

기후변화를 고려한 낙동강 유역의 수온과 수질 탄성도 분석

손태석 · 이규열* · 임태호* · 신현석**†

부산대학교 BK 21 유비쿼터스 항만물류 인프라 구축 사업단

*국립환경과학원 낙동강물환경연구소

**부산대학교 사회환경시스템공학부

Elasticity Analyses between Water Temperature and Water Quality considering Climate Change in Nak-dong River Basin

Tae Seok Shon · Kyu Yeol Lee* · Tae Hyo Im* · Hyun Suk Shin**†

Brain Korea 21 Division for Ubiquitous-Applied Construction of Port Logistics Infrastructures, Pusan National University

*Nakdong River Environmental Research Center

**School of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University

(Received 17 August 2011, Revised 14 October 2011, Accepted 16 October 2011)

Abstract

Climate change has been settled as pending issues to consider water resources and environment all over the world, however, scientific and quantitative assessment methods of climate change have never been standardized. When South Korea headed toward water deficiency nation, the study is not only required analysis of atmospheric or hydrologic factors, but also demanded analysis of correlation with water quality environment factors to gain management policies about climate change. Therefore, this study explored appropriate monthly rainfall elasticity in chosen 41 unit watersheds in Nak-dong river which is the biggest river in Korea and applied monitored discharge data in 2004 to 2009 with monthly rainfall using Thiessen method. Each unit watershed drew elasticity between water temperature and water quality factors such as BOD, COD, SS, T-N, and T-P. Moreover, this study performed non-linear correlation analysis with monitored discharge data. Based on results of analysis, this is first steps of climate change analysis using long-term monitoring to develop basic data by Nak-dong river Environmental Research Center (Ministry of Environment) and to draw quantitative results for reliable forecasting. Secondary, the results considered characteristic of air temperature and rainfall in each unit watershed so that the study has significance its various statistical applications. Finally, this study stands for developing comparable data through "The 4 major river restoration" project by Korea government before and after which cause water quality and water environment changes.

keywords : Climate change, Elasticity, Water temperature, Water quality

1. 서론

수자원 분야에서 최근 많은 관심을 받고 있는 것은 기후 변화로 인해 발생하는 현상에 대하여 분석하고 문제점을 해결하기 위하여 대응 및 적응 방안을 모색하는 것이다. 기후변화의 원인은 명확히 규명되지는 않았으나 이로 인하여 자연, 인간의 사회 및 경제 등 모든 분야에 걸쳐 직간접적인 영향을 받고 있다. 실제로 기상청의 기후변화정보센터(CLIMATE CHANGE INFORMATION CENTER: CCIC)에 따르면 우리나라의 평균기온은 2000년 7.1°C에서 2006년 8.5°C, 2008년 8.2°C, 2010년 8.1°C등 10년 사이 평균 약 1°C정도 증가하였고, 기후변화에 관한 정부간 패널(Special Report on Emission Scenarios: IPCC, 2007)은 4차 보고서를 통해 21세기 기후변화의 가속화 전망을 21세기

말까지 지구평균기온이 최대 6.4°C 상승하고, 강수량의 약 20% 증감을 통해 해수면은 59 mm 상승할 것으로 전망했다. 또한, 수온과 수질항목간의 선형 상관성분석 결과 실제 하천에서 수온증가가 Chl-a의 증가와 함께, pH의 상승, DO의 증가, 내부 생성 유기물질의 증가(COD) 및 영양염의 감소와 같은 경향을 나타내는데 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이에 기후변화의 개념이 보편화되고 그 중요성이 부각됨에 따라, 기후변화에 따른 수문-수질환경의 영향에 대해 고려한 연구들이 제시되었다. 손태석 등(2010)은 기후변화에 따른 낙동강 유역의 기온 경향성 및 수온과의 탄성도 분석 연구에서는 낙동강 주요지점의 수온자료를 수집하여 기온-수온의 탄성도를 산정하고 미래기후변화로 인한 수온의 증가분석을 위한 기온의 경향성 분석 및 지점별 탄성도를 통해 미래의 기온과 수온을 예측하였다. 신현석 등(2009)은 환경유량 산정 시 기후변화 요인을 고려하고 이에 따른 물환경 적응방안에 대한 연구를 시행하였고, 최대

† To whom correspondence should be addressed.

hsshin@pusan.ac.kr

규 등(2009) 또한 기후변화가 특정 유역에의 수문 및 수질 반응에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 국립환경과학원(2009) 및 한국수자원공사(2009)에서도 각기 기후변화에 따른 수자원, 수질 분야의 영향평가 및 적응대책 발굴연구, 관리방안 수립에 대한 연구를 시행하였다. 특히 수질환경에 관해 연구한 사례로는 과학기술부에서 시행한 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축(과학기술부, 2007) 연구가 대표적이며, 이는 기후변화에 따른 유역 수자원 계획 및 관리를 최적화하기 위하여 기후와 수문 관측 자료의 시공간적 변화 특성의 통계적 분석 및 기후변화에 의한 국내 수자원 영향의 정확한 분석이 요구됨에 따라 실시되었다. 수자원의 지속적 확보기술개발의 하나로 기후변화 수자원 영향평가를 위한 장기유출분석 체계 구축, 기후변화에 의한 기온, 강수량의 상관특성분석 등을 실시하였다. 또한, 정재호(2010)는 기후변화를 고려한 댐유역의 수질변화 분석 연구를 시행하였으며, 권현한 등(2008)에 의해 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 위한 Regional Climate Model 강수 계열의 특성분석 및 연구가 이루어졌다.

이처럼 국내에서는 비선형 상관관계 분석을 이용한 기온-수온 상관성 분석이 주를 이루고 있으며, 이에 관한 모형 구축, 매개변수 추정 및 분석, 그리고 오차분석을 통하여 상관관계를 대표하는 수식을 개발하고, 검증하여 왔다. 이길하(2007)의 우리나라 연안 기온과 수온의 비선형 상관관계 분석연구에서는, 세 유역에서의 실측장치를 바탕으로 상관관계를 분석하여 비선형 상관관계식을 지점별로 제시하였다. 또한, 김태근(2006)은 유량-부하량 관계식을 이용하여 용담호 유입하천의 영양염류 유입량 변동 특성에 대해 분석하였으며, 한대호(2010)의 연구에서는 4대강 수계 하천 및 호소를 대상으로 시·공간적 수온 및 수질에 대한 분석을 실시하여, 수질환경인자인 BOD, SS, NO₃-N, TP, PO₄-P, 총대장균군의 등에 대한 증감 경향을 파악하였다.

