

# 낙동강 수계 내 하수처리 방류수가 하류 하천 유기물에 미치는 영향: 부하량 비교

성진욱 · 박제철\*

금오공과대학교 환경공학과

Effects of Sewage Effluent on Organic Matters of Nakdong River: Comparison of Daily Loading. Seong, JinUk and JeChul Park\* (Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

This study investigated the water quality of effluents from the wastewater treatment plants, located at the Gumi Complex 4, Gumi, and Wonpyong, in Gumi. DOC accounted for higher than 70% of TOC, and oxidation efficiencies, calculated from carbon, were 13~43% for BOD and 37~73% for COD<sub>Mn</sub>, respectively. Based on the biological decomposition experiments, R-DOC account for higher than 70% of DOC, mostly being occupied by refractory organic matters. This indicated that the biodegradable organics occupied more proportions of organic loadings than the refractory organics. The effect of the organics from a discharge of a sewage treatment plant on rivers, Gumi industrial Complex 4, Gumi, and Wonpyong on lower streams of the Nakdong River were found to be 15%, 6% and 16% respectively. The ratio of 15% suggests that comparatively, no large portions of TOC loadings are occupied, but the problem is that the biodegradable organic matters occupy a lot more proportions than that of the refractory organic matters. Thus, it is highly estimated that the refractory organics can gradually increase the pollution level of organics and precursors of disinfection by-products to the down-stream water treatment plants.

Key words : DOC, R-DOC, TOC, oxidation efficiencies

## 서론

경제 발전은 생활수준의 향상을 가져온 반면 수환경은 빠른 속도로 악화되었다. 이에 따라 국민들은 그동안 등한시 해온 환경보전에 대한 인식이 높아지기 시작했으며 공공수역의 수질회복을 위해 사회간접시설 중에서 특히

하수도 시설의 투자에 대한 관심이 크게 높아졌다(Seoul Development institute, 1996). 그동안 하수처리장의 건설 등 수질개선을 위한 많은 투자와 노력으로 수질은 꾸준히 개선되어 왔으나 대규모 하수처리장의 건설은 발생하수량의 대부분을 하수처리장으로 차집하여 처리하게 됨으로써 소규모 하천에서는 하천유지용량의 부족을 초래하여 자연하천으로서의 기능을 상실하고 있으며, 특히 갈수

\* Corresponding author: Tel: 054) 478-7633, Fax: 054) 478-7859, E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr

기 하천의 수질은 하수처리장 방류수의 수질에 많은 영향을 받게 되어 수역의 부영양화 등 하천 수질개선에 한계를 나타나게 되었다(Kwak *et al.*, 2004).

하천과 호수로 유입하는 유기물의 기원은 크게 환경기초시설 방류수로 대표되는 점오염원, 수계 내 토지 이용도와 관련이 깊은 외부 비점오염원(토양 및 식물체설물 기원 등), 그리고 호수 및 하천 내 조류 증식에 의한 내부생성유기물로 구분할 수 있다. 이들 증가요인 중 수계 내 유기물관리 측면에서 가장 효율적인 제어효과를 보일 수 있는 것은 점오염원이 될 수 있다(Lee *et al.*, 2010). Imai *et al.* (2002)은 일본의 Kasu-migaura호 내 난분해성 물질 증가요인으로 하수처리장 방류수를 지적한 바 있으며 국내의 경우 Shin *et al.* (2000)은 팔당호 유입 지류 중 하나인 경안천 내 유기물 오염 부하의 원인으로 점오염원을 강조한 바 있다. 현재 수계 내 유기물 관리 및 부하량에 대한 평가는 주로 화학적 산소요구량(COD) 농도에 의해 결정되고 있다. 그러나 COD 농도가 수계 내 유기물 관리 기준이 되는 경우 처리장 내 유기물 제거효율을 관리 평가하거나 처리장 방류수 수질을 수계와 연계할 필요가 있을 때 많은 한계를 보일 수 있다. 우선 COD 산화율은 수계 및 하폐수 내 유기물 성상에 따라 크게 달라질 수 있으며 그 성상 또한 매우 복잡한 것으로 알려져 있다. Dignac *et al.* (2000)은 하폐수 내 유기물의 50% 이상이 분석 불가능한 복잡한 형태의 유기물질로 구성되어 있다고 보고한 바 있다. 난분해성 물질은 생분해성 물질에 비해 자정능력에 의한 정화나 제어가 어렵기 때문에 향후 수계의 유기물 오염도를 증가시키는 전구물질로 작용할 수 있다. 또한 수중 유기물질은 상수처리 시 염소소독부산물(disinfection byproducts, DPBs) 생성에 전구체 역할을 하며(Selcuk *et al.*, 2007), 멤브레인 막힘 현상으로 인한 상수처리 비용 증가를 야기할 수 있다(Peiris *et al.*, 2010). 수계 내 자연유기물질의 경우 중금속과 소수성 유기오염물질이 잘 결합하는 특성을 가지고 있기 때문에(Hur and Schlautman, 2004; Lalah and Wandiga, 2007) 수계 내 유기물 농도 증가는 장기적으로 이들 오염물질의 증가를 가져 올 수 있다.

