

CGCM3 전지구모형에 의한 한반도 미래 일평균 풍속의 평가

Estimation of Future Daily Wind Speed over South Korea Using the CGCM3 Model

함 희 정*
Ham, Hee-Jung

Abstract

A statistical downscaling methodology has been developed to investigate future daily wind speeds over South Korea. This methodology includes calibration of the statistical downscaling model by using large-scale atmospheric variables encompassing NCEP/NCAR reanalysis data, validation of the model for the calibration period, and estimation of the future wind speed based on the general circulation model (GCM) outputs of scenario A1B of the CGCM3. Based on the scenario A1B of the CGCM3 model, the potential impacts of climate change on the daily surface wind speed is relatively small (+/- 1m/s) in South Korea.

키워드 : 대기-해양 접합모형, 지상풍속, 통계적 축소, 극대치분석

Keywords : CGCM, surface wind, statistical downscaling, extreme value analysis

1. 서론

지구온난화로 인한 전 지구적인 기후변화는 우리의 생활에 직·간접적으로 많은 영향을 미치고 있다. 특히 기후변화로 인하여 자연재해의 발생빈도와 강도의 특성이 변함에 따라 인명 및 재산피해의 양상도 달라지고 있다. 따라서 이러한 기후변화에 따른 재해의 양상변화 분석을 통해 재해의 특성변화를 파악하고, 기후변화의 영향을 정량적으로 평가하여 설계 및 방재 기준을 재설정하기 위한 방법론의 개발이 필요하다[1].

지구온난화에 따른 미래의 기상 예측을 위해서 수학적 방정식을 기반으로 한 전지구기후모형(Global Circulation Model, GCM)이 현재 사용되고 있다. 이 GCM은 지구로 흡수된 태양에너지에 대한 이동과 대기 중의 열과 수증기 사이의 교환 과정을 수식으로 표현하여 상층의 대규모 기상변수(대기의 온도, 기압, 바람, 증기, 강수 등)를 정량적으로 산정하고 있으나, 지상 풍속과 같은 지

표면 근처의 국지적 기상변수에 대한 평가에 직접적으로 적용하기에는 적합하지 못하다[2].

기후변화가 지표면 근처의 풍속에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 200~300km 단위로 모의되는 GCM 결과를 지점이나 지역단위로 평가할 수 있는 축소기법을 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 축소기법은 크게 동역학적 축소기법(Dynamical Downscaling)과 통계학적 축소기법(Statistical Downscaling)으로 나눌 수 있다[3].

동역학적 축소기법은 GCM 데이터를 경계조건으로 해서 물리적 순환과정을 거친 후 고해상도의 기후시나리오를 만드는 방법이다[4]. 동역학적 축소기법의 경우, 지역예보모델(Mesoscale Model) 등을 사용하여 대기의 물리적 특성이 고려된 지형성 풍속을 모의하는 것이 가능하나 계산시간이 매우 오래 걸리며 초기 경계조건이 결과의 정확도에 영향을 미칠 수 있는 한계점이 있다.

통계적 축소법은 GCM에서 모의된 상층의 대규모 기상변수와 관측된 국지적 기상변수의 통계적 관계를 유추한 후 고해상도의 기후 시나리오를 만드는 방법이다. 이 통계적 축소법은 동역학적 축

* 강원대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사

소기법에 비교하여 계산이 빠르고 간편하며 GCM 결과로부터 지점단위의 풍속을 얻을 수 있는 장점이 있어서 기상관측소별로 미래 풍속을 산정하는데 적합하다[5].

현재, 전 세계적으로 GCM 결과와 다양한 축소법을 이용하여 지구온난화에 따른 미래 풍속에 대한 영향성을 파악하는 연구[6]가 활발히 진행되고 있으나 국내에 경우 이와 관련한 연구는 매우 초보적이라 하겠다.

본 연구에서는 기후변화 정부 간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 제공하는 4차 평가보고서(AR4)의 A1B 시나리오를 대상으로 하여 기후변화가 한반도 미래 지상풍속에 미치는 영향을 평가하는 방법론을 구축하였다[7]. 이를 위하여 미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmosphere Administration, NOAA)이 제공하는 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 재해석자료(Reanalysis Data)와 지점단위의 일평균풍속에 대한 선형적 회귀식(Regression Equation)을 구축할 수 있는 통계적 축소법을 개발하였다. 미래 일평균풍속을 산정하기 위하여 보정기간에 대하여 파악한 회귀식의 계수 및 상수들과 함께 캐나다 기상청에서 제공하는 CGCM3의 결과를 사용하였다. 개발된 방법론의 결과로써 통계적 축소법으로 모사한 미래 일평균풍속의 통계치와 극대치를 보정기간 동안의 값과 함께 비교하였다.

