บทที่ 4

ผลการทดลอง และ วิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันหม้อแปลงใหม่และน้ำมันหม้อแปลงเก่าที่เสื่อมสภาพแล้ว

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย อินฟราเรด

ได้อินฟราเรดสเปคตรัมของน้ำมันหม้อแปลงเก่าและใหม่ ดังรูปที่ ก 1 และ ก 2 ซึ่งไม่สามารถใช้อธิบายองค์ประกอบในน้ำมันหม้อแปลงได้เนื่องจากปรากฏเฉพาะยอด (PEAK) ของ CH_3 CH_2 ของอัลเคนเท่านั้น ซึ่งเป็น ยอด เด่นบดบัง ยอด ขององค์ประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในปริมาณน้อย

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความร้อน (THERMAL ANALYSIS)

ได้ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันในรูปปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และอื่นๆ ดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า น้ำมันหม้อแปลงเก่ามีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจนน้อยกว่าที่มีในน้ำมันหม้อแปลงใหม่ ส่วนปริมาณ ออกซิเจน มีเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเธน และ กรดอินทรีย์ ตามทฤษฎี การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลงซึ่งมีสาเหตุมาจากความเครียดทางไฟฟ้า หรืออาจเกิดการอ๊าค (ARC) ระหว่างตัวนำ ก๊าซที่เกิดจะเป็นสารอัลไคน์ โดยเฉพาะอะเซทิลีน (ACETYLENE) ควบคู่กับ ก๊าซไฮโดรเจน หรืออาจเสื่อมสภาพเนื่องจากความเครียดทางความร้อน (THERMAL STRESS) เกิด จุดร้อน ในน้ำมันได้ก๊าซไฮโดรเจน และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่เป็น อัลคีนส์
จากผลวิเคราะห์นี้ สอดคล้องกับทฤษฎีการเสื่อมสภาพของน้ำมัน คือปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนลดลงส่วนปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเกิดสารผลิตภัณฑ์ใดขึ้นในขณะใช้งาน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันหม้อแปลงเก่าและใหม่

ตัวอย่าง	คาร์บอน %	ไฮโดรเจน %	ไนโตรเจน %	ออกซิเจนและสารอื่น %
น้ำมันหม้อแปลงใหม่	85.50	12.70	0.82	0.61
น้ำมันหม้อแปลงเก่า	85.17	12.48	0.62	1.73

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS

ผลวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงใหม่และเก่า ปรากฏในรูปที่ ก 3 และ ก 4 ในภาคผนวก ก เนื่องจากเครื่อง GC-MS ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีความยาวของคอลัมน์เพียง30 เมตร จึงไม่สามารถแยกองค์ประกอบออกจากกันได้ชัดเจน ควรใช้คอลัมน์ที่มีความยาวอย่างน้อย 100 เมตรจาก โครมาโตรแกรม สำหรับน้ำมันใหม่มีเพียง 1 ยอดเท่านั้นที่สามารถระบุชนิดของสารองค์ประกอบที่น่าจะเป็น คือ 2 , 4 , 6 - ไตรไอโซโปรปิลฟีนอล (2 , 4 , 6-TRI-ISOPROPYL-PHENOL) และ 6-เมธิล-2,4-ไดเทอเทียรีบิวทิวฟีนอล (6-METHYL-2,4-DI-TERT-BUTYL-PHENOL ซึ่งใกล้เคียงกับ สารต้านทานการออกซิเดชันที่ใช้เติมในน้ำมันหม้อแปลง คือ ดีบีพีซี (2 , 6-DI-TERT-BUTYL PARA CRESOL) ส่วน ยอดอื่นๆไม่สามารถอธิบายได้ เนื่องจาก ค่าฐาน (BACKGROUND) สูงมากจนไม่สามารถนำมาลบได้