국외 사례의 경우, Bogan 등(2003)은 하천 수온과 기온과의 관계를 정립하고자 하였으나 기존 측정자료에 의한 회귀분석이 주를 이루었고, Tian 등(2006)의 연구에서는 Jianghuai 유역의 41개의 관측 지점에 대하여 43년간(1961~2003년)의 관측 자료를 계절 분석으로 여름 가뭄, 홍수, 집중호우, 온도변화와 같은 극한 기후 사상에 대한 시공간적 변화를 분석함으로써 기후변화에 따른 호우사상을 고려했다고 가정할 수 있으나, 전반적인 미래기후를 반영하지 못한 것으로 판단된다. Ozaki 등(2003)은 일본의 Ota, Shinano, Tama, Okuri와 Hoshioki 하천의 일본의 기상청에서 제공받은 수질자료(1989.01~1996.12)와 27개의 하천 지점에서 관측하여 얻은 자료를 분석한 후 수질인자인 DO, SS, pH, BOD를 대상으로 수질변화를 계절별로 분석하였다. Ahmadi-Nedushan 등(2007)은 캐나다 퀘벡주 Moisie 강 유역의 기온과 수온 및 유출 자료(기온, 수온: 1993~1998년, 유출: 1989~1992년)를 기상청 및 교통청에서 획득하여 추계학적 모델링 분석과 회귀계수 분석을 통한 수온 분석을 실시하였다. Zweimuller 등(2008)은 오스트리아 Danube 강의 기온, 수온, 유출, 영양염류 모니터링 자료(기온, 수온, 유출:

1951~2006년, 영양염류: 1991~2006년)를 분석하여, 수온이 기온과 유출의 상관성을 규명하기 위하여 회귀분석을 실시했으며 선형회귀분석, 지수함수, 다항함수를 통하여 기온과 영양염류 사이의 관계와 시나리오 가정을 통하여 수온, 기온, 유출, 영양염류 관계에 대하여 분석한 바 있다.

반면, Adamson 등(2007)은 기후변화에 의하여 온도가 점점 증가함에 따라 강우의 경우 점점 감소할 것이라는 예측에 초점을 두고 연평균강수량과 잠재증발산량의 비례적인 변화에 따라 연평균유출량에도 변화가 발생할 것을 고려하여 각각의 탄성도를 나타내는 두 변수의 값을 구함으로써 강우와 잠재 증발산량의 변화가 유출량에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 국외사례에서도 회귀분석을 통한 상관성 도출 및 회귀식을 통해 수문학적 변화에 따른 수질변화분석이 주를 이루었고, 탄성도를 통해 수질인자에 대한 상관성 분석을 시도한 사례는 전무하다.

이와 같이 기후변화로 인한 지역별 수환경 자원의 변동성을 정량적으로 평가하고, 이에 대한 지역별 취약점을 분석하여 적절한 대응 및 적응 대책을 마련해야 할 것이며, 우리나라도 각 유역 특성에 맞는 상관계수를 산정하고 탄성도 분석을 통한 정책적, 지자체적 대책관련 연구가 필요한 실정이다. 특히 기후변화에 따라 기온이 상승하고, 이로 인한 수온의 증감은 수생태 환경에서 큰 변화요인으로 작용하게 되므로 본 연구에서 개발한 탄성도 분석 기법은 이러한 기후변화의 영향으로 인한 수환경의 변동성을 파악하는 중요한 하나의 기법이다.

이에 따라 본 연구는 수환경시스템 그리고 유역관리 등의 문제에 따른 유역환경변화 적응을 위해 효율적인 수환경 관리 및 정책적으로 활용할 수 있는 기본 자료를 구축하고 분석기법을 개발하고자 수행되었다. 또한 대상유역으로 선정된 낙동강유역은 현재 4대강 사업의 한 맥락으로써 하천정비를 통한 영향분석 및 효율성 제고에 큰 관심이 집중되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 낙동강 정비 전에 구축된 장기간 실측 자료를 바탕으로 한 최초의 수온 및 수환경의 요소 분석으로써 연구를 통하여 자료를 수집하고 이에 적합한 분석 기법을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 유역의 개황

낙동강은 강원도 태백시 화전동 황지천 상류의 금태봉 동쪽 계곡에서 황지천을 따라 남하하면서 경북 봉화군 석포면에서 분류인 낙동강을 물줄기가 형성된다. 낙동강 유역은 동경 127°29'19"~129°18'00", 북위 34°59'41"~37°12'52" 사이의 한반도 동남부에 위치하며, 북쪽으로는 한강유역, 서쪽으로는 금강 및 섬진강 유역과 접하고, 동쪽으로는 태백산맥이 동해안 유역과 분수령을 형성하고 있고, 남쪽으로는 낙동강 남해권역과 접해있다. 행정구역은 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 경상남·북도, 전라남·북도, 강원도 등 3광역시 5도의 일부를 포함하고 있다. 낙동강 유역은

우리나라 제2의 유역으로서, 그 유역면적이 남한면적의 약 1/4인 23,817 km², 유로연장은 521.5 km이다. 유역평균 표고는 EL. 291.2 m, 유역평균 경사는 32.3%이다(국립환경과학원 낙동강물환경연구소, 2009). 낙동강 유역의 일반적인 특성은 산지가 많으며 하폭이 넓고 평탄하나 식생이 불량하여 침식이 심하고 유출이 불규칙하여 홍수와 한해의 피해가 크고 유사로 인한 하상변동이 특히 심하다. 유역 내 연평균 강우량은 1,167.0 mm, 수자원 부존량은 264.73억 m³로 이 중 손실량은 약 114.65억 m³로 43.3%, 유출량은 150.08억 m³로 56.7%를 차지한다. 수계의 구성은 서낙동강 수계를 포함하여 총 803개(낙동강 수계 785개, 서낙동강 수계 18개) 하천이 있으며, 국가하천 13개소(낙동강, 내성천, 감천, 금호강, 황강, 남강, 덕천강, 함안천, 밀양강, 양산천, 서낙동강, 평강천, 맥도강)를 포함하여, 지방1급 하천은 10개소(낙동강, 반변천, 내성천, 변성천, 위천, 신천, 회천, 거창위천, 남강, 함양위천), 지방2급 하천 중 국가하천 및 지방1급 하천에 합류하는 유역면적 100 km² 이상인 하천은 31개소이다.

2.2. 분석자료 수집

본 연구의 분석 기초자료로 사용한 수질 및 유량 데이터는 낙동강 유역을 대상으로 총량제의 기초 자료를 제공하기 위해 낙동강물환경연구소를 주체로 실시된 수질모니터링의 결과를 활용하였다. 평균 8일 간격으로 연간 30회 이상 단위유역 말단의 수질 변화를 현장 조사항목(수온, pH, 용존산소, 전기전도도)과 실험실 조사항목(BOD, COD, SS, TN, TP)으로 나누어 평균 8일 간격, 30회 이상 각 지점별로 측정하였으며, 1차기간은 2004~2010년, 2차 기간을 2011~2015년으로 계획하였다. 장기간 수질 및 유량변동을 파악하고 오염총량관리 기준유량 설정을 위한 기초자료 확보하기 위해 단위유역말단에서 수질측정을 실시하였으며 본 연구에서는 탄성도 분석을 위해 2004~2009년, 총 5년간의 모니터링 자료를 사용하였다.