2. 기상 데이터

본 연구에 적용된 데이터는 CGCM3에 의한 일평균 대규모 기상변수, 기상관측소(Automated Surface Observation System, ASOS)에서 측정된 일평균풍속과 실측치로 보정된 일평균 대규모 기상변수인 NCEP 재해석자료로 구성된다. 본 연구에서 사용한 CGCM3 데이터의 기간은 2013~2100년이며 기상관측소와 NCEP 자료의 기간은 1971~2000년이다.

2.1 전구기후모형

IPCC는 2007년 4차 보고서와 함께 다양한 기후변화 시나리오들을 제시하고 각각의 시나리오에 대한 국가별 연구소들의 GCM 계산 결과를 제공하고 있다.

그림 1은 IPCC AR4 주요 시나리오에 대한 이산화탄소 변화량의 시계열을 보이고 있다. 기후변화 시나리오 중 COMMIT 시나리오는 가장 이상적인 시나리오로 향후 온실가스가 대기에 미치는 영향이 AD 2000년 수준으로 고정되는 시나리오이다. 20c3m 시나리오는 지난 20세기를 동안

관측된 온실가스의 증가량을 고려해서 모의(Simulation)를 진행한 시나리오로 일반적인 모의 기간은 1850년~2000년이다. A2시나리오는 지역적 다양성이 중요시하고 지역적으로 발생하는 문제는 지역의 사회적 특성을 고려해서 해결하고자 하며, 무엇보다 자국민의 이익이나 해당지역의 전통이 중요시되는 시나리오이다. A1B 시나리오는 급속한 경제성장을 기반으로 한 시나리오이다. 인구의 증가율은 낮은 단계로 가정하고 새로운 효율적인 기술이 빠르게 개발된다고 가정하는 시나리오이다. B1시나리오는 세계의 경제구조가 서비스와 정보, 경제 중심으로 급속하게 변화하는 사회를 의미하며 청정기술과 자원의 효율성을 높이기 위한 기술이 다양하게 소개되는 세계를 가정하고 있다. A2, A1B, B1 시나리오의 모의기간은 일반적으로 2000~2100년이다.

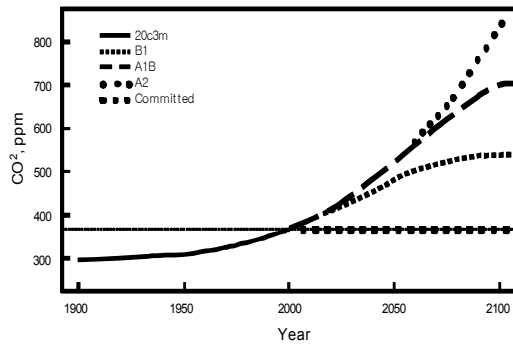


그림 1 기후변화 시나리오에 따른 CO2 변화량

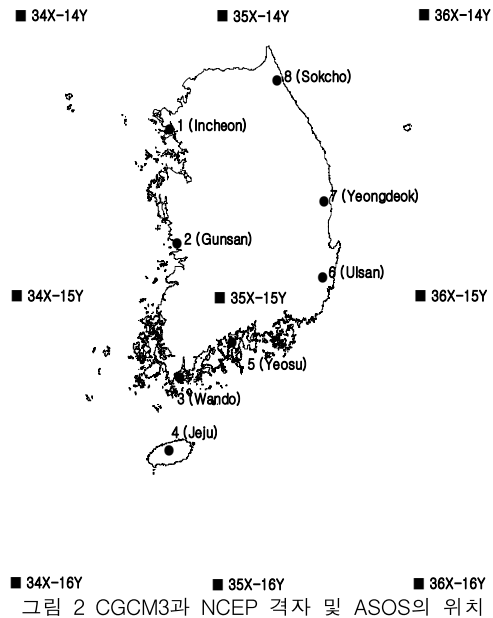


그림 2 CGCM3과 NCEP 격자 및 ASOS의 위치

현재 GCM을 이용하여 AR4 시나리오를 제시한 국가로는 중국, 노르웨이, 캐나다, 호주, 독일, 한국, 미국, 러시아, 프랑스, 일본, 영국, 이탈리아가 있으며, 국가별로 1개소 이상의 연구소에서 월/일/시 단위 GCM 결과를 제한적으로 제공하고 있다. 본 연구에서는 확보 가능한 일평균 GCM 데이터 중 NCEP 재해석자료와 상관관계가 가장 높은 CGCM3 모형의 결과를 선택하였다.

CGCM3 모형은 각각 3.75°의 위경도 격자 크기의 해상도를 가지고 있다. 본 연구에서 적용한 CGCM3의 격자 위치는 그림 2에 ■ 심벌로 표시되어 있다.

