

서울시 하수처리장 수질의 변동 및 방류수의 영향 평가

곽미애 · 정종흡 · 어수미 · 이흥근*
서울시보건환경연구원 *서울대학교 보건대학원

The Assessment on the Effect of Discharge and Variation of Water Quality from the Sewage Treatment Plants in Seoul

Mi-Ae Kwak · Jong-Heub Jung · Soo-Mi Eo · Hong-Keun Lee*

*Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University**

Abstract

This study was conducted to evaluate the variation characteristics of influent and effluent quality from sewage treatment facilities using activated sludge processes and to assess the impact caused by discharge of treated sewage on the receiving water. Monthly data of five water quality items (BOD, COD, SS, T-N, T-P) were used to understand the water quality at three sewage treatment plants in Seoul for five years from 1999 to 2003.

Concentration differences of water quality parameters were observed between upstream and downstream site at the sewage treatment plant outfall to investigate the impact of discharge in Tan stream and Han river basin.

1. Due to the effect of continuous improvement in sewer system, the concentrations of influent went on increasing generally.
2. Effluent concentrations of BOD, COD and SS showed the trend of a little decreasing, but the trend of increasing in T-N and T-P.
3. In Tan stream basin, the impact of sewage treatment plant discharge was not observed directly, because concentration of discharge was lower than stream water's. But discharges from sewage treatment plants affected water quality at downstream site in Han river, concentration of T-P especially.

Keywords : water quality, sewage treatment plant, discharge, impact

I. 서 론

경제 발전은 생활수준의 향상을 가져왔으나 반면에 수환경은 빠른 속도로 악화되었다. 이와 때를 같이하여 국민들은 그동안 등한시해온 환경보전에

대한 인식이 높아지기 시작했으며 공공수역의 수질회복을 위해 사회간접시설 중에서 특히 하수도 시설의 투자에 대한 관심이 크게 높아졌다.¹⁾ 하수도는 인간생활로부터 발생하는 오수 및 우수를 위생적으로 배제하거나 처리할 수 있도록 설치된 하

수관, 빗물펌프장, 하수처리장 등 시설의 총체를 말한다. 하수도시설의 목적은 합리적인 건설비와 유지관리비를 투자하여 도시의 건전한 발전과 공중위생의 향상에 기여함과 동시에 신속한 우수배제를 통해 도시 피해를 방지하고, 하천·바다·호소 등 공공수역의 수질을 보전하여 쾌적한 생활환경을 조성하는데 있다.^{2,3)}

가정에서 발생하는 생활하수나 공장 등에서 발생하는 하수는 합류식 또는 분류식 하수관을 통하여 하수종말처리장으로 유입 처리하여 하천이나 바다 등 공공수역으로 방류하게 된다. 서울의 경우 한강을 비롯한 중랑천, 탄천, 안양천 등의 수질 오염을 해결하고 수환경을 보전하기 위하여 1976년 국내 처음으로 하루에 15만톤의 하수를 처리할 수 있는 청계천 하수처리장을 건설한 이후 제반 도시여건 변화에 따라 늘어나는 발생하수를 처리하기 위하여 지속적으로 하수처리장의 시설 개선 및 신·증설 등을 추진하여 1998년 완료함으로써 총 581만톤/일로 시설용량을 확보하였다.²⁾

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 소규모하천에서는 하천유지용량의 부족을 초래하여 자연하천으로서의 기능을 상실하고 있으며, 특히 갈수기 하천의 수질은 하수처리장 방류수의 수질에 많은 영향을 받게 되어 수역의 부영양화 등 하천 수질개선에 한계를 나타나게 되었다.⁴⁾

하수처리장 방류수 수질기준은 1995년까지 BOD, COD, SS 등 3개 항목에 대한 기준을 규정하고 있었으나, 1996년부터 총질소 및 총인을 추가하였고,⁵⁾ 2001년 10월 하수도법 시행규칙 개정안⁶⁾에 따라 팔당호 상수원 수질보전 특별대책지역과 잠실수중보존구역, 4대강수계 및 기타지역으로 구분하여 BOD(10mg/L), SS(10mg/L), 총질소(20mg/L), 총인(2mg/L)로 단계별로 방류수 수질기준을 강화하여 2008년부터는 전지역으로 확대 적용하게 된다. 따라서 하수처리장의 방류수가 공공수역에 미치는 오염부하를 줄이기 위해 하수처리장의 수질에 대한 전반적인 평가와 함께 대폭적인 방류수 수질기준의 강화

에 따른 대책마련이 이루어져야 한다.

본 조사에서는 서울시에 위치한 3곳의 하수처리장을 대상으로 유입수와 방류수의 장기적인 수질농도의 변동 및 처리효율을 평가하고 하수처리장의 방류수 유입으로 인한 방류수역의 수질 변화와 그 영향을 조사하여 하수처리장 방류수의 수질향상 및 효율 증대와 처리장의 시설개선에 도움을 주고자 한다. 또한 서울시 주민의 쾌적한 생활환경의 조성을 위한 한강분류 및 지천에서의 수질환경기준 달성을 위한 수질관리의 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 대상

1.1 대상 하수처리장

서울시의 경우 현재 전지역을 4개 처리구역으로 분할하여 각각의 지역단위별로 발생하는 하수를 처리하고 있는데, 한강 상류부에는 중랑, 탄천하수처리장을, 한강 하류부에는 서남, 난지하수처리장을 가동시켜 처리하고 있다. 본 조사에서는 서울시의 4곳의 하수처리장 중 3곳(탄천, 서남, 난지)의 하수처리장을 대상으로 수질의 변동특성을 조사 평가하였다. 대상 하수처리장에 대한 일반적인 현황은 Table 1과 같다.^{7,8)}

1.2 대상 수질오염측정망

탄천하수처리장의 경우에는 처리장에서 처리된 방류수가 한강의 지천인 탄천에 방류되고, 서남과 난지하수처리장에서는 바로 한강의 본류로 직접 방류된다. 탄천유역과 한강본류유역에서 각각 하수처리장의 방류구를 중심으로 상류와 하류의 수질오염측정망 2개 지점씩 모두 4개 지점을 선정하여 하천의 수질 오염도를 조사하여 하수처리장 방류수의 영향을 평가하였다.

