



다중수원 수처리 의사결정에 관한 실험적 연구

An experimental study on decision making for multi-source water

정정우¹·조형락²·이상호³·채수권*

Jungwoo Jung¹·Hyeong-Rak Cho²·Sangho Lee³·Soo-Kwon Chae*

¹국민대학교, ²을지대학교

¹Kookmin University, ²Eulji University

ABSTRACT

A combined treatment system using multiple source water is becoming important as an alternative to conventional water supply for small-scale water systems. In this research, combined water treatment systems were investigated for simultaneous use of multi-source water including rainwater, ground water, river water, and reclaimed wastewater. A laboratory-scale system was developed to systematically compare various combinations of water treatment processes, including sand filtration, microfiltration (MF), granular activated carbon (GAC), and nanofiltration (NF). Results showed that the efficiency of combined water treatment systems was affected by the quality of feed waters. In addition, a simply approach based on the concept of linear combination was suggested to support a decision-making for the optimum water treatment systems with the consideration of final water quality.

Key words: Water Treatment Combination, Multi-Source Water, Decision Support, Decentralized System, Membrane
주제어: 수처리 조합, 다중수원, 의사결정지원, 분산형 시스템, 분리막

1. 서 론

최근 기후변화로 인한 물 부족현상이 심각해지고 있으며, 이와 동시에 산업화와 인구증가로 인한 물 수요의 증가가 진행되고 있다. 또한 국민 생활수준의 향상과 경제적인 풍요에 따라 사용하는 물에 대한 기대는 양적인 문제를 떠나 질적인 향상을 요구하고 있는 것이 현실이다. 따라서 이러한 수량 및 수질의 문제를 해결하기 위한 물 수요관리와 기존 수자원의 활용 최적화 및 대체수자원 개발의 노력이 필요한 실정이다 (Marlow et al, 2013). 특히 최근에는 기존의 중앙집중식 상하수도 기술의 한계를 극복하기 위한 분산형 수처리 기술이 새로운 대안으로 주목받고 있다 (Battilani et al, 2010; Chung et al, 2008).

기존 분산형 수처리 기술은 건물이나 소규모 단지

를 대상으로 적용되고 있으며 (Peter-Varbanets, 2009), 중수나 빗물 등을 이용하여 화장실 세정용수나 잡음수를 공급하고 있다 (Helmreich and Horn, 2009; Li et al, 2009). 이러한 분산형 수처리 기술은 물 부족의 문제를 일부분 해결할 수 있을 것으로 기대되고 있다 (Li et al, 2010; Assayed et al, 2013) 그러나 중수이용과 빗물이용을 확대하기 위해서는 처리수 수질과 수원의 안정성 등의 문제를 해결할 필요가 있다. 또한 현재까지는 중수와 빗물 등은 각각 이용되는 경우가 대부분이며 (Hocaoglu et al, 2013; Luo et al, 2014; Peter-Varbanets, 2012), 이를 조합하여 이용하는 경우는 많지 않은 편이다. 다양한 수원을 이용하기 위해서는 각각의 특성에 적합한 수처리 조합공정을 구성하고 최적화하는 연구가 선행되어야 하지만 아직까지 이에 대한 연구는 활발하게 진행되지 않았다 (Santasmassas et al, 2013; Silva Vieira et al, 2013).

따라서 본 연구에서는 분산형 수처리 시스템에서

Received 23 April 2014; Revised 05 December 2014; Accepted 10 February 2015

*Corresponding author: Soo-Kwon Chae (E-mail: cskwen@eulji.ac.kr)

pp. 1-9
pp. 11-21
pp. 23-31
pp. 33-38
pp. 39-46
pp. 47-55
pp. 57-63
pp. 65-75
pp. 77-88
pp. 89-96
pp. 97-106
pp. 107-122
pp. 123-131
pp. 133-138

다중수원을 효율적으로 이용하기 위한 기술에 대하여 연구하였다. 수원의 구성과 특성에 맞는 최적의 수처리 조합 공정을 구성하기 위하여 실험실 규모의 장치를 제작하여 다양한 조건에서 실험을 수행하였으며, 최종 처리수의 수질특성과 조합공정의 처리특성을 분석하였다. 또한 이러한 연구결과를 바탕으로 최적의 수처리 조합공정을 선정하기 위한 방법론을 제시하였으며, 다중수원의 구성과 처리목표에 따른 공정조합 선택방법에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 원수의 특성

본 연구에서 사용한 다중수원의 경우, 빗물, 지하수, 하천수, 하수 2차 처리수로 사용하였으며, 각각 수원은 건물 옥상, 지하수 펌프장, H 수중 보, G 환경사업소에서 취수 하였다. 원수 별 수질은 Table 1과 같다.

