

한강 주요 지천의 유기성 수질오염지표 농도의 경시적 변화 연구

수환경 생태팀

최인석 · 최낙경 · 조현석 · 김선배 · 김경희 · 김갑수
이광식 · 이태호 · 임귀철 · 배경석 · 이민환

Temporal Trends of Organic Water Pollutants in Han River's Tributaries of Seoul

Aquatic Ecology Team

**In-seok Choi, Nak-gyoung Choi, Hyun-seok Cho, Sun-bae Kim,
Kyung-hee Kim, Gab-soo Kim, Kwang-sik Lee, Tae-ho Lee,
Gui-chul Lim, Kyung-seok Bae and Min-hwan Lee**

Abstract

In order to supplement data for scientific water quality management, this study was conducted to evaluate the organic water pollutants, such as BOD, COD, TN and TP at the main tributaries of the Han river in Seoul. This study was performed in Anyang, Hongje, Jungrang, Tan streams and the lower Han river, every month from January 1994 to November 2012. The average BOD of Anyang, Hongje, Jungrang, Tan streams and the lower Han river was 10.5, 7.1, 13.3, 15.7 and 3.0 mg/L respectively, COD was 13.2, 7.1, 12.3, 11.9 and 5.0 mg/L respectively, TN was 18.867, 7.869, 16.433, 15.107 and 4.802 mg/L respectively and TP was 0.941, 0.231, 1.306, 0.980 and 0.199 mg/L respectively. Generally, the concentrations of organic water pollutants were higher at the main streams than at the lower Han river, while those of the Hongje stream were similar to those of the lower Han river. The water quality has been improving, reducing to Level IV of the Environmental Standards for rivers, from Level VI at the Anyang stream, and to Level II from Level IV at the Hongje stream, while Jungrang and Tan streams showed no change in quality, each remaining at Level VI. Temporal correlation analyses of the organic water pollutants showed that the order of BOD concentrations was Anyang stream ($r=-0.869$) > Hongje stream ($r=-0.756$) > Jungrang stream ($r=-0.749$), while that of COD was Anyang stream ($r=-0.902$) > Jungrang stream ($r=-0.726$) > Hongje stream ($r=-0.704$) > Tan stream ($r=-0.594$), TN was Anyang stream ($r=-0.603$) > Tan stream ($r=-0.460$), and TP was Hongje stream ($r=-0.842$) > Anyang stream ($r=-0.696$). Generally BOD and COD showed strong reductions each year, while TN and

TP did not show any such association. This result showed that BOD and COD contamination at main streams of the Han river have been improving gradually.

Key words : Han river, Main streams, Organic water pollutants, BOD, COD, TN, TP

서 론

우리나라의 하천환경은 1960~1970년대 산업화·공업화에 따른 인구집중과 도시화로 인하여 파괴되었고, 1970~1980년대에는 하천 제방의 콘크리트화 및 복개로 인하여 하천은 주로 도로 및 수로로 이용되었다(1). 1990년대 이후 도시하천의 복원사업 및 친수공간 조성 등으로 하천의 접근성 및 이용성을 개선시키면서 자연친화적인 하천환경을 조성하고 있다. 또한 1996년 물재생센터 방류수 수질기준을 도입하고 2007년 서울시내 물재생센터(난지, 가양, 중랑, 탄천)의 고도하수처리시설 증설 및 2008년 방류수 수질기준 강화 등으로 효율적인 오염원 관리를 도모하고 있다.

한강 수계의 효과적이고 체계적인 관리를 위하여 한강 본류로 유입되는 주요 하천의 오염물질 거동과 오염부하량의 파악이 전제되어야 한다. 그러나 1999년 한강수계에 수질오염 총량관리제가 도입되었고 2004년 경기도 광주시는 처음으로 경안천 상류지역을 대상으로 수질오염 총량관리제를 시행하였지만 서울시내 주요 지천에 대한 하천 유량 자료는 미흡한 편이다.

