

## 연안 해역의 미래 기온변화 예측을 위한 GCM 자료 Downscaling 기법의 신뢰수준 분석

### Reliability Analysis of the GCM Data Downscaling Methods for the Climate-Induced Future Air Temperature Changes in the Coastal Zone

이길하\* · 조홍연\* · 조범준\*

Khil-Ha Lee\*, Hong-Yeon Cho\* and Beom Jun Cho\*

**요지** : 미래 연안 생태환경변화 예측을 위한 기후변화에 따른 수온변화 예측이 필요하며, 연안 수온변화는 GCM 자료에서 제공하는 미래 기온변화 예측자료를 국지적인 기온자료로 Downscaling 기법을 적용하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 선형회귀분석기법을 이용하여 2000년~2005년 우리나라 평균기온자료를 연안해역의 국지적인 기온자료로 Downscaling 하는 방법을 제안하고, 제안한 방법의 검증을 수행하였다. Downscaling 방법의 보정과정에서의 RMS 오차 평균은 1.584 정도이며, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서의 RMS 오차 평균은 1.675, 1.448 정도로 추정오차는 보정과정에서의 오차수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 또한, NSC 값도 보정과정에서는 0.962, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서는 0.955, 0.963으로 보정과정에서의 일치수준을 유지하고 있는 것으로 파악되어 선형회귀분석 기법을 이용한 우리나라 연안의 국지적인 기온은 RMS 오차 1.0~2.0°C 수준으로 전국 평균기온을 이용하여 추정할 수 있다.

**핵심용어** : GCM 자료, Downscaling 기법, 기후변화, 미래 기온, 미래 수온, 검증

**Abstract** : Future impact of anthropogenic climate-induced change on ecological regime has been an issue and information on water temperature is required for estimating coastal aquatic environment. One way to induce water temperature is to relate water temperature to air temperature and GCM is able to provide future air temperature data to do this. However, GCM data of low spatial resolution doesn't incorporate local or site-specific air temperature in need of application, and downscaling processes are essential. In this study, a linear regression is used to relate nationally averaged air temperature to local area for the time period of 2000-2005. The RMSE for calibration (2000-2005) is 1.584, while the RMSE for validation is 1.675 for the year 2006 and 1.448 for the year 2007. The NSC for calibration (2000-2005) is 0.962, while the NSC for validation is 0.955 for the year 2006 and 0.963 for the year 2007. The results show that the linear regression is a good tool to relate local air temperature to nationally averaged air temperature with 1.0~2.0°C of RMSE. The study will contribute to estimate future impact of climate-induced change on aquatic environment in Korean coastal zone.

**Keywords** : GCM data, downscaling methods, climate change, future air temperature, future water temperature, validation

## 1. 서론

지구 온난화 등 미래의 장기 기후변화가 해양환경 및 생태계에 미치는 영향 분석 연구는 해양 환경생태계의 모든 인자를 고려하여 연구하는 것이 타당하지만 가용한 자

료 부족문제로 당분간은 중요한 환경 인자에 중점을 두는 연구가 전개될 전망이다. 수온은 연안 생태계의 가장 중요한 환경인자 중의 하나이며, 미래 연안 생태환경변화를 예측하기 위해서는 미래 기후변화에 따른 수온변화를 예측하는 연구가 수행되어야 한다(Fig. 1참조). 연안 해역

\*한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원(Corresponding author : Hong Yeon Cho, Coastal Development Research Department, KORDI, Ansan PO Box 29, Seoul 425-600, Korea, hycho@kordi.re.kr). 건국대학교 겸임교수