2.2 공정조합

본 연구에서 선택한 공정은 ① 1차 처리: 모래여과/MF 여과, ② 2차 처리: 활성탄여과/NF 여과, ③ 3차 처리: 염소/UV 소독을 각각 선택하여 적용하였다. 1차 처리에서는 탁도 유발 및 부유물질 제거를 주목적으로 하였고, 2차 처리에서는 중금속, 유기물 제거를, 3차 처리에서는 소독을 통한 병원성미생물 및 바이리

스 제거를 위함이다. 이 때 공정은, 단일공정 및 실험실규모로 진행하였다. 공정모식도는 Fig. 1과 같다.

Table 2는 본 논문에서 실험적으로 검토한 공정조합을 나타내고 있다.

1차 처리에 사용된 모래의 경우, 국산((주)남양정수엔지니어링)에서 제조된 급속여과용 여재를 사용하였으며, MF membrane의 경우, 상용화된 PVDF 재질의 hollow fiber membrane (pore size 0.1 um)을 사용하였다. 2차 처리에 사용된 활성탄의 경우, 8X30 활성탄을 사용하였으며, NF membrane의 경우, NE2540-90을 사용하였다. 3차 처리의 경우, 염소소독은 NaOCl(10-15%, Aldrich, U.S.A.)을 사용하였으며, UV장치의 경우, 국산((주)그린피아)에서 제조된 Low-pressure-UV(16W)장치를 사용하였다.

각각 단위공정에서의 운전조건은 다음과 같다. 1차처리 모래급속여과의 경우, 단일 모래, 자갈층으로 구성하였으며, 약 2L/min 으로 여과하였다. MF Membrane의 경우, 침지식 모듈을 이용한 정유량방식 30 L/m²-h으로 운전하였다. 2차처리 활성탄필터의 경우, 입상활성탄을 사용하였으며, 응집시간 1시간 후, 약 0.3 L/min 으로 여과하였다. NF Membrane의 경우, Dead-end 방식 (6bar)을 이용하여 40 L/m²-h으로 운전하였다. 3차 처리 염소소독은 NaOCl(10-15%) 5ppm 주입하여 소독하였다. UV 소독의 경우, LPUV (Low pressure-UV, 16W)를 이용하여 20초 간 소독하였다. 각 단위공정의 사양과 운전조건은 [Table 3]에 정리되어 있다.

Table 1. Water quality of multi-water sources

	COD (mg/L)	Conductivity (uS/cm)	pH	UV254 (ABS)	TOC (ppm)	Total Coliform Group (unit/1ml)	Torla Bacteria (unit/1ml)	Turb (NTU)
Rain	2.9	36.9	6.51	0.018	1.27	57	193	0.93
Ground	5.9	592	7.48	0.012	0.96	None	1370	1.30
River	7.5	148.7	7.32	0.053	2.15	4000	3500	4.08
Waste	10.8	526	7.02	0.091	4.47	31400	None	2.44

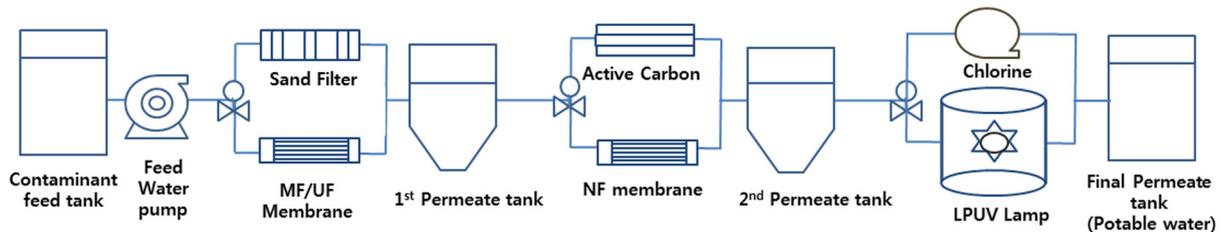


Fig. 1. Schematic diagram of water treatment combinations.



Table 2. Summary of water treatment combinations

Name	1 st stage	2 nd stage	3 rd stage
Feed	-	-	-
SD	Sand filtration	-	-
MF	MF	-	-
SG	Sand filtration	GAC	-
MG	MF	GAC	-
SN	Sand filtration	NF	-
MN	MF	NF	-
MGC	MF	GAC	Chlorination
MGU	MF	GAC	LPUV

Table 3. Specification and operating conditions for unit processes

	Type	Specification	Operation Condition
1 st Stage	Sand Filter	Sand, 0.7-1.2ø	2 L/min
	MF membrane	PVDF, 0.1 μm	30 L/m ² -h
2 nd Stage	Activated Carbon	8x30 mesh	300 ml/min
	NF membrane	NaCl 40% rejection	40 L/m ² -h
3 rd Stage	Chlorine	NaOCl 10~15%	5 ppm
	UV	Low pressure, 16W	20 sec

