

하수처리수 재이용시설의 공정별 용존유기물질 거동 및 특성

권은광^a · 이원태^{b,†}

금오공과대학교 환경공학과

Fate and Characteristics of Dissolved Organic Matters in a Water Reclamation Facility, Korea

Eun-Kwang Kwon^a · Wontae Lee^{b,†}

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 31 August 2021, Revised 27 September 2021, Accepted 28 September 2021)

Abstract

This study investigated the fate of dissolved organic matter (DOM) in a water reclamation facility (WRF) in Korea. The WRF consists of coagulation, sedimentation, microfiltration, and reverse osmosis (RO) components. The production capacity of WRF is 90,000 m³/day. The reclaimed water is reused as industrial water. We also characterized DOM in raw, processed, and finished waters based on analysis of dissolved organic carbon (DOC), ultraviolet absorbance at 254 nm (UVA₂₅₄), fluorescence excitation emission matrix (FEEM), and DOC fractions via liquid chromatography-organic carbon detection (LC-OCD). Based on the results of DOC, UVA₂₅₄, and FEEM analyses, neither the coagulation/sedimentation nor the microfiltration at the WRF effectively removed DOM. The RO process removed more than 94% of DOM. The raw water (i.e., secondary treated effluent obtained from a wastewater treatment plant) exhibited tryptophan-like peaks, which are a promising marker of wastewater, in the FEEM analysis. Coagulation and microfiltration failed to eliminate the wastewater marker, whereas RO completely removed it. The raw water also carried high levels (89.4%) of hydrophilic and low-molecular weight substances, which are difficult to remove via coagulation-sedimentation or microfiltration. Humic substance was a major component of the hydrophilic fractions. Based on the LC-OCD analysis, RO effectively removed the humic and polymeric materials from DOM.

Key words : DOC, FEEM, LC-OCD, Organics, Water reclamation

^a 석사과정(MS. Student), ekk2422@naver.com, <https://orcid.org/0000-0003-3483-7864>

^b Corresponding author, 교수(Professor), [wtlee@kumoh.ac.kr](mailto:wtleee@kumoh.ac.kr), <https://orcid.org/0000-0001-9660-4455>

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.

1. Introduction

우리나라는 가용 수자원 대비 물 수요의 비율이 40%를 초과하는 ‘심각한 물 스트레스’ 국가로 분류되고(Kim, 2012), 강수량이 여름철(6~9월)에 집중되어 계절별 강수량 편차가 있을 뿐만 아니라 하천 취수율이 36% 수준으로 안정적인 물 관리 및 수량 확보가 불확실한 상황이다(Park et al., 2017). 또한 급속한 산업화에 의해 하·폐수의 수질이 악화되고 있으며 수질규제 또한 강화되고 있는 실정이다. 제한된 수자원의 적절한 관리와 오염된 하·폐수의 수계 방류를 줄이기 위한 방안으로 하수처리수 재이용이 확대되고 있다(Park et al., 2020). 정부는 ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’을 제정하여 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 재이용계획 및 기준을 설정하여 관리하고 있다. 2019년 하수도 통계에 따르면 전국 108개의 하수처리수 재이용시설이 운영되고 있으며, 2019년 기준 연간 하수처리량(7,140,449.6천톤)의 약 16.1% 수준인 1,148,664.6천톤이 재이용되고 있다. 하수처리수의 재이용률이 매해 증가하는 추세이므로 하수처리수 재처리수 및 재이용수에 대한 기초자료가 중요한 상황이다.

하수처리수를 재처리하여 이용하기 위한 공정으로 활성탄 흡착, 막여과(정밀여과, 한외여과), 고도산화, 역삼투(reverse osmosis, RO) 공정 등이 사용되는데, 이 중 RO 공정은 이온성 물질까지 제거할 수 있어 하수처리수 재이용시설에 주로 사용되고 있다(Choi et al., 2009). 그러나 처리수 내에 유기물이 막 표면에 흡착되거나, pH 및 2가 양이온(Ca^{2+} 등)의 변화에 영향을 받아 막오염이 일어나면 투과 플럭스(flux)가 감소하고 막의 수명도 급격히 감소하게 된다(Kim et al., 2014). 따라서 RO를 사용하는 하수처리수 재이용시설의 안정적인 수질 공급을 위해서는 처리공정 내 용존유기물질의 거동 및 특성을 파악하는 것이 중요하다.

최근 공공하수처리시설 방류수 수질기준이 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)에서 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)로 변경됨으로 인해 하수 내 유기물질에 대한 관심이 높아지고 있다. 유기물질은 수중 산소소모량을 증가시켜 악취, 어류 폐사, 미관상 악화 등 자연 생태계에 큰 피해를 입히며, 하수처리수 재이용시설의 경우 앞서 언급했듯이 막 오염을 일으킬 수 있다(Kim et al., 2007). 그러나 우리나라 ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’은

하폐수처리수 재처리수의 용도별 수질기준에서 유기물질 항목으로 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD)을 적용하고 있어 하수처리수 및 재처리수 내 다양한 유기물질에 대한 정보가 부족한 실정이다.