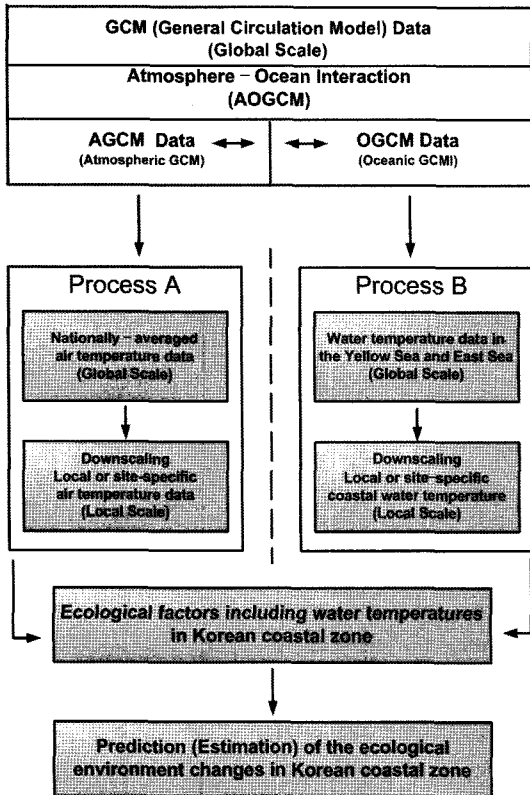


Fig. 1. Flowchart of the Prediction Process on the Future Coastal Ecosystem (The emphasis is on the 'Process A' in this study).

의 수온변화는 인근 지역의 기온변화와 밀접한 관계가 있으며, 국지적으로는 풍속, 대기이동에 의한 혼합, 수심에 따른 혼합시간 등의 영향도 중요하기 때문에 일일평균자료를 이용하는 방법과 더불어 주평균자료를 이용하면 간단하면서도 신뢰할만한 수준을 유지하는 관계식 도출이 가능하다(이길하, 2007; 조홍연 등, 2007). 따라서 관심 대상해역 인근의 미래 기온자료가 가용하다면 미래 수온변화를 적정 수준으로 추정할 수 있다.

미래의 기온자료는 2100년까지의 지구의 미래 기온(기상자료 등)자료를 제공하는 GCM(General Circulation Model) 자료(IPCC, 1999; IPCC-TGCI, 2001; Meehl et al., 2007)를 활용할 수 있으나 공간적인 해상도가 1~5° 정도로 매우 낮다. 즉 우리나라 전체 영역이 격자 1~2개 정도의 대표기온으로 표현되기 때문에 지역적인 기온차이(위도, 고도 등)가 반영되지 못하는 단점이 있다. 따라서 우리나라 전체 대표기온(평균기온)과 주요 관심지점의 기온과의 신뢰할 만한 관계를 파악하는 연구 즉 GCM 기온자료의

Downscaling 방법에 대한 연구와 활용가능성에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 우리나라 기상대의 2000년~2005년까지의 일일 평균 기온자료를 이용하여 우리나라 평균기온을 산정하고 산정된 평균기온과 연안 해역에 위치한 기상대 평균 기온자료와의 관계를 선형회귀분석을 이용하여 관계식을 추출하였다. 추출한 관계식은 2006년~2007년 자료와 검증(validation)을 수행하여 GCM 자료를 이용한 연안 해역 기온 추정을 위한 통계적 Downscaling 기법의 신뢰수준 분석을 수행하고 추정오차를 제시하였다.

## 2. Downscaling 기법

미래의 기온 자료는 일반적으로 GCM(General Circulation Model, Global Climate Model)으로부터 얻게 되는데 GCM 자료의 특성상 공간해상도가 1°~100 km)에서 크기는 5° (~500 km)되므로 지역적 규모의 연안 생태환경 반응을 모의하기 위해서는 GCM 기온 자료의 Downscaling 과정은 필요로 한다.

원격탐사 자료의 수문/대기 모형으로의 적용 또는 그 반대의 적용, 대기모형과 수문/수리 모형의 상호 적용에 있어서 항상 따라다니는 문제점이 축적문제(scaling issues)이며 이 때문에 Downscaling - Upscaling 방법에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. GCM자료(강우, 기온 등)의 Downscaling 적용과정은 통계적인 방법, 동역학적 방법, Regression 방법 등이 많이 제시되어왔는데, 복잡성과 정확도에 있어 서로 장단점이 있다(Table 1참조).

Downscaling 과정 없이도 대기 모형의 격자를 세분화(grid nesting 방법 등)하면 원하는 공간해상도의 정보를 얻을 수 있으나 실질적으로 원하는 공간해상도에 상응하는 모형의 입력 자료를 생성하고, 모형의 보정 및 검증을 수행하는 과정은 매우 비효율적이고 곤란하다. 따라서 공간적 평균 관점에서 제시된 GCM 자료를 이용하고 국지적 정보를 추출하는 적절한 Downscaling 과정을 따르는 것이 효율적이며 실질적으로 적용 가능한 방법이라 할 수 있다.

