

# 기상방재 대책수립을 위한 아시아지역 기상모형에 필요한 지표경계조건의 구축

## Construction of Surface Boundary Conditions for the Regional Climate Model in Asia Used for the Prevention of Disasters Caused by Climate Changes

최 현 일\*

Choi, Hyun Il

### Abstract

It has been increasing that significant loss of life and property due to global warming and extreme weather, and the climate and temperature changes in Korea Peninsula are now greater than the global averages. Climate information from regional climate models(RCM) at a finer resolution than that of global climate models(GCM) is required to predict climate and weather variability, changes, and impacts. The new surface boundary conditions(SBCs) development is motivated by the limitations and inconsistencies of existing SBCs that have influence on model predictability. A critical prerequisite in constructing SBCs is that the raw data should be accurate with physical consistency across all relevant parameters and must be appropriately filled for missing data if any. The aim of this study is to construct appropriate SBCs for the RCM in Asia domain which will be used for the prevention of disasters due to climate changes. As all SBCs have constructed onto the 30km grid-mesh of the RCM suitable for Asia applications, they can be also used for other distributed models for climate and hydrologic studies.

**key words** : Surface Boundary Conditions, Regional Climate Models, Climate Changes, Geographic Information System

### 요 지

전세계적으로 지구온난화와 기상이변으로 인한 인명과 재산의 피해는 해마다 증가하고 있으며, 최근 한반도의 기후와 기온은 지구평균치보다 큰 변화가 일어나고 있다. 지구전체기상모형(Global Climate Model 또는 General Circulation Model GCM)보다 고해상도의 모의가 가능한 지역기상모형(Regional Climate Model RCM)은 기후 변동, 변화 및 그 영향과 관련된 여러 문제들을 파악하는데 사용된다. 이러한 기상모형을 위한 기존 입력자료들의 가용성, 정확도, 그리고 일관성의 결여로 인하여 제한되고 있는 모형의 예측능력 향상을 위해 새로운 지표경계조건들(Surface Boundary Condition SBC)의 필요성이 요구되고 있다. 따라서, 정확도 높은 측정자료의 확보와 과학적 근거에 의한 자료선택 및 결측보정이 새로운 지표경계조건 구축에 선결조건이 되어야 한다. 이 연구의 목적은, 기상방재 수립을 위한 아시아 지역기상모형에 필요한 정확도 높은 지표경계조건 자료를 구축하는데 있다. 산정된 지표경계조건들은 30km 크기의 격자망으로 구성된 한반

\* 정회원 · Assistant professional Scientist, Center for Atmospheric Science, Illinois State Water Survey  
(E-mail : hichoi@uiuc.edu)

도를 포함한 아시아 지역기상모형의 계산망에 대해 구축되어, 이 지역의 기상 및 수문 예측모의를 위한 다른 분포형모형들의 입력자료로도 사용이 가능하다.

**핵심용어** : 지표경계조건, 지역기상모형, 기후변화, 지리정보시스템

## 1. 서론

온실가스가 원인으로 지목되는 지구온난화와 기상 이변은 기온 및 해수온도의 상승과 이로 인한 폭염피해, 호우피해, 초대형 태풍의 출현, 그리고 대기오염의 심화와 전염병의 확산 등 인명과 재산에 막대한 피해를 초래할 수 있다. 남의 일처럼 여겨지던 기상이변과 기온 및 해수온도 상승은 이제 한반도를 비롯한 아시아지역에서도 심각한 문제로 대두되고 있다. 기상연구소의 "한반도 기후 100년 변화와 미래 전망" 보고서(2004)에 따르면, 1904년 이후 2000년까지 우리나라에서 관측된 기온자료를 분석한 결과, 한반도의 평균기온은 지난 100년간 1.5°C가 상승, 세계적인 상승폭의 2배를 상회하고 있다. 또한, 세계기상기구와 유엔환경계획이 설립한 "기후변화에 관한 정부간 패널" (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)에서 제출한 "4차 기후변화에 관한 평가 보고서" (IPCC, 2007)에서는 향후 100년 동안 지구의 평균기온이 1.1~6.4°C 상승할 것으로 예측하고 있다.

