

강원 영서지역 하수처리장이 수질에 미치는 영향

허인량[†] · 최지용 · 김영진 · 정의호
강원도보건환경연구원

Effect of Municipal Sewage Treatment Plant on Water Quality in Western Kangwon Area

In-Ryang Huh[†] · Ji-Yong Choi · Yeong-Jin Kim · Ui-Ho Jeong

Kangwon-do Health and Environmental Institute
(Received April 6, 2005; Accepted July 10, 2005)

ABSTRACT

The effects of municipal sewage treatment plants on the water quality and effluent loading were investigated. BOD removal rates from Wonju, Hoengseong, and Hongcheon municipal sewage treatment plants were 88.9%, 80.6%, 90.7% and T-P removal rates were 47.3%, 56.5%, 71.6%, respectively. Also, BOD effluent loading from Wonju, Hoengseong, and Hongcheon treatment plants were 1,520 kg/day, 75 kg/day, 55 kg/day and T-P effluent loading were 203.9 kg/day, 4.2 kg/day, 4.0 kg/day, respectively. In terms of water quality distribution by distance of flow, BOD of the Seom river rapidly rose from 1.6 mg/l to 4.0 mg/l and T-P rose from 0.034 mg/l to 0.321 mg/l. Also BOD of the Hongcheon river showed a slowly rise from 1.1 mg/l to 1.4 mg/l and T-P from 0.011 mg/l to 0.026 mg/l. In conclusion, the effects of municipal sewage treatment plants on the water quality proved that T-P was higher than BOD. Consequently, in order to improve water quality, it is necessary to adopt an advanced sewage treatment system like nutrient removal.

Keywords: water quality of Seom river, water quality of Hongcheon river, effluent loading of municipal sewage treatment plant, removal rate of municipal sewage treatment

I. 서 론

현대사회에 들어서면서 도시밀집화 현상이 필연적으로 나타나고 도시하수처리장은 필수불가결하게 설치 운영되었으며 유역내 각 가정으로부터 발생하는 생활오수를 관로를 통해 차집하여 대규모 하수처리설비를 이용하는 방식으로서 하수처리장은 생활하수의 부하량을 효과적으로 삭감시킨다는 장점도 있으나 산제한 오수를 한 장소로 집중시켜 처리한 후 방류하는 방식 때문에 방류구가 위치한 인근하천의 수질오염은 필연적으로 나타날 수 밖에 없는 실정이다. 현재 하수처리장 방류수의 수질기준은 2004년을 기하여 강화되었으나 강화된 수질 자체도 총인의 경우는 처리장 조사대상 하천의 하수처리장 방류수가 합류되기전의 수질에 비하여 약 200배가^{1,2)} 높은 수준으로 방류수 수질기준이 강

화되었다고 하지만 이 수질기준으로는 처리장 방류수 합류점 인근 수계의 부영양화를 막기에는 매우 어려운 실정이다.

처리수질의 결과는 하수량 및 특성과 적합한 설계 및 설비투자액 그리고 운전자의 성실성과 숙련도와 매우 연관되어 있듯이 수계내 대규모 오염유발시설로 부터 발생하는 영양염류도 최근 환경시설부분의 과감한 투자로 매우 높은 수질개선효과를 본 사례도 있다.³⁾ 또한 최근 오염총량제가 전국적으로 실시됨에 있어 각종 연 구결과가⁴⁾ 발표되고 있으며 이와 관련하여 주요 오염원인 하수처리장에서의 고도처리 공정이 추가되고 있다. 유기물 제거에 더하여 향후 한강수계에 건설되는 하수처리장은 질소, 인을 제거하는 고도처리시설을 설치하여야 하나⁴⁾ 질소, 인을 제거하기 위한 국내의 하수 고도처리기술은¹¹⁾ 아직 취약하고 선진국의 하수 고도처리 기술을 도입할 경우에도 우리나라의 하수 특성이 외국의 특성과 다르고 동절기 한강수계지역의 기온이 낮은 특성 등을 감안할 경우 처리효율을 검증하기 어려운 실정이다. 또한 기존의 하수처리장은 질소, 인 처리

[†]Corresponding author : Kangwon-do Health and Environmental Institute
Tel: 82-33-250-1700, Fax: 82-33-250-1749
E-mail : irhuh@gwd.go.kr

효율이 낮아 하천의 수질보전 등 수자원의 효율적인 관리 측면에서 매우 불리한 상황이다.

