Journal of Environmental Science International
22(12); 1643~1650; December 2013

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.12.1643

ORIGINAL ARTICLE

구미시 하수처리 방류수가 하류 하천 영양염류에 미치는 영향: 부하량 비교

성진욱 · 이상팔 · 이재균 · 박제철*
금오공과대학교 환경공학과

Effects of Gumi City Sewage Treatment Effluent in the Downstream Nutrient Matter: Comparison of Daily Loading

Jin-Uk Seong, Sang-Pal Lee, Jae-Kyun Lee, Je-Chul Park*
Department of Environment Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

Abstract

This study investigated water quality of effluents and stream from the sewage treatment plants located at Gumi Complex 4, Gumi, and Wonpyeong in Gumi. Downstream region was found to increase the concentration of nutrients for sewage treatment plant effluent. Both phosphorus and nitrogen were accounted most as soluble form. In particular, the high ratio of dissolved effluent of sewage treatment plants were investigated. In the streams, Phosphorus concentration was high during rainy season and nitrogen concentration was high in the dry season. Sewage treatment plant effluent was relatively less microbial activity and nutrient concentrations were higher in the winter. TN/TP ratio was the highest in the upstream region and the lowest in the sewage treatment plant effluent. The effect of the nutrient matter from a discharge of a sewage treatment plant on rivers varied depending on the size of the river and the treatment plant. However, the influence of the concentration was greater than that of flowrate. Sewage treatment plant effluent loads phosphorus, nitrogen accounted for 8% and 6% respectively at the point N3 of the Nakdong river.

Key words : Effluent, Sewage treatment plant, Soluble form, TN/TP ratio, Nutrient matter

1. 서 론

하천과 호소의 수질은 일반적으로 유황에 따라 차이가 크고 유역의 최상류에서는 비교적 청정하나, 하류로 유하하면서 주위에 산재된 오염원의 영향으로 인해 악화되는 부영양화 양상이 나타나며, 하천의 중 · 하류는 지역의 개발에 의한 빠른 도시화, 인구 집중현상 및 생활수준의 향상으로 인해 용수요구량이 급증되고 각종 오 · 폐수가 증가하여 수질오염을 가속화시키고 있다(Im 등, 2000; Shin 등, 2000).

우리나라는 생활환경과 수질보전을 위하여 1979년 최초의 도시하수처리장인 청계하수처리장이 건설된 이래 현재 183개의 하수처리장이 운영 중에 있으며, 하수처리장의 시설용량은 총 19,188 천톤/day이며 이 중 59%가 표준활성슬러지법으로 운전되고 있다. 표준활성슬러지법은 BOD, SS 등을 90% 정도 제거하는

Received 25 April, 2013; **Revised** 10 June, 2013;
Accepted 12 June, 2013
***Corresponding author** : Je-Chul Park, Department of Environment Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea
Phone: +82-54-478-7633
E-mail: pjc1963@kumoh.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.

반면 질소와 인은 미생물에 필요한 영양소로 이용되어 제거되므로 질소와 인은 30～50% 정도로 처리효율이 낮다. 그동안 하수처리장의 건설 등 수질개선을 위한 많은 투자와 노력으로 한강 및 한강의 주요 지천의 수질은 꾸준히 개선되어 왔으나 대규모 하수처리장의 건설은 발생하수량의 대부분을 하수처리장으로 차집하여 처리하게 됨으로써 소규모 하천에서는 하천유지용량의 부족을 초래하여 자연하천으로서의 기능을 상실하고 있다. 특히 갈수기 하천의 수질은 하수처리장 방류수의 수질에 많은 영향을 받고 있는 실정이며(Jung 등, 2000), 이러한 하수처리장은 생활하수의 부하량을 효과적으로 삭감시킨다는 장점도 있으나 산재한 오수를 한 장소로 집중시켜 처리한 후 방류하는 방식 때문에 방류구가 위치한 인근하천의 수질오염은 필연적으로 나타날 수밖에 없고(Huh 등, 2005), 국외의 경우에도 질소와 인은 영양물질을 대표하며, 특히 인은 담수생태계에서 제한 영양소로 알려져 있다(Jarvie 등, 1998). 또한 하수처리장 방류수에서 나오는 과다한 영양물질은 수생식물의 급증을 야기하며, 용존 산소가 감소하는 현상을 일으키며, 유량이 적거나 많은 시기에 관계없이 관리가 이루어져야 한다는 보고가 있기 때문에(Mainstone과 Parr, 2002; Withers와 Lord, 2002), 대표적인 점오염원인 하수처리장 방류수의 관리가 필수적이다.

