



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการพัฒนาระบบกรองน้ำที่ใช้ถังน้ำฝนในครัวเรือน

The development of filtration system for household rainwater tank

โดย

ดร. ณัฐพร อารีรัชกุล

พฤศจิกายน 2552

สัญญาเลขที่ MRG 5180283

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผู้วิจัย สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ABSTRACT

Rainwater has been used as drinking water in Thailand for centuries especially in the rural parts and is accepted as an important water resource. From past to present, the quality of rainwater has changed with the landuse of the landscape and its water quality is influenced by a diverse range of conditions such as the management of pollutant sources, the catchment condition, wind and meteorological conditions and the location of rainwater collection points. In this study, the quality of rainwater collected off roofs at several locations was examined. GAC (granular activated carbon) filtration was used as a pretreatment. After an initial adsorption period, the biofilm that formed on the GAC (biofilter) was found to remove DOC by up to 40 %, 35 % and 15% for bed filter depths of 15 cm, 10 cm and 5 cm respectively. Biofilters removed nitrate and phosphate by more than 80% and 35%. However, following biofiltration, the microorganisms were present in the effluent. Microfiltration/Ultrafiltration (MF/UF) with pore size of 0.3 and 0.1 μm respectively were used to treat the effluent from biofiltration. Although the results showed that there was no significant additional removal of DOC after membrane filtration, membrane filtration removed all microorganisms. The use of biofilters as pretreatment to MF/UF could remove a higher amount of DOC, increase the membrane treatment efficiency, and reduce membrane fouling.

Keywords: Rainwater, characterization, biofilters, GAC, membrane filtration

บทคัดย่อ

น้ำฝนถูกใช้ในการบริโภคในประเทศไทยโดยเฉพาะในชนบทเป็นระยะเวลายาวนานมาแล้วอีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นแหล่งทรัพยากรน้ำที่มีความสำคัญจากอดีตจนถึงปัจจุบัน คุณภาพน้ำฝนได้เปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิประเทศและการเปลี่ยนแปลงทางภูมิศาสตร์จากการใช้ที่ดินหรือจากแหล่งมลพิษอื่นๆ รวมทั้งแหล่งที่เก็บน้ำฝนด้วย ในการศึกษาของคุณภาพของน้ำฝนได้เก็บจากหลังคาจากหลายพื้นที่และยังเก็บจากน้ำฝนที่ตกมาโดยตรง การใช้ถ่านแบบกรานูลหรือเม็ดในการบำบัดน้ำฝนขั้นต้นเพื่อที่จะขจัดปริมาณสารอินทรีย์ หลังจากดำเนินการในช่วงแรกจากการดูดซับสารอินทรีย์ของเม็ดถ่าน การเกิดฟิล์มชีวภาพรอบเม็ดถ่านเริ่มเกิดขึ้น และสามารถขจัดสารอินทรีย์ในน้ำฝนได้ 40% 35% และ 15% จากคอลัมน์ตัวกลางถ่านขนาดความสูงของตัวกลาง 15 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวกรองชีวภาพจากเม็ดถ่านยังสามารถขจัดไนเตรตและฟอสเฟต 80% และ 35% ตามลำดับ การใช้ตัวกรองเมมเบรนขนาดไมโครฟิวเทรชันมีขนาด 0.1 ไมครอนพบว่าหลังจากผ่านตัวกรองชีวภาพแล้ว การขจัดสารอินทรีย์เป็นไปได้ไม่ดี แต่สามารถขจัดจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำหลังการผ่านกระบวนการตัวกรองชีวภาพ ดังนั้น จากการศึกษาพบว่าการใช้ตัวกรองชีวภาพถ่านเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดและยังลดการอุดตันของเมมเบรน ทำให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น

คำสำคัญ : น้ำฝน, คุณลักษณะตัวกรองชีวภาพ, GAC, การกรองแบบเมมเบรน

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำฝนเป็นน้ำกลั่นโดยธรรมชาติที่มีปริมาณมหาศาล จากการที่ประเทศไทยตั้งอยู่แถบเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้มีฤดูฝนที่กินเวลายาวนาน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีจึงมีปริมาณที่มาก และจากคุณภาพของน้ำฝนที่ได้อาจเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาและบริเวณพื้นที่แวดล้อมที่ฝนตกลงมา ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมและมีการเพิ่มขึ้นของการใช้ยานยนต์ทำให้คุณภาพของน้ำฝนมีการเปลี่ยนแปลงไปจากอดีตดังนั้นจึงมี

สำหรับสถาบันการศึกษาที่มีห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องมีระบบน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งน้ำฝนน่าจะเป็นแหล่งน้ำที่อาจนำมาใช้ได้โดยตรงหรืออาจใช้เป็นน้ำดิบเพื่อป้อนเข้าระบบกลั่นน้ำหรือระบบกรองแล้วจึงสามารถนำมาใช้งานด้านห้องปฏิบัติการแทนการใช้ระบบกลั่นน้ำสองซ้ำที่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานจากการใช้น้ำดิบซึ่งเป็นน้ำจากระบบประปาซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพบว่าปริมาณสารแขวนลอยและปริมาณสารละลายอยู่สูงซึ่งทำให้มีผลต่อระบบกรองเบื้องต้นและระบบกลั่นน้ำหนึ่งครั้ง และสองครั้งของทางห้องปฏิบัติการเป็นอย่างมาก ซึ่งการเลือกใช้น้ำฝนเพื่อมาเป็นน้ำดิบเข้าระบบกลั่นหรือระบบกรองเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพใช้ในห้องปฏิบัติการนับว่าน่าจะเป็นอีกทางหนึ่งที่จะลดขั้นตอนในการปรับคุณภาพน้ำบางจุดอีกทั้งยังเป็นการลดการในพลังงานแต่การจะนำน้ำฝนมาใช้ในระบบดังกล่าวจำเป็นต้องตรวจคุณภาพน้ำฝนก่อน พื้นที่บริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ยังคงเป็นพื้นที่ของแหล่งเกษตรกรรมซึ่งเกษตรกรจะใช้สารเคมีป้องกันศัตรูพืช อีกทั้งพื้นที่รอบนอกนี้มีแหล่งอุตสาหกรรม (นิคมอุตสาหกรรมนวนคร) ซึ่งอากาศในโซนใกล้เคียงอาจมีผลจากสารเคมีทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรมที่ตกค้าง ดังนั้นจำเป็นต้อง ทำการติดตามคุณภาพแหล่งน้ำฝนที่จะนำมาใช้ในเบื้องต้น จากนั้นจึงนำมาใช้ในระบบกรองและกลั่นเพื่อให้ได้น้ำกลั่นที่ใช้ในงานวิเคราะห์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1 ทราบปริมาณสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์น้ำฝนว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดหรือไม่
- 2 พัฒนาระบบบำบัดน้ำฝนโดยใช้ระบบกรองอย่างง่ายซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ตรงตาม มาตรฐานน้ำอุปโภคบริโภค
- 3 พัฒนาระบบ hybrid ในการบำบัดน้ำฝนเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค

1.3 เป้าหมายโครงการ

ได้ข้อมูลคุณภาพน้ำฝนบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

1. สามารถนำระบบน้ำฝนนี้มาใช้ร่วมกับระบบเตรียมน้ำกลั่นห้องปฏิบัติการเดิมได้
2. เผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย

2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ระเบียบขั้นตอนดำเนินการโครงการ

2.1.1 เสนอขออนุมัติโครงการ

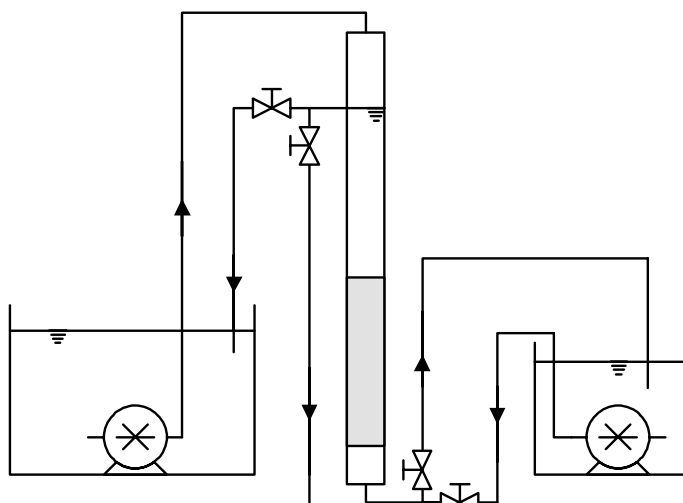
2.1.2 ดำเนินการตามแผนโครงการ

1. วางแผนการสำรวจแหล่งน้ำ

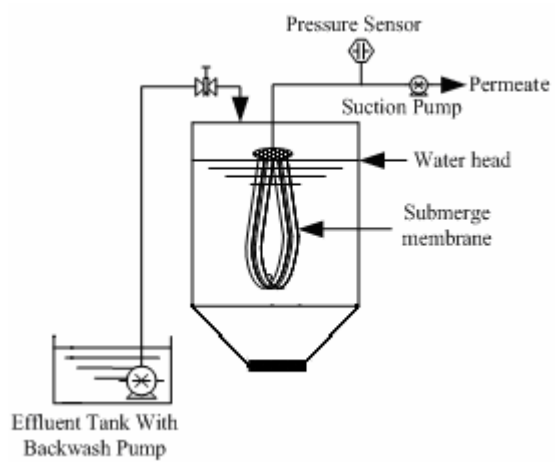
2.2. วิธีการในการดำเนินการวิเคราะห์

ตามมาตรฐานน้ำประปาของประเทศไทยที่ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องตรวจสอบไว้ตามที่ได้กล่าวแล้ว(ภาคผนวก) มีพารามิเตอร์ที่จะตรวจติดตามมากเมื่อแยกตามคุณลักษณะและความสามารถที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยเคมีสามารถตรวจวิเคราะห์ได้จะมีดังนี้

พารามิเตอร์	วิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์
ค่า pH	pH meter
ความขุ่น	Nephelometry
ปริมาณของแข็งละลาย	TDS meter
ปริมาณซัลเฟต	Ion chromatograph
ปริมาณคลอไรด์	Ion chromatograph
ปริมาณไนเตรต	Ion chromatograph
ปริมาณสารอินทรีย์ละลายทั้งหมด	Oxidation Analyzer
ปริมาณฟลูออไรด์	Ion selective electrode
ปริมาณไซยาไนด์	Ion selective electrode
ปริมาณอลูมิเนียม	ICP-MS
ปริมาณสารหนู	ICP-MS
ปริมาณแบเรียม	ICP-MS
ปริมาณแคดเมียม	ICP-MS
ปริมาณโครเมียม	ICP-MS
ปริมาณทองแดง	ICP-MS
ปริมาณเหล็ก	ICP-MS
ปริมาณแมงกานีส	ICP-MS
ปริมาณตะกั่ว	ICP-MS
ปริมาณซิลลิเนียม	ICP-MS
ปริมาณสังกะสี	ICP-MS
ปริมาณแคลเซียม	ICP-MS
Total Coliform	AOAC
Fecal Coliform	AOAC
<i>E.Coli</i>	AOAC



รูปภาพ3. 2 ตัวกรองทางชีวภาพ



รูปภาพ3. 3 ตัวกรองmembrane

3. ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

ผลการทดลอง

จากตาราง ผลการวิเคราะห์หน้าฝนของราชมงคลชัยบุรี พบว่าน้ำฝนที่เก็บตัวอย่างจากสถาบันวิจัยเคมี มีคุณภาพด้อยสุด เนื่องจากความสกปรกของพื้นที่หลังคา ซึ่งเกิดจากการสะสมของฝุ่นละออง หรือมลพิษอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการใช้การระบายน้ำในการกำจัดมลภาวะก่อนการเก็บน้ำฝนมาใช้อุปกรณืนี้เรียกว่า First flush device

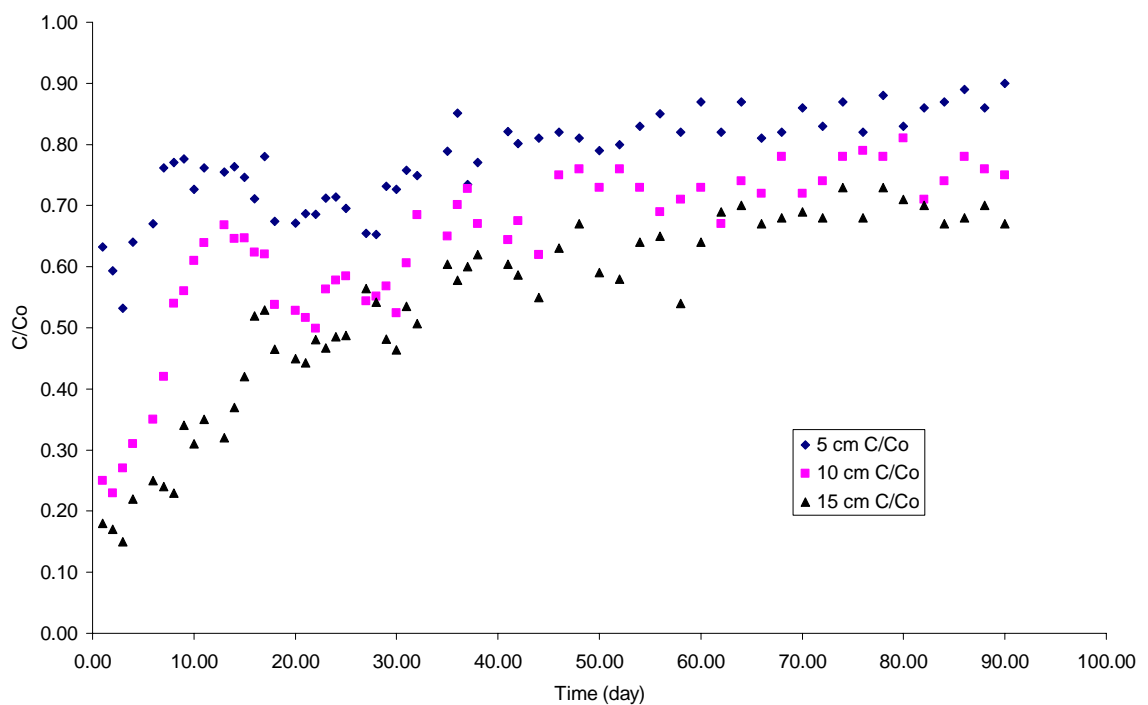
4.1 สรุปตารางคุณภาพน้ำฝนในราชมงคลและพื้นที่ใกล้เคียงโดยเฉลี่ย

