การศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

กิติ บุญชัยวัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-532-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015767

A Theoretical Study of Coalescer Filter and Its Applications to Removal of Suspended Solids

Mr. Kiti Boonchaiwattana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1989

ISBN 974-576-532-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ของเครื่องกรอง
โคเอเลสเซอร์ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

โดย นายกิติ บุญชัยวัฒนา

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กิติ บุญยัยวัฒนา : การศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (A THEORETICAL STUDY COALESCER FILTER AND ITS APPLICATIONS TO REMOVAL OF SUSPENDED SOLIDS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุรพล ล่ายพานิช, 125 หน้า

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกรองทั้งประสิทธิภาพการกรองและการสูญเสียความสูงน้ำ โดยทำการศึกษากับสารชั้นตัวกลาง ซึ่งเป็นชั้นทรายอย่างเดียว และชั้นทรายที่ได้รับการผ่านสารผสมน้ำกับน้ำมัน

ผลการวิจัยพบว่า ในชั้นตัวกลางที่เป็นทรายอย่างเดียว ที่ค่าความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ 30 NTU และ 60 NTU ในชั้นความสูงของตัวกลาง 30 เซนติเมตร ค่าประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรองเปลี่ยนแปลงตามสมการ ดังนี้ $\ln(C_o/C-1) = 3.1X10^{-5}(-6.4V^2+1373V-21279)L/V-3.1X10^{-5}C_o t$ และ $\ln(C_o/C-1) = 3.4X10^{-5}(-2.6V^2+489V+25849)L/V-3.4X10^{-5}C_o t$ ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า ได้ค่าใกล้เคียงกันส่วนค่าการสูญเสียความสูงน้ำที่ความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ 30 NTU และ 60 NTU ได้ความสัมพันธ์ตามสมการ ดังนี้ $H = [\{(373+226L)-(0.33+0.66L)V^2\}\bar{6}+1]0.05L.V$ และ $H = [\{(589-117L)-(1.60+1.00L)V^2\}\bar{6}+1]0.05L.V$

สำหรับการทดลองกับชั้นทรายที่ได้รับการผ่านสารผสมน้ำกับน้ำมันพบว่า ที่ค่าความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ 30 NTU เมื่อเติมสารผสมน้ำกับน้ำมันที่มีความเข้มข้น 2 และ 4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารเบนโทไนท์มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 และ 0.32 NTU ส่วนค่าการสูญเสียความสูงน้ำพบว่า เพิ่มขึ้นที่ชั้นระหว่าง 10-20 เซนติเมตร เท่ากับ 3.52 และ 7.80 เซนติเมตร ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

KITI BOONCHAIWATTANA : A THEORETICAL STUDY OF COALESCER FILTER AND ITS APPLICATIONS TO REMOVAL OF SUSPENDED SOLIDS. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. SURAPOL SAIPANICH, Ph.D. 125 pp.

These experiments were undertaken to study the mathematical models of filtration in both of the efficiency and the headloss. The experiments were studied in two cases, the hydrophilic sand only and hydrophilic sand with oil emulsion.

The results showed that, at the depth 30 cm of the hydrophilic sand only, the filter efficiency was $\ln (C_o/C-1) = 3.1\times10^{-5} (-6.4V^2+1373V-21279)L/V - 3.1\times10^{-5} C_o t$ for concentration of bentonite 30 NTU and $\ln(C_o/C-1) = 3.4\times10^{-5} (-2.6V^2+489V+25849)L/V - 3.4\times10^{-5} C_o t$ for 60 NTU. To compare the results from the equations with the experiments, they shown that these two results were nearly the same. And the headloss of filter at 30 and 60 NTU of bentonite could be solved by the following equations $H = \left[\{(373+226L)-(0.33+0.66L)V^2\}\bar{6}+1\right] 0.05LV$ and $H = \left[\{(589-117L)-(1.60+1.00L)V^2\}\bar{6}+1\right] 0.05LV$ accordingly.

In the experiments, the hydrophilic sand with oil emulsion 2 gm/cm^2 and 4 gm/cm^2 at the concentration of bentonite 30 NTU, found that the average of filter efficiency increased 0,24 NTU and 0.32 NTU. The headloss in layer 10-20 cm increased 3.52 cm and 7.80 cm accordingly.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลงานวิจัยของโครงการศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยภายใต้โครงการวิจัยร่วมระหว่าง INSA de Toulouse ฝรั่งเศสและภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช ที่ท่านได้แนะนำแนวทางการวิจัยและให้คำปรึกษาในด้านวิชาการต่างๆ ตลอดจนให้กำลังใจ ความเอาใจใส่และคอยติดตามความคืบหน้าการวิจัยอย่างสม่ำเสมอด้วยความกรุณาอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ Dr.Y.AURELLE และ Prof. Dr.H.ROQUES ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในด้านเอกสารทางวิชาการและคำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกๆท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในด้านต่าง ๆ รวมทั้งถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ

ท้ายสุดผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณ สำหรับการสนับสนุนทางด้านการศึกษา ความรัก ความห่วงใย และความช่วยเหลือต่าง ๆ ที่ผู้เขียนได้รับจากคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องและเพื่อน ๆ ทุกคนไว้ ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์..... ฎ

บทที่ หน้า

1. บทนำ..... 1

1.1 มูลเหตุการวิจัย..... 1

1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย..... 1

1.3 ของเขตการจิจัย..... 1

2. ทฤษฎีและความเป็นมาที่เกี่ยวกับการกรอง..... 3

2.1 กลไกในการกรอง..... 3

2.1.1 การส่งถ่ายอนุภาคเข้ามาสัมผัสกับตัวกลาง.. 3

2.1.2 กลไกการจับอนุภาคของสารกระจาย..... 7

2.1.3 การหลุดออกจากตัวกลาง..... 8

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกรอง..... 9

2.2.1 ผลกระทบของอัตราการกรอง..... 9

2.2.2 ผลกระทบของคุณภาพน้ำที่ต้องการจะกรอง. 9

2.2.3 ผลกระทบของคุณสมบัติของตัวกลาง..... 10

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเข้มข้น..... 11

2.3.1 พื้นฐานเกี่ยวกับชนกรอง..... 11

2.3.2 สมดุลย์ของมวลสาร..... 13

2.3.3 สมการกลไกของการอุดตัน..... 14

2.3.4 สมดุลย์รวมของระบบ..... 16

บทที่ หน้า

2.3.5 ความเข้มข้นที่ระยะความลึกใด ๆ ในชั้นตัวกลาง..... 16
2.3.6 ชั้นของความเข้มข้นและการสะสมตัวของอนุภาค..... 16
2.3.7 การสะสมตัวของอนุภาคที่ชั้นบนสุดของตัวกลาง..... 19
2.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกรองและการสะสมตัวของอนุภาค..... 21
2.3.9 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การสูญเสียความสูงน้ำ..... 22
2.4 แบบจำลองการสูญเสียความสูงน้ำ..... 25
2.5 การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง..... 26
3. การดำเนินการวิจัย..... 29
3.1 แผนการวิจัย..... 29
3.2 การดำเนินการวิจัย..... 29
3.2.1 การเตรียมค่าความขุ่นสังเคราะห์..... 29
3.2.2 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรอง.... 31
3.2.3 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง.... 32
3.2.4 การศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองที่มีต่อประสิทธิภาพการกรองและการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 32
3.3 แผนการทดลอง..... 33
3.3.1 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรอง.... 33

บทที่ หน้า

3.3.2 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง.... 34
3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองที่มีต่อประสิทธิภาพการกรองและการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 35
3.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 37
3.3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 38
4. ผลการทดลองและวิจารณ์..... 40
4.1 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกรองระหว่างความเข้มข้นของความขุ่นที่เวลาต่างๆ..... 40
4.2 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 55
4.3 การศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองต่อการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 80
5. บทสรุปและเสนอแนะ..... 94
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 94
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 95
เอกสารอ้างอิง..... 96
ภาคผนวก..... 100
ประวัติผู้วิจัย..... 125

พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ δ ของผู้ทำการวิจัยในอดีต..... 21

3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่น (NTU) และความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ (มก/ล)..... 30

3.2 แสดงแผนการทดลองการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรอง..... 34

3.3 แสดงแผนการทดลองการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 35

3.4 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองชนิดที่ไม่จับยึดน้ำมัน ที่มีต่อประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรอง..... 36

3.5 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองชนิดที่ไม่จับยึดน้ำมันที่มีต่อการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 36

3.6 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของน้ำมันในชั้นกรองชนิดที่จับยึดน้ำมัน ที่มีต่อการสูญเสียความสูงน้ำของเครื่องกรอง..... 37

4.1 แสดงค่า $K_o N_o L/V$ ของเครื่องกรองทราย (การทดลองที่ 1-7) ที่อัตราการกรอง 3,4.5,6,7.5 ม3/ม2-ชม..... 48

4.2 แสดงค่า $-K_o C_o$ ของเครื่องกรองทราย (การทดลองที่ 1-7) ที่อัตราการกรอง 3,4.5,6,7.5 ม3/ม2-ชม..... 49

