

## 낙동강 주요 지류의 신뢰구간을 고려한 기온-수온 탄성도 분석

박재범·갈병석<sup>†</sup>·김성민<sup>\*</sup>

(주)다온솔루션

<sup>\*</sup>국립환경과학원 낙동강물환경연구소

### Analysis of Air-water Temperature Elasticity Taking into Account the Confidence Interval in Major Tributary of Nakdong River

Jaebeom Park·Byungseok Kal<sup>†</sup>·Seongmin Kim<sup>\*</sup>

Daon Solution co., Ltd.

<sup>\*</sup>Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 15 June 2020, Revised : 30 June 2020, Accepted : 30 June 2020)

#### 요약

본 연구에서는 낙동강 주요 지류의 기온과 수온 자료를 이용하여 탄성도를 산정하고 수온의 민감도 분석을 수행하였다. 탄성도에 대한 신뢰구간 추정과 가설검증이 가능한 비모수 기반의 탄성도 해석기법을 개발하여 기존 중간값을 이용하는 기법과 비교하고 적용성을 검토하였다. 계절적으로 겨울의 탄성도가 낮고 여름과 가을의 탄성도가 높은 것으로 분석되어 기온의 변동에 따른 수온 및 수질의 변동이 클 것으로 분석되었다. 공간적으로 하수처리장 방류수, 중소 축사의 가축폐수, 소규모 공장의 오·폐수 등 인위적인 요인의 영향을 받는 금호강 지역의 탄성도가 낮은 경향을 나타내고 있다. 낙동강 주요 지류의 탄성도는 약 이상이고 유의수준 5%에서 타당하므로 기후변화에 따른 기온-수온 변동이 큰 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 지류, 탄성도, 민감도, 신뢰구간

#### Abstract

In this study, the elasticity was calculated and sensitivity analysis was performed using air-water temperature data of the major tributaries of the Nakdong River. We developed a nonparametric elasticity analysis technique capable of estimating the confidence interval for elasticity and verifying the hypothesis, and examined its applicability compared to the existing method using the median value. It is analyzed that the elasticity of winter is low and the elasticity of summer and autumn is high, so that the fluctuation of water temperature and water quality according to the fluctuation of air temperature is large. The spatial elasticity tends to be low in the Geumho River area, which is influenced by artificial factors such as sewage treatment plant effluent, small and medium-sized livestock wastewater, and small-scale factory wastewater. Since the elasticity of major tributaries of the Nakdong River is over weak and is reasonable at a significance level of 5%, it was analyzed that the air-water temperature fluctuation caused by climate changes is large.

Key words : Tributary, Elasticity, Sensitivity, Confidence Interval

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Daon Solution co., Ltd.  
E-mail: kalbs9801@gmail.com

• Jaebeom Park Daon Solution co., Ltd. / Director (econeural@gmail.com)  
• Byungseok Kal Daon Solution co., Ltd. / Director (kalbs9801@gmail.com)  
• Seongmin Kim Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Researcher (frogsmin@korea.kr)

## 1. 서 론

유역은 시간에 따라 변화하는 동적 시스템으로 변화하는 유역의 성질 중 하나가 수온이다. 사회기반시설, 인구, 토지이용, 기후패턴의 변화는 수온 변화에 큰 영향을 미치고 있다. 특히, 기후변화에 따른 기온 증가로 수온이 변화하고 이 영향으로 수질과 수생생물의 서식환경이 변화하게 된다. 이런 이유로 수온은 수문학자, 생태학자, 환경공학자 등의 하천 수질 관련 의 사결정에 중요하게 고려해야 하는 문제로 대두되고 있다.

유역 내 고도, 위도, 식생 등의 지형 인자와 바람, 운량, 일사량 등의 기후 인자는 하천 수온 변화에 크게 이바지하므로 하천 수온에 대한 예측을 위해서는 지형과 기후 인자들을 통합한 연구가 필요하다(Pilgrim et al., 1998). 기온-수온 사이의 상관성과 민감도는 평균 데이터가 일에서 월 단위로 증가할 때 커지는 경향이 있으나 연 단위 데이터에서는 나타나지 않는다. 또한, 하수처리장 방류수, 농축산 폐수 등의 인간에 의한 영향과 지하수의 유입, 정체 수역 등의 영향을 받는 하천은 낮은 수온-기온 사이의 상관성을 보이며 높은 기온에서 기하급수적으로 증가하는 경향이 있다(Mohseni et al., 1998). 기온에 대한 수온의 민감도는 탄성도(Elasticity)로 표현할 수 있으며 물리적인 의미가 있다. 탄성도가 약 0의 값을 가지면 기후는 수온에 영향을 미치지 않으며 ±1의 값을 가지면 높은 민감도가 있다(Jiang et al., 2014).

국내에서는 하천 수온의 영향 인자분석과 상관성 분석 중심의 연구가 진행 중이며 기온과 수온 사이의 민감도 관련 연구는 거의 없는 실정이다. Chung et al.(2006)은 강우-유출에 따른 하천 수온의 강하 현상을 예측하기 위해 일 평균기온, 이슬점 온도, 하천 유량을 이용한 로지스틱 모형을 구축하여 강우시 수온 변동과 대청호 유입 탁수의 시공간분포를 예측에 활용하였다. Shon et al.(2010)은 비모수적 탄성도를 이용하여 기후변화에 따른 낙동강 유역의 기온 경향성 및 수온과의 탄성도를 분석하였다. Lee et al.(2013)은 국가수질측정망의 수온과 기상관측소의 기온 자료를 이용하여 기온-수온 사이의 비선형 로지스틱 모형을 구축하여 기후변화에 따른 미래 하천 수온예측을 위한 기법을 제시하였다. Park et al.(2016)은 낙동강 중류 지역에 깊이별 수온 관측 장비를 설치하여 수변 지역에서 나타나는 수온과 기온 사이의 기상 현상을 분석하여 수변 지역의 기후변화 진단을 위한 기초자료를 제공하였다.

국외의 경우 기후변화에 따른 수질 변화의 가능성이 제기됨에 따라 수질에 가장 큰 영향을 미치는 수온 변화에 대한 많은 연구가 진행 중이다. Caissie(2006)은 하천의 수온에 영향을 미치는 자연적 요인을 대기조건, 지형, 하천 유량, 하천 퇴적물로 분류하였다. Morrill et al.(2005)은 13개국 43개 하천에 대한 수온 변화를 조사하여 기온이 1°C 증가하였을 때 수온이 0.6 ~ 0.8°C 증가하는 것으로 분석하였다. Whitehead et al.(2009)은 기온의 상승과 유사하게 수온이 상승하고 있으며 다뉴브강과 라인강 같은 유럽의 대규모 하천에서 100년 동안의 수온이 1 ~ 3°C 상승한 것으로 분석하였다.

