

기후변화에 의한 도심형 하천(탄천) 수질 변동 특성 평가

물환경 생태팀

조수석 · 오석률 · 하현주 · 이광식 · 윤호균 · 박서희
양마란 · 조현석 · 이태호 · 윤종섭 · 전재식 · 정 권

Characterization of the Variation in Water Quality due to Climate Change in Tancheon Stream

Aquatic Ecology Team

**Soo-seock Cho, Seok-ryul Oh, Hyun-ju Ha, Kwang-sig Lee,
Ho-kyun Yoon, Seok-hee Park, Ma-ran Yang, Hyun-seok Cho,
Tae-ho Lee, Jung-seop Yun, Jae-sik Jeon and Kweon Jung**

Abstract

This study was carried out to evaluate the effect of rainfall on the variation in the water quality in Tancheon stream from December 2014 to November 2015. Water quality and rainfall data were obtained from Tancheon water quality auto-monitoring station and Korea Meteorological Administration(KMA), respectively. Using the daily mean concentrations, the average concentrations during the survey period were compared to those during the survey period excluding rainy days. The average values of temperature, turbidity, TP and TOC decreased by 1.3%, 18.7%, 11.4% and 5.1%, respectively, while the average values of pH, conductivity, DO and TN increased by 0.2%, 1.5%, 2.8% and 0.2%, respectively, during the survey period.

According to the Spearman correlation analysis, rainfall was related to most parameters, except TN and temperature. Correlation coefficients of temperature, pH, conductivity and DO were within the range of 0.557~0.784. Turbidity was related to all parameters, except TN. Correlation coefficients of TP and TOC were 0.555 and 0.479, respectively.

The values of diurnal variation of temperature, pH, conductivity, DO, turbidity, TN, TP and TOC were 4.1°C, 0.2, 6.7 μ s/cm, 3.1 mg/L, 8.4 NTU, 1.541 mg/L, 0.142 mg/L and 0.69 mg/L, respectively. Due to rainfall, the maximum variation in DO, turbidity, TN, TP and TOC was 8.0 mg/L, 335.2 NTU, 22.04 mg/L, 7.845 mg/L and 49.76 mg/L, respectively.

Key words : Tancheon stream, rainfall, water quality, diurnal variation

서 론

우리나라는 평년 기준으로 1450.6 mm의 연강수량을 보이며, 연강수량의 70% 정도가 6월에서 9월에 집중적으로 발생하는 특성을 가지고 있다(1). 하지만 최근 5년간의 추세에서 보면, 강수량은 2011년 2039.3 mm에서 2015년 792.1 mm로 지속적으로 감소하고 있으며, 반면 기온은 12.1℃에서 13.7℃로 지속적으로 상승하는 경향을 보이고 있다(2). 이런 기후변화에 따른 기온과 강수량 등의 기상변화는 하천 수질에 영향을 줄 것으로 전망하고 있다(3, 4).

소하천인 탄천의 수질은 한강과 같은 대하천보다 기상조건에 더 민감하게 영향을 받는다. 특히 기온변화와 강수량의 변화에 따라 하천이 건천화되거나 범람하는 경우가 발생한다. 따라서 상대적으로 적은 양의 강수에도 수질 오염물질의 농도가 급격히 증가하는 경우가 발생한다(5). 초기강우 동안 하천에서 오염물질의 농도가 일시적으로 급상승하는 현상이 나타나며, 이는 하천 퇴적물에 축적되어 있던 수질 오염물질들과 유역에서 하천으로 다량의 오염물질이 유입되기 때문이며, 결과적으로 다량의 수질 오염물질은 하천의 수질을 악화시킨다. 이런 강우발생 후 수질오염물질의 농도가 일시적으로 급상승하는 현상을 초기강우 현상이라고 하며, 강우발생시 하천퇴적물에 축적되어 있던 수질오염물질들과 수계 내로 유입된 다량의 수질오염물질은 당해 수계의 수질을 저하시킨다(6, 7). 특히 비점오염원으로부터 유래되는 수질오염물질들은 유출경로와 그 특성 파악이 매우 어렵고 발생량 또한 불규칙하다. 이런 강우 유출수에 영향을 미치는 인자는 선행강우와 강우강도, 토지이용, 식생피복, 유출률, 인위적 개입 등이 있으며, 이들의 복잡한 상호작용에 의해서 유출수의 수질특성 및 유출시간이 결정된다(8, 9).

이에 본 연구는 2014년 12월부터 2015년 11월까지 서울시보건환경연구원의 탄천수질측정소에서

측정한 탁도, TN, TP 등의 측정항목을 실시간 모니터링하여 강우로 인한 하천의 수질 변동 특성을 파악함과 동시에 최대 수질변동량을 통해 강우 발생시 수질관리를 위한 기초자료로 이용하고자 한다.