2.3 분석방법

분석항목은 대한민국 중수도 수질기준(중수도의 용도별 수질기준(제8조제2항 관련)) 중 Total Coliform Group, Total Bacteria, pH, COD, Turbidity을 바탕으로 선정하였으며, 단위공정 별로 처리능력을 비교하기 위해, 추가적으로 TOC, UVA-254, Conductivity을 측정하였다. 분석조건은 수질공정시험법과 AWWA의 Standard Method(Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition)을 기준으로 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유입수 종류별 수처리 조합공정의 처리효율 비교

각 유입수에 대하여 수처리 조합공정을 적용하였을

때 최종 처리수의 수질특성을 조사하였으며, 그 결과를 각각 Table 4, Table 5, Table 6, Table 7에 나타내었다. Table 4는 유입수로 빗물을 사용하였을 때의 결과를 정리한 것이다. 빗물은 비교적 이온 농도가 낮아서 TDS와 전기 전도도가 낮았으며, 그 외 유기물 농도와 이온농도도 낮은 편이었다. 수처리 공정을 적용한 결과를 살펴보면 이온 제거가 가능한 SN과 MN을 제외하고 나머지 공정에서는 TDS와 전기 전도도 값은 처리 후에도 변화가 거의 없었으며, 입자 농도는 모래여과 처리를 제외하면 모두 처리수에서 낮은 값을 보였다.

한편, TOC는 활성탄 처리가 포함된 공정(SG와 MG)이 NF 처리가 포함된 공정(SN과 MN)보다 다소 낮은 값을 나타내어, 본 실험조건에서는 활성탄의 유기물 제거효율이 NF보다 높은 것으로 평가되었다. 또한, UV254의 경우에도 TOC와 유사한 결과가 나타났다. 그리고 UV254는 모래여과만을 적용한 경우(SD)에는 크게 제거되지 않았으나 MF만을 적용한 경우(MF)에서는 약 45%가 제거된 결과를 보였는데, 이는 UV254에 해당하는 물질 중 콜로이드성 입자가 모래여과에서는 잘 제거되지 않았으나 MF에서는 잘 제거되었으므로 나타난 결과로 해석되었다. Fig. 2는 Table 4의 결과를 바탕으로 수질인자별 제거율을 계산하여 나타낸 결과이다. 전체적으로 SG와 MG가 가장 높은 제거율을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

Table 5는 유입수로 지하수를 사용한 경우의 결과를 정리한 것이다. 사용한 지하수는 건물 내에 위치하는 지하수 펌프장에서 취수한 것으로서 일반적인 지하수와 도로면 등에서 유출된 빗물이 혼합된 것으로

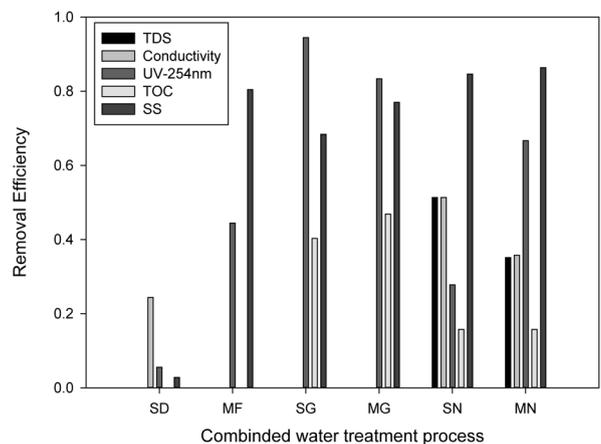


Fig. 2. Comparison of removal efficiency for contaminants in feed water (rainwater).

pp. 1-9

pp. 11-21

pp. 23-31

pp. 33-38

pp. 39-46

pp. 47-55

pp. 57-63

pp. 65-75

pp. 77-88

pp. 89-96

pp. 97-106

pp. 107-122

pp. 123-131

pp. 133-138

볼 수 있다. 따라서 전반적으로 본 지하수는 빗물보다 높은 이온농도와 유기물 농도 및 입자농도를 보이는 것으로 나타났다. 실험결과 SD에서는 전체적으로 처리율이 가장 낮았으며, MF는 높은 입자성 물질의 제거율을 보였으며, SG와 MG는 비교적 높은 유기물 제거율을, SN과 MN은 유기물 제거와 함께 이온물질 제거율을 약간 보이는 것으로 나타났다. 이때, 제거율이 낮은 것이 확인되는데, 이는 원수로 쓰이는 지하수의 수질을 검토해보면, 유기물 및 TOC 농도가 다른 원수에 비해 많이 낮은 것을 확인 할 수 있다. 따라서 NF 공정이 적용되는 SN, MN 공정에서 많은 제거율이 나오지 않게 되었다. 하지만 최종결과를 검토한 결과, 이번 결과는 각 단위공정의 특징을 볼 때 예상한 결

과와 일치하는 것이다. 한편, [Fig. 3]는 [Table 5]의 결과를 바탕으로 수질인자별 제거율을 계산하여 나타낸 결과이다.

