การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น

นายสมชาย เหลาปิยมไทย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-475-6

007843
i17690912

IRON REMOVAL FROM GROUND WATER SOURCE

BY

UPFLOW FILTRATION

Mr. Somchai Laoniyomthai

A Thesis Submitted in Parial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น
โดย	นายสมชาย เหล่านิยมไทย
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชีระ เกรอต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุดใจ จำปา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น
ชื่อนิสิต นายสมชาย เหล่านิยมไทย
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต
ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2525

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น ประกอบด้วยการนำเอาขั้นตอนขบวนการออกซิเดชันและการกรองเข้าไว้เป็นขั้นตอนเดียวกันภายในตัวกรอง ขั้นตอนการกำจัดเหล็กด้วยเครื่องกรองแบบไหลขึ้น ประกอบด้วยการให้น้ำดิบสัมผัสกับอากาศเพื่อให้น้ำมีออกซิเจนละลายเพียงพอแล้วจึงสูบผ่านเข้าเครื่องกรอง เมื่อผ่านน้ำดิบเข้าสู่เครื่องกรองจะเกิดขบวนการออกซิเดชันของเหล็กและการกรองขึ้นพร้อมกันตลอดความหนาของตัวกรอง

ในการทดลองนี้ ใช้แบบทดลองที่ประกอบด้วย ถังพัก มีขนาด 0.51 ม. x 0.32 ม. x 0.30 ม. เพื่อปรับสภาพน้ำดิบที่มีออกซิเจนละลายเป็นศูนย์ ให้มีออกซิเจนละลายเพียงพอก่อนไหลเข้าตัวกรอง และเครื่องกรองแบบไหลขึ้น มีขนาด 15 ซ.ม. x 15 ซ.ม. x 275 ซ.ม. ซึ่งใช้ทรายกรองหนา 120 ซ.ม. ที่มีขนาดประสิทธิผลเท่ากับ 0.55 ม.ม., ค่าสัมประสิทธิแห่งความสม่ำเสมอเท่ากับ 2.27, ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 และมีความพรุนของทรายเท่ากับ 43 %

จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กขึ้นอยู่กับอัตราการกรอง เมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กจะลดลง กล่าวคือ ที่อัตราการกรอง 5, 7.5, 10, 12.5, และ 15 $ม.^3/ม.^2$ - ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก มีค่าเฉลี่ย 99.11, 97.30, 88.92, 83.03, และ 82.29 % ตามลำดับ

อัตราการกรองที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากการกำจัดเหล็ก, อายุการกรอง, เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย, และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว พบว่า อัตราการกรอง

7.5 $ม.^3/ม.^2$ - ชม. เป็นอัตราการกรองที่เหมาะสม

ผลของการเคลือบเม็ดทรายของตะกอนเหล็ก ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กเปลี่ยนแปลง

Thesis Title	Iron Removal from Ground Water Source by Upflow Filtration
Name	Mr. Somchai Laoniyomthai
Thesis Advisor	Associate Professor Theera Karot, Ph.D.
Department	Sanitary Engineering
Academic Year	1982

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

Iron removal from ground water by upflow filtration involves a combination of the oxidation and filtration in one process within the filter. The operation of iron removal with upflow filter consists of aeration of the raw water in order to obtain sufficient D.O. and then pass the water through the filter. When it passes through the filter, the oxidation of iron and the filtration will occur simultaneously at full depth of the filter.

In this experiment, the pilot plant used consisted of a tank, 0.51 m. x 0.32 m. x 0.30 m. in size for increasing the D.O. content in the raw water sufficiently before it passed into the filter and upflow filter 15 cm. x 15 cm. in size which using 120 cm. sand depth, having the following characteristics: effective size, 0.55 m.m.; uniformity coefficient, 2.27; porosity, 43 percent and specific gravity, 2.60

From the study, iron removal depended upon filtration rates, iron removal would decrease when filtration rates were increased. At filtration rates of 5, 7.5, 10, 12.5 and 15 m^3/m^2-hr.,

the iron removal efficiency have average valve of 99.11, 97.30, 88.92, 83.03, and 82.29 % respectively.

The optimum filtration rate when considered from iron removal, filter run, backwash, and effluent turbidity, the filtration rate of 7.5 m^3/m^2 - hr. was the optimum filtration rate.

