Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 26, No. 5, pp.822-833 (2010)

기후변화에 따른 낙동강 유역의 기온 경향성 및 수온과의 탄성도 분석

손태석 · 임용균* · 백명기** · 신현석†

부산대학교 사회환경시스템공학과
*울산광역시청
**부산광역시청

Analysis for Air Temperature Trend and Elasticity of Air-water Temperature according to Climate Changes in Nakdong River Basin

Tae Seok Shon · Yong Gyun Lim* · Meung Ki Baek** · Hyun Suk Shin†

School of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University
**Ulsan Metropolitan Government*
***Busan Metropolitan Government*

(Received 21 June 2010, Revised 28 July 2010, Accepted 30 July 2010)

Abstract

Temperature increase due to climate changes causes change of water temperature in rivers which results in change of water quality etc. and the change of river ecosystem has a great impact on human life. Analyzing the impact of current climate changes on air and water temperature is an important thing in adapting to the climate changes. This study examined the effect of climate changes through analyzing air temperature trend for Nakdong river basin and analyzed the elasticity of air-water temperature to understand the effect of climate changes on water temperature. For analysis air temperature trend, collecting air temperature data from the National Weather Service on main points in Nakdong river basin, and resampling them at the units of year, season and month, used as data for air temperature trend analysis. Analyzing for elasticity of air-water temperature, the data were collected by the Water Environment Information system for water temperature, while air temperature data were collected at the National Weather Service point nearest in the water temperature point. And using the results of trend analysis and elasticity analysis, the effect of climate changes on water temperature was examined estimating future water temperature in 20 years and 50 years after. It is judged that analysis on mutual impact between factors such as heat budget, precipitation and evapotranspiration on river water temperature affected by climate changes and river water temperature is necessary.

keywords : Air temperature, Climate changes, Elasticity, Trend, Water temperature

1. 서 론

기후변화는 기후 시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 등의 다양한 구성요소에 작용하여 자연 생태계와 인간의 사회 및 경제 시스템에 커다란 영향을 미친다. 특히 최근 인간의 활동에 의해 야기된 기후변화는 극치적인 기후 현상의 빈도와 강도에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 기온상승, 강우량 변화, 강우패턴 변화, 해수면 상승 등을 야기할 것으로 알려져 있다. 특히 기온증가는 수온변화를 유발하며 이 영향으로 수중생물의 환경조건이 심하게 변할 수도 있으며(국립기상연구소, 2009) 토목기술자, 농업기술자, 수문학자, 생태학자 그리고 정부기관에서 중요하게 고려해야 하는 문제로 대두되고 있다.

하천의 수온은 전 세계적 기후 변화보다 지역적 기후인자에 보다 많은 영향을 받는다. 물론 지역적 기후 인자와 전 세계적 기후인자가 밀접하게 관련되어 있지만 하천 수온의 변화에 결정적으로 영향을 주는 인자는 고도, 위도, 인근 유역의 산과 같은 지형인자들이다. 심지어 소유역에서는 식생의 종류, 바람, 그늘과 같은 인자들도 하천의 수온 변화에 상당히 크게 기여하며 이런 지형인자들과 식생요소들을 통합하여 하천수온에 관한 회귀 분석연구가 필요하다(Pilgrim et al., 1998). 한편 열 수지에 관한 정확한 데이터가 없을 때, 수온은 전형적으로 기온의 순열교환(net heat exchange)과 평형온도(equilibrium temperature)와 관련되어지고, 수온-기온간의 상관강도(strength)와 민감도는 평균 데이터가 일에서 월 단위로 증가할 때 커지는 것을 확인할 수 있으나 이러한 경향은 연 단위 데이터에서는 나타나지 않는다. 그리고 인간에 의한 저류, 폐수의 유입, 지하수의 유입 등의 영향을 받은 하천은 수온-기온의 약한 상관 또는 낮은 선형관계를 보이며 수온-기온의 관계는 낮은 기온의 선형관계에서 출발할 뿐만 아니라 높은 기온의 기하급수적인 증가, 즉 물표면의 증기압이 증발을 강화시키거나

† To whom correspondence should be addressed.
tsshon1@hanmail.net

하천 상류 증발열을 강요시키는 것을 볼 수 있다(Mohseni et al., 1998). 이런 선형적인 관계를 고려할 때 Mohseni 등(1998)은 기온-수온의 기본관계는 주간 데이터로 하는 것이 논리적이라고 제안한다.

국내 기온-수온의 상관관계 및 민감도 분석 연구동향에서 하천의 수온과 기온과의 관계분석 연구는 거의 전무한 실정이며 해수온도와 기온과의 관계분석연구가 주로 이뤄지고 있다. 이길하(2007)는 낙동강 하구, 시화호, 마산만의 기온과 수온자료를 바탕으로 비선형 S-모형의 관계식에 포함된 4개의 매개변수를 결정하기 위해서 SCE 최적화 기법을 이용한 연안 기온과 수온의 비선형 상관관계 분석을 하였으며, 조홍연 등(2007)은 마산만 해역의 기온 및 수온의 관측자료를 이용하여 수온과 기온의 무차원 자기상관함수와 교차상관함수 변화를 분석하여 연안해역 기온과 수온의 상관관계 및 이력현상을 분석하였다. 또한 김문성 등(2009)은 CGCM의 미래 기후 정보를 이용하여 기후변화가 낙동강 유역의 유황에 미치는 영향을 분석하였다. 국외의 기온-수온의 상관관계 및 민감도 분석 연구동향은 하천을 중심으로 이뤄지고 있으며 Pilgrim 등(1998)은 미네소타주 43개 하천의 수온 및 기온자료를 이용하여 각 하천 수온과 기온의 상관관계를 하천별, 시계열별로 분석하였고, Morrill 등(2005)은 전세계 13개국 43개강의 기온 및 수온자료의 선형 및 비선형간의 관계를 분석하고 미래 기온변화 분석을 위한 SRES3 시나리오분석을 실시하였으며, Webb 등(2003)은 영국 Exe 유역을 대상하천으로 기온-수온과의 관계를 이용하여 유출에 미치는 영향을 분석하였으며 Webb and Noblis(1997)은 호주 Kremsmunster 유역의 기온과 수온자료를 이용하여 각 시계열별 선형회귀분석을 실시하였다. Bogan 등(2003)은 하천의 온도와 물 표면에서 0이상인 열수지의 총합인 평형 온도와의 관계를 분석하고 주 단위의 데이터를 이용하여 미국의 중, 동부 596개 지점에서 평균 하천의 온도는 선형적으로 0°C 이상의 평균 평형온도와 관계를 연구하였다.

본 연구는 기후변화의 영향 분석을 위하여 기온의 경향성을 분석하고 기온과 하천유역의 수온과의 관계분석을 위하여 기온-수온 탄성도를 분석하였다. 낙동강 유역을 대상으로 기온 경향성을 분석하기 위하여 낙동강 유역 주요 기상관측소 지점 기온자료를 수집하고, 기온-수온 탄성도를 분석하기 위하여 물환경정보시스템에서 제공하는 낙동강 주요지점의 수온자료를 수집하였다. 그리고 미래기후변화로 인한 수온의 증가분석을 위하여 탄성도 분석지점에서 최단거리 기상관측지점을 대응하여 기온의 Sen-test Slope에 각 지점별 탄성도를 대입하여 기후변화에 의한 수온 및 수온의 증가율을 2028년과 2058년을 분석연도로 하여 산정하였다.

2. 연구방법

2.1. 유역의 개황

낙동강은 우리나라 제 2의 하천으로 낙동강권역의 주요 국가하천은 낙동강, 남강, 금호강, 형상강, 태화강 등이 있으며 낙동강은 우리나라 남동부에 있어 북에서 남으로 'ㄷ'자 형태로 흐르고, 형상강과 태화강은 낙동강 동편에 있어 동쪽으로 흐른다. 행정구역으로는 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 강원도 일부, 경상남도·북도, 전라남·북도 일부를 포함하고 있다. 이 중에서 낙동강유역은 부산광역시 일부, 대구광역시와 경상남도·북도를 포함하고 있으며, 형산강유역은 포항시와 경주시, 태화강유역은 울산광역시와 경주시로 구성되어 있다. 한국하천일람(2008년 12월 31일 기준; 국토해양부 한강홍수통제소, 2009)에서 낙동강권역에 속한 국가하천은 17개가 있으며, 이중 낙동강유역에 11개, 형산강 및 태화강유역에 각 1개가 있다. 낙동강유역의 주요 국가하천으로는 낙동강, 반변천, 내성천, 금호강, 황강, 남강, 밀양강 등이 있으며, 이외에 형산강, 태화강 등이 있다. 낙동강의 경우 유로 연장이 510.4 km로서 가장 길며, 남강 185.6 km, 금호강 116.0 km 순이다. 이들의 유역면적을 나타내면, 낙동강유역이 23,384.2 km^2, 남강유역 1,421.3 km^2, 금호강유역이 2,107.9 km^2이며, 그 외 반변천유역 1,973.1 km^2, 내성천유역 1,814.7 km^2, 밀양강유역 1,421.3 km^2이다. 형상강의 유로연장은 63.3 km, 유역면적은 1,133.0 km^2이며, 태화강의 유로연장 및 유로면적은 각각 46.0 km, 644.0 km^2이다.