연구방법

1. 조사대상 하천 및 방법

본 연구는 도시하천인 탄천에서 강수량, 강수패턴 등의 기상변화에 따른 수질 오염물질별 농도변화를 평가하였다. 탄천은 경기도 용인시 구성면 청덕리 향린동산에서 발원한 후 북류하여 분당신도시와 성남시를 관류하는 동안 양재천, 장지천 및 세곡천 등의 지류와 합류하고 송파구를 관류하여 한강 좌안 측으로 유입된다. 북쪽으로 흐르는 유로를 따라 장방형의 유역형태를 이루며 한강하류의 대표적인 도시하천이다. 탄천을 둘러싸고 있는 탄천 물환경권역의 특성은 다음과 같다. 토양은 사양질과 식양질이 84.6%로 주구성 성분이다. 토양심도는 대체로 보통 또는 깊음이 87.4%이며, 불량하거나 매우 불량한 배수지역이 3.9%에 불과하여, 대부분 매우 양호 내지 양호한 편이다. 그리고 최근 5년간(2005~2010)의 토지이용 변화를 보면 불투수층과 같은 도시화지역이 2.2% 증가하였지만, 녹지 및 오픈스페이스는 2.3% 감소하였다. 또한 서울지역에 포함되어 있는 탄천권역의 합류식 관거와 분류식 관거의 비율은 각각 81.1%와 18.9%로, 서울시 분류식 관거(9.2%)의 2배 이상을 차지하고 있다(10).

탄천수질측정소는 그림 1과 같이 송파구에 위치하고 있으며, 탄천교 주변에서 시료 채수하여 수질을 측정하고 있다. 분석한 자료는 수온(Temp), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소(DO), 탁도(Turb), 총질소(TN), 총인(TP) 및 총유기탄소(TOC) 등 총 8개 항목으로, 2014년 12월부터 2015년 11월까지 자료를 이용하였다. 그리고 강



Fig. 1. The map showing the sampling site in Tancheon stream.

수량은 기상청에서 제공하는 측정자료를 사용하였다(2). 또한 강수량과 수질 오염물질 간의 상관관계를 분석하기 위하여 SPSS통계프로그램을 이용하여 통계처리를 실시하였다.

2. 분석항목 및 방법

탄천의 전반적인 수질을 알아보기 위해 용존산소량(DO), 탁도(Turb), 총질소(TN), 총인(TP), 총유기탄소량(TOC) 등 총 8개의 항목을 측정하였다. 수온(Temp), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소(DO) 및 탁도(Turb)는 각각 Glass 저항법, 백금저항식, 교류이극법, 격막산소전극법 및 네펠로법을 분석방법으로 하는 Yanako사의 WPM-108SK를 이용하여 분석하였다. TN과 TP는 자외선 흡광 광도법(TN208, Yanako) 및 아스코르빈산 환원법(PHS308, Yanako)을 각각 이용

하여 분석하였다. TOC는 NDIR법(TOC-708, Yanako)을 적용한 총유기탄소분석기로 분석하였다. 측정된 자료의 모든 농도값은 탄천 수질측정소의 시간평균 농도이다.

결과 및 고찰

1. 강수량 및 강수패턴

2014년 12월부터 2015년 11월 동안 강수가 없었던 무강수일(0.1 mm 미만)을 제외한 강수일은 106일이었으며, 강수량은 0.1~80.0 mm으로 기간 총강수량은 780.9 mm이었다. 하지만 이는 평년 연강수량인 1450.6 mm보다 약 46% 감소한 것이다. 계절별로 보면 겨울철(12~2월)에 53.5 mm, 봄철(3~5월) 101.2 mm, 여름철(6~8월)

Table 1. Monthly precipitation of the Seoul city

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Total
Monthly mean Precipitation (1981~2010)	21.5	20.8	25	47.2	64.5	105.9	133.2	394.7	364.2	169.3	51.8	52.5	1450.6
Monthly Precipitation (2014.12~2015.11)	17.9	11.3	22.7	9.6	80.5	28.9	99.0	226.0	72.9	26.0	81.5	104.6	780.9

478.8 mm, 가을철(9~11월)에 181.8 mm이었으며, 여름철과 가을철에 상대적으로 높은 값을 보였다. 월별 강수량을 보면 7월에 226.0 mm로 최고 강수량을 보였으며, 다음으로 11월에 104.6 mm이었다. 최저 강수량은 3월에 9.6 mm이었다. 평년 월강수량과 비교하면 3월, 5월 및 7~9월 강수량은 크게 감소하였다. 특히 7~9월은 100 mm 이상 감소하였으며, 평년 대비 약 65% 감소하였지만, 10~11월에는 강수량이 크게 증가하는 경향을 보였다. 이는 장마기라 할 수 있는 7~8월에 강수량이 집중적으로 발생하는 우리나라의 일반적인 강우 특징과 차이를 보였다.