최근 기존 유기물 지표인 COD의 대안으로 TOC 농도가 논의되고 있으며 2006년에는 수질오염공정시험기준에 TOC 항목이 신설된 바 있다. 더욱이 TOC 농도는 저농도 범위에서도 정확도가 유지되며 유기물 성상에 따른 농도 변화 차이가 적고 연속측정 시 유리한 장점을 가지고 있어 향후 오염총량제 및 수환경 변화에 대비하여 유기물 항목으로 유리한 점을 지니고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 하수처리장 방류수의 TOC 농도 자료를 축적하

여 수계 내 유기물 관리를 위한 정책적 변화에 대처할 필요가 있을 것으로 보인다(Lee *et al.*, 2010).

기존에 하수처리장에 관한 연구는 하수처리장 방류수의 수질의 변동, 방류수의 영향 평가, 분포특성에 관한 연구(Hong and Sohn, 2004; Kwak *et al.*, 2004; Byun *et al.*, 2010; Seo *et al.*, 2010), 처리효율 비교 및 유입수의 유기물 특성이 처리장 효율에 미치는 영향에 대한 연구(Lee *et al.*, 2009), 유기물 지표로서의 적합성을 평가 및 특성 분석, 농도간의 상관관계식을 구한(Lee *et al.*, 2010) 연구가 있었다. 하지만 하수처리장 방류수의 유기물의 특성이 하천에 어떠한 영향이 있는지에 관한 연구는 제한적으로 이루어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 구미시 지역에 위치한 하수종말처리장(구미 4단지, 구미, 구미 원평) 처리수와 처리장 상·하류의 대표지점을 대상으로 하수 처리수가 하천에 미치는 유기물의 특성과 부하량을 파악하기 위하여 BOD, COD<sub>Mn</sub>, TOC 농도를 측정하여, TOC에 대한 산화율을 계산하였고, DOC 분해실험을 통하여 R-DOC 농도를 정량하였다. 또한 측정된 유량과 TOC 농도를 곱하여 부하량을 산정하여 하수처리수의 유기물이 하천 유기물 오염에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 바탕으로 향후 수질관리 목표와 기준을 설정하고 수계의 유역관리 정책 수립 및 유기물오염총량 관리계획 수립 시 중요한 자료로 활용할 수 있도록 하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상지의 개요

본 연구는 하수처리방류수의 유기물이 하천유기물의 오염도에 미치는 영향을 파악하기 위해 수행되었으며, 경북 구미지역에 위치한 하천(낙동강, 한천, 구미천) 및 하수처리장(구미 4단지, 구미, 구미 원평)을 대상으로 하였고, 선정된 조사대상지 및 지점위치·설명은 Fig. 1, Table 1에 나타낸 바와 같다. 구미 4단지하수처리장(H2, 처리용량 50,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)은 고도처리 A<sub>2</sub>O 공법을 추가로 이용하여 공장하수를, 구미하수처리장(N2, 처리용량 330,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)은 활성슬러지법으로 공장+생활하수를, 원평하수처리장(G2, 60,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)은 고도처리 DNR 공법을 추가로 이용하여 생활하수를 처리하고 있다. 이처럼 본 연구에서는 처리장의 특성에 따른 유기물의 특성을 살펴보기 위하여, 각기 다른 처리공법과 유입수의 특성을 보이는 지역을 조사지점으로 선정하였다.

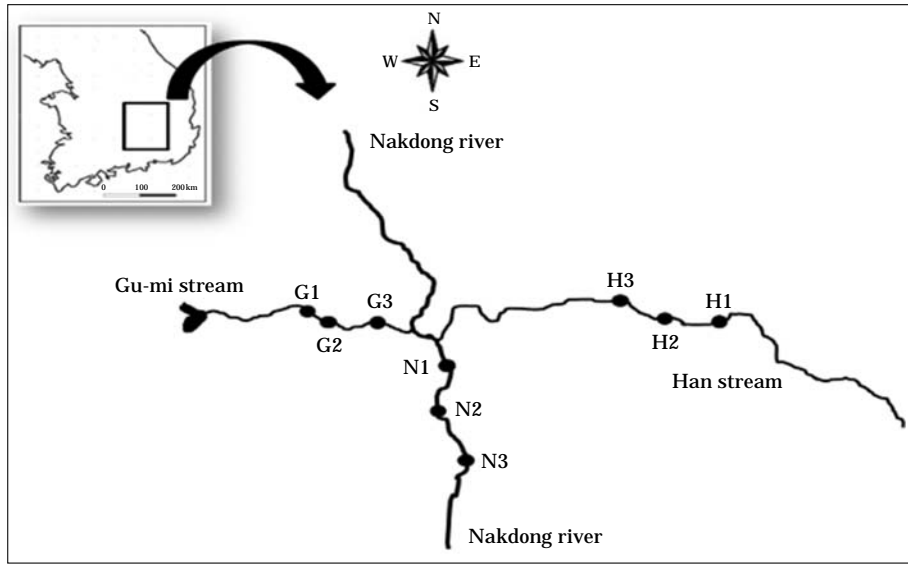


Fig. 1. Study area and the locations of survey sites.

