ผลของแอเรเตอร์โหลดติงที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว

นายประกิต จั่นอุไร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2522

001463

I 16088104

EFFECTS OF AN AERATOR LOADING ON IRON REMOVAL IN RAPID SAND FILTER

Mr. Prakit Chanurai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1979

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของแอเรเตอร์โหลดดิงที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว
โดย	นายประกิต จั่นอุไร
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต
	นายบุญส่ง สื่ออยู่ยง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ อรุณ สรเทศน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....กรรมการ
(นายบุญส่ง สื่ออยู่ยง)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของแอเรเตอร์โหลดดิง (อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ) ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว

ชื่อนิสิต นายประกิต จั่นอุไร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต
นายบุญส่ง สื่ออยู่ยง

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2522

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ออกซิเดชั่น การตกตะกอน และการกรอง เนื่องด้วยน้ำบาดาลในบ่อลึกที่นำมาใช้ผลิตน้ำประปามักจะมีค่า pH ไม่เกิน 6.0 และมีความเป็นด่างค่อนข้างต่ำ จึงทำให้เหล็กในน้ำที่ผ่านขบวนการออกซิเดชั่นโดยวิธีเติมอากาศแล้วตกตะกอนได้ยากมาก หน่วยกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลหลายแห่งในประเทศไทยจึงใช้เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น ตามด้วยระบบทรายกรองเร็ว การกำจัดเหล็กวิธีนี้พบว่าเป็นวิธีที่ควบคุมง่ายและประหยัด แต่อย่างไรก็ดีมักพบว่าน้ำที่กรองแล้วยังคงมีปริมาณเหล็กและความขุ่นค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กและความขุ่นของน้ำก่อนกรอง

ในการทดลองนี้ แบบทดลองที่ใช้ประกอบด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้นซึ่งมีก้านไม้ขนาด 2" – 4" เป็นตัวช่วยเติมอากาศ และระบบทรายกรองเร็วซึ่งใช้ทรายที่มีขนาดประสิทธิผล 0.53 ม.ม. และมีสัมประสิทธิ์แห่งความสม่ำเสมอ 1.66 จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัว คือ อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ และอัตราการกรอง ที่อัตราการกรองคงที่ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเพิ่มขึ้น ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. และอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ 12.5 ม./ช.ม. ระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กได้ประมาณ 70 % และน้ำที่กรองแล้วมีความขุ่นสูง แต่ที่อัตราการกรอง

เดียวกันเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศสูงมาก หรือการกรองโดยตรงโดยไม่ใช้เครื่องเติมอากาศ ปรากฏว่าระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กได้ถึง 94 %

ในระบบการกรองโดยตรง อัตราการกรองที่เหมาะสมคือ 7.5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กจะลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจาก 94 % ถึง 93 % เมื่อเพิ่มอัตราการกรองจาก 5 ม./ช.ม. ถึง 7.5 ม./ช.ม. แต่เมื่อเพิ่มอัตราการกรองขึ้นไปอีกประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 66 % ที่อัตราการกรอง 15 ม./ช.ม.

สำหรับการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศตามด้วย ระบบทรายกรองเร็วในโรงประปาซึ่งมีกำลังผลิตน้ำประปาประมาณ 20 $ม^3$/ช.ม. พบว่า ที่อัตราการกรองไม่เกิน 5 ม./ช.ม. การกรองโดยตรงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กสูงกว่าการเติมอากาศตามด้วยการกรอง

Thesis Title	Effects of an Aerator Loading on Iron Removal in Rapid Sand Filter
Name	Mr. Prakit Chanurai
Thesis Advisor	Assistance Professor Theera Karot, Ph.D.
	Mr. Boonsong Seuyouyong, M.Sc.
Department	Sanitary Engineering
Academic Year	1979

Abstract

The removal of iron from ground water involes three basic processes: oxidation, settling and filtration. Most of deep well ground water which commonly used as a source of water supply usually has pH less than 6.0 and low alkalinity. The iron in this water after oxidised by aeration process was in the form which settled difficulty. Many iron removal plants in Thailand were then used multiple trays aerator followed by rapid sand filtration. This process is easy to control and economical, however the filtered water was still high in iron content and turbidity compared to the unfiltered water.