## 3. 우리나라 평균 기온자료의 Downscaling 과정

### 3.1 우리나라의 전국 평균 기온자료

GCM 자료의 Downscaling 기법 적용을 위한 대상 자료는 우리나라 전국에 걸쳐 분포한 기상청 기상대 자료

**Table 1.** Information of downscaling methods (Wilby, et al., 2004)

Method	Strengths	Weaknesses
<b>Weather Typing</b> (e.g. analogue method, hybrid approaches, fuzzy classification, self organizing maps, Monte Carlo methods)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yields physically interpretable linkages to surface climate</li> <li>• Versatile (e.g., can be applied to surface climate, air quality, flooding, erosion, etc)</li> <li>• Composition for analysis of extreme events</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requires additional task of weather classification</li> <li>• Circulation-based schemes can be insensitive to future climate forcing</li> <li>• May not capture intra-type variations in surface climate</li> </ul>
<b>Weather generators</b> (e.g. Markov chains, stochastic models, spell length methods, storm arrival times, mixture modelling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production of large ensembles for uncertainty analysis or long simulations for extremes</li> <li>• Spatial interpolation of model parameters using landscape</li> <li>• Can generate sub-daily information</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbitrary adjustment of parameters for future climate</li> <li>• Unanticipated effects to secondary variables of changing precipitation parameters</li> </ul>
<b>Regression methods</b> (e.g. <u>linear regression</u> , neural networks, canonical correlation analysis, kriging)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatively straightforward to apply</li> <li>• Employs full range of available predictor variables</li> <li>• "Off-the-shelf" solutions and software available</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poor representation of observed variance</li> <li>• May assume linearity and/or normality of data</li> <li>• Poor representation of extreme events</li> </ul>

23개 지점의 2000년~2007년까지의 일평균 기온자료를 이용하여 분석하였다. 총 23개 지점의 2000년~2005년 기온을 평균한 자료(평균 기온)를 GCM 자료로 간주하였으며, 이 평균기온과 각 기상대의 평균기온과의 관계를 분석하는 방법은 회귀분석 방법을 이용하였다. 일반적으로 기상대의 일일 평균기온 자료는 양호한 상태이므로 아무런 수정이

없이 사용하였다. 2000년~2005년 우리나라 기상대 자료를 이용한 연평균 기온은 12.96°C로 산정되었다. 한편, 우리나라 기상대의 고도 및 위치정보를 정리하여 제시하였다(Table 2참조). 본 연구에서는 최종적인 목표를 연안 생태환경 변화 예측을 위한 연안 수온 변화 예측을 목적으로 수행하고 있기 때문에 연안에 인접한 지점, 즉 서산, 강

**Table 2.** Information of the Korea Meteorological Stations

	관측고도 (m)	기상대 위치		지역구분 (내륙, 연안)
		동경(E)	북위(N)	
대관령	790.0	128° 43'	37° 40'	내륙
서산	25.2	126° 29'	36° 46'	연안
수원	34.5	126° 59'	37° 16'	내륙
천안	21.3	127° 07'	36° 46'	내륙
춘천	76.8	127° 44'	37° 54'	내륙
강릉	26.1	128° 53'	37° 45'	연안
서울	85.5	126° 57'	37° 34'	내륙
인천	54.6	126° 37'	37° 28'	연안
원주	150.7	127° 56'	37° 20'	내륙
청주	56.4	127° 26'	36° 38'	내륙
대전	62.6	127° 22'	36° 22'	내륙
추풍령	242.2	127° 59'	36° 13'	내륙
안동	140.7	128° 42'	36° 34'	내륙
포항	1.3	129° 22'	36° 01'	연안
대구	57.3	128° 37'	35° 53'	내륙
전주	61.1	127° 09'	35° 49'	내륙
광주	74.5	126° 53'	35° 10'	내륙
부산	69.2	129° 01'	35° 06'	연안
목포	37.4	126° 22'	34° 49'	연안
흑산도	68.5	125° 27'	34° 41'	연안
제주	19.9	126° 31'	33° 30'	연안
고산(제주)	70.9	126° 09'	33° 17'	연안
진주	27.1	128° 02'	35° 09'	내륙

릉, 인천, 포항, 부산, 목포, 흑산도, 제주, 제주고산의 9개 지점의 기상대 자료를 중심으로 2006년~2007년 자료를 이용하여 모형의 검증(validation)을 수행하였다.

