

연구논문

낙동강 상류 유역에서의 유량변동에 따른 수질의 통계학적 분석

최현구* · 한건연* · 최승용**

경북대학교 건축 · 토목공학부*, 국립방재연구소**

(2011년 10월 5일 접수, 2011년 11월 22일 승인)

A Stochastic Analysis of the Water Quality with Discharge Variation in Upper Nakdong River Basin

Choi, Hyun Gu* · Han, Kun Yeun* · Choi, Seung Yong**

School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea*

National Institute for Disaster Prevention, Seoul. 121-719, Korea**

(Manuscript received 5 October 2011; accepted 22 November 2011)

Abstract

The purpose of this study is to analysis pollutant loading of upper Nakdong River basin according to the variation of discharge. The correlation between discharge and pollutant concentration and between discharge and pollutant loading were analyzed by statistical method, respectively. Regression equation of pollutant loading and discharge was represented as $L = aQ^b$ in which L = pollutant loading(kg/day), and b = regression coefficients, and Q = discharge(m^3 /day). The correlation coefficient of study area was in range of 0.8428 to 0.9935. The SS was the highest b value 1.2856~1.7730 among water quality parameters because the pollutant loading of SS was much affected by flow. Additionally, the applicability of the regression equations was verified by comparing predicted results with observed value. The correlation coefficient of verification was in range of 0.8983 to 0.9987 and NSEC was in range of 0.7018 to 0.9960. Therefore the pollutant loading was good correlated with discharge. The main result will be used as basic data for water quality management and design of environment fundamental facilities.

Keywords : Discharge, Pollutant Loading, Stochastic Analysis, Nakdong River Basin

1. 서론

최근 4대강 살리기 사업으로 4대강에 보가 설치되어 하천의 유량이 증가하고, 친수성이 강조되어 일반 시민들의 하천의 접근성이 증가할 것으로 판단된다. 또한 4대강 위주로 좋은 물 달성비율을 높이면서 4대강 유역에서 하수처리장, 폐수처리장의 확충으로 수질개선대책이 추진되고 있으며, 환경부와 국립환경과학원에서는 수질예보를 실시하는 등 하천의 수질을 개선, 관리, 예측에 대한 많은 관심이 쏠리고 있다. 하천 수질의 개선과 관리 기법은 현재까지의 기술과 경험으로 많은 노하우가 축적되었지만, 하천 수질의 예측은 까다로운 일이다. 가까운 미래의 하천수질을 예측하기 위해서는 기상예측자료와 유량예측자료, 수질예측자료의 생성이 필요하다. 이에 환경부에서는 기상청의 기상예측자료와 HSPF 유역모형을 이용하여 하천의 유량 및 수질예측자료를 생성하여 EFDC 모형의 입력자료로 활용하여 하천 수질 예보를 실시하려고 한다(김경현, 2011). 시스템이 잘 갖춰진 연구소에서 여러 물리적인 모형을 이용하여 하천의 유량 및 수질농도의 예측 자료를 생성하는 일은 어렵지 않을 것이나 일반 연구자의 경우 물리적 모형으로 접근하여 자료의 수집 및 분석, 예측에 걸리는 시간과 노력은 상상 이상일 것이다. 이에 본 연구에서는 유량과 수질농도 실측자료를 기반으로 통계적인 방법으로 자료를 분석하여 향후 하천 수질예측 자료 생성을 위한 유출량과 수질농도의 상관관계분석을 수행하고자 한다. 낙동강 상류를 대상유역으로 선정한 후, 국립환경과학원의 8일 실측자료를 이용하여 유출량과 수질농도의 상관관계를 분석하고 이에 대한 적용성을 검증하였다.

강우시 유출되는 오염물의 특성 및 해석에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되었으며, Colston(1974)은 도시지역의 여러 토지이용별 소유역에 대해 강우시 유출량과 수질을 회귀분석하여 수질농도는 강우지속시간과 유출량을 이용한 상관관계식을 제안하였다. Ken and Bruce(1988)은 Burnaby 유역에서 강우와 독성물질, 화학물질의

상관관계를 분석하였으며, Karn and Harada(2001)은 네팔, 인도, 방글라데시 세 지역의 오염부하량을 산정하여 수질관리에 활용하는 연구를 수행하였다. 최근 연구동향은 통계적인 방법을 이용하여 수질을 예측하는 연구를 주로 수행하며, Guo *et al.*(2003)은 Yiluo 강에서 유량과 BOD, DO 간의 상관관계를 분석하고 수질예측 수행에 통계적인 기법을 사용하였다. Naeem and Mansoor (2008)은 파키스탄 Lyari 강 유역에서 물리·화학적 수질농도들을 이용하여 수질을 예측하는 연구를 수행하였으며, Lianqing *et al.*(2010)은 통계적인 방법으로 Huai 강의 수질을 예측하고 Risk 분석을 수행한 바 있다.

국내에서는 김종오 등(2000)이 남강댐 유역의 경호강 덕천강, 양천에서 유출량과 오염부하량의 상관관계를 분석하였으며, 정삼만 등(2000)은 금강지류인 미호천유역에서 유출량과 오염부하량의 상관관계를 분석하였고, 최한규 등(2001)이 소양강유역의 4개 지점에서 유역별 상관관계를 도출하였다. 박의정 등(2004)은 GIS의 Grid를 이용하여 고읍천유역의 유출량과 오염부하량을 산정하였다. 박노길(2009)는 충주천과 요도천 유역에서의 유출량과 부하량의 상관관계를 분석하였으며, 이상욱(2010)은 남강댐유역에서 유출량과 부하량의 상관관계를 분석하였다. 현재까지 주요 국내 연구들은 유출량과 오염부하량의 상관관계식을 도출하는 연구를 주로 진행하였으나, 본 연구에서는 상관관계를 도출하고 실측자료를 이용한 검증까지 수행하여 타 연구들과의 차별을 두었다.