낙동강유역은 동경 127-29-19～129-18-00, 북위 34-59-41～37-12-52에 걸쳐 한반도 남동부에 있으며, 유역면적은 23,384.2 km^2, 하천 유로연장은 510.36 km이며, 유역의 평균경사는 32.26%, 유역형상은 1.62를 나타내고 있다. 특히, 유로연장은 한강 494.4 km에 비교하면 낙동강이 더 길다. 낙동강 유역 내 중앙에는 금호강이 위치하며, 유역 서남쪽에는 남강유역이 넓게 자리하고 있다. 낙동강유역에 대한 토지피복현황(2000년도 기준)은 산림면적이 16,842.5 km^2로서 유역의 71.06%를 차지하고 있으며, 농업지역은 3,848.2 km^2로서 16.24%, 시가지화/건조지역은 341.9 km^2로서 1.44%이다.

2.2. 분석자료 수집

기온의 경향성 분석 및 탄성도 분석을 위한 기온자료를 수집하였다. 낙동강에 위치한 주요 기상관측소 지점인 안동, 포항, 대구, 울산, 부산, 통영의 6개 지점에서 각 지점의 기상관측 개시일로부터 2008년 12월 31일까지 일 단위 기온자료를 취득하여 계절, 연 자료로 재추출하여 분석하였다. 탄성도 분석을 위한 기온자료는 현재 기상청에서 운영중인 지상기상관측소의 기온자료를 사용하였다. 기온-수온 탄성도 분석을 위해서는 동일 지점의 관측자료가 요구되나 기온과 수온이 동시에 관측되는 자료는 환경부의 국립환경과학원 산하 낙동강물환경연구소에서 수행하는 수질오염총량관리를 위한 낙동강수계 목표수질측정망 운영에서 측정한 자료만 있으며 이 자료는 측정기간이 짧아 본 연구의 목적에 적합지 않으므로 부득이 수온 관측소를 먼저 선정하고 이에 해당하는 기온자료를 수집, 가공하여 사용하였다. 수온 측정지점에서 근거리에 위치한 3개의 기상관측소

Fig. 1. Air and Water temperature observatory.

를 선정하여 산술평균법을 이용하여 평균기온을 산정하였다. 자료의 수집기간은 기상관측개시일로부터 2008년 12월 31일까지이며 관측지점의 일별 자료를 수집하여 월, 계절, 연 자료로 재추출하였다.

본 연구의 기온-수온 탄성도 분석을 위한 수온자료는 물환경정보시스템의 자료를 이용하여 낙동강 수질측정망 총 376지점 중 주요지점 29지점을 선정하여 1989년 1월에서부터 2008년 12월까지의 월 단위 수온자료를 취득하여 연, 계절 자료로 재추출하여 기온-수온 탄성도 분석에 이용하였다. Fig. 1에 기온 경향성 분석지점 및 기온-수온 탄성도 분석지점을 도시하였다.

2.3. 분석방법

2.3.1. Trend 분석

본 연구의 기온 경향성 분석을 위하여 T Test, Hotelling Pabst Test, Mann-Kendall Test, Sen Test를 실시하였고, 0.99, 0.95, 0.90의 유의수준으로 구분하여 분석하였다. 기온 경향성 분석 결과는 검정의 유의수준으로 99% 이상을 1등급, 99 ~ 95%는 2등급, 95 ~ 90%는 3등급, 90% 미만은 4등급으로 구분하여 각 Test 결과 중 가장 높은 등급을 연, 계절, 월 경향성 분석 결과로 하였다.

2.3.1.1. T test for Detecting Linear Trends

자료수 N인 자료가 $Y_1, Y-2,.., Y_N$으로 주어졌을 때 자료의 선형적 경향을 분석하는 방법으로 다음과 같은 식 (1)의 선형방정식을 사용한다.

$$Y_t = a + bt,\ \ t = 1,...,N \tag{1}$$

여기서 주어진 자료가 선형적 경향을 갖고 있다면 계수 b는 0이 아닌 다른 값을 갖게 된다. 그러므로 기울기 b가 0인가 아닌가에 대한 귀무가설이 곧 주어진 자료에 대한 선형적 경향의 귀무가설이 된다.

2.3.1.2. Hotelling- Pabst test

자료수 N인 자료 $Y_1, Y-2,.., Y_N$ 를 크기순으로(작은 값부터 큰 순서) 정리된 자료를 $X_1, X_2,..., X_N$이라 하고 Y_t의 순서값(rank)을 $R(Y_t)$ 라 하면 검정 통계량은 다음 식 (2)와 같이 주어지고(Conover, 1980),

$$T = \sum_{t=0}^{1} [R(Y_t) - t]^2 \tag{2}$$

검정통계량 T의 상한계와 하한계는 아래와 같이 식 (3)과 식 (4)로 주어진다.

$$T_U = \frac{N(N^2-1)}{6} + u_{1-\alpha/2}\frac{N(N^2-1)}{6\sqrt{N-1}} \tag{3}$$

$$T_L = \frac{N(N^2-1)}{6} - u_{1-\alpha/2}\frac{N(N^2-1)}{6\sqrt{N-1}} \tag{4}$$

여기서 식 (4)의 T에서 계산된 T 값이 식 T_U, T_L의 밖에 존재하면 주어진 자료의 선형 경향은 유의수준 α의 범위 내에서 받아들여진다고 할 수 있다.

2.3.1.3. Mann-Kendall test

자료 $Y_t(t=1,2,...,N)$에 대하여 $Y_{t'}(t'=1,2,...,N-1)$과 $Y_t(t=t'+1,...,N)$의 크기를 비교하여 다음과 같이 정의한다.

$$Z_k = 1 \quad \text{if} \quad Y_t > Y_{t'} \tag{5}$$

$$Z_k = 0 \quad \text{if} \quad Y_t = Y_{t'} \tag{6}$$

$$Z_k = -1 \quad \text{if} \quad Y_t < Y_{t'} \tag{7}$$

여기서 $k = (t'-1)(2N-t') + (t-t')$ 라 하면 Mann-Kendall test의 검정통계량은 다음 식 (8)과 같이 주어진다(Hirsch et al., 1993).

$$S = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^{N} Z_k \tag{8}$$

$$U_c = \frac{S+j}{[V(S)]^{1/2}} \tag{9}$$

여기서

$$V(S) = \frac{1}{18}\left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{G} E_i(E_i-1)(2E_i+5)\right] \tag{10}$$

$S<1$ 이면 $j=1$, $S>1$ 이면 $j=-1$, $S=0$ 이면 $j=0$ 의 값을 가지고, G는 같은 값을 갖는 자료군의 총수이며, E_j 는 i 번째 자료군에 속하는 같은 값을 갖는 자료의 수이다. 아래 식 (11)의 조건이 만족되면 유의수준 α에서 주어진 자료가 상향(upward) 또는 하향 경향(downward trend)을 갖는다고 할 수 있다.

$$|U_c| > u_{1-\alpha/2} \tag{11}$$

주어진 자료에 대하여 $S=0$ 이면 $U_c=0$ 으로 경향을 갖지 않으며, S 가 양수인 경우에는 상향 경향을 가지며, S가 음의 값을 갖는 경우에는 하향 경향을 갖는다.

$$\begin{aligned} V(S) = & \frac{1}{18}[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{G} E_i(E_i-1)(2E_i+5) \\ & - \sum_{j=1}^{H} W_j(W_j-1)(2W_j+5)RIGHT] \\ & + \frac{\sum_{i=1}^{G} E_i(E_i-1)(E_i-2)\sum_{i=1}^{H} W_j(W_j-1)(W_j-2)}{9N(N-1)(N-2)} \\ & + \frac{\sum_{i=1}^{G} E_i(E_i-1)\sum_{j=1}^{H} W_j(W_j-1)}{2N(N-1)} \end{aligned} \tag{12}$$

2.3.1.4. Sen test

Sen and Srivastava(1975)에 의해 제안된 비매개변수적 방법으로, 주어진 자료 $Y_t(t=1,2,...,N)$에 대하여 다음 식 (13)과 같이 새로운 변수 Z_k를 정의한다.

$$Z_k = \frac{Y_j - Y_i}{j-i} \tag{13}$$

여기서 모든 i 와 j 에 대해 $j>i$ 이고, Z_k 를 다시 크기순으로 정렬한 값을 X_k 로 정의하면 Sen의 경사에 대한 검정통계량은 다음과 같이 주어진다(Gilbert, 1987).

$$\text{M이 홀수일 때, } S = X_{(M+1)/2} \tag{14}$$

$$\text{M이 짝수일 때, } S = \frac{1}{2}\left[X_{M/2} + X_{(M+2)/2}\right] \tag{15}$$

여기서 $M=N(N-1)/2$ 로 위 식 (15)에서 구한 검정통계량이 식 (16)과 같은 신뢰한계 안에 있게 되면 유의수준 α에서 경향을 갖는다고 할 수 있다.

$$\left[X_{M_L}, X_{M_U}\right] \tag{16}$$

여기서

$$M_L = \frac{M - u_{1-\alpha/2}[V(S)]^{1/2}}{2} \tag{17}$$

$$M_U = 1 + \frac{M + u_{1-\alpha/2}[V(S)]^{1/2}}{2} \tag{18}$$

이고

$V(S)$ 는 식 (19)와 같다.

$$V(S) = \frac{1}{18}\left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{G} E_i(E_i-1)(2E_i+5)\right] \tag{19}$$

그러므로 하한계 X_{M_L} 은 X 값 중 가장 작은 값으로부터 M_L 번째 값이고, 상한계 X_{M_C} 는 M_U 번째 값이 된다.

