

# 中小河川の流量と水質の統計的解析

Statistical Analysis of Discharges and Water Quality in the Middle-Small Streams

○ 이상도\* 이용환\*\* 백경원\*\*\* 송재우\*\*\*\*

## 1. 서론

하천수질의 오염으로 인한 문제가 심각하게 부각됨에 따라 하천수계에 유입되는 오염물이 수질에 미치는 영향을 평가함으로써 수행될 수 있는 장, 단기 수질관리 대책 등에 의한 수계의 일관성있는 관리기법의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 현재까지 통계학적 기본특성이 검증되지 않은 중소하천의 수질변동 특성해석을 위하여 한강, 낙동강, 동진강, 섬진강수계의 7개 중소하천에 대하여 수질자료의 시계열 분석 기법과, 유량과 수질항목들의 상관분석 기법을 적용하였다.

시계열 분석을 위하여 확률론적 처리기법을 적용, 적정 확률분포형의 검정, 시간 의존성 및 계절적 변동 특성을 해석하였으며, 유량과 수질항목들의 상관성 분석을 위하여 단순회귀분석과 다중회귀분석 및 상호회귀 분석을 실시, 계절별 상관특성, 수질항목들간의 상관성 및 유량과 수질항목간의 상관성을 파악하여 상관식을 제시하였다.

Whipple<sup>(7)</sup>은 도시화에 따른 하천의 수질문제에 대한 연구를 수행하였으며, Riggs<sup>(6)</sup>는 하천의 저수유량과 수질에 관하여 연구하였다.

국내에서의 하천수질에 대한 통계학적 연구로서 황<sup>(15)</sup>등은 유량과 각 수질항목의 통계적 특성 및 상관관계를 조사하기 위하여 한강하류부 인도교 지점에 대하여 자기 및 상호상관함수, power spectrum 등을 적용한 바 있으며, 이<sup>(13)</sup>는 한강하류부의 수질변동에 대한 추계학적 특성을 분석하였다.

최근 우<sup>(12)</sup> 등은 하천유량과 수질의 상관 특성을 검토하기 위하여 우리 나라 5대 하천분류에 대하여 단순회귀분석, 다중회귀분석, 자기회귀분석을 적용하였으며, 백<sup>(11)</sup>은 한강하류부에서 확정론 및 통계학적 기법을 이용한 수질해석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 유량과 수질항목들간의 거동 특성 및 상관관계가 규명되어 있지 않은 중소하천의 하천수를 대상으로 통계학적 분석기법을 도입하여 분석을 실시하였다.

## 2. 자료의 시계열 특성 분석

### 2.1 확률분포형의 검정

적정 확률분포형 산정을 위한 적합도 검정을 수행하기 위해 K-S 검정법을 적용하였다. 각 지점별로 유량 및 수질항목의 적정 확률분포형으로 산정된 결과는 표에서 보는 바와 같이 DO항목의 경우 금호강과 동진강을 제외한 5개 지점에서 대수정규분포가 적정 확률분포형으로 검정되었으며, SS항목은 모든 지점에서 대수정규분포가 적정 확률분포형임을 알 수 있었다. 또한 수온항목의 경우는 정규분포가 섬강과 금호강을 제외한 지점에서 적정 확률분포형으로 채택되었다.

\* 금호엔지니어링 수자원부

\*\* 홍익대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 시설안전 기술공단 기술지원단

\*\*\*\* 홍익대학교 토목공학과 교수

표 2-1. 유량 및 수질항목별 적정 확률분포형

河川名	流量	BOD	COD	DO	SS	水溫
慶安川	NORM	GAM2	NORM	LN-2	LN-2	NORM
蟾江	NORM	GAM2	GAM2	LN-2	LN-2	GAM2
南江	LN-2	LN-2	LN-2	LN-2	LN-2	NORM
琴湖江	GAM2	GAM2	LN-2	GAM2	LN-2	GAM2
領江	LN-2	LN-2	LN-2	LN-2	LN-2	NORM
東津江	LN-2	LN-2	LN-2	NORM	LN-2	NORM
藥樹川	GAM2	NORM	GAM2	LN-2	LN-2	NORM

주) NORM : 정규분포 LN-2 : 2변수 대수정규분포 GAM2 : 2변수 Gamma분포

## 2.2 시간 의존성 및 변동성 분석

시간 의존성의 검토를 위해서 Exact Test를 실시한 결과, 표에서 보는바와 같이 남강, 금호강 지점의 일부항목을 제외한 나머지 지점에서 지속성이 존재하는 시계열(non-random time series)로 판명되었다.