본 연구에서는 낙동강수계 중점관리 34개 지점을 대상으로 기온과 수온 사이의 민감도 분석을 위하여 신뢰구간을 고려한 비모

수(Nonparameter) 기반의 탄성도 해석기법을 개발하였다. 기온-수온 탄성도에 대한 유의수준에 따른 적합도와 신뢰구간을 산정하고 탄성도를 등급화하여 시공간적인 유의성과 크기를 분석하였다. 이를 통하여 탄성도를 이용한 지류의 수온 관리를 위한 방법론을 개발하였으며 낙동강수계 34개 중점관리 지점에 대한 기후변화에 따른 기온-수온 탄성도의 지역적 차이를 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상 자료

본 연구에서는 낙동강물환경연구소에서 하천 모니터링을 수행하고 있는 34개 중점관리지점을 대상으로 수온의 기온 탄성도를 산정하고 신뢰구간의 분석을 수행하였다. 중점관리지점의 관측자료는 월(monthly) 기온, 수온 자료를 사용하였으며 관측 개시일로부터 9년(2011~2019년) 자료를 대상으로 하였다. 중점관리지점의 기온 자료는 구미, 창원, 김해 등 8개 기상청 중점기상관측소의 관측일 자료를 최근린 거리를 기준으로 선정하였다. 낙동강수계 중점관리지점의 현황은 Fig. 1과 같다.

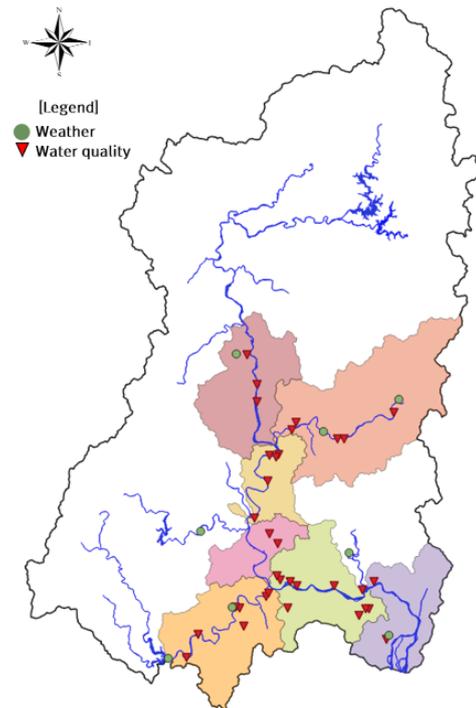


Fig. 1. The study area and location of monitoring sites in Nakdong river

### 2.2 분석 방법

기후변화에 따른 유량의 강우 탄성도를 산정하기 위해 많은 연구가 수행되었다. Schaake(1990)는 경제학에서 사용하는 탄성도의 개념을 기후변화에 따른 유량의 민감도를 산정하기 위해 Eqn. 1과 같이 도입하였다. 여기서,  $P$ 는 강우,  $Q$ 는 유량,  $dP$ 는 강우의 순간 변화,  $dQ$ 는 유량의 순간 변화를 의미한다. 탄성도를 산정할 경우 주요 어려움은 수문모형을 이용하거나 수학적 공식을 적용하는 데 있으며 이를 해결하기 위해

Sankarasubramanian et al(2001)은 기후 변수의 평균을 이용하는 Eqn. 2와 같은 해석기법을 도입하였으며 추가적인 연구를 통해 Eqn. 3과 같은 비모수적 통계치를 제안하였다.

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

$$\varepsilon_p(\mu_p, \mu_Q) = \left. \frac{dQ}{dP} \right|_{P=\mu_p} \frac{\mu_P}{\mu_Q} \tag{2}$$

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

본 연구에서는 기온-수온 탄성도를 산정하기 위한 비모수적 기법으로 Eqn. 3에 기온  $T_a$ 와 수온  $T_w$ 를 대입하여 Eqn. 4를 개발하였다.

$$\varepsilon_{T_a}(T_a, T_w) = \text{median} \left( \frac{T_w - \bar{T}_w}{T_a - \bar{T}_a} \frac{\bar{T}_a}{\bar{T}_w} \right) \tag{4}$$

중간값을 이용한 수온 탄성도(AWME, Air-Water temperature Median Elasticity)의 이점은 극치 기후 사상에서 발생하는 이상치(outlier)의 영향을 최소화 할 수 있다는 데 있다. 하지만, 수온의 경우 기후변화에 따른 극치 기후 사상의 영향을 받으므로 이상치를 포함해야 한다. 또한, AWME는 탄성도의 신뢰구간에 대한 추정이 불가능한 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 Eqn. 1의 개념과 기후요소의 평균을 이용하여

Eqn. 5과 같은 형태의 탄성도(AWOE, Air-Water temperature OLS Elasticity)를 개발하였다. Eqn. 5는 OLS(Ordinary Least Square)를 이용하여 산정 가능하며 t 검정을 이용하여 유의성을 검증하고 유의확률에 따른 신뢰구간을 추정할 수 있다.

$$\left( \frac{T_w - \bar{T}_w}{T_w} \right) = \varepsilon_{T_a}(T_a, T_w) \left( \frac{T_a - \bar{T}_a}{T_a} \right) \tag{5}$$

탄성도를 4등급으로 분류하여 신뢰도를 평가하였다. 탄성도의 신뢰도는 유의수준을 1%, 5%, 10%을 기준으로 1% 이하는 1등급, 1~5%는 2등급, 5~10%는 3등급, 10% 이상은 4등급으로 구분하여 등급화하였다. 또한, 탄성도의 강도를 Jiang et al.(2014)이 제안한 수질에 대한 기준을 준용하여 1, 0.5, 0.1 기준으로 1 이상 1등급(완전, Unit), 0.5~1.0 2등급(강, Strong), 0.1~0.5 3등급(약, Weak), 0.1이하 4등급(무, Non)으로 분류하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 월별 평가

월별 기온-수온 사이의 산포도 시각화 결과는 Fig. 2과 같다. 월별 기온-수온 사이의 상관도는 구미천, 남천, 달서천, 천내천, 용하천 등의 경우 다른 하천에 비교해 다소 낮으나 0.90 ~ 0.98로서 모든 지점에서 높은 상관성을 나타내고 있다. 월별 자료의 기온은 -8 ~ 36°C, 수온은 0.1~35.9°C로서 겨울철이 낮고 가을철에 큰 값을 나타내고 있다.