Table 1. Coordinate and notes of the each site.

Site	Coordinate	Note
H1	N 36° 07'46.8" E 128° 28'02.9"	The upper region of Han stream
H2	N 36° 08'12.4" E 128° 26'54.2"	Gumi 4 industrial complex sewage treatment plant effluent
H3	N 36° 08'15.0" E 128° 26'21.5"	The down region of Han stream
N1	N 36° 06'24.7" E 128° 23'39.7"	The upper region of Nakdong river
N2	N 36° 05'02.0" E 128° 23'52.9"	Gumi sewage treatment plant effluent
N3	N 36° 04'13.5" E 128° 23'10.1"	The down region of Nakdong river
G1	N 36° 07'50.2" E 128° 20'22.5"	The upper region of Gumi stream
G2	N 36° 07'41.1" E 128° 20'42.6"	Wonpyeong sewage treatment plant effluent
G3	N 36° 07'44.7" E 128° 21'39.5"	The down region of Gumi stream

2. 조사시기 및 수질분석

조사기간은 2009년 10월부터 2010년 2월까지 총 5회 (월 1회)에 걸쳐 진행하였으며, 하천 (한천, 구미천) 상·하류의 유량은 회전식 유속계 (Model 2100-C140)를 이용하여 ISO 2425의 단일측정방법 중 하나인 유속-면적법 (Velocity-Area Method)을 이용하여 측정하였고, 낙동강 상·하류의 유량은 낙동강 홍수통제소의 자료를, 처리장 방류수 유량은 조사기간 중 월 평균 자료를 이용하였다. 채수된 시료는 4°C 이하로 보관하여 즉시 실험실로 운반하였고, BOD, COD<sub>Mn</sub>는 수질오염공정시험기준에 따라 분석하였고, TOC 중 DOC 분석은 시료에 염산 (2N)을 첨가하여 (pH 2 이하) Air-Zero 가스로 포기시켜 CO<sub>2</sub>를 미리 제거한 후, 고온 (680°C)의 백금촉매가 내장된 TOC analyzer (Shimadzu, TOC-5000A)를 이용하여 측정하였으며,

POC는 CHN 원소 분석기를 이용하여 분석하였다.

3. SUVA 및 DOC 분해실험, 산화율 계산

고유흡광도 (SUVA)값은 시료를 GF/F 필터로 여과한 후, 파장 254 nm에서 측정된 흡광도 값을 DOC 값으로 나누어 구하였다. 미생물에 의한 DOC 분해실험은 GF/F 여과지로 여과 된 여과액을 500 mL 유리용기 (450°C에서 열처리한 것)에 넣어 온도 20±1°C의 항온 암실에서 30일간 실시하였다 (Ogura, 1972; Servais, 1987; Park *et al.*, 1997). 분해실험 결과 30일 사이에 분해된 유기물을 생분해성 유기탄소 (L-DOC), 남아있는 유기물을 난분해성 유기탄소 (R-DOC) 농도로 정량하였다. TOC에 대한 BOD와 COD<sub>Mn</sub>의 산화율을 계산하기 위하여 BOD 및 COD<sub>Mn</sub>로 산화되는 유기물의 양을 탄소량으로 환산한다. 탄소와

산소의 무게비인 12/32를 곱하고 일반적으로 유기물 산화 시 소비되는 산소(O<sub>2</sub>)와 산화되는 탄소(C)의 몰비인 1.1로 나누어 탄소의 양으로 환산하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 유기물 항목 분석 결과

조사기간 중 유기물 항목 분석결과를 Table 2에 나타내었다. BOD 농도는, 하천과 하수처리장 방류수에서 각각 1.5~6.9, 1.4~16.1 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>로 나타났고, COD<sub>Mn</sub> 농도는 각각 3.0~10.7, 5.3~16.8 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, TOC 농도는 각각 2.8~6.8, 3.6~13.3 mgC L<sup>-1</sup>를 보였다. 전체적으로 하천지점보다는 하수처리장 방류수의 농도가 비교적 높게 나타났고, 고농도의 하수처리장 방류수가 하천으로 유입되어 하천의 상류보다 하류에서 유기물의 농도가 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 Jung (2007)의 광주천 유하거리별 수질변화 특성 및 예측에 관한 연구에서 유하 거리에 따라 하수의 유입이 있는 것으로 조사되고 하류로 갈수록 오염도가 높아지는 것으로 조사된 결과와 유사한 것으로 나타났다. 하수처리장 방류수 TOC 농도의 경우 9개 하수처리장에서 조사된 3.4~14.3 mgC L<sup>-1</sup> (An, 2009), 광주지역 하수처리장에서 조사된 5.1~5.5 mgC L<sup>-1</sup> (Seo *et al.*, 2010)의 결과와 대체로 비슷한 농도 범위로 나타났고, 하천의 DOC 농도의 경우, 온대 기후대에 속하는 하천에서 3~15 mgC L<sup>-1</sup> (Thurman, 1985), 세계의 주요 하천을 대상으로 측정된 DOC의 평균 농도는 4~6 mgC L<sup>-1</sup> (Degens, 1982), 국내의 한강 하류 및 동강, 명지천의 DOC 평균 농도는 1.5~4.7 mgC L<sup>-1</sup> (Kim *et al.*, 2007)로 조사되었다. 본 연구에서는 2.0~6.4 mgC L<sup>-1</sup>로 유사한 농도를 보이는 것으로 나타났다. 또한 구미시내 지역을 관통하는 구미천(G1, G3) 지역의 유기물 오염도가 기타 조사지점보다 더 높게 나타났는데, 향후 도시 유역의 오염원 관리가 반드시 필요할 것으로 보이며, 구미 하수처리장 방류수(N2)의 BOD 농도가 높은 이유는 처리용량(330천 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)이 크고, 조사 기간이 온도가 낮은 겨울철에 이루어져, 낮은 수온으로 인한 미생물의 활성도가 저하 되었을 가능성, 처리공법(고도처리 유무)의 차이로 인한 것으로 판단된다.