**3.2 전국평균기온자료와 연안지역 기온자료의 관계식**

앞서 설명하였듯이 지구온난화와 동반한 기후변화에 따른 연안 생태환경 변화 예측을 위한 입력 자료로 필수적인 수온자료를 구하기 위해서는 연안 지역의 기온자료가 필요하다. 연안지역의 기온자료는 GCM 자료로부터 일차적으로 필요한 지역적인 규모의 기온자료를 얻는 과정, 즉 GCM 자료의 Downscaling 과정이 필요하다. Downscaling 방법은 선형관계식을 이용한 통계적인 방법이 널리 사용되고 있는데, 이 연구에서도 다음과 같이 선형관계식이 이용되었다.

$$T_L = aT_G \tag{1}$$

여기서,  $T_L$ =지역인자,  $T_G$ =평균인자,  $a$ =비례계수이다. 식 (1)은 기후 Scenario 조건에 대한 미래의 GCM 기온 자료를 국지적으로 보정하기 위하여 사용된다. 일반적으로, GCM 수행은 미래의 기후변화를 예측하기 위한 모의에 앞서 모의결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 일정기간의 과거 자료를 이용하여 모의한 후 결과를 보정(calibration)하는 과정을 거친다.

한편, 다음 식 (2)와 같은 관측인자 값과 모의인자 값의 차이를 이용한 보정이 이용되기도 한다.

$$T_L = T_G + \Delta T \tag{2}$$

여기서,  $T_L$ =지역인자,  $T_G$ =평균인자,  $\Delta T$ =평균인자와 지역인자의 편차이다.

식 (2)는 기후변화 Scenario 조건에 따른 미래의 GCM 자료를 보정하기 위하여 사용된다. 실질적으로 식 (1)과

(2)는 모형 격자 대 격자 간의 보정에 이용되는데, 본 연구에서와 같이 특정 지역의 기온-수온 관계 연구(예: GCM 격자자료 대 마산 연안 지점 자료)에서는 격자영역(grid area) 대 점(point) 개념의 대응이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 식 (1)과 식(2)의 합성형태로서 다음 식 (3)과 같은 선형 보정식(linear regression function)을 사용하였다.

$$T_L = aT_G + b \tag{3}$$

여기서,  $T_L$ =지역인자,  $T_G$ =평균인자,  $a, b$ =각각 지역 보정계수이다.

평균기온과 연안지역 기온의 선형 회귀분석을 통한 관계식과 결정계수(김우철 등, 2000)는 2000년~2005년 기온자료를 이용하여 분석하였으며, 분석결과를 정리하여 제시하였다(Table 3참조).

식 (3)에 의한 관계식의 결정 계수는 0.939~0.989, 평균 0.963으로 식(1)에 의한 관계식의 결정계수 0.748~0.977, 평균 0.902보다는 좋은 결과를 보여주고 있다. 식 (2)에 의한 결정계수는 0.922~0.983, 평균 0.956으로 식 (1)에 의한 관계식보다는 좋은 결과를 보이고 있으나, 식 (3)을 이용한 방법보다는 다소 미흡한 결과를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 예상한 바와 같이 결정계수에 의하면 식 (3)을 표현되는 선형회귀곡선식을 이용한 방법이 보정과정에서 가장 우수한 결과를 보이고 있는 것으로 파악되어, 우리나라 기온자료 Downscaling 방법의 검증(validation) 및 오차분석은 식 (3)을 이용한 선형 회귀곡선식을 이용한 방법으로 이용하여 수행하였다.