กรณีน้ำมันเก่า พบว่ามีสารองค์ประกอบ ได้แก่

1) 2-N-BUTYL8-N- HEXYLDECAHYDRONAPHTHALENE
2) CYCLOHEXANONE , 2 , 5-DIMETHYL-2-(1-METHYL)
3) TETRADECANE
4) HEPTADECANE , 2 , 6 , 10 , 15- TETRAMETHYL-

จากผลวิเคราะห์โดย GC-MS ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่า มีสารผลิตภัณฑ์อะไรเกิดขึ้นขณะใช้งาน แต่อาจสรุปได้ว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันหม้อแปลงน่าจะเป็นเตตระเดเคน (TETRADECANE) มี DBPC เป็นสารต้านทานการออกซิเดชัน

4.2 การทดลองใช้ ดินกัมมันต์ และ เถ้าลอยลิกไนต์ เพื่อปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้องปฏิบัติการ (จากหัวข้อ 3.2)

4.2.1 วิจารณ์ผลการใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าหนักและ ดินกัมมันต์ ในการดูดซับแบบกระบวนการสัมผัส

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4. 2 และรูปที่ ก 5 ถึง ก 7

ตารางที่ 4.2 ผลการใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าหนักและ ดินกัมมันต์ ในการดูดซับแบบกระบวนการสัมผัส

รายการทดสอบ / สารดูดซับ	แรงตึงผิว (Dynes/cm)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15°C.)	DBV (kV)	ปริมาณความชื้น (ppm)	สี
น้ำมันก่อนดูดซับ	34.3	0.89	20.0	43.6	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : เถ้าลอย 0.25 kg.	38.2	0.89	26.2	40.8	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : เถ้าหนัก 0.25 kg.	30.5	0.89	21.4	36.8	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : ดินกัมมันต์ 0.25 kg.	31.9	0.89	38.4	44.8	2.0
มาตรฐาน IEEE	≥ 35	≤ 0.91	≥ 30	≤ 35	≤ 1.5

สรุปผลได้ดังนี้

1. เถ้าลอยลิกไนต์ ทำให้น้ำมันมีแรงตึงผิว และ DBV สูงขึ้น แต่ค่า DBV ยังไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐานและความ ชื้นลดลง
2. เถ้าหนัก ไม่ได้ทำให้คุณสมบัติต่างๆดีขึ้น เหตุผลที่นำเถ้าหนักมาทดลอง เนื่องจากมีองค์ประกอบใกล้เคียงดินกัมมันต์แต่อนุภาคมีขนาดใหญ่ ทำให้การแยกเถ้าหนักออกจากน้ำมันหม้อแปลง โดยวิธีทิ้งให้ตกตะกอนเป็นไปได้ง่าย และไม่เกิดปัญหาอุดตันไส้กรอง

I 19928758

3. ดินกัมมันต์ สามารถทำให้น้ำมันมีค่า DBV เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

เนื่องจากเป็นการกวนในระบบเปิด อากาศและความชื้นจากภายนอก จึงสามารถเข้าสู่ระบบได้ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะกวนอยู่ตลอดเวลา สารดูดซับอาจถึงสภาวะสมดุล ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน

4.2.2 วิจารณ์ผลการใช้ ดินกัมมันต์ และ เถ้าลอยลิกไนต์ในการดูดซับโดยเติม สารต้านทานการออกซิเดชัน 0.1%

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.3 และรูปที่ ก 8 ถึง ก 10

ตารางที่ 4.3 ผลการใช้ ดินกัมมันต์ และ เถ้าลอยลิกไนต์ในการดูดซับโดยเติม สารต้านทานการออกซิเดชัน 0.1%

