

통계적 축소법을 이용한 한반도 인근해역의 미래 표층수온 추정

Prediction of Future Sea Surface Temperature around the Korean Peninsular based on Statistical Downscaling

함 희 정* 김 상 수** 윤 우 석***
Ham, Hee-Jung Kim, Sang-Su Yoon, Woo-Seok

Abstract

Recently, climate change around the world due to global warming has become an important issue and damages by climate change have a bad effect on human life. Changes of Sea Surface Temperature(SST) is associated with natural disaster such as Typhoon and El Nino. So we predicted daily future SST using Statistical Downscaling Method and CGCM 3.1 A1B scenario. 9 points of around Korea peninsular were selected to predict future SST and built up a regression model using Multiple Linear Regression. CGCM 3.1 was simulated with regression model, and that comparing Probability Density Function, Box-Plot, and statistical data to evaluate suitability of regression models, it was validated that regression models were built up properly.

키워드 : 표층수온, 통계적축소법, 선형회귀분석

Keywords : *Sea Surface Temperature, Statistical Downscaling, Linear Regression*

1. 서론

지구온난화에 의한 전세계적인 기상이변으로 인한 피해는 지구 곳곳에서 보고되고 있다. 기상이변으로 인한 피해는 인간에 직접적으로 영향을 끼치고 있으며, 기상이변에 의한 피해강도는 점점 증가하고 있는 추세이다. 기후변화에 대해 가장 유력한 보고서를 발간하고 있는 기후변화 정부간 위원회(IPCC, International Panel on Climate Change)에서 2000년 발간한 SRES(Special Report Emissions Scenario)와 2007년 발간한 AR4 보고서에서는 온

실가스 영향에 의한 미래기후변화에 대한 전망을 나타내고 있다. AR4 보고서[1]에 의하면 표층수온의 상승으로 인한 해수면의 상승은 지구온난화와 밀접한 관계가 있으며, 1961-2003년 기간에는 평균 1.8mm/year의 속도로 해수면 상승이 일어났고, 1993-2003년 기간에는 평균 3.1mm/year의 속도로 해수면이 상승하였다고 밝히고 있다. 또한 설동일[2]은 최근 1996-2008년 기간의 남해안 표층수온이 1970-1979년 기간에 비해서 1.03℃ 상승 하였다고 밝혔다.

표층수온의 상승은 해수면 상승과 태풍으로 인한 극대풍속과 집중호우에 영향을 미치게 되며, 어족자원의 변화에 큰 영향을 끼치게 된다. 특히 태풍은 극대풍속과 집중호우를 통하여 여름과 가을철에 큰 피해를 준다. 우리나라에 접근하는 태풍은 소멸기에 한반도 인근으로 북상하게 되는데 이는 태풍에 충분한 에너지를 공급할 정도의 표층수온이 되지 않기 때문이다. 이에 표층수온의 상승은

* 강원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 건축공학과 석사과정, 교신저자

*** (주)창민우구조건설탄트 건설기술연구소 연구원

우리나라에 북상하는 태풍에 더 많은 에너지를 공급할 개연성을 가지게 되며, 태풍에 의한 인명과 재산의 피해는 더욱 증가할 가능성이 있다. 본 연구에서는 미래 태풍의 풍속 예측에 적용할 수 있는 한반도 근역의 미래 표층수온의 변동을 추정하고 데이터베이스화하는데 그 목적을 두고 있다.

미래 표층수온의 추정을 위해서는 축소법(Downscaling)이 사용된다. 축소법은 전지구 대기순환모델(GCMs)의 넓은 격자로 인하여 추정하기 힘든 지역규모의 기후변화분포 예측을 위해 사용되는 방법이다. 이에 본 연구에서는 축소법을 이용하여 한반도 인근 해역의 9곳의 미래 표층수온의 변동여부를 추정하고자 한다.

2. 사용자료

한반도 인근의 표층수온의 추정을 위해서는 축소법을 사용하게 된다. GCM 자료는 전지구적인 기후예측 모델로써 광역규모의 기후예측에는 좋은 모델이나 각 지역별 즉, 지역규모의 기후예측 모델로써는 넓은 격자로 인하여 자세하게 모사할 수 없는 단점이 존재하고 있다. 이에 지역별 기후예측을 위해서는 축소법이 사용되게 된다. 축소법의 종류로는 통계적 축소법(Statistical Downscaling)과 동적 축소법(Dynamical Downscaling)으로 나눌 수 있으며, 두 방법은 각각의 장·단점이 존재하고 있으므로, 각각의 방법에 적합한 축소법을 적용하여 사용하는 것이 좋다[3]. 한반도 인근해역의 표층수온을 추정하기 위해서 본 연구에서는 지역규모의 관측자료와 광역규모의 GCM 자료들 간에 통계적 관계를 도출하고 이를 통해 지역규모의 고해상도 자료를 얻을 수 있는 통계적 축소법을 사용하였다.