우리나라는 생활환경과 수질보전을 위하여 1979년 최초의 도시하수처리장인 청계하수처리장이 건설된 이래 현재 183개의 하수처리장의 시설용량은 총 19,188천톤일이며 이중 59%가 표준활성슬러지법으로 운전되고 있다. 표준활성슬러지 법은 BOD, SS 등을 90% 정도 제거하는 반면에 질소와 인은 미생물에 필요한 영양소로 이용되어 제거되므로 질소와 인은 30%~50% 정도로 처리효율이 낮다.⁵⁾ 따라서 질소와 인이 하천이나 호소에 방류되어 하천 및 호소의 부영양화가 심화되고 있으며 특히 유입된 인은 호수유역에서 정체되면서 1차 생산력의 제한인자가^{6,7)} 되며 예상밖의 유기물 생산에 기여하기도 한다.^{8,9)}

본 연구는 한강 유역에 설치운영중인 시 및 군단위 하수처리장이 위치한 수계 내에서 각각의 유역하천 및 처리장의 운영에 따른 방류수의 수질의 평가와 하수처리장 방류수가 인근 하천에 미치는 시·공간적인 평가로 유역하천의 수질관리에 기여하고자 하였다.

II. 연구내용

본 연구는 한강 상류의 주요 수계인 홍천강과 섬강에 위치한 하수처리장 및 인근 유역에 대하여 처리장의 수질 및 부하량 변동에 따른 유역하천의 수질에 대하여 평가하였다. 연구에 필요한 수질조사는 2004년 4월부터 10월까지 4회에 걸쳐서 실시하였으며 수질조사 지점 선정은 하수처리장 방류구를 기준으로 합류점 상류 및 하류에 대하여 유하거리별로 조사하였고 수질조사

지점은 Fig. 1과 같다. 또한 각각의 하수처리장으로부터 배출되는 하수 방류수가 합류되는 지점에서 유출부하량을 조사하여 하수 방류수가 하천의 유출부하량에 미치는 영향을 평가하였다. 그리고 하수처리장이 설치되기 이전부터 수질모니터링 사업의 일환으로 매일 조사하고 있는 수계의 대표 지점의 수질 분석 결과를 평가하여 하수처리장 설치 이후 인근 수계의 수질개선에 얼마나 영향을 미치는가에 대하여도 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 원주 및 홍천하수처리장의 월별 유입 및 처리수질

본 조사대상 유역의 수계는 크게 섬강유역과 홍천강유역으로 구분되며 3개 지역에서의 하수처리장별 처리효율은 Fig. 2와 같다. 섬강의 오염에 가장 큰 기여를 하고 있으며 원주천 유역에 위치하고 있는 원주시의 총 인구는 28만명이며 이중에서 원주시 도시하수처리장에서 처리하고 있는 하수처리 인구는 24만명으로 약 86%가 처리되고 있으며 이밖에 나머지는 도심으로부터 떨어진 농촌 마을로서 소규모 마을오수처리 시설에서 처리되고 있다. 본 처리장은 95년부터 가동이 시작되었으며 시설용량은 13만톤일이고 이중 현재 11만톤이 매일 처리되고 있다.

원주시 하수처리장으로 유입되는 생하수의 성상은 2004년 평균 BOD 83.7 mg/l이며 총질소 23.2 mg/l, 총인은 2.366 mg/l이었으며 이에 대하여 처리수의 수질은 BOD 9.3 mg/l, 총질소 17.8 mg/l, 총인 1.248 mg/l로 각각의 처리효율은 BOD, 총질소, 총인 순으로 88.9%, 23.2%, 47.3%로 질소의 처리효율이 매우 낮게 나타났다. 본 시설은 하천의 부영양화를 방지하기 위한 질소,