### 2. TOC에 대한 BOD, COD<sub>Mn</sub> 산화율, DOC 비율

TOC에서 DOC가 차지하는 비율과 BOD, COD<sub>Mn</sub>의 산화율을 Table 3에 나타내었다. 하천과 하수처리장 방류수

**Table 2.** Concentration of organic matters of each site (Mean±standard deviation).

Site	BOD (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Mn</sub> (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	TOC (mgC L <sup>-1</sup> )	DOC (mgC L <sup>-1</sup> )
H1	1.6±1.0	3.9±0.6	3.3±0.8	2.8±0.6
H2	1.4±1.5	5.3±1.2	3.6±0.5	3.3±0.6
H3	2.0±1.3	4.6±0.9	3.9±0.3	3.1±0.2
N1	1.5±0.6	3.0±0.4	2.8±0.6	2.0±0.4
N2	16.1±7.7	16.8±7.2	13.3±3.3	9.8±1.4
N3	6.0±3.0	6.5±1.2	4.5±1.5	3.6±1.2
G1	4.5±2.0	8.4±0.6	6.6±1.3	5.8±1.0
G2	8.6±3.3	15.0±1.8	7.2±1.6	6.5±1.4
G3	6.9±2.1	10.7±1.2	6.8±0.7	6.4±0.6

**Table 3.** Biological decomposition efficiencies and ratio of DOC/TOC.

Site	DOC/TOC (%)	BOD/TOC (%)	COD <sub>Mn</sub> /TOC (%)
H1	81~91 (85±5)	5~28 (17±10) <sup>a)</sup>	32~48 (41±7)
H2	89~95 (92±3)	4~32 (13±11)	44~56 (50±5)
H3	78~85 (81±3)	8~35 (18±11)	35~49 (41±7)
N1	65~77 (72±5)	9~26 (18±7)	35~43 (37±4)
N2	68~98 (75±13)	14~51 (38±15)	20~49 (41±12)
N3	79~83 (80±2)	20~56 (43±14)	38~60 (51±9)
G1	83~91 (88±3)	18~35 (23±8)	34~54 (44±8)
G2	89~91 (90±1)	24~47 (40±9)	58~87 (73±13)
G3	93~94 (93±1)	19~49 (34±11)	46~58 (53±4)

<sup>a)</sup>Mean±standard deviation

에서 TOC 중 DOC가 차지하는 비율은 각각 72~93%, 75~92%로 대부분 70% 이상으로 용존성 형태로 존재하는 것으로 조사되었고, 용존성 비율이 높은 하수처리장 방류수의 유입으로 하천의 상류보다 하류지역에서 더 높은 경향을 보였다. 국내 연구결과와 비교해 보면 한강, 명지천 64%, 동강 79% (Kim *et al.*, 2007), 영산강 75%, 광주천 42% (Seo *et al.*, 2010), 황강 47% (Seong *et al.*, 2011)로 유역의 특성이나 조사시기에 따라 다양한 결과를 보였지만, 본 연구 결과와 대체로 비슷하거나 약간 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났다. 광주지역 하수처리장에서는 89% (Seo *et al.*, 2010), Lee *et al.* (2010)의 연구에서는 56~91%로 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

BOD와 COD<sub>Mn</sub>의 산화율을 보면 BOD의 경우 하천과 하수처리장 방류수에서 각각 17~34%, 13~40%, COD<sub>Mn</sub>의 경우 각각 37~53%, 41~73%로 나타나, TOC 중 DOC의 비율의 특성과 마찬가지로 하천의 하류에서 더 높아지는 것으로 나타났다. 하수처리장 BOD 산화율의 경우 구미 원평하수처리장(G2)에서 가장 높게 나타났는데, 이는 하수처리장으로 유입되는 유입수가 대체로 분해가 쉬

