



정수기 공급수인 수돗물과 정수기 통과수의 수질차이 분석

Water quality analyses between tap water and treated water by point-of-use water dispenser systems

박근영¹·박지원²·김재혁¹·나영³·맹승규²·김성표³·권지향^{1*}

Keun-Young Park¹·Ji-Won Park²·Jae-Hyeok Kim¹·Yeong Na³·Sung-Kyu Maeng²·Sung-Pyo Kim³·Ji-Hyang Kweon^{1*}

¹건국대학교 환경공학과, 서울시 광진구 능동로 120, 05029

²세종대학교 토목환경공학과, 서울시 광진구 능동로 209, 05006

³고려대학교 환경시스템공학과, 세종특별자치시 세종로 2511, 30019

¹Department of Environmental Engineering, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Republic of Korea

²Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, Republic of Korea

³Department of Environmental System Engineering, Korea University, 2511 Sejong-ro, Sejong City 30019, Republic of Korea

pp. 329-339

pp. 341-351

pp. 353-366

pp. 367-377

pp. 379-388

pp. 389-394

pp. 395-404

ABSTRACT

The point-of-use water dispenser systems are widely used because of convenience in handling and demand for high-quality drinking water. The application has been increased recently in the public places such as department stores, universities and the rest areas in express ways. Improvement of water qualities by the dispenser systems was compared with tap water in this study. The tap water is supplied to the dispenser as the influent of the dispenser system. The twelve dispensers in the public places were used. The five dispensers used reverse osmosis as the main filter and other dispensers used various filters such as ultrafiltration, nanofiltration, and alumina filter. The water quality indicators for sanitation safety, i.e., turbidity and total coliforms, were evaluated. Other water qualities such as pH, residual chlorine, heterotrophic plate count (HPC), and total cell counts were also analyzed. By the point-of-use water dispenser, the turbidity, residual chlorine and pH were decreased and the HPC and total cell counts were increased. The t-test results revealed that the HPC of the tap waters were not significantly different from the treated waters but the total cell counts of the two groups were significantly different. The low pH of the RO filter treatment was also significantly different from the tap waters. This study will contribute to understand the role of the point-of-use water dispenser in improving water quality and to identify key water quality for the proper maintenance of the dispenser systems.

Key words: Point-of-use water dispenser system, Tap water, Reverse osmosis, Dispenser system, Water quality

주제어: 정수기 통과수, 수돗물, 역삼투막, 정수기, 수질

Received 2 September 2019, revised 22 October 2019, accepted 23 October 2019.

*Corresponding author: Ji-Hyang Kweon (E-mail: jhkweon@konkuk.ac.kr)

1. 서 론

정수기 사용량은 지속적으로 증가하고 있으며 2009년 기준 정수기 판매 대수는 146만8천대였고 2015년 기준 200만6천대로 6년 사이에 약 37% 증가하였다. 정수기 시장 규모 또한 2009년 기준 1조4400억원에서 2015년 기준 2조141억원으로 6년 사이에 약 40% 증가하였다 (Ministry of Environment, 2016). 음용시의 간편성과 고품질의 먹는물에 대한 요구, 수돗물 맛·냄새에 대한 불편함 등이 정수기를 선호하는 요소로 작용하고 있다. 특히 우리나라는 수돗물의 직접 음용률은 5% 남짓하며 다른 국가에 비하여 상대적으로 낮으며, 대신 정수기 및 생수 이용이 높은 편이다.

정수기는 일반적으로 침전필터, 2종의 활성탄 필터, 멤브레인 필터를 장착하여 총 4개의 필터를 이용한다. 일명 세디먼트 필터라고 불리는 침전필터는 비교적 큰 크기의 입자를 거르고, 또한 미세한 입자를 여과하여 후단 필터로 유입되는 오염물의 부하를 저감시켜 후단 필터의 수명이 단축되는 것을 막는 역할을 한다. 주로 직경이 수 mm~10 mm 정도의 섬유들로 구성되어 있다 (Cho et al., 2013). 블록활성탄 필터 혹은 네오센스 필터라는 명칭으로 판매되고 있는 프리카본필터는 수돗물 중 모래, 녹과 같은 입자상 물질제거하고, 후단의 역삼투압필터 보호 목적으로 잔류염소를 제거하는데 사용된다. 한외여과(ultrafiltration, UF)막필터는 증공사막 형태로 보통 0.01~0.1 mm 공극을 가지며, 박테리아나 바이러스 등을 제거할 수 있다. 역삼투압(reverse osmosis, RO)필터는 박테리아, 바이러스와 같은 미생물을 제거하고 수은이나 납과 같은 중금속 포함하여 각종 이온들까지도 제거할 수 있다. 나노여과(nanofiltration, NF)막필터는 UF와 RO막의 중간정도 되는 공극과 분획분자량을 가지고, Na 등의 이온물질 제거는 한정적이거나 2가 이온물질들과 용존 유기물 등을 제거할 수 있다. 포스트카본필터는 활성탄과 부직포가 들어있는 형태이며 냄새유발물질, 용해성 오염물질, 휘발성 유기화합물 등을 제거하여 물 맛이 향상되도록 한다. 일부 업체의 정수기는 나노 알루미늄 파이버(Nano alumina fiber)를 장착하기도 하는데 나노 알루미늄 파이버는 미생물, 중금속, 슈퍼박테리아, 노로바이러스 등을 제거할 수 있다고 홍보되고 있다. Frenando et al. (2002)은 알루미늄파이버의 공극 크기가 $2.6 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 이라고 보고하였다. 다중이용시설에 설

치된 정수기의 경우, 정수기의 한정된 처리용량으로 순간 물사용량 변동에 대응하기 어렵기 때문에 처리된 물을 저수조에 저장하는 저수조형이 주로 사용된다. 다만, 잔류염소가 제거된 상태에서 저수조에 오랫동안 저류되는 경우, 미생물이 성장할 수 있는 가능성이 크다. 저수조내 장기 저류로 인한 2차오염을 방지하고자 저수조 내에 항균필터를 탑재하기도 한다.