CGCM3 모형은 31개의 대기압에서의 대규모 기상변수를 제공하고 있다. 표 1은 본 연구에 적용된 지표면 근처에서의 대규모 기상변수의 예를 보이고 있다.

표 1 CGCM3 및 NCEP의 기상변수

	CGCM3	NCEP	기상변수
1	c3a2p_fgl	ncepp_fas	풍속의 강도 (1,000hPa)
2	c3a2p_ugl	ncepp_uas	풍속의 동서 성분 (1,000hPa)
3	c3a2p_vgl	ncepp_vas	풍속의 남북 성분 (1,000hPa)
4	c3a2p_zgl	ncepp_zas	풍속의 와도 (1,000hPa)
5	c3a2p_thgl	ncepp_thas	풍향(1,000hPa)
6	c3a2p_zhg	ncepp_zha	풍속의 발산 (1,000hPa)
7	c3a2shumgl	ncepshumas	비습 (1,000hPa)
8	c3a2tempgl	nceptempas	온도 (지표면 2m)
9	c3a2mslpgl	ncepmslpas	평균해면기압

2.2 NCEP 재해석자료

GCM 결과를 기상관측소 단위의 해상도로 축소하는 과정은 기후모형의 결과로 제시되는 기상변수와 지상관측 풍속 사이의 상관관계를 맺는 과정으로 설명할 수 있다. 이 경우 미래에 발생할 풍속의 예측 전에 보정기간에 대한 대규모 기상변수와 지상풍속 간의 상관성을 우선적으로 수립하여야 한다. 본 연구에서는 보정기간에 대하여 실측된 기상변수와 더불어 수치모사를 수행한 NOAA의 NCEP 재해석자료를 사용하였다. 표 1은 CGCM3의 예와 같이 1,000hPa에서의 NCEP 재해석자료 변수명을 보이고 있다.

2.3 기상관측소 풍속자료

일반적으로 NCEP 재해석자료상에서의 대규모

기상변수와 기상관측소에서 측정된 기상변수는 해안지역이 내륙지역에 비하여 더 큰 상관관계를 갖는다[8]. 이에 본 연구에서는 그림 2에 ● 심벌로 표시된 것과 같이 해안가에 분포된 8개 기상관측소를 미래 풍속을 평가할 위치로 선정하였다. 본 연구에서는 NCEP 재해석자료와 기상관측소 일평균풍속 사이의 상관관계를 파악하기 위하여 1971~2000년을 보정기간으로 선정하였다.

기상관측소에서 관측한 풍속은 풍속계의 높이, 풍향에 따른 지표조도, 지형조건에 따라 관측값이 달라진다. 이에 본 연구에서는 풍속에 대하여 축소기법을 적용하기 위하여 관측된 일평균풍속을 지표조도 $z_o=0.07m$ 를 갖는 개활지 10m 높이의 풍속으로 표준화하였다. 이 표준화를 위하여 다음의 지표조도모형과 지형할증모형이 개발되었다[9].

(1) 지표조도모형

본 연구에서는 기상관측소 풍상측의 지표상향을 개활지 상태로 보정하기 위하여 1975, 1980, 1985, 1990, 1995에 제작된 토지피복도를 사용하였다. 대부분 토지피복도는 수역, 시가지지역, 초지, 습지, 나지, 산림, 논, 밭으로 구분되어진다.

본 연구에 적용된 지표조도모형에서는 각각의 토지피복구분에 대하여 가중치를 부여하고 풍상측 1/8 방위에 대한 가중치의 산술평균을 산정한 후 입위의 풍향에 대한 지표조도길이를 표 2와 같이 평가하였다. 또한 기상관측소 풍속을 개활지 10m 높이 상태로 보정하기 위하여 (1)식의 지수법칙을 적용하였다.

$$\frac{U(10)_{open}}{U(z_1)} = p \frac{\ln(10/0.07)_{open}}{\ln(z_1/z_o)} \quad (1)$$

(1)식에서 z_1 과 z_0 는 평가된 기상관측소 풍속계의 높이와 지표조도길이이며 p 는 평가된 지표조도와 개활지 지표조도 사이의 마찰속도 비이다.

표 2 가중치 산술평균에 따른 지표조도길이

조건	지표조도길이(m), z_o
산술평균 ≥ 8.5	0.3
$1.0 \leq$ 산술평균 < 8.5	0.07
산술평균 < 1.0	0.005

(2) 지형할증모형

본 연구에서는 풍상측의 풍속할증 영향을 고려하기 위하여 그림 3에 보이는 것과 같이 지점의 해발고도를 나타내는 래스터(Raster) 모형인 수치고도모형을 사용하였다.

