

낙동강수계의 수질자료 변화특성 분석

Analysis of the Variability of Water Quality Data in Nakdong River Basin

김광섭*, 강동진**

Kim, Gwangseob, Kang, Dong Jin

요 지

낙동강 유역의 가용한 쇠장기 수량 및 수질자료를 획득하여 자료의 적합성 및 QC과정을 통하여 분석 가능한 자료를 생산하고 자료의 분석에 적합한 통계기법을 선정 각 변수의 변동특성과 변동 상관성을 정밀 분석하였다. 본 연구에서는 낙동강 수질자료의 변동특성을 분석하고 수질개선 필요성을 파악하기 위하여 Mann-Kendall 검정을 사용하여 수질변화의 경향성을 분석하였다. 낙동강 수계의 수질변화 특성을 분석하기 위하여 수온($^{\circ}\text{C}$), DO(mg/l), BOD(mg/l), COD(mg/l), SS(mg/l), TN(mg/l), TP(mg/l) 이상 7가지의 가용 자료를 선택하였다. 수질자료는 환경부에서 운영하는 물 환경 정보 시스템의 수질측정망 자료인 월 단위 자료를 대상으로 Mann-Kendall 검정을 수행하였다. 분석에 사용된 자료 기간은 강우량자료와 유출량자료의 동기간인 1989년 ~ 2000년까지이다. BOD의 변화를 살펴보면 전반적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 가장 큰 감소 경향을 보인 지점은 금호강6 지점으로 $-39.1\text{mg/l}/20\text{yr}$ 로 나타났다. 증가지점으로는 안동파, 구미, 달성, 반면천 등이고 증가량은 약 $1.1\text{mg/l} \sim 0.03\text{mg/l}/20\text{yr}$ 정도이다. COD의 변화를 살펴보면 대부분 지점에서 증가하는 것을 알 수 있다. 감소하는 지역은 고령과 현동, 대암, 금호강3~6등이다. 특이사항은 금호강6의 감소 분이 -30.2mg/l 로 타 지점에 비해 상당히 크다는 것이다. DO의 경우는 증가지점과 감소지점의 수가 비슷하였고 주로 상류쪽이 감소하고 하류로 오면서 증가함을 알 수 있다. DO 또한 금호강6 지점이 가장 큰 폭으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. pH는 함양위천과 덕천강1을 제외한 모든 지역이 증가 하였다. SS 또한 금호강5, 6, 거창 위천2를 제외한 모든 지역에서 증가하였다. SS항목도 금호강6 지점이 가장 큰 폭으로 감소하였다. 샘플지점(금호강6)의 BOD/COD/DO/pH/SS/TEMP/TN/TP 시계열을 통해 자료분석기간 동안 수처리 시설 등의 확장으로 인한 금호강유역의 급격한 수질개선을 알 수 있다.

핵심용어 : Mann-Kendall 검정, 수질변화, 경향성

1. 서 론

우리나라는 UN이 정한 물 부족국가에 해당함에도 불구하고 국민생활 수준의 향상으로 하루 평균 1인당 물 소비량은 2003년 말 기준 약 395l로 프랑스 281l, 영국 323l, 일본 357l에 비해 많은 것을 알 수 있다. 낙동강 유역의 인구증가와 도시화/공업화로 인해 생활용수와 공업용수의 수요량 증가하고 있다. 즉 도시화 등 사회발전과 국민의 삶의 질 향상과 함께 용수수요량은 날로 증가하고 있는 실정이다. 그로 인해 배출되는 생활하수, 공장폐수의 방류량이 증가하여 상수원수에 해당하는 적합한 수질을 유지하기에 큰 어려움이 발생되었다. 수질을 판단하는 항목들을 보면 수량과 밀접한 관계를 가지는 수질항목들이 다수 존재함으로 수량변화에 따른 수질변화 경향성 및 상관성 분석에 대한 연구는 필수적이라 하겠다. 수질 관측지점의 자료 기간인 1989년부터 2000년에 맞춰 강우량, 유출량의 자료를 선정하여 모든 연구를 진행하였다. 수질분석 항목

* 정회원 · 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 조교수 · E-mail : kimgs@knu.ac.kr

** 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 석사과정 · E-mail : kkang5886@hotmail.com

은 가장 기본적인 하천수 수질 기준인 BOD, COD, DO, PH, SS, 수온, T-N, T-P를 선택하였다. 본 연구에서는 Mann-Kendall 검정을 사용하여 낙동강유역의 수질변화 및 강우량 유출량의 경향성 및 상관성을 분석하여 수질변화특성을 파악하기 위하여 수행하였다.