그러나 정수기에 3~4개의 필터가 부착됨에도 불구하고 정수기 수질 오염사고는 꾸준히 발생하고 있는데 주로 정수기 내 니켈과 같은 이물질이 발견되거나 생물막이 형성되거나 세균 기준 초과 등에 의한 오염 사례가 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 정수기에 염소를 제거하는 공정이 존재하므로, 미생물학적 관점에서는 정수기가 오히려 생물막 형성과 같이 미생물의 온상이 될 염려가 늘 상존해 있다 (Kim et al., 1999). 미생물은 용해되어 있는 화학물질과는 달리 불연속적으로 존재하며, 서로 뭉쳐져 있거나 부유물질에 부착되어 있어서 물 속의 평균농도를 가지고 실제 감염농도를 예측하기가 곤란하다.

음용수의 세균학적 수질과 관련한 대표적인 검사항목으로는 일반세균, 총대장균군 등이 있다. 일반세균으로 측정되는 세균의 일부는 기회성 병원체일 가능성이 있으며, 높은 밀도의 일반세균은 대장균군의 검출을 교란하기도 한다. 일반세균은 병원균과 직접적으로 관련은 없지만 일반세균이 다수 검출된 물은 병원균에 오염되어 있다는 것을 의미한다 (Seo et al., 2009). 총대장균군은 수인성 질병의 주요 원인이 되는 분변성 오염을 진단하는 대표적인 지표 미생물이다. 수돗물 대비 정수기 처리수에서 일반세균이 많이 검출되는 이유는 정수기 내 필터에서 잔류염소의 제거로 인한 소독능이 상실되면서 일반세균이 더 증식하기 때문이다 (Son et al., 2010). 먹는물에서 일반세균은 무해하나 고농도 검출시 병원균의 존재 가능성이 있다. 정수기내에서 세균의 증식가능성이 높고, 이에 따라 다양한 기회감염성 세균이 함께 증식할 가능성도 배제할 수 없다 (Jeong, 2015). 일반세균은 배양이 가능한 세균을 측정하는 것으로, 배양불가한 미생물을 모두 측정할 수 없는 단점이 있다. 최근에는 시료 내 세균을 염색하여 세포수를 정량하는 총세균수 측정법 등을 이용하여 비배양성 세균까지 모두 측정하는 방법이 개발되고 있다.

현재 정수기를 관리하기 위해서는 사용되는 위생관



리지표는 탁도와 총대장균군 두 가지로서 먹는물 수질기준을 넘지 않아야 한다. 따라서 탁도는 0.5 NTU 이하, 총대장균군은 검출되지 않아야 한다. 하지만, 정수기의 원수가 수도물로서 이미 먹는 물 수질기준을 만족한 상황이기 때문에 정수기의 위생관리지표로의 효용성에 대한 문제제기가 있어왔다. 본 연구에서는 이미 사용중인 정수기의 통과수와 수도물과의 수질을 분석하여, 정수기가 먹는물 수질에 어떤 변화를 일으키는 지 분석하고, 향후 위생관리 지표로 사용가능한 인자가 무엇인지 고려해 보고자 한다. 또한 역삼투압 정수기(RO정수기)와 그 외 NF, UF 혹은 알루미늄 필터 정수기를 비RO정수기로 구분하여 정수기간의 수질 차이를 확인하여, 정수기 공정의 차이가 수질에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. T- 검정의 유의성을 확보하기 위해 12개 정수기를 선정하여 시료를 한 달에 한 번씩 네 달간 채취하여 수질 분석을 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 정수기 사양 및 시료 채수

신규 정수기보다 어느 정도 사용된 정수기로 실험을 진행하기 위해 대형마트나 휴게소 등에 설치된 정수기를 선택하였다. 총 12개 정수기의 대략적인 사양은 다음 Table 1과 같다. 주필터로 RO, NF와 나노알루미늄필터를 이용하는 정수기가 고루 존재하였고, 저수조 용량은 5.4~3600 L로 편차가 상당하였다. 특히 다중이용시설에 설치된 정수기 중 순간이용량이 집중되는 경우에 30 L이상의 저류조를 설치하는 것으로 나타났다. 시료 채수는 8월, 9월, 10월, 11월 총 4차례 진행하였다. 장기간 미사용에 의한 영향을 배제하기 위해 오전 10시부터 오후 5시 사이에 진행하였다. 정수기 통과수를 채수할 때, 정수기 근처의 수도에서 수도물을 함께 채수하였다.

Table 1. Specification of point-of-use water (POU) dispenser treatment systems

POU dispenser	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12
Sediment filter	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○
Pre-carbon filter	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○
Membrane/alumina filter	NF	RO	RO	Nano Alumina Fiber	RO	RO	RO	RO	비RO	UF	UF	
Post-carbon filter	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	○	○
Reservoir volume (L)	21.1	3600	1800	13			21.1		-	17.5	5.4	

*#10 dispenser treatment system was not checked the details information by the built-in water dispenser.

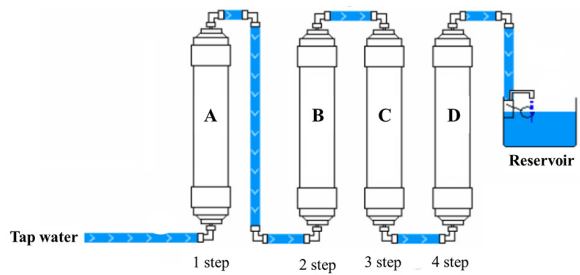


Fig. 1. Schematic diagram of the typical point-of-use water dispenser treatment system.

정수기 통과수와 수도물은 20~30분 간격으로 3번 채수하여 한 샘플로 하였다. 시료 개수는 수도물 4군데와 4군데 장소에 존재하는 각 3개의 정수기 통과수를 4차례 진행하여 모두 64개이었다. 정수기통과수 시료번호는 순차적으로 붙여져서, 수도물 #1을 원수로 한 정수기 통과수는 #1, #2, #3이고, 수도물 #2를 원수로 한 정수기 통과수는 #4, #5, #6과 같은 식이었다. 본 연구에서 채수한 정수기의 대략적인 계통도는 Fig. 1과 같다.

2.2 수질분석

시료는 사용중인 정수기 통과수와 정수기 원수인 수도물을 분석하였다. 수질분석은 정수기 위생관리지표로 활용되고 있는 탁도와 총대장균군을 분석하였다. 또한, 향후 위생관리 지표로 사용 가능한 인자를 파악하기 위하여 pH, 잔류염소, 일반세균, 총세균수를 측정하였다.