이에 본 연구를 통해 국내 운영 중인 대형 하수처리수 재이용시설을 대상으로 공정별 처리수 내 용존유기물질의 거동과 특성을 분석하여 재이용시설의 안정적인 유기물질 제어와 RO 공정의 막오염 방지를 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 본 연구는 하수처리수 재이용시설의 처리공정별 용존유기물질을 정량·정성적 방법에 의해 분석하였다. 용존유기물질의 정량적 특성을 평가하기 위해 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC)와 254 nm에서의 자외선 흡광도(UVA_{254})를 분석하였으며, 정성적 특성은 fluorescence excitation-emission matrix (FEEM)와 liquid chromatography-organic carbon detector (LC-OCD)로 분석하였다.

2. Materials and Methods

2.1 대상 시설 및 채수

연구대상인 “A” 하수처리수 재이용시설은 시설용량 90,000 m^3 /일로 국내 대형 하수처리수 재이용시설에 속하며 인근에 위치한 하수처리시설의 생물학적처리를 거친 2차 처리수를 유입원수로 한다. 유입원수는 응집/침전시설과 침지식 분리막(Microfiltration, MF), RO 공정을 통해 생산되어 수요처로 공급된다(Fig.1). 응집시설에서 응집제 및 응집보조제를 사용하여 응집을 촉진하며 분말활성탄 및 응집제를 투입하여 플록(floc)을 형성하고, 이후 경사판 침전조에서 생성된 플록을 제거한다. 응집제로 polyaluminium chloride (PACl)을 약 20~30 mg/L 투입하며, 음이온성 폴리머(polymer) 0.1~0.2 mg/L를 응집보조제로 투입한다. 응집공정에서 pH가 영향인자로 작용하며 다소 산성영역에서 유기물질이 효과적으로 응집된다고 알려져 있다(Seo et al., 2001). 해당 시설은 유입원수의 pH가 6.3~6.5로 약산성을 띄고 있어 별도의 pH 조절 약품을 투입하지 않고 운영하고 있다. 전처리시설로 MF(Microza UHS-620A, Asahi Kasei, Japan; nominal pore size = 0.08 μm)를 사용하여 0.1 μm 이상의 입자까지 처리하고, 주처리시설인 RO(TML20D-400, Toray, Japan; nominal salt rejection = 99.8%)로 이온류 및 고분자물질 등 오염물질

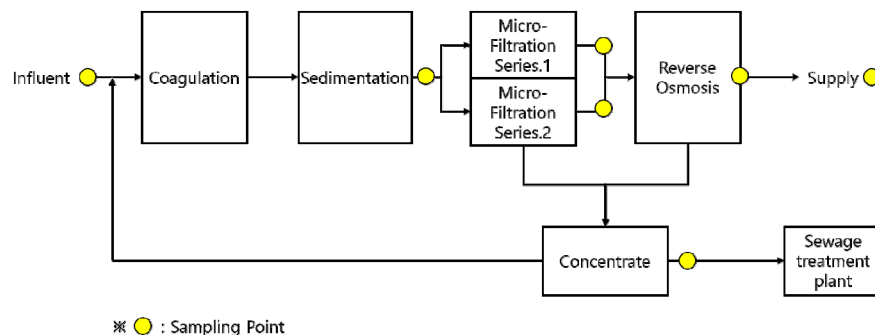


Fig. 1. Treatment process trains of the water reclamation facility (WRF).

을 분리하여 요구수질에 맞게 처리하고 있다. 이후 처리수는 2차 처리수조에서 NaOH로 pH 조절 후 수요처로 공급된다.

연구대상 시설의 공정별 용존유기물질 거동을 파악하기 위하여 유입원수, 응집/침전 처리수, MF 처리수(1계열, 2계열), RO 생산수, 수요처 공급수 및 농축수를 각각 3회 채수하였다(Fig. 1). 멸균병에 채수한 시료는 Glass fiber filter (GF/F; pore 0.7 μm ; Whatman, USA)로 여과한 후 분석 전까지 4 $^{\circ}\text{C}$ 로 냉장보관하였다. 채수 후 가능한 24시간 이내 분석을 진행하였으나 시간이 더 소요되는 경우 pH 2 이하로 낮춰 보관하였다.

2.2 수질분석

DOC는 총유기탄소분석기(TOC-LCPH/CPN, Shimadzu, Japan)로 분석하였으며 GF/F로 여과된 시료에 대해서 고온 연소산화법-비정화성유기탄소 측정법(non-purgeable organic carbon, NPOC)으로 분석하였다. UVA₂₅₄는 셀에 결로가 생기지 않도록 냉장 보관한 시료를 약 2시간 상온 보관 후 UV-visible spectrophotometer (DR6000, HACH, USA)로 측정하였다(Kwon et al., 2021).

FEEM 분석은 형광분광기를 이용하여 excitation-emission 파장의 강도를 측정하여 형광강도 지형을 생성한 뒤, 시료 내 용존유기물질의 공간적 분획특성 정보를 확인하는 방법이다(Yu et al., 2015). FEEM은 Spectrofluorophotometer (RF-5301, Shimadzu, Japan)로 측정하였으며 excitation 파장을 고정시킨 후 emission 파장을 변화시키며 시료의 형광스펙트럼을 측정하였다. 광원은 Xenon 램프를 사용하였다. excitation 파장 범위는 220~400 nm로 5 nm 간격으로 설정하였으며, emission 파장 범위는 250~600 nm로 1 nm 간격으로 설정하였고, excitation-emission slit width는 10 nm로 설정하였다. 증류수의 FEEM 측정값을 통해 시료의 FEEM 측정데이터를 보정하였으며, 데이터는 SigmaPlot 소프트웨어를 사용하여 분석하였다(Lee et al., 2021). RO처리수와 공급수를 제외한 시료는 증류수를 사용하여 DOC 농도 1 mg/L로 희석한 뒤 분석하였다.