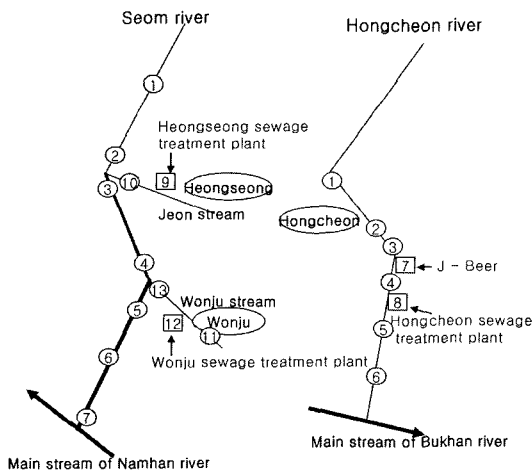


Fig. 1. Schematic diagram of sampling site.

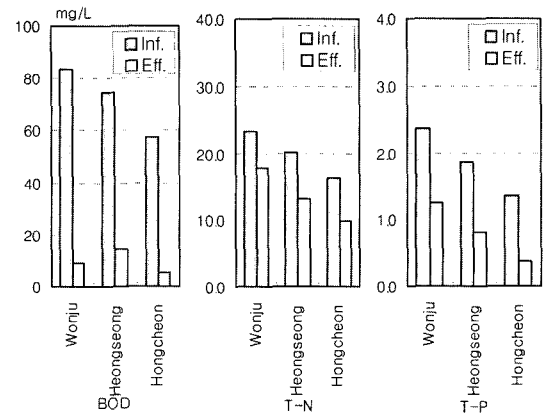


Fig. 2. BOD, T-N, and T-P removal of each municipal sewage treatment plant.

인과 같은 영양염류 제거 공정이 아직 가동되고 있지 못하며 2007년부터 가동할 예정이다. 섬강의 지류이며 섬강유역 중에서는 원주천 다음으로 오염밀도가 높은 전천은 횡성읍에서 발생하는 하수가 유입되는 지천이다. 횡성하수처리장의 경우 횡성읍의 행정구역 전체인 구 19,600명 중에서 17,000명은 처리인구로 산정하여 처리용량 일 최대 7,200톤의 시설용량으로 접촉산화 방식으로 가동되고 있다. 유입되는 하수의 BOD는 74.7 mg/l 총질소 20.2 mg/l 총인 1.86 mg/l이고 방류수의 수질은 BOD, 총질소, 총인, 각각 14.5 mg/l, 13.1 mg/l, 0.812 mg/l로 각각의 제거율은 80.6%, 35.1%, 56.5%로 나타났으며 2002년부터 개정된 방류수 수질기준에 의해 평가하면 12회 측정 중 10회에 걸쳐서 수질기준을 초과하고 있으며 현재 공정개선을 추진하고 있는 중이다.

홍천군 도심에서 발생하는 하수의 처리를 위하여 2002년 운전을 시작한 홍천하수처리장의 경우 1일 평균 하수 처리량은 16,000톤으로 연간 조사된 유입수의 농도는 BOD 57.3 mg/l, 총질소 16.3 mg/l, 총인 1.360 mg/l로 다른 처리장에 비해 상대적으로 낮게 나타났으며 방류수의 농도는 BOD, 총질소, 총인 각각 5.3 mg/l, 9.9 mg/l, 0.386 mg/l로 각각의 제거율은 90.7%, 39.3%, 71.6%로 나타났다.

2. 유하거리별 수질분포

섬강권역의 하수처리장이 위치한 횡성 및 원주권의 유하거리별 수질분포는 Fig. 3과 같다. 우선 BOD에 있어서 횡성권역의 하수처리장이 위치한 섬강의 제1지류 하천인 전천의 경우 횡성하수처리장 방류수 합류전 BOD 1.4 mg/l, 총인 0.042 mg/l로 BOD II 등급의 수질이 방류수 수질이 합류되면서 BOD 3.5 mg/l, 총인