하천수와 하수처리장에서 2차 처리된 방류수를 유입수로 하여 처리한 후 수질을 분석하여 비교한 결과를 각각 Table 6과 Table 7에 나타내었다. 각 수질인자별 처리특성은 전반적인 경향은 앞서 경우와 유사한 것으로 나타났다. 또한, 하천수는 비교적 높은 입자성 물질의 농도 (4 mg/L)을 보였으며, 하수처리수는 비교적 높은 유기물 농도 (4400 µg/L)을 보였으므로, 하천수의 처리에서는 MF 등의 분리막을 사용하는 것이 최종처리수 수질 측면에서 유리하였고, 하수처리수의 재이용에서는 활성탄 처리가 포함된 공정이 다소 유

Table 4. Comparison of water quality for feed water (rainwater) and treated waters by different processes

	TDS (mg/L)	Conductivity (µS/cm)	UV-254	TOC (µg/L)	SS (mg/L)	pH
Feed	37	36.9	0.018	1267.5	0.93	6.51
SD	37	27.9	0.017	1267	0.904	7.36
MF	37	36.9	0.010	1267	0.182	7.66
SG	37	36.9	0.001	756.75	0.294	8.84
MG	37	36.9	0.003	673.5	0.214	9.03
SN	18	17.96	0.013	1067.5	0.143	7.62
MN	24	23.7	0.006	1067.5	0.127	8.5

Table 5. Comparison of water quality for feed water (ground water) and treated waters by different processes

	TDS (mg/L)	Conductivity (µS/cm)	UV-254	TOC (µg/L)	SS (mg/L)	pH
Feed	600	592	0.012	964.5	1.3	7.48
SD	596	592	0.011	964	0.783	7.38
MF	600	592	0.011	964	0.109	7.33
SG	600	592	0.001	681	0.303	8.57
MG	600	592	0.007	755.5	0.15	9.08
SN	497	417	0.010	964	0.186	7.64
MN	505	421	0.005	964	0.206	7.23

Table 6. Comparison of water quality for feed water (river water) and treated waters by different processes

	TDS (mg/L)	Conductivity (µS/cm)	UV-254	TOC (µg/L)	SS (mg/L)	pH
Feed	157	148.7	0.053	2152.5	4.08	7.32
SD	157	148	0.043	2152	1.25	7.1
MF	157	148	0.035	2150	0.11	7.49
SG	157	148	0.003	658.75	0.417	9.13
MG	157	148	0.007	625	0.167	9.09
SN	77	75.3	0.004	772.25	0.107	7.31
MN	126	119.4	0.004	1650	0.096	8.16



리한 것으로 평가되었다. 각 수질인자별 처리효율은 Fig. 4와 Fig. 5에 정리되어 있다. 제거율 측면을 볼 때 하천수 처리에는 SN 공정이 다소 높은 값을 보이고, 하수처리수의 재이용에는 SG와 MG 공정이 다소 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

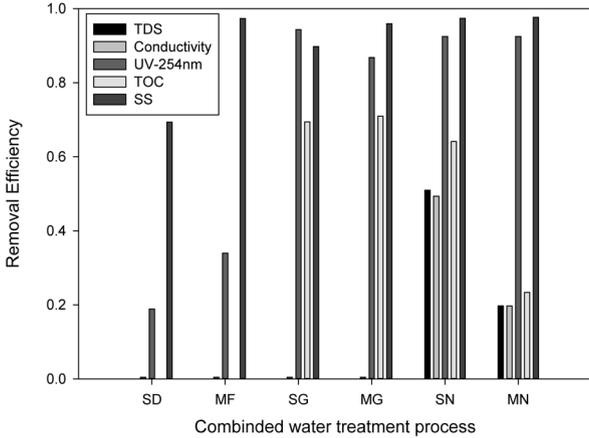


Fig. 3. Comparison of removal efficiency for contaminants in feed water (ground water).

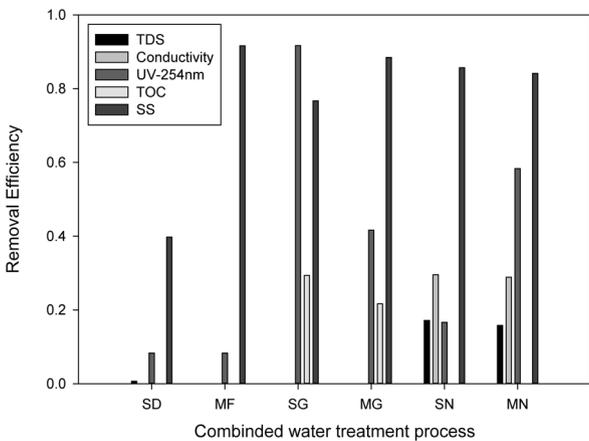


Fig. 4. Comparison of removal efficiency for contaminants in feed water (river water).

