

การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น

กรณีศึกษาโดยใช้ Soil Treatment

Soil Treatment of Wastewater from Khon Kaen Psychiatric Hospital: A Case Study of Soil Treatment

ชัชชาย แจ่มใส (Chatchai Jamsai)¹ วิทยา ตรีโลเกศ (Vidhaya Trelo-ges)^{2*}

วีระชน ศักดิ์พงษ์ (Weerachon Sukphong)³

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น กรณีศึกษาโดยใช้ Soil Treatment จากชุดดินที่มีเนื้อดินและความหนาแน่นรวมของดินที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียในรูป DO (Dissolved Oxygen), COD (Chemical Oxygen Demand) และ TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบ Soil Treatment ผลของการศึกษาน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดด้วยชุดดินร้อยเอ็ดและชุดดินน้ำพองซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อหยาบ ตามลำดับ พบว่า ค่าคุณภาพน้ำเสียต่าง ๆ มีแนวโน้มที่ดีกว่าน้ำเสียก่อนเข้ารับการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดส่วนใหญ่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเสียจากอาคาร และค่า COD ลดลงอย่างเห็นได้ชัดภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยดิน นอกจากนี้ชุดดินร้อยเอ็ดที่ความหนาแน่นรวม 1.70 กรัม/ลบ. ซม. มีการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด สำหรับชุดดินน้ำพองที่ความหนาแน่นรวม 1.90 กรัม/ลบ. ซม. มีการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด เนื้อดินที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดคือดินเนื้อละเอียด (ชุดดินร้อยเอ็ด) นอกจากนี้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินได้แก่ค่าความหนาแน่นรวมของดิน พบว่าความหนาแน่นรวมของดินทั้ง 2 ชุดดิน มีค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงภายหลังที่มีการบำบัดน้ำเสีย และค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้น พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังที่มีการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Soil Treatment สามารถลดค่าความสกปรกของน้ำได้ดี สะดวกค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการบำบัดน้ำเสียและง่ายต่อการดูแลรักษาระบบ

Abstract

The objective of this research was to study wastewater treatment at Khon Kaen Psychiatric Hospital by Soil Treatment with differences both of soil texture and bulk density. Roi-et and Nam Phong soil series are fine and coarse textured soils, respectively. Wastewater characteristics were studied in terms of impurity reduction such as DO (Dissolved Oxygen), COD (Chemical Oxygen Demand) and TKN (Total Kjeldahl Nitrogen). Wastewater samples were collected at two stages of treatment (before and after) by different soil texture and density. Results of this study show the values of the above parameters after treatment by soil were lower than their values before treatment. These lower values

¹ อาจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² รองศาสตราจารย์ และนักวิจัยของศูนย์วิจัยน้าบาดาล คณะเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาภูมิศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* corresponding author, e-mail: vidtre@kku.ac.th

after flow through the Soil Treatment method follow the standard criteria of domestic wastewater by the Ministry of Public Health. Roi-et soil series at bulk density 1.70 gm/cm^3 and Nam Phong soil series at bulk density 1.90 gm/cm^3 give well-treated wastewater. The wastewater can be well treated in fine textured soil. Soil physical properties showed that after wastewater treatment, soil bulk density was decreased and saturated hydraulic conductivity was increased. Moreover, Soil Treatment can reduce impurities in wastewater, is convenient and less expensive for maintenance.

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสีย ความหนาแน่นรวมของดิน เนื้อดิน