이 연구에서는 한강 수계에 대한 지천의 영향을 파악하기 위하여 서울시내 주요 지천 중에서 하천 유량이나 오염부하량이 상대적으로 큰 안양천, 중랑천, 탄천, 홍제천을 중심으로 1990년대 이후 유기성 수질오염지표인 BOD, COD, TN, TP의 수질 경향을 분석함으로써 서울시내 주요 지천과 한강 수계의 과학적인 수질관리를 위한 정책 수립의 기초자료를 확보하고자 한다.

연구방법

1. 조사지점 및 조사기간

조사지역은 그림 1과 같이 서울시내 주요 지천

중에서 하천 유량이나 오염부하량이 상대적으로 큰 안양천, 중랑천, 탄천, 홍제천의 하류 지점과 한강 본류 중에서 위의 지천이 유입되는 지점의 상류·하류 지점인 가양, 영등포, 노량진, 보광, 뚝도, 잠실을 대상으로 하였다.

1994년 1월부터 2012년 11월까지 지천 하류의 각 조사지점에 대하여 월 1회 시료를 채수하여 수질 특성을 조사 분석하였고 한강 본류의 수질자료는 환경부의 '물환경정보시스템' 자료(5)를 이용하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

pH, DO, 전기전도도, 수온 등 경시변화가 큰 항목은 시료채취 현장에서 휴대용측정기(YSI, 600QS-O-M, USA)를 이용하여 측정하였고, 시료는 PE 용기에 채수하였다. 본 연구에서 수집한 물 시료는 수질오염공정시험기준(6)에 따라 분석하였으며 분석기기는 다음과 같다.

- 1) TN, TP : UV-Visible Spectrophotometer (Thermo evolution 500)
- 2) BOD : Diaphragm electrode (Thermo scientific orion 4-stsr)

한강 수계에 대한 지천의 영향을 파악하기 위하여 서울시내 주요 지천을 중심으로 1990년대 이후 유기성 수질오염지표인 BOD, COD, TN, TP의 수질 경향을 분석하였다. 분석 결과의 계절적 변동성으로 인해 연평균 농도를 중심으로 분석하였고, 분석 결과는 SPSS version 20을 이용하여 통계 분석하였다. 또한 하천수의 수질등급은 환경정책 기본법 시행령 별표 1의 3. 수질 및 수생태계 가. 하천 2) 생활환경기준에 의하여 평가하였다.