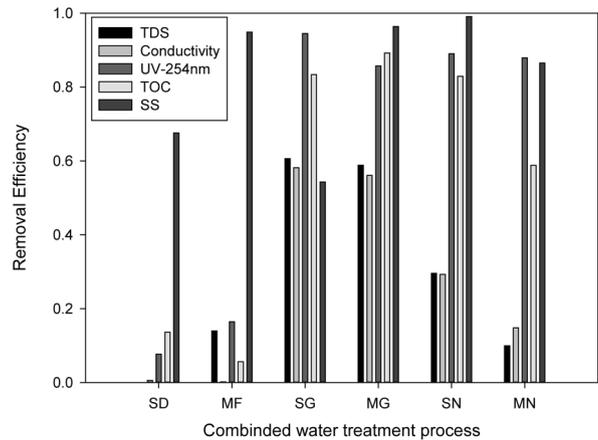


Fig. 5. Comparison of removal efficiency for contaminants in feed water (treated wastewater).

3.2 염소소독과 UV 후처리의 영향

후처리 공정의 영향을 살펴보기 위하여 모래여과와 활성탄 처리를 한 경우(MG)에 대하여 염소소독과 UV 처리를 실시하였다. 빗물의 경우 총 대장균군이 57/mL, 총 세균이 193/mL로 분석되었으며, 지하수의 경우 총 대장균군은 불검출, 총 세균은 18/mL로 분석되었다. 한편 한강수의 경우 총 세균이 3500/mL이었고 하수처리수의 경우 불검출로 나타났다. 처리결과 염소소독 및 UV 처리에서 모든 경우 총 대장균군과 총 세균이 불검출로 나타났다.

후처리 공정은 소독의 목적으로 적용되지만 처리수의 유기물에 영향을 줄 수 있다. 따라서 염소소독과 UV 처리가 유기물 농도에 미치는 영향을 조사 분석한 후 [Fig. 6]에 나타내었다. 염소소독의 경우 UV 처리에 비하여 최종처리수의 TOC와 UV254가 높은 값을 보였는데, 이 현상은 염소소독 과정에서 유기물이 일부 부분적으로 산화됨에 따라 처리수 내의 유기물 농도를 증가시키는 결과를 보인 것으로 해석되었다.

Table 7. Comparison of water quality for feed water (wastewater effluent) and treated waters by different processes

	TDS (mg/L)	Conductivity (μS/cm)	UV-254	TOC (μg/L)	SS (mg/L)	pH
Feed	622	526	0.091	4475	1.444	7.02
SD	622	523	0.084	3865	0.468	7.23
MF	535	525	0.076	4222.5	0.074	7.41
SG	245	220	0.005	744.25	0.66	9.07
MG	256	231	0.013	484.25	0.0523	9.3
SN	438	372	0.010	765	0.0134	7.22
MN	560	448	0.011	1842.5	0.195	7.6

pp. 1-9

pp. 11-21

pp. 23-31

pp. 33-38

pp. 39-46

pp. 47-55

pp. 57-63

pp. 65-75

pp. 77-88

pp. 89-96

pp. 97-106

pp. 107-122

pp. 123-131

pp. 133-138

반면 UV는 추가적인 산화효과가 낮으므로, 유기물 농도의 증가는 미미한 것으로 나타났다. 따라서 소독제의 잔류성이 반드시 필요한 경우가 아니라면 UV를 적용하는 것이 염소소독을 적용하는 것 보다 처리수 수질 측면에서 유리한 것으로 볼 수 있다.

3.3 수질비율에 의한 수처리 조합공정의 선정

한 가지 종류의 수원을 사용하는 수처리 공정의 경우 최적 공정을 선택하는 것에 대해서는 많은 연구가 진행된 바 있다. 그러나 본 연구와 같이 다중수원을 적용하는 경우 공정의 선택을 위한 방법론은 아직까지 많은 연구가 진행되지 못하였다. 또한 처리수를 다양한 용도로 사용하는 경우에는 용도별로 최적의 공정이 달라질 수 있는데 이에 대한 평가방법에 대해서도 체계적인 방법이 도출되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 이러한 최적 공정 선택의 한 가지 기준으로서 최종처리수의 수질과 처리목표와의 비율을 이용하는 방법을 적용하였다. 이 방법은 다양한 수원의 물을 혼합하여 유입수로 사용하고, 이를 처리하여 여러 가지 목적으로 적용하는 경우에 적용할 수 있는 방법으로, 여러 시나리오에 대하여 수질기준을 맞출 수 있는 공정을 선별해낼 수 있다. 이를 위하여 다중수원의 물을 처리하였을 때의 최종수질은 개별 수원의 물을 처리한 경우의 최종수질의 선형적인 합과 같다는 가정을 적용하였다. 즉, 다음과 같은 관계식을 적용하였다.

$$c_{final,i} = \sum_j q_j c_{final,i,j} \quad (1)$$

여기서 $c_{final,i}$ 는 i 성분에 대한 최종처리수의 수질이며, $c_{final,i,j}$ 는 j 라는 수원에 대하여 수처리 조합공정이 적용되었을 때 i 성분에 대한 최종처리수의 수질이다. 또한 q_j 는 전체 유입수 j 라는 수원의 물이 차지하는 비율이다. 본 관계식은 근사식이며, 수처리 공정의 특징에 따라 맞지 않는 경우가 발생할 수 있다. 그러나 수처리 공정 의사결정의 기준으로서는 적용이 가능할 것으로 판단되어 본 연구에서는 이 방법을 적용하였다.