Keywords: wastewater treatment, bulk density, soil texture

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษในแหล่งน้ำผิวดินนับเป็นปัญหาที่สำคัญทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำอุปโภคและบริโภคของประชาชนและสัตว์น้ำ โรงพยาบาลเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกิจกรรมในชุมชนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ซึ่งลักษณะน้ำเสียจากโรงพยาบาลประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารเคมี และที่สำคัญคือมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่มาใช้บริการบริการ น้ำเมื่อผ่านการใช้แล้วถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพลดลงและในที่สุดกลายเป็นน้ำเน่าเสีย สิ่งมีชีวิตที่เคยอาศัยอยู่ในน้ำจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้อีก ถึงแม้ว่าโรงพยาบาลชุมชนส่วนใหญ่จะมีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียระบบต่าง ๆ (ไกรสร, 2528; เกรียงศักดิ์, 2539) และในปี พ.ศ. 2541 กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้โรงพยาบาลของรัฐในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขมีระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลครบ 100 % ซึ่งโรงพยาบาลส่วนใหญ่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2530 และ สมชาย, 2540) แต่จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียพบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดร้อยละ 72.8 และไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานถึงร้อยละ 22.7 (สมชาย, 2540; อุทก, 2530) ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลระบบ หากมีการควบคุมดูแลที่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Soil Treatment นั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดความสกปรกของน้ำเสีย ระบบนี้อาศัยดินเป็นตัวกลาง (medium) ในการบำบัดน้ำเสียโดยนำน้ำเสียมาไหลซึมผ่านดิน แล้วดินจะเป็นเป็นตัวกลางในการกรองความสกปรกของน้ำเสียเอาไว้ ทำให้การบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment ลดค่าความสกปรกของน้ำได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ นั้น มีราคาแพงทั้งค่าก่อสร้างและค่าดูแลรักษาระบบ แต่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Soil Treatment นี้เหมาะสมกับโรงพยาบาลชุมชนที่เป็นโรงพยาบาลขนาดเล็กและขนาดกลาง เป็นรูปแบบที่น่าสนใจที่จะทำให้คุณภาพน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม มีลักษณะปลอดภัยต่อชุมชนบริเวณนั้น ๆ (นิตยา, 2529) การศึกษาวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด โรงพยาบาลจิตเวชเป็นโรงพยาบาลขนาด 300 เตียง และเป็นโรงพยาบาลชุมชนที่เริ่มใช้ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีของ Soil Treatment ซึ่งแต่เดิมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบรวบรวม (collected type) และบำบัดน้ำเสียชนิดแยก (separated type) วิทยาและคณะ (2552) ได้รวบรวมผลการศึกษาระสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการลดค่าความสกปรกของระบบ Soil Treatment พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการลดค่าความสกปรกในรูป COD ร้อยละ 54.54 ค่าประสิทธิภาพการลดสารแขวนลอย ร้อยละ 32.48 และค่าเฉลี่ยของ

ประสิทธิภาพการลด TKN ร้อยละ 20.10 สามารถ และ
สุรเชษฐ์ (2538) ได้ศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำ
เสียแบบ Oxidation Ditch พบว่าคุณลักษณะของน้ำ
เสียที่มีค่า Temperature, pH, DO, TKN, PO_4 , COD,
MLSS, MLVSS, SS, Settleable Solids และ Residual
Chlorine อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ประสิทธิภาพของ
ระบบมีค่าต่ำ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับ
มาตรฐานคุณภาพน้ำเสียจากอาคาร อุทก (2530) ได้
รวบรวมผลการศึกษาคณสมบัติของโรงพยาบาลขนาด
150 เตียงขึ้นไปในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด และ
หาค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบ (Parameter) ต่าง ๆ พบว่า
ลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงพยาบาลทั่ว ๆ ไป มีค่า
pH 6.3 ค่า BOD 152.5 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า COD 254.1
มิลลิกรัม/ลิตร ค่าปริมาณสารแขวนลอย (Suspended
Solid) 89 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน 3.2
มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนเตรท 4.1 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า
ฟอสเฟต 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้
มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาลักษณะการบำบัดน้ำเสียจาก
โรงพยาบาลชุมชนโดยวิธี Soil Treatment ที่มีความหนา
แน่นรวมของดินต่างกัน และศึกษาผลกระทบของเนื้อดิน
ที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย กรณี
ศึกษาโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยพื้นฐานโดยการเก็บ
ตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดของโรงพยาบาล
จิตเวชขอนแก่น ซึ่งเป็นน้ำที่รวบรวมมาจากห้องสุขาและ
น้ำเสียที่เกิดจากการซักล้างหรือกิจกรรมต่าง ๆ ของโรง
พยาบาล นำมาใส่ในถังพักน้ำเสียที่สร้างขึ้น มีลักษณะเป็น
ถังเหล็กความจุ 1.75 ลูกบาศก์เมตร ยกระดับให้สูงขึ้น (ดัง
รูปที่ 1) เพื่อสูบน้ำเสียให้ผ่านเข้าสู่ระบบดินในท่อคอนกรีต
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 50 เซนติเมตร
ซึ่งยกแนวระดับและรองพื้นด้วยปูนซีเมนต์เพื่อป้องกัน
การรั่วซึม ปล่อยให้ น้ำเสียไหลผ่านท่อบรรจุดินอย่างง่าย
ต่อเนื่องส่วนดินที่บรรจุในท่อนั้นเป็นดินขุดน้ำพองและดิน
รื้อเอ็ดซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อหยาบและเนื้อละเอียด