표 1. 9개 지역의 좌표

Location	Longitude(X)	Latitude(Y)
1	125.5°E	37.5°N
2	125.5°E	36.5°N
3	125.5°E	35.5°N
4	125.5°E	34.5°N
5	127.5°E	33.5°N
6	128.5°E	34.5°N
7	129.5°E	35.5°N
8	129.5°E	36.5°N
9	129.5°E	37.5°N

본 연구에서는 한반도 인근해역 9곳의 일평균

표층수온의 추정을 목적으로 하고 있다. 총 9곳의 표층수온 관측데이터는 태풍연구센터에서 제공하는 자료로써, 9곳 모두 1982-2003년 기간의 1주일 평균자료를 일평균자료로 보간하여 사용하였다. 표 1은 한반도 인근해역 9곳 측정지의 위도와 경도를 나타내고 있다.

통계적 축소법에 의하여 미래의 표층수온을 추정하기 위해서는 측정지의 자료와 과거의 자료간의 선형회귀분석에 의한 방정식이 필요하다. 선형회귀분석의 방법으로 중선형 회귀분석(Multiple Linear Regression)의 방법이 사용되는데, 미국 해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 제공하는 1961-2003년 기간의 NCEP(National Centers For Environmental Prediction)자료를 이용하였다. 또한 측정지 자료인 표층해수의 관측자료는 1982-2003년까지 제공되어, 위 기간의 NCEP 자료만 사용하여 선형회귀방정식을 이끌어 내었다. 만들어진 선형회귀방정식으로 시뮬레이션 하여 미래의 표층수온의 예측에 사용된 전지구모형(GCM)은 캐나다 CCCMA(Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis)에서 제공한 CGCM3.1 T47 모델을 사용하였다. CGCM3.1 자료의 기간은 2001-2100년이며, 격자의 간격은 가로, 세로 각각 3.75°로 큰 격자 간격을 보인다. 그림 1은 미래 표층수온을 예측할 9개 지역의 위치 및 CGCM의 위치를 나타내었다.

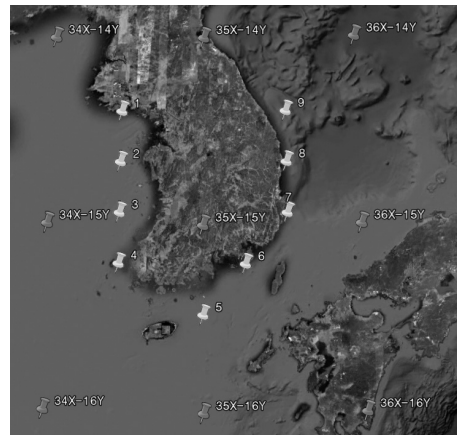


그림 1. 9개 지역위치 및 GCM포인트

IPCC의 SRES에 의하면 총 6개의 미래 온실가스 배출 시나리오가 있다. 6개의 시나리오는 2001-2100년 기간의 에너지의 사용과 사회의 발전과정, 세계인구 등을 각각 다르게 고려하여 온실가스 배출량을 가정하게 된다. 이와 같이 예상한 온실가스의 배출량에 따른 각 시나리오별 GCM 자료가 존재한다.

본 연구에서는 고성장 사회 시나리오에서 화석 에너지원과 비화석 에너지원의 균형적 사용을 강조하고, 신기술과 고도의 기술이 급격하게 도입·발전되는 A1B 시나리오를 사용하였다. A1B 시나리오 오는 그림 2에서 녹색실선으로 표시된바와 같이 온실가스배출량이 증가하다가 2000년대 중반부터 감소하는 추세를 보이는 시나리오로 한국 기상청에서 미래 기후변화 예측에도 사용되고 있는 시나리오이다.