II. 대상유역 및 분석자료

1. 대상유역의 선정

본 연구의 대상유역으로는 낙동강 상류지역을 선정하였다. 낙동강 물환경연구소의 8일 실측자료를 사용하고, 향후 낙동강에의 영향을 분석하기 위하여 반변천, 미천, 내성천, 영강의 말단을 선택하여 분석하였으며 유량-수질 측정지점은 다음과 같다.



그림 1. 대상유역 및 실측지점

반변 B지점은 낙동강 합류점 전까지의 반변천 말단 지점으로, 반변천 상류의 임하댐의 직접적인 영향을 받는다. 측정지점은 경북 안동시 용상동의 용정교로 낙동강 합류전 1.3km 상류에 위치한다. 미천 A지점은 낙동강 합류전까지의 미천 말단지점이며, 낙동강 합류전 500m 상류에 위치한다. 하폭 약 30m 내외로 느린 흐름을 보이며, 유량 또한 비교적 적은 편이다. 측정지점은 경북 안동시 남후면 검암리의 검암교이다. 내성 B지점은 낙동강 합류전까지 내성천 말단지점으로, 측정지점 하류 1.5km 지점에서 금천과 합류하여 낙동강으로 유입된다. 측정지점은 경북 예천군 용곡면 향적리의 성저교이다. 영강 A지점은 낙동강 합류전의 영강 말단지점으로, 낙동강 합류전 상류 1km 지점이다. 유량과 수질 측정지점은 경북 문경시 영순면 말울리이다(국립환경과학원, 2009).

2. 유출량과 수질농도 자료

유출량과 수질농도자료는 국립환경과학원의 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/smat>)에서 2004년 8월부터 2011년 6월까지의 자료를 획득하여 분석하였으며, 유량과 수질농도가 같은 날에 측정된 자료만을 사용하였다. 유출량과 상관관계를 분석한 수질농도는 BOD, COD, TOC, TN, TP, SS로 6개의 수질농도자료를 이용하였으며, 총 자료의 75%는 상관관계를 분석하는데 사용하였고 최근에 측정한 25%의 자료는 상관관계 검증에 활

용하였다.

반변 B지점의 경우 총 258개의 자료를 활용할 수 있었으며, 이중 65개 자료를 검증에 사용하였고, TOC의 경우 2007년 3월부터 측정되어 총 191개 자료중 2010년 7월부터 48개 자료를 검증에 활용하였다. 미천 A지점은 230개의 자료를 취득하였으며, 58개를 검증에 사용하였고, TOC 자료는 총 164개로 41개를 검증에 사용하였다. 내성 B지점은 253개 자료중 64를 검증에 사용하였고, TOC 자료는 185개 중 47개를 검증에 활용하였다. 영강 A지점은 총 226개 자료를 취득하여 57개 자료를 검증에 사용하였으며, TOC 자료는 164개 중 41를 검증에 활용하였다.

III. 유출량과 수질의 통계학적 해석

1. 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치 분석

동일한 시간에 측정한 유량 및 수질 측정자료를 이용하여 유출량, 오염농도의 변화, 통계학적 특성치를 각 지점별로 표 1~4에 나타내었으며, 그림 2는 지점별 수질농도의 변화를 도식하였다. 그림 2에서 2004년 말에서 2006년 초까지의 실측자료 수가 다른 기간에 비해 적게 나타나는 것은 유량과 수질농도가 같은 날에 측정되지 않아 일부 삭제하여 다른 기간에 비해 실측자료가 수가 적은 것처럼 나타난다.