지형할증은 지표조도모형과 같이 풍향에 따른 풍속할증 효과를 고려하기 위하여 8방위에 대하여 평가되었다. 지형할증계수의 산정은 건축구조기준 [10]의 방법을 적용하였으며, 얻어진 지형할증계수

로 관측된 일평균풍속을 표준화하여 지형할증의 영향이 보정된 풍속으로 변환하였다.



그림 3 수치고도모형(2001년기준)

3. 방법론

3.1 통계적 축소기법

국지적 소규모 기상현상 y 는 (2)식과 같이 대규모 기상 상황 x , 지역적 영향성 l , 전지구적 성격 G 의 함수로 표현될 수 있다(von Storch 등, 2000)[2].

$$y = f(x, l, G) \quad (2)$$

만약 (2)식에서 지역적 영향성 l , 전지구적 성격 G 의 기여도가 일정하면 (2)식은 (3)식과 같이 표현될 수 있다.

$$y = f'(x) \quad (3)$$

(3)식에서 함수 $f'(\cdot)$ 는 지역적 영향성 l 과 전지구적 성격 G 의 영향을 포함하고 있다.

통계적 축소는 (4)식의 관계를 경험적으로 구축하는 과정이다. 본 연구에서는 CGCM3에서 제공하는 일평균 대기순환 변수를 예측인자(Predictor) x 그리고 일평균풍속을 예측변수(Predictant)인 y 로 사용하였다.

(3)식의 함수 $f'(\cdot)$ 가 선형일 경우 (4)식과 같이 표현될 수 있다.

$$f'(x) = ax + \epsilon \quad (4)$$

(4)식에서 오류치 ϵ 는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 정규분포의 특징을 가지고 있으며 오류치 ϵ 의 변동성은 예측인자 x 로부터 독립적이다. 그러므로 (3)식의 예측변수 y 의 임의성(Randomness)은 (4)식에 표현된 오류치 ϵ 의 불규칙성에 기인한다[2].

(4)식의 오류치 ϵ 가 정규분포를 따르기 위하여서는 (3)식의 예측변수 y 가 정규분포의 형태를 갖아야 한다. 예측변수 y 가 비정규분포의 형태일 경우 정규분포의 형태로 변환시키는 방법으로는 자연로그, 제곱근, 역정규 변환 등이 있다. 본 연구에서는 (5)식과 같이 Bloom(1958)이 제안한 역정규변환(Inverse Normal Transformation, INT)을 사용하여 로그정규분포의 형태를 갖는 일평균풍속의 분포를 정규분포의 형태로 변환하였다[12].

$$Y_i^t = \Phi^{-1}\left(\frac{r_i - c}{N - 2c + 1}\right) \quad (5)$$

(5)식에서 Y_i^t 는 INT된 예측인자, Φ^{-1} 는 정규사분위함수(Standard Normal Quantile Function), r_i 는 예측인자의 변환 전 순위, N 은 예측인자의 개수, c 는 Bloom 상수로 일반적으로 3/8의 값을 갖는다.

통계적 축소기법의 선형적 방법으로는 GCM 격자점의 결과 또는 예측인자의 주성분(Principal Component)과 예측변수를 연관시키는 다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression) 및 예측인자 집단과 예측변수집단의 상관관계가 최대가 되도록 하는 정준상관분석(Canonical Correlation Analysis) 등이 사용되고 있다. 예측인자와 예측변수의 비선형적 모형을 구축하는 방법으로는 다변수 스플라인(Splines) 및 신경망 기법 등이 적용되고 있다.

본 연구에서는 앞에 설명한 선형적 축소기법 중 축소과정이 비교적 단순한 (6)식에 나타난 다중선형회귀분석기법을 적용하였다.

$$v_{MLR} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots \beta_k x_k + \epsilon \quad (6)$$

(6)식에서 β_i 는 회귀 분석된 회귀계수(Regression Coefficient), α 는 회귀상수(Regression Constant), k 는 예측인자의 개수, ϵ 는 오류치이다. (6)식의 다중선형회귀식을 구축하기 위하여서는 예측인자 x 를 논리적인 방법으로 선정할 필요가 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 단계적 회귀분석(Stepwise Regression)기법을 사용하여 지점의 일평균풍속과 연관된 대규모 기상변수 x 를 선택하였다.