표 2-2. 유량 및 수질항목별 1차 계열상관계수

河川名	流量	BOD	COD	DO	SS	水溫
慶安川	0.617	0.302	0.267*	0.426	0.343	0.749
蟾江	0.542	0.540	0.355	0.310	0.589	0.727
南江	0.321	0.295	0.027*	0.050*	0.358	0.725
琴湖江	0.287*	0.510	0.289*	0.257*	0.286*	0.701
領江	0.293	0.321	0.444	0.737	0.321	0.708
東津江	0.665	0.782	0.580	0.481	0.398	0.764
藥樹川	0.392	0.456	0.568	0.546	0.581	0.761

주) \* random time series

## 3. 유량과 수질항목의 상관성분석

### 3.1 단순회귀분석

#### 3.1.1 계절별 유량과 수질항목간의 상관성

봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 나누어 계절별로 유량 및 수질항목간에 정규치와 대수치를 취하여 상관성 분석을 실시하였다. 표 3-1에는 상관계수가 0.6이상인 계절별 유량과 수질항목간의 상관식이 수록되어 있다.

표 3-1. 계절별 유량과 수질항목간의 상관식 및 상관계수

河川名	봄	여름
慶安川	$COD=7.81 \times e^{-0.01Q}$ ( $r=-0.675$ ) $SS=23.61-0.42Q$ ( $r=-0.618$ )	$BOD=4.97-0.02Q$ ( $r=-0.736$ ) $COD=7.55 \times e^{-0.01Q}$ ( $r=-0.748$ ) $DO=8.98-0.25LogQ$ ( $r=-0.608$ )
琴湖江	$BOD=11.87-2.07LogQ$ ( $r=-0.892$ ) $COD=20.15 \times e^{-0.03Q}$ ( $r=-0.928$ )	$DO=34.98-7.74LogQ$ ( $r=-0.758$ )
東津江	$BOD=7.40 \times Q^{-0.42}$ ( $r=-0.738$ )	
藥樹川	$COD=3.00 \times e^{-0.213Q}$ ( $r=-0.635$ )	$COD=20.01 \times Q^{-0.40}$ ( $r=-0.694$ ) $COD=33.99 \times Q^{-0.34}$ ( $r=-0.795$ )

河川名	가울
南江	COD=7.86-1.26LogQ (r=-0.719) DO=13.68×Q <sup>-0.1%</sup> (r=-0.774)
嶺江	DO=10.73×Q <sup>-0.10</sup> (r=-0.765)
東津江	BOD=3.53-0.59LogQ (r=-0.835) COD=9.71×Q <sup>-0.2%</sup> (r=-0.863) SS=7.74+0.30Q (r=0.648)
葵樹川	BOD=1.06×e <sup>-0.19Q</sup> (r=-0.687) COD=2.01+0.54LogQ (r=0.803) DO=9.61-0.55LogQ (r=-0.671)

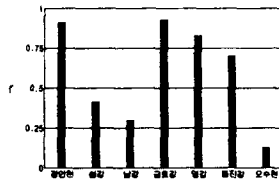
河川名	겨울
慶安川	BOD=5.46-0.07Q (r=-0.856) DO=9.97×Q <sup>0.063</sup> (r=0.708)
琴湖江	BOD=7.35×Q <sup>0.10</sup> (r=0.899) COD=14.43×Q <sup>0.07</sup> (r=0.916)
東津江	COD=4.13e-0.01Q (r=-0.611)

### 3.1.2 수질항목들간의 상관성

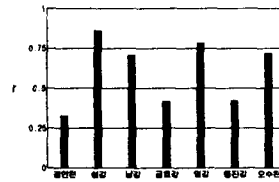
수질항목들간에 상관성 분석을 실시한 결과 전체적으로 BOD-COD항목, COD-SS항목, DO-수온항목의 상관성이 다른항목에 비해 비교적 높았다. 표 3-2는 상관계수가 0.6이상인 BOD-COD, COD-SS, DO-수온항목의 상관식이고, 그림 3-1은 BOD-COD, COD-SS, DO-SS, DO-수온항목간 지점별 상관계수이다.