2.3.2. 탄성도 분석

Schaake(1990)는 강우-유출의 민감도를 평가하기 위하여 식 (20)과 같은 탄성도(Elasticity)의 개념을 도입하였다. 식 (20)은 Schaake(1990)가 처음으로 도입한 탄성도 분석방법으로 P 는 강우를, Q 는 유출량을 나타내며 dQ 는 유출량의 순간변화율, dP 는 강우의 순간 변화율을 나타낸다. 그러나 강우와 유출량의 순간변화율을 계산할 수 없으므로 Vogel 등(1999)이 제안한 식 (21)의 nonparametic 탄성도 산정식을 이용한다. 이는 Q 에 대한 유량의 변화량은 P 에 대한 강우량의 변화와의 비례관계가 있음을 이용한 것으로, Q_t 및 P_t 는 각각 해당시간의 강우 및 유출량이며 $\overline{P}$, $\overline{Q}$ 는 강우 및 유출량의 평균값을 의미한다.

$$\varepsilon_p(P,Q) = \frac{dQ/Q}{dP/P} = \frac{dQ}{dP}\frac{P}{Q} \tag{20}$$

$$\varepsilon_p(P,Q) = median\left[\frac{Q_t - \overline{Q}}{P_t - \overline{P}}\frac{\overline{P}}{\overline{Q}}\right] \tag{21}$$

nonparametic 탄성도 분석 방법은 탄성도를 산정하기 위하여 여러 기후인자에 적용 가능하다. 본 연구의 기온-수온 탄성도는 식 (21)의 강우 P 에 기온 T_a를 유출량 Q 에 수온 T_W를 대입하여 식 (21)을 변형하여 식 (22)을 개발하여 산정하였다.

$$\varepsilon_p(T_A, T_W) = median\left[\frac{T_W - \overline{T_W}}{T_A - \overline{T_A}}\frac{\overline{T_A}}{\overline{T_W}}\right] \tag{22}$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 기온 경향성 분석

낙동강 유역의 주요 기상관측소 지점인 안동, 포항, 대구, 울산, 부산, 통영의 6개 지점의 기상관측 개시일로 부터의 일평균 기온자료를 취득하여 월, 계절, 연별로 재추출하였다.

연 평균기온을 이용한 연 시계열 선형회귀분석을 하고 연 평균기온과 5년 이동평균기온을 비교하였다. 각 지점의 연 시계열 경향성분석의 기울기는 안동 0.0343, 포항 0.0299, 대구 0.024, 포항 0.0277, 부산 0.0157, 통영 0.0274로 안동지점에서 최대값을 나타내고 있었고, 부산지점에서 최소값을 나타내었다. 모든 지점에서 연 평균기온이 증가하고 있으며 낙동강 유역은 연 평균 약 0.02 ~ 0.03°C의 기온증가의 경향을 나타내고 있다. 다음 Fig. 2는 낙동강 유역의 연 시계열 기온의 선형회귀 분석결과와 5년 이동평균기온을 나타내고 있다.

낙동강 유역의 기온 경향성 분석을 위하여 Trend 분석을 실시하였다. 검정의 유의수준은 99%, 95%, 90%로 유의 수준별 각 등급으로 구분하여 검정결과 중 가장 높은 등급을 경향성 등급으로 하였다.

낙동강 유역 주요 기상청지점 연 평균기온의 경향성 분석결과 모든 지점에서 1등급으로 강한 증가의 경향성을 보였다. 계절 평균기온의 경향성 분석결과 봄과 겨울에 전 지점에서 1등급의 강한 경향성을 보이고 여름의 안동, 통영 가을의 안동을 제외하고 모든 지점에서 1등급의 유의 수준을 보이면서 강한 경향성을 나타내었다. 한편 기온의 경향성은 봄과 겨울에 뚜렷하여 강우의 여름철 강한 증가 경향성(국립기상연구소, 2009)과 다른 양상을 나타내고 있다. 이는 겨울철 화석연료 사용에 의한 발열량의 증가와 도시화로 인한 증발면적의 감소 및 온실효과로 인한 전 세계적인 기온의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 월 평균기온 경향성분석 결과 대부분의 지점에서 1월 ~ 6월, 9월 ~ 12월에서 1등급의 유의 수준을 나타내며 강한 기온증가의 경향성

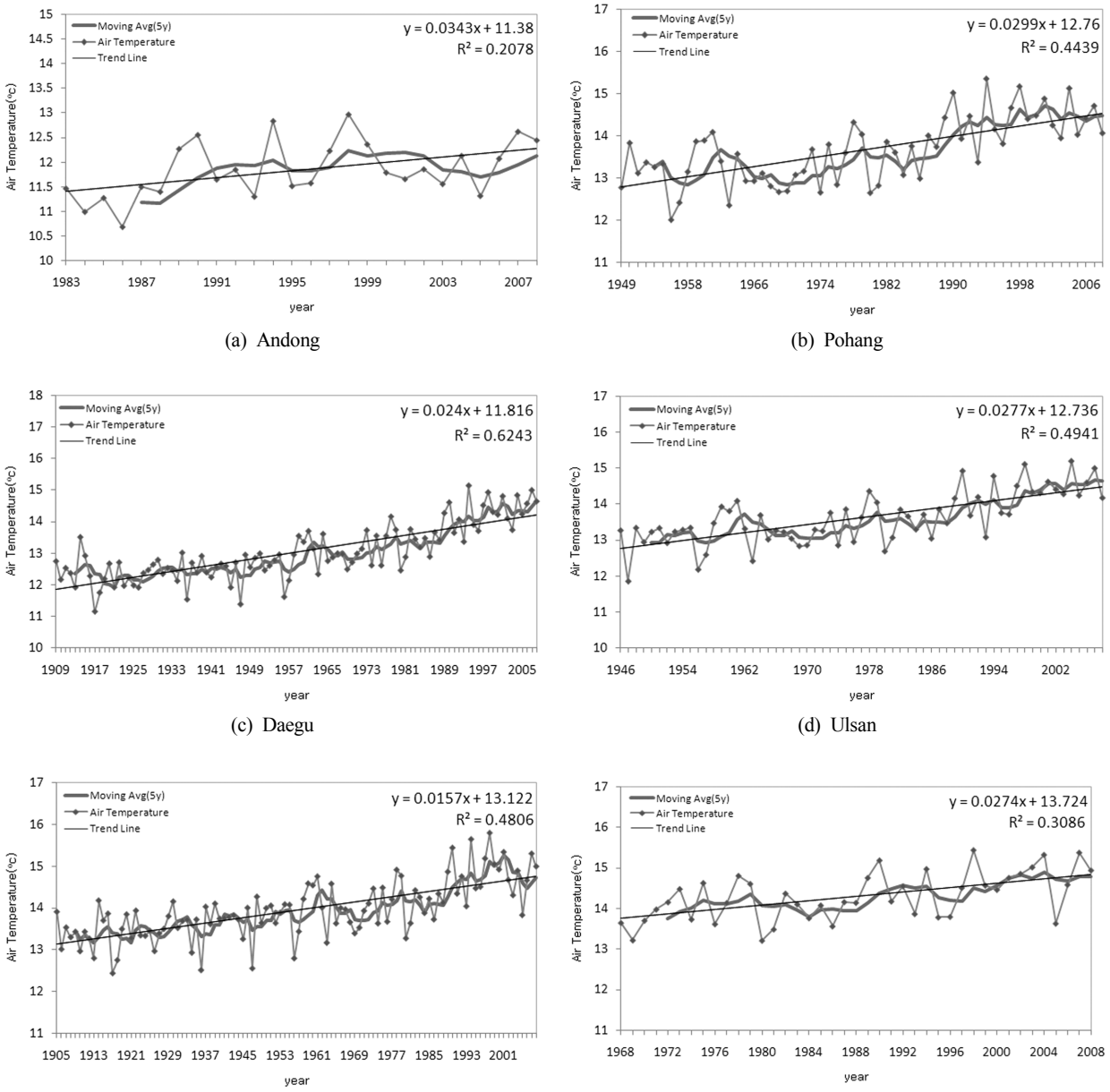


Fig. 2. Yearly air temperature and trend line.