2. 탄천수계의 계절별 수질 변동

탄천의 계절별 수질변동 특성을 알아보기 위해 시간별로 측정된 탄천 수질측정소의 자료를 일평균으로 환산한 후 분석하였다. 2014년 12월부터 2015년 11월까지 탄천의 기간평균농도와 계절별

평균농도는 표 2와 같다. 그리고 강수량의 영향을 보기 위해 강수일을 제외한 비강수일에 대한 평균농도도 같이 나타내었다.

수온은 기온과 하천수량 및 유속 등의 영향을 받으며, DO농도 등에 영향을 미치는 항목으로 (11), 수온의 일평균변화는 기온의 일평균 변화와 같은 경향을 보였으며, 0.978의 강한 상관성을 보였다. 조사기간 동안 수온의 일평균변화는 4.2~31.1°C로 기간 평균수온은 18.6°C이었다. 계절별로는 여름에 가장 높고 그 다음으로 가을 > 봄 > 겨울 순으로 낮은 값을 보였다. pH의 일평균 변화는 6.8~7.4이었으며 기간 평균값은 7.2이었다. 이는 하천의 생활환경기준인 6.8~8.5의 범위 내에 있었다. 그리고 계절별로 보면 겨울에 7.3으로 최고치를 보였다. 전기전도도의 일평균 변화는 263~905 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 평균값은 486 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 으로, 계절적으로 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 낮은 값을 보였다. DO의 일평균 변화는 3.3~12.1

Table 2. Mean±standard error and ranges of parameters in Tancheon Stream during December 2014~November 2015

	Temp. (°C)	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	DO (mg/L)	Turb. (NTU)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)	
Mean	18.6±8.3	7.2±0.1	486±72	7.2±1.9	36.3±50.6	7.238±2.718	0.240±0.231	5.32±2.02	
Range	4.2~31.1	6.8~7.4	263~905	3.3~12.1	6.3~392.8	1.952~13.900	0.069~2.900	2.87~15.41	
Total	Winter	7.4±1.3	7.3±0.1	556±83	9.5±1.0	23.6±18.3	10.247±1.092	0.222±0.192	5.32±1.82
	Spring	16.6±4.8	7.2±0.1	481±44	5.9±1.6	45.8±52.4	8.090±2.479	0.362±0.366	6.85±2.48
	Summer	28.2±1.4	7.1±0.1	437±54	6.2±1.0	50.0±79.3	5.208±1.837	0.209±0.101	4.53±0.89
	Fall	22.0±4.2	7.1±0.1	471±36	7.3±1.3	26.1±17.6	5.374±1.200	0.160±0.085	4.57±1.59
	Mean	18.3±8.4	7.2±0.1	493±66	7.4±1.8	29.5±31.8	7.254±2.727	0.213±0.164	5.05±1.62
Total (excluded precipitation day)	Range	4.2~31.0	6.8~7.4	270~905	3.8~12.1	6.3~325.2	2.047~11.972	0.069~1.152	2.87~12.46
	Winter	7.1±1.1	7.3±0.1	556±84	9.6±0.9	21.4±14.9	10.269±0.980	0.200±0.164	5.16±1.56
	Spring	16.6±5.1	7.2±0.1	490±33	6.1±1.6	39.9±30.7	7.932±2.400	0.306±0.233	6.45±1.91
	Summer	28.3±1.5	7.1±0.1	444±46	6.5±0.7	35.4±51.4	4.979±1.915	0.177±0.037	4.24±0.43
	Fall	22.9±3.7	7.1±0.1	476±30	7.4±1.1	22.6±15.7	5.364±1.094	0.149±0.059	4.12±0.59

