

## 한강 본류에서 유기물 오염도 지표인 BOD와 COD에 대한 장기변동 특성

조현석\* · 김광래 · 임귀철 · 배경석 · 이민환

(서울특별시 보건환경연구원 수환경생태팀)

**A Study on Long-term Variations of BOD and COD as Indicators of Organic Matter Pollution in the Han River. Cho, Hyun-Seok\*, Kwang-Rae Kim, Gyu-Chul Lim, Kyung-Seok Bae and Min-Hwan Lee (Aquatic Ecology Team, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment)**

This study was performed to investigate the degree of long-term pollution at the mainstream of the Han River by comparing the concentration of BOD and COD from 1975 to 2011. The long-term annual average BOD and COD concentration at the mainstream of the Han River showed an increasing trend as it flowed downstream from Paldang Dam to Gayang. The concentration of BOD ( $r^2=0.646$ ) and COD ( $r^2=0.260$ ) showed a consistent decreasing trend for 37 years. In the case of Paldang Dam, BOD has maintained a decreasing trend, whereas the COD value showed an increasing trend after the 1990s. Therefore, a control of non-biodegradable materials in areas around Paldang Dam is required. The result of the seasonal variations of BOD and COD is as follows: spring > winter > summer and fall ( $p < 0.001$ ). The time series analysis revealed a strong correlation for every 12-month period. Also, the amount of water discharge at Paldang Dam has to be systematically controlled because the amount of water discharge from the dam influences the water quality at the mainstream of the Han River.

**Key words : Han River, BOD, COD, water quality**

### 서 론

서울시민의 급수원이면서 전 국토의 27%에 달하는 유역면적을 가지고 있는 한강은 서울을 중심으로 한 수도권에 생활용수, 공업용수, 농업용수 등의 공급원 역할을 하는 매우 중요한 강이다. 과거 한강은 인구증가 및 산업 발달로 수질이 악화되었고 이에 따라 상수처리법 도입

및 하수처리장과 같은 환경기초시설 확충에 막대한 예산을 투입하여왔다. 그 결과 1982년 한강종합개발계획과 1990년대 이후 꾸준한 수질개선 및 관리로 점차 한강 수질은 개선되었다. 한강은 서울의 식수원으로 매우 중요한 역할을 하고 있기에 한강 수질관리에 더욱 더 많은 관심과 개선이 필요한 상황이다. 유기물오염은 호수와 하천에서 가장 흔히 나타나는 오염의 형태로 우리나라에서는 하천, 호수와 폐수처리장의 관리를 위해 수중의 오염물질

\* Corresponding author: Tel: 02) 570-3293, Fax: 02) 570-3389, E-mail: hyperchs92@seoul.go.kr

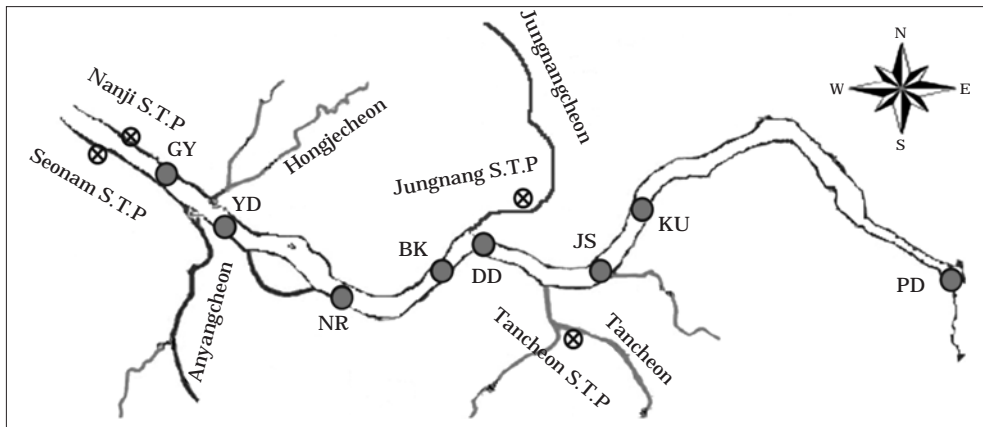


Fig. 1. Map showing the relevant study area and sampling sites at Han River.