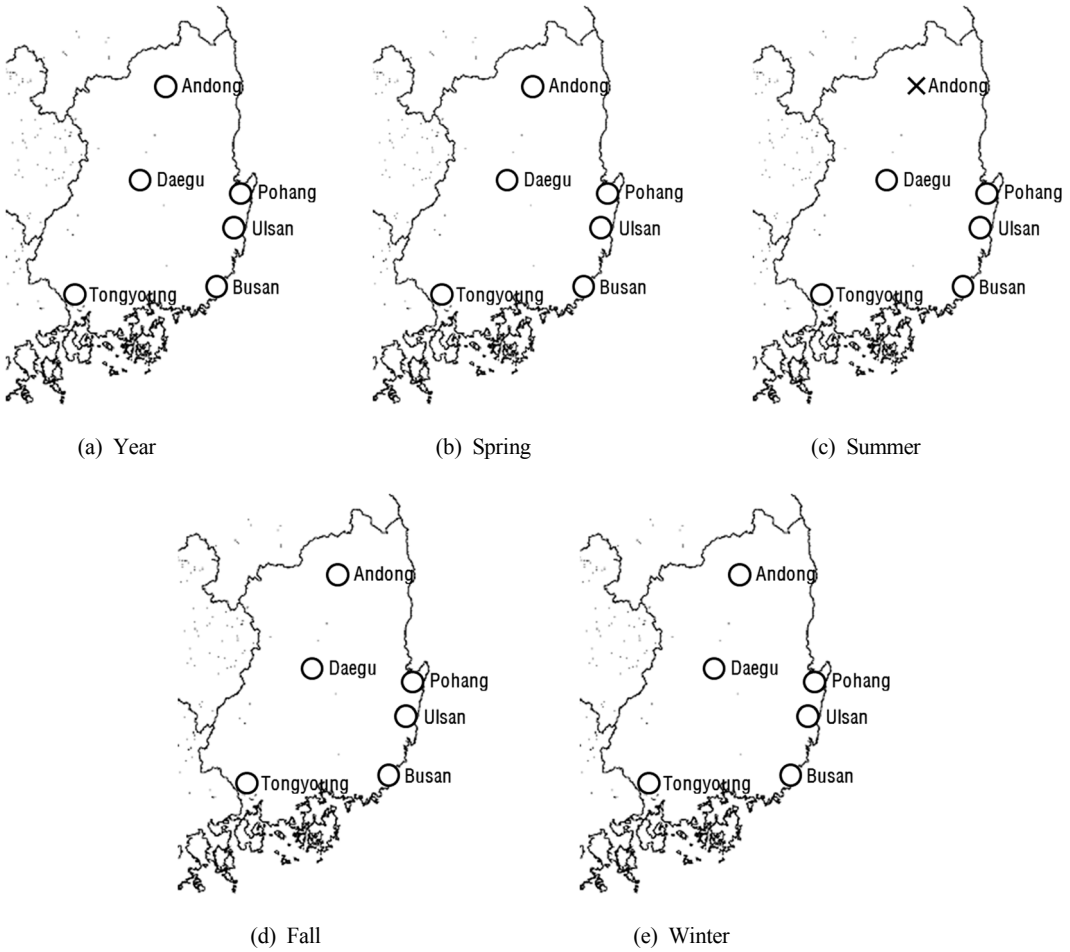
을 보인다. 여름인 7월과 8월은 대부분의 지점에서 3~4등급의 유의 수준을 보여 다른 월에 비해 상대적으로 경향성이 크지 않았다. 지점별로는 대구, 울산, 부산이 겨울철 기온증가가 뚜렷하고 안동과 통영은 겨울철 기온의 증가의 경향성은 나타나지만 다른 지역에 비해 큰 증가의 경향성을 가진 유의수준을 보여주지 못하였다. 다음 Table 1과 Fig. 3에 낙동강 유역 주요 기상청지점의 기온 경향성 분석 결과를 보였다.

기온의 증가 경향성을 분석하기 위하여 경향성 분석 결과 중 Sen-Test Slope를 이용하여 분석하였다. 연 Sen-Test Slope 분석에서 최대값은 안동의 0.038, 최소값은 부산의 0.016 표준편차는 0.007이며 낙동강 유역 평균은 0.027이다. 계절별로는 전 계절의 전 지역에서 증가의 경향을 나타내고 있었으며 겨울, 봄, 가을, 여름의 순서로 증가의 경향성이 나타났다. 특히 겨울철 기온의 증가경향은 두드러지게 나타나는데 안동, 통영지점에서 각각 0.072, 0.042로 증가의 경향이 크게 나타났다. 월별 Sen-Test Slope 분석에서는 대부분의 지점과 월에서 증가를 보이나 8월의 경우 감소를 보이는데 이는 상대적으로 안동의 감소와 타 지점의 약한 증가 경향에 기인한 것으로 판단된다. 월 분석의 결과는 대체적으로 계절 분석의 결과와 비슷하여 겨울에 해당하는 월에 기온이 증가하고 여름에 해당하는 월의 기온이 감소함을 알 수 있다. Table 2와 Fig. 4에 낙동강 유역 기온의 연, 계절, 월 Sen-Test Slope 분석결과를 보였다.

Table 1. Result of air-temperature trend analysis in year, season and month

Point	Year	Season				Month											
		Spring	Summer	Fall	Winter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andong	1	1	4	3	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	3	4	4
Pohang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1	3	3
Daegu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	3	1	1	1	1
Ulsan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1	3	1
Busan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1
Tongyoung	1	1	3	1	1	2	2	1	2	4	2	4	4	2	2	3	3

Note) 1: Significance level is above 99%, 2: Significance level is 99~95%, 3: Significance level is 95~90%, 4: Significance level is below 90%.



(a) Year (b) Spring (c) Summer

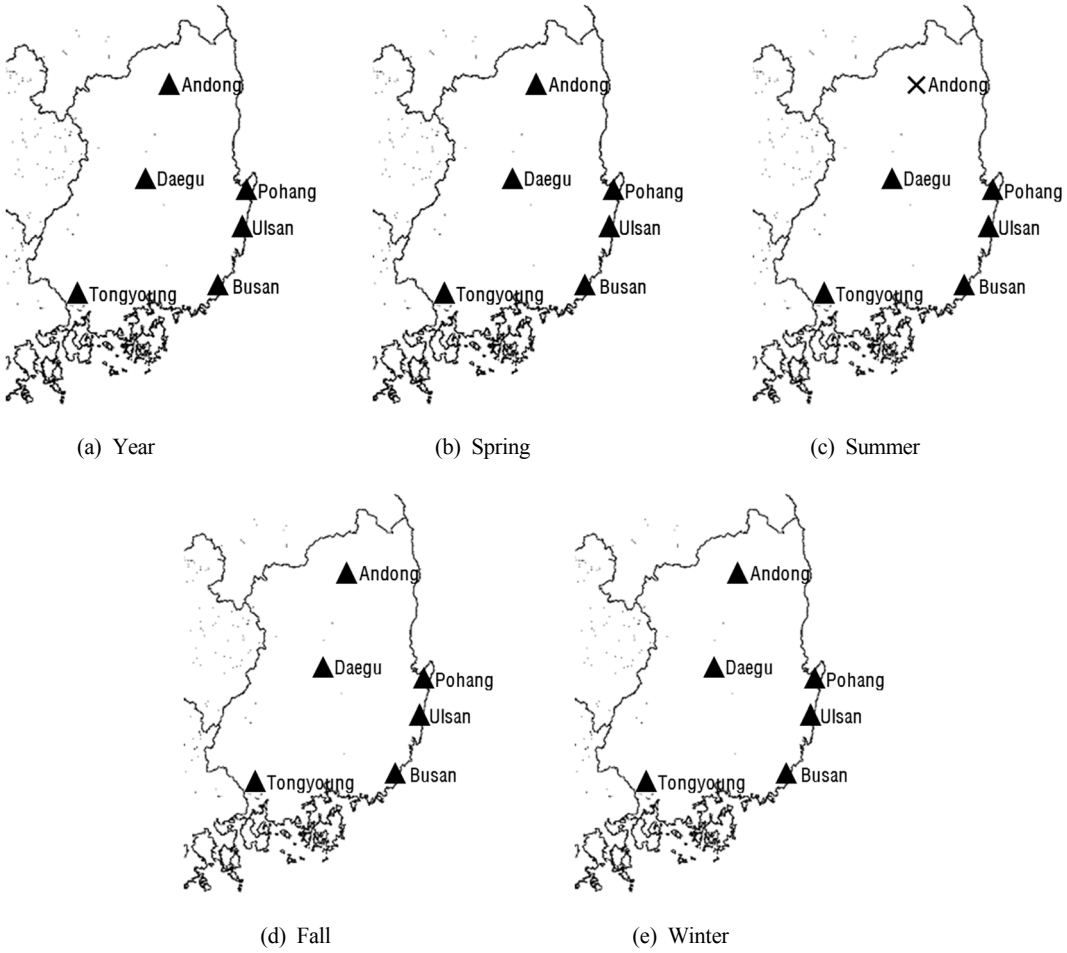
(d) Fall (e) Winter

Fig. 3. Result of air-temperature trend analysis in year and season (Trend presence: O, Trend absence: X).