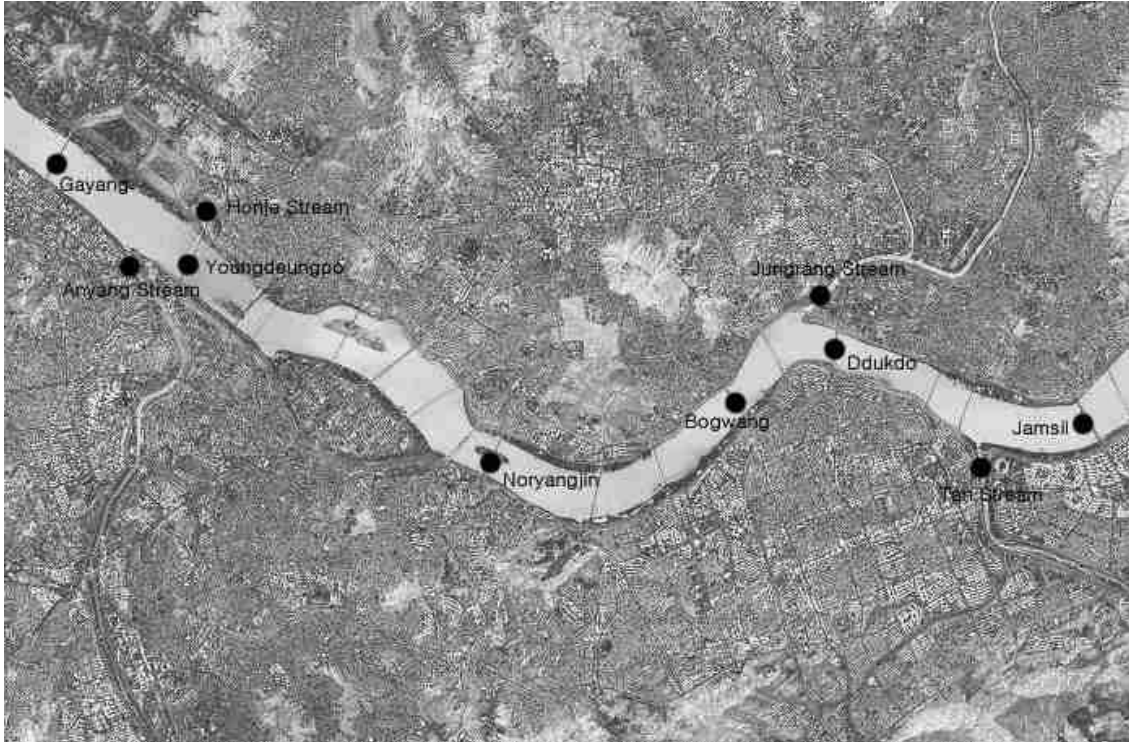


Fig. 1. The study area and sampling sites.

결과 및 고찰

1. 유기성 수질오염지표

1994년부터 2012년까지 서울시내 주요 지천의 유기성 수질오염물질에 대한 분석결과를 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 BOD는 하천수나 하수의 오염도를 안정화시키는데 소요되는 산소의 양으로 환산한 것을 말하는데, 이는 하천의 유기물 부하량을 요구되는 용존산소의 수준으로 유지되도록 제한하는 하천오염 통제의 주요 기준으로 쓰이게 된다(4).

서울시내 주요 지천의 평균 BOD는 한강 본류 3.0 mg/L에 대하여 탄천(15.7 mg/L) > 중랑천(13.3 mg/L) > 안양천(10.5 mg/L) > 홍제천(7.1 mg/L) 순서로 높았다. 평균 COD는 한강 본류 5.0 mg/L에 대하여 안양천(13.2 mg/L), 중랑천(12.3 mg/L), 탄천(11.9 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(7.1 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 평균

TN은 한강 본류 4.802 mg/L에 대하여 안양천(18.867 mg/L), 중랑천(16.433 mg/L), 탄천(15.107 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(7.869 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 평균 TP는 한강 본류 0.199 mg/L에 대하여 안양천(0.941 mg/L), 중랑천(1.306 mg/L), 탄천(0.980 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(0.231 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 유기성 수질 오염지표는 전반적으로 한강에 비해 지천의 오염도가 높게 나타났고 홍제천은 한강의 주요 지천 중에서 가장 낮은 오염도를 보였다.

2. 지천의 수질 결과

1) 안양천

안양천의 BOD, COD, TN, TP에 대한 평균농도는 각각 10.5 mg/L, 13.2 mg/L, 18.867 mg/L, 0.941 mg/L이었다. 이들의 변동폭은 BOD는 최소 4.3 mg/L, 최대 17.9 mg/L를, COD는 최소 8.0