Fig. 6은 이러한 방법을 적용하여 여러 가지 수처리 조합공정을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 여기서는 빗물과 지하수, 하천수와 하수처리수가 각각 1:1:1로 혼합된 경우에 대하여 식 (1)로 최종처리수의 수질을

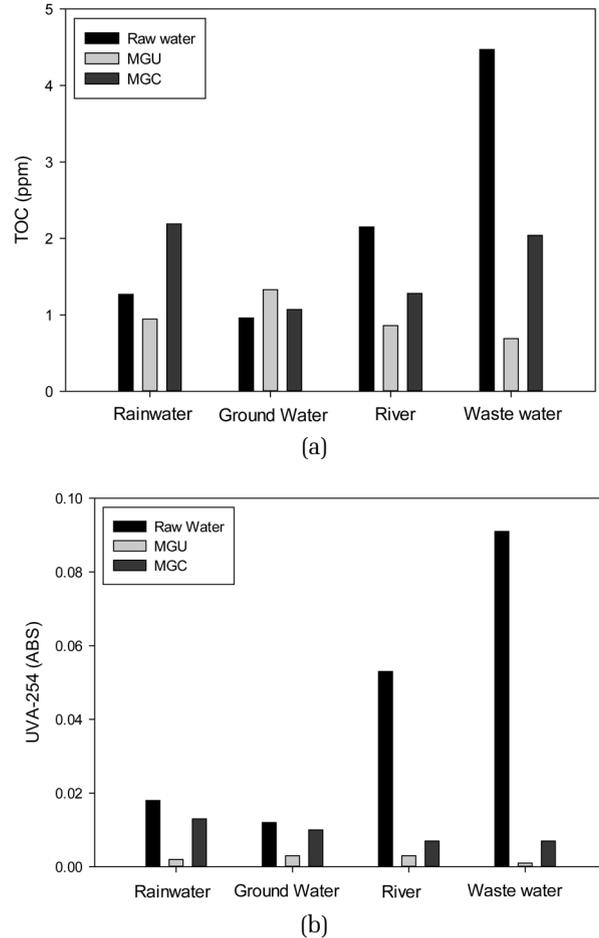
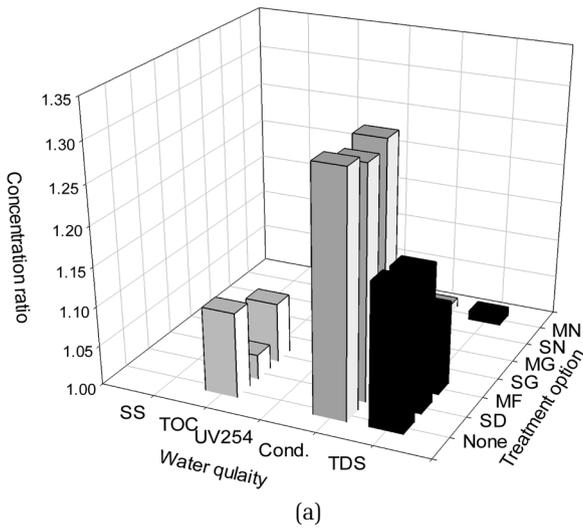
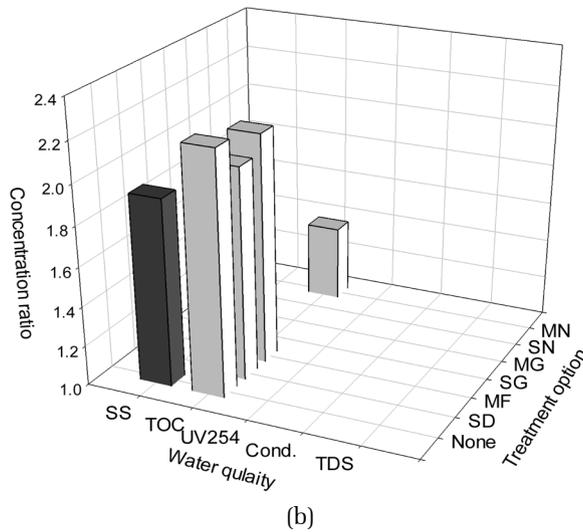


Fig. 6. Effect of UV treatment and chlorination on TOC and UV254 absorbance.