Table 2. Result of air-temperature Sen-test Slope analysis in year, season and month

Point	Year	Season			
		Spring	Summer	Fall	Winter
Andong	0.038	0.042	0.000	0.033	0.072
Pohang	0.030	0.040	0.020	0.029	0.033
Daegu	0.024	0.033	0.010	0.022	0.031
Ulsan	0.027	0.038	0.020	0.022	0.030
Busan	0.016	0.021	0.009	0.015	0.019
Tongyoung	0.029	0.030	0.015	0.029	0.042
Ave	0.027	0.034	0.012	0.025	0.038
S.D.	0.007	0.008	0.008	0.007	0.018
S.K.	-0.201	-0.939	-0.671	-0.444	1.589

Point	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andong	0.088	0.094	0.073	0.04	0.025	0.017	0.025	-0.043	0.017	0.05	0.031	0.022
Pohang	0.041	0.033	0.043	0.05	0.022	0.033	0.023	0.009	0.022	0.034	0.02	0.025
Daegu	0.033	0.033	0.037	0.033	0.029	0.016	0.007	0.007	0.016	0.024	0.023	0.03
Ulsan	0.032	0.033	0.043	0.042	0.028	0.032	0.019	0.007	0.018	0.031	0.016	0.032
Busan	0.015	0.023	0.023	0.02	0.019	0.012	0.006	0.007	0.01	0.017	0.017	0.018
Tongyoung	0.042	0.058	0.053	0.025	0.009	0.018	0.009	0.01	0.026	0.034	0.027	0.037
Mean	0.042	0.046	0.045	0.035	0.022	0.021	0.015	-0.001	0.018	0.032	0.022	0.027
S.D.	0.025	0.026	0.017	0.011	0.007	0.009	0.008	0.021	0.005	0.011	0.006	0.007
S.K.	1.560	1.583	0.631	-0.115	-1.225	0.733	0.147	-2.429	-0.036	0.559	0.500	0.041



(a) Year (b) Spring (c) Summer

(d) Fall (e) Winter

Fig. 4. Result of air-temperature sen-test slope analysis in year and season (Upward trend: ▲, Downward trend: ▼, No trend: X).

3.2. 기온-수온 탄성도 분석

낙동강의 지점별 연자료 탄성도 분석에서 평균은 0.636, 표준편차는 0.456으로 지점에 따라 변동성이 크며 최고값은 서낙동강1의 1.478, 최소값은 구미의 -0.250이다. 서낙동강 구간을 제외한 낙동강 대부분의 본류 지점에서 탄성도가 1이하의 값을 나타내며 특히 안동2와 구미는 음의 값을 나타내고 있다. 계절자료 탄성도 분석에서는 여름, 봄, 가을, 겨울 순으로 탄성도가 높게 분석되었고 상대적으로 가을과 겨울철 보다 봄, 여름철 탄성도가 높게 분석되었다. 봄의 최고값은 상주2에서 2.512, 최소값은 안동1에서 -0.769을 나타내고 있다. 탄성도가 가장 크게 분석된 여름의 최대값은 합천에서 2.163, 최소값은 상주3에서 -0.593을 나타냈다. 가을의 최대값은 서낙동강2의 1.977, 최소값은 상주2의 -1.824의 값을 보였고 상주2, 산곡, 왜관, 성주에서 탄성도는 음의 값을 나타내고 있고, 서낙동강 유역을 제외한 모든 낙동강 전 지점에서 1이하의 값을 나타내고 있다. 탄성도가 가장 낮게 분석된 겨울의 최대값은 서낙동강1의 1.482, 최소값은 화원나루에서 -0.495으로 분석되었다.

낙동강 본류 주요지점을 상, 중 하류 및 서낙동강 구간으로 나누어 구간별 탄성도 분석을 실시하였다. 구간은 안동1에서 구미까지 상류, 왜관에서 합천까지 중류, 남지에서 구포까지 하류, 서낙동강1, 2를 서낙동강으로 구분하였다. 연자료의 낙동강 구간별 탄성도는 최대값은 서낙동강 구간의 1.242, 최소값은 상류의 0.249 이다. 탄성도는 서낙동강, 중류, 하류, 상류 순으로 크게 분석되었고, 하구둑으로 인한 정체구간인 서낙동강 구간에서 탄성도가 크게 나타났으며 상류구간은 매우 낮게 분석되었다. 계절자료의 탄성도는 봄은 서낙동강, 하류, 중류, 상류 구간으로 순으로, 여름은 중류, 하류, 상류, 서낙동강 구간의 순으로, 가을은 서낙동강, 하류, 중류, 상류 구간으로 순으로, 겨울은 서낙동강, 하류, 중류, 상류 구간으로 순으로 탄성도가 크게 분석되었다. 여름을 제외한 봄, 가을, 겨울에는 상류에서 하류로 갈수록 탄성도가 크게 나타나는데 이는 유속의 영향과 유량, 수표면적 등에 기인한 것으로 판단된다. 각 구간별 탄성도의 최대값은 상류 구간에서 여름에 0.526, 중류구간은 여름에 1.290, 하류 구간은 여름에 1.235, 서낙동강 구간은 가을에 1.776으로 가장 크게 나타나며 정체 구간인 서낙동강 구간을 제외하면 대부분의 구간에서 여름에 탄성도가 큰 것으로 분석되었다. 서낙동강 구간은 여름을 제외하고 기온 증가에 대한 수온 증가의 탄성도가 대부분 1이상의 값을 보이는데 이는 하구언의 영향으로 유수의 흐름이 원만하지 못한 정체구역인 것에 기인한 것으로 판단된다. 다음 Table 3은 낙동강 지점 및 구간별 기온-수온 탄성도 분석결과를 나타내고 있다.

Table 3. Result of air-water temperature elasticity analysis

Point		Year	Season			
			Spring	Summer	Fall	Winter
Upper reach	Andong1	0.015	-0.769	1.501	0.364	0.001
	Andong2	-0.119	-0.143	0.908	0.069	-0.119
	Micheon	0.436	0.264	0.676	0.400	-0.080
	Yecheon	0.396	0.027	-0.114	0.337	-0.013
	Sangju2	0.391	2.521	0.060	-1.824	-0.090
	Sangju3	0.412	-0.329	-0.593	0.590	-0.053
	Sangok	0.715	0.654	1.362	-0.641	-0.113
	Gumi	-0.250	0.644	0.407	0.623	0.158
	Mean	0.249	0.359	0.526	-0.010	-0.039
Middle reach	Waegwan	1.051	1.082	0.772	-0.451	0.004
	Sungju	0.636	1.652	1.662	-0.033	0.227
	Dalsung	0.738	0.495	0.540	0.673	0.124
	Hwawonnaru	1.368	0.315	1.148	0.148	-0.495
	Nakdong changnyung	0.905	1.613	1.456	0.110	0.120
	Hapcheon	1.105	0.812	2.163	0.301	0.280
	Mean	0.967	0.995	1.290	0.125	0.043
Lower reach	Namji	0.308	1.381	1.548	0.872	0.226
	Mulkum	0.784	0.577	1.085	0.669	0.233
	Kumgok	0.654	1.378	1.424	0.930	0.416
	Kupo	0.696	0.666	0.884	0.992	0.348
	Mean	0.611	1.001	1.235	0.866	0.306
SeoNakdong river	Seonakdong1	1.478	1.885	0.191	1.575	1.482
	Seonakdong2	1.007	1.450	-0.188	1.977	1.459
	Mean	1.242	1.667	0.001	1.776	1.471
Mean		0.636	0.809	0.845	0.384	0.206
S.D.		0.456	0.816	0.721	0.800	0.479
S.K.		-0.131	0.103	-0.275	-0.715	1.897