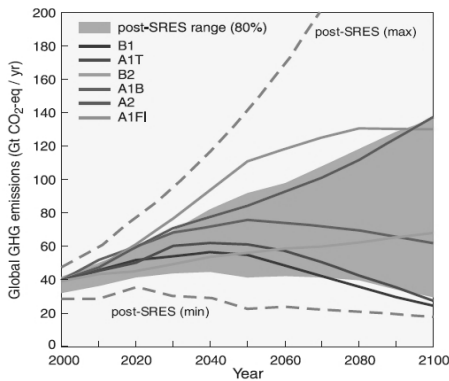


그림 2. 시나리오별 예상온실가스 배출량(SRES)

3. 축소법

3.1 통계적 축소법의 개요

전지구 모형(GCM)은 모델의 격자 간격, 모수화의 불완전으로 인하여 지역 규모의 상세한 기후 분포보다는 광역규모의 대기변동을 예측하는데 유리하다[4]. 또한 위에서 명시한바와 같이 CGCM의 위도·경도는 각각 3.75°로 지역 규모의 즉, 우리나라의 세부 지역까지 완전하게 기상현상을 표현 할 수 없으므로 고해상도의 자료를 얻기 위해서 통계적 축소법이 사용된다.

통계적 축소법을 이용하여 고해상도의 지역규모 기상데이터를 잘 모사하기 위해서는 광역규모의 독립변수(Predictor)와 지역규모의 종속변수(Predictand)간의 상호 밀접한 연관성이 필요하다. 여기서 Predictor는 통계적 축소법에 의한 회귀분석 모형을 만들기 위해 입력되는 데이터로서 GCM 등 광역규모의 데이터를 말한다. Predictand는 출력 데이터로서 실제측정이 가능한 온도, 강수 등의 지역 규모의 변수들이 사용된다[3]. 본 연구에서의 Predictor는 NCEP 및 CGCM의 평균해면기압(mslpas, Mean Sea Level Pressure)와 2m에서의 평균온도(tempas, Mean Temperature at 2m)가 2개의 변수로 사용되었으며, Predictand는 그림 1에 표시된 한반도 인근해역 9곳의 측정된 표층수온

이다.

$$\vec{y} = f(\vec{x}) \quad (1)$$

식(1)은 Predictor와 Predictand의 관계를 나타내는 식으로 \vec{x} 는 Predictor를 나타내고 \vec{y} 는 Predictand를 의미한다[3].

본 연구에서는 한반도 인근의 9개의 GCM 격자점에서의 2개(mslpas, tempas) NCEP 변수들과 한반도 인근해역 9곳의 표층수온간에 중선형 회귀분석을 통하여 선형회귀식을 생성하였다.

한반도 인근해역 9곳에 대한 선형회귀식을 중선형 회귀모형으로 모형화를 하면 결정계수(R^2 , Coefficient of Determination)을 확인할 수 있다. GCM 9개의 포인트중 선형회귀식에 의한 R^2 값이 가장 높은 포인트의 CGCM 데이터를 사용하면 종속변수의 예측도 더 좋아진다고 가정 할 수 있다 [5].

3.2 선형회귀분석

회귀분석이란 여러 개의 변수들간의 관계를 함수식으로 모형화 하기위한 분석방법으로써 종속변수를 1개 이상의 독립변수들의 선형함수모형으로 표현한다. 독립변수가 2개 이상인 경우 선형회귀모형을 중선형 회귀모형 (MRL, Multiple Linear Regression Model)이라 한다[6]. 본 연구에서는 독립변수가 2개 이므로 중선형 회귀분석식은 식(2)과 같다.

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \epsilon_j \quad (2)$$

식(2)에서 y_i 는 예측된 변수이고, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 모집단의 회귀계수로서의 모수이며, x_{1j} 과 x_{2j} 는 i 번째 주어진 독립변수 x_1, x_2 의 고정된 값이다. 또 ϵ_j 는 i 번째 측정된 y_i 의 오차항 이다. 중선형 회귀 분석법의 목적은 다수의 독립변수의 변화에 따른 종속변수의 변화를 예측하는데 그 목적을 두고 있다. 또한 기록된 기후 파라미터들을 사용하여 Predictor를 시뮬레이션 할 수 있는 확률모델인 Weather Generation 기법을 사용하였다. 본 연구에서 WG는 성립된 회귀식에 NCEP과 CGCM 데이터를 시뮬레이션 하는데 사용되었다.