○ 탄천 유역

T-1 : 강남구 율현동(대곡교)

T-2 : 강남구 삼성동(삼성교)

○ 한강 본류 유역

H-1 : 강서구 가양동(구암공원 앞)

H-2 : 고양시 행주외동(행주대교)

Table. 1 Status of sewage treatment plants

Classification	Tancheon	Seonam	Nanji
Station	Gangnam-gu Irwon-dong	Gangseo-gu Magok-dong	Goyang-si Hyeoncheon-dong
Design Capacity (10 ³ m ³ /d)	1,100	2,000	1,000
Treatment Method	Activated Sludge Process	Activated Sludge Process	Activated Sludge Process
Treatment Area(ha)	7,053	11,795	5,741
Site Area(m ²)	392,671	1,032,423	922,963
Treatment Districts	Gangdong-gu Seongpa-gu Gangnam-gu Seocho-gu Hanam-si Kwacheon-si	Youngdeungpo-gu Gwanak-gu Dongjak-gu Guro-gu Yangcheon-gu Geumcheon-gu Gangseo-gu Gangnam-gu Seocho-gu Kwangmyung-si	Mapo-gu Yongsan-gu Eunpyoung-gu Seodaemun-gu Jongro-gu Jung-gu Seongdong-gu Koyang-si
Receiving Water	Tan Stream	Han River	Han River
Construction Period(yr)	1983~1998	1984~1998	1982~1997

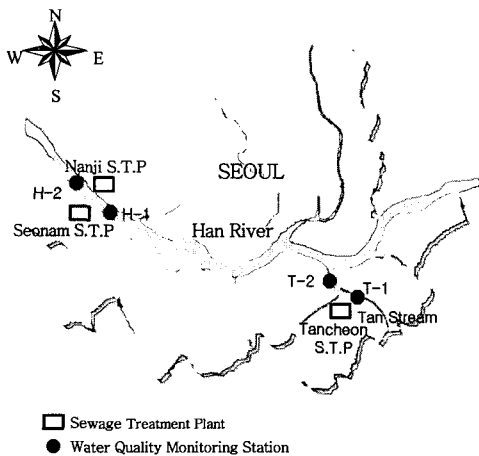


Fig. 1. A map showing the study area

2. 분석 방법

본 조사에서는 서울시 3개 하수처리장의 1999년 1월부터 2003년 12월까지 최근 5년간 각각의 하수처리장에서 수질오염공정시험방법에 의해 분석된 유입수 및 방류수의 월별 수질분석자료⁹⁾를 수집하여 조사를 실시하였으며, 대상항목으로

는 하수도법 시행규칙의 하수종말처리시설 방류수 수질기준에 규정되어 있는 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P) 등 5개 기본항목을 조사하였다. 또한 하수처리장 방류수의 방류수역에 미치는 영향평가를 위해서 하수처리장의 상·하류 수질 오염 측정망 지점을 대상으로 5년간의 월별 분석자료¹⁰⁾를 이용하여 대표적인 하천수질오염지표인 생물화학적 산소요구량(BOD)과 하수처리장에서의 제거효율이 낮으며 부영양화를 일으키는 주요 영양염류인 총질소(T-N), 총인(T-P)의 3개의 항목에 대하여 수질의 변화를 조사하였다.

먼저 수질자료(BOD, COD, SS, T-N, T-P)의 각각의 항목에 대한 연도별 수질농도의 변화추이와 처리효율을 검토하고 기술적 통계분석을 실시하여 평균 및 최대·최소값 등을 살펴보고 자료의 분포 및 특성을 파악하고자 하였으며, 각각의 하수처리장별로 유입수와 방류수 수질인자간의 상관관계를 알아보고자 Pearson correlation

coefficient를 살펴보았다. 또한 하수처리장 상·하류 수질측정망 지점간에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 Paired t-test를 실시하였다. 모든 통계량의 유의수준은 0.05로 하였으며 Microsoft Excel 2000 및 SAS for Windows 8.1을 이용하여 통계 처리하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 하수처리장 수질 농도의 변화

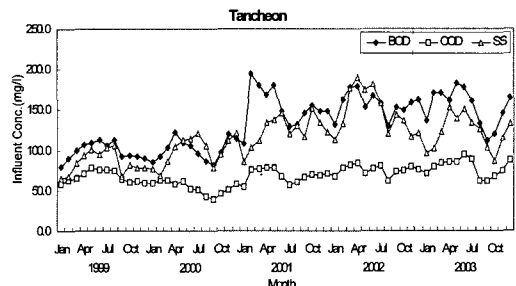
1.1 유입수 농도

계절에 따라 유입농도가 변하는 계절성을 나타내어 봄과 겨울의 갈수기에 증가하였다가 강우가 집중되는 여름철의 유입농도는 희석효과에 의해 다소 낮아지는 경향을 보였다.(Fig. 2~3) 또한 탄천, 서남, 난지의 모든 하수처리장에서 해를 거듭할수록 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 각 항목별 유입수 농도가 전반적으로 증가하는 추세를 확인할 수 있었다. 전반적으로 탄천 하수처리장의 유입수의 농도가 가장 높았으며 난지하수처리장에서의 농도가 가장 낮았다. 또한 최소값과 최대값의 변동폭이 커서 처리장의 안정적인 운영에 걸림돌이 되고 있음을 알 수 있었다.