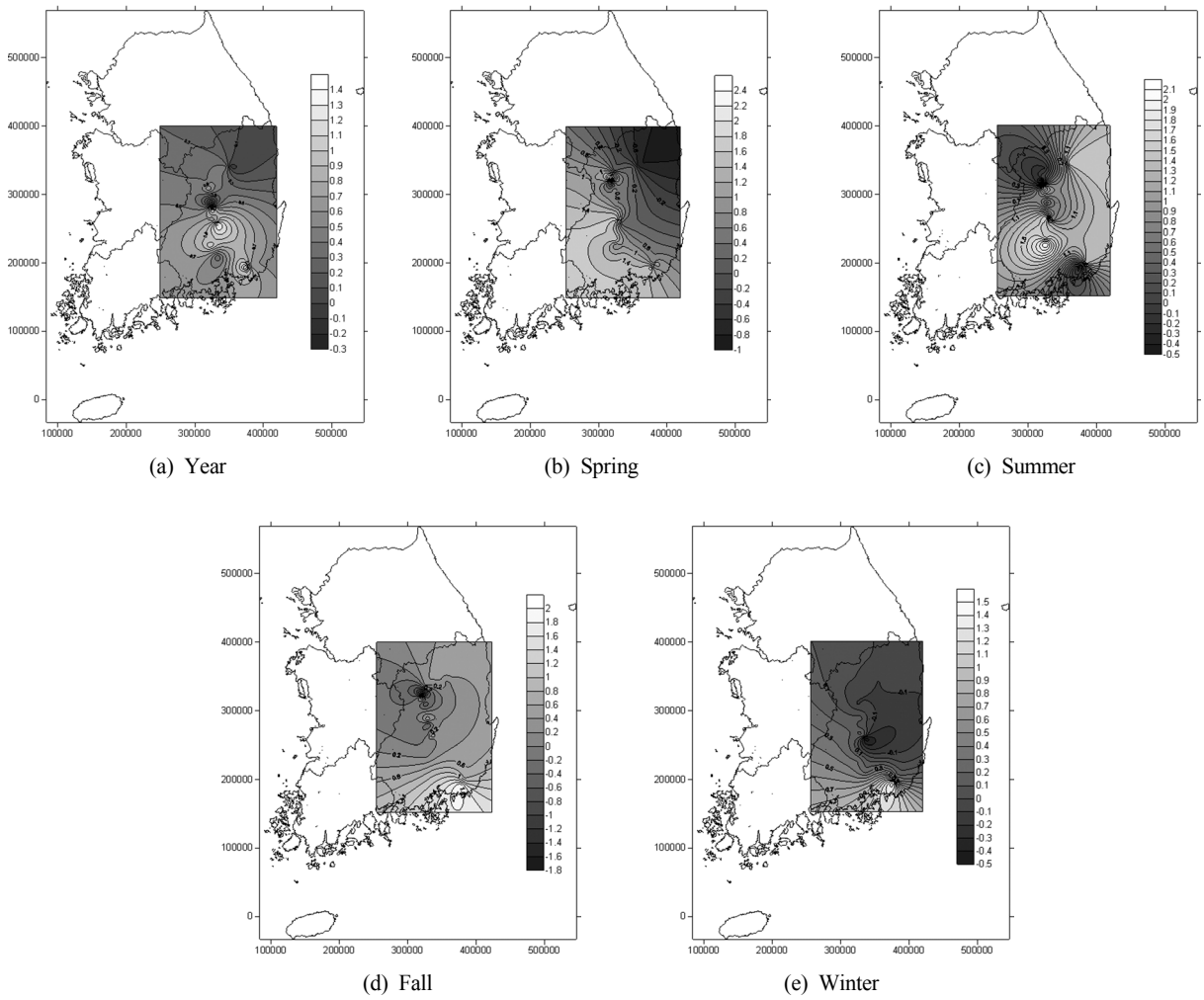
다음 Fig. 5는 연 및 계절의 기온-수온 탄성도의 공간분포 특성을 낙동강 유역도에 도시하였다. 연 기온-수온 탄성도는 낙동강 유역의 중앙 유역의 증가가 뚜렷하게 나타났고, 계절기온-수온 탄성도 분포는 봄에서 남강 유역의 남서부유역에서 탄성도가 크고, 여름은 남강유역의 남서부와 동해안 부근에서 탄성도가 크게 나타났다. 가을은 전체적으로 탄성도가 고르게 분포하였으나 상주2, 산곡지점의 낮은 탄성도로 상류유역에서 낮게 분포되어 있고, 겨울은 대부분의 지역에서 탄성도가 낮지만 유일하게 서낙동강 유역에서 크게 분석되어 Fig. 5(e)와 같은 분포를 나타내고 있다.

3.3. 기온-수온 미래 기후변화 예측

3.1절의 경향성 분석 결과 중 SenTest Slope와 3.2절의 기온-수온 탄성도 분석 결과를 이용하여 기후변화에 따른 기온에 의한 수온의 변화를 예측하였다. 낙동강 각 지점의 Sen Test Slope의 평균을 낙동강 유역의 평균 기온 증가율이라 가정하고 낙동강 주요 지점 기온-수온 탄성도의 기온을 일괄적으로 증가시켜 미래 기온과 기온 증가율을 산정한 후 기온-수온 탄성도를 이용하여 목표연도의 수온과 수온 증가율을 산정하였다. Sen Test Slope는 최소 제곱의 추정 대신 선형 Trend의 추정에 권장되어지는 인자로써 본 연구의 낙동강 유역의 기온이 선형적으로 증가한다고 가정하여 2028년과 2058년의 낙동강 유역의 평균기온을 예측하였다.

미래 기온과 기온 변동율 산정결과 연 자료에서 2028년 4.1%, 2058년 10.4% 증가하였다. 계절별 자료에서는 겨울, 봄, 가을, 여름 순서로 큰 기온 증가율을 보이고 있으며 이는 낙동강 유역 연 및 계절별 평균 Sen-test Slope의 특성을 보여주는 결과이다. 타 계절에 비해 겨울의 기온 증가가 뚜렷하고 2028년 47.0%, 2058년 117.6% 증가를 보였다. 목표연도와 목표연도가 포함된 10년 단위의 평균 온도와 비교하면 낙동강 유역의 2020년대(2021~2030년)의 평균은 13.5°C, 2050년대(2051~2060년)의 평균은 14.3°C으로 목표연도인 2028년의 13.6°C와 2058년의 14.4°C보다는 낮게 예측되었다. 다음 Table 4는 지점별 2028년 및 2058년의 기온 및 기온 증가율이다.

다음으로 미래의 수온과 변동율을 산정하고 분석하였다. 연 자료의 지점별 2028, 2058년 수온의 평균증가율은 2028년 2.6%, 2058년 6.6%로, 수온의 증가율의 최대는 화원나루이고, 구미에서 최소를 나타내고 있다. 계절적으로는 봄,



(a) Year (b) Spring (c) Summer

(d) Fall (e) Winter

Fig. 5. Spatial distribution of air-water temperature elasticity in Nakdong river basin.

Table 4. Prediction of future air temperature (°C) and variation (%)