지표로 BOD<sub>5</sub> (이하 BOD)와 COD<sub>Mn</sub> (이하 COD)을 법제화하여 국내의 수질관리정책에서 유기물의 핵심적인 지표로서 활용하고 있으며, 이에 대한 많은 연구와 자료의 축적이 이루어져왔다(Gwak, 1992; Lim and Kim, 2002; Yoo, 2004; Kim *et al.*, 2007; Kim and Kwon, 2009; Shin *et al.*, 2011). 그러나 하천수의 수질은 짧은 기간에 변화하는 특성이 있고 조사시기에 따른 많은 차이가 발생한다. 인간 활동에 의한 생활하수, 농업용수, 공업용수, 광산폐수, 온천폐수, 농약 등과 같은 인위적인 오염을 제외하면, 화학성분은 강수의 성분과 주변지역의 지질에 의한 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다(Berner and Berner, 1987; Chon *et al.*, 1998; Oh and Koh, 2003). 또한 수질의 판단은 어느 한정된 영역에서 단 몇 회의 검사만으로는 이루어질 수는 없으나 일정한 기간 동안 여러 차례에 걸쳐 분석한 연간 변화에 따른 오염도를 통해 수질의 상태를 판단할 수 있다. 이러한 이유로 수질의 상태를 판단하기 위해서는 장기적인 변화를 살펴볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 팔당댐에서 가양에 이르는 한강 본류를 대상으로 유기물 분해율이 상이한 BOD와 COD의 장기적인 변동(1975~2011)양상을 조사하여 산업화 이후 오염된 수역에서 현재까지의 변화된 특성을 파악하고 난분해성 유기물질 관리의 필요성 증대 등과 같은 효율적인 한강 본류 수질관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상 및 기간

한강본류의 유기물질 비교지점은 상수원인 팔당댐(PD)

을 기점으로 구의(KU), 잠실(JS), 뚝도(DD), 보광(BK), 노량진(NR), 영등포(YD), 가양(GY) 등 총 8개 지점을 선정하였다(Fig. 1). 또한 1975년부터 2011년 11월까지 37년간의 한강 본류의 유기오염물질의 장기변동을 평가하기 위하여 서울시 보건환경연구원 분석 자료와 환경부의 연간평균자료를 이용하여 비교하였다.

### 2. 분석항목 및 통계처리

본 연구에서 분석항목은 유기오염의 지표인 BOD, COD 항목을 통해 유기오염물질의 장기 변동 특성을 규명하였다. 한강본류의 연평균 BOD, COD 농도의 계절적 차이를 비교분석하기 위하여 변량분석(ANOVA)을, 시계열 분석은 ARIMA 분석을, 수질 항목간의 상관관계는 Pearson 상관지수 분석으로 비교하였다. 통계처리는 SAS v8 package (SAS Inst., Cary, NC)로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 한강본류 유기오염물질 장기변동 특성

한강본류 8개 지점의 37년간(1975~2011) BOD, COD의 평균값, 최대·최소값 분석결과는 Tables 1, 2와 같이 요약된다. 한강본류의 연평균 BOD는 1.3~6.9 mg L<sup>-1</sup>이고 COD는 2.9~8.1 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 팔당댐의 BOD는 1.3 mg L<sup>-1</sup>, COD 2.9 mg L<sup>-1</sup>으로 가장 낮게 나타나는 반면, 하류 지점인 가양의 BOD는 6.9 mg L<sup>-1</sup>, COD 8.1 mg L<sup>-1</sup>으로 가장 높게 나타났으며 상류인 팔당댐에 비해 BOD는 약 5배, COD는 약 3배 정도 높게 나타났다. 상류에서 하류로의 지점별 흐름을 살펴보면(Fig. 2), 상류인

**Table 1.** Long-term variations of BOD in Han River.(unit: mg L<sup>-1</sup>)

	'75~'79	'80~'89	'90~'99	'00~'09	'10~'11	Mean	S.D.	Max.	Min.
PD	1.0	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	0.2	2.0	0.8
KU	1.8	1.8	2.0	1.8	1.8	1.8	0.3	2.7	1.3
JS	—	—	2.2	1.7	1.4	1.8	0.4	2.6	1.2
DD	2.2	2.7	2.8	2.8	2.0	2.7	0.6	4.5	1.7
BK	5.6	4.2	3.5	3.6	2.6	4.0	1.1	7.4	2.6
NR	6.0	4.8	3.6	3.5	3.1	4.2	1.2	7.9	2.7
YD	8.2	6.6	3.5	3.2	2.6	4.8	2.4	10.1	2.4
GY	12.8	11.4	4.6	3.3	2.9	6.9	4.5	19.2	2.7

**Table 2.** Long-term variations of COD in Han River.(unit: mg L<sup>-1</sup>)

	'75~'79	'80~'89	'90~'99	'00~'09	'10~'11	Mean	S.D.	Max.	Min.
PD	2.3	2.6	2.5	3.5	3.9	2.9	0.7	4.0	1.7
KU	2.6	3.0	3.4	3.9	4.4	3.4	0.7	5.0	1.6
JS	—	—	3.8	3.8	3.6	3.8	0.3	4.5	3.1
DD	3.0	3.8	4.3	4.5	3.9	4.0	0.8	5.6	2.0
BK	7.1	4.9	5.0	5.2	4.4	5.3	1.2	9.6	3.9
NR	6.8	5.2	5.1	5.5	5.5	5.5	0.9	8.2	4.0
YD	8.7	6.4	5.0	5.4	4.7	6.0	1.6	11.3	4.1
GY	15.8	9.7	6.2	5.7	5.3	8.1	3.6	18.1	5.0

팔당댐이 가장 양호한 수질을 나타내고 있는데 이는 한강본류의 상류지점으로서, 오염원의 유입이 상대적으로 낮았기 때문에 나타난 결과이다. 그러나 지천인 탄천이 유입되는 뚝도 지점부터 농도증가를 보이기 시작하여 중랑천이 합류되는 보광과 인양천 및 홍제천이 합류되는 가양지점에서는 BOD 4.0 mg L<sup>-1</sup>, COD 5.0 mg L<sup>-1</sup> 이상 높은 농도를 나타내었다.