유량의 경우 대상지점 모두 큰 폭의 변화를 보이

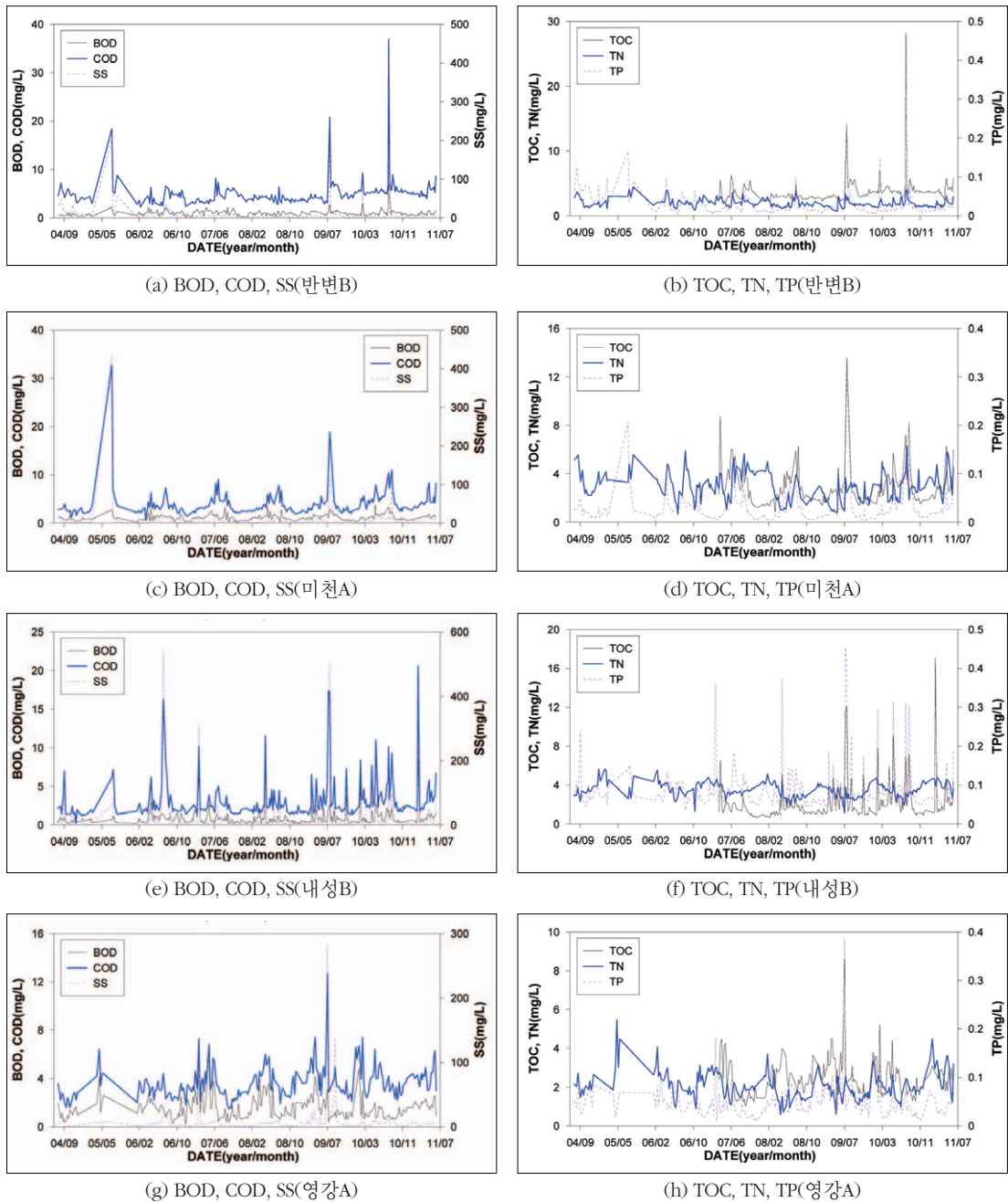


그림 2. 지점별 수질농도의 변화

표 1. 반변 B지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

| 구 분 | 유량(cms) | BOD(mg/L) | COD(mg/L) | TOC(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) | SS(mg/L) |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 평균 | 19.719 | 0.985 | 4.903 | 3.686 | 1.944 | 0.029 | 10.022 |
| 표준편차 | 65.738 | 0.617 | 2.730 | 2.161 | 0.643 | 0.036 | 31.385 |
| 비대칭도 | 7.441 | 4.753 | 7.674 | 8.440 | 1.295 | 6.407 | 10.138 |

표 2. 미천 A지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

| 구 분 | 유량(cms) | BOD(mg/L) | COD(mg/L) | TOC(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) | SS(mg/L) |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 평균 | 6,654 | 1.157 | 3.897 | 2.896 | 2.911 | 0.030 | 7.671 |
| 표준편차 | 35,144 | 0.599 | 2.708 | 1.632 | 1.177 | 0.034 | 30.052 |
| 비대칭도 | 10,572 | 1.372 | 6.390 | 2.797 | 0.345 | 4.172 | 12.805 |

표 3. 내성 B지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

| 구 분 | 유량(cms) | BOD(mg/L) | COD(mg/L) | TOC(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) | SS(mg/L) |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 평균 | 33,988 | 0.852 | 3.029 | 2.095 | 3.495 | 0.089 | 23.299 |
| 표준편차 | 82,856 | 0.948 | 2.579 | 2.015 | 0.747 | 0.061 | 60.409 |
| 비대칭도 | 5,092 | 4.818 | 3.808 | 4.175 | 0.075 | 3.315 | 5.877 |

표 4. 영강 A지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

| 구 분 | 유량(cms) | BOD(mg/L) | COD(mg/L) | TOC(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) | SS(mg/L) |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 평균 | 14,100 | 1.603 | 3.604 | 2.467 | 2.054 | 0.049 | 7.253 |
| 표준편차 | 35,582 | 0.941 | 1.309 | 0.953 | 0.705 | 0.035 | 22.407 |
| 비대칭도 | 6,238 | 1.544 | 2.127 | 2.047 | 1.063 | 4.737 | 9.779 |

며, 내성 B지점이 평균 33.988cms로 많은 유량을 나타내고, 미천 A지점이 평균 6.654cms로 가장 적은 유량을 나타내었다. BOD의 경우 미천 A지점과 영강 A지점의 평균이 각각 1.157, 1.603mg/L로 반면 B지점과 내성 B지점의 평균 0.985, 0.852mg/L 보다 높게 나타났으나 4개 지점 모두 낙동강 중·하류에 비해서는 양호한 수질을 나타내고 있다. COD와 TOC의 경우에는 반면 B지점이 평균 4.903mg/L와 3.686mg/L로 다른 지점들 보다 높게 나타났으며, 내성 B지점이 제일 양호한 평균 3.029mg/L와 2.095mg/L로 나타났다. TN과 TP의 경우에는 내성 B지점의 평균이 각각 3.495mg/L와 0.089mg/L로 가장 높게 나타났으며, 반면 B지점이 제일 양호한 상태를 보이며 각각의 평균이 1.944mg/L와 0.029mg/L로 나타났다. SS의 경우도 대상지점 모두 유량과 같이 큰 폭의 변화를 나타내며, 내성 B지점의 평균이 23.299mg/L로 다른 지점들 보다 높게 나타났다.

