

팔당호 수질관리 정책의 효과 분석

최정현 · 하주현 · 박석순[†]

이화여자대학교 환경공학과

(2008년 10월 15일 접수, 2008년 12월 12일 채택)

Estimation of the Effect of Water Quality Management Policy in Paldang Lake

Jung Hyun Choi · Joo-Hyun Ha · Seok Soon Park[†]

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

ABSTRACT : A new approach based on the Seasonal Mann-Kendall Trend Analysis, was presented in this paper, in order to estimate effect of water quality management policy in Kyoungan Stream which is one of major tributaries into the Lake Paldang. The estimation was undertaken by comparing water quality trend slopes before and after implementation of the policy. The monthly water quality data of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP) measured from 1992 to 2005, were analyzed to determine the Kendall slopes before and after the Han River special policy implemented at 1998. The results indicated that the 1998 special policy would be effective in water quality improvement not at upstream but at downstream. This result agrees well with the previous water quality studies at Kyoungan stream. It was suggested that the presented approach could be an useful tool to estimate effect of a water quality management policy.

Key Words : Kyoungan Stream, Mann-Kendall Trend Analysis, Paldang Lake, Water Quality Management Policy

요약 : 이 논문에서는 팔당호에 행해진 수질관리 정책의 효과를 분석하기 위하여 계절 맨-켄달 경향분석법(Seasonal Mann-Kendall Trend Analysis)을 사용한 새로운 접근법으로 팔당호로 유입되는 주요 지류중 하나인 경안천의 수질을 정책 전과 후로 나누어 비교 분석하였다. 1992년부터 2005년까지 월별로 측정된 BOD, COD, 총인 및 총질소의 자료들을 이용하여 1998년 한강특별대책 시행 전과 후의 켈달 기울기(Kendall slope)를 비교하였고, 그 결과 한강특별대책이 경안천 하류의 수질 개선에는 효과가 있었으나 상류의 수질 개선에는 큰 효과를 거두지 못하였음을 밝혀냈다. 이러한 결과는 이전에 행해진 경안천 수질 관련 연구들의 결과와 잘 일치하는 것으로 보아, 이 연구에서 사용된 수질의 장기 경향 분석을 통한 정책의 효과를 판단하는 접근법은 앞으로 유용하게 사용되어 질 수 있으리라 판단된다.

주제어 : 경안천, 맨-켄달 경향분석(Mann-Kendall Trend Analysis), 팔당호, 수질관리정책

1. 서론

2,300만 수도권 상수원인 팔당호는 지금까지 여러 번에 걸쳐 토지이용규제 중심의 수질관리 정책이 시행되었다. 1975년에는 호수 주변에 상수원 보호구역이 지정되고, 1990년에는 보다 광범위한 지역에 특별대책지역이 설정되어 토지이용규제가 이루어졌다. 그러나 오염원은 증가하였고 수질은 계속해서 악화되어 1998년에는 보다 근본적인 해결을 위해 2005년까지 팔당호 수질을 1등급(BOD 1 mg/L)으로 개선하는 것을 목표로 하는 한강특별대책을 시행하게 되었다.¹⁾

한강특별대책은 ‘수질오염총량관리제도’, ‘수변구역제도’, ‘물이용부담금제도’, ‘상수원지역 주민지원제도’, ‘토지매수제도’ 및 ‘민간수질감시활동지원제도’ 등 여러 가지 새로운 제도를 도입하였다. 또한 행정구역 중심의 단순한 수

질정책에서 수질·생태·수자원을 통합한 종합적 대책을 기반으로 한 유역관리 차원의 접근이 시도되었으며, 정부 주도의 하향식 접근에서 벗어나 정책 수립과정에서 지역과 정부가 함께 참여하여 공동으로 계획을 수립하였다.²⁾

하수처리율을 제고하고 하수처리장 방류수의 수질기준을 강화하였으며, 산업폐수의 TP, TN 배출허용기준을 상수원지역에서 전역으로 확대하였다. 가축분뇨공공처리시설 확충, 가축분뇨 자원화시설 지원, 수변구역 내 축산시설의 입지 금지 및 관리 강화, 비점오염원 관리체계 구축, 개발사업 시 우수저류시설 설치 의무화, 하천자연 정화시설 설치 추진 등 점오염원과 비점오염원 모두에 대한 오염 저감 등을 추진하였다. 그 외 상수원지역 주민지원 사업 및 수질개선사업 등의 재원 조달을 위하여 수혜자 부담의 원칙에 입각한 물이용부담금 제도를 도입하였으며, 행정체계 정비 및 교육, 홍보활동 등을 강화하였다.¹⁾

이러한 정책을 시행하는 과정에서 수조원에 달하는 예산이 투입 되었고, 상류지역 주민들은 토지이용 및 행위 규제로 인해 많은 경제적·사회적 희생을 감수해야 하였다.