조사지점은 환경부 장관이 고시한 「목표수질을 설정하여야 하는 수계구간 및 그 영향을 주는 유역」의 하단지점을 목표수질 지점으로 선정하였으며, 환경부고시 제2002-163호(2002.10.25)의 41개 지점을 대상으로 하였다. Fig. 1은 낙동강수계 41개의 총량단위유역을 제시하였다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 탄성도 분석

탄성도(Elasticity)는 다른 요소의 변화에 대한 한 요소의 변화를 의미한다. 이와 같은 정의는 요소라는 표현에 막연함이 있지만 두 개의 미분계수를 의미하며, 여러 수문 요소 가운데 한 요소에 영향을 줄 수 있는 다른 요소(변량)를 선정하여 다른 요소의 변화에 따른 해당 요소의 변화되는 양상을 정량적인 수치인 탄성도로 제시함에 그 목적이 있다. 탄성도의 다른 기능은 모형에서 모의되는 물리적인 과정과 모형 사이의 상호반응에 대한 이해를 가능하게 해주며, 모형의 성분과 매개변량들의 탄성도는 수문모형의 검증

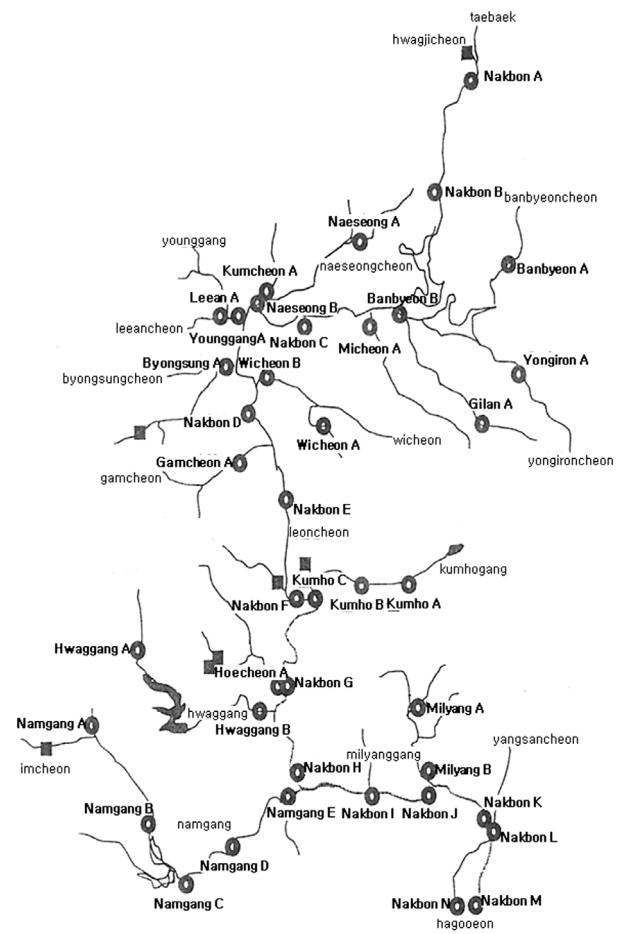


Fig. 1. Monitoring point of this study in Nak-dong river basin.

및 검증에 효율적인 역할을 한다.

강우-유출 탄성도를 예로 들자면, 탄성도가 -1~0이면 강우가 증가할 때 유출은 감소하고, 0~1이면 강우가 증가할 때 유출은 약하게 증가한다. 또, 1~2이면 강우가 증가할 때 유출은 일반적으로 증가하고, 탄성도가 2 이상이면 강우가 증가할 때 유출은 강하게 증가함을 의미하며 이는 분석된 유역의 특성을 보여준다. 어느 한 유역에서 산정된 강우-유출 탄성도는 그 유역의 특성을 반영하며 특히 그 유역이 속한 기후대와 연관이 있다. 전 세계의 탄성도를 분석하여 기후와 연관시킨 Chiew (2007)의 연구에 의하면 탄성도가 0일 경우 강우 증가로 인한 유출 증가 없고, 탄성도가 1인 경우 강우가 10% 증가하면 유출이 10% 증가하며 이 유역을 온·한대 계절지역이라 규정할 수 있다. 탄성도가 2일 경우 강우가 10% 증가하면 유출이 20% 증가하고, 탄성도가 4일 경우 강우가 10% 증가하면 유출이 40% 증가하여 이 유역을 열대 파우지역이라 판단할 수 있다.

또한 탄성도는 기후에 대한 수문학적 민감도로 정의할 수 있다. 기후변화에 의한 특정 기상 요소의 변화량이 산정되 되면 관련된 하천, 수자원, 수환경 요소의 변화량도 산정할 수 있다는 데에 그 효용성이 있다. 일반적인 탄성도의 개념, 특히 강우-유출의 탄성도(Sankarasubramanian and Vogel, 2001; Schaake, 1990)는 식 (1)과 같다.

$$\varepsilon_p(P, Q) = \frac{dQ/Q}{dP/P} = \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q} \quad (1)$$

Sankarasubramanian and Vogel (2001)은 식 (2)와 같이 기후요소의 평균으로 탄성도를 정의하는 유용한 방법을 개발하였다.

$$\varepsilon_p = \frac{dQ}{dP} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \quad (2)$$

여기서 P 는 강우량, Q 는 유출량을 나타내며 dQ 는 유출량의 순간변화율, dP 는 강우의 순간 변화율을 나타낸다. 그러나 강우와 유출량의 순간변화율을 산정할 수 없으므로 식 (3)과 같이 Vogel 등(2006)이 제안한 비모수 산정식(nonparametric estimator)을 이용하여 탄성도를 산정할 수 있다.

$$\varepsilon_p(P, Q) = \text{median} \left[\frac{Q_t - \bar{Q}}{P_t - \bar{P}} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \right] \quad (3)$$

여기서 일련의 강우량 및 유출량의 시계열 자료가 있다면, Q_t 및 P_t 는 각각 해당 시간의 강우량 및 유출량이며, \bar{P} , \bar{Q} 는 강우 및 유출량의 평균이다. 위 식에 근거하여, 본 연구에서는 기후변화에 따른 기온변화와 관련하여 수온의 변화에 대한 수질인자 BOD, COD, SS, TN, TP 간의 상관성을 과거 자료 분석을 통해 알아보고자 단변량 탄성도 분석을 실시하였으며, 분석에 적용된 탄성도 산정식은 아래 식 (4)~(8)과 같다.

$$\varepsilon(T_W, C_{BOD}) = \text{median} \left[\frac{(C_{BOD})_t - \bar{C}_{BOD}}{(T_W)_t - \bar{T}_W} \frac{\bar{T}_W}{\bar{C}_{BOD}} \right] \quad (4)$$

$$\varepsilon(T_W, C_{COD}) = \text{median} \left[\frac{(C_{COD})_t - \bar{C}_{COD}}{(T_W)_t - \bar{T}_W} \frac{\bar{T}_W}{\bar{C}_{COD}} \right] \quad (5)$$

$$\varepsilon(T_W, C_{SS}) = \text{median} \left[\frac{(C_{SS})_t - \bar{C}_{SS}}{(T_W)_t - \bar{T}_W} \frac{\bar{T}_W}{\bar{C}_{SS}} \right] \quad (6)$$

$$\varepsilon(T_W, C_{TN}) = \text{median} \left[\frac{(C_{TN})_t - \bar{C}_{TN}}{(T_W)_t - \bar{T}_W} \frac{\bar{T}_W}{\bar{C}_{TN}} \right] \quad (7)$$

$$\varepsilon(T_W, C_{TP}) = \text{median} \left[\frac{(C_{TP})_t - \bar{C}_{TP}}{(T_W)_t - \bar{T}_W} \frac{\bar{T}_W}{\bar{C}_{TP}} \right] \quad (8)$$

여기서 T_W 는 수온, C_{BOD} 는 본 연구에서 선정된 수질인자 인 BOD의 부하량(kg/day)이며, C_{COD} 는 COD의 부하량(kg/day), C_{SS} 는 SS의 부하량(kg/day), C_{TN} 는 TN의 부하량(kg/day), C_{TP} 는 TP의 부하량(kg/day)이다. \bar{T}_W 는 수온의 평균이며, \bar{C}_{BOD} , \bar{C}_{COD} , \bar{C}_{SS} , \bar{C}_{TN} , \bar{C}_{TP} , 는 각 수질

인자의 부하량 평균이다. 또한, $(T_W)_t$, $(C_{BOD})_t$, $(C_{COD})_t$, $(C_{SS})_t$, $(C_{TN})_t$, $(C_{TP})_t$ 는 각각 해당 시간의 수온 및 수질 인자 부하량을 나타낸다. 실측자료를 바탕으로 식 (4)~(8)을 통해 수온-수질 단변량 탄성도를 도출할 수 있다.