In this experiment, the pilot plant used consisted of multiple trays aerator, 2" - 4" charcoal as a media and rapid sand filter, 0.53 m.m. effective size and 1.66 uniformity coefficient. The source of raw water used was a deep well water in which the iron content was about 4.0 mg/l. From the study,iron removal

depended upon two important variables : aerator loadings and filtration rates. At a constant filtration rate the efficiency of iron removal increased when aerator loadings increased. At a filtration rate of 5 m./hr. and an aerator loading of 12.5 m./hr., the iron removed by the rapid sand filter was about 70 % and the filtered water had high turbidity. At the same filtration rates, when the aerator loadings are high or when direct filtration was used the iron could be removed up to 94 %.

In direct filtration, the optimum filtration rate was 7.5 m./hr.. Iron removal would decrease when filtration rates were increased. The iron removal efficiency changed very little from 94 % to 93 % when the filtration rates increased from 5 m./hr. to 7.5 m./hr. but with higher filtration rates the iron removal would decrease abruptly down to 66 % at 15 m./hr. filtration rates.

In a full scale water treatment plant which uses sand filtration and has a capacity of 20 m./hr., the direct filtration was proved more effective than aeration followed by rapid sand filtration, at filtration rates of less than 5 m./hr..

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอบพระคุณ บุคคล และหน่วยงาน ที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และได้สละเวลาเดินทางไปตรวจสอบผลการวิจัยถึงจังหวัดพิษณุโลก

2. นายช่างบุญส่ง สื่ออยู่ยง ผู้อำนวยการศูนย์ประชาชนบท เขต 6 จังหวัดพิษณุโลก ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดเวลาที่ทำการทดลอง, ให้ความอุปถัมภ์เกี่ยวกับวัสดุและสารเคมีในการวิจัย, ให้ความอุปถัมภ์เกี่ยวกับที่พักระหว่างที่ทำการทดลอง และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

3. นายช่างฤทธิรงค์ จัยสิน วิศวกรศูนย์ประชาชนบท เขต 6 พิษณุโลก และนายฌชัย กฤชทับทอง เจ้าหน้าที่ศูนย์ประชาชนบท เขต 6 ที่ได้ช่วยเหลือในการขนส่งวัสดุ และช่วยจัดเตรียมวัสดุวิจัย

4. คณะกรรมการประชาบ้านไผ่ขอดอน ที่ได้ให้ความอุปถัมภ์เกี่ยวกับสถานที่ และเครื่องสูบน้ำดิบที่ใช้ในการวิจัย

5. นายช่างสิทธิชัย พิษฐานหร ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองประชาชนบท ที่ได้อนุมัติให้ผู้วิจัยได้เดินทางไปราชการ เพื่อปฏิบัติงานวิจัยเพิ่มเติม จนกระทั่งได้ผลการทดลองที่สมบูรณ์

6. ห้างหุ้นส่วนจำกัดนันทกิจ ที่ให้ความอุปการะเกี่ยวกับการขนส่งวัสดุวิจัย

7. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอุปการะเกี่ยวกับเงินทุนอุดหนุนทำวิทยานิพนธ์

