การปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์

นายวิศาล อิทธิฤทธานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-342-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17928758

TRANSFORMER OIL RECLAMATION USING LIGNITE FLY ASH

Mr. Wisarn Itthiritthanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-342-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์
โดย	วิศาล อิทธิฤทธานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วิศาล อิทธิฤทธานนท์ : การปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์
(TRANSFORMER OIL RECLAMATION USING LIGNITE FLY ASH)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.วิจิตรา จงวิศาล , อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช
106 หน้า ISBN 974 - 638 - 342 - 6

การปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงเป็นการนำน้ำมันหม้อแปลงที่เสื่อมสภาพแล้วมาผ่านกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (OIL RECLAMATION) การวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในเชิงปฏิบัติ เปรียบเทียบผลการใช้งานระหว่างเถ้าลอยลิกไนต์และดินกัมมันต์ (ACTIVATED CLAY) ค่าใช้จ่ายรวมทั้งปัญหาหรืออุปสรรคในการนำมาใช้งาน น้ำมันหม้อแปลงที่จะนำมาปรับสภาพได้จะต้องมีลักษณะสมบัติอยู่ในกลุ่มที่ 3 ของมาตรฐาน IEEE และเป็นชนิดปราศจากสารพีซีบี (POLYCHLORINATED BIPHENYLS)

วิธีทดลองดำเนินการใน 2 ลักษณะ คือวิธีนำเถ้าลอยลิกไนต์มากวนผสมกับน้ำมันหม้อแปลงแบบกระบวนการสัมผัส (CONTACT PROCESS) และวิธีนำน้ำมันหม้อแปลงมาผ่านถัง ซึ่งบรรจุเถ้าลอยลิกไนต์ให้เกิดการดูดซับโดยวิธีซึมผ่านด้วยความดัน (PRESSURE PERCOLATION) แล้ววิเคราะห์ เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงก่อนและหลังการดำเนินการ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เถ้าลอยลิกไนต์สามารถปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงเก่าให้ดีขึ้นได้เช่นเดียวกับดินกัมมันต์โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันหม้อแปลง 200 ลิตรต่อเถ้าลอยลิกไนต์ 15 ถึง 30 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายเมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 9.36 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ค่าใช้จ่ายเมื่อใช้ดินกัมมันต์ประมาณ 11.94 บาทต่อกิโลกรัม

ภาควิชา ..วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา ..วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา ..2540..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

C717207 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: TRANSFORMER OIL / OIL RECLAMATION / FLY ASH

WISARN ITTHIRITTHANON : TRANSFORMER OIL RECLAMATION USING LIGNITE FLY ASH THESIS ADVISOR : ASSISTANCE PROF. VICHITRA CHONGVISAL , Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: DECHA CHATSIRIVEJ , Ph.D. 106 pp. ISBN 974 - 638 - 342 - 6

Transformer oil Reclamation is a process to improve transformer oil quality by physical and chemical treatments until it can be reused. This research was emphasized on the feasibility study of the application of lignite fly ash for the practical oil reclamation, comparison of operation using lignite fly ash and activated clay as well as operating cost. The quality of the used transformer oil to be reclaimed must be according to the third group of IEEE standard and be of the non-PCB (Polychlorinated Biphenyls) type. Experiments were carried out in two manners. One was to mix fly ash with transformer oil (Contact Process). The other was to flow the oil through a pressure tank containing fly ash in which adsorption occurred (Pressure Percolation Process). The properties of the oil before and after each operation were analyzed and were compared.

The experimental results showed that lignite fly ash could be used for oil reclamation with the optimum dosage of 15 - 30 kilograms per 200 litres of oil. The operating cost was 9.36 Baht per litre of treated oil for fly ash while the cost was 11.94 Baht for activated clay.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง " การปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ " นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ความสำเร็จทั้งหมดนี้เกิดขึ้นจากความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งทั้งด้านคำแนะนำทางวิชาการ และกำลังใจของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผศ. ดร.วิจิตรา จงวิศาล และ อ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช รวมทั้ง ศ. ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล , อ. ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา ซึ่งได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นและคำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านมา ณ ที่นี้

การทำวิทยานิพนธ์นี้จะไม่ประสบความสำเร็จเลย หากไม่ได้รับความช่วยเหลือด้านการจัดหาน้ำมันหม้อแปลง ดินกัมมันต์ ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน (OIL RECLAMATION UNIT) ตลอดจนอำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่จาก คุณประยูร แจ้งสุทธิวรวัฒน์ ซึ่งเป็นหัวหน้าแผนกปรับปรุงหม้อแปลง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รวมทั้งพนักงานในสังกัดซึ่งไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมากในความกรุณาที่ทุกท่านมอบให้

ขอขอบคุณ คุณเพิ่มศักดิ์ ควรสถิตย์ หัวหน้าแผนกทดสอบและวิเคราะห์ฉนวน ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และพนักงานในสังกัดทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการวิเคราะห์ รวมทั้ง คุณ สุพัตรา ภูมิวัฒน์ ซึ่งได้เอื้อเฟื้อด้านความรู้ และเอกสารทางวิชาการ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ธุรการของภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ได้ช่วยดำเนินการติดต่อประสานงาน การดำเนินเรื่องด้านเอกสาร จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฐ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ณ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 มูลเหตุจูงใจของการวิจัย และความเป็นมา..... 2