4.3 แสดงค่า K_o ของชั้นตัวกลางและค่าเฉลี่ยของ K_o..... 50

4.4 แสดงค่า N_o ของชั้นตัวกลางที่อัตราการกรองต่าง ๆ... 51

4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_o กับค่า V ที่ระดับความลึกต่าง ๆ..... 52

ตารางที่ หน้า

4.6 แสดงค่า s ของชั้นตัวกลางที่มีความลึกต่าง ๆ และค่าเฉลี่ยของ S 55

4.7 แสดงค่า $1/K_p$ ของชั้นตัวกลางที่มีความลึกต่าง ๆ และค่าเฉลี่ย $1/K_p$ 56

4.8 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU, V = 3.0 ม^3/ม^2-ชม.... 58

4.9 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU, V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม.... 59

4.10 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU, V = 6.0 ม^3/ม^2-ชม.... 60

4.11 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU, V = 7.5 ม^3/ม^2-ชม.... 61

4.12 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU, V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม.... 62

4.13 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU, V = 6.0 ม^3/ม^2-ชม.... 63

4.14 แสดงค่า $\bar{6}$ และ H/H_o-1 ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU, V = 9.0 ม^3/ม^2-ชม.... 64

4.15 แสดงค่า K ของชั้นตัวกลางที่ระดับต่าง ๆ เมื่ออัตราการกรองต่างกัน ค่าความขุ่น 30 และ 60 NTU..... 73

4.16 แสดงค่า a,b ของความสัมพันธ์ระหว่าง K,V..... 75

4.17 แสดงค่าคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่าง a,b และชั้นความสูง..... 77

4.18 แสดงค่าความขุ่นที่ชั้นกรองสามารถกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารผสมน้ำมัน 2 มก/ชม2 ในชั้นตัวกลางและค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นที่สามารถกำจัดได้เพิ่มขึ้น..... 81

ตารางที่ หน้า

4.19 แสดงค่าความขุ่นที่ชั้นกรองสามารถกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารผสมน้ำมัน 4 มก/ซม² ในชั้นตัวกลางและค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นที่สามารถกำจัดได้เพิ่มขึ้น..... 82

4.20 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากสารผสมเบนโทไนท์ความเข้มข้น 30 NTU ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันของชั้นกรอง โดยชั้นกรองเป็นชนิดไม่จับยึดน้ำมันและมีอัตราความเร็วในการกรอง 10 ม³/ม²-ชม..... 85

4.21 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากน้ำมัน (ความเข้มข้น 2 มก/ซม²) ภายในชั้นตัวกลางของสารที่ไม่จับยึดน้ำมัน..... 86

4.22 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากน้ำมัน (ความเข้มข้น 4 มก/ซม²) ภายในชั้นตัวกลางของสารที่ไม่จับยึดน้ำมัน..... 87

4.23 แสดงผลการสูญความสูงน้ำเนื่องจากสารผสมเบนโทไนท์ความเข้มข้น 30 NTU ที่ระดับต่าง ๆ ของชั้นกรองที่มีน้ำมันค้างค้างอยู่ (สารผสมน้ำมันความเข้มข้น 2 มก/ซม²) โดยชั้นกรองเป็นชนิดไม่จับยึดน้ำมัน และมีอัตราความเร็วในการกรอง 10 ม³/ม²-ชม..... 88

4.24 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากสารผสมเบนโทไนท์ความเข้มข้น 30 NTU ที่ระดับต่าง ๆ ของชั้นกรองที่มีน้ำมันค้างค้างอยู่ (สารผสมน้ำมันความเข้มข้น 4 มก/ซม²) โดยชั้นกรองเป็นชนิดไม่จับยึดน้ำมัน และมีอัตราความเร็วในการกรอง 10 ม³/ม²-ชม..... 89

4.25 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากน้ำมัน (ความเข้มข้น 4 มก/ซม²) ภายในชั้นตัวกลางของสารที่จับยึดน้ำมัน..... 90

ตารางที่ หน้า

4.26 แสดงผลการสูญเสียความสูงน้ำเนื่องจากสารผสม
เบนโทไนท์ที่ระดับต่าง ๆ ของชั้นกรองที่มีน้ำมันค้างอยู่
(สารผสมน้ำมันความเข้มข้น 4 มก/ซม²)
โดยชั้นกรองเป็นชนิดไม่จับยึดน้ำมัน..... 91