현재 국내 하수처리장 방류수의 수질기준은 2004년을 기하여 단계적으로 강화되었으나 강화된 수질 자체도 총인의 경우 처리장 조사대상 하천의 하수처리장 방류수가 합류되기 전의 수질에 비하여 약 200배가 높은 수준이다(Institute of Health and Environment, 1996). 또한 최근 수질오염총량제가 전국적으로 실시됨에 있어 각종 연구결과가 발표되고 있으며(Hwang 등, 2004), 이와 관련하여 주요 오염원인 하수처리장에서의 고도처리 공정이 추가되고 있다. 하지만 질소, 인을 제거하기 위한 국내의 하수고도처리기술은(Lee 등, 2003) 아직 취약하고 선진국의 하수 고도처리 기술을 도입할 경우에도 우리나라의 하수 특성이 외국의 특성과 다른 것을 감안할 경우 처리효율을 검증하기 어려운 실정이다.

수중의 조류의 발생량은 수체 내 영양염류, 빛 수체의 수리 · 수문학적 특성, 경쟁 및 섭식들에 의해 좌우되며 영양염 측면에서는 생물체의 요구에 비하여 생태계 내에서 가장 결핍된 원소의 양에 의해 결정된다(Wetzel, 2001). 담수생태계에서는 주로 인이 조류의 성장에 제한영양염으로 작용하므로(Schindler, 1974) 인의 과다한 유입이 조류번성의 주원인으로 제시되고 있다(Edmondson과 Lehman, 1981). 또한 영양상태가 부영양화로 진행됨에 따라 TN/TP의 변화가 생기고 이에 따라 조류의 출현 특성에까지 영향을 미친다는 보고도 있다(Schindler, 1977). 따라서 고농도의 하수처리장 방류수가 하천으로 유입되었을 때의 변화와 영향에 대한 평가가 반드시 이루어져야 한다.

하수처리장 방류수와 관련된 연구는 강원 영서지역 하수처리장이 수질에 미치는 영향, 경안천～팔당호 유역에서의 부영양화 수질오염 특성, 서울시 하수처리장 수질의 변동 연구 등(Huh 등, 2005; Kim 등, 2004; Kwak 등, 2004; Shin 등, 2000)이 있었으며, 하수처리장 방류수의 수질의 변동, 방류수의 영향 평가, 분포특성에 관한 연구(Byun 등, 2010; Hong과 Son, 2004; Seo 등, 2010), 처리효율 비교 및 유입수의 유기물 특성이 처리장 효율에 미치는 영향에 대한 연구(Lee 등, 2009), 유기물 지표로서의 적합성 평가 및 특성분석, 농도간의 상관관계식을 구한 연구가 있었다(Lee 등, 2010). 하지만 대부분 일반수질에 국한하여 연구가 진행되었으며 유기물 항목에 대한 평가가 대부분이었기 때문에, 수질뿐만 아니라 부하량의 평가, 영영염류 항목의 분포특성 및 하수처리장 방류수가 하류의 영양염류 부하량에 미치는 영향에 대해 면밀히 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 구미시 지역에 위치한 하수종말처리장(4단지, 구미, 원평) 방류수와 방류하천 상 · 하류를 대표지점으로 선정하여 N, P의 농도 및 유량을 측정하여 부하량을 산정하였으며, 이 결과를 토대로 하수처리 방류수의 N, P가 하천에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상지의 개요