4. 결과

4.1 최적위치 및 결정계수

2개의 NCEP 변수와 측정된 9곳의 표층수온으로 상관관계를 비교하고 선형회귀식에 의하여 결정계수(R^2)를 도출하였다. R^2 는 1에 가까울수록 회귀

식의 성립이 적합하게 되었음을 의미한다. 결정계수의 산출 결과는 표2와 같으며 선택된 GCM 포인트들은 한반도 동남쪽 바다에 위치한 35X-16Y, 36X-15Y, 35X-16Y에서 각각 포인트의 가장 높은 R^2 가 도출되었다.

표 2. 최적위치 및 결정계수

Location	최적위치	결정계수(R^2)
1	36X-16Y	0.814
2	35X-16Y	0.856
3	35X-16Y	0.859
4	36X-15Y	0.807
5	35X-16Y	0.807
6	36X-15Y	0.767
7	35X-16Y	0.809
8	35X-16Y	0.828
9	36X-15Y	0.793

4.2 확률밀도함수

확률밀도함수(PDF, Probability Density Function)란 그 함수의 곡선아래 면적이 확률변수가 어떤 구간에 속할 확률을 의미한다, 즉 그 함수를 특정구간에 대해 적분한 값이 확률 변수값이 구간에 포함될 확률 값이 되는 함수이다. 통계적 축소법에서의 확률밀도함수는 기존에 관측되었던 일이나 앞으로 일어날 일들에 대한 예측 정확도를 설명 할 수 있다[3]. 9개 포인트에 대한 확률밀도 함수는 그림 3과 같다.

그래프에서 실선으로 표시된것은 이미 측정된 표층수온을 의미하며, '□'는 NCEP, '*'는 CGCM을 이용하여 확률밀도함수 그래프를 나타내었다. 그래프에서 실선으로 표현된 측정된 표층수온과 '□'로 표현된 NCEP 간에 완벽하게 동일하지는 않지만 일정부분 비슷한 추세를 보이고 있다. 또한 최소값과 최대값의 분포도 측정된 표층수온과 NCEP간에 유사한 분포를 보이고 있다. 이는 통계적 축소법에 의한 선형 회귀분석식이 잘 성립 되었다고 할 수 있다. CGCM 즉, 미래 표층수온 추정 값을 나타낸 '*'모양의 CGCM 역시 비슷한 추세이지만 더 높은 온도로 미래 표층수온이 예측되는 확률분포를 보이고 있다.