2.2.1 탁도와 총대장균군

탁도 측정기법은 90°C 산란광 방식을 적용하였으며 Hach사의 2100N (Hach, Loveland, USA) 제품을 이용하였으며, 측정 전 calibration set (Hach, Loveland, USA)로 보정 후에 사용하였다. 사용된 측정기기의 검출한계는 0~1000 NTU이다.

pp. 329-339

pp. 341-351

pp. 353-366

pp. 367-377

pp. 379-388

pp. 389-394

pp. 395-404

총대장균군은 효소기질이용법을 적용하여 측정하였다. 효소기질이용 시약은 총대장균군이 분비하는 갈락토스 분해효소(β -galactosidase)에 의해 발색을 나타내는 기질을 포함한 ReadyCult Coliforms 100 (Merck, Germany)을 사용하였다. 시료 100 mL를 멸균된 투명한 용기에 넣고 상온화된 시약을 넣어 완전히 용해되도록 섞은 다음 제품 사용설명서에 따라 $35\pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 배양 후 결과를 판정한다. 모든 시험은 음성대조군 시험을 동시에 실시하였고 음성대조군 시험결과는 음성으로 나왔을 경우에만 유효한 결과값으로 판정하였다. 양성으로 추정되는 시료는 총대장균군 시험관법 또는 막여과법으로 확인할 수 있으나 본 연구에서는 모든 시료에서 음성으로 나왔기에 시험관법 및 막여과법은 수행하지 않았다.

2.2.2 기본 수질 지표

pH는 S210 (Mettler Toledo, Ohio, USA)을 이용하여 측정하였고, 측정 전 pH4, pH7, pH10에 해당하는 완충용액(Orion 910104, Thermo, USA)으로 보정 후에 사용하였다.

잔류염소는 채수 즉시 DPD free chlorine reagent (Hach, Loveland, USA) 필을 주입하여 발색시키고 pocket colorimeter II를 이용하여 측정하였다 (Hach, Loveland, USA). 사용된 측정기기는 검출한계가 0.02 mg/L이다.

일반세균은 중온일반세균법과 저온일반세균법이 있으며 저온일반세균은 $21\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 72 \pm 3시간 배양했을 때 R2A 한천배지에 집락을 형성하는 세균을 말한다. 본 실험은 정수기 기기 내부 온도, 정수기 유출수의 수온 등을 고려하여 저온일반세균 측정법으로 정수기 유출수의 수질을 조사하였다. 다만 일반세균은 배양이 가능한 세균을 측정하는 것이므로 정수기 내에 배양불가 미생물을 모두 측정할 수 없는 점이 존재한다. 이에 총세균수도 같이 측정하였다.

총세균수는 유세포분석(flow cytometry)기법을 이용하여 시료내 모든 세균을 측정할 수 있다. 이는 비배양기법으로 세균을 염색하여 세포 수를 정량하는 기법이다. 총 세균수의 기본측정은 세포의 DNA를 염색한 후 에멀전 상태에서 감지 지점을 통과하는 세균수를 정량하는 것이다 (Park, 2016). 이 연구에서 Cube6 (Partec, Germany)은 여기레이저 488 nm를 갖춘 유세포 분석기를 사용했다. 세포염색은 Sybr Green I gel을 사용하여 수행되었고 암실에서 35°C 에서 10분 동안 염색하였다.

2.3 통계분석방법

수돗물과 정수기통과수의 수질 차이 분석을 위해 상대적으로 간단한 통계방법인 t-검정을 실시하였다. 각 자료간의 분산이 동일한 지에 대한 f-검정을 실시한 후, 등분산 혹은 이분산에 대해 분석을 수행하는 웰치 t-검정을 엑셀로 수행하였다.

3. 실험결과 및 토의

3.1 정수기 위생관리 지표 수질 비교

정수기 위생관리 지표로 사용되고 있는 탁도와 총대장균군에 대해 수돗물과 정수기통과수의 수질을 비교하였다. 총대장균군은 수돗물과 정수기통과수에서 모두 불검출되었고, 이는 수돗물과 정수기통과수를 포함한 총 64개 시료에서 수인성질병을 일으킬 수 있는 유해한 미생물이 존재하지 않음을 나타낸다. 4개월간 측정된 수돗물과 정수기 처리수의 탁도 값은 Table 2에 나타내었다. 또한, 정수기로 공급되는 수돗물과 정수기 통과수의 탁도 변화를 Fig. 2에 나타내었고 같은 자료를 상자수염그림으로 나타내어 Fig. 3에 제시하였다.

Table 2. Turbidity results of tap waters and the treated waters from point-of-use water dispensers

Location	August	September	October	November
Tap water (NTU)				
#1	0.19	0.19	0.20	0.20
#2	0.23	0.26	0.16	0.13
#3	0.41	0.40	0.39	0.28
#4	0.19	0.21	0.18	0.12
Point-of-use water dispenser (NTU)				
#1	0.18	0.19	0.16	0.20
#2	0.22	0.22	0.15	0.13
#3	0.19	0.19	0.18	0.12
#4	0.22	0.22	0.19	0.22
#5	0.24	0.21	0.16	0.13
#6	0.20	0.19	0.18	0.13
#7	0.32	0.17	0.16	0.12
#8	0.26	0.17	0.16	0.11
#9	0.16	0.24	0.14	0.12
#10	0.21	0.19	0.16	0.13
#11	0.20	0.21	0.15	0.13
#12	0.18	0.18	0.14	0.16

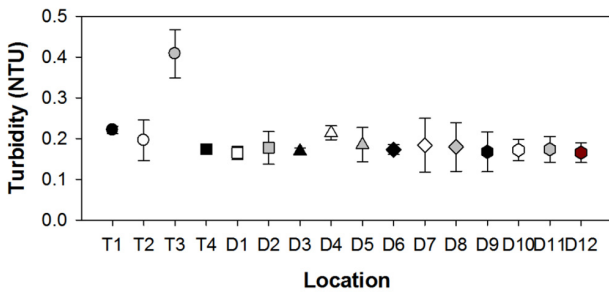


Fig. 2. Turbidity results of the tap waters and the treated waters from point-of-use water dispensers. (T: tap water, D: dispenser) (n=12). Error bars indicate standard deviations.