0.148 mg/l로 III 등급의 수질로 섬강 본류로 유입되고 있다. 전천이 합류되기 전의 섬강의 수질은 비교적 청정한 수질상태를 유지하고 있으며 농촌지역으로서 원주 및 횡성 광역권의 상수원을 제공하는 횡성댐이 위치하고 있는 지역이기도 하다. 전천합류전의 섬강 본류의 BOD 및 총인은 0.9 mg/l와 0.019 mg/l로 BOD 기준 I 등급의 청정한 수질을 유지하고 있으나 영양염류인 총인의 농도는 인근 경작지로부터 유출되는 비료성분의 유출로 인하여 BOD에 비해서는 다소 영향을 받은 것으로 판단된다. 비교적 청정한 섬강상류의 수질은 하수에 의해 오염된 전천이 합류되면서 BOD는 1.2 mg/l로 증가하였으며 총인은 2배가 증가한 0.022 mg/l로 오염이 심화되는 것을 볼 수 있었다.

섬강유역중에서 가장 큰 오염원을 포함하고 있는 원주천은 원주시에서 발생하는 하수의 대부분을 처리하여 방류되는 하천이며 본 수계는 섬강의 중류로 유입된다. 심하게 오염된 원주천의 유량은 섬강 본류의 유량에 비해 상당량을 차지하며 원주천이 합류되기 전의 섬강상류의 유량에 비해 평수기 때에는 50% 정도를 차지하며 갈수기 때에는 오히려 많은 유량을 나타낸다. 섬강의 수질을 개선하기 위하여는 원주천의 수질개선이 최우선시 되어야 하며 이를 위해서는 원주하수처리장으로부터 방류되는 하수처리 효율을 개선하는데 최대한의 노력을 경주 하여야 할 것이며 방류수가 합류된 후 원주천의 최종점에서는 BOD 9.9 mg/l 총질소 9.989 mg/l, 총인 0.959 mg/l로 매우 심각한 수질오염상태를 보이고 있다. 섬강 본류수계에서 원주천이 합류한후 3 km를 유하한 장현교 지점에서의 수질은 BOD 4.0 mg/l, 총질소 4.996 mg/l, 총인 0.321 mg/l로 원주천이 합류되기 전 지점에 비해 BOD는 3.3배 총질소는 2.5배, 총인은 무려 20배가 증가하여 섬강에 대한 원주천의 수질 기여도가 매우 심한 것을 볼 수 있었다. 이후 수질은 자정작용 및 인근 청정한 지류의 유입에 의한 희석효과로 완만하게 개선되어 4.5 km 하류인 옥계대교 지점에서는 BOD 3.4 mg/l, 총질소 3.724 mg/l, 총인 0.214 mg/l로 다소 감소하였다. 옥계대교로부터 19 km 하류인 문막교 지점에서는 자정의 효과로 인하여 BOD 1.3 mg/l, 총질소 3.505 mg/l, 총인 0.191 mg/l로 BOD의 경우는 50% 이상 감소되었으며 이밖에 영양염류는 5.9%~10.1%의 감소를 보여 주었으며 과거 조사결과와 유사한 패턴을¹⁾ 보이고 있었다.

홍천강권역의 하수처리장 방류수에 의한 유하거리별 분포는 Fig. 4와 같다. BOD에 있어서 홍천 하수처리장으로부터 10 km 상류이며 홍천 도심의 상류로서 홍천읍의 취수장이 위치하고 있는 태학 지점의 경우

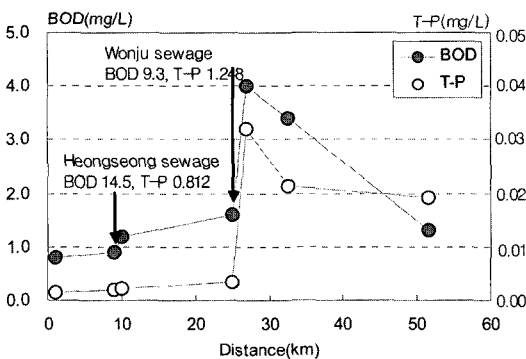


Fig. 3. Water quality distribution of Seom river by distance of flow.