37년간 한강본류의 생분해성 유기물의 지표인 BOD의 경우 꾸준히 감소( $r^2=0.646$ )하고 있고 총 유기물을 대표할 수 있는 COD농도도 감소추세( $r^2=0.260$ )를 유지하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 하지만 COD농도의 경우 1994년 이후부터 약간 증가하는 경향을 보였으나 변동폭은 크지 않았다. 한강수계로 유입되는 유기물은 주로 점오염원인 지천의 물재생센터의 방류수에 영향을 받게 되는데 현재 4개의 물재생센터(중랑, 탄천, 서남, 난지)는 생물학적 공정 방식으로 미생물을 통해 생분해성 유기물을 제어하기 때문에 난분해성 유기물의 유입이 많은 경우 BOD는 상대적으로 덜 영향을 받지만 COD농도는 영향을 받기 때문에 사료된다(Kim *et al.*, 2007; Han River Basin Management Committee, 2009; Kim and Kwon, 2009). 반면 상류인 팔당댐의 경우 1990년대 이후부터는 BOD는 감소 추세를 유지하고 있으나 COD농도는 1991년 1.7 mg L<sup>-1</sup> 이후 2011년 3.9 mg L<sup>-1</sup>으로 약 2배 이상 증가하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 4). 팔당댐은 한강상류유역

으로 하류와 달리 점오염원 보다 비점오염원에 의한 유출이 심하게 나타나고 있는데 이 중 산림토사, 고령지농업, 농업활동, 축사폐수 등에 의한 영향으로 난분해성 물질의 유입으로 COD가 증가하고 있는 것으로 사료된다(Shin *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2009; Park and Shin, 2011).

하수처리시설의 경우(Table 3), 1976년 청계천하수처리장(현 중랑물재생센터 제1처리장)이 설치되었으나 1일 처리능력이 15만톤에 불과하고 1979년 중랑하수처리장의 처리능력은 21만톤 규모에 불과하여 많은 양의 오폐수가 제대로 처리되지 못한 채 유입되어 한강본류의 BOD 5.6 mg L<sup>-1</sup> (0.8~14.6 mg L<sup>-1</sup>)와 COD 6.7 mg L<sup>-1</sup> (1.6~18.1 mg L<sup>-1</sup>)의 농도로 높게 나타났다. 이러한 추세는 1984년에 BOD 7.3 mg L<sup>-1</sup> (2.0~19.2 mg L<sup>-1</sup>)와 COD 6.1 mg L<sup>-1</sup> (2.3~13.1 mg L<sup>-1</sup>)의 농도로 높은 수치를 나타낸 이후 점차 개선되기 시작하였다. 이는 1984년까지는 하수처리능력이 36만톤에 불과하여 미처리된 오폐수의 유입으로 농도가 상승한 결과이다. 그러나 중랑하수처리장 증설 및 탄천, 서남, 난지하수처리장이 가동되기 시작한 1985년부터 한강본류의 BOD 5.2 mg L<sup>-1</sup> (1.5~14.6 mg L<sup>-1</sup>), COD 5.0 mg L<sup>-1</sup> (2.6~11.6 mg L<sup>-1</sup>)로 점차 개선되기 시작한 것으로 사료된다. 1992~1995년의 BOD, COD농도는 전반적으로 감소하거나 비슷한 수준을 유지하고 있지만 1996~1997년에는 BOD, COD가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 한강상류지역의 하수처리장 등 환경기초시설