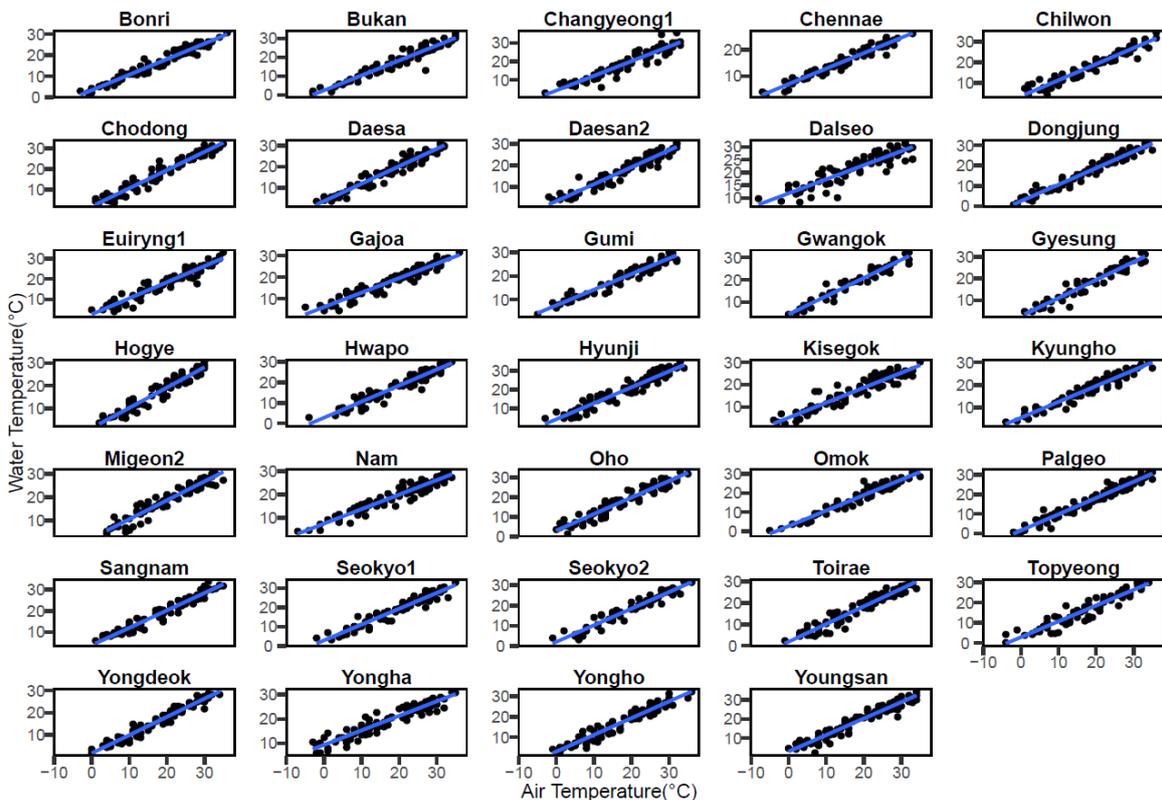


Fig. 2. Monthly scatter plot of air-water temperature in each station

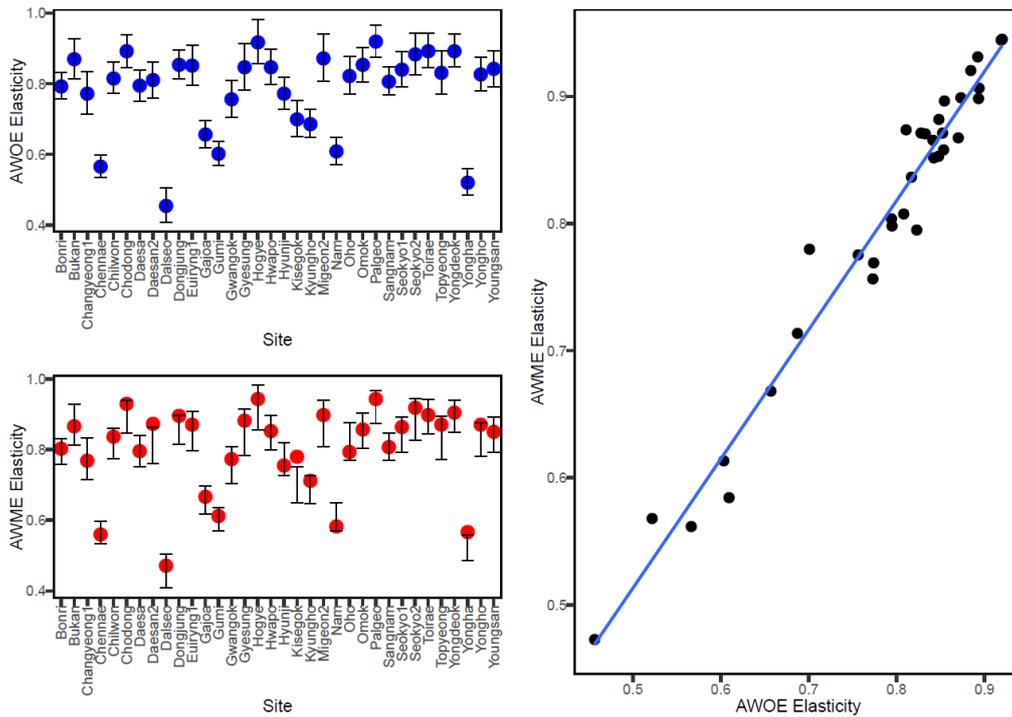


Fig. 3. Correlation and 95% confidence interval analysis of monthly elasticity

Table 1. Results of monthly air–water temperature elasticity analysis in each station

Tributary	Elasticity		Grade		Tributary	Elasticity		Grade	
	AWME	AWOE	Els*	Sig**		AWME	AWOE	Els*	Sig**
Gumi	0.61	0.60	2	1	Seokyo1	0.87	0.84	2	1
Kyungho	0.71	0.69	2	1	Seokyo2	0.92	0.88	2	1
Dongjung	0.90	0.85	2	1	Euiryung1	0.87	0.85	2	1
Bukan	0.87	0.87	2	1	Daesan2	0.87	0.81	2	1
Omok	0.86	0.85	2	1	Daesa	0.80	0.79	2	1
Nam	0.58	0.61	2	1	Gwangok	0.78	0.76	2	1
Palgeo	0.94	0.92	2	1	Gyesung	0.88	0.85	2	1
Dalseo	0.47	0.46	3	1	Chilwon	0.84	0.82	2	1
Chennaе	0.56	0.57	2	1	Youngsan	0.85	0.84	2	1
Kisegok	0.78	0.70	2	1	Oho	0.79	0.82	2	1
Bonri	0.80	0.79	2	1	Yongdeok	0.91	0.89	2	1
Yongha	0.57	0.52	2	1	Toirae	0.90	0.89	2	1
Yongho	0.87	0.83	2	1	Hwapo	0.85	0.85	2	1
Topyeong	0.87	0.83	2	1	Chodong	0.93	0.89	2	1
Changyeong1	0.77	0.77	2	1	Sangnam	0.81	0.81	2	1
Gajoa	0.67	0.66	2	1	Migeon2	0.90	0.87	2	1
Hyunji	0.76	0.77	2	1	Hogyе	0.94	0.92	2	1