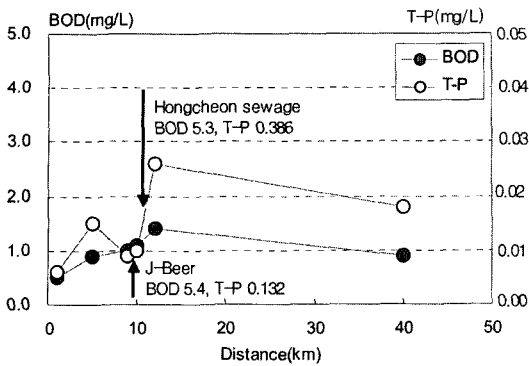


Fig. 4. Water quality distribution of Hongcheon river by distance of flow.

BOD 0.5 mg/l, 총인 0.006 mg/l로 매우 청정한 수질상태를 유지하고 있었으며 하수처리장으로부터 4 km 하류이며 홍천읍 도심을 관류한 연봉지점에서 수질은 다소 증가하여 BOD 1.0 mg/l, 총인 0.010 mg/l를 보여주었다 본 지점에서의 수질은 2002년 홍천하수처리장이 건설되기 전에는 홍천읍에서 발생하는 하수가 유입되는 지점으로서 II 등급의 수질상태를 유지하였는데 현재 I 등급으로 개선된 수질상태를 나타내고 있다. 연봉 지점으로부터 5 km 하류에는 홍천읍 내에서 홍천하수처리장을 제외하고는 점오염원으로 가장 규모가 큰 맥주공장인 J 업체가 소재하며 1일 7,000톤의 처리수를 방류하고 있다. 공장 가동 초기에는 고농도의 영양염류를 함유한 폐수 특성상 방류수 총인농도는 1.8 mg/l로 총량으로 평가하면 분류 합류점기준 유출부하량은 무려 31.7%를 차지하고 있었으며 이후 시설투자 및 공정 개선을 통해 방류수의 총인 농도를 10배 이상 감소시켜 현재 방류수의 BOD 및 총인 농도는 5.4 mg/l, 0.132 mg/l로 방류되고 있으며 이는 홍천강의 합류점에서의 유출부하량의 2.3%가 되는 수준이며 Fig. 4에서 보듯이 J 맥주공장의 방류수에 의한 수질의 영향은 미미한 것으로 나타났다.

홍천하수처리장으로 부터 17 km 하류인 도사곡 지점에서는 BOD 1.4 mg/l, 총인 0.026 mg/l로 하수가 합류되기 전 지점에 비해 BOD는 21%, 총인은 2.9배가 증가하는 것으로 나타났다. 홍천강 수질조사 지점중에서 가장 하류에 위치하며 매일 정기 수질측정망으로 운영되는 팔봉지점에서 자정에 효과로 인하여 BOD 0.9 mg/l, 총질소 2.679 mg/l, 총인 0.018 mg/l로 BOD 및 총인 감소율은 각각 36%, 31%를 보여주었다.

3. 대상 하천별 유출부하량 모식도

섬강유역의 수질과 유량의 곱으로 표현되는 유출부하

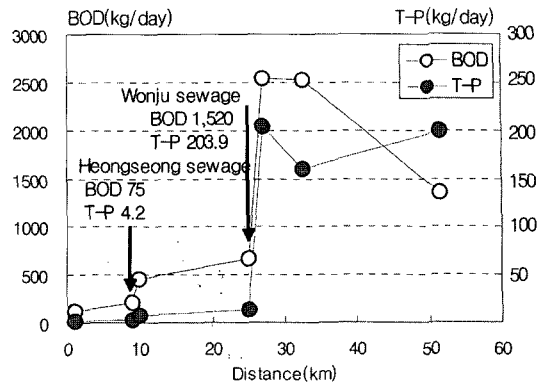


Fig. 5. Effluent loading of Seom river by distance of flow.

량의 분포는 Fig. 5와 같다. 본 연구에서 섬강수계 중 가장 상류로 선정된 계천은 현재 매일 수질정기 측정망이 운영되고 있는 지점이며 전천이 합류되기 8 km 상류에 위치하며 본 지점에서의 BOD 및 총인의 유출부하량은 129 kg/day, 2.2 kg/day이며 전천과 합류되기 직전의 섬강 본류의 유출부하량은 217 kg/day, 2.7 kg/day로 조사되었다. 황성하수처리장에 의해 유출되는 BOD, 총인 부하량은 각각 75 kg/day, 4.2 kg/day이며 이것이 합류된 후 전천 최종점에서는 BOD, 총인 부하량이 각각 485 kg/day, 20.5 kg/day로 섬강으로 유출되고 있다.