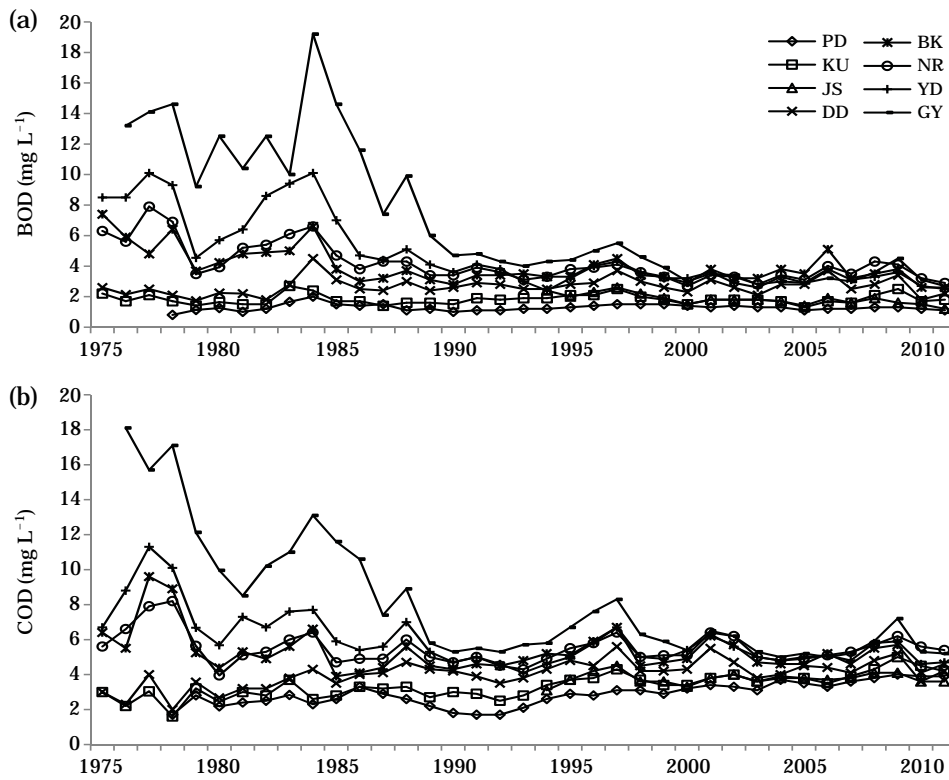


Fig. 2. Long-term variations of BOD (a) and COD (b) from Paldang Dam to Gayang.

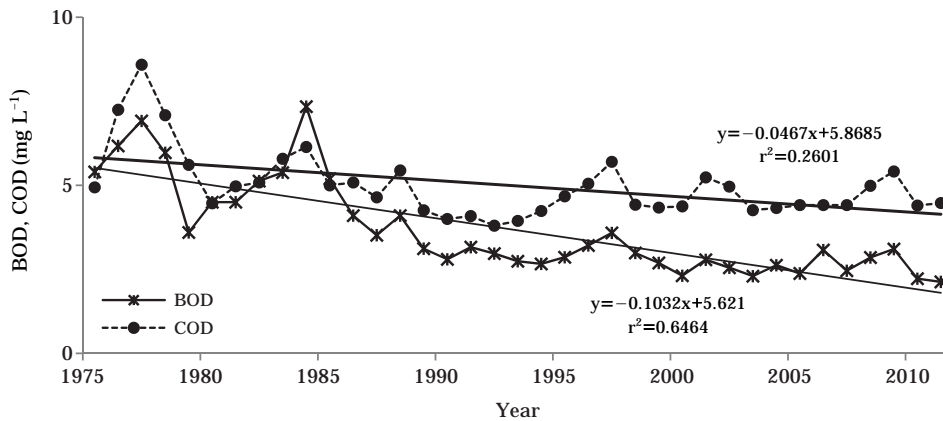


Fig. 3. Long-term variations of BOD and COD from 1975 to 2011.

건립이 계획보다 다소 지연되었고 남양주시, 하남시 등 한강상류지역에 대단위 아파트 건설에 따른 미처리된 생활하수 유입량증가가 영향을 미친 결과이다(Seoul Metropolitan Government, 1997). 하지만 가장 높은 농도를 유지 하던 한강 하류인 가양지점에서 1984년 BOD  $19.2 \text{ mg L}^{-1}$ , COD  $13.1 \text{ mg L}^{-1}$ 을 나타낸 후 감소하기 시작하여 1990년에는 BOD  $4.7 \text{ mg L}^{-1}$ , COD  $5.3 \text{ mg L}^{-1}$ 로서 각각 75.5%

59.5% 감소한 것으로 나타났다는 점은 주목할 만하다. 이는 안양천 수질개선과 방류수의 수질기준 강화의 결과로 인한 것이다. 안양천은 1984년부터 전국 최대의 오염하천으로 BOD가 최대  $200 \text{ mg L}^{-1}$  이상까지 증가하였으나 1990년부터 안양천 살리기 운동에 따른 많은 투자와 노력으로 인해 안양천의 BOD가 급격히 감소하여 이로 인해 1990년 이후에 가양의 BOD가 낮아진 것이다(Lee and

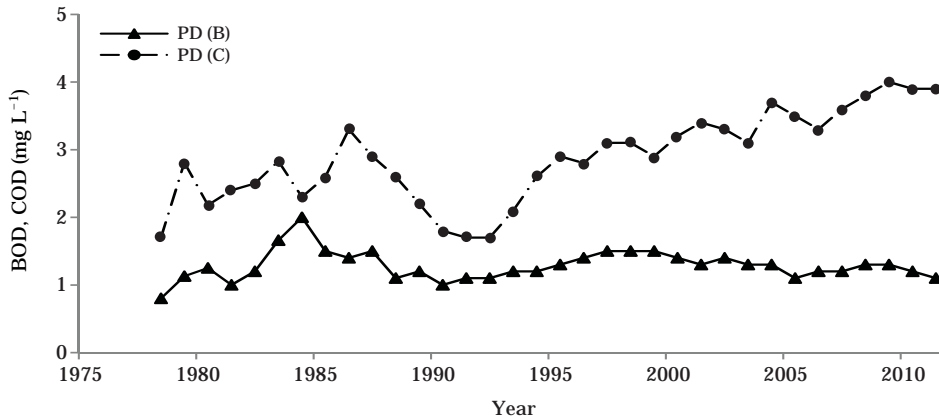


Fig. 4. Long-term variations of BOD and COD at Paldang Dam.