운 가정하수로 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 국내 하천에서 조사된 결과를 살펴보면, BOD와 COD<sub>Mn</sub>의 산화율은 한강수계 하천에서 각각 20% 내외, 30~75% (Kim *et al.*, 2007), 영산강수계 하천에서 각각 45, 63% (Seo *et al.*, 2010)로 본 연구와 비슷한 결과를 보였다. 하천에서 BOD의 산화율이 낮은 것은 외부로부터 난분해성 유기물의 직접적인 유입이 많고, 체류시간이 짧아 미생물에 의한 생물학적 분해가 낮기 때문인 것으로 보이며, COD<sub>Mn</sub> 산화율의 변동은 일차적으로 외부로부터 유입되는 유기물 양과 종류에 따라 크게 좌우되고, 그 외 하천의 물리적 환경이나 형태적 특성에 따라 유기물의 산화율이 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 하수처리장의 경우 Lee *et al.* (2010)의 연구에서는 34~50% (COD<sub>Mn</sub>), 광주지역 하수처리장에서 각각 34, 66% (Seo *et al.*, 2010), An (2009)의 연구에서는 48~88% (COD<sub>Mn</sub>)로 나타나, 하천에서와 마찬가지로 본 연구와 비슷한 결과를 보였다. 하수처리장 방류수는 생물학적 처리과정을 거쳐 방류되기 때문에 생분해성 유기물의 양이 적어 상대적으로 BOD로 산화시킬 수 있는 유기물의 양이 적으므로 BOD의 산화율이 하천수에 비해 낮게 나타난다고 하였는데 (Seo *et al.*, 2010), 본 연구에서는 구미 4단지 하수처리장 (H2) 지점을 제외하면, 거의 비슷하거나 조금 높은 산화율을 보이는 것으로 조사되었다. 이는 조사시기의 차이나 하수처리장 유입수의 유기물 특성에 따라 차이를 보이는 것으로 판단된다.

### 3. SUVA 및 DOC 분해실험 결과

DOC 분해실험 결과를 Table 4에 나타내었다. 하천 및 하수처리장 방류수의 L-DOC 농도는 각각 0.55~1.09, 0.53~1.47 mgC L<sup>-1</sup>로 나타났고, R-DOC 농도는 각각 1.49~

5.17, 2.79~9.14 mgC L<sup>-1</sup>로 조사되었다. L-DOC 농도의 경우 조사지역의 하천과 하수처리장 방류수의 농도 차이가 크지 않았고, 하천 하류에서도 하수처리장 방류수의 유입으로 인한 변화가 거의 없는 것으로 나타난 반면, R-DOC 농도의 경우 고농도의 하수처리장 방류수의 유입으로 하천의 하류에서 상류보다 농도가 증가하는 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 난분해성 유기물이 점차적으로 유기물오염도를 증가시키는 원인으로 작용할 가능성이 높을 것으로 보이며 상수 처리 시 소독부산물의 전구물질이 증가하는 원인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. DOC에 대한 R-DOC의 비율은 하천과 하수처리장 방류수에서 각각 73~82%, 78~93%로 조사되어, 하수처리장 방류수가 하천수보다 R-DOC의 비율이 대체로 높은 경향을 보였다. 국내·외에서 연구된 DOC에 대한 R-DOC의 비율을 살펴보면, 하천의 경우, 합천호로 유입되는 황강에서 80% (Seong *et al.*, 2011), 영산강 수계 하천에서 81% (Seo *et al.*, 2010), 금강 수계 하천에서 77% (Jang *et al.*, 2008), South Platt 강에서 30% (Croue *et al.*, 1998), Passaic 강은 12% (Marhaba and Van, 2000)로 본 연구 결과는 국내의 조사 결과와는 비슷하였지만, 국외의 결과보다 훨씬 높은 비율로 나타났다. 하수 처리장의 경우, Lee *et al.* (2009, 2010)의 연구에서 67, 67~90%, 광주지역 하수처리장에서 89% (Seo *et al.*, 2010)로 본 연구 결과가 거의 유사한 범위로 조사되었다. 일반적으로 하천의 경우 외부 육상으로부터 기원된 유기물의 유입이 많기 때문에 난분해성 유기물의 비율이 우세하게 나타나며 (Meyer, 1986; Grieve, 1990), 하수처리장 방류수의 경우 생물학적 처리를 거쳐 방류되기 때문에 생분해성 유기물보다 난분해성 유기물의 비율이 더 높은 것으로 판단된다. SUVA 값의 경우 하천과 하수처리장 방류수의 0 day 조사결과 각각 1.6~1.8, 1.6~1.9, 30 day 조사결과 2.4~3.0, 2.2~3.2로