섬강유역에서 가장 큰 오염원인 원주하수처리장에서는 BOD, 총인 유출량이 각각 1,520, 203.9 kg/day로 원주천으로 합류되고 있다. 섬강유역에서 가장 큰 오염원인 원주시하수처리장으로 부터 방류되는 하수의 유출부하량을 섬강 하류인 문막 지점(BOD 1,355 kg/day, 총인 199 kg/day)과 비교해 볼 때 원주처리장에서 방류되는 유출량이 BOD 1.12배, 총인 1.02배로 거의 같음을 알수있었다. 본 결과에서 시사하듯이 섬강의 중류는 원주하수처리장 방류수에 의해 심한 오염의 영향을 받는 것을 볼 수 있었으며 중 하류로 유하하면서 수체의 자정에 의하여 유출부하량도 상당부분 감소됨을 볼 수 있었다.

홍천강수계의 유하거리별 유출부하량 모식도는 Fig. 6과 같다. 홍천강 조사에 있어서 최상류는 홍천읍으로부터 4 km 상류인 태학 취수장지점으로 정하였으며 본 지점에서의 유출량은 BOD, 총인 각각 169 kg/day, 2.0 kg/day이었으며 이후 홍천읍 도심을 경유하면서 약 2배정도 증가하는 것으로 나타났다. 홍천강 수계에 있어서 중요한 점오염원인 J 맥주의 유출부하량은 BOD, 총인 각각 37 kg/day, 0.9 kg/day이었으며 이에 비해 홍천 하수처리장의 유출량은 55 kg/day, 4.0 kg/day

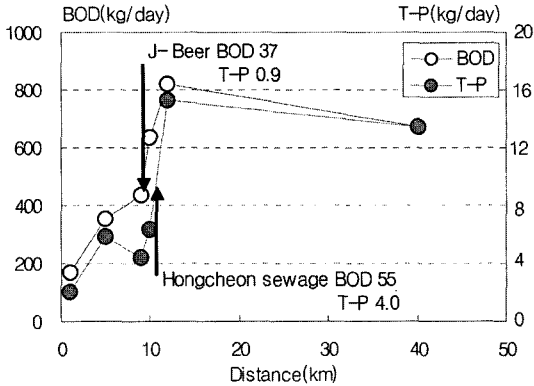


Fig. 6. Effluent loading of Hongcheon river by distance of flow.

로 나타났다. 이 두가지 점오염원의 영향을 받은 홍천강 도시곡 지점의 유출량은 BOD, 총인 각각 823 kg/day, 15.2 kg/day이었으며 이후 30 km 하류인 팔봉 지점에서는 수체의 자정작용에 의해서 수질 및 유출량이 감소되었으며 유출량은 BOD, 총인 각각 673 kg/day, 13.5 kg/day로 본 구간에서 유출부하량 삭감계수는 BOD 5 km⁻¹, 총인은 0.06 km⁻¹로 조사 되었다.

4. 섬강 및 홍천강의 하수처리장 가동전 후의 수질

섬강의 지류 하천인 전천으로 방류하는 횡성하수처리장은 2002년 11월부터 가동을 시작하였으며 가동 전 횡성하수 방류수가 배출되는 전천의 BOD와 총인의 평균 농도는 Fig. 7과 같이 2.8 mg/l, 0.119 mg/l이었으며 하수처리장 가동 이후는 오히려 수질이 악화되어 BOD 총인 평균 농도는 각각 5.3 mg/l, 0.146 mg/l로 BOD의 경우는 약 2배 정도 증가하였다. 이 원인으로는 횡성처리장의 경우 2004년 12회 방류수 수질조사결과 단

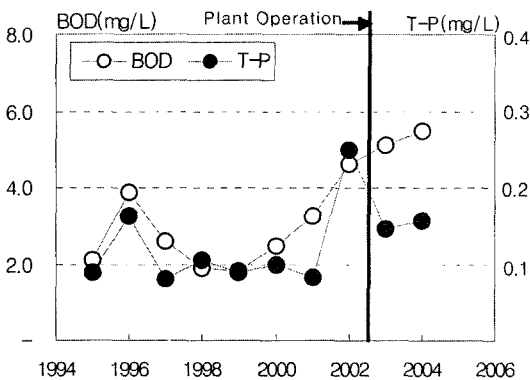


Fig. 7. Effect of Hoengseong municipal sewage treatment plant on water quality of Jeon stream.