Point		Year		Season							
				Spring		Summer		Fall		Winter	
		2028	2058	2028	2058	2028	2058	2028	2058	2028	2058
Upper reach	Andong1	11.6 (4.9%)	12.4 (12.2%)	11.5 (6.3%)	12.5 (15.7%)	23.0 (1.1%)	23.4 (2.6%)	12.6 (4.1%)	13.4 (10.3%)	-0.6 (55.2%)	0.5 (137.9%)
	Andong2	11.6 (4.9%)	12.4 (12.2%)	11.5 (6.3%)	12.5 (15.7%)	23.0 (1.1%)	23.4 (2.6%)	12.6 (4.1%)	13.4 (10.3%)	-0.6 (55.2%)	0.5 (137.9%)
	Micheon	12.2 (4.6%)	13.0 (11.6%)	12.0 (6.0%)	13.1 (15.0%)	23.5 (1.0%)	23.9 (2.6%)	13.2 (3.9%)	14.0 (9.8%)	-0.1 (85.3%)	1.0 (213.3%)
	Yecheon	12.2 (4.6%)	13.0 (11.5%)	12.2 (5.9%)	13.2 (14.8%)	23.4 (1.0%)	23.8 (2.6%)	13.3 (3.9%)	14.0 (9.8%)	0.1 (118.4%)	1.3 (296.1%)
	Sangju2	12.5 (4.5%)	13.3 (11.3%)	12.4 (5.8%)	13.4 (14.5%)	23.6 (1.0%)	24.0 (2.6%)	13.4 (3.9%)	14.2 (9.7%)	0.4 (235.5%)	1.6 (588.6%)
	Sangju3	12.5 (4.5%)	13.3 (11.3%)	12.4 (5.8%)	13.4 (14.5%)	23.7 (1.0%)	24.0 (2.6%)	13.5 (3.8%)	14.3 (9.6%)	0.4 (237.1%)	1.6 (592.7%)
	Sangok	12.5 (4.5%)	13.3 (11.3%)	12.4 (5.8%)	13.5 (14.5%)	23.7 (1.0%)	24.0 (2.6%)	13.6 (3.8%)	14.3 (9.6%)	0.4 (201.2%)	1.5 (502.9%)
	Gumi	13.5 (4.2%)	14.3 (10.4%)	13.4 (5.4%)	14.4 (13.4%)	24.2 (1.0%)	24.6 (2.5%)	14.6 (3.5%)	15.4 (8.8%)	1.8 (73.2%)	2.9 (183.1%)
Middle reach	Waegwan	13.6 (4.1%)	14.4 (10.3%)	13.6 (5.3%)	14.6 (13.2%)	24.3 (1.0%)	24.6 (2.5%)	14.8 (3.5%)	15.5 (8.8%)	1.8 (75.2%)	2.9 (187.9%)
	Sungju	14.1 (4.0%)	14.9 (10.0%)	14.0 (5.1%)	15.0 (12.8%)	24.7 (1.0%)	25.1 (2.5%)	15.3 (3.4%)	16.0 (8.5%)	2.4 (46.4%)	3.5 (116.0%)
	Dalsung	13.9 (4.0%)	14.8 (10.1%)	13.7 (5.2%)	14.8 (13.0%)	24.6 (1.0%)	25.0 (2.5%)	15.1 (3.4%)	15.8 (8.6%)	2.3 (48.0%)	3.5 (120.0%)
	Hwawonnaru	14.0 (4.0%)	14.8 (10.0%)	22.7 (3.1%)	23.7 (7.7%)	20.7 (1.2%)	21.1 (2.9%)	4.1 (13.8%)	4.9 (34.5%)	8.5 (9.8%)	9.7 (24.4%)
	Nakdong changnyung	14.2 (4.0%)	15.0 (9.9%)	13.8 (5.2%)	14.8 (12.9%)	24.7 (1.0%)	25.0 (2.5%)	15.5 (3.3%)	16.2 (8.4%)	2.7 (38.3%)	3.9 (95.7%)
	Hapcheon	14.2 (4.0%)	15.0 (9.9%)	13.8 (5.2%)	14.8 (12.9%)	24.7 (1.0%)	25.0 (2.5%)	15.5 (3.3%)	16.2 (8.4%)	2.7 (38.3%)	3.9 (95.7%)
Lower reach	Namji	14.4 (3.9%)	15.2 (9.8%)	13.7 (5.2%)	14.8 (13.0%)	24.5 (1.0%)	24.9 (2.5%)	15.9 (3.2%)	16.7 (8.1%)	3.3 (29.8%)	4.5 (74.5%)
	Mulkum	14.7 (3.8%)	15.6 (9.5%)	13.9 (5.2%)	14.9 (12.9%)	24.2 (1.0%)	24.6 (2.5%)	16.6 (3.1%)	17.3 (7.8%)	4.4 (21.2%)	5.5 (52.9%)
	Kumgok	14.9 (3.8%)	15.7 (9.4%)	14.0 (5.1%)	15.0 (12.8%)	24.3 (1.0%)	24.6 (2.5%)	17.0 (3.0%)	17.7 (7.6%)	4.4 (21.0%)	5.5 (52.5%)
	Kupo	14.9 3.8%)	15.7 (9.4%)	14.0 (5.1%)	15.0 (12.8%)	24.3 (1.0%)	24.7 (2.5%)	16.9 (3.0%)	17.7 (7.6%)	4.5 (20.3%)	5.7 (50.7%)
Seonak dong river	Seonakdong1	14.9 (3.8%)	15.7 (9.4%)	14.0 (5.1%)	15.0 (12.8%)	24.3 (1.0%)	24.6 (2.5%)	17.0 (3.0%)	17.7 (7.6%)	4.3 (21.4%)	5.4 (53.5%)
	Seonakdong2	14.9 (3.8%)	15.7 (9.4%)	14.0 (5.1%)	15.0 (12.8%)	24.3 (1.0%)	24.6 (2.5%)	17.0 (3.0%)	17.7 (7.6%)	4.3 (21.4%)	5.4 (53.5%)
Mean		13.6 (4.1%)	14.4 (10.4%)	13.7 (5.2%)	14.7 (13.1%)	23.9 (1.0%)	24.3 (2.5%)	14.4 (3.6%)	15.1 (9.0%)	2.4 (47.0%)	3.5 (117.6%)
S.D.		1.2	1.2	2.3	2.3	0.9	0.9	2.8	2.8	2.3	2.3
S.K.		-0.4	-0.4	3.4	3.4	-2.4	-2.4	-2.5	-2.5	0.8	0.8

겨울, 가을, 여름 순으로 수온의 증가율이 큰 것으로 분석되었다. 봄의 수온의 증가율은 2028년 4.5%, 2058년 11.2%이며 수온 증가율의 최고값은 상주2이며 최소값은 안동1이다. 대부분의 지점에서 2028년에 약 5~10%, 2058년에 10~20% 내외의 증가율을 나타내고 있고 안동1, 안동2, 상주3은 음의 증가율을 가지며 수온이 감소하고 있다. 수온이 계절적으로 가장 작게 증가할 것으로 예상되는 여름은 평균적으로 2028년 0.8%, 2058년 2.1%로 증가하고 최대값은 합천이 2028년 2.1%, 2058년 5.3% 수온이 증가하고 최소값은 상주3으로 2058년 -1.5% 감소하는 것으로 분석되었다. 가을은 평균적으로 2028년 1.3%, 2058년 3.3%로 증가하고 서낙동강2는 2058년 15.0%의 큰 폭으로 수온이 증가하는 것으로 분석되었고 상주2는 2058년 -17.6% 큰 폭으로 수온이 감소하였다. 계절적으로 수온이 크게 증가하는 겨울은 평균 증가율은 2028년 4.1%, 2058년 10.2%로 분석되었다. 서낙동강1은 2028년 31.8%, 2058년 79.4% 증가하

는 큰 폭의 수온상승이 예상되며, 산곡은 2028년 -22.7%, 2058년 -56.9% 수온의 감소가 예상된다. 겨울철 상류 유역의 구미와 안동 지점을 제외한 전 지점에서 수온의 증가율이 음의 값을 가지며 큰 폭으로 감소하는데 이는 기온은 증가하나 탄성도가 음의 값을 가지며 수온이 감소하는 것으로 분석되었고, 서낙동강 유역은 겨울철 큰 폭의 수온증가가 예상되며 이에 따른 유역의 기후변화를 고려한 수문 및 환경적인 대응책이 필요한 것으로 사료된다. Table 5에 탄성도를 고려한 낙동강 주요 지점별 2028년 및 2058년의 수온 및 수온 증가율을 보였다.

4. 결 론

본 연구는 전 세계적 지구온난화 및 인간의 시스템에 영향을 크게 미치는 기후변화에 대응하기 위하여 기온의 경향성과 하천의 기온-수온간의 관계를 분석하였다. 낙동강을

Table 5. Prediction of future water temperature (°C) and variation (%)