표 3-2. 수질항목들간의 상관식 및 상관계수

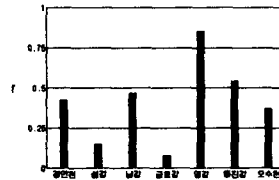
河川名	BOD-COD	COD-SS	DO-水溫
慶安川	COD=1.72×BOD <sup>0.88</sup> r=0.912		TEM=134.9-53.03LogDO r=-0.946
嶺江		SS=-7.66+4.94COD r=0.862	
南江		SS=-27.21+8.65COD r=0.706	TEM=67.23-6.02DO r=-0.909
琴湖江	COD=3.99×BOD <sup>0.59</sup> r=0.929		TEM=92.24-35.01LogDO r=-0.702
嶺江	COD=2.06×BOD <sup>0.87</sup> r=0.831	SS=-4.12+3.27COD r=0.784	TEM=57.80-3.82DO r=-0.976
東津江	COD=2.63+0.78BOD r=0.701		TEM=56.47-4.28DO r=-0.912
葵樹川		SS=0.34×COD <sup>2.67</sup> r=0.719	TEM=706.27×e <sup>-0.37DO</sup> r=-0.927



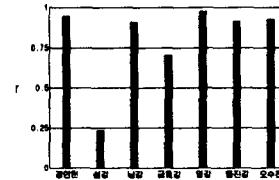
(a) BOD-COD



(b) COD-SS



(c) DO-SS



(d) DO-수온

그림 3-1. 지점별 수질항목들간의 상관계수

### 3.1.3 유량과 수질항목간의 상관성

표 3-3에는 상관계수가 0.6이상인 유량 및 수질항목간의 상관식이 수록되어 있다.

표 3-3. 유량과 수질항목간의 상관식 및 상관계수

河川名	相關式 및 相關係數
蟾江	DO=14.01-0.15Q (r=-0.648)
南江	COD=4.12+0.01Q (r=0.615) SS=2.57×Q <sup>0.419</sup> (r=0.733)
琴湖江	COD=21.12-3.10LogQ (r=-0.741)
領江	DO=11.90-1.00LogQ (r=-0.776) SS=2.02×Q <sup>0.294</sup> (r=0.690)
樊樹川	BOD=1.14-0.04LogQ (r=-0.652) DO=11.20×e <sup>-0.02Q</sup> (r=-0.627)

## 3.2 상호회귀분석

### 3.2.1 유량과 수질항목간

주기성을 가지고 있는 시계열인 BOD, COD, DO항목의 경우 유량과의 계열상관도(cross correlogram)에 서 볼 수 있는 것처럼 주기를 가지고 있어 계절적인 변동에 따른 경향은 상관성을 가지고 있음을 보여주었다. 또한 계열상관도의 검토에서 주기성이 없었던 SS항목의 경우 유량과의 상호상관분석에서는 계절적 주기성을 나타내었다. 그림 3-2는 경안천 지점의 유량과 각 수질항목간의 상호상관도이다.