ตามลำดับ ขั้นตอนของการเตรียมดิน นำดินที่เก็บตัวอย่าง
มาตากให้แห้งร้อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำดิน
ใส่ในท่อโดยปรับความหนาแน่นรวมของดินน้ำพองเป็น
1.5 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนความหนาแน่นรวม
ของดินรื้อเอ็ดเป็น 1.3 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาแน่นรวมของดินคำนวณจากกระหว่างสัดส่วน
น้ำหนักของดินแห้งและปริมาตรทั้งหมดของดินนั้น และ
สัมพันธ์กับการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เก็บตัวอย่าง
ดินที่ไม่ทำลายโครงสร้างในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil
core) มาทดลองการไหลซึมของน้ำในท้องปฏิบัติการ และ
เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่โรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่นก่อนเข้า
ระบบบำบัดของโรงพยาบาลนำมาใส่ในถังพักน้ำเสียที่
สร้างขึ้น และปล่อยให้ น้ำเสียไหลผ่านระบบ Soil Treat-
ment ที่มีเนื้อดินและความหนาแน่นรวมที่ต่างกัน จาก
นั้นจะเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากที่น้ำเสียได้ผ่านตัวอย่างดิน
ในวันที่ 5, 10, และ 15 เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์
ต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. พารามิเตอร์ของลักษณะสมบัติของดิน
และน้ำเสีย หน่วย และวิธีการวิเคราะห์

parameter	unit	Method analysis
DO	mg/l	DO meter
COD	mg/l	open reflux
TKN	mg/l	Kjedahl
Bulk density	gm/cm ³	Core method
Saturated hydraulic conductivity	cm/hr	Falling head method

สถานที่วิเคราะห์คุณภาพดินและน้ำเสีย

หน่วยปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม ภาควิชา
วิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ และ
ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งแวดล้อม สาขาทรัพยากรที่ดินและ
สิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 1. แสดงถังพักน้ำเสียที่เก็บจากโรงพยาบาลจิตเวช

ระยะเวลาในการศึกษา

เริ่มดำเนินการศึกษาดังแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึง กุมภาพันธ์ 2552

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่นก่อนการบำบัด

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่นก่อนการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment พบว่ามีค่า DO (Dissolved Oxygen) 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร COD (Chemical Oxygen Demand) 248.19 มิลลิกรัม/ลิตร และ TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) 36.4 มิลลิกรัม/ลิตร (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2. พารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วย Soil Treatment

พารามิเตอร์ที่วัด	ค่าเฉลี่ย
DO (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.4±0.08
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	248.190±0.89
TKN (มิลลิกรัม/ลิตร)	36.4±0.27

จะเห็นได้ว่าค่าของ DO COD และ TKN ของน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าที่สูงมากและเกินมาตรฐานที่กำหนด

2. ลักษณะของน้ำเสียจากโรงพยาบาลหลังการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment

2.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (dissolved oxygen, DO)

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment ไปแล้วในวันที่ 5 ชุดดินร่อยเอ็ดซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 0.8, 0.65 และ 0.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 3.5, 2.65 และ 1.7 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในวันที่ 15 มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 1.6, 1.5 และ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. พบว่าในวันที่ 5 มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 1.6, 1.5 และ 1.35 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 1.2, 1.15 และ 1.15 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในวันที่ 15 มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 0.7, 0.55 และ 0.4 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ (ดังตารางที่ 3) จากผลการศึกษาชุดดินร่อยเอ็ดซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. พบว่ามีค่า DO เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 1.97, 1.7 และ 1.37 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แต่ค่า DO หลังการบำบัดจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นรวมของดินเนื้อละเอียดเพิ่มสูงขึ้น ส่วนชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวม

ตารางที่ 3. ค่า DO จากการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment (มิลลิกรัม/ลิตร)