LC-OCD는 분자량에 기초하여 용존유기물질의 성분을 5

개의 그룹으로 분획화하는 정성분석 방법이다(Huber et al., 2011; Kim et al., 2018). LC-OCD 분석은 size exclusion chromatography (SEC) 컬럼과 ultraviolet detector 및 organic carbon detector가 장착되어 있는 LC-OCD(Model 8, DOC-Labor, Germany) 시스템을 사용하였다. 시료는 1 mL 주입하였으며, 이동상으로 phosphate buffer (2.5g KH₂PO₃ + 1.5g Na₂HPO₄·2H₂O to 1L DW, Sigma, USA)를 사용하였고 1.1 mL/min의 유량조건으로 분석하였다. 산화제(4 mL phosphoric acid (Sigma, USA) + 0.5 g potassium peroxodisulfate (Sigma, USA) to 1 L DW)를 주입하여 Gräntzel thin film reactor에서 유기물질을 완전 산화시키며, 정량한계는 10 $\mu\text{g-C/L}$ 이다(Huber et al., 2011).

3. Results and Discussion

3.1 하수처리수 재이용시설 유량 및 수질 현황

연구대상 하수처리수 재이용시설이 가동 개시한 2018년 10월부터 2020년 12월까지의 유입유량 및 수질데이터를 분석하여 운영특성을 확인하였다. Table 1에 연도별 평균과 최대 및 최소 유량을 정리하였다. 연도별 평균 유입유량(2018년 110,970 m³/일, 2019년 100,291 m³/일, 2020년 101,809 m³/일)은 3년 평균 유입유량(101,044 m³/일) 대비 약 ± 800 m³/일로 비교적 일정한 유량을 보인다. 재이용시설의 평균 유입유량(101,044 m³/일)은 계획유입유량(121,490 m³/일) 대비 약 83% 수준이었고, 주처리시설인 RO공정을 기준으로 산정한 처리용량(90,000 m³/일) 대비 약 112%이었다.

Fig. 2는 하수처리수 재이용시설의 2018~2020년 유입유량을 월별로 정리한 것이다. 2019년 10월 약 5일간의 가동중지 기간이 있어서 이 기간은 제외하고 유입량을 나타내었다. 월별 유입량의 변화를 살펴보면 비교적 일정하지만 매년 7~8월인 여름철에 증가하는 경향을 보였는데, 해당 하수처리수 재이용시설의 유입량은 자동밸브를 통해 조절하므로 강우의 영향은 없는 것으로 확인되었다. 전국 공급용수의 사용량이 6~9월 여름철에 3~4% 증가하는 선행연구(Lee et al., 2017)와 운영사의 의견을 근거로 하면 여름철 재이용수 수요처의

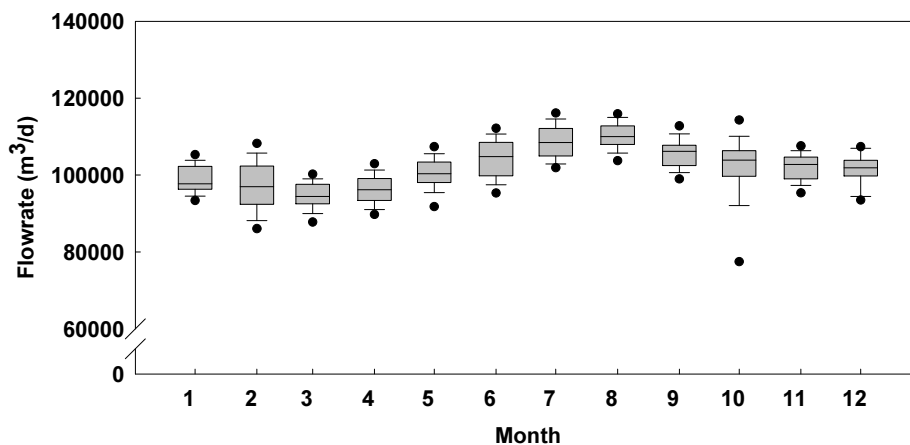
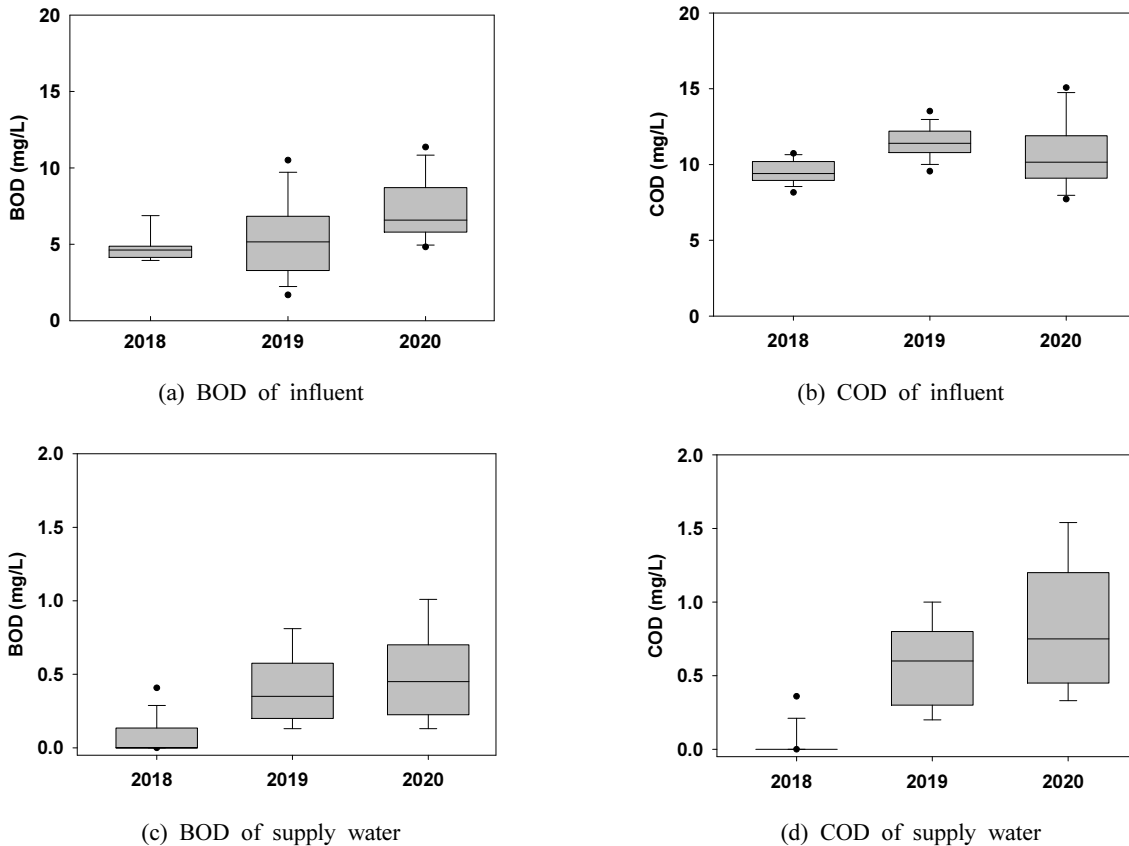