일반적으로 연안지역 평균온도(=13.98)는 전국 평균온도(=12.96)보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 연안 지역 평균온도가 전국 평균온도보다 2~3 °C 이상 높은 제주, 제주고산 지점의 상관계수가 작은 이유는 지리적인 특성(위도차이)의 영향으로 판단된다. 한편, 흑산도 및 강릉

**Table 3.** Determination coefficients comparison of the regression methods

	평균온도 (°C)	Eq. (3)	R <sup>2</sup>	Eq. (1)	R <sup>2</sup>	Eq. (2)	R <sup>2</sup>
서산	11.92	1.06T-1.86	0.989	0.97T	0.977	T-1.049	0.983
강릉	13.31	0.95T+0.98	0.947	1.00T	0.943	T+0.342	0.950
인천	12.71	1.04T-0.79	0.980	1.00T	0.977	T-0.259	0.976
포항	14.49	0.93T+2.39	0.968	1.06T	0.943	T+1.526	0.963
부산	14.70	0.85T+3.68	0.967	1.04T	0.896	T+1.730	0.957
목포	13.85	0.96T+1.43	0.983	1.03T	0.975	T+0.886	0.983
흑산도	13.20	0.81T+2.74	0.939	0.95T	0.896	T+0.236	0.926
제주	16.07	0.80T+5.68	0.953	1.09T	0.765	T+3.105	0.940
제주고산	15.53	0.77T+5.55	0.940	1.05T	0.748	T+2.562	0.922
평균	13.98	-	0.963	-	0.902	-	0.956

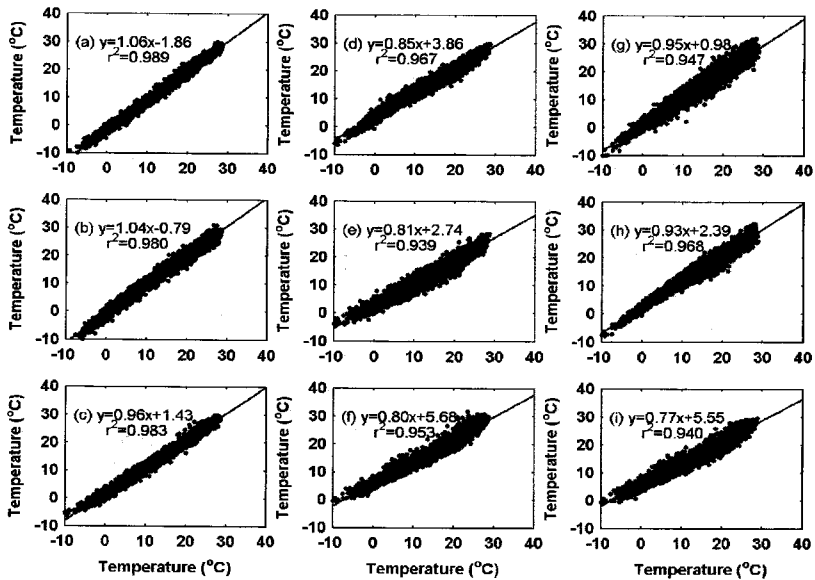


Fig. 2. Scatter plot of the local & global (national-averaged) daily air-temperatures. (a) Seosan, (b) Gangneung, (c) Incheon, (d) Pohang, (e) Busan, (f) Mokpo, (g) Heuksando, (h) Jeju, and (i) Jeju-Gosan Stations.

등은 전국 평균온도와 큰 차이가 없음에도 불구하고 결정계수가 작은 이유는 아마도 지역적인 영향(산맥 및 섬)으로 판단된다.

한편, 시간적인 일치정도를 보기 위하여 연안지역의 기온과 전국 평균기온과의 산포도(scatter plot) 및 선형회귀곡선식 및 결정계수를 제시하였다(Fig. 2참조).

연안지점의 온도변화 경향을 분석하여 전국 평균기온을 이용한 추정 정도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 상대적으로 상관계수 크기가 작은 제주, 제주고산, 흑산도 연안지점은 모두 위도가 다소 낮은 남쪽에 치우친 지점으로 기온이 상대적으로 높은 지점에 해당하며, 미미한 기온 변화 양상이 있는 것으로 판단된다. 그러나 우리나라의 경우 연안의 기온과 전국 평균기온은 상관계수 0.96 이상의 높은 상관관계를 있는 바, 기온변화 양상이 균질(homogeneous)하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 연안 지점의 기온변화 경향과 전국 평균 기온변화 경향이 같다고 가정하여 수행하였다.