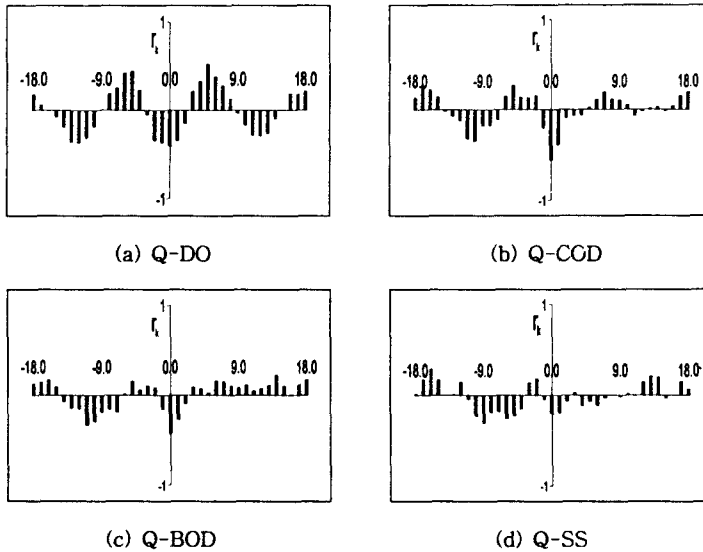


그림 3-2. 유량과 수질항목간의 상호상관도 (경안천)

### 3.2.2 수질항목들간

수질항목인 BOD, COD, DO, SS, 수온 등 5개의 항목들간의 분석을 실시하였으며, 1차 상호상관계수값이 각각 항목들간의 단순상관계수의 크기에 비례하는 경향을 나타내었다. 따라서 BOD-COD, COD-SS, 수온-DO항목간이 상대적으로 큰 값을 보이고 있다.

그림 3-3은 영강 지점의 수질항목들간의 상호상관도이다.

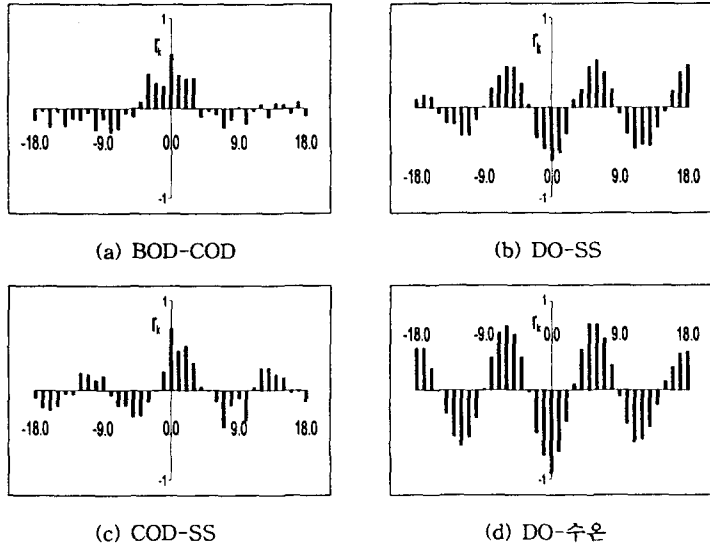


그림 3-3. 수질항목들간 상호상관도 (영강)

### 3.3 다중회귀분석

다중회귀분석에 포함된 수질자료들은 유량 및 BOD, COD, DO, SS항목 등이다. 두 항목과 세 항목을 다중회귀분석 시킨 결과 경안천, 금호강, 영강, 동진강 지점이 다른 지점에 비해 높은 상관성을 나타내었다.

표 3-4에는 경안천, 금호강, 영강, 동진강 지점의 다중상관식과 상관계수를 수록하였다.

표 3-4. 수질항목들간의 상관식 및 상관계수

河川名	BOD = f(Q, COD)	BOD = f(Q, DO, COD)	BOD = f(Q, COD, SS)
慶安川	BOD=0.21+0.01Q+0.65COD R=0.825, Se=0.627	BOD=0.47+0.01Q-0.02DO+0.65COD R=0.826, Se=0.626	BOD=0.32+0.01Q+0.60COD+0.03SS R=0.840, Se=0.604
琴湖江	BOD=0.56Q <sup>0.01</sup> COD <sup>0.99</sup> R=0.812, Se=0.250	BOD=0.58Q <sup>0.01</sup> DO <sup>-0.02</sup> COD <sup>0.99</sup> R=0.812, Se=0.250	BOD=0.72Q <sup>0.02</sup> COD <sup>0.97</sup> SS <sup>-0.12</sup> R=0.827, Se=0.240
領江	BOD=0.42-0.01Q+0.31COD R=0.640, Se=0.174	BOD=0.51-0.01Q-0.01DO+0.30COD R=0.642, Se=0.174	BOD=0.52-0.01Q+0.23COD+0.03SS R=0.671, Se=0.168
東津江	BOD=0.24-0.01Q+0.43COD R=0.609, Se=0.395	BOD=-0.26-0.02Q+0.03DO+0.48COD R=0.612, Se=0.394	BOD=0.30-0.01Q+0.39COD+0.01SS R=0.622, Se=0.390