Table 3. Number of sewage treatment plants in Seoul.

(units: 10,000 ton day<sup>-1</sup>)

	'76	'79~'84	'85~'89	'90~'91	'92~'93	'94~'95	'96	'97	'98~Present
Jungnang	15	36	111	121	136	146	146	171	171
Tancheon	-	-	50	60	60	75	75	85	110
Seonam	-	-	100	100	100	100	100	150	200
Nanji	-	-	50	50	50	50	84	100	100
Sum	15	36	311	331	356	371	405	506	581

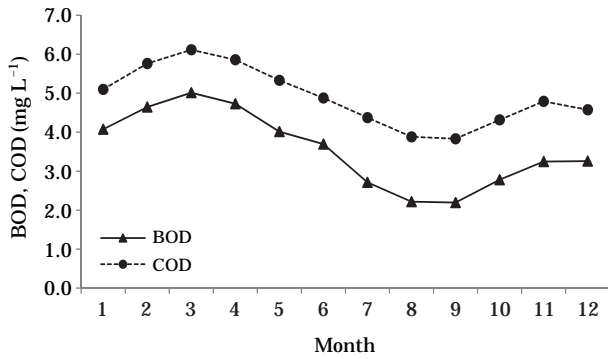


Fig. 5. Monthly variations of BOD and COD.

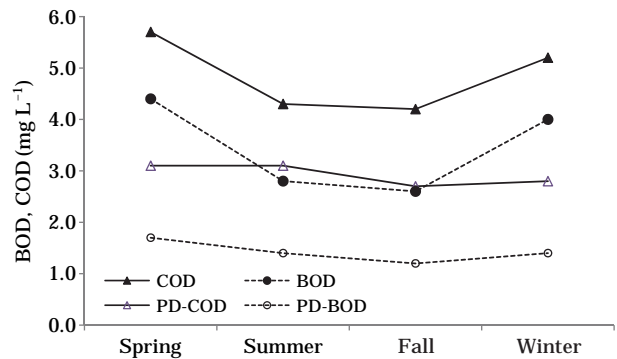


Fig. 6. Seasonal variations of BOD and COD.

Cho, 2005). 방류수는 하천에 직접적으로 부하되는 오염원으로 하천에 대한 기여도 또한 높은데 (Kim, 2005), 1996년부터 하수처리장 방류수 기준(BOD: 20 mg L<sup>-1</sup>, COD: 40 mg L<sup>-1</sup>)이 시행된 후 2008년 방류수 기준(BOD: 10 mg L<sup>-1</sup>, COD: 40 mg L<sup>-1</sup>)을 강화시킨 결과로 사료된다. 2010~2011년 한강본류의 BOD 농도는 2000~2009년과 유사하거나 다소 감소하는 경향을 보이고 있으며 팔당댐에서 뚝도까지는 1b인 ' 좋음'을 유지하고 하류인 보광~가양구간은 II등급 수준인 '약간 좋음'을 유지하는 것으로 나타났다. 반면 COD 농도는 팔당댐과 구의지점은 증가추세

를 보였고 그 밖의 지점은 유사하거나 감소하는 경향을 보이고 있다. 팔당댐, 잠실, 뚝도는 1b인 ' 좋음', 구의, 보광, 영등포는 II등급인 '약간 좋음', 노량진과 가양은 III등급인 '보통'을 유지하는 것으로 나타났다.

2. 계절별 수질변화 특성

한강본류의 월별 BOD, COD의 계절적 변동성은 집중 강우가 있는 여름철을 중심으로 뚜렷하게 나타났다(Fig. 5). 이는 여름철 강수량에 따른 BOD, COD농도의 희석효

과가 크다는 것을 의미한다. 한강본류의 BOD, COD농도의 계절별 수질 변화 특성을 통계처리한 결과(Fig. 6), 봄 >겨울>여름, 가을 순으로 높았으며 여름과 가을의 BOD, COD농도 특성은 비슷한 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ). 우리나라의 강우특성이 여름과 가을에 집중되기 때문에 여름과 가을의 BOD, COD농도가 봄과 겨울보다 낮은 것으로 사료된다. 반면 봄과 겨울은 강우가 집중되는 시기가 아닌 갈수기에 해당되기 때문에 상대적으로 여름과 가을에 비해 하천의 수량이 적은 상태에서 생활하수 및 물재생센터의 방류수 등의 유입결과로 높아진 것으로 사료된다(Han *et al.*, 2010; Kim and An, 2010). 한편 팔당댐 BOD농도의 계절별 경향과 한강본류의 계절별 경향이 유사한 패턴을 보였으나 팔당댐 COD농도의 계절별 경향은 BOD와 달리 여름과 봄이 높고 겨울과 가을이 상대적으로 낮

은 경향을 나타내어 한강본류와 비유사성을 나타냈다( $p < 0.001$ ), 이는 하류지역과 달리 상류지역 환경이 대체로 산림 및 농경지, 축산시설 등으로 이루어져 있어 점오염원의 유출보다는 상류에 산재한 농경지, 축산시설과 같은 비점오염원 유출로 인한 것으로 강우가 집중되는 여름철인 경우 토사의 유출로 인한 난분해성 유기물 유입이 많고 탁수발생과 더불어 증가되는 총부유물에는 유기성부유물보다 비휘발성무기물이 증가하기 때문으로 사료된다(Shin *et al.*, 2003; Park and Shin, 2011).