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย..... 4

2 หลักการและทฤษฎี..... 5

2.1 โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.2 น้ำมันหม้อแปลง..... 6

2.2.1 ชนิดและโครงสร้างของน้ำมันหม้อแปลง..... 6

2.2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลง..... 7

2.2.3 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลง..... 8

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	2.2.4 การแบ่งประเภทของน้ำมันหม้อแปลง.....	10
	2.2.5 การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง.....	10
	2.2.6 กระบวนการออกซิเดชัน และ แอนตีออกซิเดชัน ของน้ำมันหม้อแปลง.....	13
	2.3 ดินกัมมันต์.....	15
	2.3.1 โครงสร้างและลักษณะสมบัติการดูดซับของดินกัมมันต์.....	15
	2.3.2 ลักษณะ และประโยชน์ของดินกัมมันต์.....	16
	2.3.3 องค์ประกอบของดินกัมมันต์กับความสามารถในการดูดซับ.....	17
	2.4 การดูดซับ.....	18
	2.4.1 แนวทางการพิจารณาใช้สารดูดซับในกระบวนการซึมผ่าน.....	19
	2.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดูดซับ.....	19
	2.4.3 สมดุลการดูดซับ.....	20
	2.4.4 การลอดผ่านถังดูดซับชนิดตรึงแน่น.....	21
	2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	22
	2.5 รูปแบบของกระบวนการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลง.....	24
	2.6 วิธีการปรับสภาพ น้ำมันหม้อแปลงด้วยดินกัมมันต์.....	26
3	การดำเนินการวิจัย.....	28
	3.ก ขั้นตอนการวิจัย.....	28
	3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันหม้อแปลง.....	28
	3.2 การทดลองใช้ดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ในการ ปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้องปฏิบัติการ.....	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.3 การทดลองใช้ดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในชุดอุปกรณ์ปรับสภาพ	29
	3.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงระหว่างแปลงระหว่างดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์	30
	3.ข สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้	30
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	33
	4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันหม้อแปลง	33
	4.2 การทดลองใช้ดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้องปฏิบัติการ	35
	4.3 การทดลองใช้ดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงในชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน	37
	4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลงระหว่างดินกัมมันต์ และเถ้าลอยลิกไนต์	43
5	บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	47
	5.1 ข้อสรุปผลการวิจัย	47
	5.2 ข้อจำกัดในการวิจัย	48
	5.3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	49
รายการอ้างอิง		50
ภาคผนวก		54

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง..... 55
ภาคผนวก ข รูปถ่ายประกอบ..... 86
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางเทคนิค..... 92
ประวัติผู้เขียน..... 106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	องค์ประกอบของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและ ดินกัมมันต์ (%).....	2
1.2	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์.....	2
2.1	ผลของการดูดซับด้วยดินกัมมันต์ และ การสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีต่อองค์ต่อองค์ประกอบของน้ำมัน หม้อแปลง.....	18
4.1	องค์ประกอบของน้ำมันหม้อแปลงเก่าและใหม่.....	34
4.2	ผลการใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าหนักและ ดินกัมมันต์ ในการดูดซับแบบกระบวนการสัมผัส.....	35
4.3	ผลการใช้ดินกัมมันต์และเถ้าลอยลิกไนต์ในการดูดซับโดยเติมสารต้านทานการต้านทานการออกซิเดชัน.....	36
4.4	ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงด้วย เถ้าลอย ดินกัมมันต์ และ คาร์บอนกัมมันต์ คาร์บอนกัมมันต์.....	37
4.5	การปรับสภาพน้ำมันปริมาณ 3,500 ลิตร ผ่านถังดูดซับแบบซึมผ่านโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์.....	38
4.6	ผลของการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงเก่าโดยใช้ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ.....	39
4.7	ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงผ่านที่เวลาต่างๆหลังผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่นโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์.....	40
4.8	ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงผ่านที่เวลาต่างๆหลังผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่นโดยใช้ดินกัมมันต์.....	41
4.9	ผลการดูดซับน้ำมันหม้อแปลงผ่านที่เวลาต่างๆหลังผ่านถังดูดซับแบบตรึงแน่นโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์.....	42
4.10	ค่าใช้จ่ายในงานปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงด้วยดินกัมมันต์.....	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	ค่าใช้จ่ายในงานปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลงด้วยเถ้าลอยลิกไนต์.....	45
ค 1	มาตรฐานของลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงตามแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน.....	94
ค 2	มาตรฐานลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงที่ต้องปรับสภาพ.....	95
ค 3	มาตรฐานลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงหลังการปรับสภาพ.....	96
ค 4	มาตรฐานลักษณะสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงหลังเติมเข้าหม้อแปลง.....	97