4개 지점의 수질분석 결과 홍수기에 유량이 급격히 증가하면서 COD, TOC, SS의 농도도 급격히 증가하는 경향을 나타내었으며, BOD, TN, TP의 농도는 뚜렷한 경향을 가지지는 않으나 대략 평수기에는 양호하나 갈수기와 홍수기에 악화되는 경향을

나타낸다.

2. 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석

강우시의 오염부하량은 기저유출성분인 자연부하와 가정 및 상공업지역에서 배출되는 오수, 그리고 지표면 세척에 의한 오염부하량의 합이다. 강우시 오염부하량은 강우지속시간에 따라 오염물질의 농도는 감소하여도 유출량 증가로 인하여 오염부하량은 증가하므로 비점오염원 해석에 있어서 중요한 인자이다(Wanielista, 1978)

유출량과 오염부하량의 관계식은 다음과 같이 도출하였다. 오염부하량()에 log를 취하여 축에 배치하고, 유출량()에 log를 취하여 축에 배치하여 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\log L &= a \cdot \log Q + b \\ L &= 10_b \cdot Q^a\end{aligned}\quad (1)$$

위 식은 Huber and Barnwell(1988)이 제안한 오염부하량과 유출량과의 관계를 표현한 식 (2)와 같은 형태이다.

$$L = aQ^b \quad (2)$$

여기서, L 은 오염부하량(kg/day), Q 는 유출량(m^3/day), a , b 는 회귀계수이다.