PARAMETER	AWDG [7]	AYUDHAYA ¹	RMUTT ²
pH	6.5 -8.5	6.4	6.7
CONDUCTIVITY (EC) (dS/m)	< 0.8	0.082	0.78
TOTAL DISSOLVED SALTS (mg/L)		55.31	160
TOTAL SUSPENDED SOLIDS (mg/L)		400	428
TURBIDITY (NTU)	<5	5.07	42
WATER HARDNESS (mg/L CaCO ₃ equivalent)	<200	47	59
NITRATE (mg/L N)	<50	14.1	18.6
CHLORIDE (MG/L)	<400	1.45	1.35
SULPHATE (MG/L)	<400	3.24	5.8
PHOSPHATE (MG/L)		0.86	1.5
CALCIUM (mg/L)		10.30	21.1
COPPER (mg/L)	<2	0.03	0.19
IRON (mg/L)	<0.3	0.54	0.875
MANGANESE (mg/L)	<0.1	0.001	0.006

LEAD (mg/L)	<0.01	0.017	0.174
ZINC (mg/L)	<3	0.15	0.19
ARSENIC (mg/L)		ND	ND
CADMIUM (mg/L)		ND	ND
Total coliform (MPN/100 mL)	<2.2	6.8	>1000
Fecal Coliform (MPN/ 100mL)	<2.2	6.8	920
E. Coli (MPN/100mL)	ND	2	20
DOC		2.1	3.3

ND = non-detectable

การใช้ตัวกรองทางชีวภาพ (Biofilter)



รูปภาพ4.1 แสดงการบำบัดน้ำฝนโดยใช้ตัวกรองชีวภาพ ของความสูงของวัสดุตัวกรองในคอลัมน์ชนิดถ่าน 5, 10 และ 15 cm

จากรูปภาพ4.1 พบว่า DOC (Dissolved Organic Carbon) สามารถบำบัดได้ 10%, 25% และ 40% จากวัสดุตัวกรอง 5, 10 และ 15 cm ของความสูงของวัสดุตัวกรองในคอลัมน์ชนิดถ่าน หลังจากระยะเวลา 3 เดือน ของการดำเนินการของระบบ

ในช่วงแรกของการใช้ถ่าน เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำฝน พบว่าประสิทธิภาพสูงเนื่องจากการดูดซับจากถ่าน หลังจากดำเนินการไประยะหนึ่ง พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์มี

ประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากถ่าน เริ่มเสื่อมคุณภาพ อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ บนตัวกลางถ่านเริ่มเกิดขึ้น เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ หรืออาหารของจุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้น จากการประมาณการก็พบว่าระยะเวลาประมาณ 3 เดือน จุลินทรีย์บนตัวกลางถ่านจะอยู่ในภาวะเสถียร (Steady State)

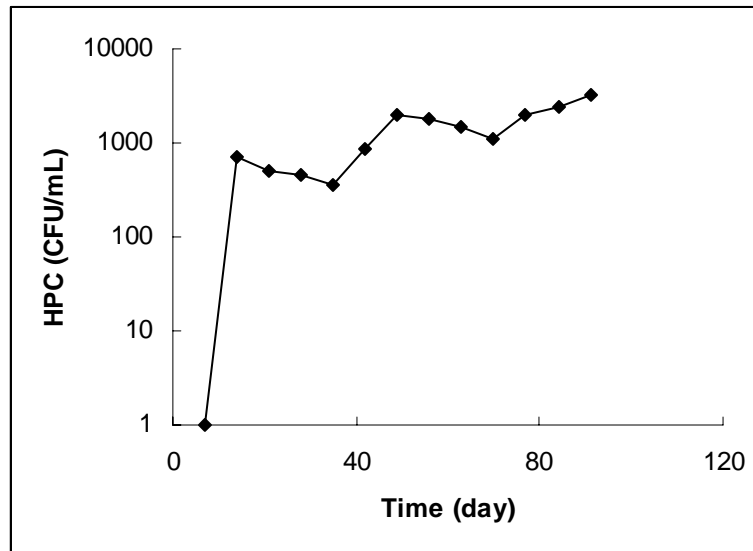
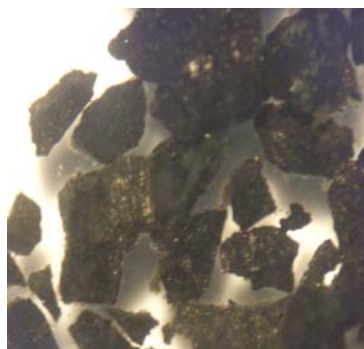


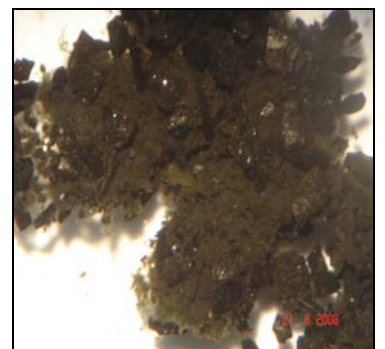
Figure 4.2 ปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนวัสดุตัวกลาง (GAC) ในระบบคอลัมน์ 15 cm $v = 4$ m/h



A. Pure GAC



B. 30 days operation



C 90 days of operation

Figure 4.3.การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ บนตัวกลางถ่าน

จำนวนแบคทีเรียจากวัสดุตัวกลางและน้ำฝน

จากการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียโดยวิธี Standard Plate Count จากวัสดุตัวกลาง (ผงถ่าน) และแบคทีเรียในน้ำจากระบบกรองน้ำฝนที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลา 120 วัน พบว่าวัสดุตัวกลางมีจำนวนแบคทีเรีย 1.48×10^5 CFU/g และตัวอย่างน้ำมีแบคทีเรีย 9.4×10^4 CFU/ml.

