

ORIGINAL ARTICLE

정수처리장 사여과지의 이단이중여과재 시스템으로의 개량

우달식 · 김준언¹⁾ · 황병기²⁾ · 채수권³⁾ · 조관형⁴⁾*

한국계면공학연구소, ¹⁾효성에바라엔지니어링, ²⁾상명대학교, ³⁾을지대학교, ⁴⁾청운대학교

Improvement of Rapid Sand Filtration to Two Stage Dual Media Filtration System in Water Treatment Plant

Dal-Sik Woo, Jooneon Kim¹⁾, Byung-Gi Hwang²⁾, Su-Kweon Chae³⁾, Kwanhyung Jo⁴⁾*

Korea Interfacial Science and Engineering Institute, Seoul 130-823, Korea

¹⁾*Hyosung Ebara Engineering Co., Seoul 121-720, Korea*

²⁾*Department of Civil Engineering, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea*

³⁾*Department of Environmental Health and Safety, Eulji University, Seongnam 461-713, Korea*

⁴⁾*Department of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon 402-803, Korea*

Abstract

This study aimed for evaluating the applicability of the two stage dual media filtration system in field water treatment plant. The field plant of two stage and dual media filtration system was operated for 2 months. Average iron concentrations of the settled water, existing filtered water and second stage filtered water was 0.041 mg/L, 0.007 mg/L and 0.005 mg/L, respectively. Removal efficiency of iron concentration in the second stage is appropriately 35% more than in existing filtered water. Also removal efficiency of residual chlorine in the dual media filtration system is relatively 42.3% more than in existing filtered water due to adsorption of activated carbon, but the removal of ammonia nitrogen by adsorption is insufficient. Average concentrations of THM and chloroform in the settled water are 0.033 mg/L, 0.026 mg/L, respectively and in existing filtered water are 0.023 mg/L and 0.023 mg/L. Average concentrations of THM and chloroform in the dual media filtration system are 0.008 mg/L and 0.013 mg/L. Therefore removal efficiency of THM concentration in second stage is more than 66.4% in existing filtrated water. Also removal efficiency of chloroform in the dual media filtration system is more than 50.0% in existing filtered water because of the adsorption of activated carbon. In this case backwashing period in dual stage system is 4~5 days, but in existing filtration system is 1~2 days.

Key words : Sand filtration, Two stage, Dual media, GAC, DBPs, Backwashing

1. 서론

인간의 무분별한 오염행위로 말미암아 상수원수의 수질은 기존의 일반 정수처리로는 먹는 물의 목표수질을 달성하기 어려워지고 있고, 또한 목표수질을 달

성하기 위하여 일반정수처리공정을 개선하지 않으면 시설 및 운전유지관리상의 비용과 어려움을 감수해야 할 고도정수처리공정의 추가도입은 불가피하다. 기존 정수처리시설을 고도정수처리공정에 뒤지지 않을 정도의 개선을 통하여 탁도 유발물질을 비롯한 맛과 냄새

Received 21 January, 2014; Revised 16 April, 2014;

Accepted 21 April, 2014

*Corresponding author : Kwanhyung Jo, Department of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon 402-803, Korea

Phone: +82-32-770-8193

E-mail: jokwan@chungwoon.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

새는 물론 미량의 유해 용존성 물질까지도 제거할 수 있는 기존 정수장의 성능개선 기술 즉, 주처리 공정인 여과지 성능 향상 기술에 초점을 맞춘 연구가 필요할 것으로 판단된다. 우리나라의 계절별 수질특성을 살펴보면, 봄과 가을에는 조류가 대량으로 발생하고, 여름에는 집중 강우로 인해 고탁수가 유입되며, 겨울에는 지리적 특성상 저수온으로 인한 응집효율 저하 등의 문제로 인해 기존 급속여과지에 큰 부하를 주게 되어 여과효율의 급격한 저하를 유발시킬 수 있다(Lee 등, 2001). 국내에서는 기존 정수처리방법으로는 제거가 곤란한 미량오염물질을 제어할 수 있는 고도정수처리공정으로서 대부분 모래여과를 거친 후 입상활성탄 공정 또는 오존+생물활성탄 여과공정을 채택하여 왔다. 국내 일부 정수장에서도 입상활성탄 공정 등을 적용하여 시행하고 있다(Kim과 Kim, 2003; Kim 등, 2005).