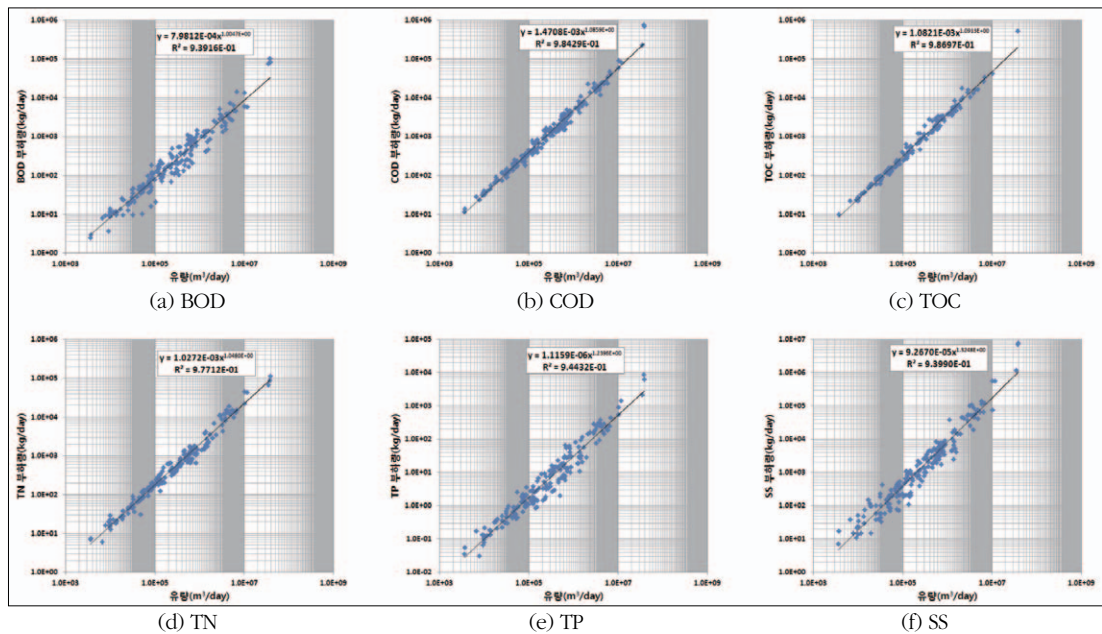


그림 3. 반변 B지점 유출량과 오염부하량 관계곡선

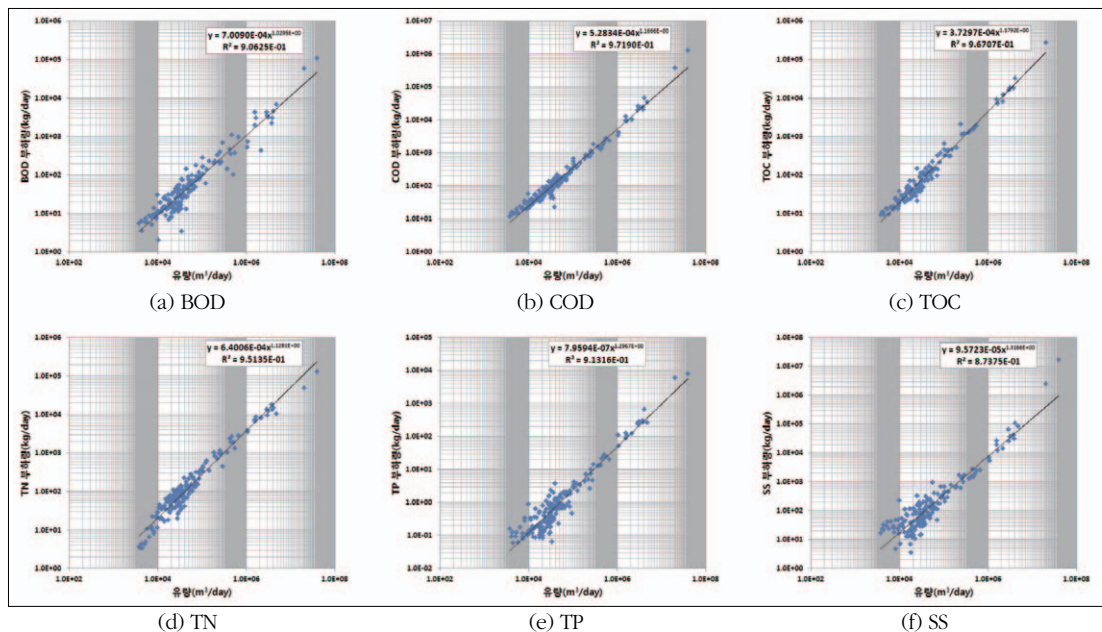


그림 4. 미천 A지점 유출량과 오염부하량 관계곡선

회귀계수 a 는 기저유출부하량과 관련이 있는 계수이며, b 는 회귀식의 기울기를 의미하며 b 가 1보다 크면 유출량 증가에 해대 오염부하량이 급격히 증가하는 특성을 나타내고, b 값이 1보다 작으면 수질 농도가 유출량에 민감하게 반응하지 않는 것으로

해석된다. 대체로 SS와 같은 입자성 물질은 b 값이 큰 경향을 나타내고, 용존성 물질은 b 값이 1보다 작거나 1근처에 있어서 유출량 변화에 대해 수질농도의 변화가 적은 편으로 알려졌다(김종오 등, 2000).

본 연구에서 위의 관계식을 이용하여 대산지점에

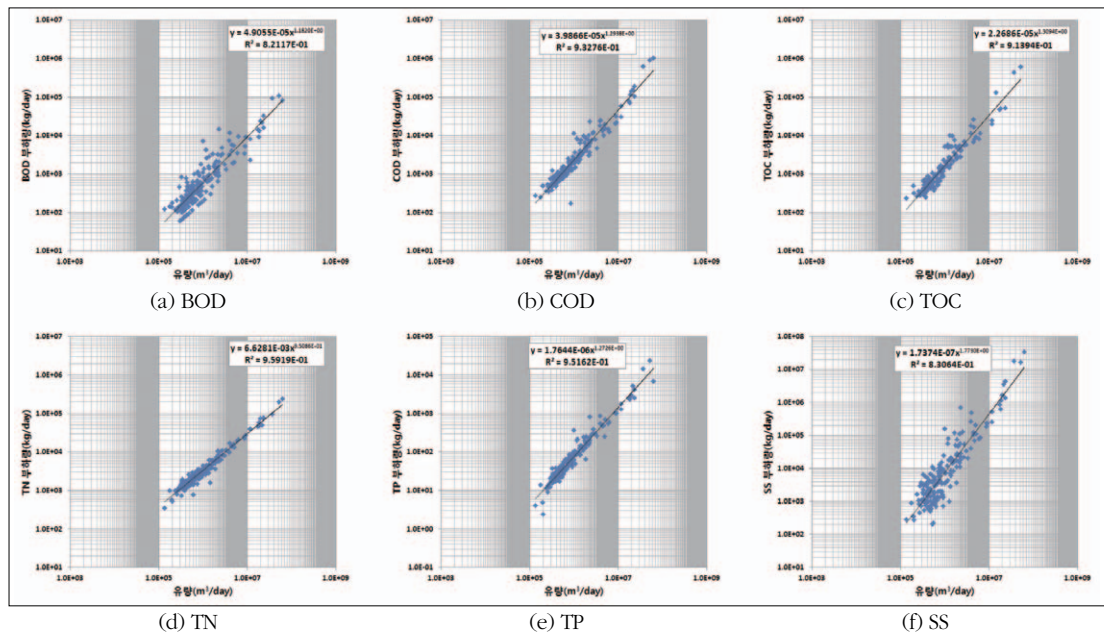


그림 5. 내성 B지점 유출량과 오염부하량 관계곡선

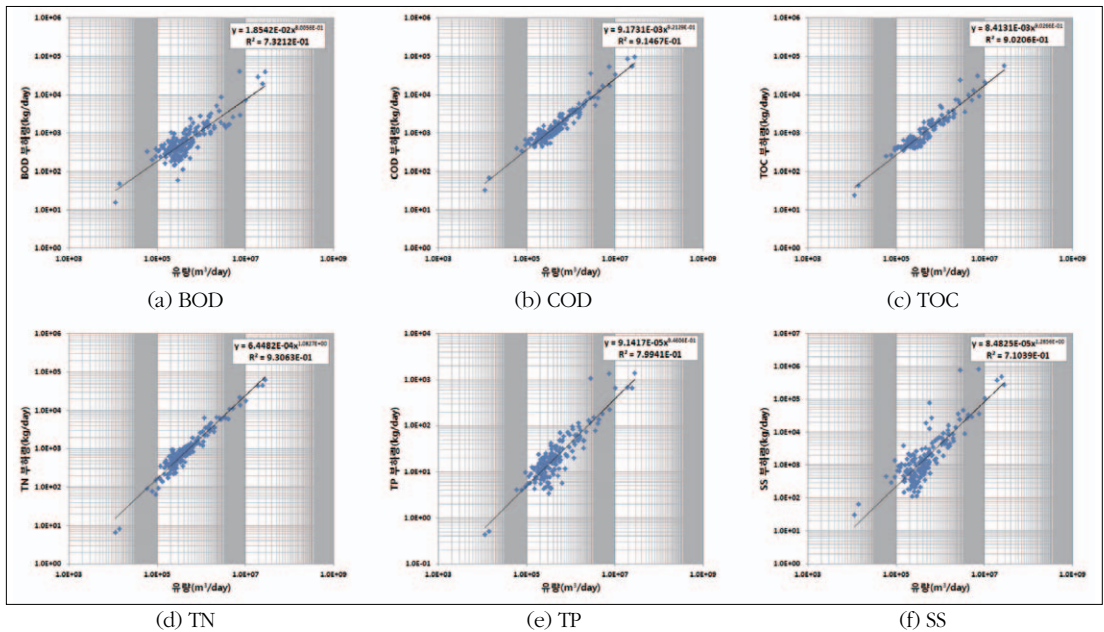


그림 6. 영강 A지점 유출량과 오염부하량 관계곡선

BOD, COD, TOC, TN, TP, SS의 항목들에 대하여 유출량과 오염부하량과의 관계를 그림 3~6, 표 5~8에 나타내었다.