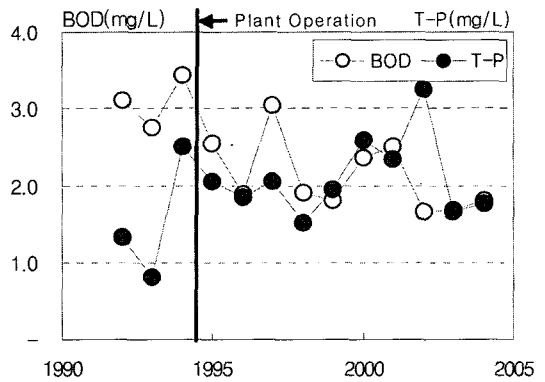


Fig. 8. Effect of Wonju municipal sewage treatment plant on water quality of Seom river.

2회만 수질기준에 적합하였으며 나머지 10회는 BOD 10 mg/l를 초과하여 방류하였다. 그 원인으로는 여러 가지 문제점이 있었으나 2004년 부터 강화된 수질기준을 예측하기 못하고 설계 시공된 근시안적인 시설 용량 선정선택이 가장 큰 원인인 것으로 판단되며 처리시설에 대한 시급한 진단 및 개선이 요구된다.

Fig. 8은 원주 하수처리장에 의해 심하게 오염된 원주천이 합류된 후 16 km 하류인 섬강 중하류의 간현의 지정대교 지점의 수질을 하수처리장 운영 전후의 수질로 구분한 그림이다. BOD의 경우는 하수처리장 가동 전 3.1 mg/l에서 가동후 2.1 mg/l로 32% 정도 개선됨을 알 수 있었으나 총인의 경우 0.154 mg/l에서 0.21 mg/l로 오히려 증가한 것으로 나타났다. 이를 연도별 평균치의 상관분석을 한 결과 R² 값은 BOD 0.53, 총인 0.18로 BOD의 경우는 하수처리장 가동이 섬강 본류의 수질개선에 기여하고 있다고 볼 수 있었으며 이에 비해 총인은 상관도가 매우 낮아 하수처리장의 영향성은 평가할 수 없었다.

본 연구대상 하천중에서 하수처리장의 가동이 유일하게 BOD 및 총인의 수질개선에 영향을 미친 홍천강은 가동전 홍천읍 도심권으로부터 산발적인 하수의 영향을 받은 도심권 관류 지점은 물론이고 하수 방류수가 합류한 이후 지점에서 까지 모두 수질 개선의 효과를 볼 수 있었다. 특히 홍천하수처리장의 2004년 매월 방류수의 수질분석결과는 단 1회도 수질기준에 초과됨이 없었다. 이러한 영향으로 인하여 하수처리장 하류의 팔봉 지점에서의 가동전 BOD, 총인은 Fig. 9와 같이 1.2 mg/l, 0.035 mg/l이었으나 가동후 평균수질은 0.9 mg/l, 0.019 mg/l로 개선되어 하수처리장 가동의 효과를 볼 수 있었다.

이상의 조사 결과로 비추어 볼 때 도시하수처리장의

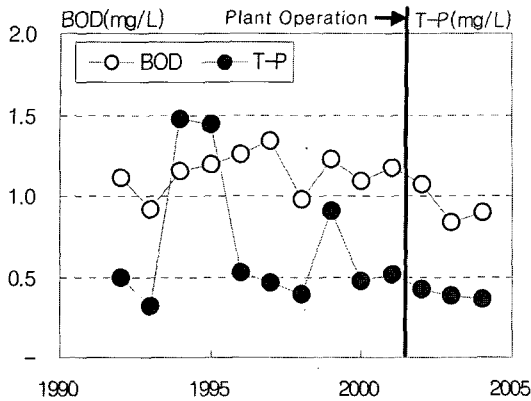


Fig. 9. Effect of Hongcheon municipal sewage treatment plant on water quality of Hongcheon river.