조사대상지는 경북 구미지역에 위치한 하수처리장(구미 4단지, 구미, 구미 원평) 방류수 및 방류하천 상

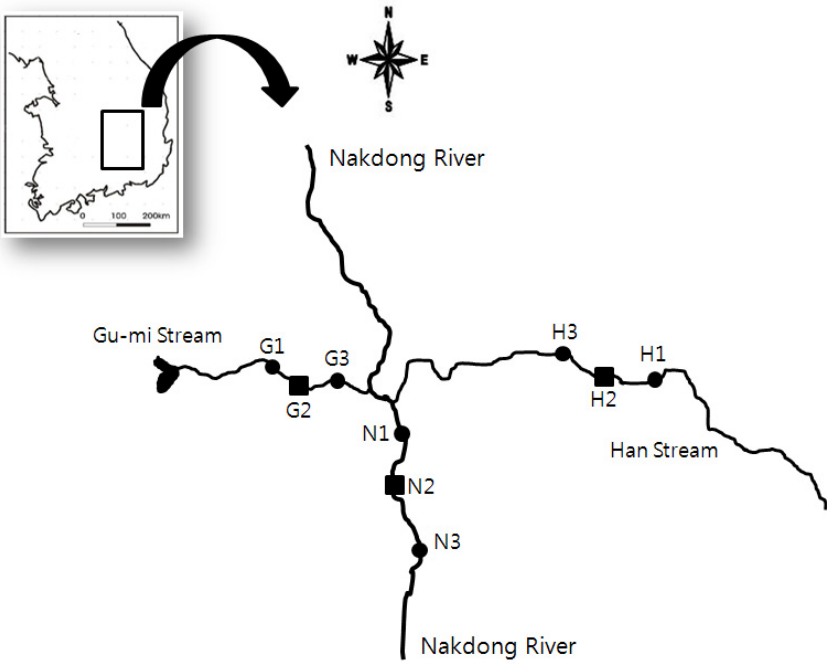

Fig. 1. Study area and the locations of survey sites.
(● : River, Stream, ■ : Sewage treatment plants effluent)

류지역(H1, N1, G1) 및 하류지역(H3, N3, G3)으로 하였다(Fig. 1). 구미 4단지하수처리장(H2, 처리용량 50,000 m^3/d)은 고도처리 A_2O 공법을 추가로 이용하여 공장하수를 주로 처리하며 유역이 주로 농촌으로 이루어진 한천에 위치하고 있으며, 구미하수처리장(N2, 처리용량 330,000 m^3/d)은 활성슬러지법으로 공장+생활하수를 주로 처리하며 국가하천인 낙동강으로 방류하고 있다. 원평하수처리장(G2, 60,000 m^3/d)은 고도처리 DNR 공법을 추가로 이용하여 생활하수를 처리하고 있으며 유역이 대부분 도시로 이루어진 구미천에 위치하고 있다. 본 연구에서는 각기 다른 처리공법 및 유입수의 특성 그리고 다양한 유역특성을 보이는 하수처리장과 하천 지역을 조사지점으로 선정하였다.

2.2. 조사시기 및 수질분석

조사기간은 2009년 10월부터 2010년 9월까지 총 12회(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 년 평균 자료를 이용하였다. 채수된 시료는 4℃이하로 보관하여 즉시 실험실로 운반하였고, 인(TP, DTP, PO_4), 질소(TN, DTN, NO_3, NH_3)는 수질오염공정시험기준에 따라 분석하였고, 부하량 계산은 측정된 유량에 총인(TP)와 총질소(TN) 농도를 곱하여 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하천 및 하수처리장 방류수의 N, P 변화

조사대상지의 TP, TN의 월별 농도변화를 Fig. 2에 나타내었다. 구미 4단지 하수처리장 지역 H1, H2, H3 지점의 TP 평균 농도는 각각 0.036, 0.274, 0.132 mg/L, TN 평균 농도는 각각 2.780, 5.761, 3.417 mg/L로 나타났다. 구미 하수처리장 지역 N1, N2, N3의 TP 평균 농도는 각각 0.094, 1.365, 0.326 mg/L, TN 평균