mg/L로 평균농도는 7.2 mg/L이었다. 이는 하천 생활환경 기준인 5.0 mg/L 이상인 좋음(Ib)등급이었다. 그렇지만 약 12%는 5.0 mg/L 미만이었다. 수온이 낮은 겨울철에 9.5 mg/L로 가장 높은 농도를 보였으며, 봄에 5.9 mg/L로 최저 농도를 보였다. 탁도는 6.3~392.8 NTU로 평균농도는 36.3 NTU이었다. 이는 음용수 수질기준인 1 NTU를 30배 이상 초과한 수치였다. 계절적으로 보면 여름과 봄에 각각 50.0 NTU과 45.8 NTU로 가을과 겨울의 26.1 NTU 및 23.6 NTU 보다 높은 농도를 보였다. 이는 조 등(12)과 같이 강수에 의한 하상교란 등의 원인으로 보이며, 특히 봄에 적은 강수량에도 불구하고 높은 탁도 농도를 보이는 것은 겨울철에 축적된 비점오염원들에 의한 영향으로 보였다. TN은 호소나 하천에 부영양화를 발생시키는 영양염류로서, 일평균 변화는 1.952~13.900 mg/L으로 기간 평균농도는 7.238 mg/L이었다. 이는 도시 하천 중 하나인 안양천 TN농도의 54% 정도 수준이었다(12). 계절별로는 겨울에 10.247 mg/L로 높은 농도를 보였으며, 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 낮은 농도를 보였다. TP는 TN과 마찬가지로 호소나 하천에 부영양화를 발생시키는 영양염류로서, 일평균 변화는 0.069~2.900 mg/L으로 평균농도는 0.240 mg/L이었다. 이는 하천 생활환경 기준인 0.3 mg/L이하인 약간나쁨(IV) 등급이었다. 계절별로 보면 봄에 0.362 mg/L로 높은 농도를 보였으며, 다음으로 겨울 > 여름 > 가을 순으로 낮은 농도를 보였다. 그리고 탄천은 호소기준으로 보면 이미 부영양화 상태이었으며, Redfield 비(N:P=16:1)가 22.3~46.2로 인산염이 식물플랑크톤의 성장에 영향을 주는 잠재적 제한영양염으로 추정되었다(13). TOC는 2.87~15.41 mg/L으로 기간 평균농도는 5.32 mg/L이었다. 이는 하천 생활환경 기준인 6 mg/L 이하인 약간나쁨(IV) 등급이었다. 계절별로 보면 봄에 6.85 mg/L로 가장 높았고, 다음으로 겨울 > 가을 > 여름 순으로 낮은 농도를 보였다. 또 TN, TP 및 TOC는 여름 및 가을에 낮은 농도를 보였는데, 이는 강수에 의한 희석효과에 기인한 것으로 보인다(14).

강수일을 제외한 비강수일의 수온, 탁도, TP 및

TOC의 평균농도는 기간 평균농도보다 각각 1.3%, 18.7%, 11.4% 및 5.1% 감소하였다. 그러나 pH, 전기전도도, DO 및 TN의 비강수일의 평균농도는 기간 평균농도보다 각각 0.2%, 1.5%, 2.8% 및 0.2% 증가하였다. 특히 탁도가 18.7%으로, 강수에 의한 수질변동에 입자성 물질이 큰 영향을 받았다(8, 9, 15). 강수가 발생한 강수일의 영향을 계절별로 보면, 겨울에는 TP와 탁도의 비강수일 평균농도는 기간 평균농도보다 9.7% 및 9.3% 감소하였으며, 다음으로 수온, TOC 순으로 감소하였다. 그렇지만, DO는 1.2% 증가하였다. 봄에는 TP와 탁도가 겨울과 마찬가지로 15.6%와 12.8% 감소하는 경향을 보였지만, DO는 3.2% 증가하였다. 여름에는 탁도와 TP가 29.3%와 15.0% 감소하였고, DO는 5.3% 증가하였다. 가을에는 탁도, TOC 및 TP가 13.2%, 9.8% 및 7.0% 감소하였고, DO는 1.5% 증가하였다. 측정 항목별로 보면, DO, 탁도 및 TN은 상대적으로 여름에 큰 영향을 받았고, TOC는 가을에 큰 영향을 받았다. TP는 여름과 봄에 15.0%와 15.6%로 영향을 받았다. 전체적으로 강수에 의한 영향은 강수량이 많은 여름에 큰 것으로 나타났다.

3. 강수량과 수질항목들과의 상관성

탄천측정소의 수질 측정항목들과 강수량의 상관성을 알아보기 위해 일자료를 이용하여 통계처리를 실시하였다. 강수량과 수질 측정 항목들 간의 Spearman 상관계수는 표 3과 같았다. 강수량은 수온과 TN을 제외한 항목들과 유의한 상관성을 보였다. 특히, pH, 전기전도도 및 DO는 강수량과의 상관성을 보였으며, 탁도, TP 및 TOC는 양의 상관성을 보였다. 강수량과 상관성이 가장 높은 항목은 탁도로 상관성은 0.252이었으며, 다음으로 DO로 -0.241이었으며 전체적으로 높은 상관성을 보이지 않았다. 이는 강수발생 후 바로 수계에 영향을 미치는 것이 아니고 유출시간의 영향 때문인 것으로 판단된다. 그렇지만 강수량과 수질 측정 항목들 간의 상관계수와는 달리 수질 측정 항목들 간의 상관계수는 높은 값을 보였다. 특히 수온, pH, 전기전도도 및 DO간 상관성은 0.557~0.784이었으며, DO와 pH와의 상관계수가 0.784