Fig. 2. Box and whisker plots of monthly variation in inflow at the WRF (between 2018 and 2020).

Table 1. Average values of water quality parameters in the influent and supply water of the WRF (between 2018 and 2020)

Parameter	Influent (mg/L)	Supply water (mg/L)	Removal Rate (%)
BOD	5.8	0.3	94.4
COD	12.4	0.5	96.1
SS	4.0	0.2	94.4
T-N	9.4	0.6	93.6
T-P	0.2	0.01	96.5

**Fig. 3.** Box and whisker plots representing annual variation in BOD and COD of the WRF (between 2018 and 2020).

요구량 증가로 인해 해당 시설의 유입량이 늘어난 것으로 판단된다.

하수처리수 재이용시설의 유입원수(Influent) 및 처리수(공급수, Supply water)의 수질항목(BOD, COD, SS, T-N, T-P)을 2018~2020년 평균치로 Table 1에 정리하였다. 유입원수의 BOD 평균농도는 5.8 mg/L로 설계기준(5 mg/L)을 초과하여 설계수준의 약 116% 수준으로 유입되었으나 처리과정 내에서 안정적으로 처리되어 0.3 mg/L로 공급되고 있다. 해당 하수처리수 재이용시설은 방류수수질기준이 TOC로 변경되기 전에 설계되어 COD 항목으로 측정되었는데, COD는 설계기준보다 낮은 농도(약 73%)로 유입되어 0.5 mg/L로 공급되고 있다. 운영데이터는 없으나 유기물질 항목인 BOD 및 COD의 제거율을 통해 처리과정 내에서 TOC 역시 안정적인 처리가 가능할 것으로 예상된다. 그 외 SS, T-N, T-P 항목도

설계기준에 비해 낮은 수준으로 유입되었으며 평균 93.6~96.5%의 제거율로 제거되고 있다.

유입원수(Influent) 및 처리수(공급수, Supply water)의 수질항목 중 유기물 지표인 BOD와 COD의 연도별 농도변화를 Fig. 3에 나타내었다. BOD 농도는 전반적으로 매년 증가하는 경향을 보였으며 특히 2020년에는 평균농도 7.2 mg/L로 설계기준의 144% 수준으로 유입되었다. COD도 2019년과 2020년에 증가하였으나 설계수질의 범위 내 수준이었다. 처리수(공급수)의 유기물 지표 농도도 매년 증가하는 경향을 보였는데, 이는 유입수질의 악화에 의한 것으로 추정되나 모든 항목에서 설계범위 내 처리되고 수요처의 요구수질에 부합하는 것으로 확인되었다. 다만, 2018년 운영자료가 10월 중순부터 12월말까지로 단기간이었음을 감안하면 연도별 유입수질의 변화는 보다 장기간에 걸쳐 모니터링할 필요가 있다.