이에 본 연구에서는 낙동강 유역을 대상으로 하여 장기간 실측자료를 이용한 수온-수질 탄성도 분석을 각 수질항목인 BOD, COD, SS, TN, TP에 대하여 실시하고, 탄성도를 산정하여 수온과 수질간의 상관성을 도출하였다. 또한 기후변화는 국지적으로 하천 구간 별 기상-수문 특성에 영향을 줄 것으로 판단하여 낙동강 유역을 상류-중류-하류로 나누어 수온-수질 경향성을 탄성도를 통해 분석하였으며, 기후변화를 고려한 탄성도 결과는 기온변화 및 수온변화에 의해 실제 수질에 미치는 영향의 경향성을 파악할 수 있는 기법 중 하나로 활용 가능할 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수온-수질 탄성도 분석

본 연구에서는 수온과 수질간의 경향성을 분석하기 위해, 낙동강물환경연구소의 총량 측정망 낙동강단위유역 말단지점에서의 2004년부터 2009년까지의 실측 수질 및 유량 자료를 활용하여 수온과 수질의 탄성도를 구하고 상관관계를 분석하였다. 대표적인 수질환경요소로써 BOD, COD, SS, TN, TP를 아래와 같이 각 요소 별 탄성도 결과를 도출하였다.

종합적으로 수질과 SS의 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 을 제외한 나머지 수질환경인자들은 상류에서 하류로 갈수록 탄성도가 점차 낮아졌으나, $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 는 중류에서 가장 큰 값을 나타냈다. 각 인자에 따른 탄성도 분석 결과를 보면, $\varepsilon(T_W, C_{BOD})$ 의 경우, 총 41개 지점에서의 탄성도는 평균 0.794로 나타났다. 미천A의 탄성도가 1.270으로 가장 높았으며, 낙본N의 탄성도가 -1.761로 가장 낮게 분석되었다. 낙본N을 제외한 나머지 지점의 평균 탄성도는 0.857이고, 낙본J의 탄성도가 0.230으로 가장 낮게 분석되었다. 낙동강 유역 상류의 평균 탄성도는 0.979, 중류는 0.873, 하류는 0.240로 상류에서 하류로 갈수록 탄성도가 낮아지는 것으로 나타났다.

$\varepsilon(T_W, C_{COD})$ 는 총 평균탄성도가 0.893로 나타났다. 병성A의 탄성도가 1.242으로 가장 높았으며, 낙본N의 탄성도가 -1.720로 가장 낮게 분석되었다. 낙본N을 제외한 나머지 지점의 평균 탄성도는 0.958이고, 황강A의 탄성도가 0.361로 가장 낮게 분석되었다. 상류의 평균 탄성도는 1.036, 중류는 0.929, 하류는 0.517로 감소추세를 보였다.

$\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 의 분석 결과, 총 평균탄성도가 0.589로 나타났다. 낙본E의 탄성도가 1.366으로 가장 높았으며, 낙본N의 탄성도가 -1.548로 가장 낮게 분석되었다. 낙본N을 제외한 나머지 지점의 평균 탄성도는 0.642이고, 반변A의 탄성도가 -1.174로 가장 낮게 분석되었다. 상류의 평균 탄성도는 0.493, 중류는 0.845, 하류는 0.281로 다른 수질환경인자와는 달리 $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 만 중류에서 탄성도 값이 가장 크게 나타났다.

$\varepsilon(T_W, C_{TN})$ 은 총 평균탄성도가 0.783로 나타났다. 미천 A의 탄성도가 1.230으로 가장 높았으며, 낙본N의 탄성도가 -2.050으로 가장 낮게 분석되었다. 낙본N을 제외한 나머지 지점의 평균 탄성도는 0.854이고, 황강B의 탄성도가 0.345로 가장 낮게 분석되었다. 상류의 평균 탄성도는 0.945, 중류는 0.786, 하류는 0.435로 감소추세를 보이며, 중류와 하류의 탄성도 변화가 상류와 중류의 변화보다 더 컸다.

마지막으로 $\varepsilon(T_W, C_{TP})$ 의 탄성도 분석 결과, 총 41개 낙동강유역 지점에서의 평균 탄성도는 0.846으로 나타났다. 위천A의 탄성도가 1.186으로 가장 높았으며, 낙본N의 탄성도가 -1.798으로 가장 낮게 분석되었다. 낙본N을 제외한 나머지 지점의 평균 탄성도는 0.912이고, 황강A의 탄성도가 -0.091로 가장 낮게 분석되었다. 상류의 평균 탄성도는 1.020, 중류는 0.840, 하류는 0.487로 감소추세를 보이며, 중

Table 1. Elasticity of water temperature-water quality of 41 monitoring points in Nak-dong River basin

Point	Elasticity					
	$\varepsilon(T_W, C_{BOD})$	$\varepsilon(T_W, C_{COD})$	$\varepsilon(T_W, C_{SS})$	$\varepsilon(T_W, C_{TN})$	$\varepsilon(T_W, C_{TP})$	
Upper reach	Nakbon A	0.679	0.801	0.973	0.574	0.596
	Nakbon B	0.973	0.997	0.648	0.856	1.026
	Banbyeon A	0.882	0.645	-1.174	0.857	0.654
	Yongjiron A	1.141	1.233	0.398	0.928	1.097
	Gilan A	1.002	1.065	0.104	0.976	1.044
	Banbyeon B	1.112	1.208	-0.239	1.228	1.169
	Micheon A	1.270	1.210	-1.194	1.230	1.177
	Nakbon C	0.664	0.907	1.101	0.596	1.029
	Naeseong A	1.136	1.156	1.054	1.071	1.033
	Naeseong B	0.967	0.961	0.939	0.887	1.004
	Kumcheon A	1.078	0.997	0.795	1.041	0.982
	Younggang A	0.403	0.981	1.121	0.979	0.978
	Leean A	1.145	1.080	-0.950	1.065	1.127
	Byoungsung A	1.077	1.242	1.245	0.980	1.036
	Wicheon A	1.085	1.121	1.227	1.062	1.186
Wicheon B	1.153	1.076	1.150	0.977	1.143	
Nakbon D	0.884	0.938	1.184	0.754	1.067	
Mean	0.979	1.036	0.493	0.945	1.020	
Middle reach	Gamcheon A	0.558	0.928	0.997	0.686	0.701
	Nakbon E	0.965	1.034	1.366	0.813	0.725
	Nakbon F	0.956	0.990	1.197	0.806	0.983
	Kumho A	0.701	0.841	0.961	0.929	0.842
	Kumho B	0.706	0.891	1.005	0.917	0.949
	Kumho C	0.773	0.734	1.142	0.558	0.480
	Nakbon G	0.699	0.917	1.141	0.663	0.764
	Hoecheon A	0.990	1.032	1.046	0.750	1.015
	Hwangang A	0.771	0.361	-1.060	0.889	-0.091
	Hwangang B	0.795	0.795	0.938	0.345	0.980
	Nakbon H	0.563	0.800	1.004	0.630	0.682
	Namgang A	0.934	1.038	0.450	0.875	1.025
	Namgang B	1.076	1.014	-0.349	0.967	1.045
	Namgang C	1.229	1.218	1.256	1.091	1.128
	Namgang D	1.227	1.209	1.208	0.944	1.059
Namgang E	1.029	1.061	1.220	0.715	1.151	
Mean	0.873	0.929	0.845	0.786	0.840	
Lower reach	Nakbon I	0.629	0.873	1.106	0.811	0.804
	Nakbon J	0.230	0.660	0.949	0.508	0.718
	Milyang A	0.709	1.001	-1.097	1.061	0.678
	Milyang B	0.863	1.081	0.592	1.055	0.908
	Nakbon K	0.238	0.629	0.014	0.608	0.771
	Nakbon L	0.436	0.696	1.124	0.700	0.828
	Nakbon M	0.574	0.913	1.106	0.789	0.986
Nakbon N	-1.761	-1.720	-1.548	-2.050	-1.798	
Mean	0.240	0.517	0.281	0.435	0.487	
Total mean	0.794	0.893	0.589	0.783	0.846	

류와 하류의 탄성도 변화가 상류와 중류의 변화보다 더 컸다.

