การศึกษาวิธีกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนโดยแบบจำลอง ทริคคลิ่งฟิลเตอร์

นาย วิพุธ เลาหนันทน์

004750

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
แผนกวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2521

i 17362039

A STUDY OF LABORATORY BENCH SCALE TRICKLING FILTER FOR DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT

Mr. Wiput Loahananta

A **Thesis** Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1978

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนโดยแบบจำลอง ทริคคลิ่งฟิลเตอร์
โดย	นาย วิพุธ เลาหนันท์
แผนกวิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....รักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

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

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนโดยแบบจำลองทริคคลิ่งฟิลเตอร์
ชื่อนิสิต	นายวิพุธ เลาหนันทน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์
แผนกวิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา	2521

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำขึ้นเพื่อหา Performance ของระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบจำลอง Trickling filter ที่ใช้หินกรวดขนาดต่างกันเป็นตัวกลางสำหรับในการกำจัดน้ำโสโครก ซึ่งมีค่า BOD$_5$ เฉลี่ยประมาณ 105 ม.ก. ต่อลิตร โดยไม่มีการไหลหมุนเวียนแบบอย่างของตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองของการทดลองมีอยู่ 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดของหินกรวดที่ใช้เป็นตัวกลางตั้งแต่ 1 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว และ 2 นิ้ว ถึง 3 นิ้ว ใช้ในเครื่องกรองแต่ละตัว ซึ่งมีความสูง 1.8 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 เมตร การทดลองแสดงให้ทราบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของเครื่องกรองที่มีขนาดของตัวกลาง 1 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว ให้ผลดีกว่าเครื่องกรองที่ใช้ขนาดตัวกลาง 2 นิ้ว ถึง 3 นิ้ว ที่ใช้ Loading และความสูงเหมือนกัน ในการศึกษาได้พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของ BOD$_5$ มีค่า 73 % ถึง 90 % ที่ใช้ Hydraulic loading 4.32 ม.^{3}ม.$^{-3}$ วัน$^{-1}$ ถึง 1.08 ม.^{3} ม.$^{-3}$ วัน$^{-1}$ Organic loading 400 ก.BOD ม.$^{-3}$ วัน$^{-1}$ ถึง 84 ก. BOD$_5$ ม.$^{-3}$ วัน$^{-1}$ ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD$_5$ เพิ่มขึ้นในลักษณะ First order สัมพันธ์กับความสูงของตัวเครื่องกรอง

แบบของ Mathematical model ได้ถูกหามาเป็นสูตรสำเร็จมีแบบดังต่อไปนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0088\ A_v D/\ Q_s^{0.23}}$$, ตัวกลางกรวดขนาด 1 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว

และ $$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0133\ A_v D/ Q_s^{0.25}}$$, ตัวกลางกรวดขนาด 2 นิ้ว ถึง 3 นิ้ว

ซึ่งค่า L_e และ L_i เป็นค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำทิ้งออก และน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบตามลำดับ สูตรแบบนี้ได้รวมผลของความสูง (D) และ Hydraulic loading (Q_S) ที่อุณหภูมิคงที่ประมาณ 28 องศาเซลเซียส

การทดลองได้พบว่า Performance ของสูตรเกี่ยวกับ Trickling filter ก่อน ๆ ในอดีตได้มาจากข้อมูลของการทำงานและวิเคราะห์ทดลอง ข้อมูลที่ได้จากสูตรเกี่ยวกับ Trickling filter ส่วนมากจะมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ จากการคำนวณของสูตรต่าง ๆ เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องกรองพบว่า สูตรของ ECKENFELDER มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด

Thesis Title	A Study of Laboratory Bench Scale Trickling Filter for Domestic Waste Water Treatment
Name	Mr. Wiput Loahananta
Thesis Advisor	Associate Professor Sawasdi Dharmikarak
Department	Sanitary Engineering
Academic Year	1978

ABSTRACT

This research was carried out to determine the performance of laboratory scale trickling filter plants employing gravel of various sizes as media for treatment of domestic sewage with BOD_5 averaging 105 $mg.l^{-1}$ without recirculation. These two types of media tested were 1" to 2" and 2" to 3" size gravel in each trickling filter with 1.8 m. in depth and 0.15 m. in diameter. The tests showed that the removal efficiency of the medium 1" to 2" gravel trickling filter size got better performance than medium 2" to 3" gravel trickling filter at the same loading and depth. The study revealed that a BOD_5 removal efficiency of 73 % to 90 % can be achieved at hydraulic loading rates of 4.32 to 1.08 $m.^3 m.^{-3} day^{-1}$, corresponding to organic loadings of 400 to 84 g. $BOD_5 m.^{-3} day^{-1}$. BOD removal efficiency increased as a first order relationship with respect to filter depth.