처리에 있어서 유기물제거에는 효과가 있는 것으로 나타났다으며 유출된 유기물은 하류로 유하하면서 자정작용도 크게 나타났다. 이에 비해서 하천 및 호수의 부영양화에 직접적인 영향을 발생시키는 총인의 경우 하수처리장의 처리 효율은 유기물 제거에 비해 매우 낮았다. 또한 하수처리장으로부터 유출되는 부하량은 합류점 하천에 비해 매우 높아 인근 하천의 영양염류의 증가에 큰 영향을 주는 것으로 평가되었으며 섬강의 경우 총인 유출량은 거의 대부분이 원주 하수처리장에서 유출되는 것이었다. 결과적으로 하수처리장이 위치한 하천의 수질을 개선하기 위해서는 현재의 유기물질 제거 우선의 처리공정보다는 영양염류도 효과적으로 제거할수 있는 공정의 개선이 절실히 요구될 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 한강 유역에 설치 운영중인 시, 군 단위 하수처리장이 위치한 수계 내에서 각각의 유역하천 및 처리장의 운영에 따른 방류수의 수질의 평가와 하수처리장 방류수가 인근 하천에 미치는 시,공간적인 평가를 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 원주 및 횡성, 홍천 하수처리장의 처리효율은 각각 BOD 88.9%, 80.6%, 90.7%, 총인 47.3%, 56.5%,

71.6%로 나타났다.

2. 하수방류수가 유역하천 수질에 미치는 영향중에서 원주처리장이 위치한 섬강은 BOD 1.6 mg/l에서 4.0 mg/l, 총인 0.034 mg/l에서 0.321 mg/l로 매우 가파른 상승을 보여주었고 홍천강의 경우 1.1 mg/l에서 1.4 mg/l로, 총인 0.011 mg/l에서 0.026 mg/l로 섬강에 비해 다소 완만한 증가율을 보여 주었다.

3. 하수처리장이 위치한 전천, 섬강, 홍천강의 하수방류수 합류점 하류에서 처리장 가동 전 후의 수질 증전천은 오히려 수질이 악화되었으며 섬강은 BOD에 있어서 개선의 효과를 볼 수 있었으나 총인은 오히려 증가 하였으며 홍천강은 BOD, 총인 모두 수질개선 효과가 있었다.

4. 섬강과 홍천강으로 유입되는 하수처리장 방류수의 합류점에서 BOD 유출부하량 비율은 70.3%, 8.0%이었으며 총인의 경우는 93.6%, 38.0%로 매우 높아 원주 하수처리장 방류수가 섬강에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 강원도보건환경연구원 : 섬강유역 수질조사보고서, 1996.
2. 강원도보건환경연구원 : 한강상류 수질보전에 관한 연구(III), 1998.
3. 하이트맥주홍천공장 공정개선 및 수질분석자료.
4. 한강강수계관리위원회 : 2001한강수계 환경기초조사사업 하수처리장 개선방안 조사 연구, 2002.
5. 조영일 : 환경공학, 동화기술, 1992.
6. 황길순 : 소양호의 1차 생산력과 부영양화에 관한 연구. 강원대학교대학원, 1996.
7. Vollenweider, R. A. and Kerekes J. J. : OECD Cooperative program on monitoring of Inland water, 1981.
8. 이진호, 허인량 : 식물성 플랑크톤에 의한 의암호의 1차 생산량. 강원도보건환경연구원보, 14, 2003.
9. 춘천시 : 오염총량제 실시에 대응한 춘천시 수질관리방안, 2002.
10. 황금목, 황대호, 백도현, 이홍근 : 탐진강의 총량규제를 위한 오염원별 수계·행정구역 허용부하량과 삭감부하량 할당에 관한 연구. 한국환경보건학회지, 30(5), 449-454, 2004.
11. 이승목, 신인수, 어명철, 최봉종 : 강원지역 소규모 오수처리시설의 유기물제거에 관한 연구. 한국환경위생학회지, 29(5), 71-77, 2003.