[†] Corresponding author
E-mail: ssp@ewha.ac.kr
Tel: 02-3277-3546

Fax: 02-3277-3275

수질정책을 시행하기 위해 엄청난 예산과 노력, 희생 등을 지불하였지만, 정책이 수질에 미친 영향을 분석하고 평가하는 시도들은 활발히 수행되지 못하였다. 실효성이 없고 희생만 강요하는 정책을 가려내어 정비하고, 그를 바탕으로 향후에 보다 효과적인 수질관리 정책을 수립하기 위해서는 정책시행 이후에 나타나는 변화들을 파악하고 정책의 효과를 분석하는 일이 필수적으로 수행되어야 한다.

지금까지 정책의 효과를 분석하기 위해서 주요 수질항목의 연평균 농도를 정책 시행 전과 후로 나누어 단순 비교하는 방법이 주로 사용되어져 왔다.³⁾ 그러나 자연이 갖는 불확실성, 계절성, 기상변화 등을 감안하면 연평균 농도의 비교는 유의한 차이를 보이기 쉽지 않을 뿐만 아니라, 수질정책의 효과는 장기간에 걸쳐 서서히 나타나기 때문에 정책 전후의 단순 비교는 이를 적절히 표현하기가 어렵다.^{4~6)}

따라서 본 연구에서는 수질의 장기 경향을 파악할 수 있는 통계분석 방법을 사용하여 1998년 정부가 시행한 한강 특별대책의 수질개선 효과를 분석하였다. 팔당호로 유입되는 세 지류들 중 가장 작은 유량을 가지고 있는 경안천은 개발에 따른 오염물질 유입에 의해 수질이 민감하게 반응하게 된다. 따라서 수질관리 정책에 따른 영향들이 가시적으로 나타나리라 예상되는 경안천의 수질변화를 중점적으로 분석함으로써 정책의 효과를 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역

경안천은 동경 127°, 북위 37°에 위치하고 있으며 용인시 호동 무명봉에서 발원하여 광주시 초월면 지월리에서 곤지암천과 합류된 후 팔당호로 유입된다. 유로연장은 49.5 km, 유역면적은 558.6 km²이며, 평균유량은 약 5.4 m³/s 로써 팔당호 전체 유입 유량의 약 2%를 차지하고 있다.^{7,8)}

경안천은 인구와 각종 오염원이 밀집되어 있기 때문에 오염부하량 및 배출부하량이 유입유량과 유역면적에 비해 매우 높은 편이며, 단위면적당 오염부하량이 팔당호로 유입되는 한강 수계 중 가장 크다. 이는 경안천의 경우 도시 지역과 농경지의 비율이 2.2%, 18.3%로 북한강과 남한강에 비해 2배 이상 높고 단위면적당 인구가 466.6 인/km²으로 남한강(27 인/km²), 북한강(35 인/km²)에 비해 밀집되어 있는 것에 기인한다.⁸⁾

팔당호는 연평균 체류시간이 5.3일이고 연간 교체횟수 69 회로 비교적 물 흐름이 좋은 하천형 호수에 해당되나, 경안천 합류부는 본류와의 교환유량을 무시할 때 연평균 체류시간이 5.5~31.8일(평균 20.4일)로 정체현상이 심하다. 경안천은 상류에 대형 저수지가 없어 유역에 내린 강우가 지체 없이 하천수로 유입되며, 갈수기와 저수기에는 유량이 적고 수심이 얕으며 물의 정체가 심해 바닥에 퇴적물이 많이 쌓인다. 이렇게 쌓인 퇴적물은 강우 시에 팔당호에 유입되어 수질을 더욱 악화시킨다. 갈수기와 저수기에

흐르는 물은 대부분이 용인시와 광주시에서 나오는 하수 처리수이기 때문에 이때(10~11월, 3~5월) 특히 수질관리에 주의를 요한다.^{7,9,10)}