계산한 값을 나타낸 것이다. 그래프의 Y축은 최종처리수의 수질과 목표수질의 비율이다. Fig. 6(a)는 1번째 목표수질로서 TDS < 300 mg/L; conductivity < 250 μ S/cm; UV254 < 0.2; TOC < 2000 μ g/cm; SS < 5 mg/L을 적용한 결과이며, Fig. 6(b)는 2번째 목표수질로서 target water quality: TDS < 1,000 mg/L; conductivity < 800 μ S/cm; UV254 < 0.05; TOC < 1000 μ g/cm; SS < 1 mg/L을 적용한 결과이다. 이 때, 목표수질을 선정한 이유는 AWWA의 Standart Method(AWWA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition) 및 대한민국 중수도수질기준(중수도의 용도별 수질기준(제8조제2항 관련))을 목표로 선정한 결과이다. 위 2개의 도표 중, 전자는 처리수가 비교적 낮은 이온농도를 요구하는 경우이며, 후자는 낮은 유기물 농도와 입자농도를 요구하는 경우를 가정하였다. 동일한 다중수원을 동일한 수처리 조합공정으로



(a)



(b)

Fig. 7. Selection of the optimum water treatment systems based on the concentration ratio of treated water quality to target water quality. Feed water: rainwater : groundwater : river water : wastewater = 1:1:1:1 (a) target water quality: TDS < 300 mg/L; conductivity < 250 μ S/cm; UV254 < 0.2; TOC < 2000 μ g/cm; SS < 5 mg/L (b) target water quality: TDS < 300 mg/L; conductivity < 250 μ S/cm; UV254 < 0.2; TOC < 2000 μ g/cm; SS < 5 mg/L

처리하는 경우에도 최종목표수질이 달라짐에 따라서 선택할 수 있는 공정이 달라지는 것을 알 수 있다. 즉, Fig. 6(a)의 경우에는 TDS와 전기전도도가 목표수질을 초과함에 따라 무처리 (None)나 모래여과, MF 단독처리 등이 적용될 수 없는 것을 알 수 있으며, [Fig. 6(b)]의 경우에는 유기물과 SS에 의하여 처리공정이 결정되는 것을 알 수 있다.

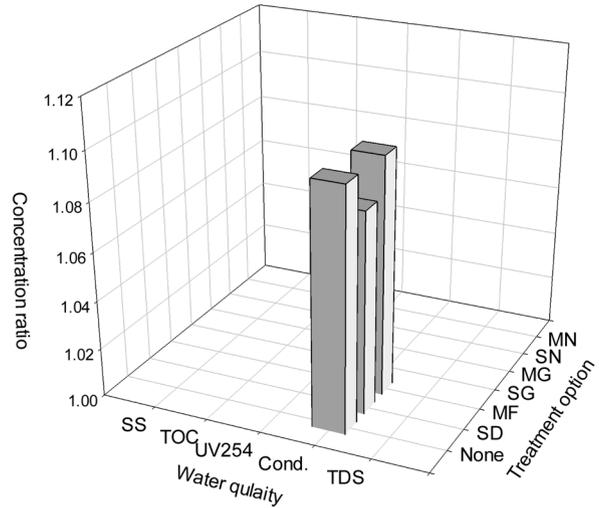


Fig. 8. Selection of the optimum water treatment systems based on the concentration ratio of treated water quality to target water quality. Feed water: rainwater : groundwater : river water : wastewater = 4:3:2:1 (a) target water quality: TDS < 300 mg/L; conductivity < 250 μ S/cm; UV254 < 0.2; TOC < 2000 μ g/cm; SS < 5 mg/L

Fig. 7은 다른 조합의 다중수원에 대하여 같은 목표수질이 적용되었을 때의 결과를 나타내고 있다. 여기서는 빗물과 지하수, 하천수와 하수처리수가 각각 4:3:2:1로 혼합된 경우에 대하여 최종처리수의 수질을 계산한 후 최종처리수의 수질과 목표수질의 비율을 계산하였다. 최종목표수질은 Fig. 6a와 같이 TDS < 300 mg/L; conductivity < 250 μ S/cm; UV254 < 0.2; TOC < 2000 μ g/cm; SS < 5 mg/L 가 적용되었다. 두 그래프를 비교하여 보면 다중수원의 구성에 따라서도 수처리 조합공정의 선택기준이 달라질 수 있다는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안된 방법을 적용하면 다중수원과 다양한 목표수질에 대한 수처리 공정선택이 가능할 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 빗물, 지하수, 하천수, 하수 재이용수 등의 다중수원 연속활용을 위한 수처리 조합 시스템의 의사결정 방법에 대하여 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 각 수원별 처리결과 수처리 공정에 따라 서로 다른 특징이 나타났다. 오염물의 농도가 낮은 빗물의

경우 모든 경우 양호한 수질을 보였고, 이보다 오염도가 높은 지하수의 경우 유기물 제거에는 활성탄 처리가 포함된 공정 (SG와 MG), 이온 제거에는 NF가 포함된 공정 (SN과 MN)이 유리한 것으로 나타났다.