이와 같은 탄성도 분석 결과는 과거 5년간의 자료를 토대로 수온과 수질의 상관관계 경향성을 알 수 있게 하며, 또한 기존의 강우에 의한 기후변화의 단편적인 영향분석을 보다 세부적인 인자로 확장하여 분석한 것으로써, 기후변화에 따른 수질변화를 해석하는 방법의 하나로 볼 수 있다. Table 1은 낙동강유역의 41개 조사지점의 수온-수질 탄성도 분석 결과를 나타내고 있다.

Fig. 2는 수온-수질의 탄성도를 바탕으로 각 수질인자의 공간분포 특성을 낙동강 유역도에 도시하였다. $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 는 나머지는 나머지 수온-수질 항목간의 탄성도와 다르게 중류에서 증가세를 보인다.

3.2. 낙동강 본류구간의 계절별 수온-수질 탄성도 분석

낙동강유역의 총 41개 조사지점 중 낙동강 본류 지점들 상, 중 하류 구간으로 나누어 계절별, 구간별 탄성도 분석을 실시하였다. 구간은 낙본A에서 낙본D까지 상류, 낙본E에서 낙본H까지 중류, 낙본I에서 낙본N까지 구분하였다.

3.2.1. 수온-BOD 탄성도 분석

낙동강 본류지점의 수온과 BOD 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{BOD})$

분석결과, 평균 탄성도는 0.481이며, 상류의 평균 탄성도는 0.800, 중류 0.796, 하류 0.058로 상류와 중류는 비슷했지만 하류에 경우 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 낙동강 본류지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{BOD})$ 분석 결과 봄의 평균 탄성도는 -0.317, 여름 -0.250, 가을 1.026, 겨울 -0.207로 가을을 제외하면 모두 음의 값을 나타내었다. 봄의 탄성도는 상류-중류-하류로 갈수록 중류에서 증가하다가 하류에서 음의 값을 보였으며, 여름에는 낙동강 상류에서의 탄성도가 특히 낮았다. 가을의 평균 탄성도는 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며, 겨울에는 상류, 중류, 하류의 모든 평균 탄성도가 음의 값을 보인다. 낙동강 본류 지점들 중에서 특히 낙본N의 탄성도가 특히 낮았으며, 이는 녹산 수문의 방류량에 따른 부하량의 변화 때문인 것으로 사료된다. Table 2는 낙동강유역 본류 14개 조사지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{BOD})$ 분석 결과를 나타내고 있다.

3.2.2. 수온-COD 탄성도 분석

낙동강 본류지점의 수온과 COD 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{COD})$ 의 평균은 0.674이며, 상류의 평균 탄성도는 0.911, 중류 0.935, 하류 0.342로 상류와 중류는 비슷하나, 하류에 경우 낮아졌다. 또한 낙동강 본류지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{COD})$

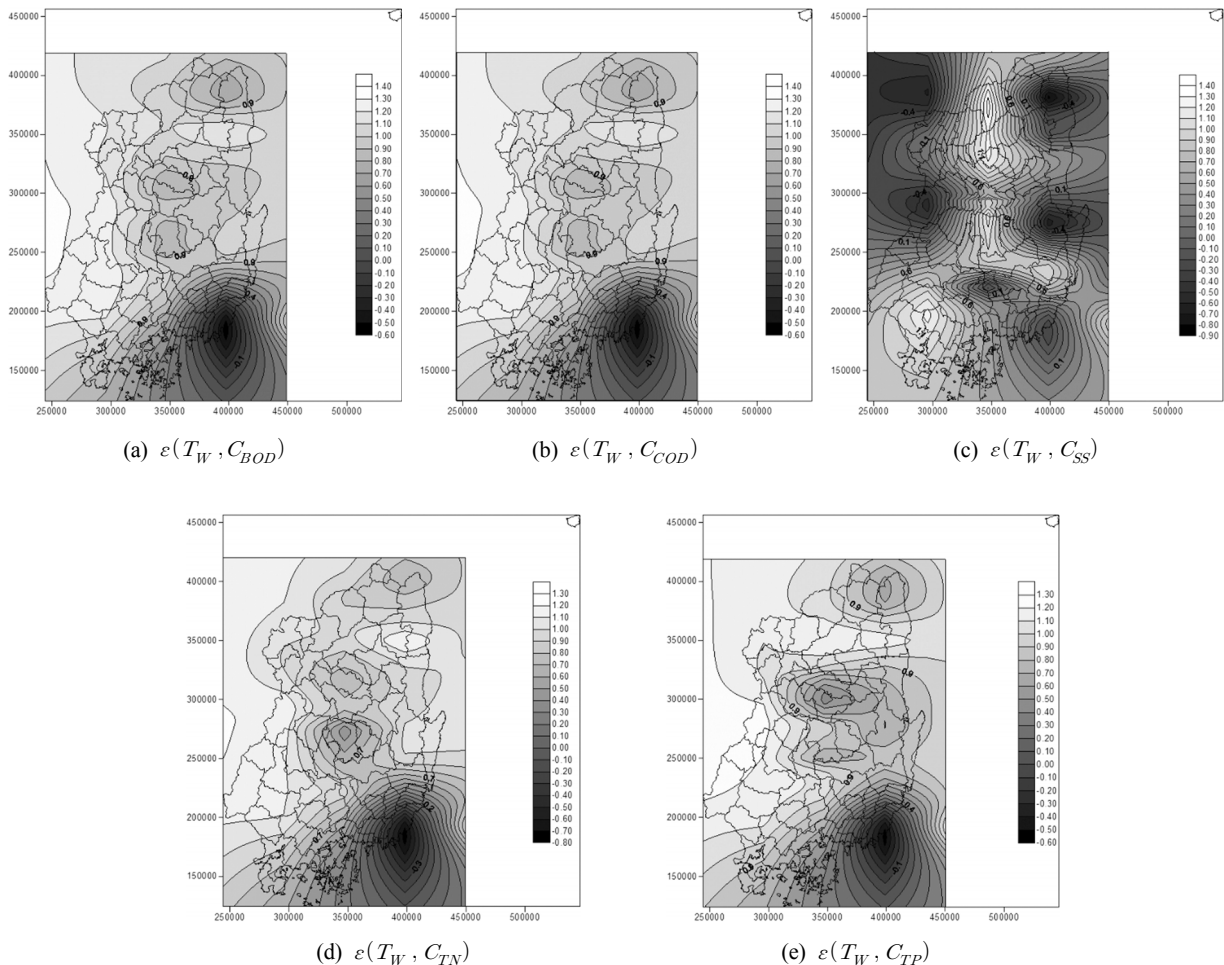


Fig. 2. Spatial distribution of water temperature-water quality factors elasticity analysis in Nak-dong river basin.