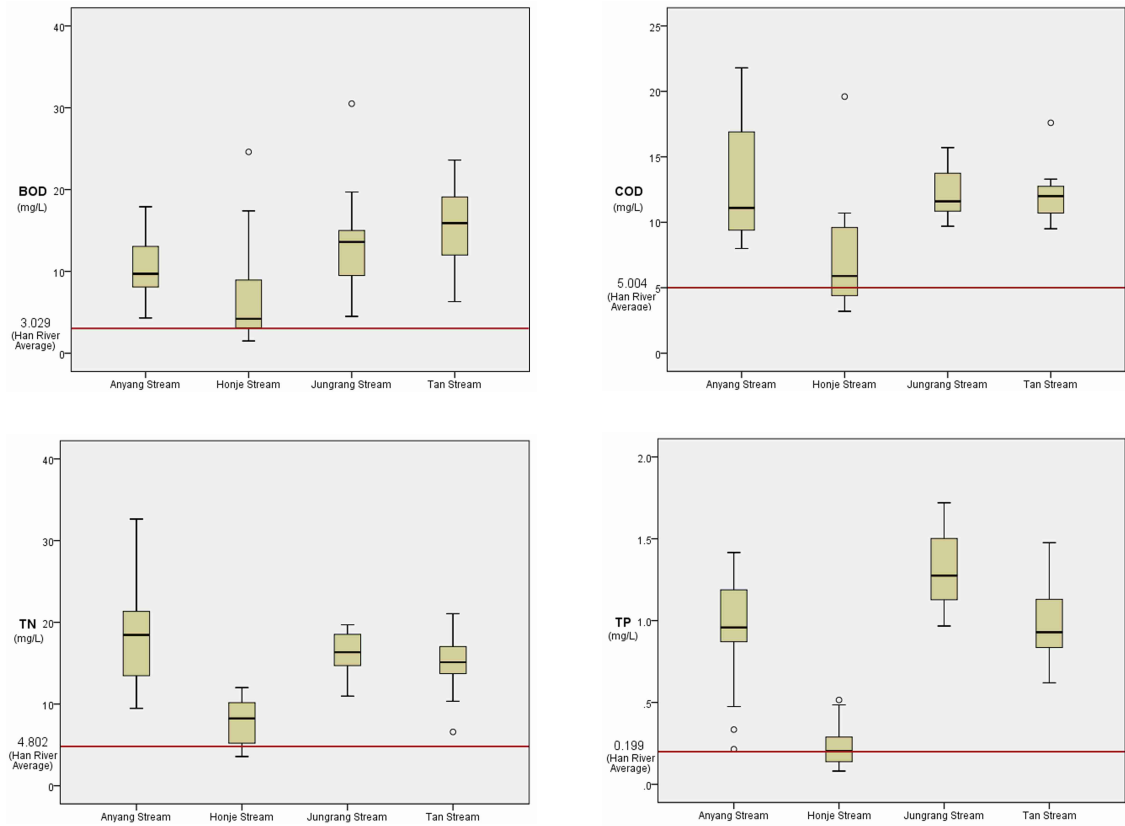


Fig. 2. Annual average concentrations variations of the organic water pollutants at the main tributaries to the Han river.

mg/L, 최대 21.8 mg/L를, TN은 최소 9.476 mg/L, 최대 32.641 mg/L를, TP는 최소 0.214 mg/L, 최대 1.416 mg/L의 분포를 보였다. 안양

천의 하천 수질등급은 평균 VI등급, '아주 나쁨'에서 최근 2012년에는 IV등급, '약간 나쁨'으로 개선된 것을 알 수 있다. 안양천에 대한 유기성 수질오

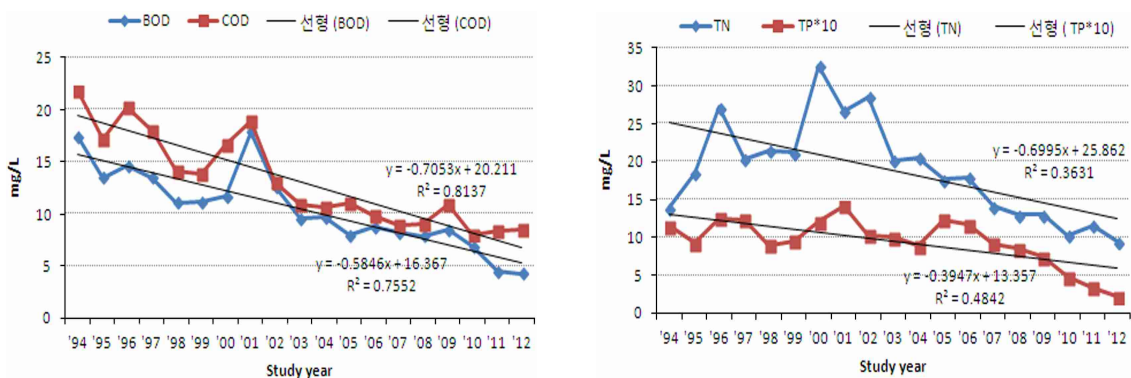


Fig. 3. Linear trend line on annual average concentrations of the organic water pollutants at the Anyang stream.

염지표의 경향성은 그림 3과 같다. 수질오염지표는 전반적으로 개선되고 있는 것을 알 수 있다.