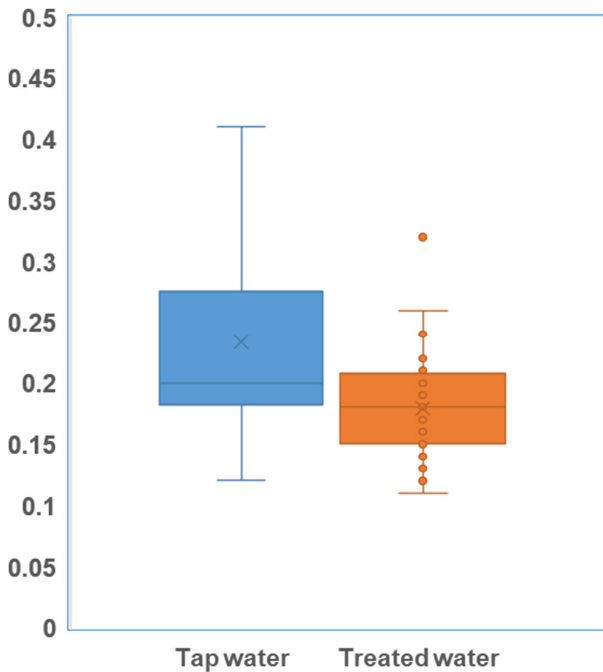


Fig. 3. Box and whisker plot for turbidity for tap water and treated water.

수돗물 탁도는 약 0.12~0.41 NTU, 정수기 통과수에서의 탁도는 약 0.12~0.32 NTU로 모두 먹는물 수질기준에 부합하였다. 수돗물 탁도는 평균 0.23 NTU, 표준편차 0.09 NTU를 보였다. 정수기 통과수는 평균이 0.18 NTU로 낮아졌고, 표준편차도 0.04 NTU로 수돗물 대비 탁도 변동폭이 줄어들었음을 나타내었다. 상자수염그림에서 보이듯이 중간값이 수돗물은 0.2 NTU이어서 평균값과 차이가 났으나, 정수기통과수는 0.18 NTU로 평균값과 소수점 둘째 자리만 다른 정도로 유사하여 정수기에 의한 수질변동폭이 줄어들었음을

나타내었다. 특히 한 지점의 수돗물은 탁도가 0.28~0.41 NTU를 나타내어 상대적으로 높은 값을 나타내었고, 이 값으로 인해 평균과 표준편차가 높아지게 되었다. 이 지점의 정수기 통과수는 0.11~0.32 NTU를 나타내어 22~64%의 제거율을 나타내었다. 수돗물 탁도가 0.18~0.21 NTU일 때는 정수기통과수의 탁도가 수돗물보다 높은 경우가 50%이었고, 나머지 50%의 경우에도 제거율은 9~22%로 낮은 편이었다. 수돗물의 원수가 0.2 NTU 이하로 유입될 때는 정수기에 의한 수질 개선 효과는 두드러지지 않았다.

3.2 수돗물과 정수기 통과수의 기본 수질 비교

정수기 통과로 인한 수질 변화를 확인하기 위해 기본 수질 인자로 pH, 잔류염소, 일반세균, 총세균수를 선정하여 분석을 수행하였다. 각 항목에 대한 먹는물 수질기준의 경우, pH는 5.8~8.5, 잔류염소는 유리잔류염소로 4.0 mg/L를 넘지 않아야 하고, 일반세균은 100 cfu/1 mL이내이어야 한다. 총세균수는 먹는물 수질기준 항목은 아니나, 정수기내 필터시스템이 잔류염소를 제거하기 때문에 세균 증가 가능성이 존재하기 때문에 비교를 위해 선정하였다. 수질분석 결과는 Fig. 4에 상자수염그림으로 나타내었다.

pH는 수돗물에서 중간값이 7.63으로 나타났고 pH 변동도 표준편차가 0.09로 안정적으로 나타났다. 정수기 처리수에서는 중간값이 7.50으로 낮아지고, 변동폭도 상대적으로 크게 나타났다. 3분위값보다 낮은 값이 많아서 상자 밖에 표시된 값들이 존재하였고 평균값은 7.31로 계산되었다. 일반적으로 역삼투막여과의 경우, 이온성 물질까지 모두 제거하게 되는 데, 미네랄이 제거된 물은 대기 중의 이산화탄소와 반응하여 pH가 낮아지게 된다 (Jeong et al., 2007). 따라서 정수기 통과수의 낮은 pH는 사용된 RO정수기의 영향으로 파악된다.

잔류염소는 수돗물에서 0.01~0.14 mg/L로 검출되었고 정수기 처리수는 N.D.~0.04 mg/L로 검출되었다. 먹는물 수질기준에는 4 mg/L이하로 규정되어 있으나, 서울시 등은 정수장 유출수를 0.3~0.6 mg/L로, 수용가에서는 0.1~0.3 mg/L정도를 유지하고 있다 (Arisu Quality Report, 2018). 서울시에서 잔류염소 농도를 엄밀하게 조정하는 이유는 2가지로 염소냄새 저감과 소독부산물 생성 최소화하기 위해서이다. 수돗물의 염소냄새는 시민들의 직접응용을 저해하는 원인으로 알려져