유입수 농도의 연도별 수질변화를 살펴보면 BOD농도의 경우 탄천, 서남, 난지의 모든 하수처리장에서 점차적으로 증가하는 모습을 나타내었으며 특히, 탄천에서는 2001년, 서남에서는 2002년, 난지에서는 2000년 이후 급격히 상승하였다. COD의 농도는 BOD농도와 매우 유사하여 탄천에서 2001년 이후, 서남에서는 2002년 이후 증가하는 양상을 보였으며 난지에서는 2001년까지 증가하다가 이후 비교적 일정한 농도흐름을 나타내었다. SS농도의 경우 탄천에서는 2002년까지 점진적으로 상승 후 소폭 감소하였고 서남에서는 2003년까지 계속 증가하였으며 난지에서는 2001년까지 증가 후 약간 감소하는 모습을 보였다. 또한 T-N농도의 경우 탄천에서는 큰 변동없이 비교적 일정한 농도패턴을 유지하였으며 서남과 난지에서는 2002년부터 증가하는 모

습을 나타내었다. T-P농도의 경우 탄천에서는 2001년 이후 지속적으로 농도가 급격히 증가하였으며 그 증가폭도 컸다. 서남에서는 2001년 이후 농도가 상승하는 모습을 보였으며 난지하수처리장에서는 2001년에 큰 변동폭을 보이며 크게 증가후 감소하였다가 2003년부터 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 유입수의 농도가 상승한 원인으로는 다음의 5가지로 분류할 수 있다. 첫째, 음식물 전용용기의 보급 확대와 음식물 쓰레기 탈수기를 설치하여 사용함으로써 음식물에서 분리된 침출수의 배출로 인한 영향과 둘째, 하수관거 종합정비사업과 차집관거 정비 및 맨홀, 빗물받이 등의 부대시설의 개·보수로 불명수의 유입을 차단하여 유입수의 희석요인을 배제함으로써 유입수의 수질농도가 상승한 것으로 판단된다. 셋째, 지하철 역사로부터 방류되는 지하수의 하천으로의 방류, 계곡수의 하천으로의 차집에 의한 영향과 넷째, 음식물 재활용센터에서 발생하는 침출수(오수)의 하수처리장으로의 위탁처리^{11,12)}와 다섯째, 분뇨와 정화조 폐액의 하수와 병합처리에 따른 영향으로 판단된다. 특히, 탄천 하수처리장에서의 유입수의 농도증가율이 상대적으로 큰 원인으로는 탄천 처리구역내의 분류식 하수관거의 보급율이 35.5%로 서남과 난지(10%미만)에 비해 월등히 높아 불명수의 유입이 상대적으로 적고, 하수처리구역인 서초구, 강남구, 송파구 및 강동구의 음식물전용용기 보급률이 역시 다른 하수처리구역보다 상당히 높기 때문에 유입수의 수질농도가 상승한 것으로 보인다.



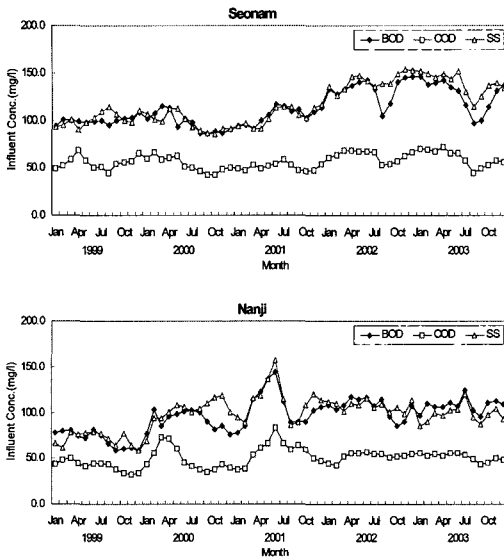


Fig. 2. Annual variation of BOD, COD and SS in influent by each plant

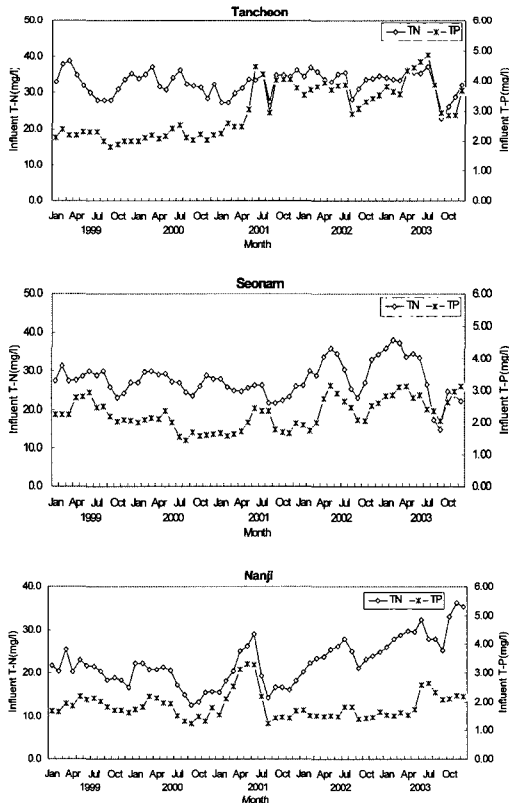


Fig. 3. Annual variation of T-N and T-P in influent by each plant

1.2 방류수 농도

전반적으로 방류수의 농도는 유입수의 농도와 유사한 경향을 나타내어 하절기에 낮아지고 겨울에서 봄철까지는 높은 농도분포를 보였다.(Fig. 4~5) BOD, COD, SS의 방류수 농도는 하수처리장의 지속적인 시설과 공정개선 노력으로 소폭 감소하는 추세를 보였으나, T-N과 T-P의 경우에는 탄천 하수처리장을 제외하고는 오히려 전반적으로 상승하는 모습을 보였다. 유입수 농도와 마찬가지로 대체적으로 탄천 하수처리장에서의 방류수의 농도값이 높았고 난지에서 가장 낮은 농도값을 나타내었다. 또한 최소값과 최대값의 변동폭도 컸다.

방류수 농도의 연도별 수질 변화를 살펴보면 BOD농도의 경우 탄천과 서남 하수처리장에서는 2001년까지 지속적으로 감소 후 다시 증가하는 추세를 나타내었으며 난지에서는 2003년까지 계속 감소하는 모습을 보였다. COD농도는 탄천, 서남, 난지하수처리장 모두 비교적 일정한 농도의 변화패턴을 유지하였으며 SS농도의 경우 탄천과 서남에서는 크게 증가하거나 감소하는 경향이 없이 대체적으로 일정한 농도흐름을 보였으나 난지에서는 점진적으로 감소하는 추세를 나타내었다. T-N농도의 경우 탄천에서는 2000년 소폭 증가 후 계속 감소하는 경향을 보였고 서남에서는 완만한 상승세를 나타내었으며 난지에서는 큰 폭의 변동을 보이며 지속적으로 상승하는 모습을 나타내었다. 특히 2001년과 2003년의 농도증가가 확연히 나타났다. T-P농도의 경우 탄천에서는 2001년까지 감소후 다시 증가하였으며 서남에서는 2003년까지 지속적으로 상승하였으며 난지에서는 완만한 증가모습을 나타내었다. 특히 2001년에는 상대적으로 농도의 증가폭이 매우 컸다.

