาะกันอย่างเหนียวแน่น ทำให้ชอกระหว่างแผ่นผลึกแคบและขยายออกไม่ได้ แร่ไม่ขยายตัวเมื่อเปียกหรือหดตัวเมื่อแห้ง
- แร่อื่น ๆ ที่มีสูตรเคมี และโครงสร้างเหมือนเคลโอไลน์ ได้แก่ halloysite และ dickite

2.2.2.2 แร่สเม็กไทต์ (smectite) หรือแร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite)

- สูตรเคมี มีความซับซ้อนและไม่แน่นอน สูตรที่เสถียร ได้แก่ pyrophyllite มีสูตร $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
- โครงสร้าง ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น ประกบกับแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น (2:1 type clay) แผ่นโครงสร้างและหลักระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนา $9-21 \text{ \AA}$
- สมบัติแร่ เนื่องจากพันธะระหว่างผลึกไม่เป็นพันธะไฮโดรเจน แต่เกิด oxygen-oxygen linkage ที่มีแรงเบาบาง โมเลกุลของน้ำและแคตไอออนต่าง ๆ สามารถแทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ที่ผิวภายในชอกได้ง่าย ทำให้เกิดการพองตัวและเมื่อมีการระเหยเอาน้ำออกแล้วจะมีการหดตัว
- แร่ในกลุ่มสเม็กไทต์ ได้แก่ montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite และอื่น ๆ

2.2.2.3 แร่อิลไลต์ (illite)

- สูตรเคมี เนื่องจากมี Al แทนที่ Si ในแผ่นซิลิกา และประจุที่เหลือนำถูกชดเชยให้เป็นกลางโดยโพแทสเซียม ทำให้มีสูตร $\text{K}_{1.33}(\text{Si}_{6.66}\text{Al}_{1.33})\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
- โครงสร้าง มีโครงสร้างทั่ว ๆ ไปเหมือนแร่ smectite จึงเป็นพวก 2:1 type clay แผ่นโครงสร้างและชอกระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนา 10 \AA
- สมบัติแร่ เนื่องจากโพแทสเซียมที่อยู่ในหลักระหว่างแผ่นซิลิกาทำให้แร่ขยาย และหดตัวไม่ได้เมื่อเปียก และแห้ง มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแร่ kaolinite และ smectite
- แร่ในกลุ่มอิลไลต์ เนื่องจากมีสูตรและโครงสร้างคล้ายแร่ไมกา (mica) บางครั้งจึงเรียก ไฮดรอสไมกา (hydrous mica)

2.2.2.4 แร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ

- แร่เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) เป็นพวก 2:1 type clay คล้ายกับอิลไลต์แต่ Al ในแผ่นอะลูมินาซึ่งเป็น dioctahedral ถูกแทนที่ด้วย Mg ซึ่งเป็น trioctahedral และระหว่างชอกจะมี Ca และ Mg ดูดซับอยู่เป็นส่วนใหญ่ หดตัวได้พอ ๆ กับอิลไลต์

- แร่คลอไรต์ (chlorite) แผ่นผลึกคล้ายคลึงกับไมกา (mica-like unit) และมีแผ่นคล้ายแร่บรูไซต์ (brucite) มีสูตร $Mg(OH)_2$ ประกอบกันอย่างมีระเบียบอีกต่อหนึ่ง (brucite-like unit)

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ^[2]

สมบัติ	ชนิดของแร่		
	Montmorillonite	Illite	Kaolinite
ขนาดของผลึก (μm)	0.01-1.0	0.1-2.0	0.1-5.0
รูปร่าง	แผ่นบางมีขอบไม่ สม่ำเสมอ	แผ่นบางมีขอบไม่ สม่ำเสมอ	แผ่นบางรูปหกเหลี่ยม
พื้นที่ผิวภายนอก	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
พื้นที่ผิวภายใน	สูงมาก	ปานกลาง	ต่ำ
ความแข็งแรงและ สภาพพลาสติก	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
การขยายตัว	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ความจุการแลกเปลี่ยน แคตไอออน (cmol/kg)	80-100	15-40	3-15

2.2.3 ที่มาของประจุลบในแร่ดินเหนียว

2.2.3.1 เกิดจากการแตกหักบริเวณขอบของผลึก (exposed crystal edges)

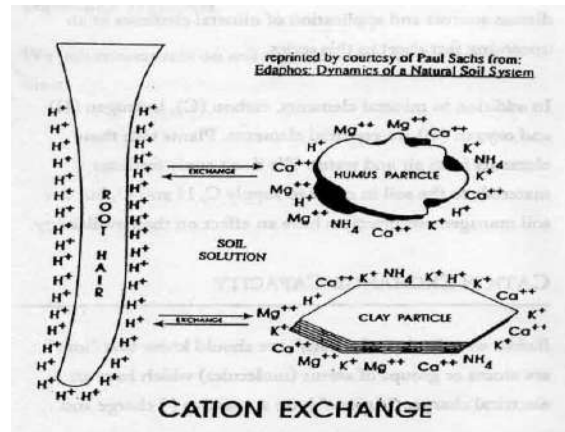
- เกิดจากบริเวณที่ขอบของผลึกที่แตกหักออกไป ทำให้แผ่นซิลิกา และแผ่นอะลูมินาบางส่วนหลุดไป ทำให้ออกซิเจนมี electronegative charge ตกค้างอยู่
- เกิดในสภาพแวดล้อมที่เป็นด่าง โดย H^+ ที่เกาะอยู่กับผิวของแผ่นอะลูมินาทำปฏิกิริยากัน OH^- ของต่างกลายเป็นน้ำพบในพวก 1:1 type clay

2.2.3.2 เกิดจากขบวนการ isomorphous substitution

เกิดจากอะตอมของธาตุอื่นเข้าไปแทนที่อะตอมที่มีอยู่เดิมในโครงสร้างของแร่ อะตอมที่เข้าไปแทนที่จะมีขนาดใกล้เคียงกับอะตอมในโครงสร้างแต่ตัวเลขต่ำกว่าทำให้เกิดประจุลบส่วนเกิน เช่น Mg^{2+} แทนที่ Al^{3+} ในแผ่นอะลูมินา

2.2.4 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

แคตไอออนดูดซับ (adsorbed cation) คือ แคตไอออนที่ถูกดูดซับโดยประจุลบในพื้นที่ผิวของแร่ดินเหนียวในดินเขตร้อน แคตไอออนที่ดูดซับประกอบด้วย $H^+(Al^{3+}) > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ แคตไอออนเหล่านี้จะถูกละไ้ได้ง่าย บางครั้งจึงเรียก exchangeable cation



รูปที่ 5 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนบวกของดิน^[2]

2.2.5 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน

2.2.6.1 ชนิดของแคตไอออนดูดซับและแคตไอออนเข้าแทนที่

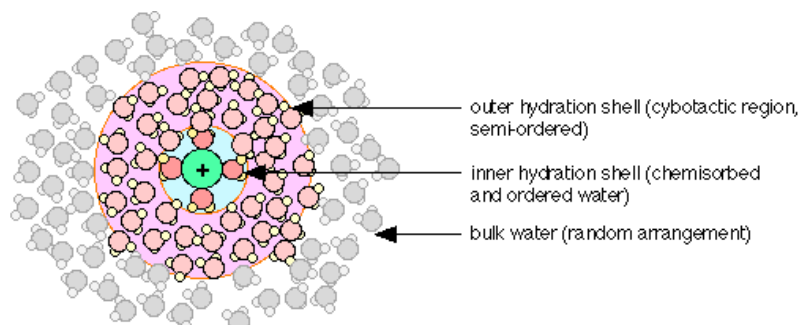
ลำดับของอำนาจการเข้าแทนที่ (replacing power) เป็นดังนี้ $Li^+ < Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < NH_4^+ < Al^{3+}(H^+)$ สาเหตุของการเข้าแทนที่ต่างกันเนื่องจาก

- วาเลนซ์ของแคตไอออน เมื่อสภาพอย่างอื่นเหมือนกันแคตไอออนที่มีวาเลนซ์สูงย่อมมีอำนาจการไล่ที่สูงและเกาะยึดที่ผิวดินเหนียวแน่น

- ขนาดไอออน เป็นขนาดของ hydrated cation คือ รวม water shell (hull) ที่ห่อหุ้มแคตไอออนนั้นๆ ด้วย หากมีขนาดใหญ่จะมีแรงดูดซับต่ำตามกฎของ Coulomb ตัวอย่างเช่นพวก Monovalent

- dehydrated ionic size $Li^+ < Na^+ < K^+ < NH_4^+ < Rb^+ < Cs^+$

- hydrated ionic size $Li^+ > Na^+ > K^+ > NH_4^+ > Rb^+ > Cs^+$



รูปที่ 6 ขนาดไอออนที่ถูกดูดยึดด้วยน้ำ (hydrate ionic size)^[2]