วันที่	ชุดดิน					
	1.3 ร้อยเอ็ด	1.5 ร้อยเอ็ด	1.7 ร้อยเอ็ด	1.5 น้ำพอง	1.7 น้ำพอง	1.9 น้ำพอง
0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
5	0.80	0.65	0.60	1.6	1.5	1.35
10	3.5	2.65	1.7	1.2	1.15	1.15
15	1.6	1.5	1.5	0.7	0.55	0.4
ค่าเฉลี่ยจากการบำบัด	1.97	1.60	1.27	1.17	1.07	0.97

หมายเหตุ 1) 1.3 ร้อยเอ็ด 1.5 ร้อยเอ็ด 1.7 ร้อยเอ็ด หมายถึง ชุดดินร้อยละที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ
2) 1.5 น้ำพอง 1.7 น้ำพอง 1.9 น้ำพอง หมายถึง ชุดดินน้ำพองที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ

ของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า DO เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 1.17, 1.07 และ 0.97 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แต่ค่าที่ลดลงนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าค่าความหนาแน่นรวมของดินน้อยหยาบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็ตาม และพบว่าดินเนื้อละเอียดให้ค่า DO ภายหลังการบำบัดสูงกว่าดินเนื้อหยาบอีกด้วย

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของ DO ในชุดดินร้อยละซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. พบว่ามีค่า DO เฉลี่ยลดลงจากเดิมอย่างมากเท่ากับ 1.97, 1.6 และ 1.27 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ขณะที่ชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า DO เฉลี่ยลดลงจากเดิมน้อยมากกล่าวคือเป็น 1.17, 1.07 และ 0.97 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดดินร้อยละซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อละเอียดนั้น ปริมาณของอนุภาคดินเหนียวที่มีมากกว่านั้น สามารถช่วยดูดซับประจุบวกได้มาก ทำให้ออกซิเจนสามารถละลายออกมาในน้ำได้มากขึ้น นั่นคือมีผลทำให้ค่า DO เพิ่มขึ้นมากกว่าดินเนื้อหยาบ แต่อย่างไรก็ดีค่า DO ของน้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่าก่อนการบำบัดทั้งสิ้นไม่ว่าผ่านการบำบัดด้วยดินเนื้อหยาบหรือดินเนื้อละเอียดก็ตาม โดยที่ชุดดิน

ร้อยละให้ค่า DO สูงกว่าชุดดินน้ำพอง

2.2 ความต้องการก๊าซออกซิเจนเชิงเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment ไปแล้วในวันที่ 5 ชุดดินร้อยละซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 113.57, 99.72 และ 99.72 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 94.85, 89.43 และ 67.78 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในวันที่ 15 มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 80.04, 75.26 และ 58.9 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. พบว่าในวันที่ 5 มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 152.35, 134.98 และ 127.42 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 124.66, 112.2 และ 102.98 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับและในวันที่ 15 มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 112.56, 103.28 และ 91.12 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4. ค่า COD จากการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment (มิลลิกรัม/ลิตร)

วันที่	ชุดดิน					
	1.3 ร้อยเอ็ด	1.5 ร้อยเอ็ด	1.7 ร้อยเอ็ด	1.5 น้ำพอง	1.7 น้ำพอง	1.9 น้ำพอง
0	248.19	248.19	248.19	248.19	248.19	248.19
5	113.57	99.72	99.72	152.35	134.98	127.42
10	94.85	89.43	67.78	124.66	112.20	102.98
15	80.04	75.26	58.90	112.56	103.28	91.12
ค่าเฉลี่ยจากการบำบัด	96.15	88.14	75.47	129.86	116.82	107.17

หมายเหตุ 1) 1.3 ร้อยเอ็ด 1.5 ร้อยเอ็ด 1.7 ร้อยเอ็ด หมายถึง ชุดดินร้อยละที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดิน เท่ากับ 1.3 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ
2) 1.5 น้ำพอง 1.7 น้ำพอง 1.9 น้ำพอง หมายถึง ชุดดินน้ำพองที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดิน เท่ากับ 1.5 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของ COD ในชุดดิน ร้อยเอ็ดซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. พบว่ามีค่า COD เฉลี่ยลดลงจากเดิมอย่างมากเท่ากับ 96.15, 88.14 และ 75.47 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ขณะที่ชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า COD เฉลี่ยลดลงจากเดิมน้อยมากกล่าวคือ เป็น 129.86, 116.82 และ 107.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดดินร้อยละซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อละเอียดนั้น สามารถช่วยลดค่า COD ได้มากกว่าดินเนื้อหยาบเมื่อเทียบกับค่า COD ก่อนการบำบัด แต่อย่างไรก็ดีค่า COD ของน้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่าต่ำกว่าก่อนการบำบัดทั้งสิ้นไม่ว่าผ่านการบำบัดด้วยดินเนื้อหยาบหรือดินเนื้อละเอียดก็ตาม โดยที่ชุดดินร้อยละให้ค่า COD ต่ำกว่าชุดดินน้ำพอง