공공하수처리장의 운영에 있어서 가장 중요하게 요구되는 조건은 연중 안정적으로 법적 방류수 수질기준을 만족하는 것이다. 하수도법 개정에 따라 BOD, SS, T-N, T-P의 방류수 수질기준이 현행 20mg/L, 20mg/L, 60mg/L, 8mg/L이하에서 각각 10mg/L, 10mg/L, 20mg/L, 2mg/L이하로 대폭적으로 강화된다. 강화된 방류수 수질기준의

적용을 받게 되면 현재의 수질상태로는 기준치를 만족할 수 없게 된다.

따라서 강화된 방류수 수질기준을 만족시키기 위해서는 2차 처리 후 남아있는 미처리 유기물질 및 영양염류의 제거를 위한 고도처리시설¹³⁾의 조속한 확충과 처리장의 효율적인 운영관리를 통한 방류수질의 개선이 필요하다. 기존 하수처리장의 운영실태 등을 정밀 분석·검토 후 이를 근거로 기존의 시설물 및 처리공정을 최대한 활용하여 중복투자 및 예산낭비를 방지하고 시설별로 운전개선 및 개량방식 등의 고도처리시설의 설치방안을 검토하여야 할 것이다.

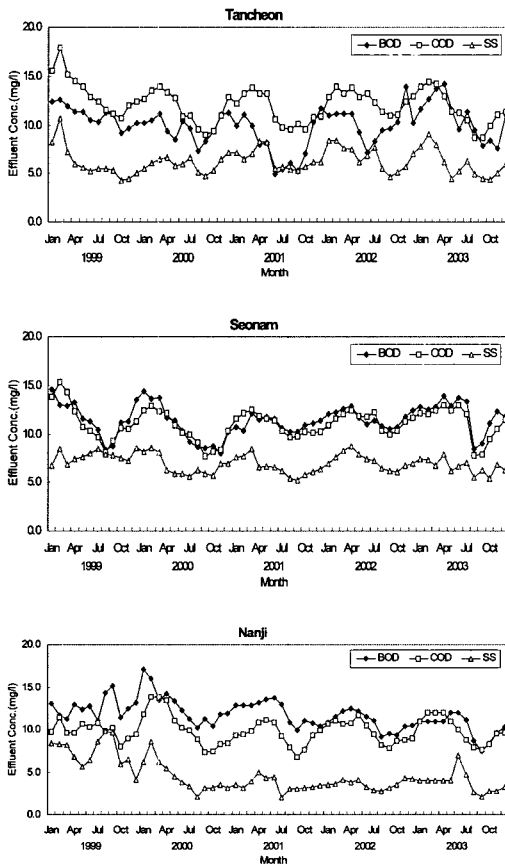


Fig. 4. Annual variation of BOD, COD and SS in effluent by each plant

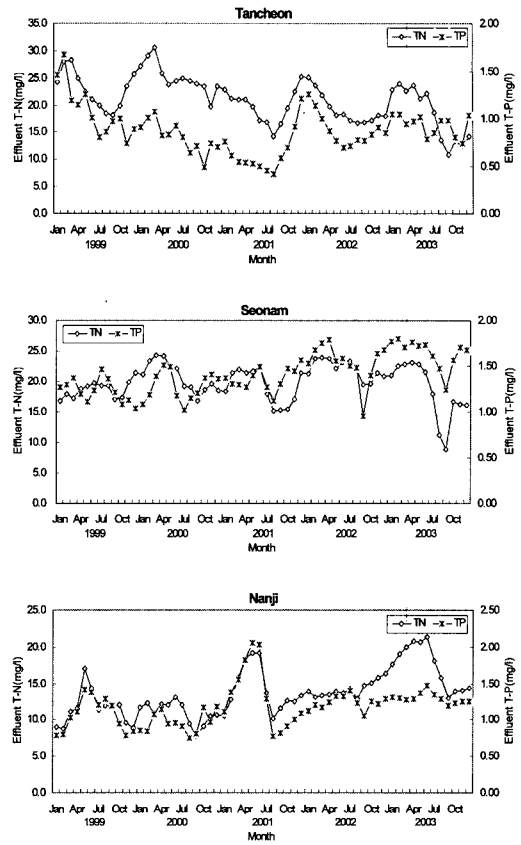


Fig. 5. Annual variation of T-N and T-P in effluent by each plant

2. 처리 효율

처리 효율은 유입농도가 처리공정을 거쳐 얼마나 제거되느냐를 나타내며 현재 하수처리장에서는 유입농도와 방류농도의 차이로써 처리장의 성능을 평가하게 된다.¹⁴⁾

각 처리장에 대한 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 항목별 처리효율을 검토한 결과는 Table 2와 같다. BOD, COD, SS농도의 경우 평균적으로 80~95%의 높은 처리효율을 나타내었으며 변동범위는 15%미만의 비교적 안정된 처리범위를 보여 주었다. 반면, T-N과 T-P는 평균적으로 40%미만의 상대적으로 매우 낮은 처리효율을 나타내어 표준 활성슬러지법의 처리의 한계점을 잘 보여주고 있었고, 변화폭도 커서 처리장의 안정적인 효율유지가 힘들었다. 이것은 표준 활성슬러

Table 2. Annual average removal rate of water quality parameters

(unit : %)