The effect of the precipitated ferric iron coating sand grain do not change the iron removal efficiency.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอบพระคุณ บุคคล และหน่วยงาน ที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คือ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ชีระ เกรอต ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2. นายช่างวิรุณ รังรองธานินทร์ ผู้อำนวยการศูนย์ประปาชนบทเขต 10 จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความอุปถัมภ์ เกี่ยวกับวัสดุและสารเคมีในการวิจัยรวมทั้งให้ความอุปถัมภ์เกี่ยวกับที่พักระหว่างที่ทำการทดลอง

3. คณะกรรมการการประปาสุขาภิบาล อำเภอบางกระทุ่ม ที่ให้ความอุปถัมภ์เกี่ยวกับสถานที่ใช้ในการทดลอง

4. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอุปการะเกี่ยวกับการเงินทุนอุดหนุนทำวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
รายการตารางประกอบ ..... ฌ
รายการรูปประกอบ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 เหล็กคืออะไร, ประวัติ, ที่เกิด 1
   1.2 แหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ 1
   1.3 ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ 3
   1.4 รูปของเหล็กในน้ำ 3
   1.5 ปัญหาที่พบในน้ำประปาที่เป็นน้ำบาดาล 5
   1.6 ปัญหาที่พบของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำจากน้ำบาดาล 5
   1.7 การกำจัดเหล็กในน้ำ 6
   1.8 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8
2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
   2.1 ประวัติความเป็นมาของการกำจัดเหล็กในน้ำโดยทั่วไป 9
   2.2 การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง 14
   2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการกรองแบบไหลขึ้น .. 15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3. หฤษฎีการกรอง 22
   3.1 การทำงานของตัวกรอง 22
   3.2 สัมประสิทธิ์การไหลซึมของตัวกรอง 25
   3.3 ความฝืดของตัวกรอง 26
4. วัสดุที่ใช้และวิธีการ 28
   4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 28
   4.2 ตัวแปร 35
   4.3 วิธีการทดลอง 36
   4.4 วิธีการวิเคราะห์ 40
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ 43
   5.1 ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้วและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก 43
   5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กกับความลึกของตัวกรอง 53
   5.3 ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว 59
   5.4 ความฝืดของตัวกรอง 61
   5.5 อายุการกรอง 69
   5.6 เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย 71
   5.7 ออกซิเจนละลาย 72
   5.8 การเลือกเม็ดทรายกรองของตะกอนเหล็ก 80
   5.9 การเลือกอัตราการกรองที่เหมาะสม 83
   5.10 การทดลองผลกระทบของการเลือกเม็ดทรายของตะกอนเหล็กที่มีต่อการกำจัดเหล็ก.. 87

เอกสารสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

6. สรุป 103

เอกสารอ้างอิง 105

ภาคผนวก ก. เส้นโค้งมาตรฐานของเหล็กที่ใช้ในการวิจัย 109

ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ขนาดทรายกรองของระบบการกรองแบบไหลขึ้น 114

ภาคผนวก ค. ค่าความฝืดของตัวกรองสูงสุดที่ยอมรับของระบบการกรองแบบไหลขึ้น 117

ประวัติผู้เขียน 122

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	การกำจัดเหล็กโดยการใช้คลอรีนเหลืออิสระ	11
3.1	สมการสำหรับคำนวณหาความฝืดของตัวกรอง	27
4.1	ตัวแปรและตัวคงที่ในการทดลองระบบการกรองแบบไหลขึ้น	37
4.2	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบในการวิจัย	38
5.1	การกำจัดเหล็กโดยตัวกรองโดยการกรองแบบไหลขึ้นที่อัตราการกรองต่าง ๆ	51
5.2	การกำจัดเหล็กโดยชั้นกรวดโดยการกรองแบบไหลขึ้นที่อัตราการกรองต่าง ๆ	52
5.3	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น ที่อัตราการกรองต่าง ๆ	60
5.4	อายุการกรองของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น ที่อัตราการกรองต่าง ๆ	70
5.5	เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายภายหลังการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น ที่อัตราการกรอง 5 และ 7.5 $ม.^3/ม.^2$ - ชม.	73
5.6	แสดงปริมาณตะกอนเหล็กเคลือบที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรองที่อัตราการกรองต่าง ๆ ของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น	84
5.7	เหล็กในน้ำที่กรองแล้ว, เปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก, อายุการกรอง ปริมาณน้ำที่กรองได้, เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย, ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว ที่อัตราการกรองต่าง ๆ ของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล โดยการกรองแบบไหลขึ้น	86
5.8	การกำจัดเหล็ก, อายุการกรอง, ความขุ่นของน้ำ และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการ	

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
	กรองแบบไหลขึ้น ที่อัตราการกรองที่เหมาะสม 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	102
ก.1	ข้อมูลในการทำเส้นโค้งมาตรฐานของเหล็กโดยใช้ สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ของ PERKIN ELMER JUNIOR III Spectrophotometer COLEMMAN 6/8	110
ก.2	ข้อมูลในการทำเส้นโค้งมาตรฐานของเหล็กโดยใช้ สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ของ BAUSCH & LOMS SPECTRONIC 70	111
ข.1	ผลการวิเคราะห์ขนาดทรายกรองของระบบการกรอง แบบไหลขึ้น	115