또한 한강본류의 BOD, COD가 장기간에 주기성을 나타내었는지 여부를 확인하기 위해 시계열자료 분석에 적합한 ARIMA모형을 적용하였다. 한강본류의 월별 BOD, COD자료를 1개월 단위의 시계열자료로 자기상관함수로 분석한 결과, 시차 12에서 큰 자기상관함수가 값이 나왔

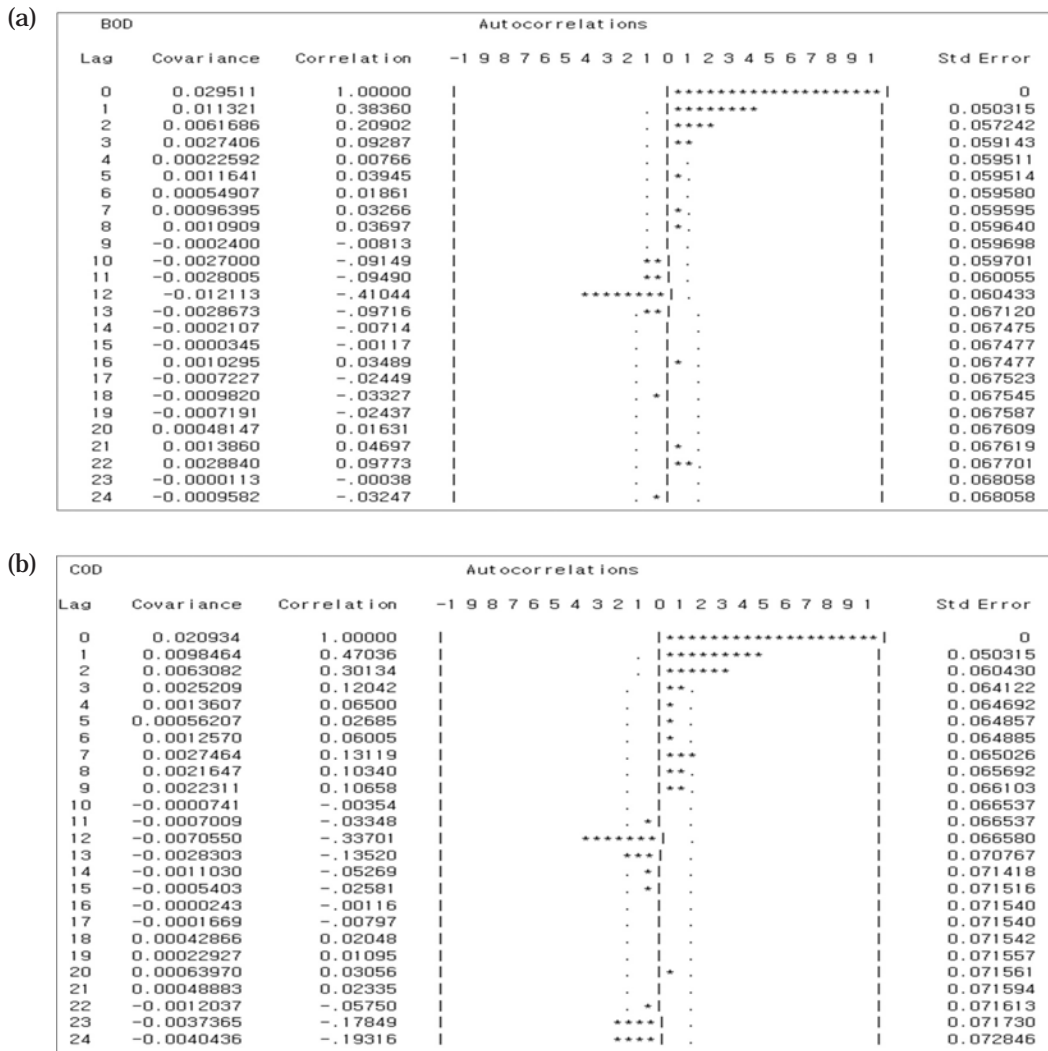


Fig. 7. Seasonal tendency of BOD (a) and COD (b).