본 연구에서는 이전의 연구(Woo 등, 2011)에서 발표한 파일럿플랜트 실험 결과에 추가하여 실증플랜트 연구 결과를 제시하였는데, 파일럿플랜트와 마찬가지로 급속여과지를 상단과 하단으로 분리하여 상단에서는 전처리용의 조립모래층에서 입자성 탁질유발물질을 제거하고, 하단에서는 본 처리용의 활성탄층에서 미량의 유해유기물질 등을 제거하였으며, 활성탄층 하단의 마감처리용 세립모래층에서 미세 분말활성탄 및 병원성 미생물 등을 제거할 수 있는 소규모 이단여과 복합여과시스템 실증플랜트를 설치하여 적용성을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

파일럿플랜트 운영을 통하여 도출된 결과를 바탕으로 하여 정수장내에 5000 m³/day 규모의 이단여과 복합여과시스템 실증플랜트를 설치하였으며 각 층의 운전조건은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Operating parameters of the field plant

Parameters	Conditions
EBCT (Empty Bed Contact Time)	10 min
Filter bed area	30.38 m ²
1st stage sand depth (sand)	0.25 m
1st stage sand depth (Anthracite)	0.50 m
2nd stage GAC depth	1.20 m
2nd stage sand depth	0.1 m

파일럿플랜트 연구를 통하여 얻은 결과를 활용한 실증플랜트를 현장에 적용하고자 정수장내 4개의 여과지중 2개의 여과지를 개량하여 1개의 여과지에는 이단여과 복합시스템의 1단 여과지를 설치하고 나머지 1개의 여과지에 활성탄을 주입하여 2단여과지를 시공하였다. 본 실험에 사용된 실증 플랜트의 계통도를 Fig. 1에 나타내었다.

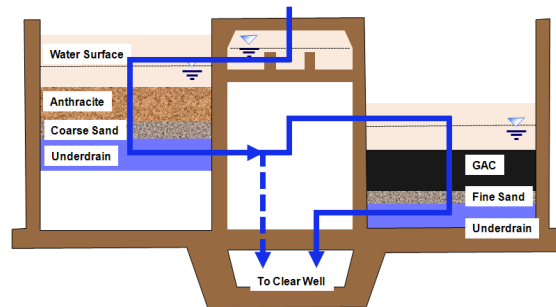


Fig. 1. Schematic diagram of two stage dual media filtration process.

실증플랜트의 성능 평가를 위해 NH₃-N, Fe, 잔류염소, THM(Trihalomethane), Chloroform(CHCl₃)의 제거효율을 지표로 하여 실험하였다. NH₃-N과 Fe 농도는 분광광도계(Hach 2100A, Colorado, USA)를 이용하여 분석하였고, 잔류염소 측정을 위한 염소표준용액은 12%의 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액을 초순수로 희석하여 5000 mg/L의 stock solution을 준비한 후 DPD 비색법(ASCE 등, 1998)을 이용하여 그 농도를 측정하였다. 고농도의 염소용액은 사용 직전에 농도를 측정하여 주입농도에 따라 분취하여 시료에 주입하였다. THM 분석은 US EPA 502.2 방법(US EPA, 1995a)에 의하여 실시하였고, Chloroform 분석은 US EPA 551.1 방법(US EPA, 1995b)에 의하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

소규모 파일럿플랜트 운전결과를 토대로 실제 정수장에 실증플랜트를 적용하여 파일럿플랜트와 같은 방식의 이단복합 여과시스템을 설치하고 운전하였다. 정수장내 4개의 여과지 중 2개의 여과지를 개량하여 각각의 여과지에 조립사와 안스라사이트를 주입하였고 나머지 1지에는 활성탄을 주입하여 연구하였다.

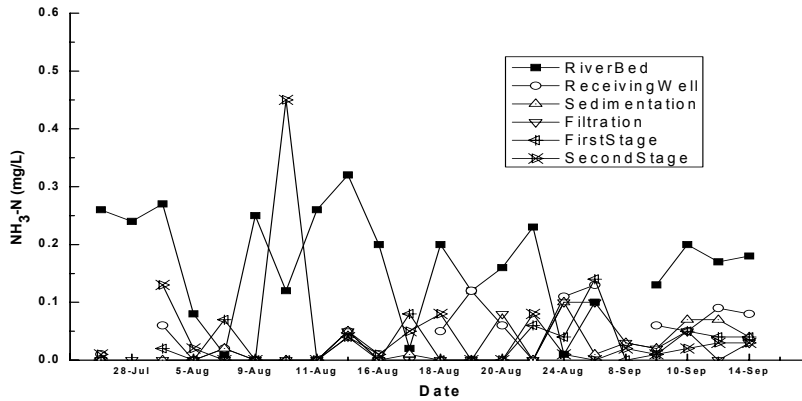


Fig. 2. Variations of NH₃-N concentration in the field plant.