Point		Year		Season							
				Spring		Summer		Fall		Winter	
		2028	2058	2028	2058	2028	2058	2028	2058	2028	2058
Upper reach	Andong1	12.5 (0.1%)	12.5 (0.2%)	8.1 (-4.8%)	7.4 (-12.1%)	17.0 (1.6%)	17.4 (4.0%)	18.2 (1.5%)	18.6 (3.8%)	7.0 (0.0%)	7.0 (0.1%)
	Andong2	13.3 (-0.6%)	13.2 (-1.5%)	10.0 (-0.9%)	9.9 (-2.3%)	20.3 (1.0%)	20.6 (2.4%)	17.8 (0.3%)	17.8 (0.7%)	5.4 (-6.6%)	4.8 (-16.5%)
	Micheon	15.7 (2.0%)	16.2 (5.1%)	13.9 (1.6%)	14.2 (4.0%)	25.4 (0.7%)	25.6 (1.7%)	18.5 (1.6%)	18.9 (3.9%)	4.2 (-6.8%)	3.8 (-17.0%)
	Yecheon	15.4 (1.8%)	15.8 (4.6%)	13.1 (0.2%)	13.1 (0.4%)	24.1 (-0.1%)	24.0 (-0.3%)	18.9 (1.3%)	19.3 (3.3%)	4.7 (-1.6%)	4.6 (-3.9%)
	Sangju2	15.2 (1.8%)	15.6 (4.4%)	15.0 (14.6%)	17.8 (36.5%)	24.9 (0.1%)	24.9 (0.2%)	16.4 (-7.1%)	14.6 (-17.6%)	3.2 (-21.1%)	1.9 (-52.9%)
	Sangju3	15.2 (1.9%)	15.6 (4.6%)	12.6 (-1.9%)	12.2 (-4.8%)	25.1 (-0.6%)	24.8 (-1.5%)	18.1 (2.3%)	18.7 (5.7%)	3.4 (-12.5%)	2.7 (-31.2%)
	Sangok	15.9 (3.2%)	16.6 (8.1%)	14.2 (3.8%)	14.9 (9.5%)	25.8 (1.4%)	26.3 (3.5%)	17.7 (-2.5%)	17.0 (-6.1%)	3.3 (-22.7%)	1.8 (-56.9%)
	Gumi	15.7 (-1.0%)	15.4 (-2.6%)	14.4 (3.5%)	15.2 (8.6%)	25.4 (0.4%)	25.6 (1.0%)	19.2 (2.2%)	19.8 (5.5%)	5.9 (11.5%)	6.9 (28.9%)
Middle reach	Waegwan	16.7 (4.3%)	17.7 (10.9%)	14.8 (5.7%)	16.0 (14.3%)	25.6 (0.8%)	25.8 (1.9%)	19.2 (-1.6%)	18.7 (-3.9%)	5.1 (0.3%)	5.2 (0.7%)
	Sungju	15.9 (2.5 %)	16.5 (6.3%)	14.5 (8.4%)	16.2 (21.1%)	25.3 (1.6%)	25.9 (4.1%)	19.4 (-0.1%)	19.4 (-0.3%)	4.9 (10.5%)	5.6 (26.3%)
	Dalsung	16.3 (3.0%)	17.0 (7.4%)	13.9 (2.6%)	14.5 (6.4%)	25.7 (0.5%)	25.9 (1.3%)	19.9 (2.3%)	20.6 (5.8%)	4.9 (5.9%)	5.3 (14.8%)
	Hwawonnaru	17.5 (5.5%)	18.9 (13.7%)	14.2 (1.0%)	14.4 (2.4%)	26.0 (1.3%)	26.5 (3.4%)	21.4 (2.0%)	22.1 (5.1%)	5.2 (-4.8%)	4.8 (-12.1%)
	Nakdong changnyung	16.8 (3.6%)	17.7 (9.0%)	15.2 (8.4%)	16.9 (20.9%)	25.9 (1.4%)	26.5 (3.6%)	20.0 (0.4%)	20.1 (0.9%)	5.5 (4.6%)	5.9 (11.5%)
	Hapcheon	16.8 (4.4%)	17.8 (10.9%)	14.5 (4.2%)	15.4 (10.5%)	26.0 (2.1%)	26.8 (5.3%)	19.9 (1.0%)	20.2 (2.5%)	5.7 (10.7%)	6.6 (26.8%)
Lower reach	Namji	16.4 (1.2%)	16.7 (3.0%)	15.3 (7.2%)	16.8 (18.0%)	25.8 (1.5%)	26.4 (3.8%)	20.6 (2.8%)	21.4 (7.1%)	5.6 (6.7%)	6.2 (16.9%)
	Mulkum	16.9 (3.0%)	17.6 (7.4%)	14.7 (3.0%)	15.4 (7.4%)	25.8 (1.1%)	26.3 (2.7%)	20.7 (2.1%)	21.3 (5.2%)	5.7 (4.9%)	6.1 (12.3%)
	Kumgok	16.7 (2.5%)	17.3 (6.2%)	14.5 (7.0%)	16.0 (17.6%)	25.9 (1.4%)	26.5 (3.6%)	21.0 (2.8%)	21.9 (7.1%)	6.0 (8.7%)	6.7 (21.8%)
	Kupo	16.7 (2.6%)	17.3 (6.5%)	14.3 (3.4%)	15.0 (8.5%)	25.4 (0.9%)	25.8 (2.2%)	21.0 (3.0%)	21.9 (7.5%)	6.0 (7.1%)	6.5 (17.6%)
Seonak dong river	Seonakdong1	18.1 (5.6%)	19.6 (13.9%)	17.2 (9.6%)	19.5 (24.1%)	26.6 (0.2%)	26.6 (0.5%)	20.8 (4.8%)	22.2 (12.0%)	8.5 (31.8%)	11.6 (79.4%)
	Seonakdong2	17.6 (3.8%)	18.6 (9.5%)	16.5 (7.4%)	18.2 (18.5%)	26.4 (-0.2%)	26.3 (-0.5%)	21.1 (6.0%)	22.9 (15.0%)	7.8 (31.2%)	10.5 (78.1%)
Mean		16.1 (2.6%)	16.7 (6.6%)	14.0 (4.5%)	14.9 (11.2%)	24.9 (0.8%)	25.2 (2.1%)	19.5 (1.3%)	19.9 (3.3%)	5.4 (4.1%)	5.7 (10.2%)
S.D.		1.3	1.7	2.0	2.8	2.3	2.3	1.4	2.0	1.4	2.4
S.K.		-1.2	-0.8	-1.7	-1.1	-2.9	-2.7	-0.5	-0.8	0.4	0.7

대상하천으로 낙동강 주요 기상관측소 지점의 기온자료를 이용하여 기온 경향성을 분석하였고, 물환경정보시스템에서 제공하는 낙동강 주요지점의 수온자료를 수집하여 기온-수온의 탄성도를 산정하고 미래기후변화로 인한 수온의 증가 분석을 위하여 기온의 경향성 분석결과와 지점별 탄성도를 이용하여 기후변화에 의한 미래의 기온과 수온을 예측하고 변동성을 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 기온 경향성 분석에서 안동의 여름을 제외하고 연, 계절 분석에서 강한 경향성이 나타나며 월 분석에서는 지점에 따라 다른 결과를 보이지만 대체적으로 강한 경향성을 보였다. 일부 지점의 월 분석에서 경향성 4등급의 결과를 보이지만 이는 유의수준에 대한 경향성이 발견되지 않은 것이지 증가 경향이 없는 것은 아니다. Sen-Test Slope 분석에서 낙동강 유역의 평균은 0.027, 표준편차 0.007이며 최대값은 안동의 0.038, 최소값은 부산의 0.016을 보였다.
2) 낙동강 유역 주요지점 및 구간별 기온-수온 탄성도를 분석한 결과 낙동강 유역의 탄성도 평균은 0.636이고, 표준편차는 0.456으로 최고값은 서낙동강1의 1.478, 최소값은 구미의 -0.250이며, 서낙동강을 제외한 대부분의 지점에서 1이하의 탄성도가 분석되었다. 구간별 연 평균 탄성도는 서낙동강, 중류, 하류, 상류 순으로 크게 분석되었고, 하구둑으로 인한 정체구간인 서낙동강 구간에서 기온-수온 탄성도가 크게 분석되었다.
3) 기후변화에 따른 낙동강 유역의 미래의 기온과 수온을 산정하고 변동성을 분석하였다. 기온은 2028년 4.1%, 2058년 10.4% 증가하고, 계절별로 겨울, 봄, 가을, 여름 순서로 큰 증가율을 보인다. 수온은 2028년 2.6%, 2058년 6.6% 증가하고 봄, 겨울, 가을, 여름 순으로 증가율이 큰 것으로 분석되었다. 특히 겨울철 서낙동강 유역의 큰 수온 증가가 예상된다.

사 사

본 연구는 부산대학교의 연구 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

국립기상연구소(2009). *기후변화 이해하기 - IPCC 4차 평가보고서 실부그룹 I, II, III 기술요약보고서 표와 그림을 중심으로 -.*

국토해양부 한강홍수통제소(2009). *한국하천일람 2008.*

김문성, 고익환, 김상단(2009). CGCM의 미래 기후 정보를 이용한 기후변화가 낙동강 유역 유황에 미치는 영향분석. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(6), pp. 863-871.

이길하(2007). 우리나라 연안 기온과 수온의 비선형 상관관계 분석. *한국해안 해양공학회지*, **19**(2), pp. 128-135.

조홍연, 이길하, 조경준, 김준성(2007). 연안해역 기온과 수온의 상관관계 및 이력현상 분석. *한국해안해양공학회지*, **19**(3), pp. 213-221.

Bogan, T., Mohseni, O., and Stefan, H. G. (2003). Stream temperature-equilibrium temperature relationship. *Water Resources Research*, **39**, pp. SWC7.1-SWC7.12.

Conover, W. J. (1980). *Practical Nonparametic Statistics, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, New York.

Gilbert, R. O. (1987). Statistical Methods in Water Resources. *Elsevier, Amsterdam*, pp. 522.

Hirsch, R. M., Helsel, D. R., Cohn, T. A., and Gilroy, E. J. (1993). Statistical analysis of hydrologic data (chapter 17), In Handbook of Hydrology, D. R. Maidment (ed.), McGraw-Hill Inc., New York.

Mohseni, O., Stefan, H. G., and Erickson, T. R. (1998). A nonlinear regression model for weekly stream temperatures. *Water Resources Research*, **34**(10), pp. 2685-2692.

Morrill, J. C., Bales, R. C., and Conklin, M. H. (2005). Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *J. Envir. Engrg*, **131**, Issue 1, pp. 139-146.

Pilgrim, J. M., Fang, X., and Stefan, H. G. (1998). Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: Implications for climate warning. *Journal of the American Water Resources Association*, **34**(5), pp. 1109-1121.

Schaake, J. C. (1990). From climate to flow, in Climate Change and U.S. Water Resources. John Wiley, New York.

Sen, A. and Srivastava, M. S. (1975). On tests for detecting change mean. *Annals of Statistics*, **3**, pp. 98-108.

Vogel, R. M., Wilson, I., and Daly, C. (1999). Regional regression models of annual streamflow for the United States. *J. Irrig. Drain. Eng.*, **125**(3), pp. 148-157.

Webb, B. W., Clack, P. D., and Walling, D. E. (2003). Water-air temperature relationships in Devon river system and the role of flow. *Hydrological Process*, **17**, pp. 3069-3084.

Webb, B. W. and Noblis, F. (1997). Long-term perspective on the nature of the air-water temperature relationship: A case study. *Hydrological Process*, **11**, pp. 137-147.