2.2.6.2 ความเข้มข้นของแคตไอออนเข้าแทนที่

ถ้าปริมาณของไอออนเข้าแทนที่มาก (ความเข้มข้นของแคตไอออนมาก) จะทำให้การไล่ที่แคตไอออนที่อยู่ที่ผิวดินเหนียวง่ายขึ้น ตามหลัก mass action

2.2.6.3 ปริมาณการอิมตัว

ปริมาณของการอิมตัวของแคตไอออนบางชนิดที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดินเหนียวจะมีอิทธิพลต่อความยากง่ายที่แคตไอออนนั้นจะถูกไล่ที่ออกมาเป็นอย่างมาก เช่น Ca^{2+} และ Na^+

2.2.6.4 แคตไอออนอื่นที่อยู่ร่วมด้วยบนผิวของดินเหนียว

แคตไอออนอื่นที่อยู่ร่วมด้วยบนผิวของดินเหนียว เช่น exchangeable K^+ จะถูกไล่ที่ได้ง่ายขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกับ exchangeable Al^{3+} หรือ H^+ แต่จะถูกไล่ที่ยากเมื่ออยู่ร่วมกับ exchangeable Ca^{2+}

2.3 น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis oil)

เทคโนโลยีไพโรไลซิสเป็นเทคโนโลยีการเผาแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบจากสถานะของแข็ง เช่น ขยะพลาสติก ให้ระเหิดกลายเป็นไอน้ำมัน และก๊าซสังเคราะห์ต่าง ๆ และจากนั้นจะทำการควบแน่นให้กลายเป็นสถานะของเหลว ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ น้ำมันเตา หรือน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil) ซึ่งเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานได้แพร่หลาย, ปลอดภัย และไม่ก่อมลพิษกับสิ่งแวดล้อม

น้ำมันไพโรไลซิสดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ และต่อยอดได้หลากหลาย เนื่องจากมีค่าความร้อน (Heating Value) ค่อนข้างสูง จึงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้เช่น อุตสาหกรรมแก้ว และปูนซีเมนต์ นอกจากนี้น้ำมันดังกล่าว ยังสามารถนำไปเข้ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้น เช่น การกลั่น และปรับสภาพทางเคมี เพื่อปรับปรุงสภาพให้กลายเป็นน้ำมันดีเซล จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ใช้งานกันในท้องตลาด และสามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ทั่วไปได้ เช่น เครื่องปั่นกระแสไฟฟ้า, เครื่องจักรการเกษตร และรถไถนาได้เป็นอย่างดี

2.3.1 พลาสติก และขยะพลาสติก

พลาสติก คือ สารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลซ้ำ ๆ กัน และต่อกันเป็นโมเลกุลยาวประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน และมีส่วนประกอบย่อย ๆ คือ ไนโตรเจน, ฟลูออรีน, คลอรีน และกำมะถัน เป็นต้น

ขยะพลาสติก คือ พลาสติกที่ใช้แล้วถูกทิ้งมาเป็นขยะ ส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้อีกในลักษณะที่แตกต่างกัน แซ่อีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปกำจัดทิ้งด้วยวิธีการฝังกลบ, การหลอม และการรีไซเคิล

2.3.2 คุณสมบัติของขยะพลาสติก

ขยะพลาสติกมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอย่างหนึ่งเช่นเดียวกับน้ำมัน เพียงแต่ปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า (ดีเซลมีคาร์บอน 12-20 ตัว เบนซินมีคาร์บอน 6-12 ตัว) แต่พลาสติกจะเป็นโซ่ที่ยาวมาก มีคาร์บอนมากขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ ดังนั้นการที่จะเปลี่ยนขยะพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันได้จะต้องทำการตัดสายโซ่โพลิเมอร์ของขยะพลาสติกให้สั้นลง

ขยะพลาสติกทั่วไปมีหลายประเภท สามารถนำมาผลิตน้ำมันได้แต่อาจให้ผลผลิต และปริมาณที่ต่างกัน การที่ขยะถูกฝังกลบรวมกัน และพลาสติกประเภทขวดมักได้รับการแยกออกไปก่อน จึงเหลือเพียงถุงหูหิ้ว และถุงใส่อาหารเป็นหลัก ซึ่งน้ำมันที่ได้จากขวดใส และถุงอาหารทั่วไปจะผลิตได้น้ำมันดีเซลสีดำนุ่น แต่หากใช้วัตถุดิบประเภทถุงพลาสติกใหม่จะทำให้ได้น้ำมันสีเหลืองกว่า และใสมากกว่า

2.3.3 เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Technology)

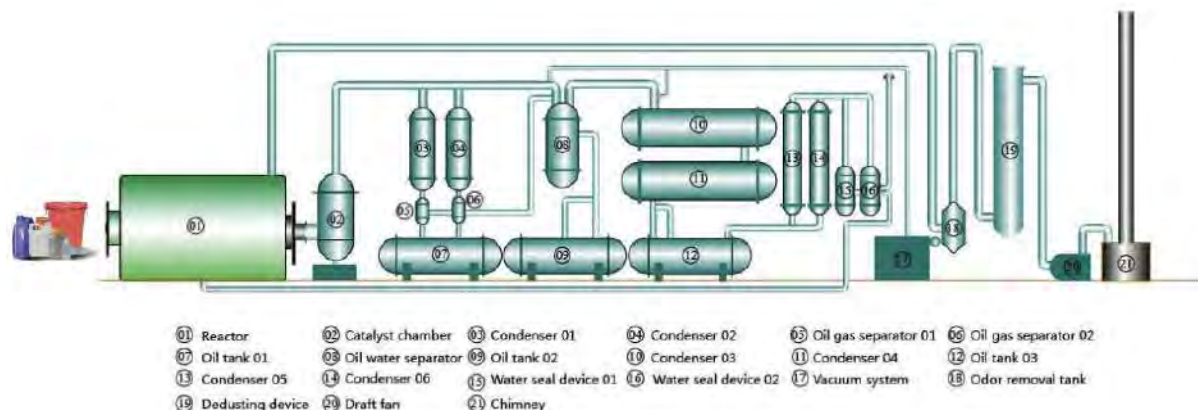
กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการเปลี่ยนโมเลกุลของของแข็ง เช่น พลาสติก ให้มีขนาดเล็กลงด้วยความร้อน 300-500 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษออกมาภายนอก ซึ่งผลผลิตที่ได้แบ่งออกเป็น แก๊ส, น้ำมัน และของแข็ง โดยแก๊ส และน้ำมันสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนวิธีการคือ คัดแยกเอาเฉพาะขยะพลาสติกใส่เครื่องโดยไม่ต้องทำความสะอาด เครื่องจักรจะแปรรูปโดยอัตโนมัติโดยที่ขยะพลาสติก 6 ตัน จะให้น้ำมัน 4,000 ลิตร และผลผลิตที่ได้จะได้เป็นน้ำมันดีเซลร้อยละ 58 น้ำมันเบนซินร้อยละ 27 แวก และน้ำมันเตาร้อยละ 15 ในราคาต้นทุนการผลิตลิตรละ 10 บาท

2.3.4 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

1. ขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการนำวัตถุดิบ เช่น พลาสติก เศษยาง ที่ต้องการกลั่นเป็นน้ำมัน ใส่เข้าในเตาปฏิกรณ์จนเต็ม และทำการปิดฝาด้านหน้าให้สนิท
2. เริ่มขั้นตอนการกลั่นน้ำมันด้วยการให้ความร้อนอย่างช้า ๆ โดยตรงกับเตาปฏิกรณ์ด้วยการเผาจากเชื้อเพลิงภายนอก เช่น ไม้ หรือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) จนเตาปฏิกรณ์ร้อนขึ้นจนถึง 150 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะเริ่มละลายกลายเป็นไอน้ำมัน
3. ไอน้ำมันดังกล่าวจะถูกดูดไปเข้าสู่ชุดกลั่น เพื่อกลั่นตัวเป็นของเหลวภายใต้ความดันปกติ ไอน้ำมันบางส่วนที่ไม่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ จะถูกดูดไปสู่ระบบเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาเตาปฏิกรณ์แทนเชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมัน (2) ทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงภายนอก
4. หลังจากระบบได้ทำการกลั่นจนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการลดอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ให้เย็นลง ระบบจะทำการกำจัดเศษผง และตะกอนที่ตกอยู่ด้านล่างออก

5. ในกรณีที่ทำการกลั่นน้ำมันจากยางรถยนต์ เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส สามารถเปิดประตูแล้วทำการนำเอาลวดเหล็กที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันออกได้ทันที

6. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำงานทั้งหมดแล้วสามารถเริ่มทำงานในรอบต่อไปได้ทันที



รูปที่ 7 รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ในการผลิตน้ำมันโพลีโกลีน^[3]

2.4 น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel)