Plant	Year	BOD (Min. ~Max.)	COD (Min. ~Max.)	SS (Min. ~Max.)	T-N (Min. ~Max.)	T-P (Min. ~Max.)
Tancheon	1999	88.7 (84.3~90.6)	79.9 (71.6~84.5)	92.5 (84.3~94.8)	29.9 (26.1~35.7)	49.1 (30.0~64.8)
	2000	90.2 (88.0~92.3)	78.2 (76.8~79.6)	93.9 (91.2~95.2)	24.0 (17.3~31.4)	62.8 (51.4~77.8)
	2001	94.6 (90.7~96.7)	83.3 (77.6~86.3)	94.7 (91.7~96.2)	37.8 (16.8~52.4)	79.9 (66.4~89.3)
	2002	93.4 (91.3~95.8)	83.2 (80.8~85.1)	95.3 (92.5~96.8)	43.2 (27.5~51.8)	75.0 (64.2~81.8)
	2003	92.9 (91.2~94.8)	85.2 (80.4~88.1)	94.9 (91.0~96.8)	44.0 (29.0~57.4)	74.7 (66.8~83.0)
Seonam	1999	88.3 (84.5~91.3)	79.3 (70.2~83.0)	92.4 (91.1~93.2)	32.3 (18.4~42.8)	47.8 (39.4~60.5)
	2000	89.0 (85.8~90.8)	80.6 (79.0~82.6)	93.1 (91.5~94.7)	24.9 (17.5~34.3)	29.8 (12.2~45.8)
	2001	89.4 (86.6~90.8)	78.5 (74.1~82.5)	93.6 (90.7~95.3)	23.1 (12.5~34.1)	27.1 (13.5~52.3)
	2002	91.2 (89.6~92.3)	81.9 (80.4~82.6)	94.9 (93.8~95.9)	26.4 (13.9~39.6)	34.2 (4.5~54.3)
	2003	90.5 (88.4~91.4)	81.6 (79.3~84.0)	95.2 (94.6~96.0)	35.3 (27.8~41.8)	40.1 (33.5~46.3)
Nanji	1999	81.7 (74.2~86.0)	76.0 (72.1~81.1)	89.6 (85.1~93.0)	44.1 (26.1~58.1)	43.6 (33.8~54.7)
	2000	85.8 (77.8~89.9)	78.5 (72.8~81.8)	95.4 (90.9~98.0)	38.5 (29.9~47.7)	41.9 (21.6~53.6)
	2001	88.3 (83.4~90.5)	82.9 (75.3~89.5)	96.8 (95.8~98.2)	27.7 (21.7~33.8)	36.9 (28.3~43.4)
	2002	89.7 (88.5~92.0)	81.2 (74.2~85.0)	96.6 (95.7~97.4)	40.2 (30.2~49.0)	20.9 (11.9~34.6)
	2003	90.4 (88.7~92.4)	80.8 (77.4~84.1)	96.2 (93.2~97.6)	41.1 (29.8~61.4)	33.0 (13.9~48.9)

지공법이 BOD, COD등 유기물질의 제거를 주요 목표로 한다는 것을 보여준다.¹⁵⁾한편 BOD, COD, SS의 경우 유입수의 농도상승으로 방류수의 수질이 크게 개선되지 않았음에도 불구하고 연도의 흐름에 따라 처리효율이 점점 높아지고 있는 것으로 평가되었으며 SS농도(약 95%)가 가장 높은 처리효율을 나타내었고 BOD, COD, T-P, T-N의 순으로 T-N농도(약 35%)가 가장 낮은 처리효율을 나타내었다.

3. 수질 항목간의 상관분석

3.1 유입수 농도

탄천 하수처리장에서 BOD, COD, SS는 T-N

을 제외한 모든 항목에 대하여 상관성을 보였으며 T-N은 T-P에 대해서만, T-P는 모든 항목에 대하여 유의한 상관관계를 나타내었다. 서남하수처리장에서는 모든 유입수 농도간에 유의한 상관관계를 보여주고 있었으며 난지에서는 SS가 T-N과 상관성을 나타내지 않은 것을 제외하고는 모든 항목간에 유의한 상관관계가 있었다.(Table 3)

3.2 방류수 농도

탄천 하수처리장에서는 각각의 항목에 대하여 모두 유의한 상관관계가 있었고, 서남하수처리장에서는 SS가 T-P와 상관성을 나타내지 않은 것을 제외하고는 모든 방류수 농도간에 유의한 상

Table 3. Pearson correlation coefficient between Influent water quality parameters

Parameter Plant		BOD	COD	SS	TN	TP
Tancheon	BOD	1.000	.778**	.756**	.133	.740**
	COD		1.000	.533**	.200	.560**
	SS			1.000	.210	.729**
	TN				1.000	.385**
	TP					1.000
Seonam	BOD	1.000	.759**	.905**	.558**	.628**
	COD		1.000	.650**	.697**	.624**
	SS			1.000	.453**	.663**
	TN				1.000	.514**
	TP					1.000
Nanji	BOD	1.000	.642**	.814**	.540**	.407**
	COD		1.000	.535**	.359**	.419**
	SS			1.000	.157	.296**
	TN				1.000	.455**
	TP					1.000

** : statistically significant (p<0.05)

관관계가 있었다. 한편, 난지에서는 BOD, SS는 각각 T-N, T-P에 대해, COD는 T-P에 대해 상관성을 나타내지 않았고, T-P는 T-N에 대해서만 유의한 상관관계를 나타내었다.(Table 4)

4. 하천 수질 농도의 변화

4.1 탄천 유역

탄천은 잠실수중보 하류부에서 최초로 한강에 유입되며 비교적 유량이 커서 한강 본류에 미치는 영향이 큰 지천 중의 하나이다. 경기도 용인시 수지읍, 성남시의 분당신도시와 서울의 송파구, 강남구, 강동구, 서초구와 경기도 과천시를 거쳐서 한강에 유입되는 지천으로 한강수질에 많은 영향을 주고 있다.¹⁶⁾

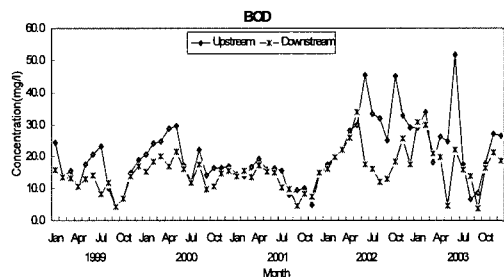
탄천 하수처리장의 처리수가 방류되는 탄천 유역에서 하수처리장 방류수의 영향을 알아보기 위해 하수처리장의 상류측 수질측정망 지점(T-1)과 하류지점(T-2)을 선정하여 대표적인 하

Table 4. Pearson correlation coefficient between effluent water quality parameters