รูปร่างและลักษณะของแบคทีเรียที่พบในระบบกรองน้ำฝน

จากการนำวัสดุตัวกลางมาเขย่าเพื่อให้แบคทีเรียที่ยึดเกาะบนผิวตัวกลางหลุดออกและแยกแบคทีเรียให้ได้โคโลนีเดี่ยวโดย Spread plate technique บนอาหาร Nutrient agar จากนั้นนำโคโลนีเดี่ยวที่ได้มาเชียบบนอาหาร Nutrient agar ให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ พบโคโลนี 3 ลักษณะ กำหนดให้เป็นไอโซเลทที่ 1, 2 และ 3 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะโคโลนี การติดสีแกรมและรูปร่างของเชื้อ

ไอโซเลท	ลักษณะโคโลนีที่พบ	การติดสีแกรม	รูปร่างของเชื้อ
1	ขนาดใหญ่ สีขาวขุ่น รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular form) ขอบกระจายเป็นแผ่นทั่วจานเพาะเชื้อ	G+	ท่อน สร้างเอนโดสปอร์(rod, endospore forming)
2	ขนาดเล็ก กลม (Cicular) สีเหลือง ผิวนูน (Convex) ขอบเรียบ (Entire edge)	G-	ท่อน
3	ขนาดใหญ่ กลม สีขาวขุ่น ผิวนูนเล็กน้อย (raised) มั่น	G-	ท่อน

จากรูปภาพที่ 4.3,4.2 .แสดงถึงประมาณมวลรวมของจุลินทรีย์ โดยใช้วิธีวัดจากประมาณน้ำหนักจากระบบ โดยใช้ Hetero trophic plate camt พบว่าเดือนแรกมีโคโลนีของจุลินทรีย์โดยประมาณ 400 CFU / ml และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่า 3000 CFU/ml หลังจาก 3 เดือน นี้แสดงว่าน้ำฝนที่ใช้โดยไม่มีการผ่านการระบายน้ำออกครั้งแรก ซึ่งมีประมาณสารอินทรีย์สูงกว่าแหล่งอื่น ทำให้จุลินทรีย์ในตัวกลางเจริญได้ดี

จากการใช้การย้อมสีแกรมพบว่าโคโลนีของจุลินทรีย์ในตัวกลางมีทั้ง แกรม + และ แกรม – แต่ในกรณีนี้พบว่า แกรม + รูปร่างท่อน สร้างเอนโดสปอร์ (endospore) กลางเซลล์ และพบแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างท่อน จำนวนรองลงมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากปล่อยน้ำฝนให้ไหลผ่าน

วัสดุตัวกลางจะมีการสะสมของแบคทีเรียเกิดเป็นเยื่อสะสมอยู่รอบผิววัสดุตัวกลาง นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียที่ยึดเกาะกันเป็นตะกอนอยู่ในน้ำของระบบบำบัดด้วยเช่นกัน

จากการตรวจสอบอออนลบ ในน้ำหลังผ่านตัวกรองชีวภาพพบว่า การลดลงของปริมาณไนเตรตและฟอสเฟตเป็น 80% และ 30% ตามลำดับจากใน 10 cm ของความลึกของตัวกลาง ในตัวกลางลึก 15 cm พบว่าสามารถขจัดแอนไอออน เช่น ไนเตรตและฟอสเฟตได้ดีกว่าอย่างไรก็ตามเราพบว่า แอนไอออน ของฟลูออรีน และ คอลรีน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนัก เนื่องจากจุลินทรีย์ ไม่ได้ใช้สารเหล่านี้เป็นอาหาร

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอออนลบ โดยเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง หลังจากผ่านตัวกรองชีวภาพ

Anion	10 cm mg/L (% removal)	15 cm mg/L (% removal)
F ⁻	0.0701 (0%)	0.0805(0%)
Cl ⁻	1.407 (0%)	1.253(0%)
NO ₃ ⁻	3.451 (81%)	1.875(90%)
SO ₄ ⁻	3.442 (41%)	3.214(44%)
PO ₄ ³⁻	1.031 (31%)	0.805(46%)

Microfiltration

จากการใช้เมมเบรน ระดับไมโครพบว่า 10% ของสารอินทรีย์เท่านั้นที่ถูกขจัดจากน้ำฝนดิบ หลังจากการบำบัดร่วมกับตัวกรองของชีวภาพ พบว่าปริมาณ DOC (dissolved organic carbon) ที่ถูกบำบัดรวม 45 – 50% ซึ่งปริมาณ DOC ที่ถูกขจัดนี้ส่วนใหญ่เกิดจากตัวกรองชีวภาพ มีเพียง 5 – 10% โดยเมมเบรนแบบไมโครฟิวเทรชั่น แต่จากการตรวจด้วย HPC ไม่พบจุลินทรีย์ หลังจากผ่านเมมเบรน ไมโครฟิวเทรชั่น ถูกใช้ 8 L/m² h โดยค่าความดันในที่นี้ ไม่ได้นำมาคำนวณ เนื่องจากช่วงเวลาในการปฏิบัติการของไมโครฟิวเทรชั่น นั้น = 6 ชั่วโมง ดัชนีจัดการอุดตันของเมมเบรนกับน้ำที่ผ่านตัวกรองชีวภาพ ปกติดัชนีที่ใช้วัดการอุดตันของเมมเบรน เราใช้ SDI และ MFI (Boerlaye , etal ,1998) ในที่นี้เราใช้วัดน้ำฝนหลังจากผ่านการบำบัดโดยใช้ตัวกลางชีวภาพ กระบวนการในการใช้ SDI อธิบายอยู่ใน American Standard

teating and Methods (ASTM) D 4189-95 MFI ที่ใช้ในที่นี้การ การอุดตันของระบบตัวกรอง แบบเมมเบรนโดยตั้งสมมุติฐานว่าการอุดตันเกิดบนการสะสมบนผิวเมมเบรน (Cake filtration) MFI เป็นการวาดกราฟระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ ของการเกิด Cake ในความดันคงที่ (9) จากการจัดค่า MFI พบว่า 360 s/L^2 และ 863 s/L^2 ตามลำดับจากการผ่านตัวกรองชีวภาพและไม่ผ่านตัวกรองชีวภาพค่า SDI (silt dansitg Inder) พบว่าค่าลดลงจาก 6.2 เป็น 4.1 จากผลนี้แสดงว่าการใช้ตัวกรองชีวภาพก่อนระบบเมมเบรนช่วยลดการตันของระบบเมมเบรน และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบคุณภาพของน้ำฝนพบว่าคุณค่าน้ำฝนต้องผ่านการบำบัดก่อนนำไปในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ ได้ผลดังนี้