수십 킬로미터 고해상도 계산망의 지역기상모형은 장래기상예측의 주요도구이며, 기후변화가 수자원 관리와 영향평가, 즉 수자원, 생태계, 기상이변, 그리고 태풍발생 등에 미치는 영향과 관련된 여러 문제들을 예측하는데 있어 모형의 중요성은 계속 증가하고 있다. 이러한 지역기상모형은, 지구전체의 물순환 및 기상예측을 다루는 전체기상모형으로 부터의 저해상도(수백킬로미터) 예측자료를 다운스케일 기법으로 모형의 초기조건 및 횡방향 경계조건으로 사용한다. 최근의 기상모형들은 지구전체모형과 지역모형을 막론하고, 고해상도에서의 정교한 모의가 가능하게 발전하고 있다. 이러한 모형의 발전과 더불어, 모형예측결과에 중요한 영향을 미치는 지표경계조건들도 위성원격탐사자료의 이용 등 양질의 고해상도 자료로 부터 새로이 구축되어야 할 필요가 있다. 기존의 경계조건 자료들은 사용상 제한적이고 정확도 및 일관성이 떨어지기 때문에, 기상모형의 주요 입력자료인 지표 피복, 고도, 토양, 식생, 생태 등에 관한 새로운 경계조건 자료들의 구축이 요구된다. 최근에 지표특성 및 식생피복에 대한 방대한 위성원격자료의 사용이 가능해짐에 따

라, 다양한 축척의 고해상도 자료로 부터 현재의 모형 축척인 30km의 계산망을 위한 지표경계조건들을 지리정보시스템(Geographic Information System GIS)을 통해 산정하였으며, 이 기법을 이용하여 세계 각 대륙의 지역기상모형을 위한 입력자료의 구축이 가능하다.

## 2. 대상지역

자료구축 대상 계산망은 그 중심이 북위 30°, 동경 110° 에 위치하며, 램버트 정각원추도법(Lambert Conformal Conic)의 지도투영법이 사용되었다. 30km X 30km 크기의 정방형인 모형계산망 격자는 동서방향으로 301개, 그리고 남북방향으로 251개로 구성되었으며, 한반도와 중국본토 전지역, 그리고 이 지역 기상에 기류로 인한 상호작용의 영향이 미치는 유럽 및 오세아니아의 일부 인접국가들도 포함되어 있다.

## 3. 지표경계조건 자료의 구축

지표경계조건 자료의 구축을 위한 원자료의 채택조건은 자료간의 물리적인 일관성을 갖는, 결측치가 없는 자료의 선별이다. 불가피하게 결측이 있는 자료를 선택할 경우, 그 결측치는 합리적인 방법으로 보간이 되어야 한다. 또한, 계산망내의 불균질성 효과를 나타내기 위해 원자료는 가능한 고해상도의 자료를 선택하도록 한다(Liang 등, 2005). 가용한 원자료들은 30km 크기의 모형계산망과 다른 다양한 축척에, 여러 종류의 지도투영법과 자료형태를 취하고 있다. 이러한 방대한 원자료들로부터 각 계산망 격자의 대표값을 산정하기 위해 ESRI의 ArcGIS를 이용하였다.