로 최고값을 보였다. 탁도는 TN을 제외한 모든 항목들과 유의한 상관성을 보였다. 특히 TP 및 TOC는 각각 0.555 및 0.479로 양의 상관관계를 보였으며, DO, pH 및 전기전도도와는 각각 -0.521, -0.359 및 -0.302로 음의 상관관계를 보였다. TN은 온도와는 강한 음의 상관성을 보였지만, 탁도 및 TP와 상관성을 보이지 않았다. 그리고 pH, 전기전도도, DO 및 TOC와 상관성을 보였다. TP는 앞에서 언급 한처럼 TN과 상관성을 보이지 않았다(12, 13). TOC는 pH 및 전기전도도와는 상관성이 없었지만, 온도와 DO는 음의 상관성을 보였으며, 탁도, TN 및 TP의 상관계수는 각각 0.479, 0.396 및 0.485이었다.

4. 탄천수계의 시간별 수질 변동 특성

평상시 탄천의 시간별 수질 특성을 파악하기 위해, 2014년 12월부터 2015년 11월까지 탄천수질 측정소에서 측정한 시간별 자료들 중에서 강수일을 제외한 비강수일의 자료를 사용하였다. 그림 2와 같이 조사기간 동안 비강수일 수온은 16.5~20.6℃이었으며, 일변화량은 4.1℃이었다. 오전 9시에 최저값을 보이다가 17시에 최대값을 보였다. pH는 7.1~7.3이었으며, 일변화량은 0.2이었다.

새벽 03시에 최저값을 보였다가 상승하기 시작하여 13시에 최대값을 보였다. 전기전도도는 489~496 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 일변화량은 6.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이었다. 12시에 최소값을 보였다가 증가하기 시작하여 20시에 최대값을 보였다. DO는 6.0~9.1 mg/L로 일변화량은 3.1 mg/L이었다. 새벽 3시에 최저농도를 보였다가 증가하기 시작하여 13시에 최대농도를 보인 후 감소하기 시작하였다. 탁도는 26.1~34.6 NTU로 일변화량은 8.4 NTU이었다. 새벽 2시에 최대농도를 보였다가 감소하기 시작하여 10시에 최소농도를 보였고, W자형의 경향성을 보였다. TN은 6.517~8.058 mg/L, 일변화량은 1.541 mg/L이었다. 03시에 최대농도를 보였다가 감소하기 시작하여 12시에 최소농도를 보였으며, 탁도와 마찬가지로 W자형의 경향을 보였다. TP는 0.164~0.306 mg/L로 일변화량은 0.142 mg/L이었으며, TN과 같은 시간별 경향성을 보였다. TOC는 4.78~5.47 mg/L로, 일변화량은 0.69 mg/L이었다. 1시에 최대농도를 보였다가 감소하기 시작하여 18시에 최소농도를 보였다.

5. 강우에 의한 탄천의 수질 변동 특성

강우발생 후 최고농도에 도달하는 시간을 파악

Table 3. Spearman's correlation coefficients and statistical significance in the 2-tailed test among the water quality parameters(N = 340)

	Precipitation	Temp.	pH	EC	DO	Turb.	TN	TP	TOC
Precipitation	1	0.086	-0.239**	-0.231**	-0.241**	0.252**	0.012	0.219**	0.213**
Temp.		1	-0.728**	-0.694**	-0.633**	0.135*	-0.749**	0.148**	-0.303**
pH			1	0.700**	0.784**	-0.359**	0.650**	-0.273**	0.024
EC				1	0.557**	-0.302**	0.554**	-0.146**	0.105
DO					1	-0.325**	0.521**	-0.400**	-0.187**
Turb.						1	0.027	0.555**	0.479**
TN							1	0.083	0.396**
TP								1	0.485**
TOC									1

* Correlation is significant at the 0.05 level(two-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level(two-tailed)