2. 검정기법 및 자료분석

2.1 Mann-Kendall 검정

강수량, 유출량, 수질측정항목에 대한 경향성분석 방법으로 Mann-Kendall 검정기법을 사용하였다. 경향성 분석은 장기간의 유량과 수질 값이 장래 발생 가능한 경향성에 유용한 정보를 제공해 주므로 수자원 계획의 수립과 운영에 있어서 유용한 도구이다. 회귀분석과 함께 비모수 검정기법의 하나인 Mann-Kendall 검정을 이용하여 장기 자료들의 특정 기간에 대한 경향성을 검정하였다. 전통적인 통계검정방법들이 모평균의 분포를 통일한 분산에 대해 정규분포로 가정하고 그 분석을 수행하는데 비하여 Mann-Kendall 검정은 단지 연속적인 모평균을 가진다는 가정아래 검정분석을 수행한다(Gibbons, 1990). Mann-Kendall 검정은 다른 통계학적 검정 법들이 표본크기, 분산, 왜도와 같은 표본자료특성에 영향을 받는데 반해 표본자료의 특성에 민감하지 않고 간단하면서도 강력한 기능을 발휘하며 결측치나 감지 한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능하여, 지구 환경 분야의 연구에 광범위하게 사용되고 있는 방법이다. Mann-Kendall 검정의 이러한 특성 때문에 수문변수들의 경향성분석시에 많이 이용되고 있다. 이 방법은 Mann-Kendall 통계치의 공분산이 제시되고, 계절성을 가지는 자료에 대해서도 적용 가능하도록 확장되었다(Hirsch 와 Slack, 1984).

2. 2 분석내용

수질자료는 환경부에서 운영하는 물 환경 정보 시스템의 수질측정망 자료를 다운로드하여 획득한 월 단위 자료를 대상으로 기초통계량을 구하고 변화량분석을 수행하였다. BOD의 변화를 살펴보면 그림 1에서 알 수 있듯이 전반적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 가장 큰 감소분을 보인 지점은 금호강6으로 -39.1mg/l 로 나타났다. 증가지점으로는 안동과, 구미, 달성, 반변천 등이고 증가량은 약 $1.1\text{mg/l} \sim 0.03\text{mg/l}$ 정도이다. COD의 변화를 살펴보면 그림 2에서 알 수 있듯이 대부분 지점에서 증가하는 것을 알 수 있다. 감소하는 지역은 고령과 현동, 대암, 금호강3~6등이다. 특이사항은 금호강6의 감소분이 -30.2mg/l 로 타 지점에 비해 상당히 크다는 것이다. DO의 경우는 증가지점과 감소지점이 비슷한 것을 알 수 있다. 주로 상류쪽이 감소하고 하류로 오면서 증가함을 알 수 있다. DO 또한 금호강6 지점이 가장 큰 폭으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. pH는 함양위천과 덕천강1을 제외한 모든 지역이 증가 하고 있는 것을 알 수 있었다. 그림4는 샘플지점(금호강6)의 BOD/COD/DO 시계열을 통해 금호강유역의 급격한 수질개선을 알 수 있다.