2) 홍제천

홍제천의 BOD, COD, TN, TP에 대한 평균농도는 각각 7.1 mg/L, 7.1 mg/L, 7.869 mg/L, 0.231 mg/L이었다. 이들의 변동폭은 BOD는 최소 1.5 mg/L, 최대 24.6 mg/L를, COD는 최소 3.2 mg/L, 최대 19.6 mg/L를, TN은 최소 3.577 mg/L, 최대 12.014 mg/L를, TP는 최소 0.081 mg/L, 최대 0.515 mg/L의 분포를 보였다. 홍제천의 하천 수질등급은 평균 IV등급, '약간 나쁨'에서 최근 2012년에는 II등급, '약간 좋음'으로 개선된 것을 알 수 있다. 홍제천에 대한 유기성 수질오염지표의 경향성은 그림 4와 같다. BOD, COD, TP의 경우 전반적으로 개선되는 것으로 판단되지만 TN의 경우에는 일정한 경향성을 나타내지 않았다.

3) 중랑천

중랑천의 BOD, COD, TN, TP에 대한 평균농도는 각각 13.3 mg/L, 12.3 mg/L, 16.433 mg/L, 1.306 mg/L이었다. 이들의 변동폭은 BOD는 최소 4.5 mg/L, 최대 30.5 mg/L를, COD는 최소 9.7 mg/L, 최대 15.7 mg/L를, TN은 최소 10.963 mg/L, 최대 19.698 mg/L를, TP는 최소 0.967 mg/L, 최대 1.720 mg/L의 분포를 보였다. 중랑천의 하천 수질등급은 평균 VI등급, '매우 나쁨'에서 최근 2012년에도 VI등급, '매우 나쁨'으로 동일한 수질등급(BOD 기준으로는 IV등급, '약간 나쁨'으로 개선)을 나타내었다. 중랑천에 대한 유기성 수질오염지표의 경향성은 그림 5와 같다. BOD, COD의 경우 전반적으로 개선되는 것으로 판단되지만 TN, TP의 경우에는 일정한 경향성을 나타내지 않았다.

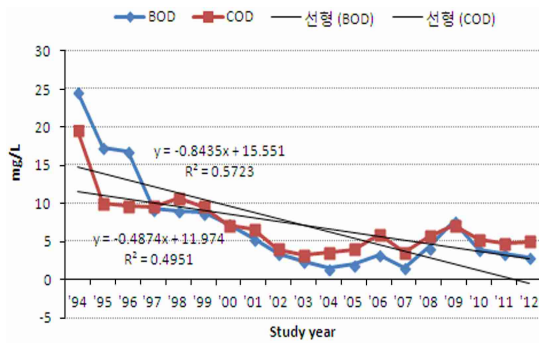


Fig. 4. Linear trend line on annual average concentrations of the organic water pollutants at the Hongje stream.

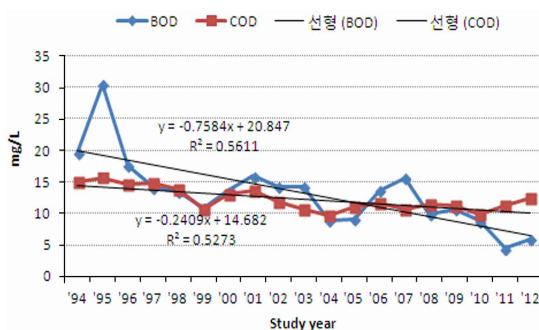
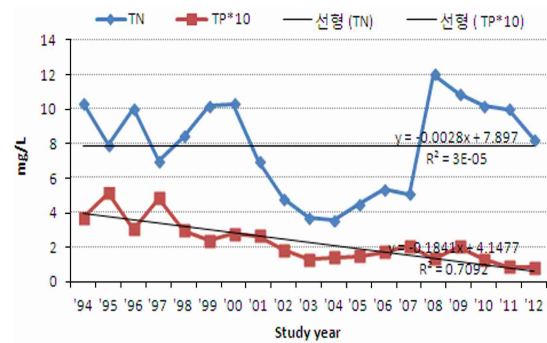
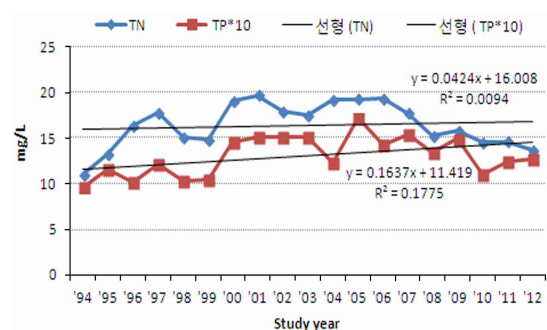