pp. 329-339

pp. 341-351

pp. 353-366

pp. 367-377

pp. 379-388

pp. 389-394

pp. 395-404

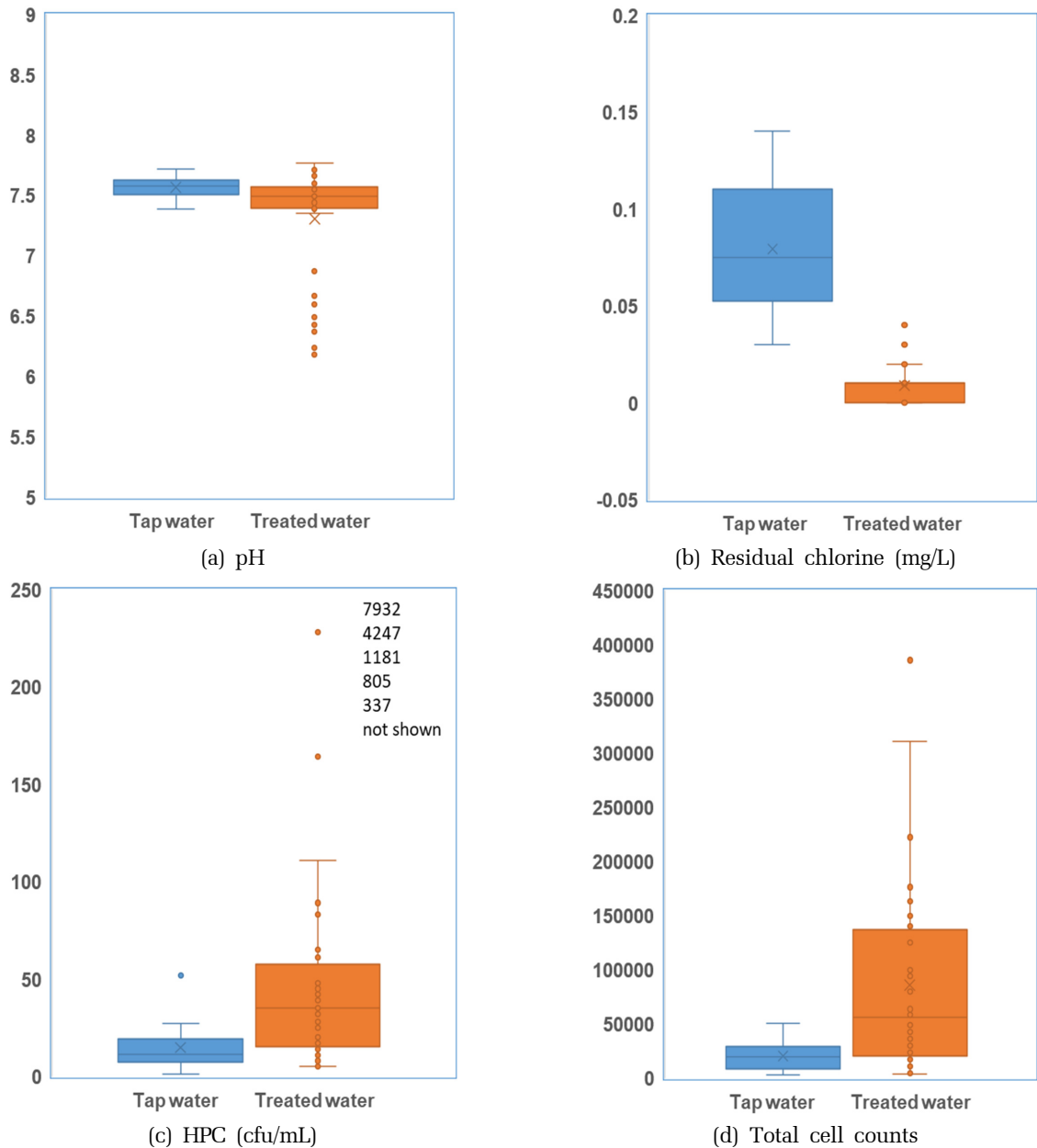


Fig. 4. Box and whisker plot for the water qualities: (a) pH, (b) residual chlorine, (c) HPC, and (d) total cell counts.

있다. 또한, 잔류염소는 배급수관망에서 자연유기물과 반응하여 소독부산물을 생성하므로 최대한 적은 농도로 유지하는 것이 적절하다 (Seo et al., 2017). 정수기 통과수에서의 잔류염소는 상당히 감소되어 측정 한계인 0.02 mg/L를 초과한 경우는 각각 0.03 mg/L와 0.04 mg/L로 총 2건 측정되었다. 정수기 통과수의 경우, 잔류염소 변동폭은 수돗물 대비 약 3배 정도 감소하였다.

일반 세균과 총세균수는 잔류염소와 반대되는 경향

을 보였다. 수돗물은 먹는물 수질기준 100 cfu/mL 이하로 모두 적합하였으나, 정수기 통과수는 먹는물 수질기준을 초과하는 경우가 7건 존재하였다. 초과 농도는 164, 228, 337, 805, 1181, 4247, 7932 cfu/mL로 먹는물 수질기준보다 1.6~79배 증가한 수치를 나타내었다. 또한 수돗물 대비 정수기통과수의 변동폭도 크게 증가하였다. 정수기 필터시스템이 잔류염소를 제거하도록 설계되어 있기 때문에 염소의 살균 능력이 사라진



조건에서 일반세균이 증가하게 되고, 저수조에서 일정시간 정체하게 되면 일반세균의 증식이 일어나는 것으로 판단된다 (Son et al., 2010). 일반세균의 수염상자그림은 Y축을 250 cfu/mL까지로 나타내고, 그 이상의 값, 예를 들면, 337 cfu/mL 등은 여백에 숫자로 적었다. 이는 거의 80배에 가까운 값을 같이 도표화했을 때, 중간값 등을 구별하기 어려웠기 때문이다.

총세균수는 살아있는 미생물과 죽어있는 미생물의 합으로 나타난다. 총세균수는 먹는물 수질기준 항목으로 규제되고 있지 않으나 살아있는 미생물과 죽어있는 미생물의 합을 구하는 것으로 세균에 의한 영향을 종합적으로 검토할 수 있는 인자이다. 일반세균이나 총대장균군 측정보다 장비가 간편하고 시간소요도 적게 들어 유용한 지표 중에 하나이다 (Park, 2016). 총세균수는 일반세균과 비슷한 경향을 보여, 수돗물에서는 $10^3 \sim 10^4$ 개를 나타내었고, 정수기 통과수에서는 $10^3 \sim 10^5$ 개가 검출되었다. 총세균수의 절대적인 숫자도 정수기를 통과하면서 증가하였고, 농도의 변동폭도 상당한 것으로 나타났다. 이러한 경향성은 일반세균과 매우 유사하며, 그 원인 또한 잔류염소의 감소와 정수기 사용 빈도에 따른 저수조에서의 정체에 따른

것으로 보여진다 (Kim et al., 1999; Lee, 2004; Seo et al., 2009).