2.2. 경향분석법

자연 하천에서 관측된 수질자료는 비정규분포를 나타내며 계절성이 강하게 나타나기 때문에 일반적인 T-test와 같은 평균비교 모수통계방법으로 잘못된 결과를 나타낼 수 있다.¹¹⁾ 또한 토지이용규제와 같은 비점오염원 관리 대책은 장기간에 걸쳐 효과가 천천히 나타나게 된다. 이와 같이 비모수성과 계절성 등을 나타내는 수질자료의 장기간에 걸친 경향성을 분석하기 위해서는 계절 맨-켄달 경향분석법(Seasonal Mann-Kendall Trend Analysis)이 사용될 수 있다.^{12~14)}

따라서 본 연구에서는 환경부의 월별 농도 측정자료에 통계적 기법인 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall Test)을 활용한 정책 실효성 평가기법을 개발하여 경안천에 시행된 한강특별대책의 실효성을 평가하고자 하였다(Fig. 1).

맨-켄달 경향분석법은 관측치 간의 상대적인 크기로 계산하는 비모수 통계방법으로 각 계절에 대해 켄달 검정을 독립적으로 시행한 후, 각 결과들의 가중합을 구하여 하나의 경향 분석 결과를 도출해냄으로써 계절성을 배제한다. 또한, 관측치에 결측치가 다소 있더라도 그 영향이 크지 않다는 장점이 있다. 계절 맨-켄달법은 상관계수인 켄달의 타우(Kendall's tau)를 구하여 그 유의성을 검증함



Fig. 1. Kyoungan stream and water quality monitoring stations.

으로써 경향성의 유무를 파악하고, 이에 수반되는 계절 켄달 기울기 통계량(Seasonal Kendall slope estimator)을 구하여 경향의 정도를 판단할 수 있다.^{15~18)}

아래 식에서 켄달 통계 추정치 S는 관찰치 간의 차이의 합으로 계산되어지며, 각 수질인자들의 관찰치를 x_1, x_2, \dots, x_n 으로 표현한다면 다음 식 (1)과 같다. $sgn(x_j - x_k)$ 는 j시점과 k시점의 관찰치 간의 차이를 1, 0, -1로 나타내 주는 지시자(indicator)이며, 이에 따른 $x_j - x_k$ 가 각각 양(positive), 영(zero), 음(negative)일 때, +1, 0, -1로 표현하여 이들의 합인 S를 구한다.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \tag{1}$$

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= 1 & \text{if } & x_j - x_k > 0 \\ &= 0 & \text{if } & x_j - x_k = 0 \\ &= -1 & \text{if } & x_j - x_k < 0 \end{aligned}$$

또한 켄달 추정치 S에 대한 분산은 아래의 식 (2)와 같이 표현되며 S_i 는 $n_i \rightarrow \infty$ 에 대하여 정규분포를 나타낸다. 여기서 n은 관찰치의 총 갯수이고, q는 자료에서 같은

수로 묶여져 있는 전체 갯수이며, t_p 는 같은 수의 개수를 나타낸다.

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \tag{2}$$

또한 표준 정규화에 의해 다음 식 (3)에 제시한 멘-켄달 통계치(Z)를 산정하고 이를 유의수준의 표준통계치(p)와 비교하여 경향을 파악한다. 양측 검정을 통해 $p \geq \alpha$ 이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고 $p < \alpha$ 이면 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용하며, α 는 검정에 대한 유의수준을 의미한다. 본 연구에서는 95% 신뢰구간으로 분석하였으며, 이때 양의 S값은 시간에 따른 증가추이를, 음의 S값은 감소추이를 의미하게 된다.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } & S > 0 \\ &= 0 & \text{if } & S = 0 \\ &= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } & S < 0 \end{aligned} \tag{3}$$