\* Elasticity : 1(e=1), 2(0.5≤e<1), 3(0.1≤e<0.5), 4(e≤0.1), \*\* Significance : 1(p<1%), 2(5%≤p<1%), 3(5%≤p<10%), 4(p≥10%),

낙동강 주요 지류의 월별 탄성도 산정결과는 Table 1과 같다. 월별 탄성도 결과는 AWME 평균 0.8(0.47 ~ 0.95), AWOE 평균 0.79(0.46~0.92)로 1등급(strong) 탄성도를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 또한, AWME 기법의 경우 수온의 이상치를 반영하지 못하므로 AWOE에 비해 0 ~ 0.05 정도 낮은 탄성도 값을 나타내고 있다. Fig. 3의 AWME과 AWOE에 대한 95% 신뢰구간

분석과 상관성 분석에서 알 수 있는 것과 같이 상관계수는 0.98로서 높은 상관성을 보이며 양 기법 모두 유의수준 5% 내에서 유의한 것으로 분석되었다. 따라서 월별 자료의 경우 수온 관측자료의 신뢰성을 미치는 이상치 자료가 적으며 관측 기간의 수온이 기온의 변화를 잘 반영하는 것으로 분석되었다. 구미천, 남천, 달서천, 천내천, 용하천은 AWOE 0.6, 0.61, 0.46, 0.57, 0.52로 낮은 탄

성도를 나타내고 있다. 구미천, 남천, 달서천, 용하천의 경우 인 구밀도가 상대적으로 높고 주변에 하수처리장의 방류수가 수온에 영향을 미치는 하천이다. 남천의 경우 소규모 축사와 농업 활동의 영향으로 발생하는 방류수가 추가로 수온에 영향을 미치는 지역이다. 특히, 남천, 달서천 등의 금호강 지역은 하수처리장의 방류수 유입, 중소 축사의 가축폐수, 소규모 공장 지역의 오폐수 유입 등의 복합적인 요인들이 수온에 영향을 미치고 있다.

3.2 계절별 평가

계절별 기온과 수온의 상관성은 다음과 같다. 기온과 수온 모두 여름>가을>봄>겨울 순으로 높은 온도를 나타내고 있다. 봄과 가을의 경우는 상대적으로 변동성이 크고 여름과 겨울의 경우 일정한 온도를 보이는 전형적인 계절적 특성을 나타내고 있다. 기온-수온 사이의 상관관계는 봄 0.91, 여름 0.79, 가을

0.93, 겨울 0.67로 봄과 가을에 비해 여름과 겨울에 상대적으로 낮은 상관성을 보이며 창녕천, 달서천, 미전천2, 퇴래천, 계성천의 겨울철 상관계수는 0.46, 0.48, 0.48, 0.43, 0.5로 0.5 이하의 낮은 상관계수를 나타내고 있다.

낙동강 주요 지류의 계절별 탄성도 산정결과는 Table 2과 같다. 해석기법에 따른 계절별 탄성도의 차이는 봄, 가을의 경우 -0.1 ~ 0.1, 여름 -0.23 ~ 0.2, 겨울 -0.26 ~ 0.39로 기온-수온 사이의 상관관계가 떨어지는 여름과 겨울에 큰 수치를 나타내고 있다. AWOE 탄성도 기준으로 봄, 여름, 가을의 경우 평균 0.67, 0.66, 0.76으로 강 탄성도를 나타내고 있으나 겨울의 경우 0.27로 약 탄성도를 나타내고 있다. 특히, 겨울의 경우 천내천 0.05, 달서천 0.03, 용하천 0.09, 영산천 0.04로 비탄성도(4등급)를 나타내고 있다. 2가지 탄성도의 계절별 상관계수는 기온-수온 사이의 상관성과 유사하게 봄

Table 2. Results of seasonal air-water temperature elasticity analysis in each station