Fig. 5. Linear trend line on annual average concentrations of the organic water pollutants at the Jungrang stream.



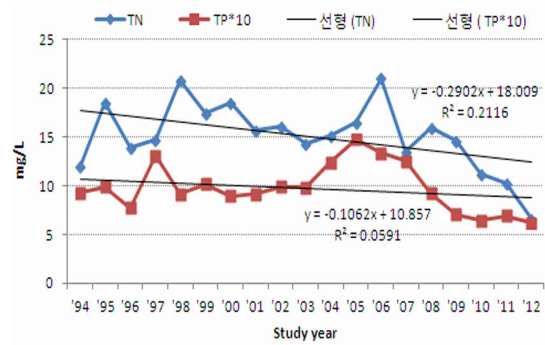
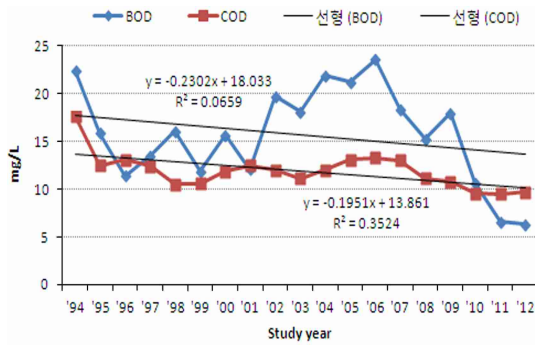


Fig. 6. Linear trend line on annual average concentrations of the organic water pollutants at the Tan stream.

4) 탄천

탄천의 BOD, COD, TN, TP에 대한 평균농도는 각각 15.7 mg/L, 11.9 mg/L, 15.107 mg/L, 0.980 mg/L이었다. 이들의 변동폭은 BOD는 최소 6.3 mg/L, 최대 23.6 mg/L를, COD는 최소 9.5 mg/L, 최대 17.6 mg/L를, TN은 최소 6.585 mg/L, 최대 21.056 mg/L를, TP는 최소 0.620 mg/L, 최대 1.476 mg/L의 분포를 보였다. 탄천의 하천 수질 등급은 평균 VI등급, '매우 나쁨'에서 최근 2012년에도 VI등급, '매우 나쁨'으로 동일한 수질등급(BOD 기준으로는 IV등급, '약간 나쁨'으로 개선)을 나타내었다. 탄천에 대한 유기성 수질오염지표의 경향성은 그림 6과 같다. 수질오염지표는 전반적으로 개선되고 있는 것으로 판단된다.

2. 지천의 수질경향 평가

1) BOD와 COD의 관계

BOD는 생분해성 유기물을 안정화시키는 데 필요한 산소의 양을 말하고, COD는 화학제 산화제를 이용하여 유기물을 이산화탄소와 물로 산화시키는 데 필요한 산소의 양으로 환산한 것을 말한다. 따라서 COD는 생분해성 유기물뿐만 아니라 난분해성 유기물도 산화 분해시켜 일반적으로 COD가 BOD보다 높은 수치를 나타낸다. 안양천과 홍제천은 BOD보다 COD의 값이 높게 나타났지만 중랑천과 탄천의 경우에는 BOD의 값이 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 중랑천과 탄천의 하류에는 중랑 물재생센터와 탄천 물재생센터가 위치하여