Table 2. Seasonal elasticity analysis of water temperature-BOD during 2004 to 2009 at 14 monitoring points in Nak-dong river basin

Point		2004~2009	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Nakbon A	0.679	-0.383	-3.244	1.210	-0.090
	Nakbon B	0.973	0.614	-4.827	1.473	0.129
	Nakbon C	0.664	-0.011	0.136	1.262	-0.246
	Nakbon D	0.884	0.073	-3.000	1.331	0.020
Mean		0.800	0.073	-2.734	1.319	-0.047
Middle reach	Nakbon E	0.965	0.948	-2.762	1.119	-0.343
	Nakbon F	0.956	0.444	-3.394	1.521	-0.211
	Nakbon G	0.699	-0.139	0.396	1.034	0.186
	Nakbon H	0.563	-0.418	2.859	0.922	0.155
Mean		0.796	0.209	-0.725	1.149	-0.053
Lower reach	Nakbon I	0.629	-0.331	-1.214	0.800	-0.044
	Nakbon J	0.230	-0.773	-1.829	0.001	0.414
	Nakbon K	0.238	-1.057	5.118	0.768	0.449
	Nakbon L	0.436	-0.267	7.158	1.131	0.586
	Nakbon M	0.574	-0.296	6.789	1.654	-1.322
Mean		0.058	-0.927	1.723	0.749	-0.417
Total mean		0.481	-0.317	-0.250	1.026	-0.207

Table 3. Seasonal elasticity analysis of water temperature-COD during 2004 to 2009 at 14 monitoring points in Nak-dong River basin

Point		2004~2009	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Nakbon A	0.801	-0.141	-2.321	1.297	-0.096
	Nakbon B	0.997	0.706	-4.339	1.544	0.475
	Nakbon C	0.907	0.196	-3.034	1.187	-0.156
	Nakbon D	0.938	0.164	-4.393	1.293	0.149
Mean		0.911	0.231	-3.522	1.330	0.093
Middle reach	Nakbon E	1.034	0.422	-4.560	1.280	-0.205
	Nakbon F	0.990	-0.187	-4.824	1.422	-0.286
	Nakbon G	0.917	-0.399	-2.639	1.084	0.150
	Nakbon H	0.800	0.043	1.445	1.263	0.180
Mean		0.935	-0.030	-2.645	1.263	-0.040
Lower reach	Nakbon I	0.873	-0.124	-3.340	0.747	-0.065
	Nakbon J	0.660	-0.387	-2.297	0.834	0.436
	Nakbon K	0.629	-0.615	6.311	1.287	0.536
	Nakbon L	0.696	0.185	7.681	1.191	0.426
	Nakbon M	0.913	0.279	6.790	1.618	-0.777
Mean		0.342	-0.550	3.328	0.869	-0.036
Total mean		0.674	-0.178	-0.335	1.113	0.000

분석결과, 봄의 평균 탄성도는 -0.178, 여름 -0.335, 가을 1.113, 겨울 0.000로 나타났다. 봄의 탄성도는 상류-중류-하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 여름에는 낙동강 상, 중류에서의 탄성도가 낮았지만 하류에서 3.328로 매우 높은 값을 보였다. 가을의 평균 탄성도는 하류로 갈수록 약간 낮아지는 경향을 보이며, 겨울에는 중류, 하류의 평균 탄성도가 음의 값을 보인다. $\varepsilon(T_W, C_{COD})$ 의 분석결과와 비슷하게 낙동강 본류 지점들 중에서 낙본N의 탄성도가

특히 낮았으며, 여름의 경우 낙본K부터 낙본N까지는 이례적으로 높은 탄성도를 나타내었다. Table 3은 낙동강유역 본류 14개 조사지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{COD})$ 분석 결과이다.

3.2.3. 수온-SS 탄성도 분석

낙동강 본류지점의 수온과 SS 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 의 분석결과, 평균 탄성도는 0.812이며, 상류의 평균 탄성도는 0.977, 중류 1.177, 하류 0.459로 상류와 중류는 비교적 높

Table 4. Seasonal elasticity analysis of water temperature-SS during 2004 to 2009 at 14 monitoring points in Nak-dong River basin

Point		2004~2009	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Nakbon A	0.973	-0.664	-3.541	1.479	-0.558
	Nakbon B	0.648	1.165	-4.042	1.619	-0.269
	Nakbon C	1.101	0.919	1.972	1.605	0.013
	Nakbon D	1.184	0.840	-3.921	1.809	0.048
Mean		0.977	0.565	-2.383	1.628	-0.191
Middle reach	Nakbon E	1.366	1.089	-5.455	1.606	-0.590
	Nakbon F	1.197	-0.232	-0.690	1.729	-0.073
	Nakbon G	1.141	-0.111	-3.911	1.427	0.213
	Nakbon H	1.004	-0.161	6.078	1.506	0.085
Mean		1.177	0.146	-0.994	1.567	-0.091
Lower reach	Nakbon I	1.106	-0.311	-1.677	1.015	0.239
	Nakbon J	0.949	0.023	-1.934	0.659	0.070
	Nakbon K	0.014	0.215	7.230	1.795	0.472
	Nakbon L	1.124	-0.110	9.072	1.491	0.183
	Nakbon M	1.106	0.027	8.171	2.036	-1.337
	Nakbon N	-1.548	-1.801	0.838	-0.398	-2.510
Mean		0.459	-0.326	3.617	1.100	-0.481
Total mean		0.812	0.063	0.585	1.384	-0.287

았으나 하류에서 낮아졌다. 또한 낙동강 본류지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 의 분석결과, 봄의 평균 탄성도는 0.063, 여름 0.585, 가을 1.384, 겨울 -0.287로 가을에는 특히 높고 겨울에는 음의 값을 나타내었다. 봄의 탄성도는 상류에서 하류로 갈수록 뚜렷이 감소하며, 여름에는 $\varepsilon(T_W, C_{COD})$ 의 분석결과와 비슷하게 낙동강 하류인 낙본K부터 낙본M까지, 그리고 중류의 낙본H 지점에서 매우 높은 탄성도를 보였다. 가을의 평균 탄성도는 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며, 겨울에는 상류, 중류, 하류의 모든 평균탄성도가 음의 값을 보였다. Table 4는 낙동강유역 본류 14개 조사

지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{SS})$ 분석 결과이다.