Fig. 2에서 알 수 있듯이 7월 정수장의 복류수(최초 유입수) NH₃-N의 평균농도는 0.191 mg/L이며 정수장의 기존 급속모래여과지내 평균농도는 0.003 mg/L이다. 8, 9월 침전지 유출수의 NH₃-N의 평균농도는 0.040 mg/L이며 기존 급속모래여과지 0.025 mg/L (최대 0.08 mg/L, 최소 0 mg/L), 1단 여과지 0.032 mg/L (최대 0.14 mg/L, 최소 0 mg/L), 2단 여과지 0.021 mg/L (최대 0.08 mg/L, 최소 0 mg/L)으로 제거되었다. 기존여과지에 비해 1단 및 2단 여과지 공정을 거친 최종처리수의 NH₃-N 농도가 약 15.3% 높게 제거되었으며 이는 안스라사이트 및 활성탄에 의해 흡착 제거 기작이 NH₃-N에는 미흡하게 작용함을 의미한다.

수중의 Fe 농도는 연구기간 동안 저농도로 유지되었으며 Fig. 3과 같이 8, 9월경 침전지 유출수의 평균

농도는 0.041 mg/L (최대 0.16 mg/L, 최소 0 mg/L)이며 기존 급속모래여과지 0.007 mg/L (최대 0.03 mg/L, 최소 0 mg/L), 1단 여과지 0.010 mg/L (최대 0.05 mg/L, 최소 0 mg/L), 2단 여과지 0.005 mg/L (최대 0.02 mg/L, 최소 0 mg/L)으로 본 연구에서 개발된 이단복합여과 시스템의 기존급속여과지 Fe 제거효율이 약 35% 이상 더 높게 나타났다.

하절기 침전지 유출수의 잔류염소 평균농도는 Fig. 4와 같이 약 0.434 mg/L [최대 0.78 mg/L, 최소 0.05 mg/L]이며 기존 급속여과지에서 0.051 mg/L (최대 0.09 mg/L, 최소 0.01 mg/L), 1단 여과지 0.104 mg/L (최대 0.23 mg/L, 최소 0.01 mg/L), 2단 여과지 0.029 mg/L (최대 0.05 mg/L, 최소 0 mg/L)으로 검출되었다. 급속여과지에 비해 이단복합여과시스템에 의한 잔류

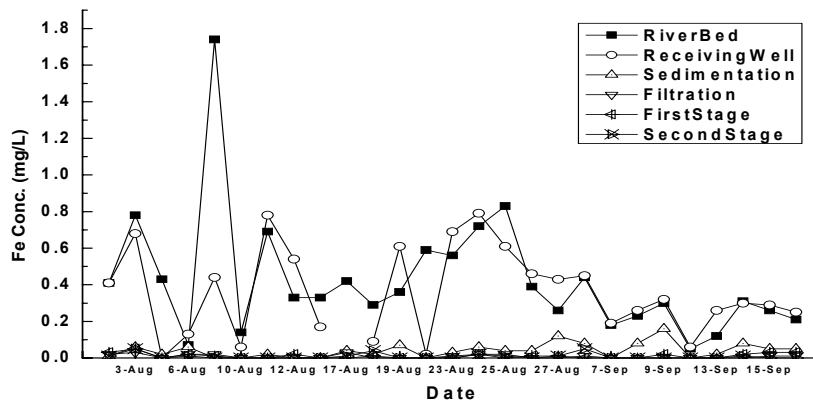


Fig. 3. Variations of iron concentration in the field plant.