**Table 4.** Results of biological decomposition experiment and SUVA.

Site	L-DOC (mgC L <sup>-1</sup> )	R-DOC (mgC L <sup>-1</sup> )	R-DOC/DOC (%)	SUVA (LmgC <sup>-1</sup> )	
				0 day	30 day
H1	0.49~0.95 (0.74±0.18) <sup>a)</sup>	1.47~2.56 (1.99±0.40)	71~75 (73±1)	1.3~1.9 (1.6±0.3)	2.3~3.0 (2.7±0.4)
H2	<b>0.34~0.83 (0.53±0.19)</b>	<b>2.28~3.32 (2.79±0.38)</b>	<b>80~89 (84±3)</b>	<b>1.3~2.0 (1.6±0.3)</b>	<b>1.9~3.2 (2.7±0.5)</b>
H3	0.60~1.16 (0.84±0.21)	1.99~2.77 (2.31±0.29)	65~82 (73±6)	1.3~1.8 (1.6±0.2)	2.3~3.1 (2.6±0.3)
N1	0.40~0.83 (0.55±0.18)	1.20~1.75 (1.49±0.24)	66~76 (73±4)	1.4~2.3 (1.8±0.3)	2.4~3.2 (3.0±0.4)
N2	<b>0.46~0.81 (0.65±0.13)</b>	<b>7.56~10.62 (9.14±1.37)</b>	<b>92~95 (93±1)</b>	<b>1.3~1.9 (1.6±0.2)</b>	<b>1.9~2.6 (2.2±0.3)</b>
N3	0.36~1.07 (0.62±0.30)	1.84~4.45 (2.97±0.94)	71~89 (82±7)	1.1~2.0 (1.6±0.4)	1.9~4.7 (2.8±1.1)
G1	0.87~1.22 (1.04±0.14)	3.73~6.32 (4.79±1.13)	75~88 (81±5)	1.4~1.8 (1.6±0.2)	2.1~2.8 (2.4±0.3)
G2	<b>1.01~1.80 (1.47±0.37)</b>	<b>4.24~6.45 (5.14±0.94)</b>	<b>73~81 (78±3)</b>	<b>1.7~2.1 (1.9±0.2)</b>	<b>2.9~3.6 (3.2±0.3)</b>
G3	0.58~1.58 (1.09±0.39)	4.47~6.49 (5.17±0.81)	74~89 (82±6)	1.6~1.8 (1.7±0.1)	2.2~2.9 (2.6±0.3)

<sup>a)</sup>Mean±standard deviation



조사되어 하천과 하수처리장에서 큰 차이를 보이지 않고 비슷한 결과를 보였다. 이는 영산강 수계 하천 및 광주지역 하수처리장에서 조사된 1.6~3.4, 2.0~3.0의 결과 및 16개 생활하수처리장을 대상으로 조사된 1.3~5.7 (평균 2.1)과 거의 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다 (Lee *et al.* 2009). 0 day보다 30 day의 SUVA 값이 증가하였는데, 이는 생분해성 유기물의 분해로 인해 난분해성의 비율이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

4. 각 항목별 상관관계 분석

하천과 하수처리장 방류수에서 측정된 유기물 항목 간의 상관관계를 나타내었다 (Tables 5, 6). 하천의 상관계수

를 살펴보면, TOC와 R-DOC 간의 상관계수가 0.998로 가장 높게 나타났고, SUVA와 유기물 항목간의 상관계수는 모두 음의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 하수처리장 방류수의 상관계수를 살펴보면, 하천의 경우와 마찬가지로 TOC와 R-DOC 간의 상관계수가 가장 높게 나타났다. 하천과 하수처리장에서 유기물 항목 (BOD, COD<sub>Mn</sub>, TOC) 간의 상관계수는 측정방법 별 산화율의 차이는 있지만, 0.800 이상으로 전체적으로 유의한 상관성을 보였다. 그러나 난분해성 물질을 나타내는 R-DOC와 SUVA 값에서는 유의한 상관성을 보이지 않아 본 연구에서는 일반적으로 높은 SUVA 값은 유기물 내 방향족 탄소성분이 많다는 기존의 연구 (Chin *et al.*, 1997)와 다른 결과를 보였다. 이는 Lee *et al.* (2009)의 연구에서 16개 하수처리

Table 5. The correlation coefficients among the water quality indices measured in all river samples.

Parameters	BOD	COD <sub>Mn</sub>	TOC	L-DOC	R-DOC	SUVA
BOD	–	0.899*	0.810	0.502	0.822*	–0.136
COD <sub>Mn</sub>	–	–	0.972**	0.822*	0.980**	–0.150
TOC	–	–	–	0.881*	0.998**	–0.219
L-DOC	–	–	–	–	0.877*	–0.272
R-DOC	–	–	–	–	–	–0.190
SUVA	–	–	–	–	–	–

(\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, p: significance level)

Table 6. The correlation coefficients among the water quality indices measured in sewage effluents.

Parameters	BOD	COD <sub>Mn</sub>	TOC	L-DOC	R-DOC	SUVA
BOD	–	0.925	0.991	0.106	0.991	–0.012
COD <sub>Mn</sub>	–	–	0.865	0.475	0.865	0.369
TOC	–	–	–	–0.030	1.000**	–0.147
L-DOC	–	–	–	–	–0.031	0.993
R-DOC	–	–	–	–	–	–0.148
SUVA	–	–	–	–	–	–

(\*\*): p<0.01, p: significance level)

Table 7. Effects of sewage effluent on the river.