รายการทดสอบ / สารดูดซับ	แรงตึงผิว (Dynes/cm)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15°C)	DBV (kV)	ปริมาณความชื้น (ppm)	สี
น้ำมันก่อนดูดซับ	37.0	0.89	25.8	32.2	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : เถ้าลอย 0.25 kg.	37.8	0.89	31.2	25.3	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : เถ้าหนัก 0.25 kg.	37.9	0.89	22.6	25.7	2.0
น้ำมัน 2 ลิตร : ดินกัมมันต์ 0.25 kg.	47.1	0.89	27.6	32.3	1.5
มาตรฐาน IEEE	**≥35**	**≤0.91**	**≥30**	**≤35**	**≤1.5**

สรุปผลได้ดังนี้

1. เถ้าลอยสามารถทำให้ค่า DBV สูงขึ้นและความชื้นลดลงอย่างชัดเจน ส่วนค่า แรงตึงผิว ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ
2. เถ้าหนัก ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงให้ดีขึ้นได้
3. ดินกัมมันต์ สามารถทำให้น้ำมันมี ค่า แรงตึงผิวสูงขึ้น ส่วนค่า DBV และความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

การทดลองนี้มีการเติมสารต้านทานการออกซิเดชันเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ความคาดหวังในการออกแบบการทดลองนี้เพื่อให้น้ำมันมีคุณภาพดีขึ้นและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ IEEE แต่ผลจากการทดลองกวนแบบกระบวนการสัมผัสนี้ไม่ทำให้คุณภาพของน้ำมันดีขึ้นมากนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากเป็นการกวนในระบบเปิดและควรใช้สารดูดซับชนิดที่เป็นผงซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก

4.3 การทดลองใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ และ ดินกัมมันต์ เพื่อปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน

4.3.1 วิจารณ์ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงด้วย เถ้าลอย ดินกัมมันต์ และ คาร์บอนกัมมันต์

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.4 และรูปที่ ก 11 ถึง ก 14

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงด้วย เถ้าลอย ดินกัมมันต์ และ คาร์บอนกัมมันต์

รายการทดสอบ	ก่อนปรับปรุงสภาพ	หลังปรับปรุงสภาพ			มาตรฐาน IEEE
		ดินกัมมันต์	เถ้าลอย	คาร์บอน	
1. ความนำไฟฟ้าที่ 25° C. (s/m)	1.6×10^{-14}	9.5×10^{-15}	9.2×10^{-15}	1.2×10^{-14}	$\leq 1\times10^{-13}$
2. ความนำไฟฟ้าที่ 90° C. (s/m)	3.4×10^{-12}	1.1×10^{-13}	3.5×10^{-13}	1.3×10^{-13}	$\leq 1\times10^{-12}$
3. แรงตึงผิว (Dynes/cm.)	23	42	40	34	≥ 35
4. สี	1.5	1.5	1.5	1.5	≤ 1.5
5. ปริมาณความชื้น (ppm.)	21	19	17	15	≤ 35
6. DBV (kV.)	41	47	46	46	≥ 30
7. เพาเวอร์แฟคเตอร์ ที่ 60 Hz, 100° C. (%)	0.954	0.579	0.550	0.693	≤ 1.0

สรุปผลได้ดังนี้

เถ้าลอย ดินกัมมันต์ และ คาร์บอนกัมมันต์ สามารถปรับปรุงลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลง ให้ดีขึ้นได้มาตรฐาน IEEE

4.3.2 วิจารณ์ผล (จากหัวข้อ 3.3.2) การปรับสภาพน้ำมันปริมาณ 3,500 ลิตร ผ่านถังดูดซับซึ่งบรรจุเถ้า ลอย 400 กิโลกรัมโดยกรองแบบไหลวนกลับ 3 รอบน้ำมัน

การทดลองที่ 3.3.2 นี้ เป็นการทดลองเสริมต่อจากการทดลองที่ 3.3.1 โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.5 และรูปที่ ก 15

ตารางที่ 4.5 การปรับสภาพน้ำมันปริมาณ 3,500 ลิตร ผ่านถังดูดซับซึ่งบรรจุเถ้าลอย 400 กิโลกรัม โดยกรองแบบไหลวนกลับ 3 รอบน้ำมัน