สารบาญ

บทที่		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
	กิตติกรรมประกาศ	ช
	รายการตารางประกอบ	ฎ
	รายการรูปประกอบ	ฒ
	บทนิยาม	ต
	รายการย่อหน่วย	ธ
	รายการเทียบหน่วย	น
	รายการเทียบคำแปล	บ
1	บทนำ	1
	1.1 กล่าวนำทั่วไป	1
	1.2 แหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ	2
	1.3 ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ	3
	1.4 ปัญหาของเหล็กในน้ำ	4
	1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
2	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
	2.1 การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการเติมอากาศ ตามด้วยระบบทรายกรองเร็ว	7
	2.2 ประวัติความเป็นมาของการกำจัดเหล็กในน้ำ โดยทั่วไป	7
3	ทฤษฎี	15
	3.1 วิธีกำจัดเหล็กในน้ำ	15
	3.2 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดเหล็ก	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	การทดลอง	25
	4.1 เครื่องมือในการทดลอง	25
	เครื่องมือทดลองในแบบทดลอง	25
	เครื่องมือทดลองในโรงประปา	32
	4.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	36
	4.3 ขั้นตอนและตัวแปรในการทดลอง	38
	ขั้นตอนในการทดลอง	38
	ตัวแปรในการทดลอง	38
	4.4 วิธีทดลอง	41
5	ผลการทดลองและการวิจารณ์	45
	5.1 คุณสมบัติของน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบในการวิจัย	45
	5.2 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศที่เหมาะสม	47
	การทำงานของเครื่องเติมอากาศ	47
	การทำงานของถังตกตะกอน	54
	การทำงานของระบบทรายกรองเร็ว	56
	5.3 การทดลองหาอัตราการกรองที่เหมาะสมของระบบการกรองโดยตรง	93
	การทำงานของระบบทรายกรองเร็ว	94
	การพิจารณาอัตราการกรองที่เหมาะสม	107
	5.4 การทำงานของระบบกำจัดเหล็กในโรงประปา	111
	การประปาบ้านไผ่ขอดอน	111
	การประปาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม	115

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
6	สรุป	119
7	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	121
	เอกสารอ้างอิง	122
	ภาคผนวก ก. เดอฟวมาตรฐานของเหล็กที่ใช้ในการวิจัย	128
	ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ขนาดของทรายกรองของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง	131
	ภาคผนวก ค. รายละเอียดของประปาชนบทในประเทศไทยที่มีระบบกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล	134
	ประวัติผู้เขียน	143

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1	เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลที่ pH กับความเป็นด่างมีค่าต่ำระหว่างการเติมปูนขาวเพื่อเพิ่ม pH กับการไม่เติมปูนขาว.	23
4.1	วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการวิจัย	36
4.2	ตัวแปรในการทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ	40
5.1	คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบในการวิจัย . . .	46
5.2	การเติมออกซิเจน, การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ และการเพิ่ม pH ในน้ำดิบจากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศ ในแบบทดลอง	48
5.3	ผลการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศมีค่าต่าง ๆ ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. . .	51
5.4	ออกซิเจนละลายในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราย) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเป็น ∞ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง (ไม่ใช่เครื่องเติมอากาศ) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง	53
5.5	ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศที่มีต่อการกำจัดเหล็กในถังตกตะกอน ที่อัตราการไหลของน้ำล้น 0.384 ม./ช.ม. และระยะเวลาเก็บกัก 8 ช.ม.	55
5.6	การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่	58
5.7	เหล็กเฟอร์ริคและความขุ่นในน้ำที่กรองแล้ว จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่.	63

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.8	อายุการกรองของระบบทรายกรองเร็ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ภายหลังการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่	74
5.9	การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่.	76
5.10	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่	80
5.11	ออกซิเจนละลายที่มีในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจนละลายที่มีในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่	81
5.12	อายุการกรองในการทำงานของระบบทรายกรองเร็ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายภายหลังการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็วจากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองเมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่.	87
5.13	ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว, อายุการกรอง และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง	88

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.14	การกำจัดเหล็กในตัวกรอง ของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ เป็น ∞ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรงที่อัตราการกรองต่าง ๆ	96
5.15	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว เมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองต่าง ๆ จากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็ว ในแบบทดลอง.	97
5.16	อายุการกรองและเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ในการ กำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงที่อัตราการกรองต่าง ๆ	106
5.17	การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, อายุการกรอง, ความขุ่น ของน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายที่ เหมาะสม ที่อัตราการกรองต่าง ๆ เมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรอง โดยตรงด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง.	110
5.18	เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว และความขุ่น ของน้ำที่กรองแล้วระหว่างการเติมอากาศตามด้วยการกรอง กับ การกรองโดยตรงที่อัตราการกรองเดียวกัน จากการทดลองด้วย เครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในโรงประปา.	113
5.19	เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, อายุการกรอง และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว ระหว่างการเติมอากาศตามด้วย การกรอง กับการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองเดียวกัน.	117