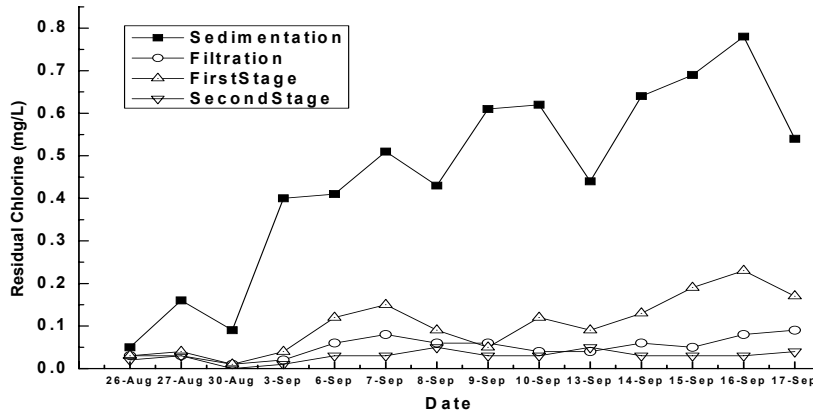


Fig. 4. Variations of residual chlorine concentration in the field plant.

염소가 42.3% 더 높게 제거되었는데, 이는 염소에 대한 활성탄의 흡착제거작용에 기인한 것으로 추정된다.

염소에 의한 소독방법이 상수처리장에서 유발될 수 있는 수인성 전염병 위험을 감소시켜 왔지만, 발암물질로 알려진 Chloroform이 1972년 네덜란드의 로테르담에서 염소 소독된 수도물에서 발견되고(Rook, 1974) 1974년 미국 뉴올리언즈의 주민 중 수도물 사용자와 암 사망을 사이에 높은 상관관계를 가지고 있다는 역학조사 결과(Page 등, 1976)가 발표되면서 THM을 포함한 각종 소독부산물에 대한 유해성 문제가 대두되었다. 염소는 THM 이외에 자연유기물질(Natural Organic Matter, NOM)이나 브롬화합물과 반응을 하여 HAAs(Haloacetic acids), Haloketons, HANs(Haloacetonitriles) 등과 같은 할로겐족 화합물

들을 형성한다(Jo 등, 2002). 미국환경보호청(US EPA)은 THM을 발암물질로 정의하고, 최대오염한계(Maximum Contaminant Levels, MCLs)를 80 $\mu\text{g/L}$ 로 규정한 바 있다. 우리나라도 현재 58개 먹는물 수질기준(Ministry of Environment, 2012)에서 소독부산물 관련 항목은 총 9개이며, THM에 대한 법적수질기준이 1990년 100 $\mu\text{g/L}$ 로 설정된 이후, 2003년 1월 1일부터 클로랄하이드레이트 등 7개 항목이 추가되었다(Kim과 Lee, 2005; Boorman 등, 1999).

하절기 침전지 유출수의 소독부산물의 일종인 THM 평균농도는 Fig. 5와 같이 약 0.033 mg/L이며 기존 급속여과지에서 0.023 mg/L, 1단 여과지 0.025 mg/L, 2단 여과지 0.008 mg/L로 분석되었다. 급속여과지에 비해 이단복합여과시스템에 의한 THM 농도

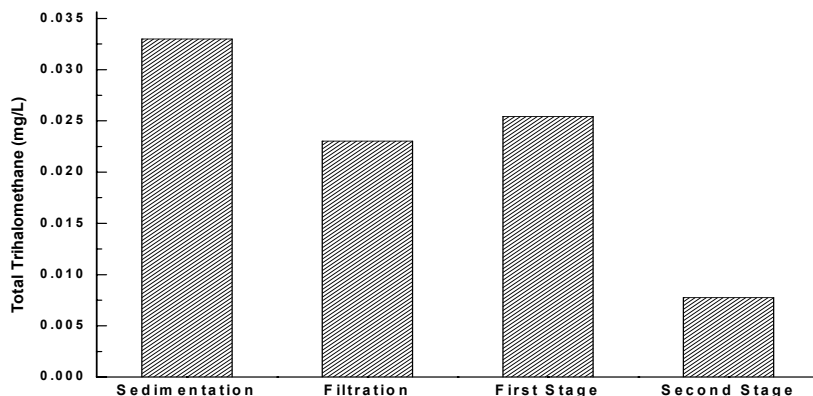


Fig. 5. Variations of total THM concentration in the field plant.