일반적으로 통계적 축소법을 이용하여 모형화된 예측변수는 실제 측정된 지점에서의 값들과 비교하여 낮은 분산값을 보인다[11]. 이에 본 연구에

서는 다중선형회귀분석 방법으로 모형화 되지 않는 예측변수는 대규모 기상변수와 상관관계가 없다는 가정하에 정규분포를 갖는 백색잡음(White Noise)을 회귀식에 추가하여 모형화된 분산값이 측정치와 일치되도록 하였다[13]. 본 연구에서 통계적 축소법을 적용하여 모형화한 최종적인 미래 일평균풍속 v_m 는 (7)식과 같다.

$$v_m = v_{MLR} + v_{white\ noise} \quad (7)$$

(7)식을 사용하여 이상적인 모형이 구성되었을 경우 모형화된 일평균풍속 v_m 는 보정기간의 관측값과 완전한 상관성을 갖아야 한다. 그러나 실제로는 모형의 단순화과정 및 입력정보에 내재된 편이(Bias)들로 인하여, 모의된 자료는 일정한 계통적 오차를 갖게 된다. 이러한 계통적 오차는 통계적 축소모형 내부에서 해결하기 용이하지 않은 경우가 많다. 본 연구에서는 이 편이보정을 위하여 (8)식의 분위사상법(Quantile Mapping, QM)을 사용하였다[14].

$$v_{bc} = F_o^{-1}(F_m(v_m)) \quad (8)$$

(8)식에서 v_{bc} 는 편이가 보정된 풍속값 그리고 F_o^{-1} 는 분위사상함수, F_m 는 모의된 풍속에 대한 경험적 누적분포함수(Empirical Cumulative Distribution Function)이다.

3.2 극대통계해석

본 연구에서는 통계적 축소기법과 CGCM3 결과를 이용하여 얻어진 일평균풍속의 시계열을 3개의 구간(2013~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년)으로 나누어 극대치해석에 적용하였다. 재현주기 R 년에 해당하는 일평균풍속의 기댓값은 (9)식의 검블확률분포(Gumbel Distribution)를 적용하여 산정하였다.

$$F_u = \exp - \exp[-(U-u)/a] \quad (9)$$

(9)식에서 a , u 는 각각 검블확률분포의 매개변수들이다.

4. 결과

4.1 통계적 축소법의 구축 및 검증

본 연구에서는 보정기간(1971~2000년) 동안 측정된 8개 ASOS에서의 일평균풍속과 NCEP 재해석자료의 대규모 기상변수를 사용하여 통계적 축소에 대한 회귀식을 구축하였다. 논문의 지면 상 NCEP 재해석자료를 이용하여 지점의 일평균풍속을 축소하여 과정은 인천지점에 한해서만 기술하

도록 한다.

그림 4에서 위의 그림은 보정기간 동안 인천지점에서 측정된 일평균풍속을 개활지 10m 높이에 해당하도록 표준화한 풍속의 시계열과 확률밀도함수를 보이고 있다. 그림으로부터 일평균풍속의 원시계열은 로그정규분포의 형태를 가짐을 알 수 있다. 그림 4에서 아래 그림은 원시계열을 역정규변환한 풍속의 시계열 및 확률밀도함수이다. 이 그림으로부터 역정규변환 후 일평균풍속의 확률밀도함수가 정규분포의 형태로 변환된 것을 알 수 있다.

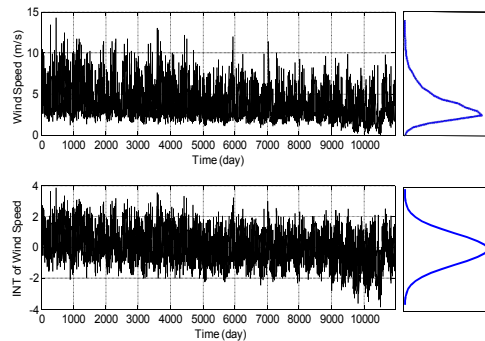


그림 4 일평균풍속의 시계열 및 확률밀도함수(인천)

그림 5는 인천지점에서 보정기간 동안 지형 및 지표지도에 대하여 표준화된 일평균풍속(ASOS_SD), (7)식과 NCEP 재해석자료를 이용하여 얻은 일평균풍속의 모사치(NCEP), 그리고 (8)식의 분위사상법으로 보정된 일평균의 모사치(NCEP_BC)에 대한 상자그림이다. 그림으로부터 NCEP 재해석자료를 이용하여 일평균풍속을 축소할 경우 풍속의 최소값이 실측과 비교하여 약간 큰 것을 알 수 있다. 반면 분위사상법으로 보정된 일평균풍속은 보정기간 동안 풍속의 중앙값, 1분위수, 3분위수, 최소값, 최대값, 이상치(Outlier)를 정확히 재현하는 것을 알 수 있다.