รายการรูปประกอบ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงรูปต่าง ๆ ของเหล็กในน้ำ	4
2.1	ถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น	19
2.2	ถังกรองเสริมตะแกรงแบบไหลขึ้น	19
4.1	แสดง DIAGRAM ของแบบทดลองการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล	29
4.2	เครื่องมือทดลองในแบบทดลองและในโรงประปา	30
4.3	แสดงถังพักในแบบทดลอง	32
4.4	แสดงถังกรองในแบบทดลอง	33
5.1	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้วและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	44
5.2	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	45
5.3	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	46
5.4	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	47
5.5	ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	48
5.6	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	54
5.7	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรองที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	55
5.8	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตรา. การกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	56

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.9	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตรา การกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	57
5.10	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตรา การกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	58
5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กทั้งหมดในน้ำและความขุ่นของน้ำ	62
5.12	ความฝืดของตัวกรองที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตรา การกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	63
5.13	ความฝืดของตัวกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตรา การกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	64
5.14	ความฝืดของตัวกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	65
5.15	ความฝืดของตัวกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	66
5.16	ความฝืดของตัวกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	67
5.17	ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจน ละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากกรองที่เวลาต่าง ๆ ตลอด อายุการกรอง เมื่อน้ำไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	74
5.18	ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจน ละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากกรองที่เวลาต่าง ๆ ตลอด อายุการกรอง เมื่อน้ำไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	74
5.19	ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจน ละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการ	

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
	กรอง เมื่อน้ำไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. ..	75
5.20	ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่อน้ำไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	75
5.21	ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่อน้ำไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	76
5.22	แสดงออกซิเจนละลายที่ใช้ไปในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำ จากการทดลองการกรองแบบไหลขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎี ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	77
5.23	แสดงออกซิเจนละลายที่ใช้ไปในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำ จากการทดลองการกรองแบบไหลขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎี ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	77
5.24	แสดงออกซิเจนละลายที่ใช้ไปในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำ จากการทดลองการกรองแบบไหลขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎี ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	78
5.25	แสดงออกซิเจนละลายที่ใช้ไปในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำ จากการทดลองการกรองแบบไหลขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎี ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม.	78

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.26	แสดงออกซิเจนละลายที่ใช้ไปในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำ จากการทดลองการกรองแบบไหลขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎี ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	79
5.27	แสดงค่าของตะกอนเหล็กเคลือบเม็ดทรายกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ภายหลังอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.	81
5.28	แสดงค่าของตะกอนเหล็กเคลือบเม็ดทรายกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ภายหลังอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	81
5.29	แสดงค่าของตะกอนเหล็กเคลือบเม็ดทรายกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ภายหลังอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 10 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.. การทดลองที่ 2/1	81
5.30	แสดงค่าของตะกอนเหล็กเคลือบเม็ดทรายกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ภายหลังอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 12.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/1	82
5.31	แสดงค่าของตะกอนเหล็กเคลือบเม็ดทรายกรอง ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ภายหลังอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 15 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/1	82
5.32	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และ % การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/2	88
5.33	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และ % การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม.. การทดลองที่ 2/3	89

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.34	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และ % การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/4	90
5.35	แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่กรองแล้ว และ % การกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/10	91
5.36	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/2	93
5.37	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/3	94
5.38	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/4	95
5.39	ค่าของเหล็กทั้งหมด ที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/10	96
5.40	ความฝืดของตัวกรองที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/2	98
5.41	ความฝืดของตัวกรองที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/3	99
5.42	ความฝืดของตัวกรองที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. การทดลองที่ 2/4	100

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.43	ความฝืดของตัวกรองที่ระดับต่าง ๆ ของตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 7.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การทดลองที่ 2/10	101
ก.1	เส้นโค้งมาตรฐานของเหล็กโดยใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ของ PERKIN ELMER JUNIOR III SPECTROPHOTOMETER COLEMAN 6/8	112
ก.2	เส้นโค้งมาตรฐานของเหล็กโดยใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ของ BAUSCH & LOMS SPECTRONIC 70	113
ข.1	เส้นโค้งที่ใช้ในการหาขนาดทรายกรอง	116
ค.1	แสดงการกระจายของความดันในตัวกรองของระบบการกรองแบบไหลขึ้น	118