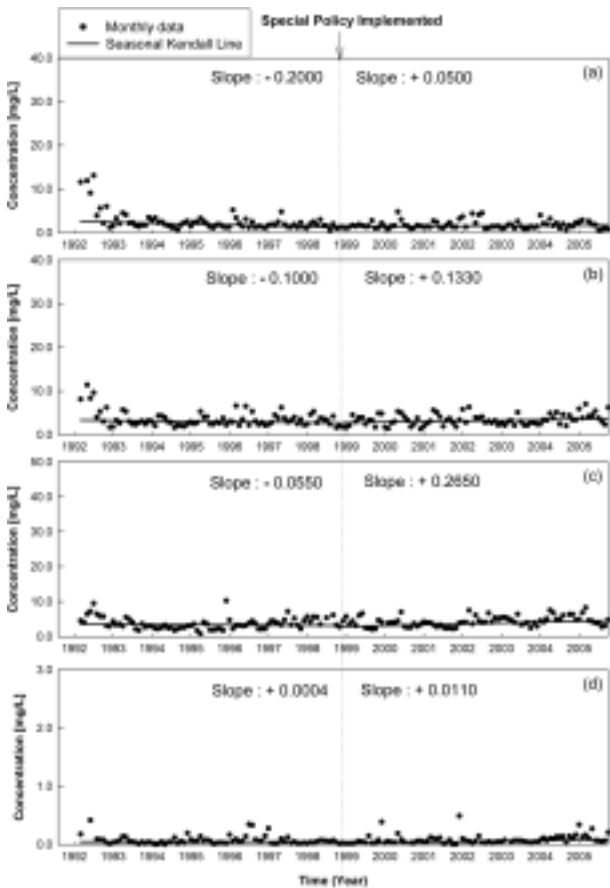


Fig. 2. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 1 (M1). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

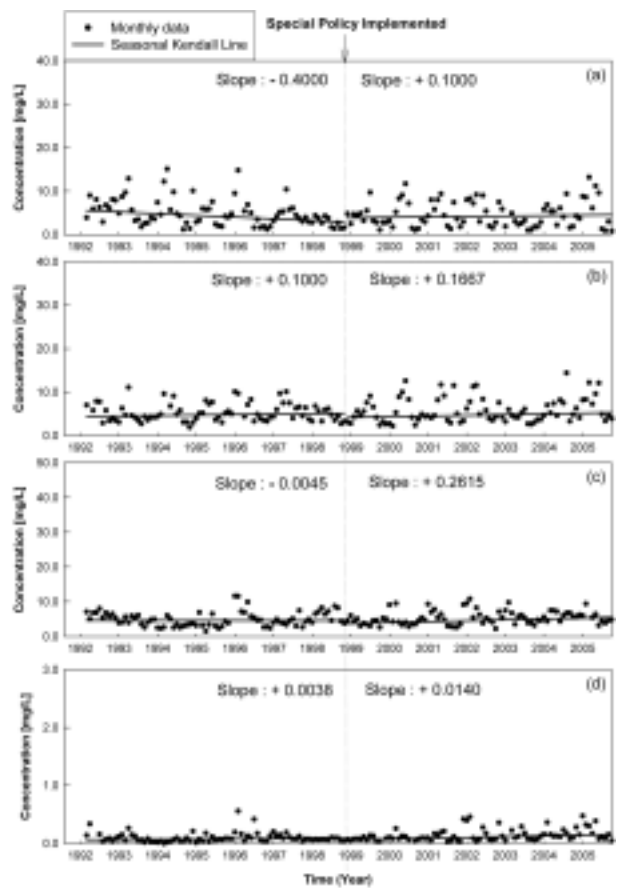


Fig. 3. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 2 (M2). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