3.2 하수처리수 재이용 공정별 용존유기물질 거동

하수처리수 재이용시설의 처리공정별(유입원수, 응집침전 처리수, MF 처리수(1, 2계열), RO 생산수, 수요처 공급수, 농축수) 용존유기물질의 거동을 정량적으로 확인하기 위해 DOC와 UVA₂₅₄를 분석하였다(Fig. 4). 유입원수의 DOC는 6.76 mg/L였으며, 응집침전 처리수의 DOC는 7.54 mg/L로 유입원수에 비해 약 1.1배 높아졌다. 추후 설명할 UVA₂₅₄에서도 DOC와 유사한 결과를 보였다. 응집침전을 거친 처리수는 DOC 및 UVA₂₅₄가 감소하는 것이 일반적이나(Kwon et al., 2021; Moon et al., 2005), 대상 재이용시설에서는 유입원수 채수지점 후에 막공정의 농축수가 일부 유입되어 응집침전에 의한 용존유기물질 제거효과가 명확하지 않다. 따라서 정성적 분석방법(FEEM, LC-OCD)을 통해 응집침전 처리수의 성분을 분석하여 원인 물질을 규명할 필요가 있다고 판단된다. DOC는 MF공정 1, 2계열에서 각각 6.62와 6.67 mg/L로 응집침전수 대비 10% 정도 감소하였다. 마지막으로 RO공정을 지나면서 DOC가 0.38 mg/L로 낮아져 MF 처리수 대비 약 94%가 제거되었다. 최종 공급수의 DOC는 0.36 mg/L이었다. 막공정에서 발생한 농축수의 DOC는 22.6 mg/L로 하수처리 시설로 반송하여 처리하기에 큰 영향을 미치지 않는 수준으로 판단된다.

유입원수의 UVA₂₅₄ 값은 0.126 Abs이었으나, DOC와 마찬가지로 응집침전 처리수의 UVA₂₅₄ 값이 0.135 Abs로 유입원수보다 7% 정도 높았다. 이후 MF에서 0.115 Abs로 감소하였으며 RO 처리를 통해 0.002 Abs까지 감소하였다. 처리공정별 UVA₂₅₄의 변화는 DOC와 비슷한 경향을 보였다. 농축수의 UVA₂₅₄는 0.397 Abs로 나타났다. 용존유기물질의 소수성 성분을 나타내는 척도로 사용되는 고유흡광도(Specific UV Absorbance, SUVA)(Kwon et al., 2021; Lee et al., 2021)는 유입원수에서 1.86 L/mg-m이었다. 일반적으로 SUVA 값이 2.0 미만일 경우 친수성 및 저분자량 유기물질이 많고, 4.0을 초과하면 소수성 및 고분자량 유기물질을 많이 포함한다고

알려져 있다(Kaplan Berkaroglu et al., 2010). SUVA는 응집침전후 1.78 L/mg-m, MF 처리후 1.73 L/mg-m으로 유입원수와 큰 차이가 없다가 RO공정 후 0.53 L/mg-m으로 낮아졌다.

재이용시설의 처리공정별 용존유기물질의 정성적 특성을 파악하기 위하여 FEEM 분석을 진행하였다. Fig. 5는 유입수와 각 처리수의 FEEM을 나타낸다. 주의할 사항은 형광강도 측정 시 RO공정수와 공급수를 제외한 다른 시료의 DOC를 1 mg/L이 되도록 희석한 후 형광강도를 분석하였으므로 절대치가 아닌 상대치로 비교하여 결과를 해석해야 한다(Lee et al., 2021). 유입원수는 하수의 특성을 잘 나타내는 Tryptophan-like 범위($\lambda_{ex}/\lambda_{em}=275/340$ nm) 부분에서 peak를 보였다(Park et al., 2020). 또한 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}=300\sim370/400\sim500$ nm 위치를 나타내는 humus-like 부분에서도 높은 peak를 나타내었다. 응집침전 처리수는 유입원수와 유사한 형태의 peak spectra를 보였다. 응집침전처리수(b)와 유입원수(a)를 비교하면 peak가 낮아진 것으로 해석될 수 있으나, FEEM 분석은 정성적 분석방법이기 때문에 서로 다른 시료간의 peak 높이를 비교하는 것은 바람직하지 않다. MF 1계열과 2계열 역시 유입원수와 유사한 형태를 보였으며, Soluble microbial product(SMP)-like 의 peak가 나타났다. 이후 RO 생산수 및 수요처 공급수에서는 peak가 거의 발견되지 않았는데, 시료의 DOC 농도가 1 mg/L 이하일뿐더러 역삼투막을 통과하면서 대부분의 이온성 물질까지 제거되었기 때문으로 판단된다. Fig.5에는 나타나지 않았지만, 농축수는 MF 처리수와 유사한 형태의 peak를 확인할 수 있었다. 이는 역삼투 공정에 의해 여과된 농축수의 성상은 이전 공정인 MF 처리수의 응축된 형태이기 때문으로 추정된다.

재이용시설 유입원수 및 처리수의 DOC 성분 비율을 확인하기 위해 LC-OCD 분석을 하였다(Fig. 6). LC-OCD는 각각의 비율을 통해 해당 시료에 존재하는 용존유기물질이 어떤 성분비율로 구성되어 있는지 확인할 수 있는 분석방법이다.