2) 하천수는 입자성 물질의 농도가 높고, 하수처리수는 유기물 농도가 상대적으로 높았으므로, 하천수 처리에는 막여과가 포함된 공정 (MF, MG, MN)이 효과적인 것으로 나타났으며, 하수처리수 처리에는 활성탄 처리나 NF가 포함된 공정이 효과적인 것으로 나타났다. 한편, 모래여과 처리(SD)와 모래여과-활성탄 처리(SG)는 상대적으로 입자성 물질 처리효율이 높지 않은 것으로 나타났다.

3) 모래여과-활성탄 처리(SG) 후 염소소독이나 UV 처리 등의 후처리를 적용한 경우, 미생물에 의한 수질 오염은 효율적으로 제어할 수 있었다. 그러나 염소소독을 적용한 경우에는 최종처리수 내의 유기물 농도가 상승하는 경향이 나타났으므로 소독제의 잔류성을 필요로 하지 않는 경우에는 UV처리가 유리한 것으로 보인다.

4) 다중수원을 여러 가지 목적으로 처리하는 경우에 대하여 적용할 수 있는 의사결정 기준을 제시하였으며, 이를 적용해본 결과 동일한 수처리 조합공정이라도 수원의 구성과 최종처리수 목적에 따라 다른 의사결정 결과가 나올 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 방법은 향후 공정선택과 최적화에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

5) 본 연구에서는 식(1)과 같은 선형적인 식을 이용하여 최종수질을 예측하였다. 하지만, 실제로 다양한 수원의 유입수가 혼합되는 경우에는 선형적으로 최종수질이 결정되지 않는 것으로 확인된다. 이는 다른 인자 및 상수값들을 생략한 가운데, 간단하게 도출된 식(1)을 적용함에 따라 상이한 결과가 도출된 것으로 판단되어진다. 따라서 향후 연구에는 이러한 공정별 비선형적인 관계를 고려한 식이 제안될 수 있도록, 최적화 된 식 공정이 도출되어야 하며 이 식을 통해 최적 공정의 의사결정을 하는 것이 보다 바람직할 것으로 생각된다.

사 사

This research was supported by a grant (12-TI-C01) from Advanced Water Management Research Program funded

by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association(AWWA), and Water Environment Federation (WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition. American Public Health Association, Washington, D.C.

Assayed, A., Z. Hatokay, R. Al-Zoubi, S. Azzam, M. Qbailat, A. Al-Ullyan, M. a. A. Saleem, S. Bushnaq and R. Maroni (2013). On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. *Resources, Conservation and Recycling* 73(0), 72-77.

Battilani, A., M. Steiner, M. Andersen, S. N. Back, J. Lorenzen, A. Schweitzer, A. Dalsgaard, A. Forslund, S. Gola, W. Klopman, F. Plauborg and M. N. Andersen (2010). Decentralised water and wastewater treatment technologies to produce functional water for irrigation. *Agricultural Water Management* 98(3), 385-402.

Chung, G., K. Lansey, P. Blowers, P. Brooks, W. Ela, S. Stewart and P. Wilson (2008). A general water supply planning model: Evaluation of decentralized treatment. *Environmental Modelling & Software* 23(7), 893-905.

Helmreich, B. and H. Horn (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination* 248(1-3), 118-124.

Hocaoglu, S. M., E. Atasoy, A. Baban and D. Orhon (2013). Modeling biodegradation characteristics of grey water in membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science* 429(0), 139-146.

Li, F., K. Wichmann and R. Otterpohl (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment* 407(11), 3439-3449.

Li, Z., F. Boyle and A. Reynolds (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination* 260(1-3), 1-8.

Luo, W., C. Yang, H. He, G. Zeng, S. Yan and Y. Cheng (2014). Novel two-stage vertical flow biofilter system for efficient treatment of decentralized domestic wastewater. *Ecological Engineering* 64(0), 415-423.

Marlow, D. R., M. Moglia, S. Cook and D. J. Beale (2013). Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. *Water Research* 47(20), 7150-7161.



- Ministry of Environment in Korea (2007). The guidebook for reusing waste water. Ministry of Environment in Korea, environmental management corporation in Korea. 49p
- Peter-Varbanets, M., C. Zurbrugg, C. Swartz and W. Pronk (2009). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research* 43(2), 245-265.
- Peter-Varbanets, M., W. Gujer and W. Pronk (2012). Intermittent operation of ultra-low pressure ultrafiltration for decentralized drinking water treatment. *Water Research* 46(10), 3272-3282.
- Santasmassas, C., M. Rovira, F. Clarens and C. Valderrama (2013). Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. *Resources, Conservation and Recycling* 72(0), 102-107.
- Silva Vieira, A., M. Weeber and E. Ghisi (2013). Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling* 78(0), 67-73.

pp. 1-9

pp. 11-21

pp. 23-31

pp. 33-38

pp. 39-46

pp. 47-55

pp. 57-63

pp. 65-75

pp. 77-88

pp. 89-96

pp. 97-106

pp. 107-122

pp. 123-131

pp. 133-138