### 3.3 Downscaling 기법의 검증(validation)

2000년~2005년 자료를 이용하여 추출한 관계식을 이용한 Downscaling 방법은 미래의 국지적인 기온자료 추정에 이용되기 때문에 추정결과의 신뢰성을 검증할 필요가 있다. 그러나 실질적으로 미래 자료는 현재 가용하지 않기 때문에 자료의 일부를 미래 자료로 가정하여 검증을

수행하여야 하며, 검정 결과로부터 모형의 추정 신뢰수준을 파악할 수 있다. 검정자료는 모형의 관계식을 추출(보정 과정)한 자료와는 독립적인 자료로 본 연구에서는 2006년, 2007년 자료를 이용하여 수행하였다(Fig. 3-4참조). 즉, 2000년~2005년 연안 지역에서의 전국 평균기온을 지역 기온으로 환산하는 Downscaling 기법으로 제시된 환산관계식을 계수 변화 없이 2006년, 2007년의 지역 기온을 추정하고, 관측 자료와 비교하고 추정오차를 분석하는 과정이다. 이 과정에서 추정오차가 원하는 범위를 벗어나는 경우에는 이 방법을 이용한 지역 기온추정 결과는 신뢰할 수 없는 수준으로 간주할 수 있으며, 불가피하게 적용하는 경우에는 추정결과의 오차범위 수준을 고려하여야 한다. 모형의 검정결과를 상대적으로 비교하기 위하여 보정과정에서의 RMS(root-mean squared) 오차를 산정하였으며, 계산치와 관측치의 일치도를 정규화(normalized, 0~1) 계수로 분석하기 위하여 NSC 계수도 산정하여 검토하였다.

연안 지역은 동해안(강릉, 포항), 서해안(인천, 서산) 및 남해안(목포, 제주, 부산)이며, 흑산도 및 제주 고산 지역을 포함하고 있다.

전국 평균 기온을 이용한 연안 지역의 국지적인 기온 추정 보정식(Table 1참조)을 사용하여 추정한 2006년, 2007년 연안 지역 일일평균 온도의 추정 정확도를 파악하기 위하여 Nash-Sutcliffe coefficient of Efficiency(NSC)

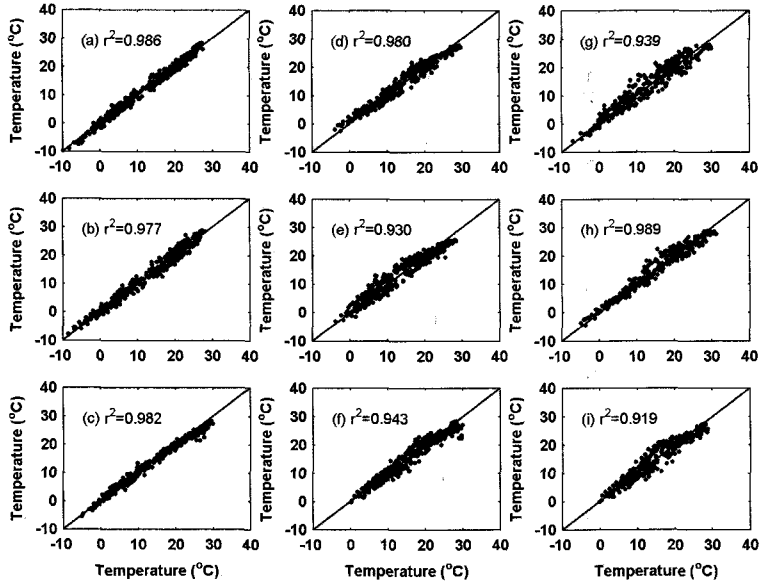


Fig. 3. Validation scatter plot of the downscaling method (2006). (a) Seosan, (b) Gangneung, (c) Incheon, (d) Pohang, (e) Busan, (f) Mokpo, (g) Heuksando, (h) Jeju, and (i) Jeju-Gosan Stations.