1. ปริมาณค่า คาร์บอนที่ละลายในน้ำ ถูกใช้แทนตัวแปรของสารอินทรีย์ ในน้ำฝนมีค่าโดยประมาณ 3 mg/L นอกจากนี้ยังพบไอออนลบ และไอออนบวก ดังแสดง
 2. การใช้ตัวกรองชีวภาพลึก 15 cm ในคอลัมน์เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 cm สามารถขจัด DOC ได้ 40% ซึ่งต้องดำเนินการมาประมาณ 3 เดือน นอกจากนี้ยังสามารถขจัดสารอื่นๆ ซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารคือ ไนเตรตและฟอสเฟตด้วย
 3. การใช้ตัวกรอง micro filtration พบว่า 10 – 15% ของ POC เท่านั้นที่ถูกขจัด แต่สามารถบำบัดจุลินทรีย์ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
 4. ค่า MFI ลดลง 863 s/L^2 เป็น 360 s/L^2 หลังจากตัวกรองชีวภาพ และค่า SDI ลดจาก 6.2 เป็น 4.1
- 4.1 การใช้ตัวกรองชีวภาพเป็นระบบก่อน ระบบเมมเบรนสามารถลดการอุดตันของเมมเบรนได้ และยังเพิ่มประสิทธิภาพ และอายุการใช้งานของเมมเบรนด้วย

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ

N. Areerachakul ,M. Kitiphatmontree, J. kandasamy, B. Kus, C.Duangdoen,S.Pivsa – Art and S.vigneswaran (2009), *Submerge Membrane system with Biofilter as a Treatment to Rainwater*. Water. Air Soil Pollut: Focus *Published online 12 Nov 2009*

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. Develop pilot scale for non potable and potable purposes at amphur Bangsai Ayuthaya Joint research RTG visiting scholar with AIT in the project Rainwater Harvesting and Utilization
2. Joint research with UTS in Rainwater and storm water with Dr Jaya Kandasamy and Prof S. Vigneswaran

3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุม วิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

Poster presentation in Challenges in Environmental Science and Engineering 2009
Townsville, Australia 14 – 17 July 2009

ภาคผนวก

Submerged Membrane System with Biofilter as a Treatment to Rainwater

N. Areerachakul · M. Kitiphatmontree ·
J. Kandasamy · B. Kus · C. Duangduen ·
S. Pivsa-Art · S. Vigneswaran

Received: 4 April 2009 / Accepted: 9 September 2009
© Springer Science + Business Media B.V. 2009

Abstract Rainwater has been used as drinking water in Thailand for centuries especially in the rural parts and is accepted as an important water resource. From past to present, the quality of rainwater has changed with the landuse of the landscape, and its water quality is influenced by a diverse range of conditions such as the management of pollutant sources, the catchment condition, wind and meteorological conditions, and the location of rainwater collection points. In this study, the quality of rainwater collected off roofs at several locations was examined. Granular activated carbon (GAC) filtration was used as a pretreatment to microfiltration (MF) to remove the dissolved organic matter (DOC). After an initial adsorption period, the biofilm that formed on the GAC (biofilter) was found to remove DOC by up to 40%, 35%, and 15% for bed filter depths of 15, 10, and 5 cm, respectively. Biofilters also removed nitrate and phosphate by more than 80% and 35%. The hollow fiber membrane microfiltration with pore size

of 0.1 μm was used to treat the effluent from biofiltration to remove the microorganisms/pathogens in the rainwater. Although there was no significant additional removal of DOC by MF, the biofilter removed all microorganisms. The use of biofilters as pretreatment to MF/UF could remove a higher amount of DOC, remove microorganisms, increase the membrane treatment efficiency, and reduce membrane fouling.

Keywords Rainwater · Characterization · Biofilters · GAC · Membrane filtration

1 Introduction

Rainwater has been used as drinking water in Thailand for centuries especially in the rural parts and is accepted as an important water resource. Roofs of households and buildings are the main catchment area to harvest rainwater for consumption. Thus, rainwater quality is liable to be contaminated from bird feces, microorganisms, dust, particulates from urban pollution, wind blow dust, pesticides, herbicides, and dissolved organic gases (CO_2 , NO_x , and SO_x) from industries, vehicles, etc.

Yeo et al. (2006) studied a reuse system using membrane process treating rainwater runoff from an urban parking area in Korea, which contained non-point pollutants. The rainwater reuse system consisted

N. Areerachakul · M. Kitiphatmontree · C. Duangduen ·
S. Pivsa-Art
Faculty of Science, Rajamangala University of Technology,
Bangkok, Thanyaburi, Thailand

J. Kandasamy · B. Kus · S. Vigneswaran (✉)
Faculty of Engineering and IT, University of Technology,
Broadway,
Sydney, NSW 2007, Australia
e-mail: s.vigneswaran@uts.edu.au

of a pre-filter, membrane filter, and disinfection. Hollow fiber membrane having pore size of 0.4 μm made of polyvinylidene fluoride (PVDF) was used in this system because of its strength and ability in providing a stable flux. The treated water met all the parameters of the guideline values regulated by the Korean standard for reclaimed water. Turbidity was less than 0.3 nephelometric turbidity units (NTU) in the final effluent. COD concentration decreased from 23.0 to 13.1 mg/L and BOD₅ decreased from 5.3 to 1.7 mg/L after treatment by the pre-filter and membrane process. *Escherichia coli* was completely removed by this system (Yeo et al. 2006). However, membrane fouling was the major obstacle.

Heavy metals have recently become a concern as their concentration in rainwater tanks was found to exceed the recommended levels and therefore makes it unsuitable for human consumption (Magyar et al. 2007, 2008; Han and Mun 2007; Han et al. 2006). Rainwater storage tanks also accumulate contaminants and sediments that settle to the bottom of the tank.

Changes in pH may also occur in rainwater collected in tanks. Han and Mun (2007) and Han et al. (2006) reported the results of monitoring rainwater quality, such as pH, turbidity, and metals, for a year, in the rainwater harvesting system at student dormitories at the Seoul National University, Korea. The pH of stored water changed to neutral over time, and turbidity and metal concentrations reduced through sedimentation over time. The pH of roof runoff and stored rainwater ranged from 6.5 to 9.0 and 6.8 to 8.4, respectively. It was weakly alkali but neutralized naturally in the storage tank. The turbidity of the stored rainwater showed a constant range of 1.29–2.35 NTU and metals were well within the Korean standards for drinking water.

This study analyzed the water quality in rainwater collected at representative locations in Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Thailand in PVC tanks and in Ayudhaya Province, Thailand in clay rain jars. Water quality was characterized in terms of physical, chemical, and organic parameters and compared against drinking water standards. The other objective of this study was to investigate the performance of biologically active granular activated carbon (biofilters) as a pretreatment to microfiltration (MF) in terms of dissolved organic matter (DOC) removal and membrane fouling reduction.

2 Experimental Methodology

2.1 Rainwater

The rainwater samples used in these experiments were collected from three concrete roofs in PVC tanks at the Rajamangala University of Technology (RMUTT), Thanyaburi, Thailand and in clay jars at five locations in the Ayudhaya Province (Fig. 1). The catchment area of the roofs had no noticeable leaves or debris in the guttering, and none had first-flush systems installed. First-flush systems divert the first part of the rainwater runoff from the roof before it can reach the tank. However, birds were present, which may have contaminated the rainwater by their dropping.

The pH of the rainwater samples were an average of 6.3 at 30°C, and the conductivity was 78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 30°C.