ปัจจุบันน้ำมันในไทยมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับสภาพการใช้รถ และความต้องการของผู้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหลังจากนั้นจึงนำมาปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อใช้เผาให้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์เครื่องเทอร์โบ หรือใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ต้มน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler) ใช้ในเตาอบเครื่องปั้นดินเผา หรือในโรงงานเซรามิก และใช้ในการทำความร้อนให้แสงสว่าง เป็นต้น โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายในสถานีบริการจะมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1. น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน
2. น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

2.4.1 น้ำมันเบนซิน (Gasoline)

น้ำมันเบนซินเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงส่วนที่เบาที่สุด ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ส่วนนี้เรียกว่า แนฟธา (Naphtha) แล้วจึงนำมาปรับปรุงคุณภาพ ที่สำคัญคือการเพิ่มค่าออกเทนน้ำมันเบนซินปัจจุบันมี 2 ประเภทคือ น้ำมันเบนซินรถยนต์ (Motor Gasoline) และน้ำมันเบนซินอากาศยาน (Aviation Gasoline) ซึ่งทั้งสองประเภทนี้มีข้อแตกต่างกันตรงที่น้ำมันอากาศยานจะมีค่าออกเทนสูง กว่าน้ำมันเบนซินรถยนต์มาก สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันน้ำมันเบนซินที่ใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไปแบ่งออกเป็นหลายชนิดเช่น

1. น้ำมันเบนซินพิเศษ (Premium Motor Gasoline) มีค่าออกเทนนับเบอร์ 95 (และ 98 ในต่างประเทศ) มีสีเหลืองอ่อนเหมาะสมกับเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงกว่า 8:1 ขึ้นไปซึ่งได้แก่รถยนต์นั่งทั่วไปรถบรรทุกเล็ก (เครื่องยนต์เบนซิน)
2. น้ำมันเบนซินธรรมดา (Regular Motor Gasoline) มีเลขจำนวนออกเทน 91 มีสีแดงใช้กับน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดต่ำกว่า 8:1 ซึ่งได้แก่รถยนต์นั่งขนาดเล็ก, รถมอเตอร์ไซค์, เครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องปั่นไฟ, รถตัดหญ้า หรือปั้มน้ำ
3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือที่นิยมเรียกว่าแก๊สโซฮอล์ E10-E20 คือน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่ผสมระหว่างน้ำมันเบนซิน 90% กับแอลกอฮอล์ 10% หรือ 20% (ได้แก่ เอทานอลที่ผลิตจากพืชผลการเกษตรเช่นมันสำปะหลังอ้อยข้าวโพด) สำหรับแก๊สโซฮอล์นั้นเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายไปทั่วโลกเนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า และลดมลพิษ ปัจจุบันน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายคือแก๊สโซฮอล์ 95, แก๊สโซฮอล์ 91 ซึ่งมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกินร้อยละ 10 โดยรถยนต์ระบบหัวฉีดสามารถใช้แทนน้ำมันเบนซินได้ทันทีโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่เครื่องยนต์ระบบคาร์บูเรเตอร์นั้นไม่ควรใช้ยังมีแก๊สโซฮอล์ E20 ที่มีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 20 และแก๊สโซฮอล์ E85 ซึ่งมีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 85 ซึ่งรถยนต์ที่จะใช้น้ำมันประเภทนี้ได้เครื่องยนต์ต้องได้รับการออกแบบมาให้รองรับกับน้ำมัน E85 เท่านั้น

2.4.2 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) คือน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นเหมือนกับน้ำมันเบนซิน หรือเรียกว่าน้ำมันใส (Distillate Fuel) มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180-370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน

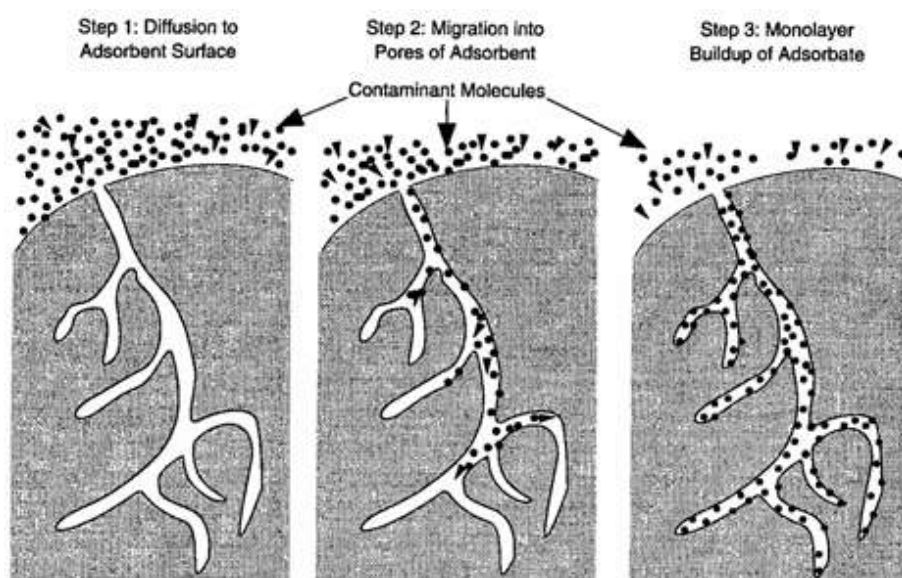
น้ำมันไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ เช่น ปาล์มมะพร้าว, ถั่วเหลือง, ทานตะวัน, เมล็ดเรพ (Rape Seed), สบู่ดำ หรือน้ำมันพืชไขมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี Transesterification (หรือปฏิกิริยา Alcoholysis) ร่วมกับเมทานอล หรือเอทานอลจนเกิดเป็นสารเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล (B100) ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเกรดที่ใช้กันในปัจจุบันในสัดส่วนร้อยละ 2-10 (B2-B10) จะสามารถนำมาใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์

2.5 การดูดซับ (Adsorption)

2.5.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้ เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้ จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว, ก๊าซ-ของเหลว, ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid-Solid Interface)

ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อย เท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุด สมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมีแรงดึงดูด (Driving Force) 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี



รูปที่ 8 แสดงการดูดซับที่ผิวของเบนโทไนท์ซึ่งมีรูพรุนมาก^[8]

2.5.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

2.5.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.5.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

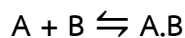
2.5.3 หลักการของกระบวนการดูดซับ

หลักการของการดูดซับ คือ การเคลื่อนย้ายมวลสาร (mass transfer) ซึ่งเกิดจากการที่สารที่อยู่ในของเหลวถูกเคลื่อนย้ายมาสะสม หรือเกาะติดบนพื้นผิวของของแข็ง ทำให้สามารถกำจัดสารนั้นออกจากของเหลวได้โมเลกุลของสารต่าง ๆ ซึ่งมาสะสม หรือถูกดูดซับติดที่พื้นผิวถูกเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) และเรียกของแข็งที่ทำการดูดซับว่า สารดูดซับ (absorbent) โดยมีขั้นตอนของการดูดซับ 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การเคลื่อนย้ายเชิงมหภาค (macrotransport) เป็นการเคลื่อนย้ายของสารถูกดูดซับผ่าน สารเข้าสู่พื้นผิวของสารดูดซับ

2. การเคลื่อนย้ายเชิงจุลภาค (microtransport) เป็นการแพร่กระจายของสารถูกดูดซับเข้าหาช่องว่างภายในของพื้นที่ผิวสารดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อยคือ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของสาร (film diffusion) และการแพร่สู่ช่องว่างหรือโพรง (pore diffusion)

3. การดูดซับ (adsorption) เป็นการเกาะยึดติดกันระหว่างสารถูกดูดซับ และสารดูดซับ ซึ่งลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นอาจอาศัยทั้งแรงทางกายภาพ และแรงทางเคมี การดูดซับที่เกิดขึ้นสามารถเขียนปฏิกิริยาเคมีง่าย ๆ ดังนี้



โดยที่ A หมายถึงสารถูกดูดซับ และ B หมายถึงสารดูดซับ และ A.B หมายถึงสารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ

จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินการต่อไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (equilibrium state) คืออัตราการดูดซับ (rate of adsorption) เท่ากับอัตราการคายสารออก (rate of desorption) แล้ว จะเข้าสู่ภาวะสมดุลของการดูดซับ (adsorption equilibrium) ซึ่ง ณ จุดนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ จากหลักการของกระบวนการดูดซับนี้ ทำให้ต้องมีความรู้เกี่ยวกับไอโซเทอร์มของการดูดซับ และบริเวณถ่ายโอนมวลสาร ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ในสภาวะสมดุลการดูดซับระหว่างปริมาณของสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับติดสารดูดซับต่อมวลของสารดูดซับกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อนำความสัมพันธ์นี้มาเขียนเป็นกราฟจะได้เส้นแนวโน้มที่เรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งไอโซเทอร์มของการดูดซับสามารถหาได้ด้วยการทำการทดลองโดยใช้สารละลายที่ทราบค่าหรือปริมาณของสารถูกดูดซับที่ต้องการกำจัดในปริมาตรที่คงที่ และทำการแปรเปลี่ยนปริมาณของสารดูดซับ และกำหนดระยะเวลาที่สัมผัส จากนั้นจึงทำการหาค่าหรือปริมาณของสารถูกดูดซับที่เหลือในสารละลายที่ผ่านการทดลองสามารถคำนวณหาค่าขีดความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) ได้ดังสมการ

$$q_e = (X/m) = V (C_o - C_e) / m$$

โดยที่ q_e = ค่าขีดความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) หรือปริมาณของสารถูกดูดซับพื้นผิวของสารดูดซับ (X) ต่อมวลของสารดูดซับ (m) ที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมของสารถูกดูดซับต่อกรัมของสารดูดซับ