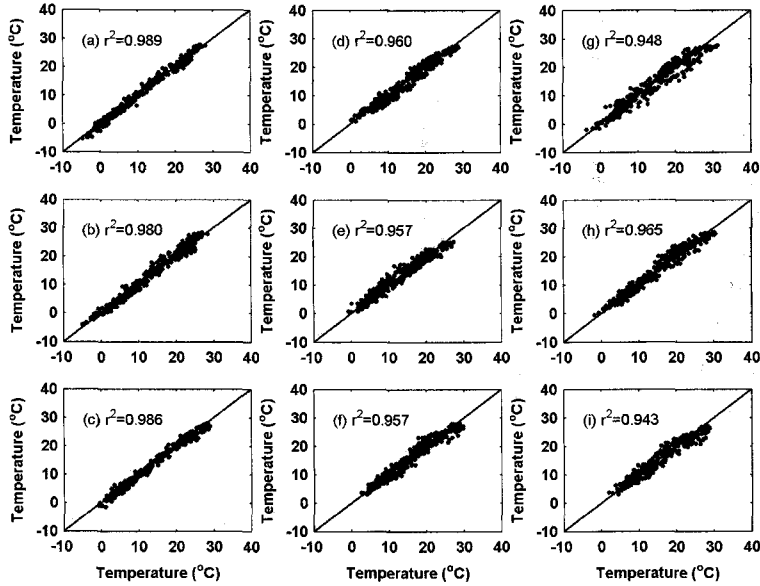


Fig. 4. Validation scatter plot of the downscaling method (2007). (a) Seosan, (b) Gangneung, (c) Incheon, (d) Pohang, (e) Busan, (f) Mokpo, (g) Heuksando, (h) Jeju, and (i) Jeju-Gosan Stations.

(Nash and Sutcliffe, 1970) 값과 RMS 오차(RMSE)를 식 (4), (5)를 이용하여 계산하였다.

$$NSC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (T_{io} - T_{ic})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{T}_{io} - T_{io})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{io} - T_{ic})^2} \quad (5)$$

여기서,  $T_{io}$ =일일 기온 관측자료,  $T_{ic}$ =Downscaling 추정식을 이용한 일일 기온 계산자료,  $N$ =자료의 개수(1년 자료의 경우=365[366]),  $\bar{T}_{io}$ =관측 기온자료의 평균(평균기

**Table 4.** RMSE and NSC of the downscaling in calibration and validation processes

	RMSE			NSC		
	Calibration	Validation (2006)	Validation (2007)	Calibration	Validation (2006)	Validation (2007)
서산	1.066	1.160	1.013	0.989	0.985	0.987
인천	1.401	1.431	1.333	0.979	0.977	0.977
목포	1.169	1.138	1.018	0.983	0.984	0.985
부산	1.450	1.611	1.477	0.967	0.959	0.959
흑산도	1.911	2.110	1.552	0.939	0.928	0.955
제주	1.654	1.768	1.477	0.953	0.942	0.957
강릉	2.089	2.191	1.898	0.947	0.937	0.948
포항	1.710	1.691	1.550	0.962	0.962	0.963
제주고산	1.803	1.973	1.713	0.940	0.921	0.940
평균	1.584	1.675	1.448	0.962	0.955	0.963

온)이다. NSC 값의 최대값은 1로, 1에 접근할 수록 추정 정확도가 높음을 의미하며, RMS 오차는 오차의 크기를 나타내므로 작을수록 추정 신뢰도가 좋은 것을 의미한다.

보정과정에서의 RMS 오차 평균은 1.584 정도이며, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서의 RMS 오차 평균은 1.675, 1.448 정도로 추정오차는 보정과정에서의 오차수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 또한, NSC 값도 보정과정에서는 0.962, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서는 0.955, 0.963으로 보정과정에서의 일치수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다(Table 4 참조). RMS 오차는 강릉, 흑산도, 제주고산 지점 순으로 크게 파악되었으며, NSC 값은 흑산도, 제주고산, 강릉 순으로 낮게 나타나 지역적인 영향이 크게 두드러진 영향으로 판단된다. 이 지점의 추정오차를 개선하기 위해서는 지역적인 특성을 반영하는 인자를 도입한 다중회귀분석(multiple linear regression) 기법 또는 비선형관계식(non-linear equation) 등을 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 보정과정에서의 오차가 개선되면 검정과정에서의 오차도 절감될 것으로 유추할 수 있다.

#### 4. 결론 및 제언

지구 온난화와 관련된 장기 기후변화로 인한 연안 생태환경 변화를 예측의 일환으로 연안 수온 변화를 예측할 필요가 있으며, 연안 수온변화 예측은 연안의 미래 기온 변화예측을 필요로 한다. 본 연구에서는 미래 기온변화 정보를 제공하는 GCM 자료를 우리나라 연안의 국지적인 기온변화 예측에 이용하기 위한 Downscaling 방법으로 2000년~2005년 동안의 우리나라 전국 기온평균 자료와 연안지점 기온자료의 선형회귀관계식을 도출하였으

며, 도출된 관계식을 이용하여 2006년, 2007년 연안 기온자료를 추정하여 관측 자료와 비교하는 검정(validation)을 수행하였다.