2.2 Biofilters

Biological adsorption experiments with granular activated carbon (GAC) were conducted in fixed bed columns. The physical properties of the GAC are shown in Table 1. The GAC was washed with distilled water then dried at 103°C and desiccated before use.

The experimental setup is shown in Fig. 2. The experiments were conducted using transparent acrylic filter columns with dimensions of 2 cm in diameter and 150 cm in length. The column had outlet pipes along its length and at the bottom of the column. The GAC was packed into the column to the required



Fig. 1 Rainwater Jar in Ayudhaya province

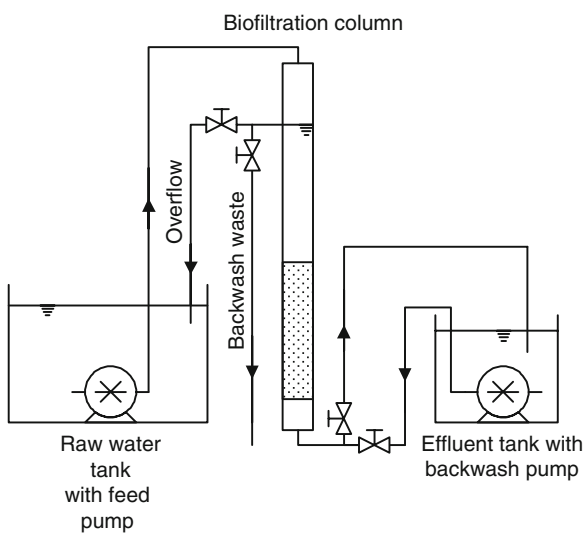
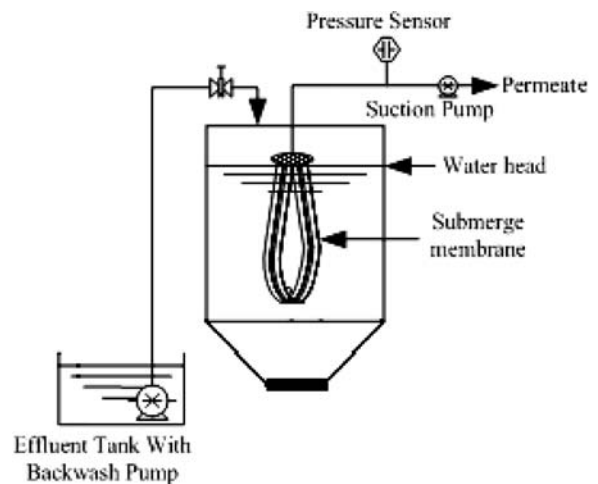
Table 1 Physical properties of GAC

Specification	Estimated value
Iodine number, mg/(g min)	800
Nominal size, m	3×10^{-4}
Maximum moisture content	5%
Bulk density, kg/m ³	748
BET surface area, m ² /g	748

depth. The columns were operated in the downflow mode. Feed water was pumped from a water tank to the top of the columns and passed through the filter bed. An overflow outlet was placed above the filter bed to maintain a constant head above the GAC filter bed. Effluent samples were collected from the bottom of the column for analysis. Experiments were conducted with filtration velocity of 4 m/h with different bed depths of 5, 10, and 15 cm. The filters were backwashed for a period of 5 min once in 2 days to control excessive biofilm growth.

2.3 Hollow Fiber MF Membrane

The schematic diagram of the membrane filtration system is shown in Fig. 3. Short term (6 h) experiments were conducted with rainwater. The hollow fiber membrane (PVDF of 0.1 μm , Kolon membrane) was vertically submerged directly into a 10-L tank (Fig. 3). The membrane length was 48.5 cm with a

**Fig. 2** Biofilter experimental setup**Fig. 3** Schematic of submerge membrane setup

radius of 2 mm. The combined surface area of the hollow fiber membrane was 0.030486 m². Constant flux experiments were conducted, and the transmembrane pressure was measured by a pressure sensor. The microfiltration unit was operated at 8 L/m² h.

2.4 DOC

DOC was measured using a carbon analyser (TOC-V, Shimadzu, Japan). All samples were filtered through the 0.45 μm membrane prior to the DOC measurement.

2.5 Water Quality Analysis

Detailed laboratory analyses were carried out on the eight rainwater storages to determine individual pollutants that exist in the rainwater tanks. At each location, 10 samples were taken at different times. The pollutants analyzed were heavy metals, mineral salts, nitrate, phosphate, sulfate, carbonate, total suspended solids, pH, conductivity, hardness, and turbidity. The testing methods are summarized in Table 2.

3 Results and Discussion

3.1 Characterization of Rainwater

From Table 3, the results of rainwater characterization showed that the rainwater in Ayudhaya has better

Table 2 Water quality parameters and measurement methods (Eaton et al. 2005)

Parameter	Measurement method
Heavy metals (aluminum, arsenic, cadmium, chromium, copper, iron, lead, manganese, mercury, nickel, selenium, silver, and zinc)	APHA 3120 ICPMS—inductively coupled plasma–mass spectrometry
Chloride	APHA 4500-CL-G—mercuric thiocyanate flow injection analysis
Nitrate	APHA 4500 NO3-F—automated cadmium-reduction method
Mineral salts (calcium, magnesium, potassium, sodium, and sulfate)	APHA 3120 ICPOES—inductively coupled plasma–optical emission spectrometry
pH	APHA 4500-H+—electronic method
Conductivity	APHA 2510-B—laboratory method
Water hardness	Calcium and magnesium calculation
Turbidity	APHA 2130—nephelometric method
Total suspended solids	GFC equiv. filter-APHA 2540-D—total suspended solids dried at 103–105°C
Total dissolved salts	Calculation using $EC \times 680$
Bicarbonates	Total alkalinity-APHA 2320—titration method

APHA American Public Health Association

Table 3 Rainwater characterization in various locations at Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) and at Ayudhaya province

Parameter	AWDG (2004)	Ayudhaya ^a	RMUTT ^b
pH	6.5–8.5	6.4	6.7
Conductivity (EC; dS/m)	<0.8	0.082	0.78
Total dissolved salts (mg/L)		55.31	160
Total suspended solids (mg/L)		400	428
Turbidity (NTU)	<5	5.07	42
Water hardness (mg/L CaCO ₃ equivalent)	<200	47	59
Nitrate (mg/L N)	<50	14.1	18.6
Chloride (mg/L)	<400	1.45	1.35
Sulfate (mg/L)	<400	3.24	5.8
Phosphate (mg/L)		0.86	1.5
Calcium (mg/L)		10.30	21.1
Copper (mg/L)	<2	0.03	0.19
Iron (mg/L)	<0.3	0.54	0.875
Manganese (mg/L)	<0.1	0.001	0.006
Lead (mg/L)	<0.01	0.017	0.174
Zinc (mg/L)	<3	0.15	0.19
Arsenic (mg/L)		ND	ND
Cadmium (mg/L)		ND	ND
Total coliform (MPN/100 mL)	<2.2	6.8	≥1,000
Fecal coliform (MPN/100 mL)	<2.2	6.8	920
<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	ND	2	20
DOC		2.1	3.3