3.2.4. 수온-TN 탄성도 분석

낙동강 본류지점의 수온과 TN 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{TN})$ 분석 결과, 평균 탄성도는 0.504이며, 상류의 평균 탄성도는 0.695, 중류 0.728, 하류 0.228로 중류에서 높은 값을 나타내었다. 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{TN})$ 의 분석 결과, 봄의 평균 탄성도는 -0.441, 여름 -1.109, 가을 0.982, 겨울 0.167로 여름에 낮았다가 가을에는 높아졌다. 봄의 탄성도는 상류에서 하류로 갈수록 뚜렷이 감소하는 경향을 보였으며, 여름에는 낙

Table 5. Seasonal elasticity analysis of water temperature-TN during 2004 to 2009 at 14 monitoring points in Nak-dong River basin

Point		2004~2009	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Nakbon A	0.574	-0.253	-2.680	0.996	-0.082
	Nakbon B	0.856	0.539	-5.146	1.206	0.336
	Nakbon C	0.596	0.060	3.248	0.857	0.170
	Nakbon D	0.754	-0.147	-1.683	1.283	0.083
Mean		0.695	0.050	-1.565	1.085	0.127
Middle reach	Nakbon E	0.813	-0.352	-4.369	1.047	-0.347
	Nakbon F	0.806	-0.190	-4.897	1.293	-0.429
	Nakbon G	0.663	-0.404	-3.257	0.772	-0.398
	Nakbon H	0.630	-0.330	-1.785	1.212	-0.217
Mean		0.728	-0.319	-3.577	1.081	-0.348
Lower reach	Nakbon I	0.811	-0.901	-2.358	1.425	-0.149
	Nakbon J	0.508	-0.311	-1.488	0.740	0.166
	Nakbon K	0.608	-1.127	3.834	1.656	0.511
	Nakbon L	0.700	-0.183	5.825	1.357	0.253
	Nakbon M	0.789	0.283	6.789	1.920	-0.815
	Nakbon N	-2.050	-2.855	-7.553	-2.015	3.254
Mean		0.228	-0.849	0.842	0.847	0.537
Total mean		0.504	-0.441	-1.109	0.982	0.167

Table 6. Seasonal elasticity analysis of water temperature-TP during 2004 to 2009 at 14 monitoring points in Nak-dong River basin

Point		2004~2009	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Nakbon A	0.596	0.086	-2.547	1.143	-0.029
	Nakbon B	1.026	0.856	-3.597	1.508	0.231
	Nakbon C	1.029	-0.052	-3.090	1.201	-0.100
	Nakbon D	1.067	0.629	-3.722	2.176	0.220
Mean		0.930	0.380	-3.239	1.507	0.080
Middle reach	Nakbon E	0.725	-0.115	-4.376	1.535	-0.230
	Nakbon F	0.983	-0.884	-4.074	1.424	-0.648
	Nakbon G	0.764	-0.095	0.125	0.813	-0.133
	Nakbon H	0.682	-0.180	-2.682	1.260	-0.106
Mean		0.788	-0.318	-2.752	1.258	-0.279
Lower reach	Nakbon I	0.804	-0.497	-3.015	1.127	0.003
	Nakbon J	0.718	0.195	-1.852	1.097	0.038
	Nakbon K	0.771	-0.549	4.895	1.173	0.245
	Nakbon L	0.828	0.278	6.256	1.017	0.711
	Nakbon M	0.986	0.672	8.032	1.953	-0.807
	Nakbon N	-1.798	-2.835	-4.728	-0.629	-2.540
Mean		0.385	-0.456	1.598	0.956	-0.392
Total mean		0.656	-0.178	-1.027	1.200	-0.225

동강 종류에서의 탄성도가 특히 낮았다. 가을의 평균 탄성도는 하류로 갈수록 약간 낮아지는 경향을 보이며, 겨울에는 종류에서만 평균탄성도가 음의 값을 보인다. 낙동강 본류 지점들 중에서 특히 낙본N의 탄성도가 특히 낮았으나, 겨울의 평균탄성도가 3.254로 매우 높아진 결과를 보였다. Table 5는 낙동강유역 본류 14개 조사지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{TN})$ 분석 결과이다.

3.2.5. 수온-TP 탄성도 분석

낙동강 본류지점의 수온과 TP 탄성도인 $\varepsilon(T_W, C_{TP})$ 의 분석 결과, 평균 탄성도는 0.656이며, 상류의 평균 탄성도는 0.930, 중류 0.788, 하류 0.385로 하류로 갈수록 뚜렷한 감소추세를 보였다. 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{TP})$ 분석 결과 봄의 평균 탄성도는 -0.178, 여름 -1.027, 가을 1.200, 겨울 -0.225로 가을을 제외하면 모두 음의 값을 보였다. 봄의 탄성도는 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 여름에는 낙동강 상류, 중류의 탄성도가 낮다가 하류에서 급격히 높아졌다. 가을의 평균 탄성도는 하류로 갈수록 약간 낮아지는 경향을 보이며, 겨울에는 중류, 하류에서의 평균탄성도가 음의 값을 보인다. Table 6은 낙동강유역 본류 14개 조사지점의 계절별 $\varepsilon(T_W, C_{TP})$ 분석 결과를 나타내고 있다.

4. 결론

IPCC를 비롯한 국외 기후변화 전문 연구기관 그리고 국내 국립기상연구소에 의해 수행된 장래 기상예측 결과는 한반도에서 향후 기온상승은 지속적으로 이루어질 것이라 예측하였다. 이에 따라 기온과 매우 밀접한 관계를 가지는 수온 또한 기온변화와 동일하게 장래에는 변화할거라는 것은 명확하며 이런 변화에 의한 수생태계 및 수체 내 구성요소

에 미칠 영향은 매우 높음을 판단 할 수가 있다. 따라서 장래 발생할 수 있는 수온 및 수질의 변화에 대응하고 생태계의 교란과 건강성 확보를 위해서는 지금까지 관리가 제대로 안 되고 있는 수온에 대한 관리가 절실하게 필요하다(한태호, 2010). 일반적으로 하천에서의 부하량은 유입량 또는 유량의 변동에 의해 변화하지만, 수온의 상승은 조류의 증식과 박테리아의 대사활동 및 영양염류 순환율을 높여 결국 수체의 생산성을 증가시킴으로써 부영양화과정의 가속화와 조류 성장에 좋은 조건을 형성함으로써 수질에 영향을 준다. 이처럼 기후변화에 따른 수온의 분석 및 전망이 중요시됨에 따라, 본 연구에서는 기존에 주로 도입되었던 특정인자의 변화와의 상관성 분석을 비선형성 상관 관계식을 이용한 회귀분석이 아닌 탄성도 분석 기법을 적용하여 수온변화에 따른 수질변화의 경향성을 알아보았다. 탄성도 분석기법은 회귀 상관분석에 비해 간단하고 이해하기 쉬운 수식을 통해 변화량을 정량화 및 수치화 할 수 있으며, 통계적인 함수나 그래프에 도시하지 않아도 한 눈에 두 변수 간의 상관성을 파악할 수 있다. 또한, 본 연구는 강우라는 수문변수에 의존하여 기후변화의 영향을 분석하였던 기존의 연구들에 비해, 수질항목을 도입하여 보다 세부적인 인자로 확장하여 탄성도 분석을 실시하였고, 이를 통해 기후변화를 고려한 전반적인 경향성을 파악하는 하나의 기법으로 활용할 수 있도록 하였다. 낙동강의 단위유역 말단 41개 지점의 2004년도~2009년도 실측 수질분석 항목 결과를 이용하여, 각 지점의 수온 측정값과 수질항목(BOD, COD, SS, TN, TP) 간의 탄성도를 도출하였으며, 수온과 각 수질 간의 상관성을 분석하였다. 또한 본 연구에서 선정한 낙동강 본류 구간 14개 지점의 계절별 수온-수질 탄성도를 상류, 중류, 하류 구간으로 나누어 비교·분석한 결과는 아래와 같다.

1) 항목별 수온-수질의 탄성도는 상류에서 하류 모든 지점을

대상으로 평균탄성도를 산정한 결과, COD>TP>BOD>TN>SS의 순으로 크게 나타났으나, 타 항목에 비해 수온-SS의 평균탄성도가 특히 낮았다. 다른 수질환경인자의 탄성도가 하류로 갈수록 대체로 낮아지는 반면, $\varepsilon(T_w, C_{SS})$ 는 낙동강 중류의 탄성도 수치가 상류의 약 2배, 하류의 약 4배 값을 가진다. 이는 준설 작업 등 하상의 변화가 큰 낙동강 중류의 수질항목 SS의 관리가 필요한 것으로 판단된다.