연안지역의 전국 평균기온자료를 이용한 기온추정 RMS 오차 평균은 보정과정에서 1.584 정도이며, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서의 RMS 오차 평균은 1.675, 1.448 정도로 추정오차는 보정과정에서의 오차수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 또한, NSC 값도 보정과정에서는 0.962, 2006년~2007년 자료를 이용한 검정과정에서는 0.955, 0.963으로 보정과정에서의 일치수준을 유지하고 있는 것으로 파악되었다.

모형의 검정결과도 보정수준으로 매우 우수한 추정결과를 보이는 것으로 파악되었다. 따라서 선형회귀분석 기법을 이용한 우리나라 연안 지역의 기온은 RMS 오차 1.0~2.0 °C 수준으로 전국 평균기온을 이용하여 추정할 수 있으며, 이 방법으로 2100년까지의 기후변화 Scenario 조건에 대한 GCM 자료의 우리나라 격자정보(전국 평균기온)를 이용하여 2100년까지의 우리나라 연안의 국지적인 기온변화를 추정하는 연구를 수행하고 있다.

본 연구는 연안 생태환경변화를 예측하기 위한 초기단계의 연구이므로 GCM 자료형태의 광역정보를 국지적인 공간정보로 연결하는 보다 정확한 Downscaling 기법에 관한 연구 및 연안의 수온을 인근 지역의 기온 및 기상정보로 정확하게 추정하는 연구 및 기상환경변화 정보를 이용하여 연안 생태계 변화를 예측하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업(하구 관리 및

복원기술개발, PE-977-01) 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김우철 등, 2000. 통계학 개론, 제4개정판, 영지문화사.
- 조흥연, 이길하, 조경준, 김준성 (2007). 연안 해역 기온과 수온의 상관관계 및 이력현상 분석, 한국해양해양공학회지, 19(3), 213-221
- 이길하 (2007). 우리나라 연안 기온과 수온의 비선형 상관관계 분석, 한국해양해양공학회지, 19(2), 128-135.
- Asselman, N.E.M., Middelkoop, H. and Dijk, P.M. (2003). The impact of change in climate and land use on soil erosion, transport and deposition of suspended sediment in the River Rhine, *Hydrological Processes*, 17, 3225-3244.
- Duan, Q.Y., Gupta, V.K. and Sorooshian, S. (1993). Suffled Complex Evolution approach for effective and efficient global minimization, *Journal of Optimization Theory and Application*, 76, 501-521.
- IPCC, (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*, Cambridge University Press.
- IPCC-TGICIA (1999). Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, Version 1. In: Carter, T.R., Hulme, M., Lal, M. (Eds.). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment*.
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R. and Taylor, K. (2007). Multimodel dataset: A new era in climate change research, *American Meteorological Society*, pp1383-1394.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models, I-A Discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Nelder, J.A. and Mead, R.A. (1965). A simplex method for function minimization, *Computer Journal*. 7, 308-313.
- Pilgrim, J.M. and Stefan, H.G. (1995). Correlation of Minnesota stream water temperatures with air temperatures, Project. Rep. 382. St Anthony Falls Lab., U of Minnesota, Minneapolis.
- Preud' Homme, E.B. and Stefan, H.G. (1993). Stream temperature estimation from air temperature, *Water Resources Bulletin*, 29(1), 27-45.
- Stockle, C.O., Dyke, P.T., Williams, J.R., Jones, C.A. and Rosenberg, N.J. (1992). A method for estimating the direct and climate effects of rising atmospheric carbon dioxide on growth and yield of crops: Part II. Sensitivity analysis at three sites in the Midwestern USA, *Agricultural Systems*, 38, 239-256.
- Webb, B.W., (1987). The relationship between air and water temperatures for a Devon River, Rep. Trans., Devon Association for the Advancement of Science, Exeter, U.K., 197-222.
- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O. (2004). Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods, Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGICA), IPCC.

---

Received January 8, 2008

Accepted January 24, 2008