Parameter Plant		BOD	COD	SS	TN	TP
Tancheon	BOD	1.000	.568**	.371**	.446**	.676**
	COD		1.000	.741**	.560**	.547**
	SS			1.000	.389**	.363**
	TN				1.000	.420**
	TP					1.000
Seonam	BOD	1.000	.859**	.447**	.454**	.317**
	COD		1.000	.478**	.506**	.276**
	SS			1.000	.445**	.054
	TN				1.000	.318**
	TP					1.000
Nanji	BOD	1.000	.596**	.581**	-.095	.051
	COD		1.000	.408**	.289**	.219
	SS			1.000	-.137	-.089
	TN				1.000	.739**
	TP					1.000

** : statistically significant (p<0.05)

천수질오염지표인 BOD(생물화학적 산소요구량)와 부영양화의 주요원인물질인 T-N(총질소), T-P(총인)의 3개 항목에 대해 탄천유역의 변화 추이를 조사한 결과 전반적으로 겨울에서 봄까지의 갈수기에 하천유지용수량의 부족으로 높은 농도를 보였으며 하절기에는 강우로 인한 오염물질의 희석효과로 낮아지는 경향을 보였다.(Fig. 6) 또한 여름철의 집중호우로 인해 비점오염원에 의한 오염물질의 유출로 농도가 갑자기 급격히 높아지는 피크점이 자주 존재하여 불규칙적인 모습을 보였다.



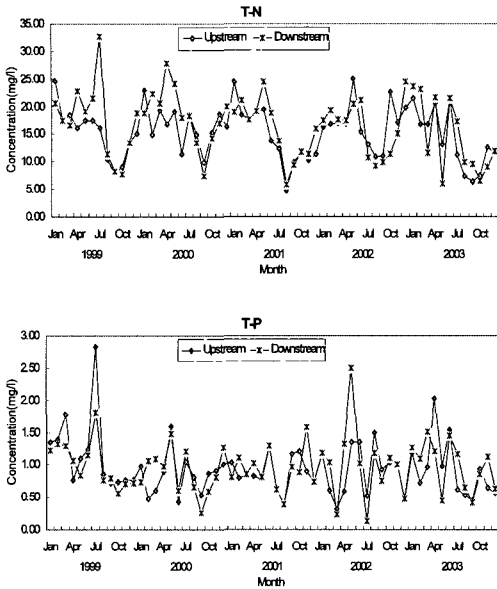


Fig. 6. Annual variation of BOD, T-N and T-P at Upstream and Downstream site of Tancheon treatment plant

BOD농도의 경우 상류(T-1)와 하류지점(T-2) 모두 2001년까지 소폭 감소하는 경향을 보인 후 2002년 부터 다시 급격히 증가하는 모습을 나타 내었으나, T-N과 T-P농도는 크게 증가하거나 감소하는 경향성을 보이지 않았다. 또한 T-N농도는 BOD와 T-P농도에 비해 비교적 주기적인 변화 모습을 보였으나, T-P농도는 불규칙적인 변화양상을 나타내었다.

한편, 탄천 하수처리장 방류수의 5년 평균 BOD농도가 10mg/L내외인데 비해 탄천유역의 평균 BOD농도는 상류지점 20mg/L, 하류지점 15mg/L이상으로 하수처리장 방류수의 수질이 더 양호하였다. 또한 상류지점보다 하류지점의 BOD농도가 더 높을 것으로 예상했으나, 탄천 하수처리장 방류수와 양재천이 합류된 후의 하류지점이 상류지점보다 오히려 더 낮은 농도추이를 보였다.

상류지점의 BOD농도가 하류지점보다 오히려 증가하는 경향을 보인 이유는 첫째, 탄천 상류유역의 급격한 도시화와 지속적인 택지개발로 인구가 집중됨에 따른 오염부하량의 증가와 둘째, 기존 환경기초시설의 처리능력의 한계 및 미비

로 생활하수가 적절하게 처리되지 못하고 배출됨으로 인한 미처리 하수의 유입과 셋째, 산림, 농경지, 도로변 등의 비점오염원에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한 상류지점보다 하류지점의 농도가 더 낮은 이유는 첫째, 하류로 유하하면서 하천의 자정작용에 의해 자연 정화되었고 둘째, 비교적 수질이 양호한 양재천이 합류됨으로 인한 영향과 셋째, 하수처리장 방류수가 건천화된 하천에 희석효과를 가져와 오히려 수질 향상에 도움을 주는 것으로 나타났다. 따라서 탄천유역의 수질개선을 위해 조속한 환경기초시설의 확충이 필요하며 가능하면 발생원에서 하수를 처리하는 소규모 하수처리시설을 설치하여 하천의 건천화를 방지하고 친수공간을 조성하여야 할 것이다.

4.2 한강본류 유역

한강은 지리적으로 한반도 중심부에 위치하고 있고 서울시의 중앙을 동서로 관통하며 총 하천연장이 7,159km이며, 유역면적은 26,218km²로 전국토의 15%수준¹⁷⁾이다. 서울 및 수도권 주민의 식수원으로써 뿐만 아니라 여가·레저 및 생태학습장 등의 다양한 기능을 하는 하천으로 중랑천, 탄천, 안양천 등 35개의 크고 작은 지천이 서울시내에서 한강으로 유입되고 있다. 한강유역의 유속 및 수질은 주로 팔당댐 방류량에 의하여 결정되며 강우량 및 지천유입량에도 영향을 받는다. 팔당댐 방류량이 많으면 수질오염도가 낮게 되고 적으면 상대적으로 오염도가 증가하게 된다.^{2,17)}

한강본류 유역의 수질측정망 지점 중 서남, 남지 하수처리장 처리수가 방류되는 방류구의 상류지점(H-1)과 하류지점(H-2)에서 BOD, T-N, T-P농도의 항목별 수질변화추이를 살펴본 결과 대체적으로 탄천유역에 비해 비교적 계절성과 주기성이 확연히 나타났다.(Fig. 7) 또한 전반적으로 강우의 영향을 받아 계절적 변동을 보이며 주기적으로 순환하는 모습을 보여 겨울과 봄의 갈수기에 농도가 급격히 높아졌으며 강우량이 많은 하절기에 팔당댐의 방류량이 많아 하천유지수량의 증가로 오염도를 낮추는 희석효과를 나타내었다. 상류지점보다 하류지

점에서 월별 농도차이가 컸으며, 변화형태 또한 갑자기 급격하게 높아지는 피크점이 자주 나타나 증감의 변화폭이 매우 컸다. BOD농도의 경우 T-N과 T-P에 비해 비교적 계절성과 주기성이 뚜렷했으며 갈수기의 농도 증가폭이 매우 컸다. T-N, T-P농도의 경우 점진적으로 상승하여 2002년에 가장 높은 농도분포를 보인 후 2003년 많은 강우의 영향으로 수질이 소폭 개선되었다.