C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับในสารละลาย หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายสภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

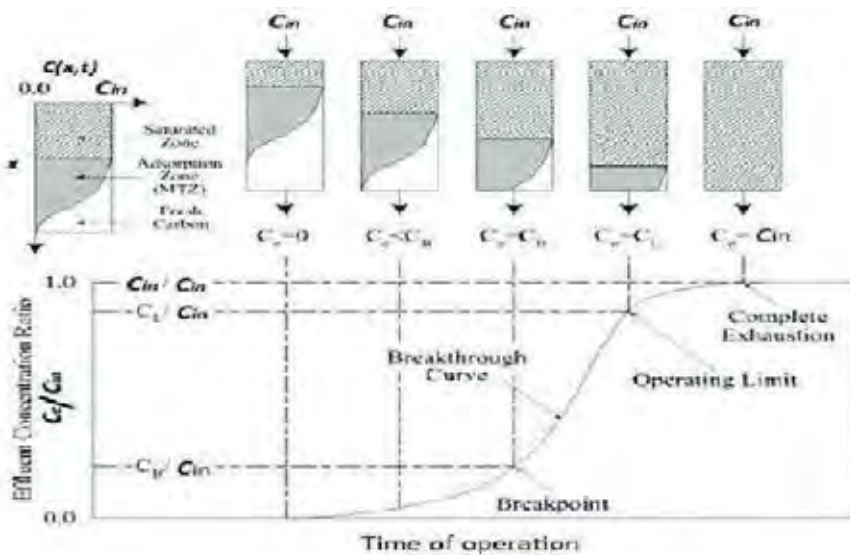
V = ปริมาตรของสารละลายที่มีสารถูกดูดซับอยู่ หน่วยเป็น ลิตร

m = มวลของสารดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็น กรัม

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (adsorption isotherm) ได้ถูกพัฒนาขึ้นหลายไอโซเทอร์ม ภายใต้สมมุติฐานต่าง ๆ เช่น Langmuir Isotherm, Freundlich Isotherm, Brunauer, Emmet และ Teller Isotherm (BET Isotherm) เป็นต้น

2.5.4 บริเวณถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer zone ; MTZ)

เป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการดูดซับในชั้นของสารดูดซับ (bed) โดยค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปถึงจุดอิ่มตัว (saturated) ในกรณีที่บรรจุสารดูดซับในคอลัมน์ปิดแบบชั้นสารดูดซับอยู่กับที่ (fixed bed) การเกิดบริเวณถ่ายโอนมวลสารเกิดขึ้นดังรูปที่ 9 เมื่อน้ำที่มีสารถูกดูดซับไหลเข้าสู่คอลัมน์ของสารดูดซับด้านบน และถูกสารดูดซับดูดซับเอาไว้ทำให้น้ำที่สะอาดไหลออกจากคอลัมน์ทางด้านล่าง จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นบริเวณถ่ายโอนมวลสารจะเริ่มจากด้านบนของชั้นของสารดูดซับ เมื่อชั้นบนของสารดูดซับถึงจุดอิ่มตัว บริเวณถ่ายโอนมวลสารจะเคลื่อนที่ลงมาตามทิศทางของน้ำจนถึงจุดหนึ่งจะเริ่มมีสารถูกดูดซับหลุดออกจากชั้นของสารดูดซับ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ออกจากระบบต่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นกับปริมาตรของน้ำหรือเวลาเดินระบบ เรียกว่า กราฟเบรคทูร์ (breakthrough curve) ที่ช่วงเบรคทูร์นี้ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ทางออกจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนในที่สุดจะเท่ากับค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับทางเข้าจะเห็นได้ว่าความหนาของชั้นสารดูดซับมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยกระบวนการดูดซับจะมีประสิทธิภาพต่อเมื่อความหนาของชั้นสารดูดซับมากกว่าความหนาของบริเวณถ่ายโอนมวลสาร



รูปที่ 9 แสดงการเกิดบริเวณถ่ายโอนมวลสาร^[9]

2.6 การปรับปรุงคุณภาพของดินเบนโทไนท์

2.6.1 การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารอินทรีย์ (Organic treated bentonite)

โดยกรรมวิธีนี้จะอาศัยหลักการ คือ การที่ดินเบนโทไนท์เป็นดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุที่มีอยู่ภายในโครงสร้างได้ ดังนั้นเมื่อนำสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก (Organic cation) ไปแทนที่ประจุบวกที่มีอยู่ในดินเบนโทไนท์ทำให้คุณสมบัติของดินเบนโทไนท์เปลี่ยนไปจากเดิมกล่าวคือจะเปลี่ยนคุณสมบัติจากดินที่มีคุณสมบัติในการในการดูดน้ำได้ดี (Hydrophillic clay) ไปเป็นดินเบนโทไนท์ที่มีที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic clay) แต่จะมีคุณสมบัติในการกระจายตัว และพองตัวได้ดีในสารอินทรีย์อื่น ๆ (Organophilic clay) ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีนี้เหมาะสมที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสี, การผลิตจารบี (grease), ใช้ทำเป็น gel organic liquid เป็นต้น การผลิตดินเบนโทไนท์ตามกรรมวิธีนี้มีการซื้อขายกันในท้องตลาดโดยใช้ชื่อต่าง ๆ หลายชนิดเช่น

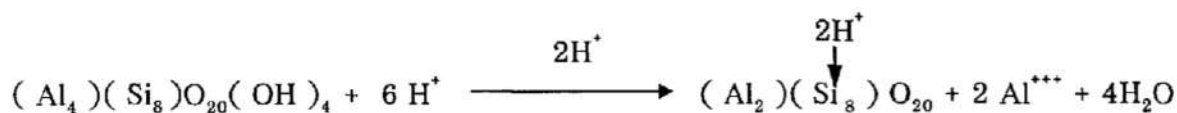
1. “Bentone” เป็นชื่อทางการค้าของดินเบนโทไนท์ที่มาจากกรรมวิธีผลิต โดยการแทนที่ inorganic exchangeable ion ในดินเบนโทไนท์ด้วย alkyl amine organic cation

2. “Nikka gel” เป็นชื่อทางการค้าของดินเบนโทไนท์ที่มาจากกรรมวิธีผลิตโดยการกระทำด้วยแอลกอฮอล์ภายใต้ความร้อน และความดัน ตามด้วยการแทนที่ประจุด้วย organic ammonium salt

3. “Organite” เป็นการผลิตที่คล้ายกับ Nikka gel แต่จะแทนที่ประจุด้วย amine ที่มี benzene nucleus

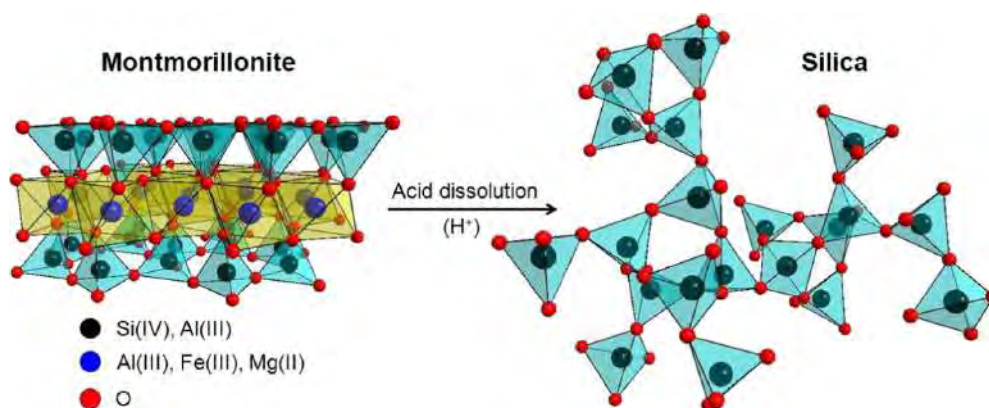
2.6.2 การปรับปรุงคุณภาพด้วยกรด (Acid activation)

ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการทำปฏิกิริยากับกรดจะทำให้ดินมีคุณสมบัติในการพอกสีที่ดียิ่งขึ้นเพื่อที่จะนำดินไปใช้ในอุตสาหกรรมพอกสีเนื่องจากดินเบนโทไนท์เป็นดินที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ (ion) ที่อยู่ภายในโครงสร้างของโมเลกุล (Interlamellar space) ได้ ดังนั้นเมื่อนำเอาดินเบนโทไนท์มาทำปฏิกิริยากับกรดจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุของแคลเซียม (Ca^+) และประจุของแมกนีเซียม (Mg^+) ที่อยู่ในช่องว่างของโมเลกุลกับประจุของไฮโดรเจน (H^+) ของกรดนอกจากนี้กรดยังช่วยไล่ประจุของอลูมิเนียม (Al^+) ประจุของเหล็ก (Fe^+) และประจุของแมกนีเซียม (Mg^+) ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเบนโทไนท์ให้ออกไปด้วย จึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายใน และระหว่างโมเลกุลของเบนโทไนท์ และนอกจากนี้การที่ประจุของไฮโดรเจน (H^+) จากกรดเข้าไปเกาะอยู่ในโมเลกุลทำให้ช่องว่างภายในโมเลกุลมีประจุที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (active) มากกว่าเดิม ทำให้สามารถที่จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารสี หรือสิ่งเจือปนกับเบนโทไนท์ได้มากขึ้น จึงทำให้ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการทำปฏิกิริยากับกรดมีคุณสมบัติในการพอกสีที่ดีขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับดินเบนโทไนท์สามารถเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 10 แสดงสมการปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับดินเบนโทไนท์^[5]

จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเบนโทไนท์กับกรดสามารถที่จะเขียนสูตรโครงสร้างเพื่อให้เข้าใจ และมองเห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเบนโทไนท์ได้ชัดเจนขึ้นได้ดังนี้



รูปที่ 11 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเบนโทไนท์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด^[5]

2.6.3 การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายเกลือโซเดียม (Sodium salts activation)

ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการทำปฏิกิริยากับสารละลายเกลือโซเดียม (Sodium salts) ซึ่งที่นิยมใช้คือโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, $NaCl$) หรือโซเดียมไนเตรต (Sodium nitrate, $NaNO_3$) ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะเป็นดินเบนโทไนท์ชนิดที่มีการพองตัว (swell) ในน้ำได้น้อยเช่นดินเบนโทไนท์ชนิดแคลเซียม (Calcium bentonite) เมื่อผ่านการกระทำด้วยสารละลายของเกลือโซเดียมจะมีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างแคลเซียมในโมเลกุลของเบนโทไนท์กับโซเดียมของเกลือต่าง ๆ ทำให้ได้เบนโทไนท์ที่มีคุณสมบัติในการพองตัวในน้ำได้ดี ดินเบนโทไนท์ที่ผ่านกรรมวิธีการนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นโคลนในอุตสาหกรรมการขุดเจาะ (Drilling mud) ใช้เป็นดินป้องกันการซึมของน้ำในการสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ (Waterproofing earthen dams and reservoirs) และใช้เป็นตัวยึดทรายในแบบหล่อโลหะ (Molding sand)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง Preparation and characterization of nano porous bentonite for regeneration of semi-treated waste engine oil; Applied aspects for enhanced recovery โดยมีรายละเอียดดังนี้

Shiva Salem , Amin Salem และ Aylin Agha Babaei (2014) ศึกษาการนำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ผงดินแคลเซียมเบนโทไนท์ที่ผ่านการกระตุ้น (ดินกัมมันต์) ตัวดูดซับที่มีรูพรุนถูกเตรียมโดยใช้กรดไนตริกและซัลฟิวริกในการกระตุ้นที่เวลาทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน การทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลูถูกใช้ในการวัดผลการทำปฏิกิริยาด้วยกรด คุณลักษณะเฉพาะของผงดินเบนโทไนท์ทั่วไปและผงดินเบนโทไนท์ที่ผ่านการปรับปรุงถูกตรวจสอบโดยเทคนิค ICP, XRD, FTIR และ BET โดยสถานะที่เหมาะสมถูกกำหนดด้วย ค่าสูงสุดของการดูดซับเมทิลีนบลู ซึ่งในสถานะนี้พื้นที่ผิวสัมผัสเฉพาะของดินกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 109.0 และ 89.0 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ผิวสัมผัสเฉพาะถูกพบว่ามี การสร้างรูพรุนใหม่ขนาดนาโนขึ้นในช่วง 10-12 นาโนเมตร ตามไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้ไนโตรเจน ความเป็นไปได้ของผงดินกัมมันต์สำหรับการกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากน้ำมันเสียได้ถูกศึกษาใน ส่วนต่อไป ผงดินเบนโทไนท์ ที่ผ่านการดัดแปลงมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นสำหรับการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ออกจากน้ำมันเสียซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของเมทิลีนบลูดินกัมมันต์เป็นผลข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับ ปริมาณผงที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการนำน้ำมันกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการกึ่งปรับปรุง^[10]

งานวิจัยเรื่อง Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques โดยมีรายละเอียดดังนี้

Shiva Salem, Amin Salem และ Aylin Agha Babaei (2014) ปรับปรุงดินเบนโทไนท์ด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5 และ 2 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15, 30, 45, 60, 90 และ 180 นาที เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการฟอกจางสีน้ำมัน โดยในกระบวนการฟอกจางสีน้ำมันจะฟอกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากผลได้ว่ากรดไนตริกมีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนรูพรุนและขนาดเฉลี่ยของรูพรุนได้ดีกว่ากรดซัลฟิวริก และชนิดของกรดและความเข้มข้นของกรดเป็น ปัจจัยสำคัญในกระบวนการนำน้ำมันกลับมาใช้ใหม่^[11]

งานวิจัยเรื่อง Preparation and characterization of acid-activated bentonite powder โดยมีรายละเอียดดังนี้

Müşerref Önal และ Yüksel Sarıkaya (2006) ศึกษาการปรับปรุงดินเบนโทไนท์ด้วยกรดซัลฟิวริก โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณกรดตั้งแต่ 0-70 ร้อยละ โดยมวลเมื่อเทียบกับดินเบนโทไนท์ผสมกับกรด ซึ่งสามารถทดสอบด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี (CA) และทดสอบ การเลี้ยวเบน (XRD) โดยผลที่ได้ปริมาตรของมีโซพอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.104 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมเป็น

ค่าสูงสุด 0.232 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 40 เปอร์เซ็นต์ และจากนั้นลดลงเป็น 0.149 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 70 เปอร์เซ็นต์ และปริมาตรไมโครพอร์เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.055 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 10 %^[12]

งานวิจัยเรื่อง Characterization, Acid Activation and Bleaching Performance of Bentonite from Xinjiang โดยมีรายละเอียดดังนี้

WU Zhansheng และคณะ (2006) ศึกษาดินเบนโทไนท์ที่ผลิตจาก Xinjiang โดยหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 96-98 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนดินต่อปริมาณกรดเท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีสภาวะความเข้มข้นกรดต่าง ๆ เท่ากับ 15%, 20%, 25%, 30%, 40% และ 45% แล้วทดสอบการฟอกสีน้ำมันภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 96-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที พบว่าสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นกรด H_2SO_4 25% เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ความสามารถในการฟอกสีดีที่สุด^[13]

งานวิจัยที่เรื่อง Adsorption of lead, cadmium and copper on natural and acid activated bentonite clay โดยมีรายละเอียดดังนี้

Supattra Budsareechai, Khanita Kamwialisak และ Yuvarat Ngernyen ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมดินกัมมันต์ด้วยไฮโดรคลอริก และประสิทธิภาพในการดูดซับสารตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงของดินเบนโทไนท์ดิบ และดินกัมมันต์ โดยอัตราส่วนของดินเบนโทไนท์ดิบต่อกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:50 และเขย่า 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และในกระบวนการดูดซับ เขย่า 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6-48 ชั่วโมง โดยจากผลทดสอบที่ได้ ดินกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสัมผัสเฉพาะมากกว่าดินเบนโทไนท์ดิบ และมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด^[14]

งานวิจัยที่เรื่อง Acid activation of upper Eocene Ca-bentonite for soybean oil clarification โดยมีรายละเอียดดังนี้

Chakroun S, Herchi M, Mechti W และ Essghaier Gaied M ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์ชนิดแคลเซียมอายุปลายยุคอีโอซีนที่นำมาจากตอนกลางของประเทศตูนิเซีย และผลของการฟอกสีน้ำมันถั่วเหลืองของดินกัมมันต์ โดยจะทำการวัดค่าตัวอย่างด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), เทคนิควิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค (SediGraph), เทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM) โดยจากการวัดค่าตัวอย่างดินเบนโทไนท์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าแร่ดินเหนียวหลัก ๆ ของดินแถบนี้คือมอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) ในการทดลองได้นำดินตัวอย่างมาทำการปรับปรุงคุณภาพ หรือเรียกว่ามาทำการกระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และเคมีของตัวอย่าง