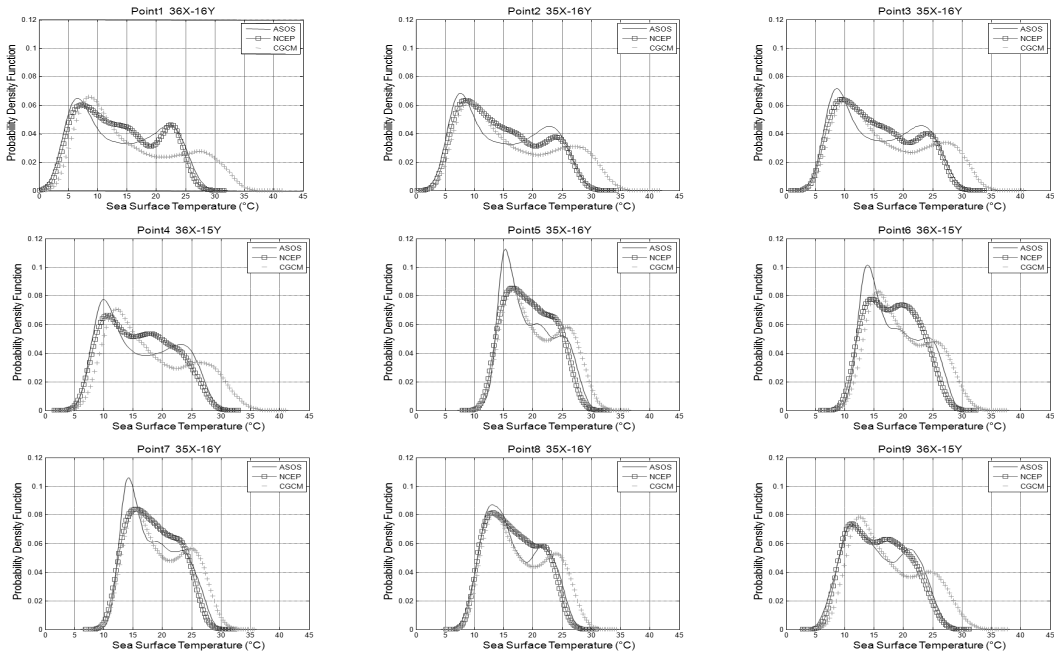


그림 3. 9개 지역의 확률밀도함수

4.3 통계치 분석

선형회귀분석모형이 잘 형성되었는지에 대한 다른 지표로는 통계치 분석이 있다. 통계치 분석의 종류로는 회귀분석모형에서 직접적인 통계수치(평균, 최대값, 최소값, 분산, 표준편차)를 알아보는 방법이 있다. 표3은 지역 2·5·8에서의 측정치 자료와 선형회귀분석식의 결과를 과거의 자료로 시뮬레이션한 NCEP 과 미래예측 시뮬레이션인 CGCM데이터이다. 평균값으로 비교해보면 측정치 자료와 NCEP 자료는 매우 유사한 결과로 비추어 볼 때 선형 회귀식이 잘 성립된 것으로 유추 할 수 있으며, 미래 표층수온은 예측 결과 표층수온의 증가가 예측된다. 하지만 최소값도 표층수온이 관측결과치에 비해 낮게 예측을 하고 있는 이로 인하여 데이터의 반경폭이 커지게 되었다.

또 다른 통계치 분석방법으로는 상자그림(Box Plot)이 있다. 상자그림은 수치적 데이터값을 다섯

가지의 영역으로 비교하여 볼 수 있는 그래프이다. 가장 밑의 부분은 그 데이터의 최소값, 두 번째는 1사분위에 해당되는 값이다. 세 번째는 중간값이고 네 번째는 3사분위값, 다섯 번째는 최대값이고 나머지는 Outlier 이다.

본 연구에 사용된 9개 지역의 상자그림은 그림 4와 같다. 가장 왼쪽그래프부터 순서대로 해당 포인트의 1982-2003년 간의 측정된 표층수온 데이터를 의미하며, 두 번째는 상동기간 NCEP의 WG 해석 데이터, 미래 예측기간(2001-2100)을 각각 2001-2030년 기간의 데이터, 2031-2060년 기간의 데이터, 2061-2100년 기간의 데이터 이며, 마지막은 예측기간 2001-2100년의 데이터를 나타낸다. 그림 4에서 보듯이 9개 포인트 모두 최소값을 제외한 1사분위값, 중간값, 3사분위값, 최대값이 시간의 흐름에 따라 증가함을 알 수 있다.