탄천유역과 비교해 볼 때 한강본류유역에서는 하류로 갈수록 BOD, T-N, T-P의 농도가 모두 증가하는 모습을 쉽게 확인할 수 있었다. 하류지점에서 수질오염도가 높아지는 이유는 서남과 난지하수처리장에서 방류되는 하수처리장 방류수가 중요한 점오염원으로 작용했고, 강우시 산림, 농경지 등의 비점오염원으로부터의 오염물질

유출과 상류의 탄천, 중랑천, 안양천 등 오염도가 높은 한강지천이 한강에 합류됨으로써 한강본류에까지 크게 영향을 주는 것으로 판단된다.

그동안 점오염원에 대한 오염물질의 수집·처리에 치중해옴에 따라 비점오염원에 대한 수집·처리시설은 미미한 실정이다. 산림, 농경지, 도시노면배수, CSOs(Combined sewer Overflows : 합류식 하수도월류수)등의 비점오염원에 의한 유출(runoff)은 하천, 호소 및 강 등의 방류수역에 주요한 오염원으로 작용하고 오염원이 광범위하게 분산되어 있어서 점오염원과 달리 수질관리에 많은 어려움을 주므로¹⁸⁾비점오염원에 대한 관리대책을 강구하여야 할 것이다. 비점오염원에서 배출되는 오염부하의 저감수단으로 수변완충구역을 설정하여 토지발생오염부하를 줄이고 초기강우의 처리를 위해 우수 차집·저류시설 및 처리시설을 마련해야 할 것이다.

5. 상·하류지점간의 비교

하수처리장 방류수의 영향으로 인한 상·하류 수질오염 측정망 지점간에 유의한 농도의 차이가 있는지 알아보기 위해 Paired t-test를 실시하여 상·하류지점간의 관계를 명확히 하고자 하였다. BOD, T-N, T-P 각각의 농도의 차이가 유의한지 분석한 결과는 다음과 같다.

탄천하수처리장 상류와 하류지점을 비교해 본 결과 Table 5와 같이 상류지점의 BOD농도가 오히려 하류지점보다 통계적으로 유의한 차이를 보이며 더 높게 나타났다.($p < 0.05$) 따라서 하수처리장 방류수의 직접적인 영향은 평가할 수 없었다.

또한 서남, 난지하수처리장 방류구 상·하류지점에서 각각 농도의 차이가 있는지 비교해 본 결과 Table 6과 같이 하류지점에서의 T-P농도가 유의하게 높은 농도의 차이를 보였다.($p < 0.05$) 따라서 하수처리장 방류수의 영향을 받고 있다고 할 수 있다.

한편, T-N농도의 값은 비록 유의하지는 않았지만 어느 정도의 범위까지는 유의하게 영향을 주고 있었다. 즉, 한강본류유역에서 하수처리장

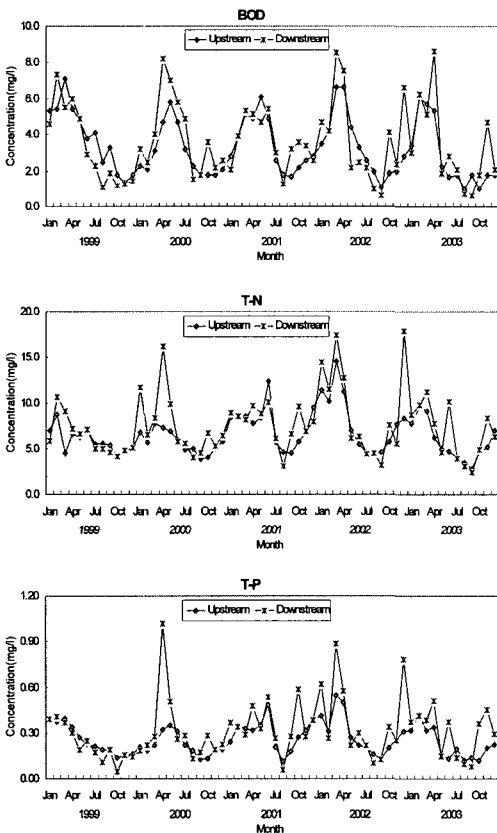


Fig. 7. Annual variation of BOD, T-N and T-P at Upstream and Downstream site of Seonam and Nanji treatment plants

Table 5. Results of Paired difference t-test between Upstream and Downstream site of Tancheon treatment plants

Variable	Diff Mean	t-value	p-value
BOD	4.958	3.33	0.001 **
T-N	-1.072	-1.11	0.271
T-P	-0.014	-0.19	0.853

** : statistically significant (p<0.05)

Table 6. Results of Paired difference t-test between Upstream and Downstream site of Seonam and Nanji treatment plants

Variable	Diff Mean	t-value	p-value
BOD	-0.318	-0.92	0.357
T-N	-0.988	-1.86	0.066
T-P	-0.059	-2.08	0.040 **

** : statistically significant (p<0.05)

방류수의 T-P의 농도가 수질에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며 그 다음이 T-N인 것으로 나타났다.