รายการทดสอบ	ก่อนปรับปรุงสภาพ	หลังปรับปรุงสภาพ	มาตรฐาน IEEE
1. ความนำไฟฟ้า ที่ 25° C. (S/m)	$1.8x10^{-14}$	$8.3X10^{-15}$	$\leq 1X10^{-13}$
2. ความนำไฟฟ้า ที่ 90° C. (S/m)	$2.6x10^{-13}$	$1.3X10^{-13}$	$\leq 1X10^{-12}$
3. แรงตึงผิว (Dynes/cm)	30	34	≥ 35
4. สี	1.5	1.5	≤ 1.5
5. ปริมาณความชื้น (ppm.)	45.9	10.3	≤ 35
6. DBV (kV)	19.6	51.0	≥ 30
7. เพาเวอร์แฟคเตอร์ ที่ 60 Hz, 100° C. (%)	0.699	0.418	≤ 1.0

สรุปผลได้ดังนี้

คุณสมบัติของน้ำมันหลังผ่านเถ้าลอยดีขึ้นอยู่ในมาตรฐาน IEEE ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันต่อเถ้าลอย จาก 200 ลิตรต่อ 5 กิโลกรัม เป็น200 ลิตรต่อ 23 กิโลกรัม

4.3.3 วิจารณ์ผล (จากหัวข้อ 3.3.3) ผลของการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงเก่าโดยใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆกัน

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.6 และรูปที่ ก 16 ถึง ก 19

ตารางที่ 4.6 ผลของการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงเก่าโดยใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆกัน

รายการทดสอบ / ปริมาณสารดูดซับ	แรงตึงผิว (Dynes/cm)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15°C.)	DBV (kV)	เพาเวอร์แฟคเตอร์ @ 60 Hz, 100 °C	ปริมาณความชื้น (ppm)	สี
น้ำมันก่อนดูดซับ	36.0	0.89	29.0	0.862	13.0	2.0
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 5 kg.	38.4	0.89	32.8	0.74	13.0	0.5
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 10 kg.	37.2	0.89	53.8	0.724	10.0	0.5
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 15 kg.	44.1	0.89	52.8	0.629	10.9	0.5
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 20 kg.	40.0	0.89	43.0	0.641	12.5	0.5
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 25 kg.	42.8	0.89	45.4	0.806	10.3	0.5
น้ำมัน 200 ลิตร : เถ้าลอย 30 kg.	45.3	0.89	46.0	0.709	11.7	0.5
มาตรฐาน IEEE	**≥ 35**	**≤ 0.91**	**≥ 30**	**≤1.0**	**≤35**	**≤ 1.5**

สรุปผลได้ดังนี้

ที่อัตราส่วนน้ำมันหม้อแปลงต่อ เถ้าลอย 200 ต่อ 10 , 200 ต่อ 15 , 200 ต่อ 25 และ 200 ต่อ 30 น้ำมันที่กรองได้มีลักษณะสมบัติดีขึ้นได้มาตรฐาน IEEE ส่วนที่อัตราส่วน 200 ต่อ 5 และ 200 ต่อ 20 กิโลกรัม น้ำมันมีความชื้นสูง และมีผลทำให้ค่าทางไฟฟ้าคือ แรงตึงผิว และ DBV ต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเก็บตัวอย่างไม่ดี ได้ทำการทดลองที่อัตราส่วนดังกล่าวใหม่ พบว่าลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงได้มาตรฐาน IEEE โดยสรุปที่อัตราส่วน 200 ต่อ 15 จน

ถึงอัตราส่วน 200 ต่อ 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้ เถ้าลอยลิกไนต์

4.3.4 วิจารณ์ผล (จากหัวข้อ 3.3.4) ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่าน ถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่ง บรรจุ เถ้าลอย 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยกรองแบบไหลผ่านครั้งเดียว