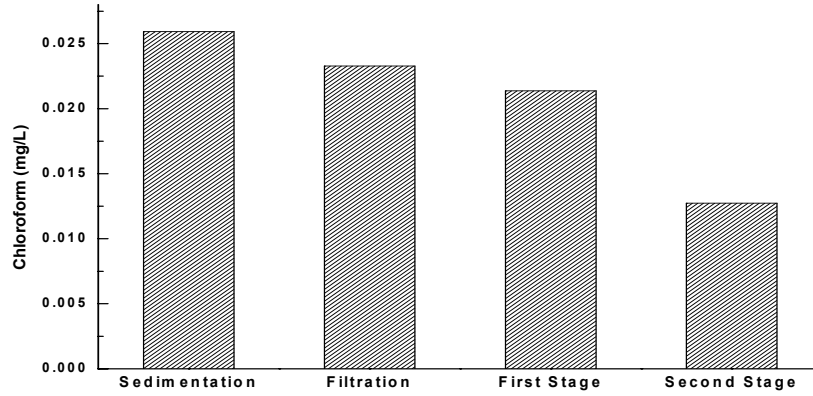


Fig. 6. Variations of chloroform concentration in the field plant.

가 활성탄에 의해 흡착되어 66.4% 더 높은 제거율을 보였다.

하절기 침전지 유출수의 소독부산물인 Chloroform의 평균농도는 Fig. 6과 같이 약 0.026 mg/L이며 기존 급속여과지에서 0.023 mg/L, 1단 여과지 0.021 mg/L, 2단 여과지 0.013 mg/L으로 분석되었다. 급속여과지와 1단 여과지에서 Chloroform 제거가 미미하였으나 이단복합여과시스템의 2단 여과지에서 50% 제거되었으며 기존여과지에 비해 약 45.3% 더 높게 제거되었다.

본 연구에서 적용한 이단이층 복합여과시스템과 기존의 급속모래여과지를 비교한 결과 역세척 실시 기준의 수위를 정하고 실시하였을 경우 기존급속여과

지의 역세주기는 약 1~1.5일 사이이였지만, Fig. 7과 같이 이단이층 복합여과시스템 중 1단 여과지의 역세주기는 4~5일 정도로 증가하였고, 2단 여과지의 수위는 운전기간동안 거의 일정한 수준을 유지하는 것을 나타내고 있는데, 이런 결과로부터 알 수 있듯이 여재공극을 감소시켜 역세척 실시수위를 증가시키는 탁도 유발물질의 영향을 최소화 할 수 있는 시스템이라는 것을 보여주고 있다. 이단이층 복합여과시스템에 대한 파일럿플랜트 결과(Woo 등, 2011)에서는 3가지 역세척 조건에 따라 탁도, 입자수를 측정하여 최적의 역세척 방법을 선정하였으며, 장시간의 역세척은 활성탄층에 부착된 미생물의 탈리가 발생할 수 있으므로 15분 정도의 역세척 시간이 최적임을 나타내었다.

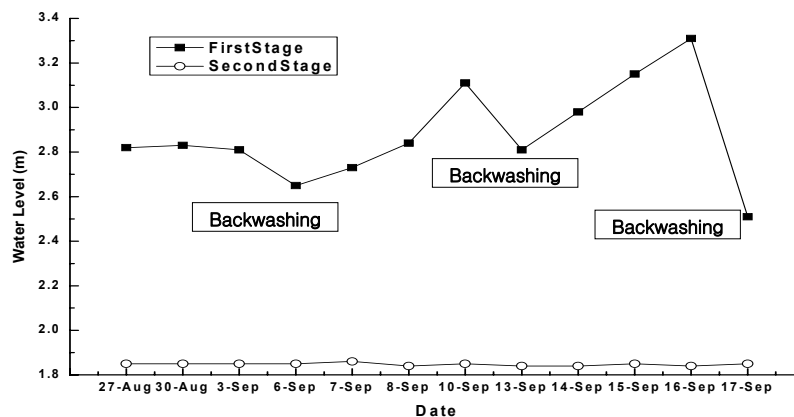


Fig. 7. Variations of water level in the field plant.