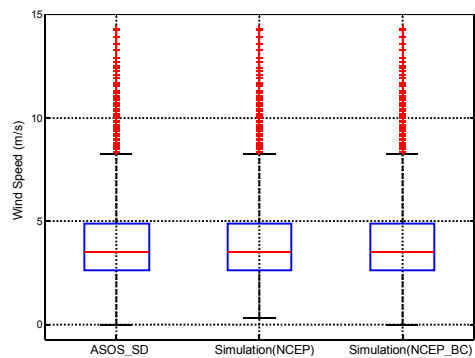


그림 5 보정기간 일평균풍속의 상자그림(인천)

4.2 미래 일평균풍속의 통계적 특징

본 연구에서는 향후 88년(2013~2100년) 동안에 대하여 파악한 일평균풍속의 통계적 분포를 보정 기간의 분포와 함께 비교하였다.

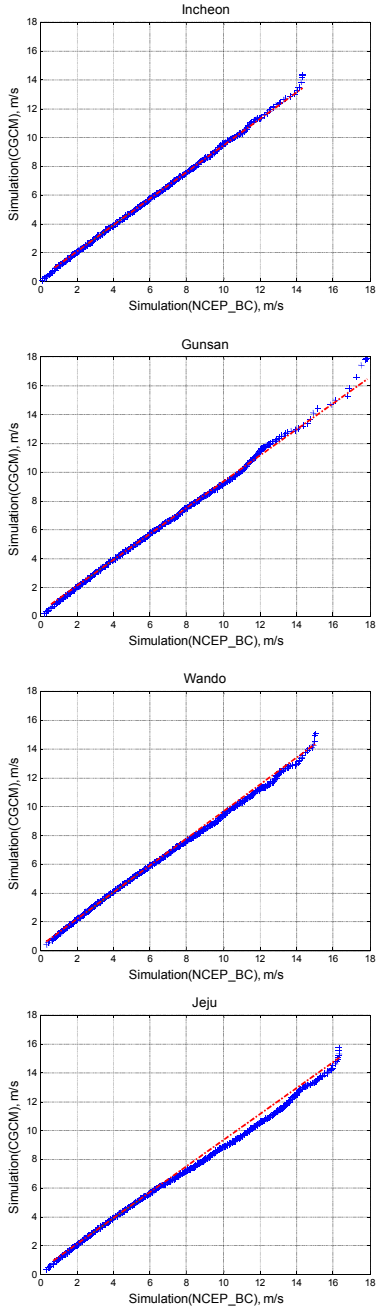


그림 6 보정기간과 미래기간의 일평균풍속 분위수대조도

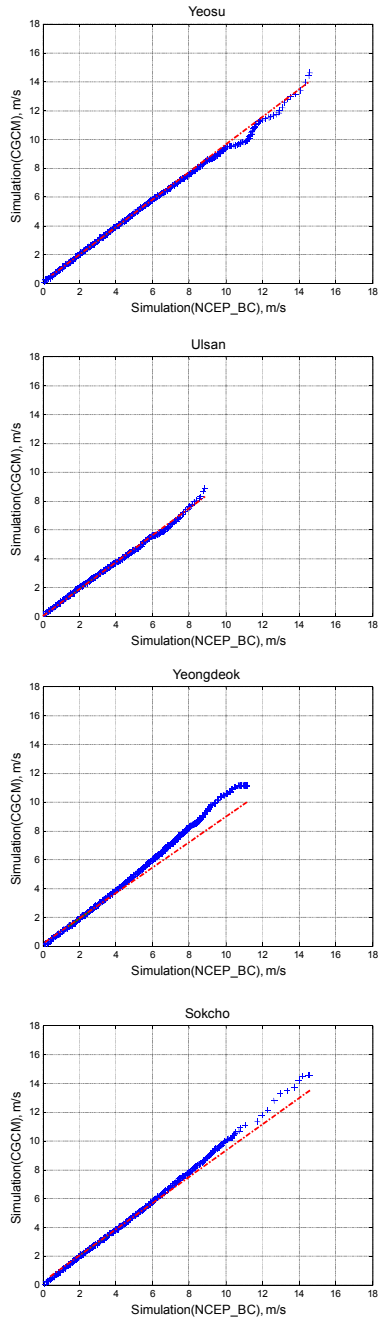


그림 6 보정기간과 미래기간의 일평균풍속 분위수대조도(계속)

그림 6은 8개 ASOS 지점에 대한 보정기간의 일평균풍속(NCEP_BC)과 미래기간 일평균풍속(CGCM3) 사이의 분위수대조도(Quantile-Quantile

Map)이다. 그림 6에서 + 심벌은 각 분위수에 해당하는 풍속을 비교한 것이며 실선은 분위수대조상 1분위수와 3분위수에 해당되는 풍속의 외삽(Extrapolation)선이다.