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กลไกในการเคลื่อนย้ายอนุภาคของสารกระจายในสารต่อเนื่องเข้าหาตัวกลาง.....	6
2.2	ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายอนุภาคของสารกระจายขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค.....	8
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{6F(6)}$ กับ 6.....	18
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{F(6_i)}$ กับ 6.....	20
2.5	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t.....	24
3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่น (NTU) และความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ (มก/ล).....	31
3.2	แสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้หาประสิทธิภาพการกรองและการสูญเสียความสูงน้ำ.....	39
4.1	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 3 ม^3/ม^2-ชม.....	41
4.2	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม.....	42
4.3	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 6 ม^3/ม^2-ชม.....	43
4.4	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 7.5 ม^3/ม^2-ชม.....	44
4.5	แสดงกราฟระหว่างค่า ln (C_o/C-1) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม.....	45

รูปที่ หน้า

4.6 แสดงกราฟระหว่างค่า ln ($C_o/C-1$) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU V = 6 ม^3/ม^2-ชม..... 46

4.7 แสดงกราฟระหว่างค่า ln ($C_o/C-1$) กับ t ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU V = 9 ม^3/ม^2-ชม..... 47

4.8 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารเบนโทไนท์ที่ได้จากการทดลอง กับที่ได้จากการคำนวณ ของชั้นตัวกลางชนิดไม่จับยึดน้ำมันที่ความลึก 30 เซนติเมตร และ Co = 30 NTU..... 54

4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 3.0 ม^3/ม^2-ชม..... 66

4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม..... 67

4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 6.0 ม^3/ม^2-ชม..... 68

4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 30 NTU V = 7.5 ม^3/ม^2-ชม..... 69

4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU V = 4.5 ม^3/ม^2-ชม..... 70

4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o-1 กับ $\bar{6}$ ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU V = 6.0 ม^3/ม^2-ชม..... 71

รูปที่ หน้า

4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $H/H_o - 1$ กับ $\bar{6}$
ของชั้นตัวกลางระดับต่าง ๆ โดยมีค่า C_o = 60 NTU
V = 9.0 ม^3/ม^2-ชม..... 72

4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K กับ V^2
โดยที่ค่า C_o = 30 NTU..... 74

4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง a , b กับความลึกของ
ชั้นตัวกลาง โดยมีค่า C_o = 30 NTU..... 76

4.18 เปรียบเทียบการสูญเสียความสูงน้ำที่ผ่านชั้นตัวกลางที่ได้จาก
การทดลอง กับที่ได้จากการคำนวณ ของชั้นตัวกลางชนิด
ไม่จับยึดน้ำมันที่อัตราการกรอง 3 ม^3/ม^2-ชม
และ Co = 30 NTU..... 79

4.19 แสดงลักษณะการเกาะติดของอนุภาคน้ำมันในชั้นตัวกลาง
ชนิดไม่จับยึดน้ำมัน และในชั้นตัวกลางที่จับยึดน้ำมัน... 93

คำอธิบายสัญลักษณ์

C = ความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่เวลาใด ๆ

C_o = ความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่เวลา $t = 0$

d_E = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของสารแขวนลอย

d_P = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลาง

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

H = การสูญเสียความสูงน้ำที่เวลา t ใด ๆ

H_o = การสูญเสียความสูงน้ำเมื่อเครื่องกรองสะอาด

K = ค่าความชันระหว่าง $H/H_o - 1$ และ $\bar{\theta}$

K_o = ค่าสัมประสิทธิ์ Kozney

K_a = สัมประสิทธิ์การเกาะตัวของอนุภาค (Attachment Rate Coefficient)

K_B = ค่าคงที่ของโบลซมานด์ (Boltzmann's constant)

K_P = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้

L = ความลึกของชั้นตัวกลาง

N_o = สัมประสิทธิ์การสะสมตัวของสารแขวนลอยบนชั้นตัวกลาง (Storage Coefficient)

N_D = ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจาย

N_I = ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายด้วยการปะทะโดยตรง

N_S = ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายด้วยการตกตะกอน

S = สัมประสิทธิ์ความเร็วในการสูญเสียความสูงน้ำ

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ (Absolute Temperature)

t = ระยะเวลาใด ๆ

V = ความเร็วในการไหลของสารกระจายผ่านตัวกลาง

μ = ความหนืด (Viscosity)

ρ = ความหนาแน่นของสารต่อเนื่อง

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาคสารกระจาย

ε = ความพรุนของเครื่องกรองที่เวลา t ใด ๆ

ε_0 = ความพรุนของเครื่องกรองที่เวลา t = 0

y = ความเข้มข้นของอนุภาคของสารกระจายในสารต่อเนื่อง

δ = ปริมาตรของอนุภาคของสารกระจายที่ตกค้าง (Deposit)

β = ค่าสัมประสิทธิ์การอัดแน่นของอนุภาค

λ = สัมประสิทธิ์การกรองที่เวลา t ใด ๆ (Filter Coefficient)

λ_0 = สัมประสิทธิ์การกรองที่เวลา t = 0