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.7 และรูปที่ ก 20 ถึง ก 22

ตารางที่ 4.7 ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่าน ถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่ง บรรจุ เถ้าลอย 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยกรองแบบไหลผ่านครั้งเดียว

รายการทดสอบ / เวลาหลังกรอง (นาที)	แรงตึงผิว (Dynes/cm.)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15° C)	DBV (kV)	ปริมาณความชื้น (ppm)	สี
น้ำมันก่อนการดูดซับ	34.3	0.89	29.7	43.6	2.0
10	39.5	0.89	38.9	30.0	2.0
20	43.4	0.89	41.9	31.5	2.0
30	42.2	0.89	39.4	30.4	2.0
45	43.3	0.89	47.3	32.5	2.0
60	43.1	0.89	42.8	34.8	2.0
80	40.3	0.89	39.7	34.5	2.0
มาตรฐาน IEEE	**≥35**	**≤0.91**	**≥30**	**≤35**	**≤1.5**

สรุปผลได้ดังนี้

จากการกรองแบบไหลผ่านครั้งเดียว (ONCE THROUGH) พบว่าในช่วง 80 นาทีที่ทำการกรอง ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันหม้อแปลงอยู่ในมาตรฐาน IEEE

4.3.5 วิจารณ์ผล (จากหัวข้อ 3.3.5) ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่งบรรจุ ดินกัมมันต์ 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยกรองแบบ ผ่านครั้งเดียว

จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.8 และรูปที่ ก 23 ถึง ก 25

ตารางที่ 4.8 ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่งบรรจุ ดินกัมมันต์ 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยกรองแบบ ผ่านครั้งเดียว

รายการทดสอบ / เวลาหลังกรอง (ช.ม.)	แรงตึงผิว (Dynes/cm.)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15° C)	DBV (kV)	ปริมาณความชื้น (ppm)	สี
น้ำมันก่อนการดูดซับ	29.9	0.88	23.4	30.3	1.5
0.5	41.3	0.88	30.4	86.5	1.0
1.0	36.9	0.88	26.6	73.3	1.0
1.5	39.9	0.88	50.0	81.8	1.0
2.0	36.2	0.88	48.0	75.7	1.0
2.5	39.7	0.88	26.2	74.1	1.0
3.0	39.7	0.88	26.2	74.1	1.0
มาตรฐาน IEEE	**≥35**	**≤0.91**	**≥30**	**≤35**	**≤1.5**

สรุปผลได้ดังนี้

น้ำมันหม้อแปลงหลังกรองผ่าน ดินกัมมันต์ แล้ว ค่าแรงตึงผิวสูงขึ้น และอยู่ในมาตรฐาน IEEE ส่วนค่า DBV สูงขึ้นในระยะแรก จนหลังนาทีที่ 45 ค่า DBV จึงลดต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นจุดที่สารดูดซับถึงจุดอิ่มตัว ในขณะที่ความชื้นในน้ำมันหลังผ่านสารดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากใน ดินกัมมันต์ มีความชื้นอยู่ภายในสูง ต้องทำการอบให้แห้งก่อนใช้งาน แต่ดินกัมมันต์ ยังสามารถดูดซับสารมลทินอื่นๆ ในน้ำมันหม้อแปลง ทำให้ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าดีขึ้น และให้สีที่ดีขึ้น

จากการทดลองนี้พบว่า ดินกัมมันต์ 50 กิโลกรัม สามารถใช้กรองน้ำมันหม้อแปลงได้นานประมาณ 2 ชั่วโมง ที่อัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง ดังนั้น การไหลผ่านแบบครั้งเดียวสามารถกรองน้ำมันได้ประมาณ 700 ลิตร

4.3.6 วิจารณ์ผล (จากหัวข้อ 3.3.6) ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่งบรรจุ เถ้าลอย 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยไหลแบบผ่านครั้งเดียว จากผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.9 และรูปที่ ก 26 ถึง ก 28