그림으로부터 향후 88년 동안의 일평균풍속은 보정기간의 풍속과 비교하여 대부분의 풍속구간에서 선형적 관계를 보이나 일부 풍속의 이상치들의 분포는 비선형적 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 이 분위수대조도의 기울기는 낮은 풍속구간(예: 4m/s 미만)에서 45°에 가까워서 이 풍속구간에 해당하는 미래 일평균풍속의 분포는 보정기간의 분포와 비슷할 것으로 예측된다. 그러나 높은 풍속구간(예: 10m/s 이상)의 기울기는 인천, 군산, 완도, 제주, 여수 지점의 경우 45° 미만이어서 이들 지역에 대한 높은 풍속구간의 일평균풍속은 미래 2013~2100년 기간에 더 적게 발생할 것으로 예측된다. 이에 반해 영덕지점의 경우 8m/s 이상의 풍속의 기울기는 45°를 상회해서 이 풍속구간의 일평균풍속은 미래 2013~2100년 기간에 더 많이 발생할 것으로 예측된다. 속초, 울산 지점의 경우에는 보정기간과 예측기간의 분위수가 대부분의 풍속구간에서 45°에 가까운 분포를 보이고 있어 향후 88년 전반에 대한 풍속의 분포는 보정기간의 분포와 비슷할 것으로 예측된다.

본 연구에서 파악된 것과 같이 상당수의 지점에서 높은 풍속구간의 미래 일평균풍속이 낮아지는 현상은 대기-해양 접합모형의 결과를 이용하여 미국, 칠레, 페루 등의 미래풍속을 평가한 연구 결과와 같은 추세이다[15].

4.3 미래 일평균풍속의 극대통계해석

본 연구에서는 미래 88년간의 연최고 일평균풍속을 3구간으로 나누어 100년 재현주기 일평균풍속을 산정한 후 미래기간별 극대풍속의 변동성을 평가하였다. 100년 재현주기에 해당하는 일평균풍속의 통계적 모형은 3.2장에 기술된 검בל확률분포가 적용되었다.

논문의 지면 상 분석한 기간 중 2013~2040년과 2041~2070년 기간에 대한 변동성만 그림 7과 같이 비교하도록 한다. 그림으로부터 서해안과 남해안에 해당하는 인천, 군산, 완도, 제주, 여수 지점의 100년 재현주기 일평균풍속은 보정기간에 비교하여 2013~2070년 기간 동안 전반적으로 약간 낮으며 최대 -1.0m/s 정도 변동하는 것을 알 수 있다. 이에 반해 동해안에 해당하는 울산, 영덕, 속초 지점의 100년 재현주기 일평균풍속은 보정기간과 비교하여 2013~2040년 동안 0.5m/s 정도 상승하였다가 2041~2070년 기간에는 보정기간과 비슷해지거나 0.5m/s 정도 낮아지는 것을 파악할 수 있다.

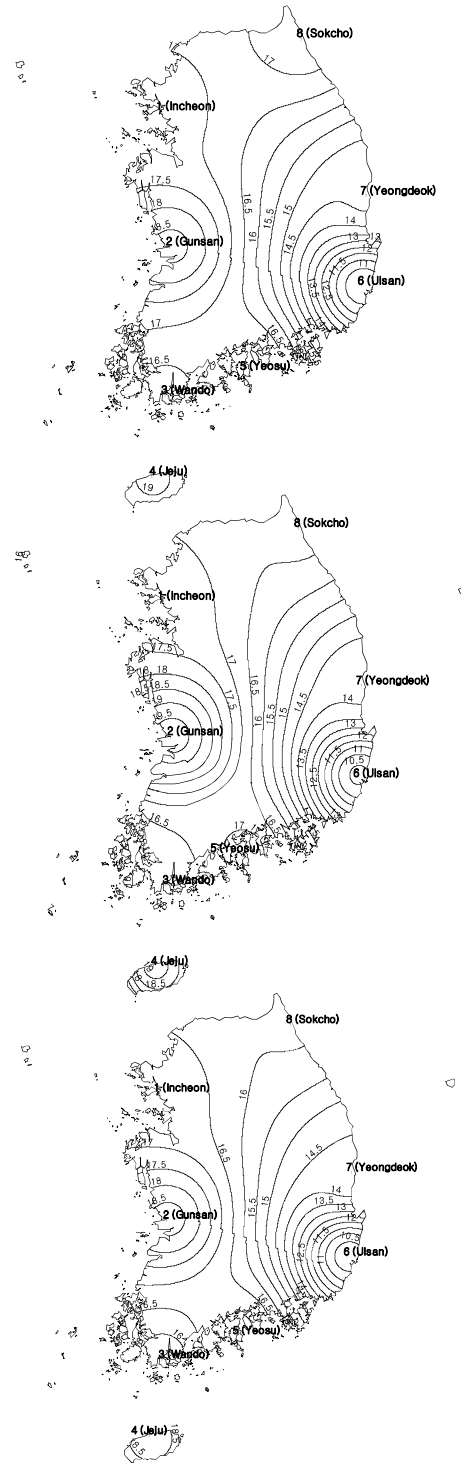


그림 7 100년 재현주기 일평균풍속, 단위: m/s
(위: 보정기간, 중간: 2013~2040년, 아래: 2041~2070년)