จากนั้นศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นดินตัวอย่างโดยใช้ความเข้มข้นของกรด 3 นอร์มอล ซึ่งตัวแปรที่จะศึกษา คือ เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 25, 50, 75 และ 90 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ถูกกระตุ้นเป็นเวลา 2 และ 6 ชั่วโมง ที่ 75 องศาเซลเซียสด้วยเครื่อง XRD และการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าโครงสร้างของเบนโทไนท์เกิดการเปลี่ยนแปลง และมีไอออนโลหะที่ลดลง (Al^{3+} , Fe^{3+} และ Mg^{2+}) ในส่วนของการทดลองพอกจางสีน้ำมันถั่วเหลืองตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาคือ ปริมาณดินที่ใช้พอกจางสีต่อปริมาณน้ำมัน 0.5%, 0.75% และ 1% ซึ่งในการทดลองพอกสีด้วยเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นพบว่าสถานะที่ดีที่สุดคือ 0.75% ซึ่งมีความสามารถในการพอกสี 55.22% ดังนั้นในการทดลองพอกจางสีของเบนโทไนท์ที่กระตุ้นในสถานะอื่นๆ จึงใช้ปริมาณดินเป็น 0.75% เช่นเดียวกัน ผลการทดลองที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับเบนโทไนท์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ ที่มีพื้นที่ผิว $378 \text{ m}^2/\text{g}$ พบว่าตัวอย่างดินที่ผ่านการกระตุ้นในสถานะที่ดีที่สุด (4 ชั่วโมง 75 องศาเซลเซียส) มีความสามารถในการพอกสี 84.85% ซึ่งมีความมากกว่าเบนโทไนท์เชิงพาณิชย์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีความสามารถในการพอกสีเท่ากับ 57.73%^[15]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมดินกัมมันต์จากเบนโทไนท์จังหวัดราชบุรีเพื่อใช้ในการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) ยี่ห้อ Panalytical รุ่น Axios
2. เครื่อง Specific surface area analyzer ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น TriStar3000
3. เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Oakton รุ่น Muti-Parameter PC test 35
4. ชุดคัดแยกขนาดวัสดุรวมละเอียด (Sieve Shaker)
5. เครื่องซังน้ำหนักดิจิทัล
6. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
7. ครกบดสาร (Mortar and Pestle)
8. ปีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
9. ปีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
10. ขวดรูปชมพู่
11. กระจกบอทวง ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. แท่งแก้วคนสาร
13. ซ้อนตักสาร
14. เครื่องกวนสาร (Hot plate)
15. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
16. กระจกทรงวงกลมเบอร์ 40 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร
17. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
18. ปัมสุญญากาศ
19. หลอดหยดสาร
20. ตู้ควบคุมความชื้น (desiccator)

3.2 วัสดุดิบ

ดินเบนโทไนท์จากจังหวัดราชบุรี

3.3 สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
2. น้ำกลั่น (Distilled water)
3. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)
4. น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis oil)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมดินเบนโทไนท์

นำดินเบนโทไนท์มาล้างด้วยการซังดินเบนโทไนท์ประมาณ 200 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วนำไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารจนดินแตกตัวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองผ่านตะแกรง 200 เมช (75 ไมโครเมตร) และนำน้ำดินที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 12 ชั่วโมง หลังจากดินแห้งแล้วนำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นลงในตู้ควบคุมความชื้น (desiccator) แล้วบดให้ละเอียดด้วยครกหิน (Mortar) และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเบนโทไนท์ก่อนการกระตุ้น

3.4.2 การกระตุ้นดินเบนโทไนท์

ซังดินเบนโทไนท์ 5 กรัม ผสมกับกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนโดยมวล (1:1, 1:5, 1:10) ซึ่งจากการคำนวณจะได้ว่าต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก 11.36, 56.78 และ 113.56 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้งและทิ้งไว้เป็นเวลา (0.5, 1 และ 2 ชั่วโมง) จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งค่า pH เป็น 6-7 และนำมากรองเพื่อแยกตะกอนออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ตะกอนที่ได้จะนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ตะกอนที่ได้จะเรียกว่าดินกัมมันต์ เมื่อดินกัมมันต์แห้งแล้วจะทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดินกัมมันต์

3.4.3 การฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

เติมดินกัมมันต์ 10 กรัม ลงในน้ำมันไพโรไลซิส 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นกวนบนเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองเพื่อแยกตะกอนออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และนำน้ำมันที่ได้มาเปรียบเทียบกับความใสกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ดินเบนโทไนท์ดิบ

ก่อนที่จะนำดินเบนโทไนท์ไปทำการปรับปรุงคุณภาพ หรือกระตุ้นด้วยกรดจะต้องนำดินเบนโทไนท์ที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้นมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ก่อนซึ่งเบนโทไนท์ดิบที่จะนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยเบนโทไนท์สด, เบนโทไนท์สดที่นำมาผ่านตะแกรง 100 เมช, และเบนโทไนท์สดที่ผ่านการล้างในกระบวนการเตรียมเบนโทไนท์แล้วนำไปผ่านตะแกรง 200 เมช โดยที่การวิเคราะห์คุณสมบัติของเบนโทไนท์วัดได้ดังนี้

1. องค์ประกอบวัดด้วยเครื่อง Wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF)
2. ค่าความชื้น (Moisture content) จะวัดด้วยการชั่งดิน 10 กรัม และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ค่า pH จะวัดค่าด้วยการชั่งดิน 2 กรัม กวนในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 10 นาทีก่อนทำการวัดค่า
4. ค่าพื้นที่ผิว (Surface Area), ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume), ขนาดของรูพรุนโดยเฉลี่ย (Average Pore Size) จะวัดค่าด้วยเครื่อง Specific surface area analyzer (BET)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินเบนโทไนท์ดิบก่อนทำการกระตุ้น

ร้อยละองค์ประกอบของดิน ตัวอย่างจากเครื่อง XRF	เบนโทไนท์สด	เบนโทไนท์สดผ่าน ตะแกรง 100 เมช	เบนโทไนท์สดนำไปล้างน้ำ แล้วผ่านตะแกรง 200 เมช
SiO ₂	79.50	68.98	58.97
TiO ₂	0.399	0.542	0.716
Al ₂ O ₃	8.62	11.92	17.01
Fe ₂ O ₃	4.631	6.009	7.549
CaO	0.54	1.79	2.07
MgO	0.70	0.94	1.24
K ₂ O	0.47	0.77	1.09
Na ₂ O	0.01	0.02	0.03
MnO	0.045	0.056	0.056
P ₂ O ₅	0.038	0.043	0.055
SO ₃	0	0	0
LOI	5.08	8.97	11.24
total	100	100	100


ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น, ค่าความเป็นกรด และพื้นที่ผิว ของตัวอย่างดินเบนโทไนท์ที่ผ่านขั้นตอนการล้าง, บด และนำมาผ่านตะแกรง 200 เมช

Moisture Content (%)	pH value	Surface Area (m ² /g)	Pore Volume (cm ³ /g)	Average Pore Size (A)
4.32	8.8	P/P0 = 0.05-0.30	P/P0 = 0.98-0.99	4V/A by BET
		71	0.134	76

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ของดินเบนโทไนท์ดิบที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้นแล้วพบว่า ดินเบนโทไนท์ดิบมีไอออนโลหะปริมาณมากทำให้ดินเบนโทไนท์มีประสิทธิภาพในการพอกสีที่ไม่ดีนัก จึงได้ทำการทดลองนำดินเบนโทไนท์มาทำการกระตุ้นด้วยไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนโดยมวล 1:15 (เบนโทไนท์ 5 กรัม ต่อกรดไฮโดรคลอริก 15 กรัม ซึ่งจากการคำนวณจะได้ว่าใช้กรดไฮโดรคลอริก 170.34 มิลลิลิตร) ในสถานะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 0.5 ชั่วโมง เพื่อหาวิธีการเตรียมวัสดุดิบที่ทำให้ได้ดินที่มีความสามารถในการพอกสีที่สูงที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการพอกสีน้ำมันไพโรไลซิสของเบนโทไนท์ดิบ และดินกัมมันต์ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบในแบบต่าง ๆ

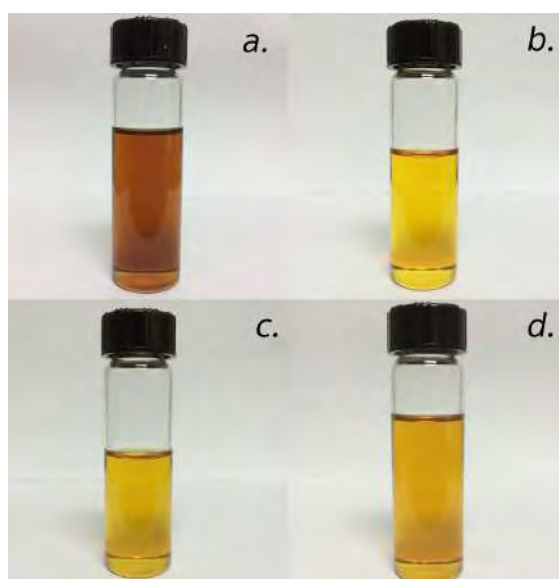
ตัวอย่าง	คำอธิบาย	สีของน้ำมันที่ผ่านการพอกสี	สถานะในการพอกสีน้ำมัน
1	1. เบนโทไนท์ดิบ		- อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส - เวลา 2 ชั่วโมง
2	1. เบนโทไนท์บดผ่านตะแกรง 100 เมช 2. ผ่านการกระตุ้นด้วยสภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:15, อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการกระตุ้น 30 นาที		- อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส - เวลา 2 ชั่วโมง