Tributary	Spring				Summer				Fall				Winter			
	Elasticity		Grade		Elasticity		Grade		Elasticity		Grade		Elasticity		Grade	
	AWME	AWOE	Els*	Sig**												
Gumi	0.60	0.56	2	1	0.60	0.60	2	1	0.51	0.62	2	1	0.13	0.16	3	1
Kyungho	0.70	0.72	2	1	0.77	0.61	2	1	0.60	0.64	2	1	0.24	0.25	3	1
Dongjung	0.84	0.78	2	1	0.75	0.66	2	1	0.85	0.84	2	1	0.24	0.50	3	1
Bukan	0.80	0.72	2	1	0.92	0.74	2	1	0.83	0.90	2	1	0.52	0.47	3	1
Omok	0.81	0.78	2	1	0.54	0.55	2	1	0.83	0.85	2	1	0.41	0.45	3	1
Nam	0.50	0.53	2	1	0.47	0.47	3	1	0.52	0.55	2	1	0.19	0.21	3	1
Palgeo	0.74	0.78	2	1	0.62	0.62	2	1	0.98	1.00	1	1	0.70	0.65	2	1
Dalseo	0.37	0.39	3	1	0.41	0.29	3	2	0.47	0.41	3	1	0.12	0.09	4	3
Chenna	0.49	0.49	3	1	0.61	0.52	2	1	0.54	0.55	2	1	0.05	0.05	4	1
Kisegok	0.70	0.64	2	1	0.56	0.58	2	1	0.64	0.55	2	1	0.26	0.24	3	1
Bonri	0.70	0.70	2	1	0.44	0.58	2	1	0.82	0.75	2	1	0.30	0.36	3	1
Yongha	0.56	0.47	3	1	0.45	0.43	3	1	0.52	0.43	3	1	0.08	0.09	4	1
Yongho	0.78	0.70	2	1	0.67	0.66	2	1	0.93	0.84	2	1	0.19	0.22	3	1
Topyeong	0.72	0.66	2	1	0.90	0.91	2	1	0.84	0.81	2	1	0.33	0.24	3	2
Changyeong1	0.71	0.65	2	1	0.32	0.55	2	1	0.76	0.78	2	1	0.11	0.14	3	4
Gajoa	0.47	0.52	2	1	0.80	0.73	2	1	0.64	0.62	2	1	0.29	0.21	3	1
Hyunji	0.56	0.56	2	1	0.60	0.83	2	1	0.72	0.85	2	1	0.23	0.15	3	2
Seokyo1	0.72	0.71	2	1	0.67	0.71	2	1	0.84	0.84	2	1	0.75	0.37	3	1
Seokyo2	0.59	0.75	2	1	0.79	0.80	2	1	0.95	0.80	2	1	0.83	0.50	3	1
Euiryung1	0.66	0.65	2	1	0.75	0.83	2	1	0.80	0.81	2	1	0.06	0.32	3	1
Daesan2	0.87	0.75	2	1	0.56	0.61	2	1	0.85	0.89	2	1	0.12	0.25	3	3
Daesa	0.71	0.66	2	1	0.75	0.55	2	1	0.89	0.83	2	1	0.17	0.15	3	2
Gwangok	0.72	0.60	2	1	0.85	0.77	2	1	0.65	0.69	2	1	0.38	0.31	3	1
Gyesung	0.84	0.72	2	1	0.80	0.76	2	1	0.78	0.84	2	1	0.26	0.19	3	4
Chilwon	0.88	0.78	2	1	1.01	0.96	2	1	0.84	0.79	2	1	0.02	0.15	3	4
Youngsan	0.76	0.75	2	1	0.90	0.71	2	1	0.75	0.79	2	1	0.21	0.04	4	4
Oho	0.57	0.63	2	1	0.50	0.61	2	1	0.89	0.86	2	1	0.28	0.30	3	2
Yongdeok	0.78	0.78	2	1	0.58	0.67	2	1	0.91	0.85	2	1	0.39	0.41	3	1
Toirae	0.79	0.82	2	1	0.77	0.65	2	1	0.85	0.87	2	1	0.20	0.26	3	2
Hwapo	0.80	0.63	2	1	0.82	0.73	2	1	0.75	0.80	2	1	0.19	0.36	3	1
Chodong	0.71	0.71	2	1	0.60	0.66	2	1	0.99	0.93	2	1	0.19	0.19	3	4
Sangnam	0.82	0.76	2	1	0.78	0.77	2	1	0.73	0.76	2	1	0.20	0.24	3	1
Migeon2	0.78	0.69	2	1	0.67	0.51	2	1	0.76	0.75	2	1	0.01	0.28	3	4
Hogye	0.78	0.82	2	1	0.83	0.72	2	1	0.89	0.88	2	1	0.61	0.43	3	1

\* Elasticity : 1(e=1), 2(0.5≤e<1), 3(0.1≤e<0.5), 4(e≤0.1), \*\* Significance : 1(p<1%), 2(5%≤p<1%), 3(5%≤p<10%), 4(p≥10%),

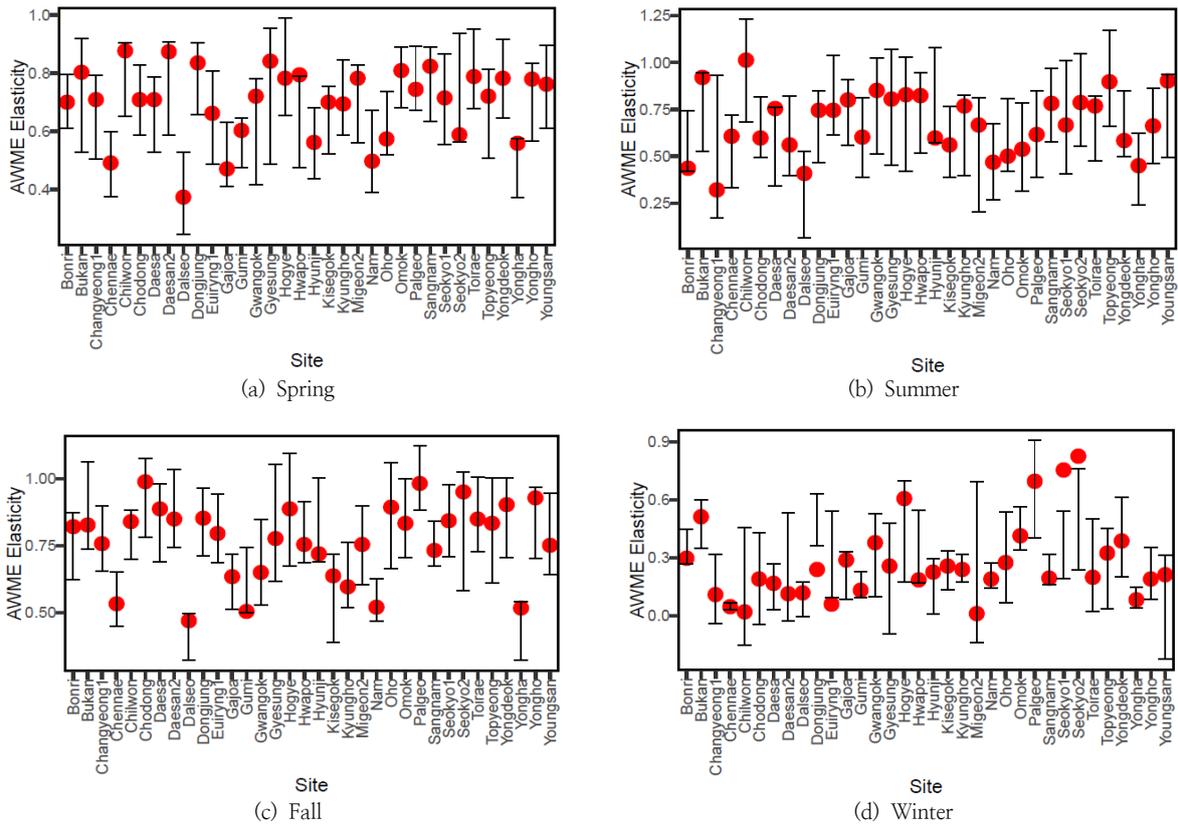


Fig. 4. Confidence interval analysis of seasonal elasticity(AWME, 95%)