5. 결론

본 연구에서는 NCEP 재해석자료를 이용하여 지상 관측 풍속에 대한 회귀식을 수립하고 이 회귀식과 GCM 결과를 결합하여 기후변화가 한반도 미래 풍속에 미치는 영향을 산정할 수 있는 통계적 축소법을 개발하였다. 개발된 축소모형은 캐나다 기상청에서 제공하는 CGCM3 결과와 함께 8개 해안가 풍속관측지점에 적용되었으며, 이를 통해 향후 88년 기간에 대한 일평균풍속을 평가할 수 있었다.

본 연구의 결과에 의하면 CGCM3 결과 중 A1B 시나리오를 축소할 경우 기후변화로 인하여 동해안을 제외한 대부분의 해안지점에서 일평균풍속의 통계치(평균, 표준편차, 극대값 등)가 소폭 낮아질 것으로 평가된다.

본 연구의 결과는 IPCC의 A1B 시나리오에 대한 CGCM3 결과를 사용한 경우이기 때문에 기후변화가 한반도의 풍속에 미치는 중관기상(Synoptic Climate)적 영향성을 일반화하기 위하여서는 다양한 GCM 결과에 대한 축소법의 적용이 필요하다. 또한 보다 정확한 미래 극한풍속을 산정하기 위하여서는 시간별 GCM 결과에 대한 축소법의 적용 및 GCM에서 파악할 수 없는 태풍과 같은 선형풍(Cyclostrophic Wind)에 대한 모사가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘기후변화를 고려한 시설별 방재기준 가이드라인 개발’ [NEMA-자연-2012-53]과제의 성과입니다.

참 고 문 헌

[1] Stewart, M. and Wang, X., “Risk Assessment of Climate Strategies for Extreme Wind Events in Queensland”, *CSIRO Report*, 2011.

[2] Benestad, R., Hanssen-Bauer, I. and Chen, D., “Empirical-Statistical Downscaling”, *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*, 2008.

[3] Ishihara, T., Yamaguchi, A. and Fujino, Y., “A dynamical-statistical downscaling procedure for wind climate assessment and Its verification”, *The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering*, pp.353-356, 2006.

[4] Gustafson, W.I. and Leung, L.R., “Regional

downscaling for air quality assessment”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.88, pp.1215-1227, 2007.

[5] Salameh, T., Drobinski, P. and Naveau, P., “Statistical downscaling of near-surface wind over complex terrain in southern France”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol.103, No.1, pp.253-265, 2008.

[6] Pryor, S.C., Schoof, J.T. and Barthelmie, R.J., “Empirical downscaling of wind speed probability distributions”, *Journal of Geophysical Research*, Vol.110, D19109, 2005.

[7] IPCC, Climate Change 2007, *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, UNEP, 2007.

[8] Kanamitsu, M. and Kanamaru, H., “57-year California reanalysis downscaling at 10km (CaRD10): system detail and validation with observations”, *Journal of Climate*, Vol.20, pp.5527-5552, 2007.

[9] Lee, S., Lee, Y.K. and Ham, H., “Regional windstorm risk assessment”, *The 13th International Conference on Wind Engineering*, 2011.

[10] 대한건축학회, *건축구조기준*, 기문당, 2009.

[11] von Storch, H., “On the use of inflation” in statistical downscaling”, *Journal of Climate*, Vol.12, pp.3505-3506, 1999.

[12] Bloom, G., *Statistical Estimates and Transformed Beta-Variables*, Wiley, 1958.

[13] Huth, R., “Statistical downscaling of daily temperature in central Europe”, *Journal of Climate*, Vol.15, No.13, pp.1731-1742, 2002

[14] Michelangeli, P., Vrac, M. and Loukos, H., “Probabilistic downscaling approaches”, *Geophysical Research Letter*, Vol.26, L11708, 2009.

[15] Goubanova, K., Echevin, V., Dewitte, B., Codron, F., Takahashi, K., Terray, P. and Vrac, M., “Statistical downscaling of sea-surface wind over the Peru-Chile upwelling region”, *Journal of Climate Dynamics*, Vol.36, No.8, pp.1365-1378, 2010.