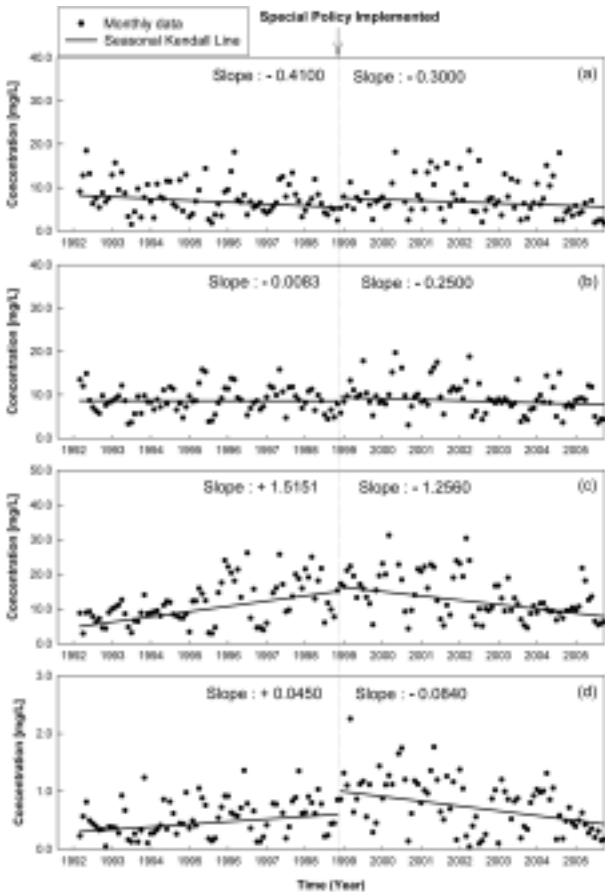


Fig. 4. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 3 (M3). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

계절 켄달 기울기 통계량(Seasonal Kendall slope estimator)은 계절 맨-켄달 검정과 관련하여 경향성의 정도를 평가하는 것으로, 선형 경향성의 기울기에 관한 불편의 통계량이다. 계절 켄달 기울기 통계량 β 는 식 (4)와 같이 i 계절 내에 n_i 개의 (X, Y) 자료쌍에 대해 $\Delta Y/\Delta X$ 를 구한 후, 각각의 계절에 대한 모든 가능한 기울기들의 중간값으로 계산된다. 이때 전체 계절 켄달 기울기 통계량에는 서로 다른 계절에 대해 계산된 값들은 포함되지 않게 된다. 여기서, $j < k$ 이고 $j = 1, 2, 3, \dots; (n_{i-1}), k = 2, 3, 4, \dots; n_i$ 이다. S통계량은 가능한 자료쌍의 기울기를 구했을 때 그 부호들의 합을 의미하고 β 는 가능한 자료쌍의 기울기들의 중간값이므로 계절 켄달 기울기 통계량 β 는 계절 검정 통계량 S와 관련이 있다.

$$\beta = \text{median}(\beta_i) \tag{4}$$

$$\beta_i = \frac{(Y_{ik} - Y_{ij})}{(X_{ik} - X_{ij})}$$

2.3. 효과분석

본 연구에서는 경안천 유역에 시행되고 있는 한강특별대책의 실효성을 평가하기 위해서 앞에서 설명한 맨-켄달 검

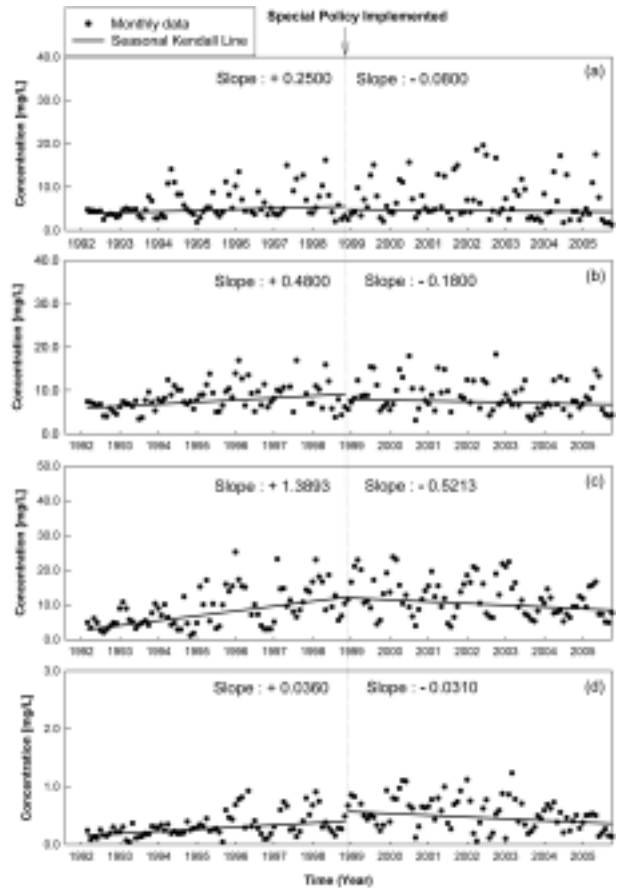


Fig. 5. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 4 (M4). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

정법을 이용하여 새로운 효과분석 방법을 개발하였다. 대책 시행 전과 후의 수질 경향을 분석하여 Table 1과 같이 효과를 다섯 가지로 구분하였다.