2) 낙동강 본류구간에서의 계절별 수온-수질의 탄성도는 BOD, COD, SS, TN, TP 모두 가을에 높은 탄성도를 나타내었다. 낙동강 본류구간 중에서도 낙본H, 낙본K, 낙본L, 낙본M, 낙본N 등의 지점이 강우량이 많은 여름철 수질의 탄성도가 높게 분석되었다. 특히, 낙동강의 가장 말단지점인 낙본N의 경우 계절별 탄성도의 변화가 컸으며, 겨울철에 $\varepsilon(T_w, C_{TN})$ 의 탄성도 값이 매우 높아 적절한 관리가 필요하다고 사료된다.

이상과 같은 분석결과를 토대로 하여 본 연구는 첫째, 낙동강 유역의 41개 지점에서 정기적으로 기초자료조사를 실시한 “낙동강수계 목표수질측정망”에서의 실측값을 이용하여 낙동강 전 유역 지점에서의 분석을 시도한 연구이며 둘째, 2004년~2009년간의 과거자료를 이용하여 기후변화 분석의 기본적인 통계적인 방법을 적용한 탄성도 분석을 수행하였으며 셋째, 2010년부터 시행된 낙동강유역의 대규모 정비 전의 장기간 실측데이터를 이용한 수환경 요소 분석으로써, 차후 낙동강의 대규모 정비 사업 후, 이에 따른 수온 및 수환경 변화의 비교자료 구축으로써 그 의미가 크다. 따라서 본 연구의 결과는 낙동강 정비사업 전후의 수질요소 변화를 분석하는데 기초자료로 활용가능하며, 수온과 수질의 상관성을 정량화 하였으므로, 기후변화에 따른 수온변화의 경향성을 분석한 타 연구와 접목하여 미래 수질환경을 전망·예측하는데 그 역할을 기대해 볼 수 있다.

한편, 실제 자연환경에서는 하천, 수자원 및 수환경의 요소들은 서로 영향을 미치며 하나의 요소가 변화하더라도 전체 시스템에 영향을 줄 수 있으므로 기후변화에 대응하고 적응하기 위해서는 기후변화에 따른 수환경 요소 간 영향 메커니즘 분석이 필수적이나, 본 연구에서는 총 41개 모든 지점과 장기간의 자료를 분석함에 있어서, 유량과 수질환경인자 간의 관련성 도출 시 지점별 분석 외에 다른 방향에서의 분석이 이루어지지 못하였으며, 수온과 수질이라는 단일요소의 단별량 탄성도 기법에 의존하였다는 한계성을 지니고 있다. 따라서 요소들의 영향 메커니즘과 다양한 요소들을 고려할 수 있도록 여러 수환경 인자들을 변량으로 하는 다변량 탄성도를 적용한 연구를 수행하여야 할 것이다. 이에 따라 향후 지점별 수온과 수질의 상관관계와 다른 수질환경인자 및 수문요소와의 분석연구가 지속될 예정이며 본 연구의 한계성을 극복하기 위하여 다변량 탄성도 분석 기법 등과 같은 심화된 탄성도 분석 기법의 연구를 기대해 볼 수 있다.

사 사

본 연구는 국립환경과학원 낙동강물환경연구소의 「낙동

강수계 목표수질측정망」의 실측 수질-유량 데이터를 기초로 수행되었습니다.

참고문헌

과학기술부(2007). 수자원의 지속적 확보기술개발 사업-21세기 프론티어연구 개발사업(유역 물 관리 운영 기술 개발). 국립환경과학원(2009). 수자원·수질 분야 기후변화 영향평가 및 적응대책 발굴 연구(I). 국립환경과학원 낙동강물환경연구소(2008). 낙동강수계 목표수질측정망 운영결과 보고서. 권현한, 김병식, 김보경(2008). 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 위한 Regional Climate Model 강수 계열의 특성 분석. *대한토목학회논문집*, **28**(5), pp. 449-634. 김대근(2006). 유량-부하량 관계식을 이용한 용담호 유입하천의 영양염류 유입량 변동특성. *한국환경영향평가학회 환경영향평가*, **15**(2), pp. 129-138. 손태석, 임용균, 백명기, 신현석(2010). 기후변화에 따른 낙동강 유역의 기온 경향성 및 수온과의 탄성도 분석. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**(5), pp. 822-833. 신현석, 김상단, 강두기, 손태석(2009). 기후변화를 고려한 환경유량 산정 및 물환경 적응방안. *한국환경정책평가연구원*. 이길하(2007). 우리나라 연안 기온과 수온의 비선형 상관관계 분석. *해양공학회지*, **19**(2), pp. 128-135. 정재호(2010). 기후변화를 고려한 댐유역의 수질변화 분석. 석사학위논문, 경북대학교. 최대규, 김문성, 김남원, 김상단(2009). 기후변화가 병성천 유역 수문 및 수질반응에 미치는 영향분석. *한국수자원학회논문집*, **42**(11), pp. 921-931. 한국수자원공사(2009). 기후변화에 따른 수자원영향평가 및 관리방안 수립. 한대호(2010). 하천 및 호소의 시·공간적 수온변화 분석 및 수질평가. 박사학위논문, 서울시립대학교. Adamson, D., Thilak, M., and John, Q. (2007). Climate change and climate uncertainty in the Murray-Darling Basin. *Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society*. Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilare, A., Ouarda, T. B. M. J., Bilodeau, L., Robichaud, E., Thiemonge, N., and Bobee, B. (2007). Predicting river water temperatures using stochastic model: case study of the Moisie River (Quebec, Canada). *Hydrological Process*, **21**, pp. 21-34. Bogan, T., Mohseni, O., and Stefan, H. G. (2003). Stream temperature-equilibrium temperature relationship. *Water Resources Research*, **39**(9), pp. 1-12. Chiew, F. H. S. (2007). Climate change implications on Australian river flows. *3rd International Symposium on Riverine Landscapes (Global Change and River Floodplain Ecosystems)*. IPCC (2007). Climate change 2007: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK. Ozaki, N., Fukushima, T., Harasawa, H., Kojiri, T., Kawashima, K., and Ono, M. (2003). Statistical analyses on the effects of air temperature fluctuations on river water qualities. *Hydro-*

- logical Process*, **17**, pp. 2837-2853.
- Sankarasubramanian, A. and Vogel, R. M. (2001). Climate elasticity of streamflow in the United States. *Water Resources Research*, **37**(6), pp. 1771-1781.
- Schaake, J. C. (1990). From climate to flow, *Climate Change and U.S. Water Resources*, John Wiley, New York.
- Tian, H., Wu, B., Xu, Y., Lu, J., Jiang, S., and Wang, W. (2006). Detection and projection climate changes in Jianghuai Valley in China. *Proc. of SPIE*, **6298**.
- Vogel, R. M., Sieber, J., Archfield, S. A., Smith, M. P., Apse, C. D., and Huber-Lee, A. (2006). Spatial distribution of hydrologic alteration and fragmentation among tributaries of the Connecticut River, *The Nature Conservancy*.
- Zweimuller, I., Zessner, M., and Hein, T. (2008). Effects of climate change on nitrate loads in a large river : the Austrian Danube as example. *Hydrological Processes*, **22**, pp. 1022-1036.