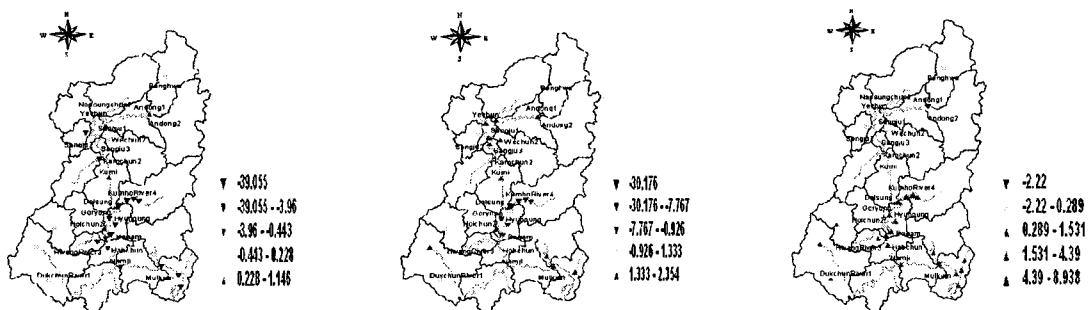


그림 1. 낙동강유역 BOD변화 그림 2. 낙동강 유역 COD변화 그림 3. 낙동강 유역 DO변화

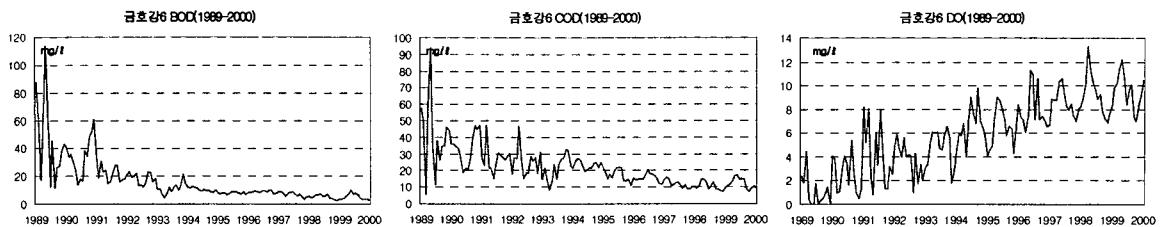


그림 4. 샘플지점(금호강6)의 BOD/COD/DO 시계열

수질항목들의 경향성분석을 위해 1989년 ~ 2000년간 12년 자료를 대상으로 Mann-Kendall 검정을 수행하였다.

표 1. 수질항목별 유의수준이 90%이상인 지점들의 수(총35지점)

BOD		COD		DO		PH		SS		수온		TN		TP	
90% 이상	90% 미만														
11지점	24지점	18지점	17지점	14지점	21지점	25지점	10지점	20지점	15지점	4지점	31지점	33지점	2지점	28지점	7지점

수질에 대한 Mann-Kendall 검정결과는 유의수준이 90%이상인 지점들을 가장 많이 보유한 수질 항목은 TN으로 35개 지점 중 33개 지점, 그 다음으로 TP, PH, COD 순으로 나타났다. 낙동강 전체적으로 수질이 개선되는 것으로 나타났다. 특히 상류보다는 하류지역의 수질개선이 뚜렷한 것을 알 수 있다. 강수량에 대한 Mann-Kendall 검정 결과 겨울과 초봄에는 강수량이 대체적으로 감소하여 하천 유량이 줄어들 것으로 판단된다. 이는 겨울과 초봄의 강수량 감소로 인해 갈수기 하천수질 유지를 위한 적절한 하천유지용수 확보 및 운영이 더 필요함을 알 수 있다. 7월을 제외한 여름과 가을철 강수량은 대체적으로 상승추세에 있다. 이는 풍수기 수량의 증가로 강수량의 변화가 하천수질에 크게 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다. 유출량에 대한 Mann-Kendall 검정 결과 1월 ~ 3월까지의 유출량 변화 추세는 대체적으로 강수량의 변화추세를 따르며 4월의 감소추세와 12월의 증가추세는 강수량 추세 변화양상과 반대되는 결과를 보여주었다. 이는 유역의 반응 지체시간 등과 관련된 것으로 판단된다. 대체적으로 유출량의 선형 추세는 높은 유의수준을 갖지 않을 뿐만 아니라 강수량의 추세변화 양상보다 덜 민감한 것으로 나타났다. 이는 전 세계에 대한 유출량 장기자료 분석 결과 유의한 선형변화를 보이지 않는 Kundzewicz (2004)의 연구결과와 비슷하다고 하겠다.