대책 이전 구간에서 농도가 증가하다가 대책 이후 농도가 감소하는 정도가 클수록 효과가 좋은 것으로('good', 'very good'), 이와 반대로 대책 이후 농도가 증가하는 정도가 클수록 효과가 나쁜 것으로('bad', 'very bad'), 대책 전·후

Table 1. Water quality trends and effect of policy implementation

Case No.	Water quality trends		State of effect
	Before policy implementation	After policy implementation	
1	(-)	(+)	very bad
2	(-)	0	bad
3	(0)	(+)	
4	(-)	(-)	no effect
5	(0)	(0)	
6	(+)	(+)	
7	(0)	(-)	good
8	(+)	(0)	
9	(+)	(-)	very good

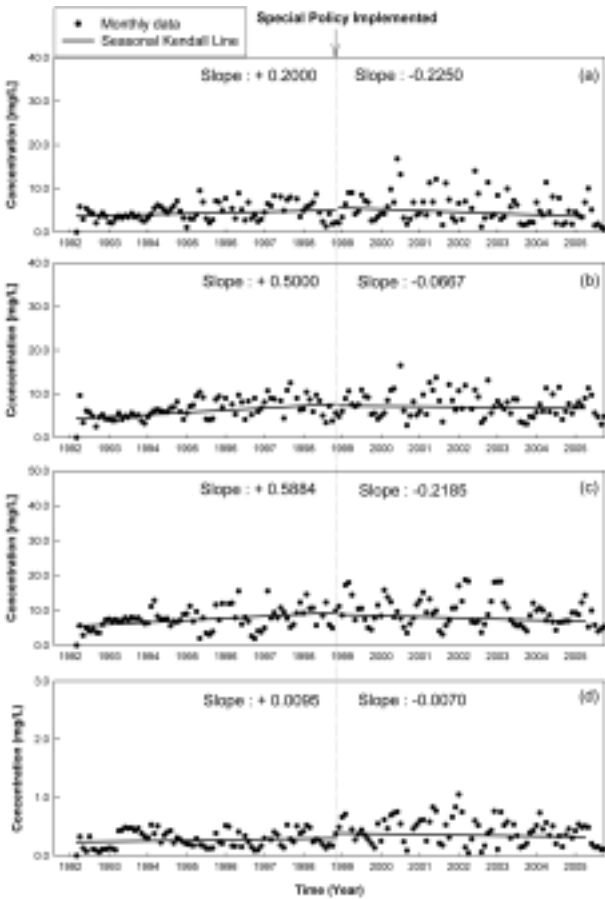


Fig. 6. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 5 (M5). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

의 수질 경향이 비슷한 경우는 효과가 거의 없다고 판단하여 효과 없음('no effect')으로 분류하였다. 즉 수질농도가 장기적 관점에서 감소하고 있다면 수질개선효과가 있는 것으로, 농도가 증가한다면 수질 개선 효과가 없는 것으로 평가한 것이다.¹⁹⁾

경안천에는 6곳의 환경부 측정 지점이 있으며, 이곳에서 1992년 이후에 관측된 수질자료가 기록되어있다. 본 분석에서는 정책에 있어 중요도가 크다고 판단되는 4가지 항목(BOD, COD, TN, TP)의 측정 농도만을 선정하여 1998년을 기점으로 하여 수질 경향을 분석하였다(Fig. 2~7).

3. 결과 및 고찰

한강특별대책이 시행된 1998년을 전후하여 경안천 6개 지점에서 관측된 수질 경향을 통계기법을 이용하여 분석한 결과를 보면 상류지역인 M1 (Monitoring Station 1)과 M2 (Monitoring Station 2)에서는 특별대책 이전에는 BOD와 TN은 감소하다, 대책 이후에는 증가하는 경향을 보이고 있으며, COD와 TP도 변화가 없거나 감소하다 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 특별대책으로 하류지역에 규제가 강화되면서 그동안 개발이 부진했던 상