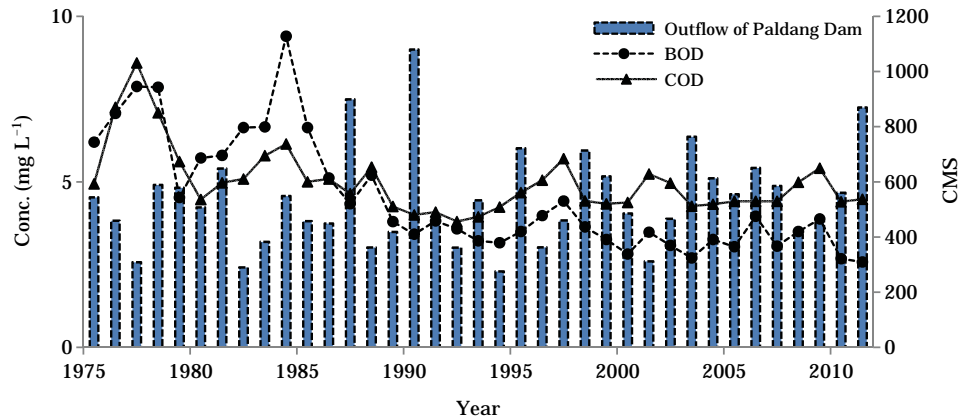


Fig. 8. Relationships among BOD, COD, and Outflow of Paldang Dam.

Table 4. Correlation coefficients for environmental parameters of the Han River.

	BOD	COD	Outflow of PD
BOD	1		
COD	0.779*	1	
Outflow of PD	-0.276	-0.318**	1

\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.05$

다(Fig. 7), 이는 한강본류의 BOD, COD가 12개월 주기로 강한 상관관계가 있고 장기간에 걸쳐 주기성이 있음을 나타낸 것이다(Yoo, 2002, 2004).

### 3. 팔당댐 방류량과 한강본류 수질오염도의 영향

하천의 수질은 하천 수량이 많고 적음에 따라 수질평가 결과도 상이하게 나타나기 때문에 팔당댐의 방류량은 한강본류 수질에 영향을 미칠 수 있다. 팔당댐의 방류량이 적었던 시기인 1977년(309CMS), 1982년(290CMS), 1992년(362CMS), 1994년(276CMS), 2001년(312CMS)의 한강본류의 BOD, COD농도 추이변화와 팔당댐의 방류량이 많았던 시기인 1987년(899CMS), 1990년(1080CMS), 1995년(722CMS), 1998년(714CMS), 2011년(870CMS)의 한강본류의 BOD와 COD농도 추이변화를 비교해보면 팔당댐 방류량이 많을수록 한강본류의 BOD와 COD농도는 낮아지는 경향을 나타내고 적을수록 높아지는 경향을 보이고 있다(Fig. 8). Pearson 상관지수 분석결과, BOD와 COD는 양의 상관성( $r=0.779$ ), 팔당방류량과 BOD, COD는 각각  $r=-0.276$ ,  $r=-0.318$ 로 역의 상관성을 보였다(Table 4). 따라서 팔당댐의 방류량은 한강수질에 영향을 미칠 수 있기 때문에 유기적인 조절이 필요할 것으로 사료된다(Cho *et al.*, 2003).

## 적 요

1975년부터 2011년 11월까지 37년간의 한강 본류의 유기오염물질의 장기변동을 평가하기 위하여 BOD와 COD 항목에 대해 서울시 보건환경연구원 분석 자료와 환경부의 연간평균자료를 이용하여 비교하였다. 한강본류의 유기물질 비교지점은 상수원인 팔당댐(PD)을 기점으로 구의(KU), 잠실(JS), 뚝도(DD), 보광(BK), 노량진(NR), 영등포(YD), 가양(GY) 등 총 8개 지점을 선정하였다. 한강본류의 연평균 BOD는 상류인 팔당댐에서 하류인 가양 지점으로 유하하면서 증가하였다. 연도별로는 1984년에 최고치를 나타낸 후 점차 감소하기 시작하여 팔당댐에서 뚝도까지는 하천의 생활환경기준 1b인 ' 좋음'을 유지하고 있었다. 하류인 보광~가양구간은 II등급 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 반면 연평균 COD의 농도는 BOD와 달리 1992년에 최저치를 나타낸 후 1993년부터 증가하는 경향을 나타내었다. 현재는 팔당댐, 잠실, 뚝도는 1b인 ' 좋음', 구의, 보광, 영등포는 II등급인 ' 약간 좋음', 노량진과 가양은 III등급인 ' 보통'을 유지하고 있었다. 37년간 생분해성 유기물의 지표인 BOD의 경우 꾸준히 감소( $r^2=0.646$ )하고 있고 총 유기물을 대표할 수 있는 COD농도도 감소추세( $r^2=0.260$ )를 유지하는 것으로 나타났다. 반면 팔당댐의 경우 1990년대 이후부터는 BOD는 감소 추세를 유지하고 있으나 COD농도는 1991년  $1.7 \text{ mg L}^{-1}$  이후 2011년  $3.9 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 약 2배 이상 증가추세를 보이고 있는 것으로 확인되어 팔당댐 수계내의 난분해성 물질에 대한 체계적인 관리가 필요할 것으로 사료된다. 계절별 BOD, COD농도는 봄>겨울>여름, 가을 순으로 높았으며 시계열 자료분석을 통해 12개월 주기로 강한 상