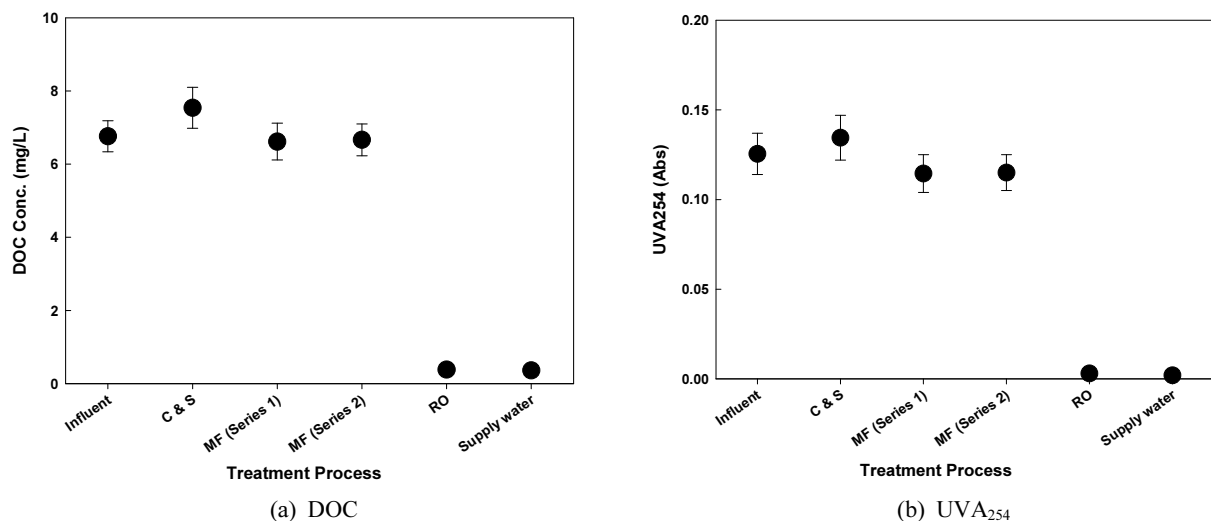


Fig. 4. Variation in DOC and UVA₂₅₄ levels during water reclamation (C&S stands for coagulation and sedimentation).

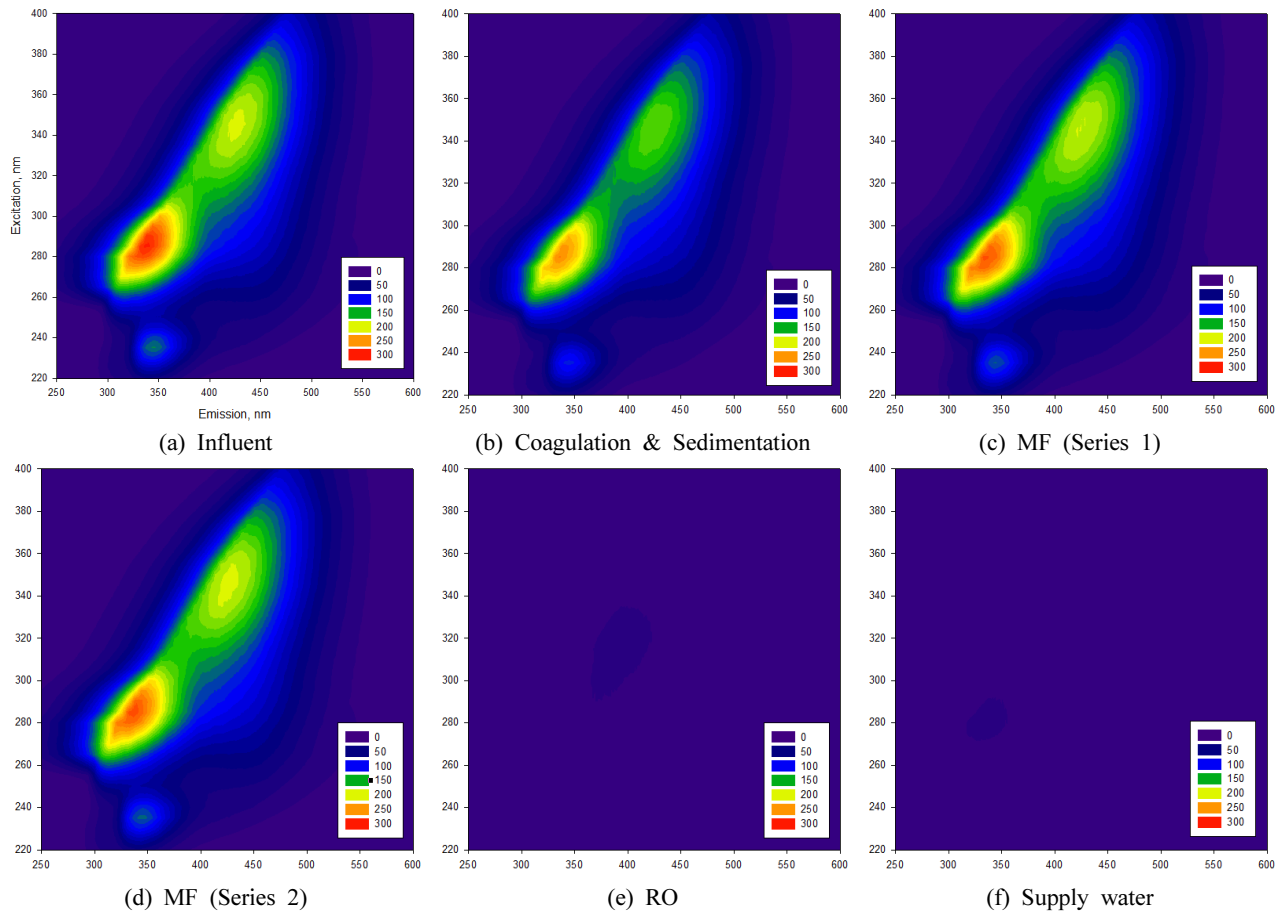


Fig. 5. FEEM spectra of influent and treated waters.