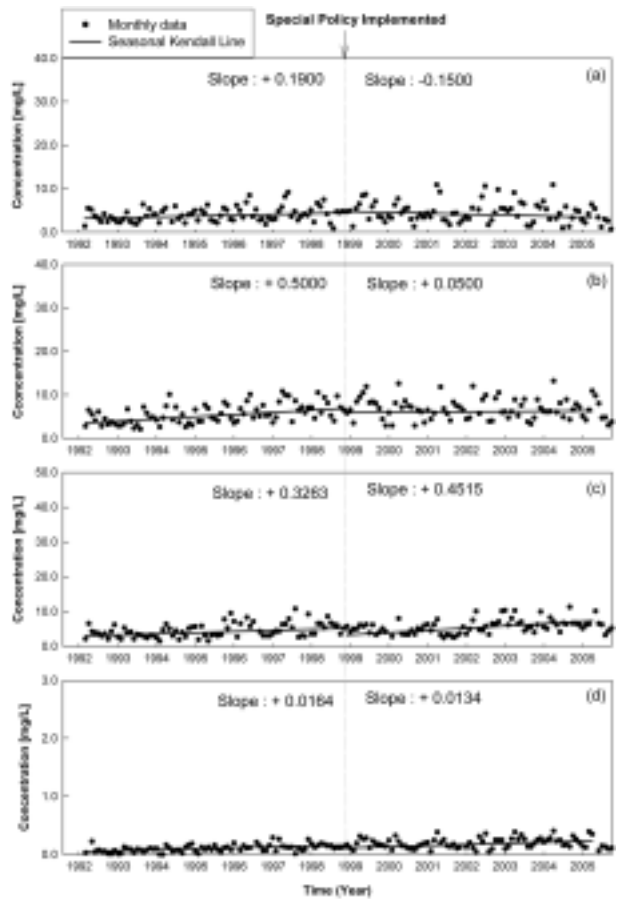


Fig. 7. Water quality trends before and after policy implementation at monitoring station 6 (M6). (a) BOD, (b) COD, (c) TN, (d) TP.

류지역에 인구가 증가하고 적절한 수질개선 대책이 이루어지지 않았기 때문에 판단된다.

그러나 경안천 하류 지점인 M3 (Monitoring Station 3)~M5 (Monitoring Station 5)는 특별대책 이전에 악화되던 수질이 이후에는 개선되고 있는 것으로 나타났다. 이것은 특별대책의 일환으로 이루어진 하류지역의 하수처리율 제고, 축산폐수 처리장 확충 등과 같은 오염원 저감 방안의 효과가 나타난 것으로 평가된다. 또한 하류는 상류지점 M1과 M2에 비해 수질이 나쁜 곳으로 특별 대책에서 추진된 오염원 저감의 효과가 하천 수질에서 나타나서 특별대책 이후 수질이 개선되었다고 판단된다. 팔당호로 유입되는 곳에 위치한 M6 지점에서는 BOD의 경우 특별 대책이후 줄어드는 경향을 보이나 COD, TN 및 TP의 경우에는 정책시행 이전에 증가하던 추세가 여전히 지속되는 것으로 보아 개선효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 이것은 이 지점이 정체구간으로 외부 유입보다는 퇴적물에서 용출과 조류성장과 같은 내부원의 영향을 많이 받기 때문에 개선 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.¹⁰⁾

경향분석에서 나타난 결과를 Table 1에 제시한 평가기준에 적용하면 Table 2와 같다. 한강특별대책은 상류지역인 용인시에서는 적용한 모든 수질에서 나쁜 결과를 초래

Table 2. Effect of implementation of 1998 special policy in Kyoungan stream

Stations	BOD	COD	TN	TP
M1	very bad	very bad	very bad	no effect
M2	very bad	no effect	very bad	no effect
M3	no effect	no effect	very good	very good
M4	very good	very good	very good	very good
M5	very good	very good	very good	very good
M6	very good	no effect	no effect	no effect

한 반면 하류지역인 광주시에는 비교적 좋은 결과를 가져왔다. 이것은 수질정책이 팔당호에 가깝고 특별대책지역 1권역으로 분류된 광주시에는 규제를 강화하고 환경기초시설을 서둘러 확충하는 반면, 특별대책지역 2권역인 용인시에는 다소 완화된 규제를 적용하였으며 시설확충도 부진했기 때문으로 판단된다. 또한 용인시에는 소규모 축산농가가 밀집되어 있어 발생하는 축산폐수가 적절히 처리되지 못한채 하천으로 유입되고 있으므로 하천 수질 개선에 악영향을 주었으리라 예상된다. 이러한 수질의 변화 양상들은 지금까지 경안천 수질 연구에서 지적되고 있는 사실과 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.^{8,20)}

4. 결론

수질정책의 효과를 과학적으로 분석하는 일은 정책의 수립과 시행 만큼이나 중요하다. 그러나 지금까지 대부분의 수질정책에서 많은 예산과 노력을 투입하였지만 적절한 분석방법의 부재로 효과 분석은 제대로 시행되지 못하고 있다. 본 연구는 수질자료의 계절성, 비모수 분포 등을 고려하여 계절 맨-켄달 경향분석법을 이용하여 한강특별대책에 따른 경안천 수질개선효과를 분석하였다.