รายการรูปประกอบ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีไฟฟ้า.	13
3.1	อัตราการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสที่ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัส และที่ pH ต่าง ๆ	21
4.1	เครื่องมือทดลองในแบบทดลองและในโรงประปา.	26
4.2	การติดตั้งเครื่องมือวิจัย.	27
4.3	เครื่องเติมอากาศในแบบทดลอง.	28
4.4	ระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง.	30
4.5	ท่อก้างปลาของระบบทรายกรองเร็วในโรงประปา	33
4.6	ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้นในแบบทดลอง.	34
5.1	เหล็กในน้ำ (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองของการทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศต่าง ๆ แต่มีอัตราการกรองเดียวกันที่ 5 ม./ช.ม. .	60
5.2	เหล็กทั้งหมด (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองของตัวกรองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศต่าง ๆ และมีอัตราการกรองที่ 5 ม./ช.ม. . . .	61
5.3, 5.7	ความสูงของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ เท่ากับ 12.5 ม./ช.ม. .	65, 69
5.4, 5.8	ความสูงของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ เท่ากับ 25 ม./ช.ม.	66, 70

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.5, 5.9	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ เท่ากับ 37.5 ม./ช.ม. . . .	67, 71
5.6, 5.10	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเท่ากับ 50 ม./ช.ม.	68, 72
5.11 - 5.13	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเป็น ∝ ม./ช.ม.	83,84,85
5.14 , 5.15	ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่มีอัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. และเหล็กทั้งหมดที่เข้าระบบทรายกรองเร็วประมาณ 4 มก./ล. . .	89, 90
5.16	ค่าเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดตลอดอายุการกรอง ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองของการทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ ∝ ม./ช.ม. และมีอัตราการกรองต่าง ๆ . . .	95
5.17 - 5.19	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 7.5 ม./ช.ม.	99,100,101
5.20, 5.21	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 10 ม./ช.ม.	102,103

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.22	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 12.5 ม./ช.ม.	104
5.23	ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 15 ม./ช.ม.	105
5.24	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว (แบบทดลอง) โดยการกรองโดยตรง ระหว่างอัตราการกรองต่าง ๆ	108
5.25	เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กทั้งหมดระหว่างการเติมอากาศตามด้วยการกรองกับการกรองโดยตรง ทดลอง ณ โรงประปาการประปาบ้านไผ่ชอดอน	112
5.26	ลักษณะของน้ำบาดาลก่อนการกำจัดเหล็ก, ผ่านการกำจัดเหล็กโดยการเติมอากาศตามด้วยการกรอง และผ่านการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ซึ่งได้จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น และระบบทรายกรองเร็วของการประปาบ้านไผ่ชอดอน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก	114
5.27	เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กทั้งหมด ระหว่างการเติมอากาศตามด้วยการกรองกับการกรองโดยตรง ทดลอง ณ โรงประปาการประปาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม	116
ก. 1	เคอฟวมาตรฐานของเหล็กในน้ำโดยสเปคโตโฟโตมิเตอร์	130
ข. 1	เคอฟวที่ใช้ในการหาขนาดทรายกรอง	133

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทนิยาม

การกรองโดยตรง

หมายถึง การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลที่รวมออกซิเดชั่น และการกรองเข้าด้วยกันในชั้นทราย และมีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ลาดเติมอากาศเป็น ∞ ม./ช.ม.