용존유기물질은 친수성 및 소수성으로 나뉘며, 그 중 친수성 물질이 bio-polymer (BP), humic substances (HS), building blocks (BB), low molecular weight acids (LMW-acids) 및 low molecular weight neutrals (LMW-neu)로 나뉜다. BP는 분자량 20,000 g/mol의 고분자물질로 다당류(polysaccharide), 단백질(protein) 및 아미노당(amino sugar) 등으로 구성되며, HS는 분자량 1,000~20,000 g/mol로 humic acid와 fulvic acid로 구성된다. BB는 분자량 350~500 g/mol 정도로 HS의 분해 생성물로 구성되며, LMW-acids와 LMW-neu는 분자량 350g/mol 미만의 저분자물질로 저분자 유기산과 알콜류, 알데히드류, 케톤류, 당류 및 아미노산류로 구성된다(Huber et al., 2011).

유입원수는 10.6%의 소수성 물질과 89.4%의 친수성 물질로 구성되어 있다(Fig. 6). 이는 유입원수의 SUVA 값이 1.86 L/mg-m로 비교적 친수성인 것과 일관된다. 친수성 물질 중 HS의 비율(32.3%)이 가장 높았으며 LMW-neu(24.2%), BB(21.83%) 순으로 높은 비율을 차지하였다. 고분자물질인 BP의 비율은 약 2.8% 정도로 하수처리시설의 생물학적처리를 거치며 대부분의 고분자물질이 제거되었기 때문이다. 이는 선행연구의 방류수 LC-OCD 분석결과(BP 7.9%, HS 29.1%, BB 16.5%, NMWs 35.0%)와 전반적으로 유사한 경향을 보였으며 (Won et al., 2011), 하수처리시설의 유입원수 성상 및 처리

공정에 의해 다소 차이가 발생한 것으로 판단된다.

응집침전 처리수의 친수성 성분이 유입원수보다 약 3.3% 더 높으며 그 중에서도 고분자물질인 BP 성분이 유입원수보다 약 2.4배 더 높게 나타났다. 이를 통해 응집침전 처리공정으로 소수성 물질이 상대적으로 잘 제거되었으나 바이오폴리머(BP) 성분의 처리는 용이하지 않았다는 것을 알 수 있다. HS와 BB, 저분자물질(LMWs)는 유입원수와 유사한 비율을 보였다. MF를 지나면서 BP의 비율이 감소하였으나, HS, BB, LMWs의 비율은 유사하게 나타났다. 이를 통해 해당 시설의 침지형 MF에서 고분자물질인 BP가 어느 정도 제거됨을 알 수 있다.

주처리공정인 RO공정을 지나면서 고분자물질의 비율은 줄어들고 소수성물질 및 저분자물질의 비율이 크게 증가하였다. 수요처 공급수의 경우 RO 생산수에 비해 LMWs의 성분은 일부 감소하였고, BP 및 HS의 고분자물질 성분이 일부 증가한 것으로 보이나 RO 생산수와 공급수의 DOC 농도가 매우 낮으므로 두 시료간 LMWs, BP, HS 비율의 변화는 통계적 유의성이 없었다. 농축수의 DOC 농도가 타 시료 대비 매우 높아 다른 시료의 해석에 영향을 끼쳐 Fig. 6에는 나타나지 않았지만, FEEM 분석 결과와 마찬가지로 MF 처리수와 유사한 성분비율을 보였다.

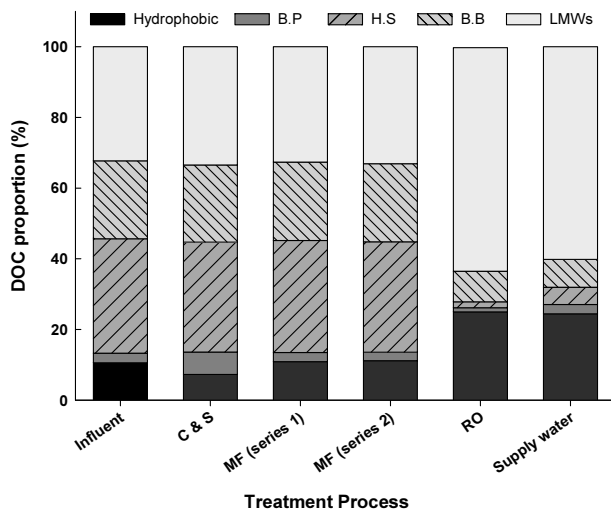


Fig. 6. Results of LC-OCD analysis based on WRF process.

4. Conclusion

본 연구는 국내 운영 중인 대형 하수처리수 재이용시설의 유입원수와 공정별 처리수 내 용존유기물질을 정량정성적으로 분석하여 유기물질의 거동 및 특성을 확인하였고 다음과 같은 결론을 얻었다. 연구결과는 하수처리수 재이용시설의 효율적인 유기물질 제어와 RO 공정의 막오염 방지를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