수질대책 전후로 나타나는 경향성을 이용하여 정책의 실효성을 평가하는 기준을 만들고 환경부의 경안천 수질측정망 6곳에서 1992년부터 2005년까지 관측된 BOD, COD, TN, 그리고 TP 자료를 분석하였다. 분석결과, 한강특별대책은 경안천에서 부분적으로 수질개선 효과를 가져왔으며, 특히 수질이 악화된 하류 지역일수록 그 효과가 컸던 것으로 평가된다. 이러한 결과는 지금까지 경안천 수질연구에 지적되어온 사실과 비교적 잘 일치하고 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 경향분석법은 향후 수질정책의 실효성을 평가하는데 적절히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 정연만, “한강특별대책의 성과와 후속대책,” 생명의 물 2차 정책 심포지엄 발표문, 환경부(2005).
2. 한강유역환경청, 유역공동체 참여를 통한 소유역 계획수립과 집행방안(2005).
3. 박석순, 박배경, 이상호, “한강유역의 토지이용도에 따른 지천 수질 비교,” 한국물환경학회지, **10(1)**, 10~16(1994).

4. Barrett, J. P. and Nutt, M. E., Survey of Sampling in the Environmental Sciences: A Computer Approach, Compress, Inc.(1979).
5. Helsel, D. R. and Hirsch, R. M., Statistical Methods in Water Resources, Elsevier(1992).
6. Paul, M. B. and Linfield, C. B., Statistics for Environmental Engineers, Lewis publishers(1997).
7. 공동수, 정동일, “하천형 인공호(팔당호)의 수환경특성 및 수질관리,” The 6th International Symposium on Environmental Issues and Alternatives For 21C, May 7~8 (1999).
8. 한강유역환경청, 2000년도 한강수계 환경기초조사사업: 경안천 유역의 오염 부하량 조사(2001).
9. Na, E. H. and Park, S. S., “A hydrodynamic modeling study to determine the optimum water intake location in Lake Paldang, Korea,” *J. Am. Water Resources Association*, **41(6)**, 1315~1332(2005).
10. Na, E. H. and Park, S. S., “A hydrodynamic and water quality modeling study of spatial and temporal patterns of phytoplankton growth in a stratified lake with buoyant incoming flow,” *Ecological Modelling*, **199**, 298~314(2006).
11. 김주화, 박석순, “비모수통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 장기 경향분석,” 한국물환경학회지, **20(1)**, 63~71(2004).
12. Clow, D. W. and Mast, M. A., “Long-term trends in stream water precipitation chemistry at five headwater basins in the northeastern United States,” *Water Resour. Res.*, **35(2)**, 541~554(1999).
13. Hirsch, R. M., Slack, J. R., and Smith, R. A., “Techniques of trend analysis for monthly water quality data,” *Water Resour. Res.*, **18**, 107~121(1982).
14. Hirsch R. M. and Slack, J. R., “A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence,” *Water Resour. Res.*, **20(6)**, 727~732(1984).
15. Mann, H. B., Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*, **13**, 245~249(1945).
16. Kendall, M. G., Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London(1975).
17. Lettenmaier, D. P., “Multivariate Nonparametric Tests for Trend in Water Quality,” *Water Resour. Bull.*, **24(3)**, 505~512(1988).
18. Montgomery, R. H. and Reckhow, K. H., “Techniques for Detecting Trends in Lake Water Quality,” *Water Resour. Bull.*, **20(1)**, 45~52(1984).
19. 하주현, “통계기법을 활용한 팔당 수질정책 효과분석 및 경안천 유역관리 방안에 관한 연구,” 석사학위논문, 이화여자대학교(2006).
20. 송혜원, “경안천 수계 유역관리 효과분석을 위한 HSPF-QUAL2K 모델 연계 적용에 관한 연구,” 석사학위논문, 이화여자대학교(2006).