3.3 지점별 수돗물과 정수기통과수간의 수질비교

채수한 4곳의 수돗물과 그 수돗물을 유입원수로 사용한 정수기통과수간의 수질변동을 분석하여 다음 Fig. 5에 제시하였다. 탁도의 경우, 지점#1의 수돗물 원수 탁도는 상대적으로 좋았으며, 수질변동폭도 작았다. 지점#1의 정수기 통과수는 수돗물 원수보다 평균은 낮아졌으나, 변동폭은 상대적으로 컸다. 지점#3의 수돗물 원수 탁도가 먹는물 수질 기준 이하이나 상대적으로 높은 값을 나타냈고, 정수기 통과시에 평균 0.2 NTU로 낮아졌음을 알 수 있다. pH의 경우, 수돗물 원수는 지점에 무관하게 안정적인 값을 나타내었으나, 정수기통과수의 경우는 지점#3과 지점#4에서 pH가 크게 낮아지면서 변동폭도 크게 나타났다. 잔류염소는 수돗물에서 높고, 정수기통과수에서 낮은 값을 보이는 패턴이 확실하게 드러났다. 특히 수돗물의 잔류염소값은 0.03~0.14 mg/L까지 지점별로 편차가 컸으며, 지점내에서의 4번 채수한 시료에서의 편차 역시

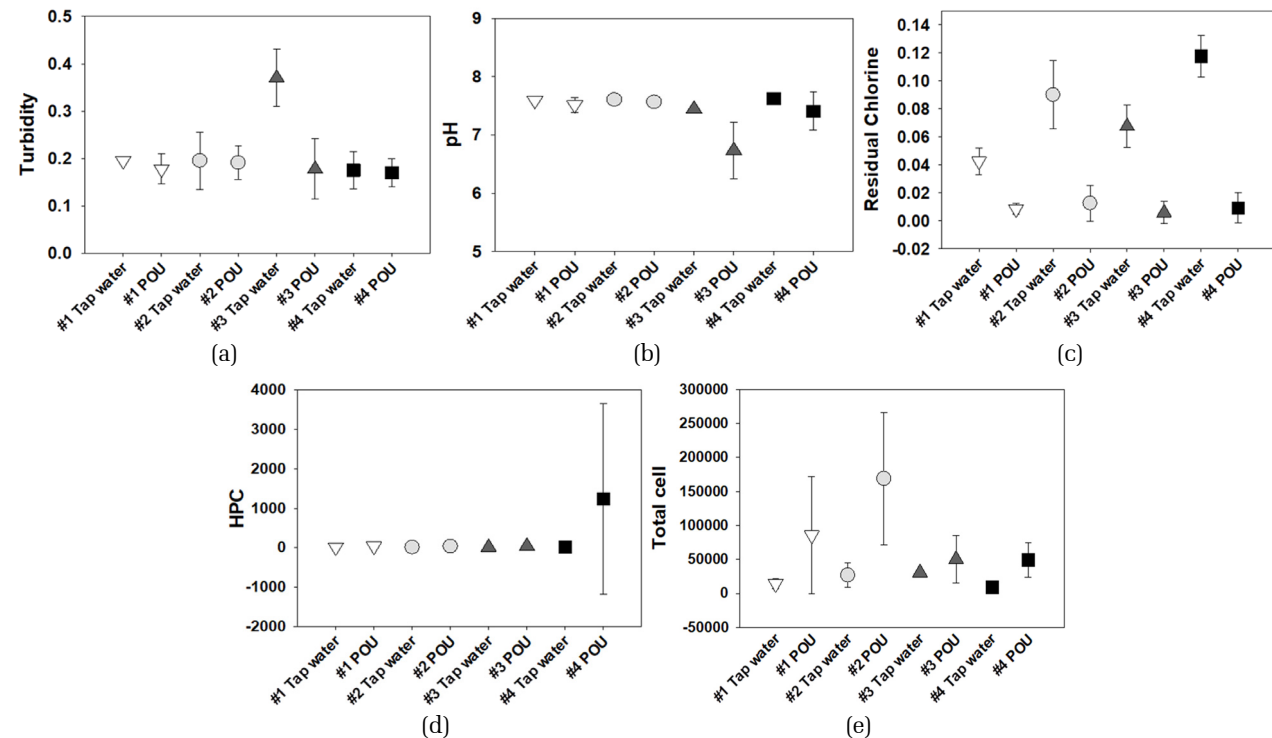


Fig. 5. Water quality of tap water and the point-of use dispenser in each sampling location (a) turbidity, (b) pH, (c) residual chlorine, (d) HPC, and (e) total cell counts.

상대적으로 크게 나타났다. 정수기통과수는 0 mg/L를 나타내는 경우가 종종 존재하고 편차가 커서 Fig. 5(c)의 y축은 음의 값을 포함하여 그렸다. 일반세균은 앞선 절에서도 설명했듯이, 수돗물 원수는 1~52 cfu/mL로 상대적으로 변동폭이 작았으나, 정수기 통과수는 5~7932 cfu/mL로 상당한 변동을 나타내었다. 특히 지점#4는 타 지점에 비해 일반세균 증가가 지대하였다. 예를 들어, 지점#1의 수돗물 일반세균은 4~16 cfu/mL로 평균 13.3 cfu/mL이었고, 정수기통과수는 5~228 cfu/mL로 평균 38.6cfu/mL이었는데, 지점#2, 지점#3에서도 유사한 경향을 보였다. 하지만, 지점#4는 수돗물이 9~52 cfu/mL인 반면, 정수기통과수는 17~7932 cfu/mL로 평균 1238 cfu/mL을 나타내었다. Fig. 5(d)에 나타난 바와 같이 다른 지점의 현황이 구분하기 어려울 만큼 지점#4의 편차는 상당하였다. 총세균은 잔류염소와는 반대로 수돗물에서는 낮고, 정수기통과수에서는 높아지는 패턴이 모든 시료에서 나타났고, 변동폭은 정수기통과수에서 크게 나타났다. 일반세균이나 총세균수는 인체에 유해한 미생물을 나타내는 지표는 아니다. 하지만, 정수기의 위생관리가 적절하지 못한 경우에는 일반세균이나 총세균수가 높게 나올 수 있음을 시사한다고 판단된다.