3	1. เบนโทไนท์ที่นำไปล้างน้ำแล้วบดผ่านตะแกรง 200 เมช 2. ผ่านการกระตุ้นด้วยสภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:15, อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการกระตุ้น 30 นาที		- อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส - เวลา 2 ชั่วโมง
---	---	--	---

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการนำเบนโทไนท์ดิบไปล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วผ่านตะแกรง 200 เมช ทำให้ได้ดินกัมมันต์ที่มีความสามารถในการฟอกสีน้ำมันได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทำการทดลองเตรียมดินกัมมันต์ที่กระตุ้นในสภาวะต่าง ๆ จะใช้วัตถุดิบเป็นดินเบนโทไนท์ดิบที่ผ่านการล้าง และผ่านตะแกรง 200 เมชในทุก ๆ การทดลองตามขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยในข้อ 3.4.1

4.2 การทดสอบฟอกจางสีน้ำมันด้วยดินกัมมันต์

หลังจากที่ทำการเตรียมดินกัมมันต์ตามขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยข้อ 3.4.2 เรียบร้อยแล้วจะนำดินกัมมันต์ไปทำการทดลองฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสตามขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยในข้อ 3.4.3 โดยตัวอย่างการฟอกสีน้ำมันแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดค่าเวลาในการกระตุ้นให้คงที่ และเปลี่ยนค่าอัตราส่วนโดยมวล น้ำมันที่สีที่สุดคือขวดที่มาจากการกระตุ้นในสภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:1 เวลา 0.5 ชั่วโมง แสดงว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการฟอกสีน้ำมันคือ อัตราส่วนโดยมวล 1:1



รูปที่ 12 น้ำมันไพโรไลซิส (a) และน้ำมันไพโรไลซิสที่ฟอกสีด้วยดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ ดังนี้ (b) อัตราส่วน 1:1 เวลา 0.5 ชั่วโมง, (c) อัตราส่วน 1:5 เวลา 0.5 ชั่วโมง, (d) อัตราส่วน 1:10 เวลา 0.5 ชั่วโมง

4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของดินกัมมันต์

หลักจากการทำการกระตุ้นดินเบนโทไนท์แล้วจะนำดินกัมมันต์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินกัมมันต์ที่กระตุ้นในสภาวะต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) ซึ่งแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ

Activate Bentonite	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)
1:1/0.5 hr	74.89	0.886	13.40	1.181	0.22	0.30	0.87	0.01	0.004	0.033	8.20
1:1/1 hr	76.53	0.877	12.41	1.117	0.24	0.29	0.86	0.03	0.003	0.035	7.60
1:1/2 hr	75.73	0.907	11.65	1.604	0.17	0.25	0.80	0.02	0.004	0.037	8.81
1:5/0.5 hr	84.04	0.974	7.02	1.460	0.11	0.16	0.56	0.03	0.002	0.034	5.58
1:5/1 hr	81.06	0.925	7.26	2.915	0.05	0.13	0.57	0.02	0.002	0.048	6.89
1:5/2 hr	81.06	0.954	6.40	3.485	0.09	0.11	0.51	0.01	0.003	0.038	7.24
1:10/0.5 hr	84.89	0.983	6.02	2.061	0.10	0.14	0.50	0.01	0.003	0.042	5.22
1:10/1 hr	81.07	0.943	7.38	2.678	0.11	0.16	0.55	0.01	0.002	0.036	6.99
1:10/2 hr	85.10	0.986	5.34	2.422	0.09	0.17	0.44	0.08	0.001	0.037	5.26

ค่าออกไซด์ของโลหะเช่น Fe₂O₃ ในดินเบนโทไนท์ดิบ เท่ากับ 7.549% และค่าของ Al₂O₃ ในดินเบนโทไนท์ดิบเท่ากับ 17.01% ซึ่งค่าจากตารางที่ 6 ค่าของ Fe₂O₃ และ Al₂O₃ มีค่าลดลงจากเบนโทไนท์ดิบค่อนข้างมากแสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นด้วยกรดจะทำการดึงออกไซด์ของโลหะออกจากโครงสร้างของดินเบนโทไนท์ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินทำให้เบนโทไนท์มีรูพรุนที่มากขึ้น

จากการทดลองพอกสีน้ำมันพบว่าสภาวะอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:1 ซึ่งจากการสังเกตค่าจากตารางที่ 6 จะพบว่าที่อัตราส่วน 1:1 มีปริมาณออกไซด์ของโลหะเช่น Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO และ MgO ที่น้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ แสดงว่าอัตราส่วน 1:1 จะมีการดึงออกไซด์ของโลหะออกมามากที่สุด

4.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของดินกัมมันต์

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของดินกัมมันต์แสดงในตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าในสภาวะการกระตุ้นดินกัมมันต์อัตราส่วนมวล 1:1 ให้ค่าพื้นที่ผิวที่มากที่สุด ซึ่งถ้าดินกัมมันต์ยังมีค่าพื้นที่ผิวมากจะส่งผลให้ความสามารถในการพอกสีสูงเพราะว่าการพอกสีเกิดจากการดูดซับสิ่งเจือปนต่าง ๆ ผ่านตำแหน่งกัมมันต์ (Active site) บนพื้นที่ผิวของดินกัมมันต์ ดังนั้นเมื่อดินกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีตำแหน่งกัมมันต์มากส่งผลให้สามารถดูดซับสิ่งเจือปนได้มาก ดินกัมมันต์จึงมีความสามารถในการพอกสีที่สูง ซึ่งค่าของพื้นที่ผิวที่ได้มีความสอดคล้องกับ

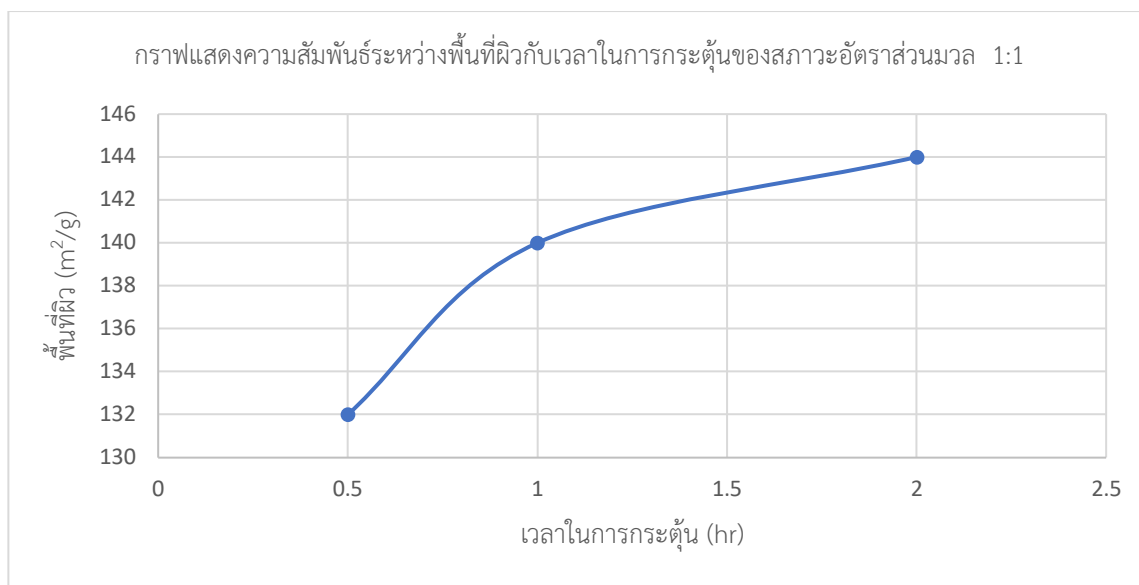
การทดลองฟอกสีจริงแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งในงานวิจัยนี้ดินกัมมันต์ที่ฟอกสีได้ดีที่สุดถูกกระตุ้นในสภาวะอัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีพื้นที่ผิวสูงสุด คือ 144 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าดินเบนโทไนท์ดิบมากซึ่งมีค่า 71 ตารางเมตร/กรัม

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว และรูพรุนของดินกัมมันต์สภาวะต่าง ๆ