관관계가 있고 장기간에 걸쳐 주기성이 나타나고 있음을 확인하였다. 팔당댐 방류량이 많을수록 한강본류의 BOD와 COD농도는 낮아지는 경향을 나타내고 적을수록 높아지는 경향을 보이고 있다. 따라서 한강수질관리에 있어 팔당댐 방류량의 유기적 조절이 필요한 것으로 사료된다. 비록 1975년부터 2011년까지의 한강본류의 BOD의 장기변동만 고려할 때 한강수질이 나아지기는 했으나 팔당댐 COD는 상대적으로 증가하고 있으므로 수질이 개선되었다고 보기에는 무리가 있다. 따라서 고도하수처리 시설 등 수질개선을 위한 시설 확충과 비점오염원 원인분석 및 저감 대책과 더불어 주변 환경 및 각종 요인을 정확히 분석하고 총체적인 검토가 이루어져야 할 것으로 보이고 앞으로의 수질정책에 있어 중요한 요소라고 생각된다.

## 인 용 문 헌

- Berner, E.K. and R.A. Berner. 1987. *The Global Water Cycle*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ: 397.
- Cho, S.J., C.C. Yun, E.G. Jeong, C.H. Lee, S.Y. Lee, L.T. Kim, K.S. Bae and J.S. Shin. 2003. Studies on yearly changes of water quality in the low Han River. *The Report of Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment* **39**: 517-525.
- Chon, H.T., H.S. Moon, K.H. Kim and M.C. Jung. 1998. *Environmental Geology*. p. 529. Seoul National University Press. Seoul.
- Gwak, H. 1992. A study on the water pollution of them Han River. M.A. Thesis. Dankook University.
- Han, J.H., Y.J. Bae and K.G. An. 2010. Spatial and temporal variability of water quality in Geum-River watershed and their influences by landuse pattern. *Korean Journal of Limnology* **43**(3): 385-399.
- Han River Basin Management Committee. 2009. The increasing trend of refractory organic matters and the management plans for the Han river basin.
- Jung, S.M., C.J. Jang, J.K. Kim and B.C. Kim. 2009. Characteristics of water quality by storm runoffs from intensive highland agriculture area in the upstream of Han River basin. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**(1): 102-111.
- Kim, B.C., S.J. Jung, C.W. Jang and J.K. Kim. 2007. Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **29**(6): 640-643.
- Kim, J.K., M.S. Shin, C.W. Jang, S.M. Jung and B.C. Kim. 2007. Comparison of TOC and DOC Distribution and the Oxidation Efficiency of BOD and COD in Several Reservoirs and Rivers in the Han River System. *Journal of Korean Society on Water Environment* **23**(1): 72-80.
- Kim, K.S. and O.S. Kwon. 2009. Spatial distribution of the levels of water pollutants in Han River. *Environmental and Resource Economics Review* **18**(1): 105-138.
- Kim, Y.P. and K.G. An. 2010. Characteristics of water quality in Hyeongsan River watershed. *Korean Journal of Limnology* **43**(1): 150-160.
- Kim, Y.S. 2005. Prediction of water quality improvement effect in Han River with sewer rehabilitation. M.A. Thesis. Chongju University.
- Lee, Y.K. and W.C. Cho. 2005. Assessment of water quality based on ecological factors in Anyang river. *The Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology* **9**(3): 39-50.
- Lim, K.H. and K.S. Kim. 2002. Correlativity of organic carbon indices for influent and effluent of sewage and wastewater treatment plant. *Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Treatment* **10**(1): 31-39.
- Oh, K.H. and Y.K. Koh. 2003. Water quality and pollutions of river waters in Gwangju city. *Journal of the Environmental Sciences* **12**(3): 287-297.
- Park, S.M. and Y.K. Shin. 2011. The Impact of monsoon rainfall on the water quality in the upstream watershed of southern Han River. *Korean Journal of Limnology* **44**(4): 373-384.
- Seoul Metropolitan Government. 1997. *Seoul's Environment*, Seoul.
- Shin, J.K., S.J. Hwang, C.K. Kang and H.S. Kim. 2003. Limnological characteristics of the river-type Paltang Reservoir, Korea: hydrological and environmental factors. *Korean Journal of Limnology* **36**(3): 242-256.
- Shin, M.S., J.Y. Lee, B.C. Kim and Y.J. Bae. 2011. Long-term variations in water quality in the lower Han River. *Journal of Ecology and Field Biology* **34**(1): 31-37.
- Yoo, H.S. 2002. Statistical analysis of factors affecting the Han River water quality. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **24**(12): 2139-2150.
- Yoo, H.S. 2004. Monthly fluctuation of the Han River water quality. *Journal of Korean Society on Water Environment* **20**(4): 352-356.

(Manuscript received 1 June 2012,  
Revised 27 July 2012  
Revision accepted 26 September 2012)