3.4 막여과 정수필터 방식 차이에 따른 수질 분석 결과

정수기에서 가장 핵심적인 필터는 역삼투막과 한외 혹은 나노여과막으로 표현되는 막여과필터이다. UF막여과필터는 0.01마이크로미터 크기의 입자를 제거할 수 있지만, 이온성 물질의 제거성능이 떨어진다. 역삼투막은 공극은 0.0001 μm정도로 바이러스는 물론 용

존유기물 제거가 확실하지만, 몸에 이로운 미네랄 성분까지 제거되는 문제점이 늘 지적되고 있다. 특히 역삼투막여과는 여과시 상당한 압력이 필요로 하며, 수도꼭지 수압을 이용하기 때문에 상당부분의 물이 여과되지 못하고 농축수로 흘러나오는 문제점이 있다 (Wang et al., 2010).

비RO(UF/NF/알루미나)막과 역삼투막 방식의 여과에 의한 수질 차이를 분석하기 위해 결과를 최소, 최대, 평균으로 구분하여 다음 Table 3에 정리하였다. 탁도의 경우, 평균적으로 수돗물은 0.23 NTU, 비RO여과수는 0.18 NTU, RO여과수는 0.17 NTU로 수돗물, 비RO정수기, RO정수기 순으로 낮아지는 것을 볼 수 있다. pH의 경우도 수돗물 7.57, 비RO여과수는 7.50, RO여과수는 7.03으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 반면, 잔류염소의 경우는 수돗물이 평균 0.08 mg/L를 보였으나, 비RO여과수나 RO여과수 모두 평균 0.01 mg/L로 차이가 없었다. 일반세균이라 일컫는 박테리아는 수돗물에 평균 15개/mL 검출되었으나, 비RO여과수는 평균 557개/mL 그리고 RO여과수는 평균 32개/mL로 검출되어 정수기 처리를 거치고 크게 증가한 것을 알 수 있다. 특히 비RO필터의 경우는 최고값이 7,932개/mL로 먹는물 수질기준의 79배가 넘는 값이 나타났으며, RO필터는 최고값이 164개/mL로 나타났다. 총세균수는 일반세균에 비해 48~2744배 많은 수가 검출되어 비배양성 세균이 상당히 많이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 수돗물의 경우 평균 20,272개/mL, 비RO여과수는 118,575개/mL이었고, RO여과수는 46,311개/mL이었다. 수돗물에 존재하는 총세균수보다 평균적으로 2배의 세균이 RO여과수에 존재하였고, 평균적으

Table 3. Comparison of two different membrane filter systems on water qualities

		Turbidity (NTU)	Total coliforms (#/100mL)	pH (-)	Residual chlorine (mg/L)	Heterotrophic plate counts (#/mL)	Total cell counts (#/mL)
Tap water	Minimum	0.12	N.D	7.39	0.03	1	2,744
	Maximum	0.41	N.D	7.72	0.14	52	50,713
	Average	0.23	N.D	7.57	0.08	15	20,272
Non-RO filter	Minimum	0.13	N.D	6.41	0.00	6	12,833
	Maximum	0.24	N.D	7.77	0.04	7,932	385,397
	Average	0.18	N.D	7.50	0.01	557	118,575
RO filter	Minimum	0.11	N.D	6.18	0.00	5	3,463
	Maximum	0.32	N.D	7.66	0.02	164	176,242
	Average	0.17	N.D	7.03	0.01	32	46,311



로 약 6배의 세균이 비RO여과수에 존재하였다.

3.5 수돗물과 정수기 통과수간의 차이 분석

수돗물과 각각 다른 종류의 필터를 사용하는 정수기 통과수들의 수질은 pH, 탁도, 잔류염소, 일반세균, 총세균수 농도가 다를 수 있었다. 하지만, 이 차이가 유의미한 지에 대한 평가는 많지 않았다. 본 연구에서는 두 개 그룹의 차이를 나타낼 때는 주로 사용되는 t-검정을 이용하여 수질차이를 비교 분석하였다. 3개 그룹 이상의 평균을 비교하는 데에는 주로 ANOVA(Analysis of Variance)가 사용되나, 2개 그룹의 경우는 t-검정과 ANOVA는 동일한 결과를 나타낸다. t-검정 수행전에 f-검정을 수행하여 등분산인지 혹은 이분산인지 확인한 후에 t-검정을 수행하였다. 검정은 세가지, 다시말해 수돗물과 정수기 통과수, 수돗물과 비RO여과수, 그리고 비RO여과수와 RO여과수로 세분하여 진행하였다. 세가지로 구분하여 f-검정을 수행한 결과 모두 $p < 0.05$ 로 나타나 이분산임을 보였다. 따라서 t-검정은 이분산을 가정한 두 집단에 적용하는 방법을 사용하였다. T-검정은 단측검정과 양측검정으로 구분되는 데, 차이가 존재하는 지에 대한 판단의 경우는 주로 양측검정을 이용하고, 어떤 그룹의 값이 다른 값 보다 크거나 작다와 같은 방향성이 있을 때는 단측검정을 이용한다. 검정결과에서 $p < 0.05$ 인 경우에는 유의미하게 차이가 있는 것으로 볼 수 있다. 수돗물과 정수기 통과수간의 수질을 비교한 결과를

보면, pH, 잔류염소, 총세균수는 유의미하게 차이가 있음을 알 수 있다 (Table 4). 다만, 일반세균의 경우는 t-단측 검정에서는 p가 0.05보다 작은 값을 보였으나, 양측검정에서는 p가 0.05보다 큰 값을 나타내었다. 또한 탁도의 경우에는 정수기 통과수나 수돗물에서 유의미한 차이가 없었다. 따라서 수돗물에 비해 정수기를 통과한 물은 pH, 잔류염소, 총세균수의 수질 변화는 상당한 편이나, 탁도와 일반세균은 수질변화는 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다.