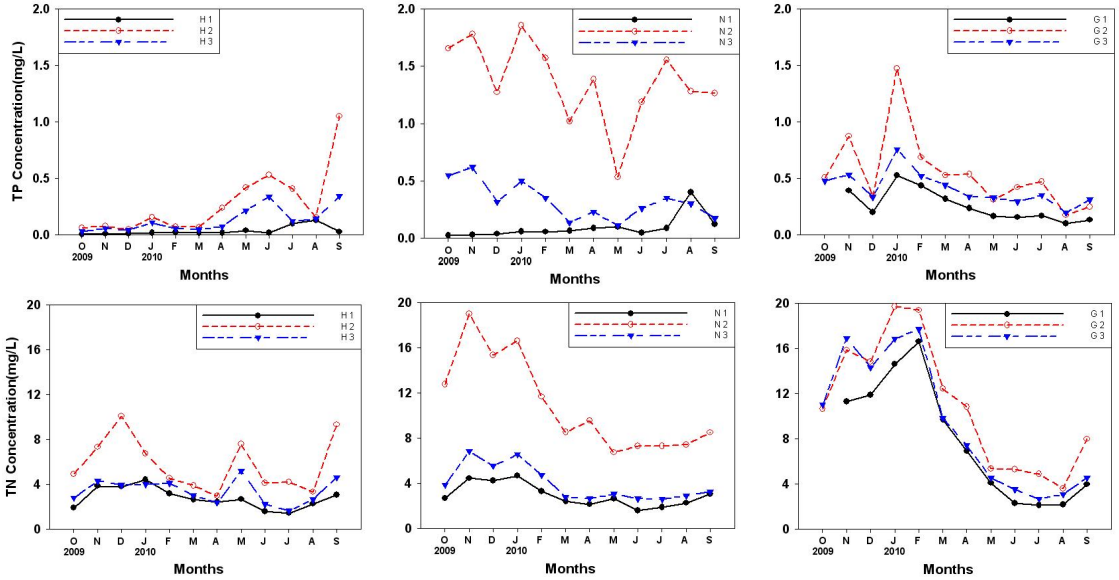

Fig. 2. Monthly variations of T-P and T-N at each sites.

농도는 각각 2.954, 10.902, 3.961 mg/L로 조사되었다. 구미 원평 하수처리장 지역 G1, G2, G3의 TP 평균 농도는 각각 0.258, 0.548, 0.407 mg/L, TN 평균 농도는 각각 7.802, 10.911, 9.379 mg/L로 조사되었다. 하수처리장 방류수가 유입되기 전 하천 상류지역에서 TP와 TN 농도가 가장 낮게 나타났고, 고농도의 하수처리장 방류수가 유입되어 하천 하류지역에서 농도가 높아지는 경향을 보였다. Huh 등(2005)이 섬강유역에서 원주천의 합류로 TN은 2.5배, TP는 20배가 증가한다는 연구결과가 있었는데 본 연구에서는 TN은 약 1.5배, TP의 경우 약 2~4배 증가하여 비율의 차이는 있었지만 비슷한 패턴을 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 하천의 TP 농도를 하천 생활환경 기준과 비교하여 보면 하천 상류지역의 경우 농촌 하천(H1)과 국가하천(N1)에서는 각각 좋음(0.04 mg/L 이하), 약간 좋음(0.1 mg/L 이하)으로 나타났고, 도시 하천(G1)에서는 약간 나쁨(0.3 mg/L 이하) 등급을 보였고, 하천 하류지역의 경우 H3 보통(0.2 mg/L 이하), N3, G3 나쁨(0.5 mg/L 이하)으로 하수처리장 방류수의 유입으로 하천 생활환경 기준 등급도 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 수질오염총량관리제도에서 총인(TP)항목이 추가됨에 따라 2012년 1월 1일 이후 TP의 하수처리장 방류수 기준이 크게 강화되었기 때문에 향후 추가적인 연구를 통해 방류하천에 대한 하수처리장 방류수의 영향을 비교해 볼 필요성이 있을 것으로 보인다. 영양염류 농도의 계절별 변동을 보면 하천의 경우 인은 대체로 갈수기에 낮고 풍수기에 높게 나타났고, 질소는 이와 반대로 갈수기에 높고 풍수기에 낮은 경향을 보였다. 하수처리장 방류수의 경우 미생물의 활성도가 낮은 겨울철에 농도가 높은 것으로 나타났다. 하지만 유역이 도시로 이루어진 구미천의 경우 갈수기(겨울철)에 인, 질소 농도가 매우 높았는데 이는 도시지역의 불명하수 유입에 의한 것으로 판단되었다.