ND non-detectable

^a Average of 10 samples at each of three locations at Ayudhaya

^b Average of 10 samples at each of five locations at RMUTT

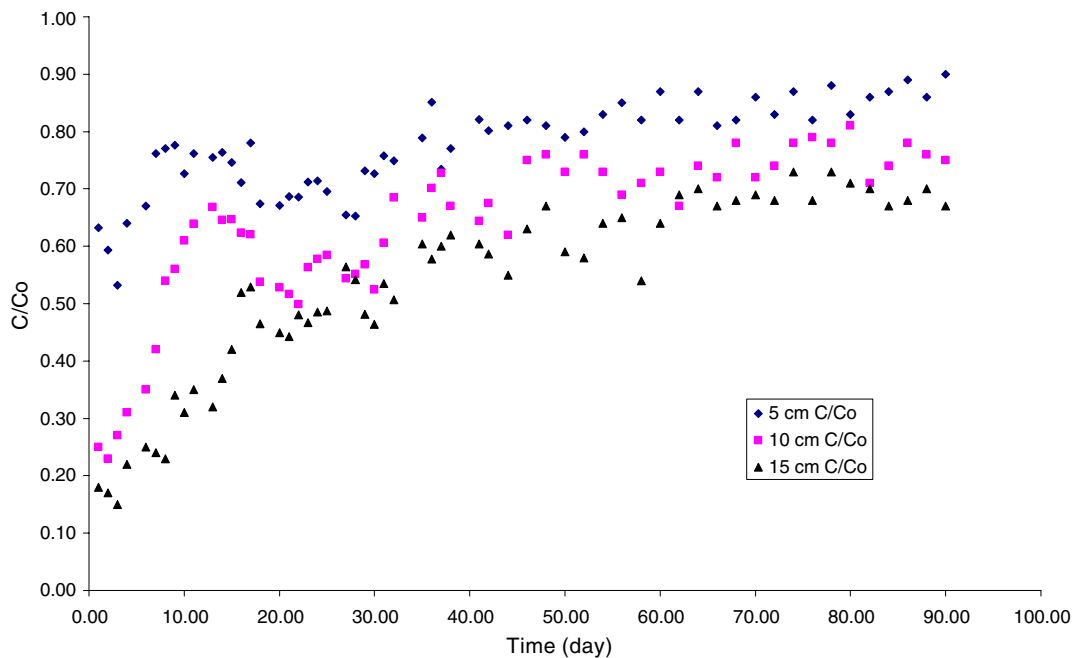


Fig. 4 DOC removal with different BAC bed depth 5, 10, and 15 cm, respectively, with $V=4$ m/h (where C and C_o are the effluent and influent DOC concentrations)

quality of rainwater than in RMUTT (in terms of DOC, total coliform, fecal coliform, heavy metal, and mineral). This is because of the heavier pollution in the more urban area of Thanyaburi where RMUTT is located compared to Ayudhaya, which is in the provinces and less urbanized. The results of testing show that the quality of the water in Ayudhaya meets many of the parametric standards specified in ADWS (2004). The concentrations of heavy metals were also

at or below water quality standards (ADWS 2004). However there is still a need for treatment methods to improve rainwater quality especially at RMUTT, Thanyaburi. The results also imply that diverting the first flush off the roof, which is heavily polluted, can improve the water quality of the rainwater collected in the tank.

In this study the submerged microfiltration was used to treat the rainwater collected from RMUTT with and without GAC biofilter as a pretreatment.

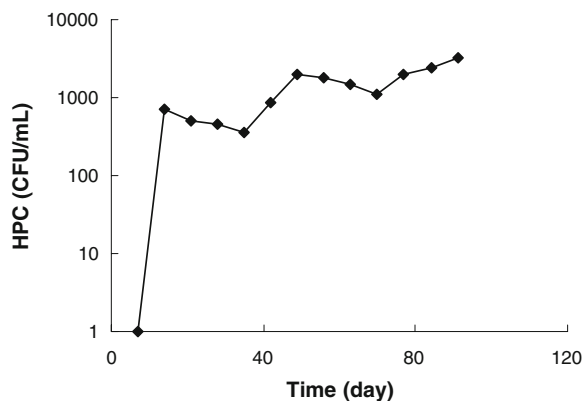


Fig. 5 Increase in HPC pour plate (CFU/mL) as a function of time (day) with 15 cm bed depth and $v=4$ m/h

3.2 Biofilter

Figure 4 shows the DOC removal by the biofilters during 3 months of operation. The DOC removal was 10%, 25%, and 40% with 5-, 10-, and 15-cm filter bed depth, respectively. The removal rates in the early stages were relatively high due to the adsorption by granular activated carbon. However as the granular activated carbon became exhausted and as biological activity on the granular activated carbon increased, a relatively steady removal rate, albeit with some fluctuation, in DOC was established. The biofilter operated under this steady condition for 70 days after an initial period of adsorption. The results show that

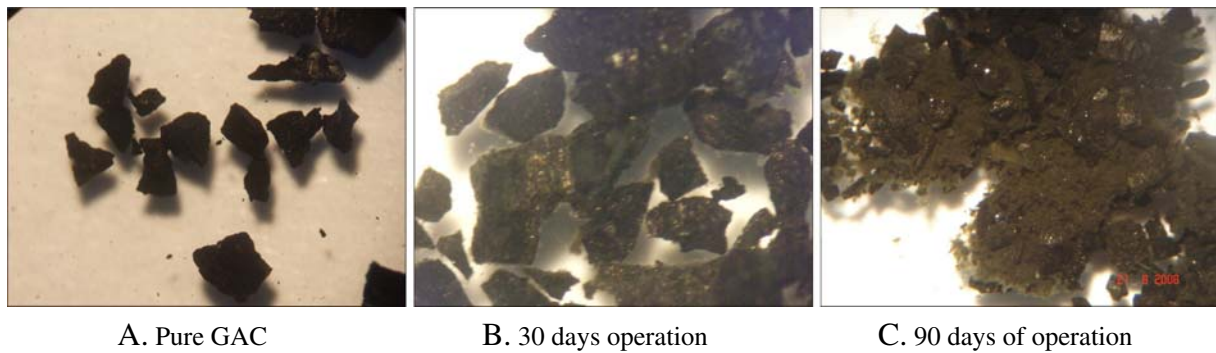


Fig. 6 Biomass growth on GAC in different period. **a** Pure GAC, **b** 30 days of operation, **c** 90 days of operation

the biofilter can remove organics for a prolonged period of time without the need to regenerate the activated carbon.

It had been previously estimated that the approximate time for colonization of biomass into a steady-state condition could take nearly 3 months (Cauchi et al. 1993). Figure 5 shows the biomass growth on GAC. During the first month the growth of the colonization using the indirect effluent measure of heterotrophic plate count (HPC) showed that the colonization of microorganism was 400 CFU/mL. It rose rapidly, and after 90 days, the microorganism count was more than 3,000 CFU/mL. This may be

due to the presence of first flush in the rainwater used in this study.