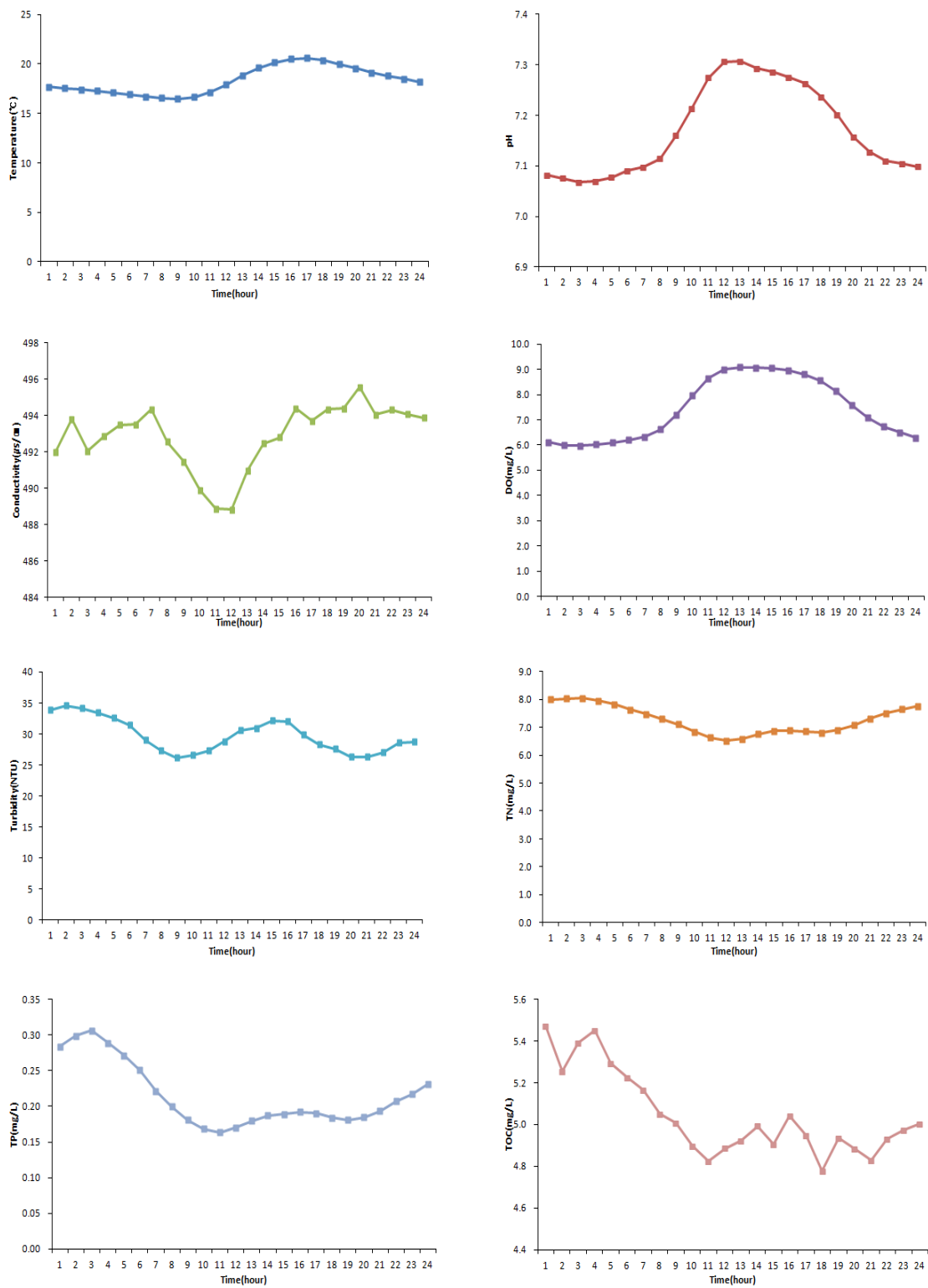


Fig. 2. Diurnal change of the various water quality parameters in Tancheon stream.

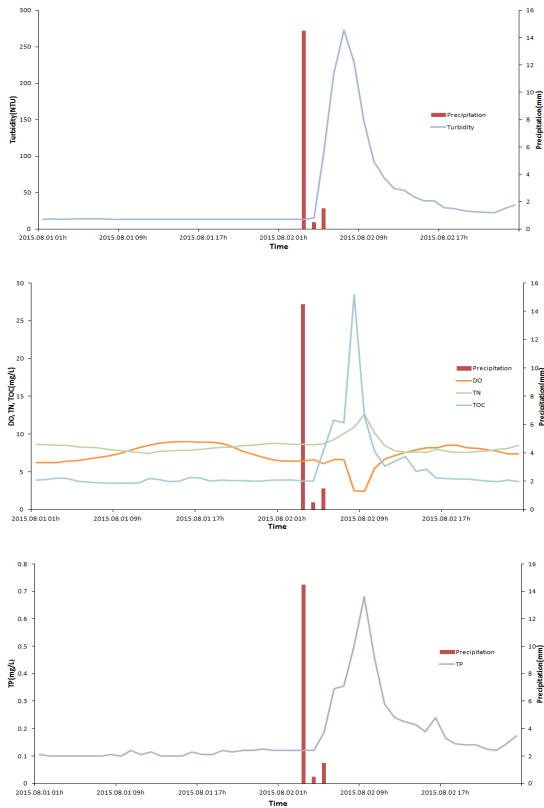


Fig. 3. Hourly variation of the various parameter with precipitation in Tancheon stream.