3.2. 하수처리장 방류수 및 방류하천의 N, P 존재형태별 분포

지점별 TP와 TN에 대한 DTP(Dissolved Total Phosphorus), DTN(Dissolved Total Nitrogen) 비율 및 DTP와 DTN 중 존재형태별 비율을 Table 1에 나타내었다. TP에 대한 DTP의 비율은 하천상류, 하수처리장 방류수, 하천하류에서 각각 평균 64, 79, 76%로 하천상류 지역에서 가장 낮았고 용존성 비율이 높은 하수처리장 방류수의 유입으로 하천하류지역에서 DTP의 비율이 높아지는 경향을 보였다. DTP에서

Table 1. Distribution of TP and TN existence form (Unit : %)

Site	DTP/TP	PO_4/DTP	DTN/TN	NO_3/DTN	NH_3/DTN
H1	64	61	97	66	2
H2	81	59	91	44	6
H3	76	58	95	61	6
N1	46	80	92	67	2
N2	89	82	96	39	15
N3	75	82	92	60	11
G1	81	80	95	32	18
G2	66	81	94	26	27
G3	77	84	96	27	19

PO_4가 차지하는 비율은 구미 4단지 하수처리장 지역(H1～3)을 제외하고는 모두 80%이상의 비율을 보였고 전체적으로도 약 60%이상으로 DTP 중 PO_4가 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. TN에 대한 DTN의 비율은 하천과 하수처리장 방류수 모두 90%이상으로 거의 대부분이 용존성 형태로 존재하는 것으로 나타났고, DTN 중 NO_3가 차지하는 비율은 하천지역에서 비교적 높고, 하수처리장 방류수에서 낮은 비율을 보이는 것으로 조사되었다. NH_3의 비율은 구미 원평하수처리장 지역에서 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 유역의 구성이 도시지역으로 이루어져있고, 하수처리장의 경우에도 주로 가정하수를 대부분 처리하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

N과 P의 상대적인 풍부성은 수중 식물군집의 양과 종조성에 중요한 영향을 미치게 되며(McCauley 등, 1989; Smith, 1986), 특히 N/P 비는 수질의 영양상태와 밀접한 관련성이 있다. 수질이 오염될수록 그 비율이 감소하고 오염이 덜할수록 증가하는 경향을 보이며 P에 비해 상대적으로 N의 함량이 매우 클 때 그 값이 커서 담수에서 P는 식물의 생장에 대해 제한영양염으로 작용될 수 있다(Downing과 McCauley, 1992). 본 연구에서 조사된 N/P비를 보면 하천 상류 46, 하수 처리장 방류수 16, 하천 하류 20으로 비교적 수질이 양호한 하천 상류지역에서 가장 높고, 하수처리장 방류수가 가장 낮은 것으로 조사되었다(Fig. 3). 하지만 공통적으로 Redfield(1958)가 제안한 N/P 비의 제한영양염 기준인 16보다 높은 값을 보여 하천과 하수처리장 방류수 모두 인이 제한영양염인 것으로 나타나 향후 인을 더 중점적으로 관리하여야 할 것으로 보인다. 또한 Schindler(1977)는 N/P 무게비를 낮추었을 때 즉, 질소가 결핍될 때 질소 고정 능력이 있는 남조류가 우점하게 된다고 하였다. 또한 Huh 등(1991)도 소양호의 경우 N/P 비의 감소와 남조류의 출현이 일치하고 있다고 연구한 결과가 있다. 본 연구에서도 하천의 상류에서 하류로 갈수록 하수처리장 방류수의 유입으로 N/P 비가 감소하고 있는데, 하수처리장 방류수가 지류하천을 통해 낙동강으로 유입된다면 남조류의 출현이 일어날 가능성이 높아질 수 있기 때문에 대표적인 점오염원인 하수처리장 방류수의 관리가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