The growth of biomass on the GAC is shown in Fig. 6. The biomass growth in terms of colony count was not detected initially (0 day), and it increased to the third order (10^3 CFU/gm GAC) after 30 days of operation and then to more than 10^5 CFU/g GAC after 90 days of operation (Table 4). The biomass was taken from the GAC column by backwashing, and GAC weight was calculated from bed height. The use of Gram's stain showed that the colony had both Gram positive and Gram negative. However the colony was predominantly Gram positive and rod-shaped.

Table 4 CFU count/g GAC at different operation period of biofilter

Date	Dilution	Colony count		Average	CFU/ g GAC
		1 replication	2 replications		
0	10^{-1}	3	5	4	<30
	10^{-2}	0	2	1	<30
	10^{-3}	0	0	0	0
	10^{-4}	0	0	0	0
	10^{-5}	0	0	0	0
30	10^{-1}	291	289	290	2.9×10^3
	10^{-2}	70	56	68	0.68×10^3
	10^{-3}	2	17	8.5	<30
	10^{-4}	3	13	8	<30
	10^{-5}	0	0	0	0
90	10^{-1}	>300	>300		
	10^{-2}	>300	>300		
	10^{-3}	127	169	148	1.48×10^5
	10^{-4}	14	9	11.5	
	10^{-5}	2	0	1	

Table 5 Average anion concentrations in the effluent of the biofilter

Anion	10 cm mg/L (% removal)	15 cm mg/L (% removal)
F ⁻	0.0701 (0%)	0.0805 (0%)
Cl ⁻	1.407 (0%)	1.253 (0%)
NO ₃ ⁻	3.451 (81%)	1.875 (90%)
SO ₄ ⁻	3.442 (41%)	3.214 (44%)
PO ₄ ³⁻	1.031 (31%)	0.805 (46%)

Samples were taken after a biofilter operation time of more than 1 month

Daily samples of effluent from the biofilter taken after an operation time of more than 1 month were tested for anion concentrations of F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻, and PO₄³⁻. Table 5 shows the results of these tests. The reduction of nitrate and phosphate was 80% and 30%, respectively, in the 10-cm filter bed depth (Table 5). The reductions were much greater in the 15-cm filter bed. The reduction of F⁻ and Cl was negligible as these anions were not consumed by the microbes in the biofilter.

3.3 MF

The MF alone achieved only a 10% removal of DOC with rainwater. When this was used with a pretreatment of biofiltration, the DOC removal increased to 45–50%. The majority of the DOC removal was by biofiltration, which is about 40%. However HPC analysis revealed that no bacteria were detected in the effluent water following membrane filtration. The microfiltration unit was operated at 8 L/m² h, and the pressure development was almost negligible (less than 5 Pa) during a filter run period of 6 h.

3.4 Fouling Index with Biofilter Effluent

The two commonly used fouling indices, namely SDI and MFI (Boerlage et al. 1998), were used to measure the membrane fouling reduction by the pretreatment of biofiltration. The SDI procedure is described in American Standards Testing and Methods (ASTM) D4189-95.

The MFI is an extension of the SDI and was developed by Schippers and Verdow (1980). The MFI can be used to predict the fouling potential of the

feed in membrane systems and assumes that the particulate fouling of membranes is dominated by cake filtration. The MFI is determined from the gradient of the general cake filtration region for constant pressure in a plot of t/V versus V (Boerlage et al. 1998).

The MFI values with and without biofilter pretreatment were 360 and 863 s/L², respectively. The SDI values were also investigated. A pretreatment with biofilter decreased the SDI value from 6.2 to 4.1. Thus, the biofilter as pretreatment to membrane filtration is effective in reducing membrane fouling potential.

4 Conclusion

The results of testing of samples of rainwater collected from roofs in Ayudhaya and in RMUTT, Thanyaburi, showed that although some parameters comply with water quality standards, there is still a need for treatment methods to improve rainwater quality. In this study various treatment methods were used, and the results are summarized below:

1. The initial DOC concentration of rainwater was 3.3 mg/L and contained nutrients such as nitrate, sulfate, and phosphate at concentrations of 18.6, 5.8, and 1.5 mg/L, respectively.
2. A GAC filter with a depth of 15 cm could remove up to 40% of DOC and could operate for at least for 3 months. It could remove a significant amount of nutrients such as nitrate and phosphate.
3. The use of MF/UF to filter the effluent of the biofilter showed only a marginal increase in DOC removal by another 5–15% but it could effectively remove microorganisms from the effluent of the biofilter.
4. The MFI values decreased from 863 to 360 s/L² after biofiltration. The SDI values decreased from 6.2 to 4.1. The use of biofilters as pretreatment to MF could reduce membrane fouling in addition to removing a higher amount of DOC and increasing the membrane treatment efficiency.

Acknowledgment The research is funded by a grant from the Thailand Research Fund. Their support is gratefully acknowledged.

References

- ADWS (2004). *Australian drinking water guidelines*. National Health and Medical Research Council, Australian Government, Australian Water Resources Council, Editor, p. 615.
- Boerlage, S. F. E., Kennedy, M. D., Aniye, M. P., Abogrean, E. M., Galjaard, G., & Schippers, J. C. (1998). Monitoring particulate fouling in membrane systems. *Desalination*, 118, 131–142.
- Cauchi, B., Billen, G., & Servais, P. (1993). The elimination of biodegradable organic carbon in biological contactors–biological carbon filters. *Water Supply*, 11(3/47), 289–298.
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., Greenberg, A. (2005). *Standard methods for the examination of water & wastewater*. Published jointly by: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 21st ed.
- Han, M. Y. & Mun, J. S. (2007). Particle behaviour consideration to maximize the settling capacity of rainwater storage tanks. *Water Science and Technology*, 56(11), 73–79.
- Han, M.Y., Park, S., Kim, S. (2006). Analysis of rainwater quality in rainwater harvesting systems at dormitories in Seoul National University, Seoul, Korea. IWA World Water Congress
- Magyar, M. I., Mitchell, V. G., Ladson, A. R., & Diaper, C. (2007). An investigation of rainwater tanks quality and sediment dynamics. *Water Science & Technology*, 56(9), 21–28.
- Magyar, M.I., Mitchell, V.G, Ladson, A.R, Diaper, C. (2008). Lead and other heavy metals common contaminants of rainwater tanks in Melbourne. In: Proceedings of Water Down Under Volume 2008 409–417.
- Schippers, J. C. & Verdow, J. (1980). The modified fouling index. A method of determining the fouling characteristics of water. *Desalination*, 32, 137–148.
- Yeo, K.S., Kim, C.R., Dockko, S., (2006). Rainwater reuse system using membrane process in urban parking area. RWHM Workshop, IWA 5th World Water Congress and Exhibition, Beijing, China, pp. 237–242.