A mathematical model was derived empirically in the form:

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0088\, A_v D/Q_s^{0.23}}, \text{ Medium 1" to 2" gravel}$$

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0133 A_v D/Q_s^{0.25}}, \text{ Medium 2" to 3" gravel}$$

where L_e and L_i are BOD_5 concentration in effluent and influent, respectively. This model takes into account the effects of depth (D) and hydraulic loading (Q_s) at a constant temperature of about 28^0c.

It was found that the data derived from this experiment were consistent with those produced by trickling filter performance using pervious formulations. Based on all previous formulations, calculations of the efficiency of the filters revealed that the ECKENFELDER formulation produced the value closest to that obtained from this experiment.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยครั้งนี้ ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจ และแก้ไข จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่ง ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ขอขอบคุณ คุณพิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ คุณอุสาหะ ศันอู่สิน คุณสมศักดิ์ ตั้งตระกูล คุณสุนันทา กาญจนะ ที่ได้ช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทดสอบ และขอขอบคุณ คุณมนตรี สุนทรศร ที่ได้ช่วยเหลือในด้านการเขียนรูปต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโรงกำจัดน้ำโสโครก ห้วยขวาง ของการเคหะแห่งชาติ ทุกท่านที่ได้ให้ความสะดวก ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ทดลอง ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . ฉ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ช

รายการตารางประกอบ . . . . . ฎ

รายการรูปประกอบ . . . . . ด

ความหมายของสัญญลักษณ์ต่าง ๆ . . . . . ม

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 กล่าวโดยทั่วไป 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

2. ทฤษฎีของเครื่องกรองแบบทริกกลิ่ง ฟิลเตอร์ หรือระบบลานกรอง 5

2.1 ประวัติความเป็นมา 5

2.2 หลักการทั่วไป 5

2.3 ผลที่เกี่ยวกับระบบของ Trickling Filter 7

2.3.1 ผลของ BOD_5 และ Hydraulic Loading . . 7

2.3.2 ผลของอุณหภูมิ 8

2.3.3 ผลของอาหารเสริม 9

2.3.4 ผลของการหมุนเวียน 9

2.3.5 ผลของแบบ, ขนาด และความสูงของตัวกลาง. . 10

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

2.3.6 ผลของเวลา 11

2.4 แบบสูตรสำเร็จของ Trickling Filters 12

3. การดำเนินการวิจัย 22

3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง 22

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 23

3.3 แผนการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 23

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 28

4.1 การเริ่มต้นการทดลอง 28

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD_5 และ COD 44

4.3 ค่า BOD_5 ที่ถูกกำจัดออก 44

4.4 ค่า COD ที่ถูกกำจัดออก 51

4.5 ผลของความลึกของ Filter 55

4.6 ค่า Nitrogen ที่ถูกกำจัดออก 56

4.7 ค่า Suspended Solids ที่ถูกกำจัดออก และค่าของ-
pH 56

4.8 ค่าของ Dissolved Oxygen 58

4.9 Accumulation of Biological Film 58

4.10 Performance of Filters by Various Formu-
lations 62

5. สรุปผลการทดลอง 78

6. ข้อแนะนำในการวิจัยเพิ่มเติม 83

บทที่ หน้า

เอกสารอ้างอิง 84

ภาคผนวก 90

ตัวอย่างการคำนวณ 90

ประวัติ 103

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

1. แสดงค่าตัวแปรเปลี่ยนอิสระและตัวแปรเปลี่ยนไม่อิสระที่ใช้ในการศึกษา 4
2. แสดงลักษณะน้ำโสโครกจากโรงกำจัดน้ำโสโครกห้วยขวาง . . 22
3. แสดงลักษณะการทำงานของระบบกำจัด Trickling Filter ที่ใช้ทดลอง 27
4. แสดงค่า Variation in COD and BOD_5 Concentration of Raw Sewage เวลา 10.30 น. 29
5. แสดงค่า COD at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 30
6. แสดงค่า BOD_5 at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 31
7. แสดงค่า Variation of Total N, S.S., D.O. and pH at Various Flow Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 32
8. แสดงค่า BOD_5 at Various Depth and Flow Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 33
9. แสดงค่า Weight of Film Accumulation at Various Depth and Flow Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 34
10. แสดงค่า COD Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 35

ตารางที่ หน้า

11. แสดงค่า BOD_5 Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 36

12. แสดงค่า COD at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 37

13. แสดงค่า BOD_5 at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 38

14. แสดงค่า Variation of Total N, S.S., D.O. and pH at Various Flow Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 39

15. แสดงค่า BOD_5 at Various Depth and Flow Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 40

16. แสดงค่า Weight of Film Accumulation at Various Depth and Flow Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 41