ตารางที่ 4.9 ผลการดูดซับที่เวลาต่างๆหลังกรองน้ำมันหม้อแปลงผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่น ซึ่งบรรจุ เถ้าลอย 50 kg. ด้วยอัตราการไหล 350 ลิตร ต่อชั่วโมง โดยไหลแบบผ่านครั้งเดียว

รายการทดสอบ / เวลาหลังการกรอง(ช.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ (15/15° C)	แรงตึงผิว (Dynes/cm.)	DBV (kV)	ปริมาณความชื้น (ppm)	ค่าการสะเทินกรด (mg KOH/g)	สี	ความนำไฟฟ้า (S/cm) @25°C	ความนำไฟฟ้า (S/cm) @90°C	เพาเวอร์แฟคเตอร์ ที่ 60Hz, 100°C(%)
น้ำมันก่อนการดูดซับ	0.88	29.9	23.4	30.3	*Trace	1.5	3.6×10^{-15}	5.3×10^{-14}	0.184
0.5	0.88	40.0	38.6	39.0	Trace	1.5	3.4×10^{-15}	3.7×10^{-14}	0.115
1.0	0.88	40.1	36.6	46.8	Trace	1.5	3.5×10^{-15}	4.2×10^{-14}	0.176
1.5	0.88	42.5	34.2	34.5	Trace	1.5	3.4×10^{-15}	4.3×10^{-14}	0.180
2.0	0.88	42.8	36.4	33.3	Trace	1.5	3.4×10^{-15}	4.4×10^{-14}	0.272
2.5	0.88	43.8	46.0	25.3	Trace	1.5	3.5×10^{-15}	3.1×10^{-14}	0.202
3.0	0.88	41.7	38.2	23.4	Trace	1.5	3.5×10^{-15}	2.9×10^{-14}	0.279
3.5	0.88	41.3	27.8	22.0	Trace	1.5	3.3×10^{-15}	4.5×10^{-14}	0.316
มาตรฐาน IEEE	**≤ 0.91**	**≥ 35**	**≥ 30**	**≤ 35**	**≤ 0.05**	**≤ 1.50**	**$<1\times10^{-13}$**	**$<1\times10^{-12}$**	**≤ 1.0**

- Trace หมายถึงค่าสะเทินกรด (Neutralization number) น้อยกว่า 0.005 mg KOH / g

สรุปผลได้ดังนี้

ค่าแรงตึงผิวสูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่า DBV จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุด ในชั่วโมงที่ 3 แล้วลดต่ำลงจนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่เวลา 3.5 ชั่วโมง ดังนั้น การไหลผ่านแบบครั้งเดียว สามารถกรองน้ำมันได้ประมาณ 1,000 ลิตร ต่อปริมาณ เถ้าลอย 50 กิโลกรัม ส่วนค่าความนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเล็กน้อย และค่าความสูญเสียทางฉนวนค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ปริมาณความชื้นในระยะแรกมีค่าสูงผิดปกติอาจเนื่องจากการผนึกปากขวดขณะเก็บตัวอย่างไม่ดีทำให้ความชื้นจากอากาศภายนอกเข้าไปในน้ำมันได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นในน้ำมันลดลงอยู่ในพิกัดมาตรฐานแม้ระยะเวลาผ่านไป 3.5 ชั่วโมง

4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงระหว่างการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ และ ดินกัมมันต์

ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงจำนวน 35,000 ลิตร คำนวณจาก

4..1.1 ค่าแรง ค่าล่วงเวลา ค่าที่พัก และค่าเบี้ยเลี้ยงเดินทางของพนักงาน

ค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะเปลี่ยนไปตามประเภทของผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่ วิศวกร หัวหน้างาน และผู้ชำนาญงาน นำมารวมกันเฉลี่ยต่อคนต่อวัน ในที่นี้คิดระยะเวลาปฏิบัติงานต่อเนื่อง 7 วัน