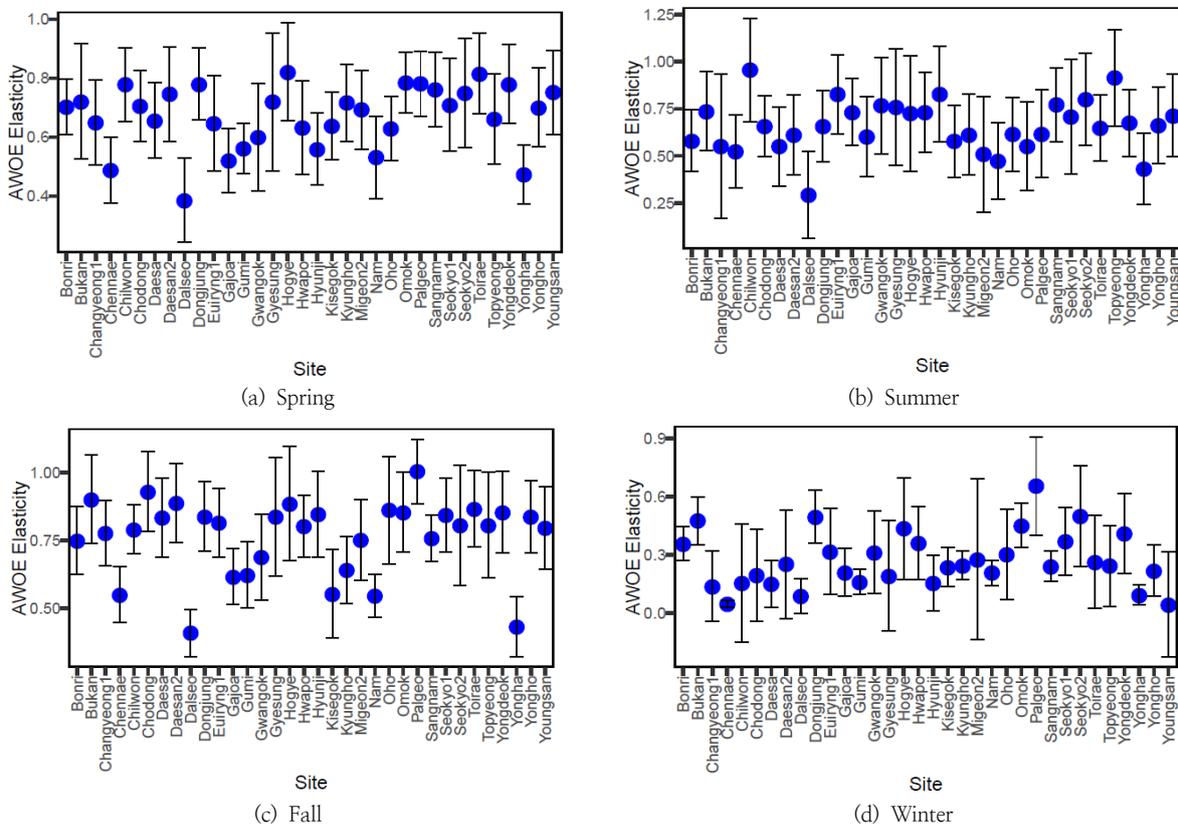


Fig. 5. Confidence interval analysis of seasonal elasticity(AWOE, 95%)

0.85, 여름 0.76, 가을 0.91, 겨울, 0.73을 나타내고 있다. 95% 신뢰구간에서 계절별 탄성도에 대한 유의성 검증결과는 Fig. 4 ~ Fig. 5와 같다. 봄, 여름, 가을의 경우 달서천(2등급)을 제외한 33개 지점이 모든 유의수준 1%에서 유의한 것으로 분석되었다. 겨울의 경우 대사천, 현지천, 오호천, 퇴례천, 토평천 등 5개 지점은 유의수준 5%, 대사천, 대산천2 등 2개 지점은 유의수준 10%에서 유의한 것으로 분석되었다. 창녕천 1, 칠원천, 초동천, 계성천, 미전천2, 영산천 등은 4등급으로 유의수준 10% 이하의 값으로 신뢰도가 낮은 지점으로 분석되었다.

따라서 계절별 자료의 경우 봄, 여름, 가을은 수온 관측자료의 신뢰성을 미치는 이상치 자료가 적으며 관측 기간의 수온이 기온의 변화를 잘 반영하나 겨울은 이상치 자료가 많으며 수온의 변화를 기온으로 설명할 수 없는 것으로 분석되었다. 구미천, 남천, 달서천, 천내천, 용하천의 경우 계절별 탄성도는 AWOE 기준으로 봄 0.56, 0.53, 0.39, 0.49, 0.47, 여름 0.6, 0.47, 0.29, 0.52, 0.43, 가을 0.62, 0.55, 0.41, 0.55, 0.43, 겨울 0.16, 0.21, 0.09, 0.05, 0.09로 낮은 탄성도를 나타내고 있다.

이것은 인구밀도가 높고 주변 오염원이 있는 구미천, 남천, 달서천 등의 하천은 여름철과 겨울철의 경우 기온의 변화가 적고 하수처리장의 방류수 유입, 중소축사의 가축폐수 유입, 소규모 공장 지역의 오·폐수 유입, 정제 수역 등의 인위적 요인이 여름과 겨울철의 수온에 높은 영향을 미치고 있음을 의미한다. 특히, 남천, 달서천 등의 급호강 지역은 하수처리장의 방류수 유입, 중소축사의 가축폐수, 소규모 공장 지역의 오·폐

수 유입 등의 복합적 요인들의 수온에 대한 영향은 계절적으로 겨울에 더 큰 영향을 미치고 있다.

### 3.3 연간 평가

연간 기온-수온 사이의 산포도 시각화 결과는 Fig. 6와 같다. 연간 기온-수온 사이의 상관도는 대산2, 달서천, 남천, 영산천 등의 경우 다른 하천에 비교해 상관성이 다소 낮으나 월, 계절별 자료와 유사하게 평균 0.7 이상의 상관성을 나타내고 있다.

낙동강 주요 지류의 연간 탄성도 산정결과는 Table 3과 같다. 연간 탄성도 결과는 AWME 평균 0.27(0.01 ~ 0.83), AWOE 평균 0.27(0.04~0.65)로 평균 3등급(weak) 탄성도를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 또한, AWME의 경우 수온의 이상치를 반영하지 못하므로 월, 계절과 유사하게 AWOE에 비해 낮은 탄성도 값을 나타내고 있다.