하기 위해 수질 측정항목들을 이용하였다. 전기전도도는 유기물을 연속측정하기 위한 간접적인 방법으로 알려져 있으며, 특히 이온성 물질 등과 같은 전도성 물질에 대하여 상관성은 좋으나, 비전도성 오염물질이 혼재되어 있는 수체에서는 용존성 물질이라도 전기전도도를 이용하여 예측하는 것은 부적합하여 DO, 탁도, TN, TP 및 TOC의 5개 항목에 대한 시간 농도자료를 이용하였다(16, 17). 수질 측정항목들의 최고 농도에 도달하는 시간에서는 DO만 최저 농도를 보였다. 이런 DO의 최저 농도는 일변화에서 주간이 아닌 야간에 주로 나타났지만, 부정기적으로 강우 시에도 발생하는데, 이는 하상에 축적되어 있던 유기물과 미생물 슬러지가 유속증가에 의한 유출영향으로 보였다(18). 유출계수에 영향을 미치는 선행강우와 불투수층 등의 영향을 배제하기 위하여, 최고 농도 도

달시간은 강우강도가 10 mm/h 이상 내리는 날로 정하였다. 항목별로 최고농도를 도달하는 시간이 차이를 보이는 경우도 있었으며, 8월 2일 경우는 16.5 mm이 강우가 발생하여, 강우발생 2시간부터 농도가 증가하기 시작하여 6시간에 최고 농도를 보였다. 강우발생 후 최고 농도에 도달하는 시간은 2~7시간으로 나타났다. 이는 낙동강 본류의 24시간보다 짧았다. 탄천유역은 넓은 면적에 비해, 상대적으로 도달시간, 지체시간 등의 짧은 수문학적 반응시간과 측정지점 위치 등에 의한 영향으로 보인다(19, 20).

강우 발생이후 수질 측정항목별 최고농도 도달 시간의 농도와 강우가 발생하기 바로 1시간 전 농도를 비교하여, 강우에 의한 탄천의 최대 수질 변동폭을 알아보고자 하였다. 그리고 수질 변동요인으로 일변화량에 의한 것인지 강우에 의한 것인지 구분하기 위하여, 비강수일의 DO, 탁도, TN, TP 및 TOC의 일변화량인 3.1 mg/L, 8.4 NTU, 1.541 mg/L, 0.142 mg/L 및 0.69 mg/L을 각각 초과하지 않은 것은 제외하였다.

강우발생일 64일 중 일변화량을 초과하는 날은 총 12일로, 강우량은 0.5~16.5 mm이었고 평균 강우량은 9.5 mm이었다. DO의 강우발생에 의한 최대 변화량은 8.0 mg/L로, 9.2 mg/L에서 1.2 mg/L로 감소한 7월 23일에 발생하였다. 이는 김등(18)의 안양천에서 DO 변화폭인 9.2 mg/L보다 다소 낮은 값을 보였다. 탁도의 최대 변화량은 335.2 NTU로 22.5 NTU에서 357.7 NTU로 증가한 날로 DO와 같은 날에 발생하였다. TN의 최대 변화량은 22.04 mg/L으로, 8.12 mg/L에서 30.16 mg/L로 증가한 4월 19일에 발생하였다. TP의 최대 변화량은 7.845 mg/L으로, 0.165 mg/L에서 8.010 mg/L로 증가한 날로 TN과 같은 날에 발생하였다. TOC의 최대 변화량은 49.76 mg/L으로, 5.45 mg/L에서 55.21 mg/L로 증가한 5월 11일에 발생하였다. 이는 강우 발생이 많은 여름철과 함께 봄철에 강우에 의한 하천의 수질오염도의 변화가 큰 것을 알 수 있었다(12).

강우에 의한 DO의 최대 농도변화는 초기 농도의 87% 감소하였지만, 탁도, TN, TP 및 TOC의 변화는 초기농도의 14.9배, 2.7배, 47.5배 및 9.1

배 증가한 결과를 보였다.

결 론

탄천 수계 내 수질변동 특성과 함께 강우 발생 시 탄천 수계로 유입되는 수질 오염물질들로 인한 수질 변동을 알아보기 위해 2014년 12월부터 2015년 11월까지의 탄천 수질측정소 자료와 기상청자료를 이용하였다.

조사 기간 동안 강수에 의한 탄천 수질 변동은 수질 측정항목들마다 다른 경향을 보였다. 계절별로 보면, DO, 탁도 및 TN은 상대적으로 여름에 큰 영향을 받았고, TOC는 가을에 큰 영향을 받았다. 특히 입자상오염물질인 탁도는 강수에 의한 하상교란 등의 원인으로 여름에 높은 농도를 보였으며, 강수량이 적은 봄에도 상대적으로 높은 농도를 보였는데, 이는 겨울철에 축적된 비점오염원들에 의한 영향으로 보였다. 그리고 TN, TP, TOC 등과 같은 용해성 오염물질들은 강수량이 많은 여름과 가을에 강수에 의한 희석효과로 낮은 농도를 보였다. 시간별 수질 변동을 보면, 야간에 탁도, TN, TP 및 TOC는 높은 농도를 보였으며 DO는 낮은 농도를 보였다.