4. 결론

본 연구에서는 기존 여과시설의 개선 및 신설시 채택이 가능한 5,000 m³/day 규모의 이단이층 복합여과시스템 실증플랜트를 설치하여 여러 가지 수질항목의 제거율을 분석하여 그 적용성을 평가하였으며, 기존 정수장과 비교하여 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 실제 정수장에 적용한 실증플랜트 실험결과 침전지 유출수의 Fe 평균농도는 0.041 mg/L이며 기존 급속모래여과지에서는 0.007 mg/L, 2단 여과지에서는 0.005 mg/L로, 본 연구에서 개발한 이단복합여과시스템이 기존급속여과지의 Fe 제거 효율이 약 35% 이상 더 높게 나타났다. 또한 침전지 유출수의 잔류염소 평균농도는 0.434 mg/L이며 기존 급속여과지에서 0.051 mg/L, 2단 여과지에서는 0.029 mg/L로 검출되었다. 급속여과지에 비해 이단복합여과시스템에 의한 잔류염소가 42.3% 더 높게 제거되었다.

2. 침전지 유출수의 NH₃-N의 평균농도는 0.040 mg/L이며, 기존 급속모래여과지에서 0.025 mg/L, 2단 여과지에서 0.021 mg/L로 제거되었다. 기존여과지에 비해 1단 및 2단 여과지 공정을 거친 최종처리수의 NH₃-N 농도가 약 15.3% 높게 제거되었다.

3. 소독부산물인 THM과 Chloroform 평균농도를 비교한 결과 침전지 유출수의 THM 평균농도는 0.033 mg/L이며 기존 급속여과지에서 0.023 mg/L, 2단 여과지에서는 0.008 mg/L이었다. Chloroform 평균농도는 침전지 유출수에서 0.026 mg/L이며 기존 급속여과지에서 0.023 mg/L, 2단 여과지에서는 0.013 mg/L이었다.

4. 본 연구에서 적용한 이단복합여과시스템과 기존의 급속모래여과지를 비교한 결과, 역세척 실시 기준을 탁도 유발물질의 유입에 따른 여재공극 감소로 인해 증가하는 수위로 실시하였을 때 기존급속여과지의 역세주기는 약 1~1.5일이며, 이단복합 여과시스템 중 1단 여과지 역세주기는 4~5일 이었다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업과 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- APHA, AWWA, WEF, 1998, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., Washington, DC.
- Boorman, G. A., Dellarco, V., T., Dunnick, J. K., Chapin, R. E., Hunter, S., Hauchman, F., Gardner, H., Cox, M., Sills, R.C., 1999, Drinking water disinfection byproducts: Review and approach to toxicity evaluation, *Env. Health Persp.*, 107(Suppl 1), 207-217.
- Jo, K. H., Kim, P. C., Woo, D. S., Cho, Y. T., 2002, The characteristics of chloramine formation and decay with pH variation, *Kor. J. Env. Sci.*, 11(4), 347-353.
- Kim, C. H., Kim, H. S., 2003, International seminar on membrane filtration technology for water supply, *J. Kor. Soc. Wat. Waste.*, 17(5), 594-605.
- Kim, J. K., Jeong, S. G., Shin, C. S., Cho, H. J., 2005, Characteristics of disinfection by-products formation in Korea, *J. Kor. Soc. Wat. Waste.*, 19(3), 301-311.
- Kim, S. S., Lee, K. H., 2005, Assessment and optimization of granular activated carbon (GAC) process in water treatment process, *J. Kor. Soc. Wat. Waste.*, 19(6), 781-790.
- Lee, Y. J., Jo, K. H., Choi, J. H., Myung, B. T., Nam, S. H., 2001, Evaluation of chlorine demand and chlorine decay kinetics for drinking water, *Kor. J. Env. Health Sci.*, 27(1), 27-35.
- Ministry of Environment, 2012, Standard for water treatment works, Korea Water and Wastewater Works Association.
- Page, T., Harris, R. H., Epstein, S. S., 1976, Drinking water and cancer mortality in Louisiana, *Science*, 193, 55-57.
- Rook, J. J., 1974, Formation of haloforms during chlorination of natural water, *J. Wat. Treat. Exam.*, 23(2), 234-243.
- US EPA, 1995a, Determination of Organic Compounds in Drinking Water, Method 502.2, Cincinnati, Ohio.
- US EPA, 1995b, Determination of Organic Compounds in Drinking Water, Method 551.1, Cincinnati, Ohio.
- Woo, D. S., Hwang, K. W., Kim, J. E., Hwang, B. G., Jo, K. H., 2011, Improvement of rapid sand filtration to two stage dual media filtration system in water treatment plant, *Kor. J. Env. Health Sci.*, 37(2), 141-149.