총인(T-P)의 경우 자연하천에서의 제거효율이 낮아 한강수계의 탄천, 중랑천, 안양천 등의 지천에 유입된 후 한강본류에까지 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다. T-P의 오염원으로는 생활하수, 공장폐수의 방류수와 같은 점오염원과 토지이용, 특히 농경지에서의 비점오염원이 강우시 한꺼번에 방류수역에 유입됨으로써 주된 오염원으로 작용하게 된다.¹⁹⁾ 최근 한강본류 및 지천에서 부영양화와 함께 지나친 조류성장에 의한 수화현상, 물고기 폐사 등의 수질문제가 발생하고 있다. 부영양화에 의한 이러한 문제들은 일반적으로 영양염류(질소와 인)의 과다유입에 의해 유발된다.^{20,21,22,23)} 따라서 하수처리장 방류수의 수질 개선과 질소와 인의 증가에 의한 부영양화와 함께 조류발생에 의한 수질문제를 해결하기 위해 영양염류의 저감대책이 필요하다.

IV. 결 론

서울시에 위치한 3곳의 하수처리장을 대상으

로 최근 5년간의 유입수와 방류수의 수질의 변동특성을 분석하고, 하수처리장 처리수의 방류수역에 미치는 영향을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 하수처리효율의 향상을 위한 지속적인 하수관거의 정비로 저농도 하수 유입의 문제점이 많이 개선되어 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 각 항목별 유입수 농도는 전반적으로 상승하고 있었다. 탄천 하수처리장에서의 유입수의 농도가 가장 높았고, 난지하수처리장에서의 농도가 가장 낮았다. 또한 최소값과 최대값의 변동폭이 커서 처리장의 안정적인 운영에 걸림돌이 되고 있었다.
- 2) BOD, COD, SS의 방류수 농도는 하수처리장의 지속적인 시설과 공정개선 노력으로 소폭 감소하는 추세를 보였으나, T-N과 T-P의 경우에는 탄천 하수처리장을 제외하고는 오히려 전반적으로 상승하는 모습을 보였다. 또한 유입수의 농도와 마찬가지로 최소값과 최대값의 차이의 폭도 컸다.
- 3) 각 처리장에 대한 BOD, COD, SS, T-N, T-P농도의 처리효율을 검토한 결과 BOD, COD, SS농도가 평균80%이상의 높은 효율을 보인 반면 T-N, T-P의 농도는 평균 40%미만의 낮은 처리효율을 나타내었다. SS농도가 가장 높은 약 95%의 처리효율을, T-N농도가 약 35%의 가장 낮은 처리효율을 나타내었다. 또한 방류수의 수질이 크게 개선되지 않았지만 유입수의 농도상승은 처리효율이 좋아지는 것으로 평가되었다.
- 4) 탄천 하수처리장의 방류수의 평균 BOD농도가 10mg/L내외인데 비해 탄천수역의 평균 BOD농도는 15mg/L이상이므로 하수처리장 방류수의 수질이 더 양호하여 하수처리장 방류수의 직접적인 영향의 평가에 한계가 있었다. 한편 탄천 하수처리장의 상·하류지점을 비교해 본 결과 상류지점에서의 BOD농도가 오히려 더 높은 값을 나타내었다.(p<0.05)
- 5) 한강본류수역에서는 하류로 갈수록 수질오염도가 증가하여 하수처리장 방류수의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 서남과 난지하수

처리장 방류수 유입후의 하류지점에서 T-P 농도가 수질에 가장 유의하게 영향을 주고 있었고, 그 다음이 T-N인 것으로 나타났다.($p < 0.05$)

참 고 문 헌

1. 김갑수, 김영란, 강현주, 박배경 : 서울시 소규모 하수처리장 건설 타당성 연구, 서울시정개발연구원, 3~5, 1996
2. 서울특별시 : 서울의 환경, 환경백서, 93~138, 2003
3. 한국수도협회 : 하수도 시설기준, 39, 1998. 2
4. 정종흡, 이승주, 이상수, 한선규, 이용민, 신정식 : 하수처리장 방류수가 하천수질에 미치는 영향, 서울시보건환경연구원보, 36, 312~316, 2000
5. 환경부 : 수질환경보전법 제 32조 제 2항, 1995. 12
6. 환경부 : 하수도법 시행규칙 제 6조 제 1항, 2001. 10.
7. 환경부 : 2003 환경통계연감
8. 서울특별시 : 서울시 하수도 현황과 과제, 2003. 10
9. 하수처리장 내부수질분석자료
10. 환경부 : <http://www.me.go.kr>, 수질측정망 자료
11. 김갑수 : 서울시 하수처리장 유입수 농도 증가 원인 조사와 대책 방안 강구, 서울시정개발연구원, 2002
12. 서울특별시 난지 하수처리사업소 : 하수처리장 운영개선 연구집, 31~61, 2004. 2
13. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., : Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and reuse, third ed, McGraw-Hill, New York, 663~763, 1991
14. 선상운 : 신뢰도에 기초한 하수처리장의 설계 및 처리효율 평가, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2001
15. Leslie Grady, Jr C. P. Glen T. Daigger. Henry C. Lim : Biological wastewater treatment, Marcel Dekker, 1999
16. 신정식 : 한강수계 탄천의 수질오염도 평가 및 예측, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 2000
17. 서울특별시 : 한강 수질 분석 보고서, 2004. 3
18. Schnoor J. L. Environmental Modeling : fate and transport of pollutants in water, air, and soil, John Wiley&Sons, Inc, New York, 201, 1996
19. Grady Hanrahan, Martha Gledhill, William A. House and Paul J. Worsfold : Evaluation of phosphorus concentrations in relation to annual and seasonal physico-chemical water quality parameters in a UK chalk stream, Water Research, 37(15), 3579-3589, 2003
20. Craig A. Stow, Mark E. Borsuk and Donald W. Stanley : Long-term changes in watershed nutrient inputs and riverine exports in the Neuse River, North Carolina, Water Research, 35(6), 1489-1499, 2001.
21. Burkholder J.M., Glasgow, H.B. and Hobbs, C.W. : Fish kills linked to a toxic ambush-predator dinoflagellate : distribution and environmental conditions, Mar. Ecol. Progr., 124, 43~61, 1995
22. Pelly J. : What is causing toxic algal blooms?, Environ. Sci. Technol., 32, 26~30, 1998
23. Paerl H. W., Mallin M. A., Donahue C. A., Go M. and Peierls B.L. : Nitrogen Loading Sources and Eutrophication of the Neuse River Estuary, North Carolina : Direct and Indirect Roles of Atmospheric Deposition, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Raleigh, NC., 291, 1995