Site	Flowrate (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	TOC load (kg d <sup>-1</sup> )	TOC load (kg d <sup>-1</sup> )			
			L-DOC	R-DOC	POC	
Gumi industrial complex 4	H2	12,186	44	6	34	4
Gumi industrial complex 4	H3	37,411	146	6	34	4
Effect (%)		33	30	184	2,592	996
Gumi	N2	283,613	3,772	1	10	3
Gumi	N3	5,978,880	26,905	1	10	3
Effect (%)		5	14	18	62	8
Wonpyeong	G2	33,136	239	49	170	20
Wonpyeong	G3	40,090	273	49	170	20
Effect (%)		83	88	21	71	8

장을 대상으로 조사한 결과 DOC에 대한 R-DOC의 비율은 평균 66%로 높지만 SUVA 값의 경우 평균 2.1로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

### 5. 하수처리장 방류수가 하천에 미치는 영향

하수처리장 방류수의 TOC가 하천에 미치는 영향을 Table 7에 나타내었다. 구미 4단지(H2), 구미(N2), 구미 원평(G2)하수 처리장 방류수의 유량이 하천에서 차지하는 비율은 각각 33, 5, 83%로 나타났는데, 국가하천인 낙동강에 위치한 구미하수처리장(N2)은 처리용량은 조사지점 중 가장 크지만, 하천 하류지역에서 차지하는 비율은 가장 적은 것으로 나타났고, 구미천에 위치한 구미 원평하수처리장(G2)은 조사시기에 상류로부터의 유량이 거의 없어 하천 하류에서 전체 유량의 83%로 대부분을 차지하였다. 하수 처리장 방류수가 하천 하류에서 차지하는 TOC 부하량의 비율은 각각 30, 14, 88%로 구미 4단지 하수처리장(H2)의 경우 유량의 비율과 비슷하였고, 구미(N2), 구미 원평(G2)하수 처리장은 유량의 비율보다 더 많은 부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 또한 낙동강 하류지점(H3)에서 구미 지역 하수처리장 방류수의 TOC의 부하량이 차지하는 비율은 약 15%로 조사되었다. 하천 하류에서 처리장 방류수가 차지하는 비율은 구미 원평하수처리장(G2)를 제외하면 비교적 낮은 비율이지만, 하수처리장 방류수 중에는 난분해성 유기물이 차지하는 비율이 높기 때문에 향후 유기물 오염도를 증가시키는 원인으로 작용할 가능성이 높을 것으로 보인다. 또한 본 연구의 조사기간이 갈수기가 대부분이었기 때문에 향후 갈수기를 제외한 평수기, 풍수기 조사결과를 분석해보면 좀 더 다른 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 따른 결과를 통해 향후 수질관리 목표와 기준을 설정, 수계의 유역관리 정책 수립 및 유기물오염총량 관리계획 수립 시 다양한 관리 방안이 도출 될 수 있을 것으로 사료된다.

### 적 요

본 연구는 하수처리장 방류수가 하천 유기물 오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 구미시 관내에 위치한 구미 4단지, 구미, 구미 원평하수처리장 방류수와 처리장 상·하류 하천을 조사하였다. TOC 중 DOC가 70% 이상으로 대부분 용존성으로 존재하였고, TOC에 대한 BOD, COD<sub>Mn</sub>의 산화율은 각각 13~43%, 37~73%로 나타났다.

하지만 현재 사용되고 있는 BOD, COD<sub>Mn</sub>이 총 유기탄소에서 차지하는 비율이 약 50% 이하로 나타나, 유기물을 대표하는 데 어려움이 있을 것으로 보이며, 향후 TOC로 지표를 전환하는 방향도 모색해 보아야 할 것으로 판단된다. DOC 분해실험 결과 DOC 중 R-DOC가 70% 이상으로 난분해성 유기물이 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 하수처리장 방류수의 유기물이 하천에 미치는 영향을 보면, 낙동강 하류에서 구미 4단지, 구미, 구미 원평하수처리장 방류수의 총 TOC 부하량이 차지하는 비율은 15%로 나타났다. 총 비율은 15%로 비교적 많은 부분을 차지하지는 않았지만 이 중 생분해성 유기물보다 난분해성 유기물이 더 많은 부분을 차지하는 것으로 나타나, 상수 처리 시 소독부산물의 전구물질이 증가하는 원인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 사 사

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임(2010-104-078).

### 인 용 문 헌

- An, Y.K. 2009. A study on the relationship between TOC and COD at effluent of the Sewage Treatment Plant. Graduate School of Kumoh National Institute of Technology.
- Byun, J.D., T.D. Kim, B.H. Jung, T.S. Shin and H.O. Kim. 2010. TOC as a potential index for organic contents of wastewater treatment plant effluents. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* **13**(2): 99-103.
- Chin, Y.P., G.R. Aiken and K.M. Danielsen. 1997. Binding of pyrene to aquatic and commercial humic substances: The role of molecular weight and aromaticity. *Environmental Science and Technology* **31**(6): 1630-1635.
- Croue, J.P., G.V. Korshin, J.A. Leenheer and M.M. Benjamin. 1998. Isolation fractionation and characterization of natural organic matter in drinking water. AWWARF report.
- Degens, E.T. 1982. SCOPE/UNEP Transport of carbon and minerals in major river part 1, University of Hamburg, German.
- Dignac, M.F., P. Ginestet, D. Rybacki, A. Bruchet, V. Urbail and P. Scribe. 2000. Fate of wastewater organic pollu-