- 1) 대상 하수처리수 재이용시설의 월별 유입량은 연중 비교적 일정하지만 매년 7~8월인 여름철에 증가하는 경향을 보였고 이는 여름철 재이용수 수요처의 요구량 증가로 인한 것이다. 재이용 계획시 여름철 수요처 요구량 증가를 고려할 필요가 있다. 유입수질은 대부분의 항목이 설계기준 이하로 유입되고 있으며, 93.6-96.5%의 처리효율을 보여 하수처리수를 안정적으로 재처리하여 이용하고 있다.
- 2) 용존유기물질의 정량적(DOC, UVA₂₅₄) 분석 결과 하수처리수 재이용시설에서 RO공정이 약 94%의 용존유기물질을 제거하고 있으며 응집/침전과 MF 전처리에 의한 제거는 크지 않다.
- 3) 유입원수의 FEEM 형광강도 분석 결과 하수특성을 나타내는 부분(tryptophan-like)의 peak가 명확하게 나타났고 응집침전과 MF 처리수 역시 유사한 경향을 보여 이러한 물질이 전처리 과정에서 제거가 용이하지 않음을 알 수 있었다. RO 공정에서는 FEEM peak가 발견되지 않았고, 막여과 공정 농축수의 성상은 MF 처리수와 유사하게 나타났다.
- 4) 분자량 분석(LC-OCD) 결과 유입원수는 친수성 물질의 비율이 89%로 높았으며 특히 HS의 비율이 가장 높았고, 응집침전 처리로 소수성 물질이 상대적으로 잘 제거되었으나 바이오플리머(BP) 성분의 처리는 용이하지 않았다.

Acknowledgments

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었습니다 (2020-021-100).

References

Choi, J. S., Park, S. H., and Yoon, J. Y. (2009). Optimum ozone dose of RO retentate in wastewater reuse plant, *Proceedings of the 2009 Fall Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 845-846. [Korean Literature]

Huber, S. A., Balz, A., Abert, M., and Pronk, W. (2011). Characterisation of aquatic humic and non-humic matter with size-exclusion chromatography-organic carbon detection-organic nitrogen detection (LC-OCD-OND), *Water Research*, 43, 863-881.

Kaplan Bekaroglu, S. S., Yigit, N. O., Karanfil, T., and Kitis, M. (2010). The adsorptive removal of disinfection by-product precursors in a high-SUVA water using iron oxide-coated pumice and volcanic slag particles, *Journal of Hazardous Materials*, 183, 389-394.

Kim, B. C., Jung, S. M., Jang, C. W., and Kim, J. K. (2007). Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 29(6), 640-643. [Korean Literature]

Kim, D. J. (2012). A study on current quality of reclaimed wastewater and rationa application of water quality standard in Korea, *Journal of Korean Society of Environmental Technology*, 13(3), 244-251. [Korean Literature]

Kim, D. K., Choi, J. S., Lee, C. K., Kim, J. H., Choi, J. H., and Lee, W. T. (2014). Removal characteristics of organic matters in pretreatment and reverse osmosis membrane processes for seawater desalination, *Journal of Korean Society for the Scientific Study of Subjectivity*, 36(7), 492-497. [Korean Literature]

Kim, Y. S., Son, H. J., Seo, C. D., Kim, H. Y., Lee, W. T., and Hwang, I. S. (2018). Evaluation of NOM characteristics and Disinfection By-Products (DBPs) formation potential in Nakdong river basin, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 40(12), 495-504. [Korean Literature]

Kwon, E. K., Park, S. H., and Lee, W. T. (2021). Comparison of coal-, coconut-, and wood-based activated carbons for removal of organic matters in wastewater treatment plant effluent, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 43(4), 257-264. [Korean Literature]

Lee, B. S., Hong, S. H., and Park, S. G. (2017). Analysis of river water usage characteristics and effective management of permit amount, *Journal of Korea Water Resources Association*, 50(7), 27-36, [Korean Literature]

Lee, G. C., Park, Y. J., Kang, K. H., Jung, M. O., Ryu, D. H., Jung, S. S., and Lee, W. T. (2021). Characteristics of organic

- matters in influents and effluents of sewage treatment plants in Gyeongsanbuk-do, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 43(5), 367-376. [Korean Literature]
- Moon, S. Y., Lee, S. H., Kim, S. H., and Yoon, C. H. (2005). Effect of coagulation in coagulation/ultrafiltration hybrid system in water treatment process, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 27(8), 837-843. [Korean Literature]
- Park, J. H., Lee, K. H., and Park, I. S. (2020). A study on the experts' perception type about water reuse, *Journal of Korean Society for the Scientific Study of Subjectivity*, 52(4), 69-86. [Korean Literature]
- Park, J. M and Lee, W. T. (2020). Effect of oxidant addition on water quality and microfiltration performance during water reclamation, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 42(4), 210-217. [Korean Literature]
- Park, Y. H., Shim, I. T., Kwak, D. G., Park, H. J., and Han, M. Y. (2017). Survey on users of water reuse system, *Proceedings of the 2017 Spring Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 500-501. [Korean Literature]
- Seo, B. I., Jung, C. W., Han, S. W., and Kang, L. S. (2001). Natural organic matter fractions changes and coagulants reduction scheme by controlled pH adjustment of each coagulants, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 17(4), 485-491, [Korean Literature]
- Won, S. Y., Maeng, S. K., Park, J. H., Song, K. G., and Ahn, K. H. (2011). Removal characterization of dissolved organic matter in Multi-soil-layering system by FEEM(Fluorescence Excitation Emission Matrix) and LC-OCD(Liquid Chromatography-Organic Carbon Detector) analysis, *Proceedings of the 2011 Fall Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 349-350. [Korean Literature]
- Yu, H., Qu, F., Sun, L., Liang, H., Han, Z., Chang, H., Shao, S., and Li, G. (2015). Relationship between soluble microbial products (SMP) and effluent organic matter (EfOM): Characterized by fluorescence excitation emission matrix coupled with parallel factor analysis, *Chemosphere*, 121, 101-109.