#### 4. 결 론

본 연구에서는 중소하천 7개 지점에 대하여 유량과 수질항목의 통계특성 분석을 위하여 시계열 분석과 유량과 수질항목과의 상관분석을 실시하였다. 시계열 분석으로는 적합도 검정 및 계절상관계수와 상호상관계수를 산출하여 지속성 및 계절적 주기성을 검정하였고, 유량과 수질항목과의 상관분석으로는 단순회귀분석과 다중회귀분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유량 및 수질항목들에 대하여 확률분포형을 산정하여 수온항목은 정규분포가, DO 및 SS항목은 2변수 대수정규분포가 적정 확률분포형임을 알 수 있었고, 유량과 수질항목들의 계절별 상관성은 가을철이 가장 높았으며 유량이 적고 농도의 변화가 적은 겨울철이 가장 낮았다.

(2) 유량과 수질항목간의 상관분석 결과, 전체적으로 상관성은 높지 않았고, 수질항목들간의 상관분석 결과, BOD와 COD항목, COD와 SS항목, DO와 수온항목이 비교적 높은 상관성을 나타냈다.

(3) 다중회귀분석을 실시한 결과, 경안천, 금호강, 영강, 동진강 지점이 다른 지점에 비해 높은 상관성을 나타내었다. 또한 종속변수에 BOD항목과 독립변수에 유량-COD항목을 상관시킨 경우에 상관성이 높았다.

(4) 유량 및 수질항목들의 상호상관분석 결과, 계열상관에서 계절적 주기성이 나타나지 않았던 SS항목은 상호상관에서는 주기성을 나타내, 모든 수질항목들은 계절적 주기성이 있음을 확인할 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- 1) Box,G.E.P., and Jenkins,G.M.(1970). "Time series analysis, forecasting and control." Holden-Day, San Francisco.
- 2) Haan,C.T.(1977). *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press.
- 3) Hahn,R.L.(1972). "Time series analysis of daily measurements of water quality parameters of the passaic river at little falls, New Jersey." M.S. Thesis, Rutgers Univ., New Brunswick, N.J.
- 4) McMichael,F.C., and Hunter,Y.S.(1972). "Stochastic modeling of temperature and flow in rivers." *Water Resources Research*, Vol.8, No.1, pp.87-98.
- 5) Henry,C.Riggs.(1980) "Characteristics of low flow." *J. Hydr. Eng. Div.*, ASCE, pp.717-731.
- 6) Thomann,R.V.(1976). "Time series analysis of water quality data." *J. Sanit. Eng. Div.*, ASCE, Vol.93, No.1, pp.1-23.
- 7) William Whipple.(1979) *Water Problems of Urbanizing Areas*. The American Society of Civil Engineers, pp.115-133
- 8) 한국수문조사년보(1991-1993). 건설교통부.
- 9) 권혁윤(1992). "하천 유량변동에 따른 수질변화에 관한 연구." 연세대학교 보건대학원 석사학위논문.
- 10) 백경원(1995). "한강하류부에서의 확정론 및 통계학적 기법에 의한 수질해석." 홍익대학교 박사학위논문.
- 11) 우효섭, 김연주, 이진원(1995). "우리 나라 5대 하천 본류에서의 하천유량과 수질의 상관특성 검토." 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- 12) 이홍근(1982). "한강하류부의 수질변동에 대한 추계학적 특성." 서울대학교 박사학위논문.
- 13) 한국환경연감(1992-1994). 환경부.
- 14) 황입구, 윤태훈(1981). "하천오염인자의 통계적 특성." 한국수문학회지 제14권, 제4호, pp.19-26.