또한 강수량과 수질 측정 항목들 간의 Spearman 상관계수를 보면, 강수량은 온도와 TN을 제외한 항목들에서 상관성을 가지는 것으로 보였지만, 높은 값을 보이지는 않았다. 그렇지만, 수질 측정 항목들 간의 상관계수는 높은 값을 보였다.

탄천의 짧은 수문학적 반응시간과 측정지점 위치 등의 영향으로 강우 발생 후 최고농도에 도달하는 시간은 2~7시간이었으며, 조사기간 동안 강수에 의한 DO의 최대농도변화는 초기 농도의 87% 감소하였으며, 탁도, TN, TP 및 TOC의 변화는 초기농도의 14.9배, 2.7배, 47.5배 및 9.1배 증가한 결과를 보였다. 이런 강수 발생에 의한 수질 변화를 최소화하기 위해서 생태하천복원 및 빗물저류시설 추가설치 등이 필요할 것으로 보이며, 향후에 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 이용곤 : 경상남도 환경기초시설의 방류수질 현황과 과제, 경남발전연구원, p.1~53, 2009.
2. 기상청, <http://www.kma.go.kr/>
3. 장재호, 안중호 : 미래 기후변화에 따른 낙동강 유역의 수문·수질 변화, 한국수자원학회지, 45:1121~1130, 2012.
4. 박종윤, 박민지, 안소라, 김성준 : 기후변화가 충주댐 유역의 하천수질에 미치는 영향평가를 위한 유역 모델링, 한국수자원학회지, 42:877~889, 2009.
5. 이창수 : 우수이용 효율화를 위한 수질변화와 강우특성 검토, 대한토목학회논문집, 28(3B): 355~361, 2008.
6. 이윤석, 기서진, 조경화, 차성민, 이영근, 김준화 : 강우 및 초기강우시 광주지역 오염부하량 및 유출특성, 한국대기환경학회학술대회논문집, p.1972~1974, 2007.
7. 백용욱, 이용한, 김학규, 안윤주 : 탄천 상·하류의 하천수 및 퇴적물 오염도 연구, 한국하천호수학회지 43(1):11~18, 2010.
8. 양해근 : 강우시 비점오염물질의 유출특성에 관한 연구, 대한지리학회지 41(4):418~434, 2006.
9. 장성호, 박진석 : 남천에서의 강우시 비점오염물질의 유출특성, 한국환경보건학회지, 31(1): 1~6, 2005.
10. 서울연구원 : 서울특별시 수질 및 수생태계 보전계획, p.1~66, 2014.
11. 박치홍 : 순천 도시하천의 수질특성과 중요성 관찰, 한국관리학회지, 8(1):9~20, 2002.
12. 조현석, 윤태호, 임귀철, 이광식, 윤호균, 김갑수, 조수석, 이태호, 길혜경, 전채식 : 도심하천인 안양천의 강우로 인한 수질변동 특성 및 영향, 서울특별시보전환경연구원보, 50: 257~263, 2014.
13. 광미애, 정종흡, 어수미, 이흥근 : 서울시 하수처리장 수질의 변동 및 방류수의 영향 평가, 대한위생학회지 19:1~13, 2004.

14. 김연태, 김유리, 우남철, 현승규 : 강우에 의한 중랑천의 수질 특성 변화 연구, 한국물환경학회지 22:666~671, 2006.
15. 박현건, 차연화 : 합천호 상류수계의 수질인자간 상관관계에 관한 고찰, 대한환경공학학회지, 35:94~100, 2013.
16. 김영숙, 문현생, 홍지영, 김미아, 김셋별, 신현주, 김경현 : 금강수계의 실시간자동측정 자료를 이용한 수질환경인자 간의 상관관계 분석, 한국환경분석화학지, 18(1):67~84, 2015.
17. 서인석, 김연권, 김홍석, 김지연 : 하수처리장 실시간 유입수 COD 추정을 위한 부유물질, 전기전도도 및 OUR의 활용성에 관한 연구, 한국수처리학회지, 21(6):27~36, 2013.
18. 김선정, 신명선, 김재구, 이재용, 정갑주, 안부영, 김범철 : 부영양 도심하천(안양천)에서 고빈도 관측에 의한 산소고갈과 기상조건의 영향 연구, 한국하천호수학회지, 45:34~41, 2012.
19. 김창성, 한상연, 김문모, 여운광 : 탄천유역 확률강우량과 계획홍수량 산정에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회, p.1505~1508, 2005
20. 주기재, 박성배, 이상균, 장광현, 정광석 : 장마기의 강우가 낙동강 하류(물금)수질에 미치는 영향, 낙동강조사월보, 89:3~22, 2004.