연간 탄성도에 대한 상관도와 95% 신뢰구간을 시각화한 결과는 Fig. 7과 같다. AWME와 AWOE 사이의 상관계수는 0.2로서 매우 낮은 상관성을 보이며 토평천, 현지천, 대사천, 오호천, 퇴례천의 경우 2등급으로 유의수준 5%에서 유의한 것으로 검토되었다. 창녕천, 계성천, 칠원천, 영산천, 초동천, 미전천2 지점의 경우 4등급으로 탄성도가 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

따라서 선행연구와 유사하게 평균 자료가 월에서 연 단위로 증가할 때 기온-수온 사이의 상관성과 탄성도가 낮은 경향을 나타내고 있다. 연 단위의 경우도 인구밀도가 상대적으로 높고

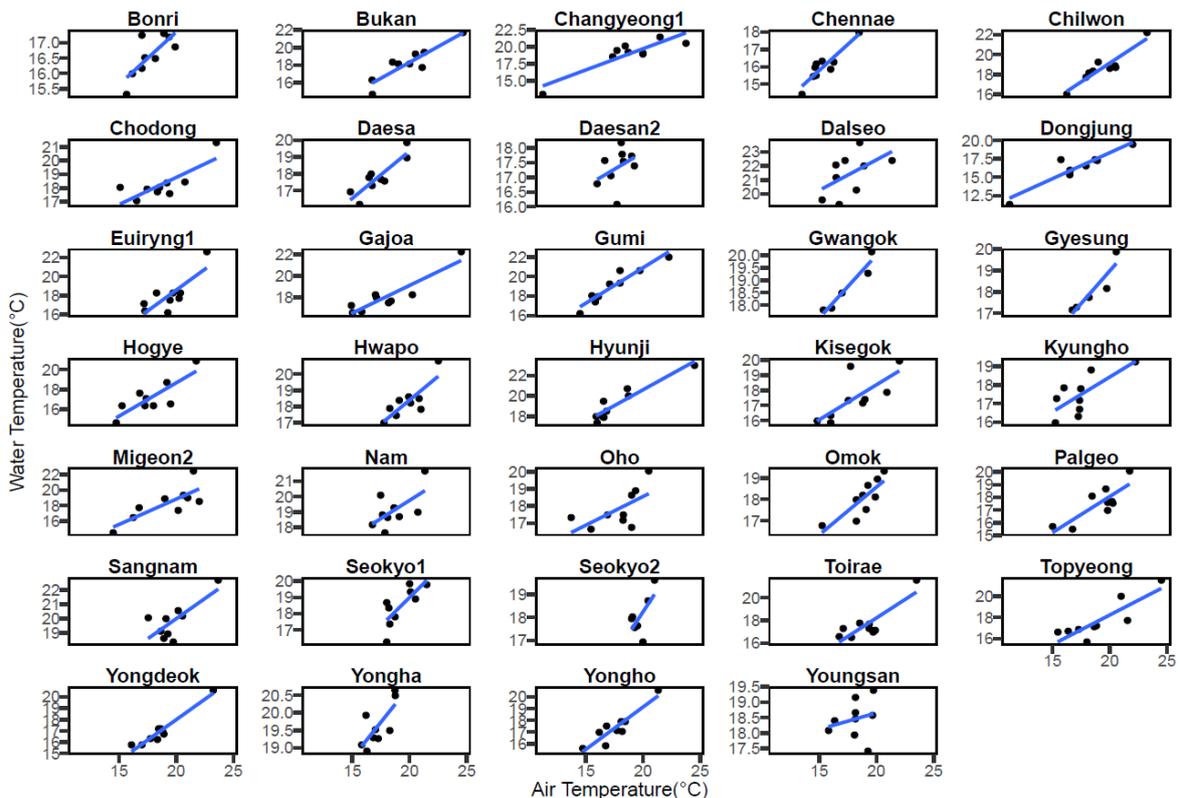


Fig. 6. Yearly scatter plot of air-water temperature in each station

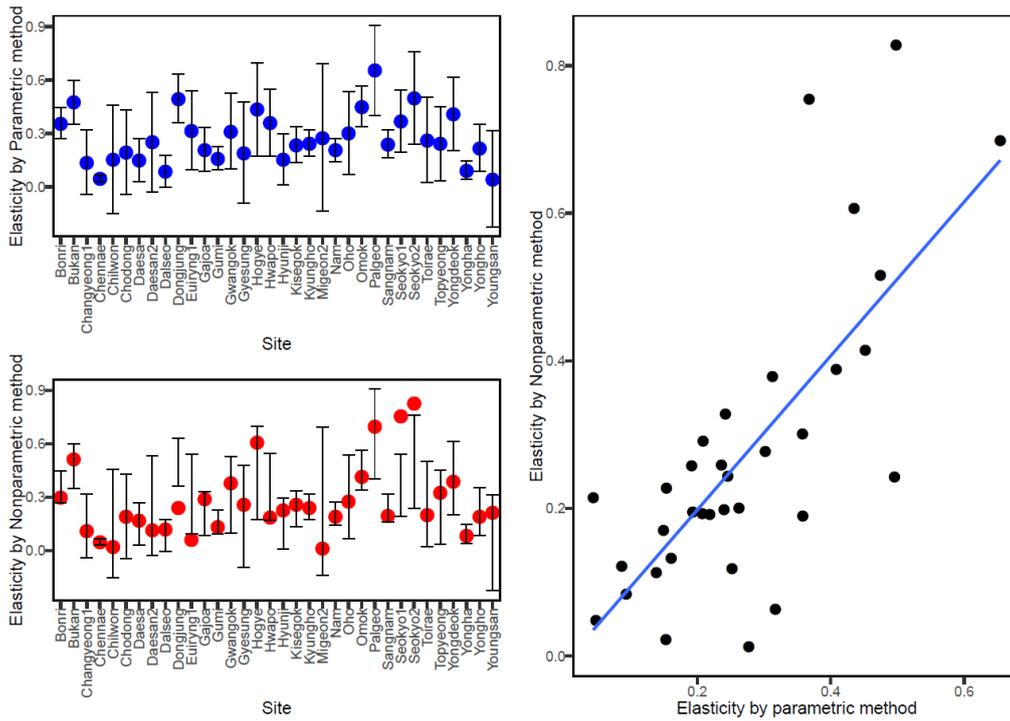


Fig. 7. Yearly result of air-water temperature elasticity in each station

Table 3. Results of yearly air-water temperature elasticity analysis in each station

Tributary	Elasticity		Grade		Tributary	Elasticity		Grade	
	AWME	AWOE	Elast*	Sigf**		AWME	AWOE	Elast*	Sigf**
Gumi	0.13	0.16	3	1	Seokyo1	0.75	0.37	3	1
Kyungho	0.24	0.25	3	1	Seokyo2	0.83	0.50	3	1
Dongjung	0.24	0.50	3	1	Euiryung1	0.06	0.32	3	1
Bukan	0.52	0.47	3	1	Daesan2	0.12	0.25	3	3
Omok	0.41	0.45	3	1	Daesa	0.17	0.15	3	2
Nam	0.19	0.21	3	1	Gwangok	0.38	0.31	3	1
Palgeo	0.70	0.65	2	1	Gyesung	0.26	0.19	3	4
Dalseo	0.12	0.09	4	3	Chilwon	0.02	0.15	3	4
Chennae	0.05	0.05	4	1	Youngsan	0.21	0.04	4	4
Kisegok	0.26	0.24	3	1	Oho	0.28	0.30	3	2
Bonri	0.30	0.36	3	1	Yongdeok	0.39	0.41	3	1
Yongha	0.08	0.09	4	1	Toirae	0.20	0.26	3	2
Yongho	0.19	0.22	3	1	Hwapo	0.19	0.36	3	1
Topyeong	0.33	0.24	3	2	Chodong	0.19	0.19	3	4
Changyeong1	0.11	0.14	3	4	Sangnam	0.20	0.24	3	1
Gajoa	0.29	0.21	3	1	Migeon2	0.01	0.28	3	4
Hyunji	0.23	0.15	3	2	Hogye	0.61	0.43	3	1