การล้างแบบไหลกลับ

หมายถึง การล้างทรายในระบบทรายกรองเร็ว โดยควบคุมให้น้ำล้างไหลเข้าไปทางท่อน้ำที่กรองแล้ว ด้วยอัตราการไหลประมาณ 7 – 15 เท่าของอัตราการกรอง ที่อัตราการไหลดังกล่าว น้ำล้างจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เมล็ดทรายเกิดการขัดสีกัน เมื่อเมล็ดทรายขัดสีกัน บรรดาสิ่งสกปรกก็จะหลุดออกจากเมล็ดทราย และถูกระบายออกไปจากระบบทรายกรองเร็ว

การเติมอากาศ

หมายถึง การเติมออกซิเจน จากอากาศเข้าไปในน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ CO_2 มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำ ก๊าซชนิดนี้มักเกิดจาก ออกซิเดชั่นของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในน้ำ และเมื่อรวมกับน้ำจะเกิดกรดคาร์บอนิค ทำให้ pH ของน้ำลดลงไม่ต่ำกว่า 4.5

ความฝืดของตัวกรอง มีหน่วยเป็น ช.ม.

หมายถึง ความดันของน้ำที่สูญเสียไปในชั้นของตัวกรอง ค่าความฝืดของตัวกรองสามารถวัดได้จากความแตกต่างระหว่างความดันที่วัดเป็นความสูงของน้ำก่อนไหลผ่านตัวกรอง กับความดันที่วัดเป็นความสูง ของน้ำภายหลังไหลผ่านตัวกรองแล้ว

ความเป็นด่าง มีหน่วยเป็น มก./ล. เทียบ $CaCO_3$

หมายถึงความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรด หรือ รับโปรตอน หรือดูดซับ โดยไม่ทำให้ pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงมากนัก

ความขุ่น มีหน่วยเป็น NTU.

หมายถึงการมีสารที่ไม่ละลายน้ำขัดขวางทางเดินของแสงในน้ำ สารที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ สารแขวนลอย, อนุภาคคอลลอยด์ และจุลินทรีย์ต่าง ๆ

ตัวกรอง

หมายถึงวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรอง สำหรับตัวกรองที่ใช้ในการวิจัย คือทรายกรอง และกรวดกรอง

น้ำดิบ

หมายถึงน้ำที่มีอยู่ในบ่อบาดาล หรือน้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อบาดาลใหม่ ๆ และยังไม่ได้สัมผัสอากาศ

น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ

หมายถึง น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมา ได้ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ (แบบถาดหลายชั้น) แล้ว

น้ำที่กรองแล้ว

หมายถึง น้ำที่ไหลผ่านระบบทรายกรองเร็ว ด้วยอัตราการกรองที่เหมาะสม

เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย

หมายถึง ร้อยละของน้ำที่กรอง ได้ตลอดอายุการกรองที่สูญเสียไปในการล้างทรายโดยการล้างแบบไหลกลับ หรือ

$$\%\text{น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสม} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำที่กรองได้ตลอดอายุการกรอง}}$$

เหล็กทั้งหมด มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง ผลรวมของเหล็กเฟอร์รัส และเหล็กเฟอร์ริค ที่มีอยู่ในน้ำ

เหล็กเฟอร์รัส มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง เหล็กที่มีอยู่ในน้ำ ในรูปของอิออนหรือโมเลกุล

เหล็กเฟอร์ริค มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง เหล็กที่ไม่ละลายในน้ำ มีค่าเท่ากับเหล็กทั้งหมดลบด้วยเหล็กเฟอร์รัส

สภาพการละลาย มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง จำนวนที่ถูกละลาย จะละลายได้ในตัวทำละลาย บางทีอาจจะบอกเป็นกรัมของตัวถูกละลายต่อ 100 กรัมของตัวทำละลาย

ออกซิเดชั่น

หมายถึง ปฏิกิริยาใดก็ตามที่ทำให้เวเลนซี่ของธาตุหรืออนุมูลเพิ่มขึ้น และมักจะหมายถึงปฏิกิริยาที่มีออกซิเจนเข้าร่วมทำปฏิกิริยาอยู่ด้วย

อายุการกรอง มีหน่วยเป็น ช.ม.

หมายถึง ระยะเวลาในการกรองอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ ความฝืดของตัวกรอง มีค่าน้อยที่สุด ไปจนกระทั่งเมื่อความฝืดของตัวกรองมีค่าประมาณ 1.80 ม.

ออกซิเจนละลาย หรือ D.O. มีหน่วยเป็น มก./ล.

หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ

แอเรเตอร์โหลดดิ้งหรืออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ มีหน่วยเป็น ม./ช.ม.

หมายถึง อัตราการไหลของน้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อบาดาล ต่อหน่วยพื้นที่ถาดของเครื่องเติมอากาศ (แบบถาดหลายชั้น)

อัตราการกรอง มีหน่วยเป็น ม./ช.ม.

หมายถึง อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของตัวกรอง

pH

หมายถึง ความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน H^+ ในน้ำโดยคำนวณได้จากสูตร $pH = -Log \left[H^+\right]$ เมื่อ $\left[H^+\right]$ = ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

รายการย่อหน่วย

ก.	ย่อมาจาก	กรัม
ช.ม.	"	ชั่วโมง
ซ.ม.	"	เซ็นติเมตร
°ซ.	"	องศาเซลเซียส
ซี.ซี.	"	ลูกบาศก์เซ็นติเมตร
ม.	"	เมตร
$ม.^2$	"	ตารางเมตร
$ม.^3$	"	ลูกบาศก์เมตร
ม.ม.	"	มิลลิเมตร
ม.ล.	"	มิลลิลิตร
มก./ล.	"	มิลลิกรัมต่อลิตร
ม./ช.ม.	"	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
$ม.^3/ช.ม.$	"	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
%	"	เปอร์เซ็นต์
∝	"	อินฟินิตี้
ϕ	"	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
'	"	ฟุต
"	"	นิ้ว
NTU.	"	Nephelometric Turbidity Units

รายการเทียบหน่วย

พื้นที่	1 $ม.^2$	เทียบเป็น	10.76	ตารางฟุต
ปริมาตร	1 $ม.^3$	"	264.2	แกลลอน (อเมริกัน)
		"	1,000.0	ลิตร
	1 ม.ล.	"	1	ซี.ซี.
อัตราการไหล	1 $ม.^3$/ช.ม.	"	4.403	แกลลอนต่อนาที
อัตราการกรอง	1 ม./ช.ม.	"	0.4	แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต
ความยาว	2.54 ซ.ม.	"	1.0	นิ้ว
	1 ม.	"	3.281	ฟุต
อุณหภูมิ	° ซ.	"	$\frac{5}{9}$	(° ฟาเรนไฮท์ – 32)
แรงดัน	1 บรรยากาศ	"	14.7	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
		"	760	ม.ม.ปรอท
		"	33.9	ฟุตน้ำที่ 4° ซ.
น้ำหนัก	453.6 ก.	"	1.0	ปอนด์
ความหนาแน่น	1 ก./มล.	"	8.34	ปอนด์ต่อแกลลอน
	1 มก./ล.	"	1.0	ส่วนในล้านส่วน

รายการเทียบคำแปล

กรดเกลือ	Hydrochloric Acid
การกรอง	Filtration
การกรองโดยตรง	Direct Filtration
การกรองแบบสัมผัส	Contact Filtration
การดูดซับ	Adsorption
การเติมอากาศ	Aeration
การเติมอากาศตามด้วยการกรอง	Aeration followed by Filtration
การตกตะกอน	Sedimentation
การทดลองอย่างต่อเนื่อง	Continuous Run
การทำตะกอน	Precipitation
การล้างแบบไหลกลับ	Back Wash
กรวดกรอง	Gravel Filter
ขนาดประสิทธิผล	Effective Size
คาร์บอนไดออกไซด์	Carbondioxide
ความกระด้าง	Hardness
ความขุ่น	Turbidity
ความเป็นด่าง	Alkalinity
ความฝืดของตัวกรอง	Head Loss of Media
ความลึกประสิทธิผล	Effective Depth
เครื่องเติมอากาศ	Aerator
เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น	Multiple Trays Aerator
เครื่องวัดความขุ่น	Turbidimeter
เครื่องวัดอัตราการไหล	Flow Meter
เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	Spectrophotometer
เครื่องวัด pH	pH Meter
คอลลอยด์	Colloids
ชั้นตะกอน	Sludge Blanket
โซเดียมไฮดรอกไซด์	Sodium Hydroxide
ด่างทับทิม	Potassium Permanganate
ตัวแปร	Variables
ตัวแปรอิสระ	Independent Variables
ตัวแปรตาม	Dependent Variables