2.3 ไนโตรเจนทั้งหมด

(Total Kjeldahl Nitrogen)

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment ไปแล้วในวันที่ 5 ชุดดินร้อยละซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 21.84, 19.52 และ 17.16 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 19.04, 12.88 และ 6.44 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับและในวันที่ 15 มีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 17.76, 15.8 และ 14.56 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม.พบว่ามีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 20.00, 18.8 และ 17.92 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 มีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 19.88, 16.24 และ 16.24 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับและในวันที่ 15 มีค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 18.4, 15.96 และ 15.08 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5. ค่า TKN จากการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Soil Treatment (มิลลิกรัม/ลิตร)

วันที่	ชุดดิน					
	1.3 ร้อยเอ็ด	1.5 ร้อยเอ็ด	1.7 ร้อยเอ็ด	1.5 น้ำพอง	1.7 น้ำพอง	1.9 น้ำพอง
0	36.40	36.40	36.40	36.40	36.40	36.40
5	21.84	19.52	17.16	20.00	18.80	17.92
10	19.04	12.88	6.44	19.88	16.24	16.24
15	17.76	15.00	14.56	18.40	15.96	15.08
ค่าเฉลี่ยจากการบำบัด	19.55	15.8	12.72	19.43	17.00	16.41

- หมายเหตุ 1) 1.3 ร้อยเอ็ด 1.5 ร้อยเอ็ด 1.7 ร้อยเอ็ด หมายถึง ชุดดินร้อยละที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ
- 2) 1.5 น้ำพอง 1.7 น้ำพอง 1.9 น้ำพอง หมายถึง ชุดดินน้ำพองที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของ TKN ในชุดดิน ร้อยเอ็ดซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3, 1.5 และ 1.7 กรัม/ลบ.ซม. พบว่ามีค่า TKN เฉลี่ยลดลงจากเดิมเท่ากับ 19.55, 15.8 และ 12.72 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ขณะที่ชุดดินน้ำพองซึ่งมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 1.9 กรัม/ลบ.ซม. มีค่า TKN เฉลี่ยลดลงจากเดิมน้อยมากกล่าวคือเป็น 19.43, 17.00 และ 16.41 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดดิน ร้อยเอ็ดซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อละเอียดนั้น สามารถช่วยลดค่า TKN ได้มากกว่าดินเนื้อหยาบ ขณะที่ดินเนื้อหยาบมีการลดลงของค่า TKN อย่างช้า ๆ ทั้งนี้เนื่อง TKN จากการที่ชุดดินร้อยละมีปริมาณดินเหนียวที่มากกว่า จึงสามารถที่จะดูดซับไนโตรเจนในรูปของ ได้ในปริมาณที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ดีค่า TKN ของน้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่าต่ำกว่าก่อนการบำบัดทั้งสิ้นไม่ว่าผ่านการบำบัดด้วยดินเนื้อหยาบหรือดินเนื้อละเอียดก็ตาม

2.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินก่อนและหลังทำการบำบัด

2.4.1 ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density)