- tion during activated sludge treatment: Nature of residual organic matter. *Water Research* **34**(17): 4185-4194.
- Grieve, I.C. 1990. Seasonal, hydrological, and land management factors controlling dissolved organic carbon concentrations in the Loch Fleet catchments, southwest Scotland. *Hydrological Processes* **4**: 231-239.
- Hong, J.H. and J.S. Sohn. 2004. Treatment efficiency and organic matter characterization of wastewater through activated sludge process and advanced wastewater treatment process. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* **18**(6): 807-813.
- Hur, J. and M.A. Schlautman. 2004. Influence of humic substance adsorptive fractionation on pyrene partitioning to dissolved and mineral-associated humic substance. *Environmental Science and Technology* **38**(22): 5871-5877.
- Imai, A., T. Fukushima, K. Matsushige, Y.H. Kim and K. Choi. 2002. Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants. *Water Research* **36**(4): 859-870.
- Jang, C.W., J.K. Kim, D.H. Kim, B.C. Kim and J.H. Park. 2008. The distribution of organic carbon and its decomposition rate in the Kum River, Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality* **24**(2): 174-179.
- Jung, N.I. 2007. Analysis and Prediction of Water Quality Variation in Flow Line of Gwangju Stream. Graduate School of Jhonnam National University.
- Kim, J.K., M.S. Shin, C.W. Jang, S.M. Jung and B.C. Kim. 2007. Comparison of TOC and DOC distribution and the oxidation efficiency of BOD and COD in several reservoirs and rivers in the Han River System. *Journal of Korean Society on Water Quality* **23**(1): 72-80.
- Kwak, M.A., J.H. Jung, S.M. Eo and H.K. Lee. 2004. The assessment on the effect of discharge and variation of water quality from the sewage treatment plants in Seoul. *Korean Journal of Sanitation* **19**(3): 1-13.
- Lalah, J.O. and S.O. Wangdiga. 2007. Copper binding by dissolved organic matter in freshwaters in Kenya. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **79**: 633-638.
- Lee, T.H., B.M. Lee, J. Hur, M.S. Jung and T.G. Kang. 2010. Conversion of COD<sub>Mn</sub> into TOC and refractory organic matter concentrations for treated sewage using regression equations. *Journal of Korean Society on Water Quality* **26**(6): 969-975.
- Lee, T.H., M.H. Park, B.M. Lee, J. Hur and H.J. Yang. 2009. Effects of the characteristics of influent wastewater on removal efficiencies for organic matters in wastewater treatment plants. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**(5): 674-681.
- Marhaba, T.F. and D. Van. The variation of mass and disinfection by-product formation potential of dissolved organic matter fractions along a conventional surface water treatment plant. *Journal of Hazardous Materials* **A74**: 133-147.
- Meyer, J.L. 1986. Dissolved organic carbon dynamics in two subtropical blackwater rivers. *Archiv für Hydrobiologie* **108**: 119-134.
- Ogura, N. 1972. Rate and extent of decomposition of dissolved organic matter in surface seawater. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **13**: 89-93.
- Park, J.C., M. Aizaki, T. Fukushima and A. Otsuki. 1997. Production of labile and refractory dissolved organic carbon by zooplankton excretion: An experimental study using large outdoor continuous flow-through pond. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 434-443.
- Peiris, R.H., H. Budman, C. Moresoli and R.L. Legge. 2010. Understanding fouling behavior of ultrafiltration membrane processes and natural water using principal component analysis of fluorescence. *Journal of Membrane Science* **357**(1-1): 62-72.
- Selcuk, H., L. Rizzo, A.N. Nikolaou, S. Meric, V. Belgiorno and M. Bekbolet. 2007. DBPs formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation. *Desalination* **210**(1-3): 31-43.
- Seo, H.J., Y.J. Kang, K.W. Min, G.Y. Seo, S.H. Kim, K.J. Paik and S.J. Kim. 2010. Characteristics of distribution and decomposition of organic matters in stream water and sewage effluent. *Analytical Science and Technology* **23**(1): 36-44.
- Seoul Development institute. 1996. A Study on the Applicability of Small-Scale Sewage Treatment Facilities in Seoul.
- Seong, J.U., H.J. Kim and J.C. Park. 2011. Characteristics of TOC Distribution in Lake Hapcheon. *Journal of the Environmental Sciences* **20**(6): 711-719.
- Servais, P., G. Billen and M.C. Hascoet. 1987. Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. *Water Research* **21**: 445-450.
- Shin, J.K., J.L. Cho, S.J. Hwang, K.J. Cho. 2000. Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan Stream to paltang reservoir. *Korean Journal of Limnology* **33**(4): 387-394.
- Thurman, E.M. 1985. Organic geochemistry of natural water, Dordrecht, The Netherland.

(Manuscript received 1 March 2012,  
Revised 8 May 2012,  
Revision accepted 31 May 2012)