Activate Bentonite	Bentonite (g)	Acid (g)	Surface Area (m ² /g) P/P0 = 0.05-0.30	Pore Volume (cm ³ /g) P/P0 = 0.99	Average Pore Size (Å) 4V/A by BET
1:1/0.5 hr	5	5	132	0.255	77
1:1/1 hr	5	5	140	0.283	81
1:1/2 hr	5	5	144	0.312	87
1:5/0.5 hr	5	25	112	0.323	115
1:5/1 hr	5	25	112	0.327	117
1:5/2 hr	5	25	121	0.332	110
1:10/0.5 hr	5	50	104	0.313	120
1:10/1 hr	5	50	103	0.296	114
1:10/2 hr	5	50	101	0.322	127

จากนั้นทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวกับเวลาในการกระตุ้นของสภาวะอัตราส่วนมวล 1:1 เพื่อสังเกตแนวโน้มของความสามารถในการฟอกสีของดินกัมมันต์ต่อเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นดินกัมมันต์ และเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้น ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการกระตุ้นดินกัมมันต์คืออัตราส่วนโดยมวล 1:1 และเวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง ซึ่งความสามารถในการฟอกสีที่ได้มีความใกล้เคียงกับดินกัมมันต์ที่กระตุ้นในเวลาการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงเลือกที่จะใช้สภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:1 และเวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง เพราะว่ามีความสามารถในการฟอกสีที่ดีใกล้เคียงกับสภาวะ 2 ชั่วโมง แต่ใช้เวลาในการเตรียมที่น้อยกว่าค่อนข้างมากจึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงมากกว่า



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวกับเวลาในการกระตุ้นของสภาวะอัตราส่วนมวล 1:1

ผลการวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนพบว่าเมื่อกระตุ้นเบนโทไนท์ด้วยอัตราส่วนที่มากขึ้นจะทำให้เบนโทไนท์มีขนาดของรูพรุนใหญ่ขึ้น จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อกระตุ้นเบนโทไนท์ด้วยอัตราส่วนที่มากขึ้นไปจะทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างที่สำคัญของเบนโทไนท์สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของขนาดรูพรุน และการลดลงของพื้นที่ผิว

4.5 สีของดินกัมมันต์

ดินกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นในทุกสภาวะได้จะแสดงตามรูปที่ 14 โดยจะสังเกตได้ว่าดินกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นในสภาวะที่ต่างกันจะมีสีที่แตกต่างกัน เพราะว่าการกระตุ้นด้วยกรดนั้นจะทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และองค์ประกอบของดินเบนโทไนท์ด้วยการดึงแคตไอออนออกจากดินเบนโทไนท์ เช่น ไอออน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งประจุบวกมีสีเหลือง ดังนั้นเมื่อทำการกระตุ้นดินเบนโทไนท์ในสภาวะที่ต่างกันจะทำให้ดินกัมมันต์ในแต่ละสภาวะการกระตุ้นมีสีของดินที่แตกต่างกันโดยดินกัมมันต์ที่มีสีเหลืองจะมีองค์ประกอบของเหล็กเหลืออยู่มากกว่าส่วนดินกัมมันต์ที่มีสีขาวยจะมีองค์ประกอบของเหล็กเหลือน้อยกว่า

จากการสังเกตผลการทดลอง และสีของดินกัมมันต์ในรูปที่ 14 จะเห็นว่าดินกัมมันต์ที่มีสีขาวยจะสามารถฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสได้ดีกว่าดินกัมมันต์ที่มีสีเหลือง แสดงว่าดินกัมมันต์ที่มีไอออน (III) ออกไซด์น้อยจะมีความสามารถในการฟอกสีน้ำมันสูง



รูปที่ 14 ดินกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นในสภาวะต่าง ๆ

4.6 ผลของการฟอกสีน้ำมันเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

จากการทดลองฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสด้วยดินกัมมันต์กระตุ้นในสภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:1 และเวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ จากรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ถูกฟอกสีด้วยสภาวะที่ดีที่สุดมีสีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าดินกัมมันต์ในสภาวะดังกล่าวมีความสามารถในการฟอกสีที่ดี และสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมการฟอกสีน้ำมันได้จริง



รูปที่ 15 ผลการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสด้วยดินกัมมันต์สภาวะที่ดีที่สุดเทียบกับน้ำมันดีเซล

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เบนโทไนท์เป็นดินที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงเพราะมีพื้นที่ผิวและรูพรุนมาก สามารถนำมาใช้กับการฟอกสีน้ำมันได้ดีโดยเฉพาะการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งเป็นน้ำมันที่จะมีสีเข้มโดยเมื่อฟอกสีเรียบร้อยแล้วน้ำมันที่ได้จะมีสีใสและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการฟอกจางสีน้ำมันไพโรไลซิสคืออัตราส่วนโดยมวล 1:1 เวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมงซึ่งมีค่าพื้นที่ผิว 140 ตารางเมตร/กรัม

จากผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวพบว่าความสามารถในการฟอกสีแปรผันตามค่าพื้นที่ผิว และจากการวิเคราะห์หองค์ประกอบพบว่าการกระตุ้นด้วยกรดจะดึงองค์ประกอบประเภทโลหะออกจากโครงสร้างของเบนโทไนท์ เช่น Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO และ MgO

จากการทดลองฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสด้วยดินกัมมันต์ที่กระตุ้นในสภาวะอัตราส่วนโดยมวล 1:1 เวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง พบว่าสีของน้ำมันที่ฟอกสีได้มีสีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาได้หลายทาง เช่น การเพิ่มตัวแปรสภาวะในการศึกษา, การเปลี่ยนชนิดของกรดที่ใช้ในการกระตุ้น, การใช้เบสในการกระตุ้น และการศึกษาสภาวะในการฟอกสีเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังสามารถนำดินกัมมันต์ไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพอื่นๆได้อีกนอกจากการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส เช่น การฟอกสีน้ำมันพืช และการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สารานุกรมเบนโทไนท์สำหรับงานวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม[online]. Available from : http://www.eeat.or.th/document/EEAT_Bentonite%20Encyclopedia_on%20Web.pdf [2019, April 20]
- [2] ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น และสมบัติทางเคมีของแร่ดินเหนียว [online]. Available from : mis.agri.cmu.ac.th [2019, April 20]
- [3] เทคโนโลยีในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก (Pyrolysis) [online]. Available from : <http://www.smithpower.co.th/pyrolysis-machine/> [2019, April 20]
- [4] น้ำมันเชื้อเพลิงผลิตจากขยะพลาสติก [online]. Available from : http://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/oct2559-1.pdf [2019, April 20]
- [5] การศึกษาวิจัยวิธีการวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยดินเบนโทไนท์ [online]. Available from : http://lib3.dss.go.th/fulltext/Vichakran/vichakran_cird_0013.pdf [2019, April 20]
- [6] มารู้อักน้ำมันเชื้อเพลิง [online]. Available from : <https://www.scimath.org/articlescience/item/7473-2017-09-08-03-40-23> [2019, April 20]
- [7] ระบบเชื้อเพลิง และน้ำมัน [online]. Available from : <https://www.checkraka.com/knowledge/รถยนต์ใหม่-14-158/ข้อมูลความรู้/ระบบเชื้อเพลิง-และน้ำมัน-1584177/> [2019, April 20]
- [8] กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [online]. Available from : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> [2019, April 20]
- [9] การปรับปรุงคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ตอนที่ 2 กระบวนการดูดซับ [online] Available from https://www.วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ.com/บทความวารสารความปลอดภัย%20561/บทความ%20อ.ปราโมท/2436_กระบวนการดูดซับ.pdf [2019, April 20]

- [10] Shiva Salem, Amin Salem, Aylin Agha Babaei., Preparation and characterization of nano porous bentonite for regeneration of semi-treated waste engine oil: Applied aspects for enhanced recovery. *Chemical engineering Journal* 260 (2015) 368-376
- [11] Shiva Salem, Amin Salem, Aylin Agha Babaei., Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques. *Chemical engineering Journal* 23 (2015) 154-162
- [12] Müşerref Önal , Yüksel Sarıkaya.,Preparation and characterization of acid- activated bentonite powders. *Powder Technology* 172 (2007) 14-18
- [13] Wu Zhansheng, LI Chun, SUN Xifang, XU Xiaolin, DAI Bin, LI Jin'e and ZHAO Hongsheng., Characterization, Acid Activation and Bleaching Performance of Bentonite form Xinjiang. *Chinese J. Chem. Eng.*, 14(2) (2006) 253-258
- [14] Supattra Budsareechai, Khanita Kamwialisak and Yuvarat Ngernyen., Adsorption of lead, cadmium and copper on natural and acid activated bentonite clay. *KKU Res. J.* 17(5) (2012) 800-810
- [15] Chakroun S, Herchi M, Mechti W, Mohamed Essghaier Gaied . Acid activation of upper Eocene Ca-bentonite for soybean oil clarification. *Environ Sci Pollut Res* (2017) 24 : 22557-22569