ค่าความหนาแน่นรวมของดินโดยเฉลี่ยก่อนที่มีการบำบัดที่ระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร พบว่ามีค่าดังนี้ จุดที่ 1 1.904 g/cm^3 จุดที่ 2 1.810 g/cm^3 จุดที่ 3 2.047 g/cm^3 จุดที่ 4 1.772 g/cm^3 สำหรับค่าความหนาแน่นรวมของดินโดยเฉลี่ยหลังจากการบำบัดแล้วที่ระดับความลึกเดียวกัน พบว่า มีค่าดังนี้ จุดที่ 1 1.120 g/cm^3 จุดที่ 2 1.526 g/cm^3 จุดที่ 3 1.351 g/cm^3 จุดที่ 4 0.874 g/cm^3 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นรวมของดินก่อนการบำบัดด้วย Soil Treatment มีค่าความหนาแน่นสูงมาก โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.883 g/cm^3 มากกว่า 1.80 g/cm^3 ซึ่งเป็นค่าวิกฤติของความหนาแน่นรวมของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือ รากพืชในดินไม่สามารถที่จะไชซอนและแทงทะลุผ่านชั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินดังกล่าวไปได้ เป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช ซึ่งนั่นหมายถึงดินก่อนการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment นั้นมีความแน่นทึบ

ตารางที่ 6. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำเสียจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภท มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำเสีย					หมายเหตุ
		ก	ข	ค	ง	จ	
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	มก./ล.(mg/l)	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	เป็นค่าที่เพิ่มจาก ปริมาณ สารละลาย ในน้ำใช้ตามปกติ
2. BOD	มก./ล.(mg/l)	20	30	40	50	60	
3. ปริมาณของแข็ง (Solid)							
ค่าสารแขวนลอย	มก./ล.(mg/l)	30	40	50	50	60	
ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solid)	มก./ล.(mg/l)	0.5	0.5	0.5	0.5	-	
ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS)	มก./ล.(mg/l)	500	500	500	500	-	
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.(mg/l)	1.0	1.0	3.0	3.0	-	
5. TKN	มก./ล.(mg/l)	35	35	40	40	-	
6. น้ำมันและไขมัน	มก./ล.(mg/l)	20	20	20	20	20	

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำเสียจากอาคารบางประเภท และบางขนาด
ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

อัดตัวกันแน่นมากกว่าดินภายหลังการบำบัดด้วยวิธี
ดังกล่าว ซึ่งดินภายหลังการบำบัดนั้นมีความโปร่งและ
ร่วนซุยกว่าทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่ได้รับการ
บำบัดโดยไหลผ่านดินนั้นจะถูกดินดูดยึดไว้ที่ผิวของ
อนุภาคดินนั้นและถูกจุลินทรีย์ในดินย่อยสลายกลายเป็น
สารเชื่อม (cementing agent) ทำหน้าที่เชื่อมยึดอนุภาค
ดินกลายเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) ทำให้ดินหลังการ
บำบัดมีความโปร่งและร่วนซุยมากกว่า (วิทยา, 2545)

2.4.2 สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน
ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated
hydraulic conductivity)

สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำก่อน
ที่มีการบำบัดที่ระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร พบว่า
สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินโดยเฉลี่ยมีค่า ดังนี้ จุดที่

1 0.095 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จุดที่ 2 0.115 เซนติเมตร
ต่อชั่วโมง จุดที่ 3 0.042 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จุดที่ 4
0.217 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1307
เซนติเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของ
ดินโดยเฉลี่ยที่มีการบำบัดแล้วที่ระดับความลึกเดียวกัน
มีค่าดังนี้ จุดที่ 1 9.013 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จุดที่ 2
0.392 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จุดที่ 3 1.436 เซนติเมตร
ต่อชั่วโมง จุดที่ 4 4.517 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย
เท่ากับ 3.8395 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) จะเห็นได้ว่าค่า
สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำภายหลังการ
บำบัดด้วยวิธี Soil Treatment มีการซาบซึมน้ำในดินได้
ดีขึ้นเนื่องจากดินภายหลังการบำบัดมีความโปร่งและร่วน
ซุยมากกว่านั่นเอง

2.5 คุณลักษณะของน้ำเสียหลังการบำบัด เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานชุมชน

คุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment ของโรงพยาบาลที่ศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำเสียของชุมชน ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537) (ดังรายละเอียดในตารางที่ 5) โดยเปรียบเทียบทุกค่า คุณลักษณะพบว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ยของ DO, COD และ TKN พบว่า ทุกค่าลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment นั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น จังหวัดขอนแก่นก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment โดยการเก็บตัวอย่างชุดดินร่อยเอ็ดและชุดดินน้ำพองซึ่งเป็นตัวแทนของดินเนื้อละเอียดและเนื้อหยาบตามลำดับ ตัวอย่างน้ำเสียจะนำมาไหลผ่านตัวอย่างชุดดินดังกล่าวที่มีค่าความหนาแน่นรวมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment นั้น นำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของโครงการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชุมชนด้วยดินและพืช คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ส่วนตัวอย่างดินจะถูกเก็บและนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ของดินของสาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้ ภายหลังการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment นั้น ค่าลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง กล่าวคือดินมีความโปร่งและร่วนซุยเพิ่มขึ้นและเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช และค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำภายหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment นั้น มีการไหลซึมของน้ำภายในหน้าตัดดินดีขึ้น มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวก่อนที่มีการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment

แสดงให้เห็นว่า ดินภายหลังการบำบัดมีความโปร่ง ร่วนซุยมากขึ้น ทำให้มีการซาบซึมน้ำในดินดีขึ้น มีก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปภายในช่องว่างของดินเพิ่มขึ้น จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปที่ใช้ก๊าซออกซิเจนซึ่งมีผลทำให้ไม่เกิดการสะสมสารพิษขึ้นในดิน ส่วนลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชนนั้น ซึ่งได้แก่ค่า DO, COD และ TKN ภายหลังการบำบัดด้วยวิธี Soil Treatment พบว่าค่าทั้งสามดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณช่องว่างในดิน มีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถแสดงให้เห็นชัดได้ว่า การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่น จังหวัดขอนแก่นด้วยวิธี Soil Treatment เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการศึกษากับโรงพยาบาลชุมชนเพียงแห่งเดียว เห็นควรขยายผลการศึกษาดังกล่าวไปใช้กับโรงพยาบาลชุมชนที่มีขนาดใกล้เคียงกันหรือมีขนาดต่าง ๆ กันออกไป ดังนั้นเพื่อให้ระบบการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพดีขึ้น โรงพยาบาลชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการสนับสนุนงบประมาณ วัสดุอุปกรณ์ในการควบคุมดูแลให้เพียงพอ มีการติดตามประเมินผลและจัดให้มีการอบรมผู้ดูแลเป็นระยะต่อเนื่อง เพื่อหาข้อสรุปอันจะเป็นแนวทางในการพัฒนานำไปใช้ในโรงพยาบาลชุมชนขนาดต่าง ๆ กันต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนให้ทุนวิจัยและเครื่องมือในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2537. **กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำเสียจากอาคารบางประเภท และบางขนาด.** ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.
- ไกรสร อุดมรัตน์. 2528. **การใช้เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคฟิลเตอร์ บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเต้าหู้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต แผนกวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2530. **การกำจัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล.** กรุงเทพมหานคร: เอกสารเผยแพร่วิชาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- นิตยา มหาผล. 2529. **ระบบกำจัดน้ำเสียแบบประหยัดสำหรับน้ำเสียจากโรงพยาบาล.** กรุงเทพมหานคร: กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- วิทยา ตรีโลเกศ, ชัชชาย แจ่มใส และนุชจริย สัจจา. 2552. **การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชน: กรณีศึกษาโดยใช้ Soil Treatment.** วารสารวิจัย มข. 14 (1): 68-74.
- วิทยา ตรีโลเกศ. 2545. **หลักการทางฟิสิกส์ของดิน.** ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมชาย ดารารัตน์. 2529. **การศึกษาประสิทธิภาพและดัชนีในการออกแบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมชาย สกลอิสริยาภรณ์. 2540. **การพัฒนารูปแบบการจัดการน้ำเสียในโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข.** วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, 65-74.
- สมชาย อัสวธิดานนท์. 2531. **ภาวะมลพิษทางน้ำจากอาคารพาณิชย์บางประเภทและโรงพยาบาล ในกรุงเทพฯ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สามารถ ศรีบัวรายณ์และสุรเชษฐ์ จารุพรรณ. 2538. **การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ oxidation ditch ของโรงพยาบาลจิตเวช จังหวัดขอนแก่น.** โครงการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อุทก อีระวัฒน์ศักดิ์. 2530. **การกำจัดน้ำเสียโดยวิธีคววนเวียน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต แผนกวิศวกรรมสุขาภิบาล. บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA, AWWA, WEF. 1992. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.** 18th ed. Washington D.C., American Public Health Association.
- Gray, N. F. 1990. **Activated Sludge Theory and Practice.** London: Oxford University Press.