유출량과 오염부하량과의 상관계수가 반면 B지점의 경우 0.9691~0.9935로 높게 나타났으며

TOC의 상관계수가 가장 높게 나타났다. 미천 A지점의 경우 0.9347~0.9858로 COD가 가장 높게 나타났고, 내성 B지점은 0.9062~0.9794로 TN이 가장 높게 나타났다. 영강 A지점은 0.8428~0.9647로 다른 대상지점보다 낮게 나타났으며 TN이 가장

표 5. 반변 B지점 유출량과 오염부하량 관계식

| 항 목 | 관계식 | 상관계수 |
|-----|----------------------------|--------|
| BOD | $L=(7.9812E-04)Q^{1.0047}$ | 0.9691 |
| COD | $L=(1.4708E-03)Q^{1.0859}$ | 0.9921 |
| TOC | $L=(1.0821E-03)Q^{1.0913}$ | 0.9935 |
| TN | $L=(1.0272E-03)Q^{1.0480}$ | 0.9885 |
| TP | $L=(1.1159E-06)Q^{1.2396}$ | 0.9718 |
| SS | $L=(9.2670E-05)Q^{1.3248}$ | 0.9695 |

표 6. 미천 A지점 유출량과 오염부하량 관계식

| 항 목 | 관계식 | 상관계수 |
|-----|----------------------------|--------|
| BOD | $L=(7.0090E-04)Q^{1.0295}$ | 0.9520 |
| COD | $L=(5.2834E-04)Q^{1.1666}$ | 0.9858 |
| TOC | $L=(3.7297E-04)Q^{1.1792}$ | 0.9834 |
| TN | $L=(6.4006E-04)Q^{1.1281}$ | 0.9754 |
| TP | $L=(7.9594E-07)Q^{1.2967}$ | 0.9556 |
| SS | $L=(9.5723E-05)Q^{1.3166}$ | 0.9347 |

표 7. 내성 B지점 유출량과 오염부하량 관계식

| 항 목 | 관계식 | 상관계수 |
|-----|-----------------------------|--------|
| BOD | $L=(4.9055E-05)Q^{1.1820}$ | 0.9062 |
| COD | $L=(3.9866E-05)Q^{1.2938}$ | 0.9658 |
| TOC | $L=(2.2686E-05)Q^{1.3094}$ | 0.9560 |
| TN | $L=(6.6281E-03)Q^{0.95086}$ | 0.9794 |
| TP | $L=(1.7644E-06)Q^{1.2726}$ | 0.9755 |
| SS | $L=(1.7374E-07)Q^{1.7730}$ | 0.9114 |

표 8. 영강 A지점 유출량과 오염부하량 관계식

| 항 목 | 관계식 | 상관계수 |
|-----|-----------------------------|--------|
| BOD | $L=(1.8542E-02)Q^{0.80056}$ | 0.8556 |
| COD | $L=(9.1731E-03)Q^{0.92129}$ | 0.9564 |
| TOC | $L=(8.4131E-03)Q^{0.90266}$ | 0.9498 |
| TN | $L=(6.4482E-04)Q^{1.0827}$ | 0.9647 |
| TP | $L=(9.1417E-05)Q^{0.94606}$ | 0.8941 |
| SS | $L=(8.4825E-05)Q^{1.2856}$ | 0.8428 |

높은 상관계수를 나타냈다. 위의 상관계수를 바탕으로 대상지점들의 유출량과 오염부하량의 해석이 타당한 것으로 판단되며, 관계식의 적용성을 판단하기 위하여 검증을 실시하여 다음 장에 기술하였다.

수질항목별 계수값의 크기를 비교해보면 반변 B 지점에서 BOD, COD, TOC, TN은 1 근처의 값을

가지고, TP와 SS는 각각 1.2396과 1.3248의 값으로 유출량의 증가에 따라 수질농도가 급격히 증가하는 특성을 가짐을 알 수 있다. 미천 A지점도 BOD, COD, TOC, TN은 1.0295~1.1792의 값을 나타내며, TP와 SS가 각각 1.2967과 1.3166으로 다른 항목보다 비교적 큰 값을 나타낸다. 내성 B지점은 SS가 1.7730으로 대상구역에서 가장 큰 값을 나타내며, BOD, COD, TOC, TP는 1.1820~1.3094의 범위를 나타냈으며, TN은 1보다 작은 0.9509로 유량의 증가에 따라 오히려 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 영강 A지점은 BOD, COD, TOC, TP가 1보다 작은 값을 나타냈으며, TN은 1 근처의 값을 나타내고, SS는 1.2856을 나타내어 다른 구역과 같이 SS의 경우 입자성 물질은 유출량의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

IV. 유출량에 따른 오염부하량 검증

대상구역에서 각 오염농도 별로 유출량과의 상관관계를 분석하였으며, 이 관계식의 적용성과 타당성을 검증하고자 한다. 전제자료 중 상관관계분석에서 앞서 기술한 바와 같이 시간상으로 최근 자료인 25%의 자료를 상관식에 입력하여 예측된 값과 실측값을 비교하여 검증에 사용하였다. 검증에 사용된 통계지표는 다음과 같이 4개의 지표를 사용하였다. 예측부하량과 실측부하량의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error), 상관계수(Correlation Coefficient), Nash-Sutcliffe 효율계수(Efficiency Coefficient), 평균절대편차(Mean Absolute Deviation)를 통계지표로 사용하였다. 사용된 통계지표를 간단히 설명하면 다음과 같다.