수돗물과 비RO여과수를 비교한 결과, 확실한 차이를 보이는 것은 총세균수이었다. pH, 잔류염소, 탁도는 수돗물 수질과의 차이가 유의미하지 않아 비RO막여과 정수기의 효용성이 낮았다. 정수기를 사용할 때, 설치비 및 전기와 같은 유지관리비를 고려한다면, 정수기 통과수와 수돗물 간의 수질차이가 유의미하지 않은 점은 주의 깊게 볼 필요가 있다. 일반세균은 단측 검정에서만 p값이 0.05보다 작아 정수기 통과수에서 검출된 값이 수돗물에 비해 유의미하게 크다는 것을 보여준다. 다만 양측 검정 값으로 보아 수질 간의 차이가 크다고 보기는 어렵다고 판단된다. 비RO여과수와 RO여과수와의 차이를 확인한 결과, pH와 총세균수는 확실하게 차이를 나타내었다. pH와 총세균수의 경우는 RO여과수가 비RO여과수에 비해 확실히 낮은 값을 나타낸다는 것을 확인하였다. 잔류염소를 감소시키는 점에서는 막여과 공정은 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 비RO여과수의 경우, 콧물정수기로 불리우는 미생물막이 정수기에서 문제가 되었던

Table 4. The p values of t-test between two different samples

	models	tap water vs treated water	tap water vs treated water by non-RO filter	treated water by non-RO filter vs treated water by RO filter
pH	(t-test) one tail	< 0.05	0.098	< 0.05
	(t-test) two tails	< 0.05	0.196	< 0.05
Residual chlorine	(t-test) one tail	< 0.05	0.24	0.05
	(t-test) two tails	< 0.05	0.48	0.10
Heterotrophic plate counts	(t-test) one tail	< 0.05	< 0.05	0.053
	(t-test) two tails	0.088	0.095	0.106
Turbidity	(t-test) one tail	0.016	0.019	0.377
	(t-test) two tails	0.033	0.039	0.755
Total cell counts	(t-test) one tail	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	(t-test) two tails	< 0.05	< 0.05	< 0.05

* f-test는 모두 <0.05 이었음.

pp. 329-339

pp. 341-351

pp. 353-366

pp. 367-377

pp. 379-388

pp. 389-394

pp. 395-404

점을 고려했을 때, 총세균수를 저감할 수 있는 방안으로 유지관리가 이뤄져야 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

다중이용시설에 설치되어 있는 12개의 정수기와 정수기 공급수인 수돗물을 4개월에 한번씩 채수하여 탁도, 총대장균군, pH, 잔류염소, 일반세균, 총세균수를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

정수기 위생관리 지표인 총대장균군은 모든 시료에서 불검출되었고, 탁도는 수돗물과 정수기통과수 모두 먹는물 수질기준인 0.5 NTU를 넘지 않았다. 먹는물 수질기준 이내에서 수돗물의 탁도의 변동폭이 상대적으로 컸고, 정수기를 통과하면서 탁도가 낮아졌으나 공급수인 수돗물의 탁도가 0.2 NTU이하일 때에는 정수기에 의한 탁도 제거는 미미하였다.

다른 수질인자 중 pH와 잔류염소는 정수기를 통과하면서 낮아졌고, 일반세균과 총세균수는 상대적으로 크게 증가하였다. 정수기통과수에서의 낮은 잔류염소 농도에 의해 일반세균과 총세균이 급격하게 증가한 것으로 판단된다. 증가 폭이 일반세균은 최대 약 80배에 달했고, 총세균수는 약 20배에 달했다.

수돗물과 정수기통과수의 수질차이를 비교한 결과, pH, 잔류염소, 총세균수는 유의미하게 차이가 있었으나, 탁도와 일반세균의 차이는 유의미하지 않았다. 관리지표로서 탁도의 수질 인자를 고려할 필요가 있으며, 이 때 일반세균보다 총세균수가 더 적절할 것으로 판단된다.

수돗물과 비RO여과수는 총세균수외에는 유의미한 수질차이를 나타내지 않았다. 다중이용시설에 주로 이용되는 비RO정수기의 효용성을 검토해볼 필요가 있고, 미생물이 증식하지 않는 조건을 유지하는 청소 등이 적절하게 수행되고 있는 지에 대한 관리가 위생적으로 중요하다는 점을 알 수 있다.

사 사

이 논문은 2017학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었습니다. 또한, 국립환경과학원 연구비(NIER-2017-04-02-382) 지원에도 감사드립니다.

References

- Arisu Quality Report. (2018). <https://arisu.seoul.go.kr/c2/sub7.jsp>.
- Cho, J.I., Kim, G.T. and Ahn, Y.C. (2013). A study on characteristics of filters for domestic household water purifier, *J. Korean Soc. Mar. Eng.*, 37(5), 541-547.
- Fernando, K.A. and Chung, D.D.L. (2002). Pore structure and permeability of an alumina fiber filter membrane for hot gas filtration, *J. Porous Mater.*, 9, 211-219.
- Jeong, S.J. (2015). A study on the management of shipboard portable water, Master's Thesis, Korea Maritime and Ocean University.
- Jeong, Y.M., Jeong, S.H., Park, C.H., Lee, Y.H. and Lee, S.H. (2007). Effects of membrane surface characteristics and operational conditions on fouling of reverse osmosis membrane by metal coagulants, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 25-29.
- Kim, C.H., Cho, Y.U., Kim, H.C. and Lee, S.W. (1999). Microbiological water quality of tap and purified water, *J. Chinju Natl. Univ.*, 38, 207-214.
- Lee, T.G. (2004). The seasonal variation of water quality in the tap and the water purifier, *J. NERI*, 9, 133-137.
- MOE(Ministry of Environment). (2016). White paper of environment.
- Park, J.W. (2016). Evaluating organic matter characteristics and biological stability in a drinking water treatment plant, Master's Thesis, Sejong University.
- Seo, J.W., Kim, K.B. and Koo, J.Y. (2017). Development of a concentration prediction model for disinfection by-product according to introduce the advanced water treatment process in water supply network, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 31(5), 421-430.
- Seo, L.J., Park, S.H. and Lee, G.H. (2009). Microbiological water quality of water purifiers at elementary schools in Gunsan area, *Korean J. Microbiol.*, 45(1), 74-81.
- Son, S.W., Jang, W.W., Yun, S.W., O, T.K., Kim, Y.J. and Lim, Y.K. (2010). Evaluation of microbial safety issue of a water purifier for home-use, *Korean J. Vet. Public Health*, 34(4), 325-330.
- Wang, X., Wang, Y., Wang, J., Xu, S., Wang, Y. and Wang, S. (2010). Comparative study on stand-alone and parallel operating schemes of energy recovery device for SWRO system, *Desalination*, 254, 170-174.