생물학적 2차 처리수나 3차 고도처리수가 방류되고 있고 또한 하천수는 유하 중에 생물학적 자정 작용으로 인하여 유기성 수질오염물질 중 난분해성 유기물이 많은 비중을 차지할 것으로 판단된다. 그러나 중랑천과 탄천이 COD보다 BOD의 값이 높은 수치를 나타낸 것은 COD 분석시 일반적으로 사용하는 과망간산칼륨의 산화도가 중크롬산칼륨 등의 다른 산화제에 비하여 상대적으로 작아 나타나는 현상이거나 물재생센터 방류수의 과포기로 인한 질산화 반응으로 NBOD(Nitrogenous BOD)의 증가에 따른 것이며, 또한 COD 분석 방해물질로 알려져 있고 화학적 산화제에 의해 산화되지 않는 방향족 탄화수소나 피리딘 등의 유기성 오염물질이 다른 하천에 비하여 많이 존재하기 때문인 것으로 사료된다(4).

2) 상관성 분석

서울시내 주요 지천의 유기성 오염물질 농도에 대한 시간의 경과에 따른 경향성을 분석하기 위하여 SPSS version 20을 사용하여 Pearson's correlation analysis를 실시하고 조사년도에 따른 유기성 오염물질과의 상관성을 표 1에 나타내었다. 안양천의 경우 BOD($r=-0.869$)와 COD($r=-0.902$), TN($r=-0.603$), TP($r=-0.696$)가 조사년도와 강한 음의 상관관계가 있으므로 안양천은 최근 BOD와 COD, TN, TP의 농도가 개선되는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 홍제천의 경우 BOD($r=-0.756$)와 COD($r=-0.704$), TP($r=-0.842$)가 조사년도

Table 1. Temporal correlation coefficient of the organic water pollutants by year at Anyang, Hongje, Jungrang and Tan streams

Variable	Study years	A.Y. BOD	A.Y. COD	A.Y. TN	A.Y. TP	H.J. BOD	H.J. COD	H.J. TN	H.J. TP	J.R. BOD	J.R. COD	J.R. TN	J.R. TP	T. BOD	T. COD	T. TN	T. TP
Study years	1	-0.869**	-0.902**	-0.603**	-0.696**	-0.756**	-0.704**	-0.006	-0.842**	-0.749**	-0.726**	0.097	0.421	-0.257	-0.594**	-0.460*	-0.243

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$.

와 강한 음의 상관관계가 있으므로 홍제천은 최근 BOD와 COD, TP의 농도가 개선되는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 중랑천의 경우 BOD($r=-0.749$)와 COD($r=-0.726$)가 조사년도와 강한 음의 상관관계가 있으므로 중랑천은 최근 BOD와 COD의 농도가 개선되는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 탄천의 경우 COD($r=-0.594$)와 TN($r=-0.460$)이 조사년도와 음의 상관관계가 있으므로 탄천은 최근 COD와 TN의 농도가 개선되는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

3) 수질경향 평가

유기성 수질오염지표에서 BOD는 안양천($r=-0.869$) > 홍제천($r=-0.756$) > 중랑천($r=-0.749$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았고, COD는 안양천($r=-0.902$) > 중랑천($r=-0.726$) > 홍제천($r=-0.704$) > 탄천($r=-0.594$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았다. TN은 안양천($r=-0.603$) > 탄천($r=-0.460$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았고 TP는 홍제천($r=-0.842$) > 안양천($r=-0.696$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았다.

안양천은 유기성 수질오염지표가 모두 개선되는 경향을 보였고 조사년도에 따른 상관성도 다른 지천에 비해 높게 나타나 수질개선 정도가 가장 양호한 지천으로 판단된다. 탄천은 COD가 개선되는 경향을 보였으나, 다른 유기성 수질오염지표가 조사년도에 따른 상관성이 없어 수질개선 정도가 가장 낮은 것으로 판단된다. 일반적으로 주요 지천의 BOD와 COD의 경우에는 그림 3~6의 직선 회귀분석 결과와 같이 조사년도와 음의 상관관계가 매우 유의하여 수질이 개선되는 경향을 판단할 수 있었지만 TN과 TP는 상관관계가 명확하지 않은 것으로 나타났다. 이는 권(3) 등이 연구한 결과와

같이 오랜 시간에 걸쳐 유입된 오염물질이 침전되어 생성된 퇴적물과 여름철 집중 강우에 따른 CSOs(합류식 하수관거 월류수), 비점오염원의 유입 등에 기인한 것으로 추정되며 이에 대한 추가적인 조사와 연구가 필요하다.