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สมดุลการดูดซับแบบเชิงเส้น และแบบไม่เป็นเชิงเส้น.....	20
2.2	การลอดผ่านถังดูดซับชนิดตรึงแน่น (BREAKTHROUGH CURVE).....	21
ก 1	อินฟราเรด สเปคตรัม ของน้ำมันหม้อแปลงใหม่ (SW 358).....	57
ก 2	อินฟราเรดสเปคตรัมของน้ำมันหม้อแปลงเก่า (KT 1B).....	59
ก 3	GC-MSโครมาโตแกรม และ สเปคตรัม น้ำมันหม้อแปลงใหม่.....	61
ก 4	GC-MSโครมาโตแกรม และ สเปคตรัม น้ำมันหม้อแปลงเก่า	67
ก 5	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส.....	73
ก 6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวและชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส....	73
ก 7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส	74
ก 8	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส โดยเติมสารต้านทานการออกซิเดชัน.....	74
ก 9	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตึงผิว และชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส โดยเติมสารต้านทานการออกซิเดชัน.....	75
ก 10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและชนิดของสารดูดซับในกระบวนการสัมผัส โดยเติมสารต้านทานการออกซิเดชัน.....	75
ก 11	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และชนิดของสารดูดซับในกระบวนการซึมผ่านแบบไหลวนกลับ 5 รอบ.....	76
ก 12	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวและชนิดของสารดูดซับในกระบวนการซึมผ่านแบบไหลวนกลับ 5 รอบ.....	76
ก 13	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและชนิดของสารดูดซับในกระบวนการซึมผ่านแบบไหลวนกลับ 5 รอบ.....	77
ก 14	ความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แฟคเตอร์และชนิดของสารดูดซับในกระบวนการซึมผ่านแบบไหลวนกลับ 5 เอบ.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก 15	ผลการปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลง 3,500 ลิตร โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ 300 กิโลกรัม ไหลวน 3 รอบ	78
ก 16	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ	79
ก 17	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตึงผิว และปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ	79
ก 18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ	80
ก 19	ความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แฟคเตอร์ และปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ	80
ก 20	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350ลิตรต่อชั่วโมง	81
ก 21	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตึงผิว และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	81
ก 22	ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความชื้นและเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	82
ก 23	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านดินกัมมันต์ 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	82
ก 24	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตึงผิว และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านดินกัมมันต์ 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	83
ก 25	ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความชื้น และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านดินกัมมันต์ 50 kg. ครั้งเดียวด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	83
ก 26	ความสัมพันธ์ระหว่าง DBV และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียวด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	84
ก 27	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตึงผิว และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	84
ก 28	ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความชื้น และเวลาหลังกรองแบบไหลผ่านเถ้าลอย 50 kg. ครั้งเดียว ด้วยอัตรา 350 ลิตรต่อชั่วโมง	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข 1	ชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมันขนาด 12,000 ลิตรต่อชั่วโมง	87
ข 2	หอดูดซับแบบสามารถบรรจุใหม่ภายในชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน	87
ข 3	ตัวอย่างไส้กรองขนาดต่างๆ	88
ข 4	ตัวอย่างเถ้าลอยและดินกัมมันต์	88
ข 5	เครื่องคัดแยกขนาดเถ้าลอยลิกไนต์	89
ข 6	การถอดชิ้นส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อต่อเข้าชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมัน	89
ข 7	การประกอบอุปกรณ์ต่างๆในระบบ	90
ข 8	ส่วนประกอบต่างๆในถังกรองละเอียด	90
ข 9	การสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังปรับสภาพน้ำมันแล้ว	91
ข 10	การปิดฉลากตัวอย่างและบันทึกข้อมูล	91
ค 5	แผนภาพชุดอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำมันหม้อแปลง	105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม
C	ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในของเหลว (ppm)
C_O	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับในของเหลว (ppm)
K	ค่าคงที่แลงเมียร์
K_H , K'_H	ค่าคงที่ของสมดุลการดูดซับแบบเชิงเส้น
L	ความยาวของชั้นสารดูดซับ (เมตร)
LUB	ความยาวของชั้นสารดูดซับที่ยังไม่ถูกใช้งาน (เมตร)
q	ภาระการดูดซับ มีหน่วยเป็นกรัมของสารที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสารดูดซับ (kg / kg)
q_0	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยมวลของสารที่ใช้ดูดซับในขณะเริ่มต้น (kg / kg)
q_{eq}	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลต่อหน่วยมวลของสารที่ใช้ดูดซับ (kg / kg)
q_{max}	ปริมาณสูงสุดของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยมวลของสารของสารที่ใช้ดูดซับ (kg / kg)
t_B	ช่วงเวลาที่ของไหลเริ่มไหลเข้าถังดูดซับจนถึงเวลาที่สารที่ต้องการถูกดูดซับเริ่มปรากฏที่ทางออก
$\dot{t}$	เวลาผ่านทะลุโดยเฉลี่ย
U_O	อัตราเร็วของสารที่ถูกดูดซับที่ชั้นผิวกรอง (m / s)
ρ_B	ความหนาแน่นรวมของสารดูดซับ (kg / m^3)