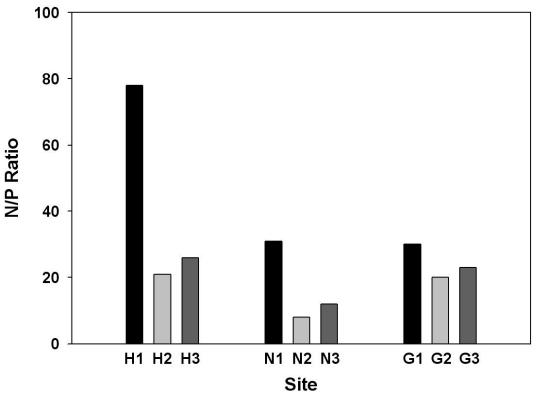

Fig. 3. Ratio of N/P at each sites.

3.3. 하수처리장 방류수 TP, TN이 방류하천에 미치는 영향

하수처리장 방류수의 부하량이 하류 하천에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 하류 하천에서 처리

장 방류수 유량이 차지하는 비율은 H3 9%, N3 1%, G3 33%로 국가하천으로 유입되는 구미 하수처리장 지역에서 가장 작았고, 도시하천 유역에 있는 구미 원평하수처리장 지역에서 가장 많은 비율을 차지하였다. 동일지점에서 유기물의 영향에서 조사된 Seong과 Park(2012)의 연구에서 하수처리장 방류수 유량이 차지하는 비율은 H3 33%, N3 5%, G3 83%로 본 연구와 다소 차이가 났는데, 이는 기존의 조사는 갈수기에 조사가 이루어졌고 본 연구에서는 평수기와 풍수기의 결과가 추가되었기 때문인 것으로 판단된다. 하수처리장 TP 부하량이 하류 하천에서 차지하는 비율은 H3 17%, N3 8%, G3 62%, TN의 경우 H3 19%, N3 5%, G3 64%를 차지하여 하천 및 처리장 규모에 따라 다양하게 나타났지만, 공통적으로 하수처리장의 유량보다 농도가 하천 하류의 부하량에 미치는 영향이 더 큰 것으로 조사되었다. 이는 Seong과 Park(2012)의 연구에서 TOC가 하류 하천에서 차지하는 비율이 H3 30%, N3 14%, G3 88%로 나타났는데, 이 또한 유량의 결과와 마찬가지로 조사기간의 차이로 인한 결과로 보인다. Huh 등(2005)이 홍천하수처리장 유역에서 조사한 결과를 보면 하수처리장의 TP 부하량이 홍천강 합류점에서 차지하는 비율이 2.3%로 조사되어 본 연구의 결과와는 다소 차이를 보였는데 이는 하수처리장의 규모와 방류하천의 유역특성, 하천 유량에서 기인한 것으로 판단된다.

4. 결 론

구미시 지역에 위치한 하수종말처리장(구미 4단지, 구미, 구미 원평) 처리수와 처리장 상 · 하류의 대표지점을 대상으로 하수 처리수가 하천에 미치는 영양염류의 특성과 부하량의 영향을 알아보기 위하여 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 하수처리장 방류수가 유입되어 하천상류보다 하천하류 지역에서 영양염류 농도가 다소 증가하는 것으로 나타났고, 인과 질소 모두 용존성 형태가 대부분을 차지하였고, 특히 하수처리장 방류수의 용존성 비율이 높은 것으로 조사되었다.