ตัวกรอง (ทราย กรวด) . . . . . Media (Sand + Gravel)
ตัวเร่งปฏิกิริยา . . . . . Catalytic Agents
ตัวกลางของแอเรเตอร์ . . . . . Aerator Media
ตะกอน . . . . . Flocs
ตระกรัน . . . . . Scale
ถาดเติมอากาศ . . . . . Tray Aerator
ถ่านไม้ . . . . . Charcoal
ถังควบคุมการไหล . . . . . By-Pass Chamber
ถังตกตะกอน . . . . . Sedimentation Tank
ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น . . . . . Up Flow Clarifier
ทรายกรอง . . . . . Sand Filter
ทรงกระบอก . . . . . Cylinder
ท่อกางปลาใหญ่ . . . . . Manifold
ท่อกางปลาเล็ก . . . . . Lateral
น้ำดิบ . . . . . Raw Waters
น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ . . . . . Aerated Waters
น้ำที่กรองแล้ว . . . . . Filtered Waters
น้ำบาดาล . . . . . Ground Water
น้ำผิวดิน . . . . . Surface Water
น้ำสังเคราะห์ . . . . . Synthetic Water
น้ำที่มีเหล็ก . . . . . Iron-Bearing Waters
แบบทดลอง . . . . . Pilot Plant
แบบทดลองขนาดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ . . . . . Lab Scale
ปั๊มเทอร์ไบน์ . . . . . Turbine Pump
ปูนขาว . . . . . Lime
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง . . . . . Review of Literature
ผลการทดลองและการวิจารณ์ . . . . . Results and Discussions
พลังงานกล . . . . . Mechanical Power
พลังงานน้ำ . . . . . Hydraulic Power
ระบบทรายกรองเร็ว . . . . . Rapid Sand Filter
ระบบทรายกรองช้า . . . . . Slow Sand Filter
ระบบกรองแบบใช้ความดัน . . . . . Pressure Filter
โรงประปา . . . . . Large Plant
รูรับน้ำที่ท่อกางปลาเล็ก . . . . . Orifice

รูปที่เสถียร	Stable Form
รูปที่เป็นตะกอน	Flocs Form
เหล็กทั้งหมด	Total Iron
เหล็กเฟอร์รัส	Ferrous Iron
เหล็กเฟอร์ริค	Ferric Iron
เหล็กอนินทรีย์	Inorganic Iron
เหล็กอินทรีย์	Organic Iron
เหล็กที่มีในน้ำ	Iron in Waters
เส้นโค้งแสดงความฝืด	Head Loss Curve
สภาพการละลาย	Solubility
สัมประสิทธิแห่งความสม่ำเสมอ	Uniformity Coefficient
สารสม	Alum
สรุป	Conclusions
อัตราการกรอง	Filtration Rates
อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ หรือแอเรเตอร์โหลดดิ้ง	Aerator Loadings
อัตราการกรอง	Filtration Rates
อิออน	Ion
อิออนอนินทรีย์ประจุบวก	Inorganic Cation
ออกซิเดชั่น	Oxidation
ออกซิไดส์	Oxidise
ช.ม.	hr.
ซ.ม.	cm.
ซี.ซี.	cc.
^{o}ซ.	^{o}C
ม.	m.
ม./ช.ม.	m./hr.
ม.^{3}/ช.ม.	m.^{3}/hr.
มก./ล.	mg,/l.