17. แสดงค่า COD Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) . . . 42

18. แสดงค่า BOD_5 Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) . . . 43

19. แสดงค่า Percent BOD_5 Remaining at Various Depth and Hydraulic Loading Rates. 49

ตารางที่ หน้า

20. แสดงการ Comparative Efficiency of Trickling Filters Used in this Study and in Other Trickling Filter Plants treating Domestic Waste Water 53

21. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ NRC ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 64

22. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ NRC ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 65

23. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ VELZ ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m) 66

24. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ VELZ ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 67

25. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ TEN STATES ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.). 68

ตารางที่ หน้า

26. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของTEN STATES ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 69

27. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ ECKENFELDER ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 70

28. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ ECKENFELDER ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 71

29. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ GALLER and GOTAAS ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดย ไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 72

30. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ GALLER and GOTAAS ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดย ไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 73

ตารางที่ หน้า

31. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ LAMB and OWEN ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 74

32. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed and Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ LAMB and OWEN ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.) 75

33. แสดงค่า Comparison of Observed and Calculated Efficiency of 1"-2" Gravel Trickling Filter โดยไม่มีการ Reciroulation (Depth of Filter 1.8m.) 76

34. แสดงค่า Comparison of Observed and Calculated Efficiency of 2"-3" Gravel Trickling Filter โดยไม่มีการ Recirculation (Depth of Filter 1.8m.) 77

35. แสดงถึง Values of BOD_5 for Consecutive 7 Days. 94

36. แสดงตารางการคำนวณหาค่าของ "K_s". 97

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

1. แสดง Schematic Diagram of Trickling Filter Process 6
2. แสดงรูปของ Trickling Filter ที่ทำการทดลอง 24
3. แสดงรูปของ Final Settling Tank ที่ทำการทดลอง. . . . 25
4. ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD_5 ของ Raw Sewage กับเวลาที่เก็บน้ำตัวอย่าง 10.30 น. 45
5. ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD_5 ของ Raw Sewage . . . 45
6. ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD_5 ของ Trickling Filter Effluent 46
7. ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD_5 ของ Final Settling Tank Effluent 46
8. อิทธิพลของ Organic Loading ต่อการกำจัด BOD_5. 47
9. อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด BOD_5. . . . 48
10. อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด COD 48
11. แสดงกาเปอร์เซนต์ของ BOD_5 ที่เหลืออยู่ที่ความสูง และ Hydraulic Loading ต่าง ๆ 50
12. อิทธิพลของ Organic Loading ต่อการกำจัด COD 52
13. อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด N 57
14. อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด S.S. . . . 57
15. แสดงถึง Gravel Before Placement in Filter (1"-2" Gravel) 59
16. แสดงถึง Gravel Before Plancement in Filter (2"-3" Gravel) 59
17. แสดงถึง Growth of Biomass on Gravel (1"-2" Gravel) 60

รูปที่ หน้า

18. แสดงถึง Growth of Biomass on Gravel (2"-3" Gravel) 60

19. แสดงค่า Film Accumulation ตามความสูงต่าง ๆ ของตัว Filter (Medium 1"-2" Gravel). 61

20. แสดงค่า Film Accumulation ตามความสูงต่าง ๆ ของตัว Filter (medium 2"-3" Gravel). 61

21. แสดงการหาค่า Reaction Rate Constant "K" 95

22. แสดงการหาค่าของ Exponent n ในสมการ (1) 98

23. แสดงการหาค่าของ Rate Constant K_s ในสมการ (1) (Medium 1"-2" Gravel) 99

24. แสดงการหาค่าของ Rate Constant K_s ในสมการ (1) (Medium 2"-3" Gravel) 100

ความหมายของสัญญลักษณ์ต่าง ๆ

BOD_5	Biochemical Oxygen Demand, 5 days at 20°C, mgl^{-1}
COD	Chemical Oxygen Demand, mgl^{-1}
DO	Dissolved Oxygen, mgl^{-1}
N	Total Kjeldahl Nitrogen, mgl^{-1}
SS	Suspended Solids, mgl^{-1}
ft	feet
ft^3	cubic feet
gallons day^{-1}	gallons per day
g kg^{-1}	grams per kilogram
g m^{-3} day^{-1}	gram per cubic meter per day
kg	kilogram
lb	pound
lb $acre^{-1}$ day^{-1}	pound per acre per day
lb $(acre\ feet)^{-1}$ day^{-1}	pound per acre feet per day
lb day^{-1}	pound per day
m	meter
m^3	cubic meter
mg	milligram
mgl^{-1}	milligram per litre
MGD	million gallons per day
ml min^{-1}	millilitre per minute
MG $acre^{-1}$ day^{-1}	million gallons per acre per day
S	specific surface area
σ_b	standard error of coefficient