2) 하천에서 인은 강우기에, 질소는 비강우기에 높은 경향을 보였고, 하수처리장은 미생물 활성도가 비교적 떨어지는 겨울철에 영양염류 농도가 높은 것으로 나타났다. 도시하천인 구미천의 경우 갈수기(겨울철)에 인, 질소 농도가 매우 높았는데 이는 도시지역의 불명하수 유입에 의한 것으로 판단되었다.

3) N/P 비는 비교적 수질이 양호한 하천 상류지역에서 가장 높고, 하수처리장 방류수가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 하지만 공통적으로 N/P 비의 제한영양염 기준인 16보다 높은 값을 보여 하천과 하수처리장 방류수 모두 인이 제한영양염인 것으로 나타났다.

4) 하수처리장 방류수의 부하량이 하류하천에 미치는 영향은 하천 및 처리장 규모에 따라 다양하게 나타났으나, 공통적으로 하수처리장의 유량보다 농도가

Table 2. Effects of sewage effluent on the river

Site		Flowrate (m^3/d)	TP load (kg/d)	TN load (kg/d)
Gumi industrial complex 4	H2	12,186	3,340	70,204
	H3	135,864	20,094	371,399
Effect(%)		**9.0**	**17**	**19**
Gumi	N2	283,613	387,132	3,092,020
	N3	19,118,88	5,110,626	61,411,770
Effect(%)		**1.0**	**8.0**	**5.0**
Wonpyeong	G2	33,136	18,170	361,539
	G3	101,671	29,445	566,783
Effect(%)		**33**	**62**	**64**

하천 하류에 미치는 영향이 더 큰 것으로 조사되었다. 본 연구에서 조사된 구미지역 3개의 하수 처리장 방류수의 부하량이 낙동강 하류(N3) 지점에서 차지하는 비율은 TP 8%, TN 6%로 조사되었다.

하수처리장 방류수의 TP와 TN의 부하량이 하류하천의 부하량 중 차지하는 비율은 10% 미만으로 낮았지만 최근 4대강 사업으로 보가 건설되어 하천의 체류시간이 늘어날 가능성이 많기 때문에 고농도의 하수처리장 방류수가 하천으로 유입될 경우 오염물질의 축적으로 인하여 부영양화 현상이 더욱 가속화 될 수 있을 것으로 보인다. 따라서 이러한 결과분석을 바탕으로 효율적인 수계의 유역관리 및 하수처리장 공정의 개선과 방류수 관리 정책들이 수립되어야 한다. 또한 현재 고도처리시설이 각 하수처리장에 설치되었는데 설치 이후의 모니터링 결과를 추적할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Byun, J. D., Kim, T. D., Jung, B. H., Shin, T. S., Kim, H. O., 2010, TOC as a potential index for organic contents of wastewater treatment plant effluents, J. Kor. Soc. Environ. Anal., 13(2), 99-103.

Downing, J. A., E. McCauley, 1992, The nitrogen: phosphorus relationship in lakes, Limnol. Oceanogr., 37, 936-945.

Edmonson, W. T., Lehman, J. L., 1981, The effect of changes in the nutrient income on the condition of lake Washington, Limnol. Oceanogr., 26, 1-29.

Heo, W. M., Kim, B. C., Cho, K. S., 1991, The bluegreen algal blooms in Lake Soyang and the change of N/P ratio with eutrophication, Kor. J. Limnol., 24(4), 283-288.

Hong, J. H., Sohn, J. S., 2004, Treatment efficiency and organic matter characterization of wastewater through activated sludge process and advanced wastewater treatment process. J. Kor. Soc. Water and Wastewater, 18(6), 807-813.

Huh, I. R., Choi, J. Y., Kim, Y. J., Jeong, U. H., 2005, Effect of municipal sewage treatment plant on water quality in Western Kangwon Area, Kor. L. Env. Hlth., 31(4), 235-240.