표 2. 유출량-DO 상관계수(샘플)

△ 유출량-DO

증권역 (유출)	안동댐		임하댐	안동댐 하류		내성천	변성천	위천	감천	금호강				회천	
지점명 (수질)	봉화	안동	반변천	안동2	예천	내성천2	병성천	위천2	감천2	금호 강3	금호 강4	금호 강5	금호 강6	회천2	
상관 계수	-0.43	-0.24	-0.16	-0.49	-0.53	-0.08	-0.33	-0.40	-0.38	-0.36	-0.51	-0.40	-0.57	-0.56	
증권역 (유출)	합천댐		남강댐		밀양강	낙동강		낙동강		낙동강				낙동 창녕	
지점명 (수질)	거창 위천2	횡강3	함양 위천	덕천 강1	밀양강2	상주1	상주2	상주3	구미	달성	고령	대암	창녕	합천	남지
상관 계수	-0.31	-0.41	-0.02	-0.12	-0.57	-0.53	-0.52	-0.51	-0.48	-0.56	-0.28	-0.41	-0.28	-0.27	-0.32

유출량과 각 수질항목 사이의 상관계수 분석결과는 대부분의 수질항목과 유출량 사이의 선형 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. DO와 유출량은 -0.57에서 -0.02까지 음의 상관계수를 보였고, SS와 유출량은 0.43에서 -0.06까지 대체적으로 양의 상관계수는 등 낮은 상관계수에도 불구하고 수량변화에 따른 각 변수의 반응이 물리적으로 타당한 결과를 보였다.

3. 결 론

낙동강유역의 수질변화특성을 분석하기 위하여 낙동강유역의 가용한 쇠장기 수량 및 수질자료를 획득하여 자료의 적합성 검증과 QC과정을 통하여 분석 가능한 자료를 생산하고 자료의 분석에 적합한 통계기법을 선정 각 변수의 변동특성과 변동 상관성을 분석하였다. 수질 및 강우량, 유출량에 대한 Mann-Kendall 검정을 수행하였다. 분석결과 수질의 경우 유의수준이 90%이상인 지점들을 가장 많이 보유한 수질 항목은 TN으로 35개 지점 중 33개 지점, 그 다음으로 TP, PH, COD 순으로 나타났다. 그림1 .에서 BOD의 경우 유의수준에 포함되진 않지만 각 지점들의 변화량을 살펴보면 35개 지점 중 11개 지점을 제외한 모든 지점에서 감소하는 경향으로 나타나 수질이 개선되는 것을 알 수 있다. 하지만 DO의 경우 BOD가 감소하여 DO가 일괄적으로 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다. 강우량과 유출량은 유의수준이 90% 이상 가지는 지점은 존재하지 않았다. 낙동강 대권역은 특정한 경향성을 보이지 않았지만 강우량과 유출량이 전반적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 분석결과는 전 세계에 걸친 최대 연 유출량의 경향분석 연구결과인 판축지점의 16%가 감소 경향, 14%는 증가경향 그리고 나머지 70%는 특별한 경향을 보이지 않는다는 것과 유사하다(Kundzewicz, 2004). 수질항목과 유출량의 상관성은 지역에 따라 양, 음의 값이 공존하는 복잡한 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 본 연구에서 수집하여 분석한 강수량 이외에도 각 수질변수에 미치는 영향이 기온 등 각종 수문 기상변수와 유역 특성이나 도시화 등 여러 가지 요인의 복잡한 비선형 상관관계에 기인할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 수자원의 지속적 확보개발사업단의 연구비 지원(1-9-2)에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 권원태, 백희정(2004) 한강 및 낙동강 유역평균 월강수량의 기후 특성 분석, **한국수자원학회 04 학술발표회**, pp. 215.
2. 백경원, 정용태, 한건연, 송재우(1996) 한강하류부 수질의 통계학적 해석, **한국수자원학회지**, 제29권, 제2호. pp. 179-190.
3. 정상만, 임경호, 최정현(2000) 금강지류 유역에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계분석, **한국수자원학회 논문집**, 제33권, 제5호. pp. 527-536.
4. 최한규, 백경원, 최용묵, 오기호(2002) 유량변동에 따른 소양강 유역 수질의 통계학적 해석, **대한토목학회 논문집**, 제22권, 제2호. pp. 117-124.
5. Gibbons, J.D.(1990) *Handbook of statistical methods for engineers and scientists*, McGrawHill, ed. Harroson M. W. pp. 11.1-11.26.
6. Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A.(1982) Techniques of Trend Analysis for Monthly water Quality Data, *Water Resource Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 107-121.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change.(2001) *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*.
8. Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Maurer, T., Przmysinska, I., Radziejewski, M., Svensson, c., and Szwed, M.(2004) Detection of change in world-wide hydrological time series of maximum annual flow, *WMO/TD-No.* Vol. 1239, pp. 35.