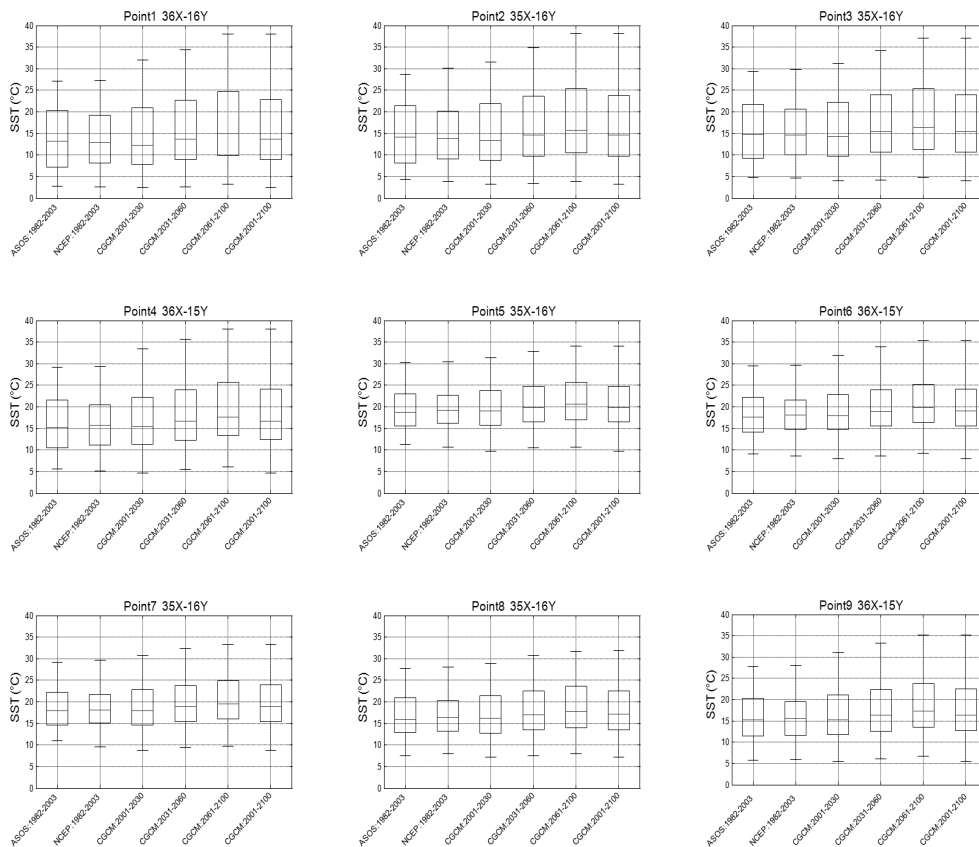


그림 4. 9개 지역의 상자그림(Box Plot)

표 3. 지역 2·5·8의 통계치

	Point 2			Point 5			Point 8		
	측정값 (1982- 2003)	NCEP (1982- 2003)	CGCM (2001- 2100)	측정값 (1982- 2003)	NCEP (1982- 2003)	CGCM (2001- 2100)	측정값 (1982- 2003)	NCEP (1982- 2003)	CGCM (2001- 2100)
Mean	14.94	14.77	16.62	19.50	19.47	20.59	16.82	16.77	17.94
Min	4.33	3.88	3.23	11.31	10.60	9.79	7.57	7.96	7.15
Max	28.74	30.12	38.12	30.30	30.45	34.03	27.68	27.99	31.78
STD.	6.87	6.44	7.99	4.30	3.99	4.84	4.60	4.30	5.19
VAR	47.13	41.46	63.91	18.53	15.91	23.46	21.15	18.45	26.96

5. 결론

지구 온난화 등의 전세계적인 기상이변으로 인한 한반도 인근해역의 표층수온의 변화를 예측하기 위하여 9곳을 선정하였다. 우리나라의 동해, 서해, 남해 해역 9곳을 선정하였으며, 측정치 자료로써 태풍연구센터에서 제공한 측정된 표층수온 자료를 사용하였다. 독립변수로는 평균해면기압과 2m에서의 평균온도 두 가지를 사용 하였다. 미래의 표층수온을 추정·검정하기 위하여 NCEP데이터, CGCM데이터, 선형회귀분석, WG를 이용하여 추정기간의 표층수온 추정값의 결정계수, 확률밀도함수(PDF), 통계치분석, 상자그림을 통한 검정상 한반도 인근 9개 포인트를 잘 묘사함을 알 수 있다. 본 연구의 결과 9곳의 미래표층수온은 과거 측정 자료와 비교하여 미래 시간의 경과에 따라 표층수온이 상승하게 되는 것으로 예측 되었다.

후속 연구로 본 연구에서 얻은 미래표층수온을 몬테카를로 모사법에 적용하여, 표층수온의 상승에 따른 미래 태풍의 풍속 증가치를 예측하고 이로 인한 지상 시설물의 피해를 예측할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0003510).

참 고 문 헌

- [1] IPCC, *Climate Change 2007 : Synthesis Report*, IPCC, 2007.
- [2] 설동일, “남해 해수면온도 변화와 태풍세기와의 관계”, *한국해양학만 학회지*, 제32권, 제5호, pp.403~407, 2008.

- [3] R.E. Benestad, H.B. Inger, D. Chen, *Empirical-Statistical Downscaling*, World Scientific, 2008.
- [4] 김맹기, “한반도 기후변화 시나리오를 위한 통계적 규모 축소법의 적용성”, *한국기상학회지*, Vol. 41(2-1), 217-227, 2005.
- [5] 차석빈, 김홍범, 오홍철, 윤지환, 김우곤, *사례를 통해 본 다변량 분석의 이해*, 백산출판사, 2008.
- [6] 염준근, *수정관 선형회귀분석*, 자유아카데미, 2005.
- [7] IPCC, *Special Report Emissions Scenarios*, IPCC, 2000.
- [8] DAI CGCM3 Predictors, *Sets of Predictor Variables Derived From CGCM3 T47 and NCEP/NCAR Reanalysis*, DAI, 2009.
- [9] H.B. Inger, C. Achberger, R.E. Benestad, D. Chen, E.J. Forland, “Statistical Downscaling of climate scenarios over Scandinavia”, *Climate Research*, Vol. 29, 255-268, 2005.