4.1.2 ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์

คิดค่าเสื่อมราคาเฉพาะชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลง และถังเก็บน้ำมันโดยประเมินอายุการใช้งาน 5 ปี

4.1.3 ค่าวัสดุ ได้แก่ ค่ากาสเก็ตและซีลต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า ดินกัมมันต์ ไส้กรอง น้ำยาทำความสะอาด ผ้าดิบ ถุงมือ เข็มขัดรัดสาย รวมทั้งอะไหล่สำรอง

4.1.4 ค่ายานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์นั่ง และรถบรรทุกที่จำเป็นในการขนส่งพนักงานและเครื่องจักร กรณีที่ต้องออกไปปรับสภาพน้ำมันนอกฐานที่ตั้ง

4.1.5 ค่าอำนวยการ คือ ค่าใช้จ่ายอื่นๆในการปฏิบัติงาน ได้แก่ ค่าติดต่อสื่อสาร ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ

4.1.6 ค่าทดสอบลักษณะสมบัติของน้ำมัน

รายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในเขตปฏิบัติการนครหลวง โดยใช้ดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ ปรากฏอยู่ในตารางที่ 10 และ 11

ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในงานปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงด้วยดินกัมมันต์ {หม้อแปลง 40MVA, 115 -22KV}

รายการ	อัตราวันละ(บาท)	จำนวนคน	จำนวนวัน	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. พนักงาน				
1.1 แรงงาน คน-วัน (MAN-DAY)	2,702	7	7	132,398.00
1.2 ล่วงเวลา	% ของ 1.1	30.00 %		39,719.40
1.3 เบี้ยเลี้ยง	220			
1.4 ที่พัก	350			
1.5 ค่าวิศวกรรมและผู้ชำนาญ	% ของ 1.1			
			รวม 1	*172,117.40*
2. ยานพาหนะ				
2.1 รถนั่ง	2,500			
2.2 รถบรรทุก	3,500			
			รวม 2	
3. เครื่องจักร และ อุปกรณ์				
3.1 ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน 6000 L/H	2,000			
3.2 ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน 12000 L/H	3,300	1	7	23,100.00
3.3 ถังเก็บน้ำมัน	300	1	7	2,100.00
3.4 รถเครน 16 ตัน	8,300			
3.5 รถเครน 60 ตัน	26,000			
3.6 รถเครน 80 ตัน	37,300			
3.7 เครื่องมือย่อย	1,000			1,000.00
			รวม 3	*26,200.00*
4. วัสดุ				
4.1 กาสเก็ตและซีล(GASKET & SEAL)	20,000			20,000.00
4.2 น้ำมันหม้อแปลง				
4.3 ดินกัมมันต์	78,000			78,000.0
4.4 ไส้กรอง	30,000			30,000.00
4.5 เบ็ดเตล็ด (ถุงมือ& ผ้าดิบฯ)	5,000			5,000.00
4.6 อะไหล่สำรอง				
			รวม 4	*133,000.00*
			5. รวม 1-4	331,317.40
6. ค่าต้นทุนดำเนินการ	% ของ 5	8.00%		26,505.39
			7. รวม 5+6	357,822.79
8. ค่าอำนวยการ	% ของ 7	7.00 %		25,047.60
			9. รวม 7+8	382,870.39
10. ค่าทดสอบสมบัติลักษณะน้ำมัน				35,000.00
			11. รวม 9+10 (ค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น)	417,870.39
			ปริมาณน้ำมัน (ลิตร)	35,000
ค่าปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้ ดินกัมมันต์ เฉลี่ย = 11.94 บาท ต่อลิตร				

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในงานปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลง ด้วย เล้าลอยลิกไนต์ [หม้อแปลง 40 MVA , 115 - 22 KV]