Hwang, K. L., Hwang, D. H., Paik, D. H., Lee, H. K., 2004, Study on allocation of pollution discharges by watershed and administrative regions with pollution sources for the TMDL(Total Maximum Daily Load) in Tamjin River, Kor. L. Env. Hlth., 30(5), 449-454.

Institute of Health and Environment, 1996, Seomgang watershed water quality survey report.

Jarvie, H. P., Whitton, B. A., Neal, C., 1998, Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation, sources and biological significance, Sci. Total Environ., 210/211, 79-110.

Jung, J. H., Lee, S. J., Lee, S. S., Han, S. K., Lee, Y. M., Kwak, M. A., Shin, J. S., 2000, The effect of sewage treatment plant discharge upon stream water quality, Report of S.I.H.E., 36, 312-316.

Kim, K. S., Cho, Y. H., Lee, S. H., Shin, Y. K., Nam, H. W., Ahn, T. S., Byeon, H. K., Bae, Y. S., 2004, The effect of the final effluent in the Seonam sewage treatment plant on water quality and ecosystem of the Hangang River, The Seoul Institute Publication, 5(2), 59-68.

Kwak, M. A., Jung, J. H., Eo, S. M., Lee, H. K., 2004, The assessment on the effect of discharge and variation of water quality from the sewage treatment plants in Seoul, Kor. J. Sanitation, 19(3), 1-13.

Lee, S. M., Shin, I. S., Eo, M. C., Choi, B. J., 2003, The study on the removal of organics by small-decentralized sewage treatment in Kangwon-do, Kor. J. Env. Hlth., 29(5), 71-77.

Lee, T. H., Park, M. H., Lee, B. M., Hur, J., Yang, H. J., 2009, Effects of the characteristics of influent wastewater on removal efficiencies for organic matters in wastwater treatment plants, J. Kor. Soc. Water Quality, 25(5), 674-681.

Lee, T. H., Lee, B. M., H, J., Jung, M. S., Kang, T. G., 2010, Conversion of COD_{Mn} into TOC and refractory organic matter concentrations for treated sewage using regression equations. J. Kor. Soc. Water Quality, 26(6), 969-975.

Mainstone, C. P., Parr, W., 2002, Phosphorus in rivers-ecology and management, Sci. Total Environ., 282/283, 25-47.

McCauley, E., J. A. Downing, S. Watson, 1989, Sigmoid relationships between nutrients and chlorophyll among lakes, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46, 1171-1175.

Redfield, A. C., 1958, The biological control of chemical factors in the evironment, Am. Sci., 46, 205-221.

Rim, C. S., Shin, J. K., Cho, K. J., 2000, The trend and assessment of water pollution from midstream to downstream of the Kum River, Kor. J. Limnol., 33(1), 51-60.

Schindler, D. W., 1974, Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management, Sci., 184, 897-899.

Schindler, D. W., 1997, Evolution of phosphorus limitation in lake, Sci., 195, 260-262.

Seo, H. J., Kang, Y. J., Min, K. W., Seo, G. Y., Kim, S. H., Paik, K. J., Kim, S. J., 2010, characteristics of distribution and decomposition of organic matters in stream water and sewage effluent, J. Analytical Science and Technology, 23(1), 36-44.

Seong, J. U., Park, J. C., 2012, Effects of sewage effluent on organic matters of Nakdong River: Comparison of daily loading, Kor. J. Limnol., 45(2), 210-217.

Shin, J. K., Cho, J. L., Hwang, S. J., Cho, K. J., 2000, Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan Stream to Paltang Reservoir, Kor. J. Limnol., 33(4), 387-394.

Shin, J. K., Cho, K. J., 2000, The impact on water quality from blue-green algae microcystis of natural phytoplankton by algal assay, J. Environ. Sci., 9(4), 267-273.

Smith, V. H, 1986, Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43, 148-153.

Wetzel, R. G.(ed.), 2001, Limnology 3rd edition, Academic Press.

Withers, P. J. A., Lord, E. I., 2002, Agricultural nutrient inputs to rivers and groundwaters in the UK: policy, environmental management and research needs, Sci. Total Environ., 282/283, 9-24.