1. 평균제곱근오차(RMSE)

$$SE = \sqrt{\frac{SSE}{N}}, SEE = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (3)$$

여기서, SSE는 오차제곱의 총합이고, N은 자료의 수이며, y_i 와 \hat{y}_i 는 관측값과 예측값이고, e_i 는 관측값과 예측값 사이의 오차이다. 만약 실측치와 모의

치가 일치하게 되면 RMSE는 0의 값을 나타내게 된다.

2. 상관계수(CC)

2개의 변수 x 와 y 가 있을 때에 x 의 변화에 따라서 y 도 변화하는 관계를 상관관계라고 한다. x 가 증가하면 y 도 증가하는 관계를 양의 상관관계, x 가 증가하면 y 가 감소하는 관계를 음의 상관관계라고 한다. 어느 쪽의 관계도 보이지 않을 경우 무상관이라 한다. 상관계수는 2개의 변수 사이에 상관관계의 여부를 수치적으로 판단하는 지표로 이용되며, 통상 r 이라는 기호로 표시하며, -1.0에서 1.0까지의 값을 가지고 두 데이터 집합 사이의 상관성을 나타낸다. 상관계수를 어떻게 해석할 것인지에 대한 절대적 기준은 없으나 대체로 0.8~1.0의 범위는 '상관이 매우 높다', 0.6~0.8의 범위를 나타내면 '상관이 높다', 0.4~0.6의 범위를 나타내면 '상관이 있다'라고 표현한다.

3. Nash-Sutcliffe 효율계수

$$NSEC = \frac{ST - SSE}{ST} \quad (4)$$

$$ST = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

여기서, ST는 통편차이고, \bar{y} 는 y 값 N개의 평균이다. NSEC 값은 1에서 $-\infty$ 사이의 값을 가지며, 값이 0과 1 사이에 있으면 모의치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, NSEC 값이 0보다 작으면 모형의 예측 결과가 나쁘거나 실측자료가 일관성이 없음을 의미한다.

4. 평균절대편차(MAD)

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_j| \quad (5)$$

상관식을 이용하여 예측오염부하량을 산정하고 실측된 오염부하량과의 비교를 통하여 표 9~12까지 통계지표를 산정하였다. 전체적으로 상관계수는 0.8983~0.9987로 매우 높은 상관

표 9. 반변 B지점 오염부하량 검증 통계지표

| 구 분 | RMSE | CC | NSEC | MAD |
|-----|---------|--------|--------|--------|
| BOD | 1319.5 | 0.9722 | 0.7986 | 519.6 |
| COD | 4886.2 | 0.9927 | 0.9823 | 1601.4 |
| TOC | 2579.9 | 0.9972 | 0.9641 | 834.5 |
| TN | 1585.8 | 0.9890 | 0.9304 | 623.0 |
| TP | 38.8 | 0.9654 | 0.9148 | 20.3 |
| SS | 15706.9 | 0.9633 | 0.8923 | 7139.1 |

표 10. 미천 A지점 오염부하량 검증 통계지표

| 구 분 | RMSE | CC | NSEC | MAD |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| BOD | 527.9 | 0.9987 | 0.8414 | 158.0 |
| COD | 1277.3 | 0.9979 | 0.9960 | 392.6 |
| TOC | 462.7 | 0.9977 | 0.9916 | 143.3 |
| TN | 667.5 | 0.9915 | 0.9433 | 242.7 |
| TP | 12.6 | 0.9736 | 0.9470 | 4.3 |
| SS | 4428.8 | 0.9896 | 0.8767 | 1426.3 |

표 11. 내성 B지점 오염부하량 검증 통계지표

| 구 분 | RMSE | CC | NSEC | MAD |
|-----|----------|--------|--------|---------|
| BOD | 6738.8 | 0.9355 | 0.7018 | 2445.5 |
| COD | 19796.1 | 0.9618 | 0.9406 | 6686.6 |
| TOC | 14815.5 | 0.9571 | 0.8723 | 4658.6 |
| TN | 5612.1 | 0.9874 | 0.9359 | 2100.8 |
| TP | 596.5 | 0.9540 | 0.8572 | 175.4 |
| SS | 275671.7 | 0.8983 | 0.7904 | 85495.7 |

표 12. 영강 A지점 오염부하량 검증 통계지표

| 구 분 | RMSE | CC | NSEC | MAD |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| BOD | 723.5 | 0.9023 | 0.7916 | 365.1 |
| COD | 1870.3 | 0.9790 | 0.9800 | 780.4 |
| TOC | 897.4 | 0.9741 | 0.9274 | 413.0 |
| TN | 1165.3 | 0.9676 | 0.9188 | 485.5 |
| TP | 34.7 | 0.9200 | 0.8101 | 14.4 |
| SS | 4856.4 | 0.9693 | 0.8882 | 2220.5 |

계수를 나타내며, NSEC 또한 0.7018~0.9960의 높은 값은 나타내어 유출량과 오염부하량의 상관관계식의 적용성이 높다고 판단된다. 각 지점별로 비교해보면 미천 A지점에서 모든 농도 CC와 NSEC가 가장 높게 산정되고, RMSE와 MAD가 가장 낮게 산정되어 상관관계식의 효율이 가장 높은 것으로 사료된다. 각 농도별로 비교해보면 COD의 NSEC가 0.9406~0.9960으로 가장 높게 나와 상

관관계식의 적용성이 가장 높은 것으로 판단되며, TOC, TN, TP의 경우 COD 만큼 높은 NSEC는 아니나 0.8723~0.9916의 범위로 산정되어 적용성이 좋은 것으로 사료된다.