รายการ	อัตราวันละ(บาท)	จำนวนคน	จำนวนวัน	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. พนักงาน				
1.1 แรงงาน คน-วัน (MAN-DAY)	2,702	7	7	132,398.00
1.2 ล่วงเวลา	% ของ 1.1	30.00 %		39,719.40
1.3 เบี้ยเลี้ยง	220			
1.4 ที่พัก	350			
1.5 ค่าวิศวกรรมและผู้ชำนาญ	% ของ 1.1			
			รวม 1	*172,117.40*
2. ยานพาหนะ				
2.1 รถนั่ง	2,500			
2.2 รถบรรทุก	3,500			
			รวม 2	
3. เครื่องจักร และ อุปกรณ์				
3.1 ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน6000 L/H	2,000			
3.2 ชุดอุปกรณ์ ปรับสภาพน้ำมัน12000 L/H	3,300	1	7	23,100.00
3.3 ถังเก็บน้ำมัน	300	1	7	2,100.00
3.4 รถเครน 16 ตัน	8,300			
3.5 รถเครน 60 ตัน	26,000			
3.6 รถเครน 80 ตัน	37,300			
3.7 เครื่องมือย่อย	1,000			1,000.00
			รวม 3	*26,200.00*
4. วัสดุ				
4.1 กาสเก็ตและซีล(GASKET & SEAL)	20,000			20,000.00
4.2 น้ำมันหม้อแปลง				
4.3 ดินกัมมันต์	-			-
4.4 ไส้กรอง	30,000			30,000.00
4.5 เบ็ดเตล็ด (ถุงมือ& ผ้าเช็ดฯ)	5,000			5,000.00
4.6 อะไหล่สำรอง				
			รวม 4	*55,000.00*
			5. รวม 1-4	253,317.40
6. ค่าต้นทุนดำเนินการ	% ของ 5	8.00%		20,265.39
			7. รวม 5+6	273,582.79
8. ค่าธำนวยการ	% ของ 7	7.00 %		19,150.80
			9. รวม 7+8	292,733.59
10. ค่าทดสอบลักษณะสมบัติของน้ำมัน				35,000.00
			11. รวม 9+10 (ค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น)	327,733.59
			ปริมาณน้ำมัน (ลิตร)	35,000
ค่าปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้ เล้าลอยลิกไนต์ เฉลี่ย = 9.36 บาท ต่อลิตร				

จากตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงจำนวน 35,000 ลิตร โดยใช้ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมันขนาด 12,000 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้ ดินกัมมันต์ 3,000 กิโลกรัม (อัตราส่วนน้ำมัน 200 ลิตร ต่อ ดินกัมมันต์ 17 กิโลกรัม) โดยสรุปค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้ ดินกัมมันต์ คือ 11.94 บาทต่อลิตร

ส่วนในกรณีของค่าใช้จ่ายเมื่อใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ ตามตารางที่ 4.11 ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำมัน 200 ลิตร ต่อ เถ้าลอยลิกไนต์ 15 กิโลกรัม ตามผลการทดลองในตารางที่ 4.6 คือ 9.36 บาทต่อลิตร เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อ ดินกัมมันต์ จึงตัดค่าใช้จ่ายส่วนนี้ออก ข้อแตกต่างประการหนึ่งในการใช้เถ้าลอยลิกไนต์แทนดินกัมมันต์ คือการใช้ไส้กรองขนาด 1.0 ไมครอน แทน 3.0 ไมครอน แต่เนื่องจากราคาไส้กรอง แตกต่างกันน้อยมาก จึงถือว่าคงที่เช่นเดียวกับรายการค่าใช้จ่ายอื่นๆ

โดยสรุป ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์คือ 9.36 บาทต่อน้ำมัน 1 ลิตร และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้ดินกัมมันต์ คือ 11.94 บาทต่อน้ำมัน 1 ลิตร ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 20 % ที่กำลังผลิต 35,000 ลิตร