결론

본 연구는 한강 수계에 대한 지천의 영향을 파악하기 위하여 서울시내 주요 지천인 안양천, 중랑천, 탄천, 홍제천을 중심으로 1990년대 이후 유기성 수질오염지표인 BOD, COD, TN, TP의 수질 경향을 분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 서울시내 주요 지천의 평균 BOD는 한강 본류 3.0 mg/L에 대하여 탄천(15.7 mg/L) > 중랑천(13.3 mg/L) > 안양천(10.5 mg/L) > 홍제천(7.1 mg/L) 순서로 높았다. 평균 COD는 한강 본류 5.0 mg/L에 대하여 안양천(13.2 mg/L), 중랑천(12.3 mg/L), 탄천(11.9 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(7.1 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 평균 TN은 한강 본류 4.802 mg/L에 대하여 안양천(18.867 mg/L), 중랑천(16.433 mg/L), 탄천(15.107 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(7.869 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 평균 TP는 한강 본류 0.199 mg/L에 대하여 안양천(0.941 mg/L), 중랑천(1.306 mg/L), 탄천(0.980 mg/L)은 높은 농도를 나타내었으며, 홍제천(0.231 mg/L)은 다른 지천들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. 유기성 수

- 질오염지표는 전반적으로 한강에 비해 지천의 오염도가 높게 나타났고 홍제천은 한강의 주요 지천 중에서 가장 낮은 오염도를 보였다.
2. 주요 지천의 수질등급은 안양천이 평균 VI등급에서 최근 IV등급으로 개선되었고 홍제천은 평균 IV등급에서 최근 II등급으로 개선되었다. 중랑천과 탄천은 모두 평균 VI등급에서 최근 VI등급으로 동일한 수질등급(BOD 기준으로는 IV등급으로 개선)을 나타내었다.
 3. 유기성 수질오염지표에서 BOD는 안양천($r = -0.869$) > 홍제천($r = -0.756$) > 중랑천($r = -0.749$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았고, COD는 안양천($r = -0.902$) > 중랑천($r = -0.726$) > 홍제천($r = -0.704$) > 탄천($r = -0.594$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았다. TN은 안양천($r = -0.603$) > 탄천($r = -0.460$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았고 TP는 홍제천($r = -0.842$) > 안양천($r = -0.696$) 순서로 수질이 개선되는 경향이 높았다.
 4. 안양천은 유기성 수질오염지표가 모두 개선되는 경향을 보였고 조사년도에 따른 상관성도 다른 지천에 비해 높게 나타나 수질개선 정도가 가장 양호한 지천으로 판단된다. 탄천은 COD가 개선되는 경향을 보였으나, 다른 유기성 수질오염지표가 조사년도에 따른 상관성이 없어 수질개선 정도가 가장 낮은 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김광래, 권승미, 안은란, 김경희, 김선배, 배경석, 이민환 : 도시하천의 부영양화 실태 및 수질평가. 서울특별시보건환경연구원보, 47:193~210, 2011.
2. 박진아, 이도훈, 서미연, 권승미, 이상철, 배경석, 엄석원, 김민영 : 생활주변 친수공간인 서울시내 소하천 수질 및 유량 기초자료 조사. 서울특별시보건환경연구원보, 45:171~188, 2009.
3. 권승미, 신진호, 서미연, 최금숙, 배경석, 신재영 : 도시하천 퇴적물 중의 오염물질 분포양상 규명에 관한 연구-중랑천·탄천을 중심으로. 서울특별시보건환경연구원보, 34:331~338, 1998.
4. Clair NS, Perry LM and Gene FP : 환경화학, 동화기술, p597~623, 2005.
5. 환경부: 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>).
6. 환경부 : 수질오염공정시험기준, 2011.
7. 유호식 : 한강수질에 영향을 끼치는 요인들의 통계분석. 대한환경공학회지, 24(12):2139~2150. 2002.