\* Elasticity : 1( $e=1$ ), 2( $0.5 \leq e < 1$ ), 3( $0.1 \leq e < 0.5$ ), 4( $e \leq 0.1$ ), \*\* Significance : 1( $p < 1\%$ ), 2( $5\% \leq p < 1\%$ ), 3( $5\% \leq p < 10\%$ ), 4( $p \geq 10\%$ ),

주변에 하수처리장의 방류수가 수온에 영향을 미치는 구미천, 남천, 달서천, 용하천 지점의 탄성도가 0.16, 0.21, 0.09, 0.09로 낮은 값을 나타내고 있다. 대상 기간에 따라 차이는 있지만, 남천, 달서천 등의 금호강 지역에 대한 수온의 탄성도를 파악하기 위해서는 하수처리장의 방류수 유입, 중소축사의 가축폐수 유입, 소규모 공장 지역의 오·폐수 유입 등의 복합적

요인들에 대한 고려가 필요할 것으로 분석되었다.

#### 4. 결 론

본 연구의 목적은 수온의 기온에 대한 AWME와 AWOE 탄성도를 검토하고 신뢰구간의 산정이 가능한 AWOE 탄성도의

활용 가능성을 검토하는 데 있다. 낙동강수계 지류 34개 중점 관리 지점에 대한 AWME와 AWOE 탄성도를 산정하였다. 또한, T-Test 결과를 이용하여 탄성도에 대한 신뢰구간을 산정하고 탄성도의 유효성을 검토하였다.

본연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기온-수온 사이의 상관성과 탄성도는 평균 데이터가 일에서 연 단위로 증가할수록 작아지는 경향이 있으며 연 단위 데이터에서 탄성도가 0.27로 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 계절적으로 봄, 여름, 가을의 경우 평균 0.67, 0.66, 0.76으로 강 탄성도(2등급), 기온의 변동성이 적은 겨울에 탄성도 0.27로 약 탄성도(3등급)를 나타내고 있다.

(2) 남천, 달서천 등의 금호강 지역은 수온의 시간적 해상도와 계절과 관계없이 3등급 이하의 탄성도를 가지고 있으므로 이들 지류에 대한 수온 관리를 위해서는 하수처리장의 방류수, 중소 축사의 가축폐수, 소규모 공장 지역의 오·폐수 등의 유입에 대한 관리가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 탄성도의 강도와 유의수준을 4등급으로 구분하여 등급화하였다. 낙동강 중점관리지점의 수온 탄성도에 대한 강도와 유의성 분석결과는 계절적으로 겨울, 공간적으로 남천, 달서천 등의 금호강 지역을 제외한 대부분 지점에서 약 탄성도 이상(3등급)과 5% 유의수준에서 타당한 것으로 분석되었다.

(4) 따라서 탄성도 강도와 유의성 검증을 고려하여 볼 때 낙동강 주요 지류는 기온변화에 따른 수온의 변동이 클 것으로 판단된다. 또한, 남천, 달서천 등의 금호강 지역에 대한 수온이 복합적인 요인의 영향을 받으므로 해당 하천에 대한 정밀 모니터링을 통한 원인분석과 이에 따른 수질 개선에 대한 대책이 우선 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 낙동강수계관리위원회에서 시행한 “낙동강수계 지류-지천 장기 모니터링 및 목표수질 달성도 평가”의 결과입니다.

## References

- Caissie, D(2006), The thermal regime of rivers: A review *Freshwater Biology*, 51, pp.1389-1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>
- Chung SW, Oh JK(2006), River Water Temperature Variation at Upstream of Daecheong Lake During Rainfall Events and Development of Prediction Models, *J. of Korean Water Resource Association*, 39(1), pp.79-88. [Korean Literature] <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2006.39.1.079>
- Jiang, J., Sharma, A., Sivakumar, B. & Wang, P(2014), A global assessment of climate-water quality relationships in large rivers: An elasticity perspective. *Sci Total Environ* 468-469, pp.877-891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.002>
- Lee KH(2013), Building a Nonlinear Relationship between Air and Water Temperature for Climate-Induced Future Water Temperature Prediction, *Korea Environment Institute*, 13(2), pp.21-37.[Korean Literature] <https://dx.doi.org/10.17330/joep.13.2.201406.21>
- Mohseni, O., Stefn, H. G., and Erickson, T. R,(1998). A nonlinear regression model for weekly stream temperature, *Water Resource Research*, 34(10), pp.2685-2692. <https://doi.org/10.1029/98WR01877>
- Morrill, J. C., Bales, R.C., and Conklin, M.H. (2005). Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *J. of Environmental Engineering*, 131, pp. 139-146. 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(139)
- Park JS, Kim KR, Cho CB, Kang MS, Kim BJ(2016), Spatio-temporal Characteristics of Air and Temperature Change in the Middle Reach of the Nakdong River, *J. of Korean Environmental Policy And Administration Society*, 24(3), pp.233-253.[Korean Literature] <https://dx.doi.org/10.15301/jepa.2016.24.3.233>
- Pilgrim, J. M., Fang, X., and Stefan, H. G.(1998), Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: Implications for climate warning, *J. of the American Water Resources Association*, 34(5), pp.98-108. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb04158.x>
- Sankarasubramanian, A., Vogel, R.M, Limbrunner, J.F.(2001), Climate elasticity of Streamflow in the United States, *Water Resource.Rs*, 37(6), pp.1771-1781. <http://dx.doi.org/10.1029/2000wr900330>
- Schaake, J.C., Waggoner, P.(1990), From climate to flow. *Climate change and US water resources*, pp.177-206.
- Shon TS, Lim YG, Baek MK, Shin HS(2010), Analysis for Air Temperature Trend and Elasticity of Air-water Temperature according to Climate Changes in Nakdong River Basin, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 26(5), pp.822-833.[Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A82400369>
- Whitehead, P.G, Wilby R. L, Battarbee, R. W, Kernan, M, Wade A, J(2009), A review of the potential impacts of climate chagne on surface water quality, *J. of Hydroical Sciences*, 54(1). pp. 101-123. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.101>