V. 결 론

주요지점에 대해서 환경부 산하 물환경연구소에서 8일 간격으로 유량과 수질자료를 실측하고 있다. 그러나 정교한 수질모델링을 수행하기 위해서는 8일 간격보다는 간격이 좁은 1일 단위 정도 또는 시간단위의 입력자료가 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서 제시한 상관관계식과 연구방법을 사용하여 수질 실측자료가 없을 경우 유량자료만을 사용하여 오염부하량을 산정할 수 있으며 오염부하량으로부터 수질 농도값을 추론할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 상류지역 4개의 지류를 대상으로 하여 유출량과 수질농도와의 상관관계를 분석하였으며, 관계식의 활용성을 검증하였다. 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

유출량과 오염부하량과의 상관계수가 반변 B지점의 경우 0.9691~0.9935로 높게 나타났으며 TOC의 상관계수가 가장 높게 나타났다. 미천 A지점의 경우 0.9347~0.9858로 COD가 가장 높게 나타났고, 내성 B지점은 0.9062~0.9794로 TN이 가장 높게 나타났다. 영강 A지점은 0.8428~0.9647로 다른 대상지점보다 낮게 나타났으며 TN이 가장 높은 상관계수를 나타냈다. 위의 상관계수를 바탕으로 대상지점들의 유출량과 오염부하량의 해석이 타당한 것으로 판단된다.

유출량과 오염부하량과의 상관계수는 대상유역에서 0.8428~0.9935로 나와 유출량과 오염부하량의 해석이 타당한 것으로 판단된다. 대상유역에서 계수값은 BOD, COD, TOC, TN, TP는 주로 1 근처의 값을 가지고, SS는 1보다 큰 값을 나타내어 다른 선행연구와 같이 SS의 경우 입자성 물질은 유출량에 가장 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다.

상관관계의 검증을 위한 예측오염부하량과 실측

오염부하량의 상관계수는 0.8983~0.9987로 매우 높은 상관계수를 나타내며, NSEC 또한 0.7018~0.9960의 비교적 높은 값을 나타내어 유출량과 오염부하량의 상관관계식의 적용성이 높다고 판단된다. 이 지역에서의 환경기초시설의 설계와 수질모델링시 수질 실측자료가 없을 때 유량자료를 이용하여 수질관계를 도출할 수 있는 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 더욱 정확한 상관관계식을 도출하기 위해서는 앞으로 더욱 많은 실측자료가 축적되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 BK21 사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2009, 수질오염총량관리를 위한 '08 낙동강수계 목표수질측정망 운영결과 보고서, 국립환경과학원.
- 김정현, 2011, 4대강 수질예보 및 시스템 소개, 4대강 수생태계 건강성 증진을 위한 국제 심포지엄, 수생태복원사업단, 293-306.
- 김종오, 김옥선, 김홍철, 2000, 남강댐 유역의 유출량과 오염부하량 연구, 한국습지학회지, 2(1), 87-94.
- 박노길, 2009, 하천 유출량과 오염부하량의 상관관계분석, 석사학위논문, 충주대학교.
- 박의정, 김철, 김석규, 2004, 고읍천 유역의 유출량 및 오염부하량 산정, 대한토목학회 정기학술대회, 798-802.
- 이상욱, 2010, 남강댐 유역의 유출량과 오염 부하량 상관관계 해석, 석사학위논문, 경상대학교.
- 정상만, 임경호, 최정현, 2000, 금강지류 유역에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석, 한국수자원학회논문집, 33(5), 527-536.

- 최한규, 백경원, 최용묵, 최진우, 2001, 유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 21(B), 233-240.
- Colston, N. V., 1974, Characterization and treatment of urban land runoff, U.S. EPA-670/2-74-096.
- Guo, H. C., Liu, L. and Huang, G. H., 2003, A Stochastic Water Quality Forecasting System for the Yiluo River, Journal of Environmental Informatics, 1(2), 18-32.
<http://water.nier.go.kr/smat/>
- Huber, W. C. and Barnwell, T. O., 1988, Stormwater management model, Version 4: user's manual, U.S. EPA, Athens, Georgia, 59-282.
- Karn, S. K. and Harada, S., 2001, Surface Water Pollution in Three Urban Territories of Nepal, India, and Bangladesh, Environmental Management 28(4), 483-496.
- Ken, J. H. and Bruce, C. A., 1988, The toxicity and chemical composition of urban stormwater runoff, Canadian Journal of Civil Engineering, 15(1), 98-106.
- Lianqing, X., Jiao, W., Shuo, H. and Chunling, W., 2010, Stochastic modeling of river water quality and risk analysis, 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 186-190.
- Naeem, R. K. and Mansoor, A., 2008, Applying Stochastic Approach for Water Quality Assessment, Journal of Basic and Applied Sciences, 4(2), 73-80.
- Wanielista, M. P., 1978, Stormwater management quantity and quality, Ann Arbor Science, Mich, 187-220.