### 3.1 토지피복(Land Cover Category)

총 24개 범주의 USGS 토지피복 자료는 1992년 4월 부터 1993년 3월까지의 위성자료인 Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR) 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index NDVI)로 부터 산정되었다. USGS 토지피복 원자료는 1km 해상도의 자료로, 지리좌표계(geographic coordinate system)의 BIL(band interleaved by

line) 이미지 형태로 공급된다. 30km 격자안에 속하는 피복종류중 그 지배면적이 가장 큰 것이 그 격자망을 대표하는 토지피복으로 선정되었다. 해수나 호수(water bodies)의 비율이 가장 크지만 50% 미만인 격자에 대해서는 두번째로 비율이 큰 범주가 그 격자를 대표하는 피복종류로 선정되었다. 그림 1은 30km 모형계산망을 위해 구축된 토지피복종류의 분포를 보여준다. 아시아지역 모형망에서는 총 21개 범주의 토지피복종류가 존재한다.

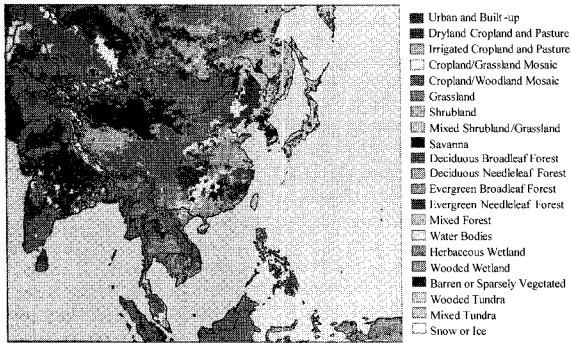


그림 1. 아시아 지역기상모형 토지피복 자료의 공간적 분포

### 3.2 지형고도(Terrain Elevation)

지형고도 자료는 미국 지질조사소(US Geological Survey USGS)의 GTOPO30(Global 30-arc-second elevation data set)를 기반으로 한 HYDRO1k 전자고도자료(Digital Elevation Model; DEM)를 원자료로 하여 구축되었다. 1km의 해상도를 갖는 HYDRO1k DEM은 BIL이미지 형태의 자료로, 램버트 방위등적 투영법(Lambert Azimuthal equal

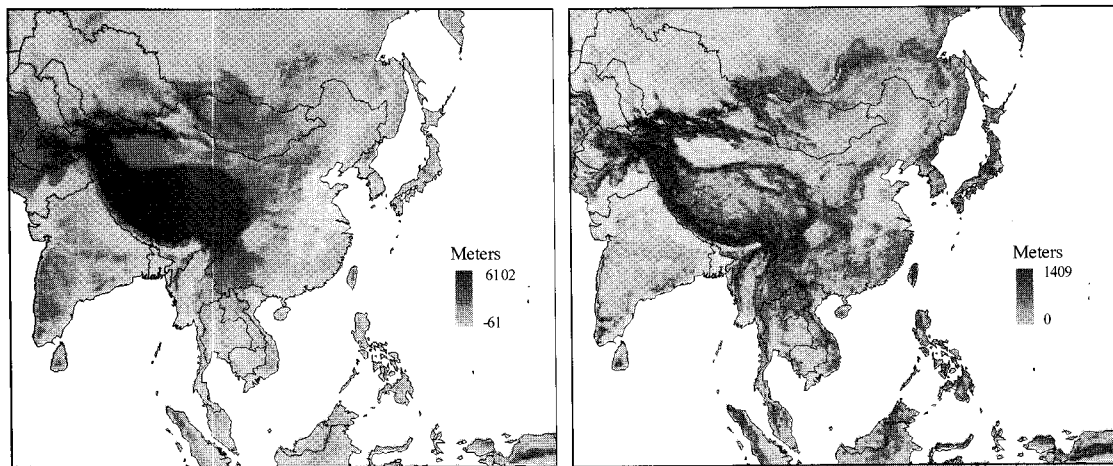
area)으로 작성되어 있다. 그림 2에 나타난 바와 같이, 아시아 지역기상모형 계산망을 위한 지형고도의 평균값과 불균질성을 나타내는 표준편차가 30km 격자망에 대해 산정되었다.

### 3.3 토양성분함유율(Soil Sand and Clay Fraction Profiles)

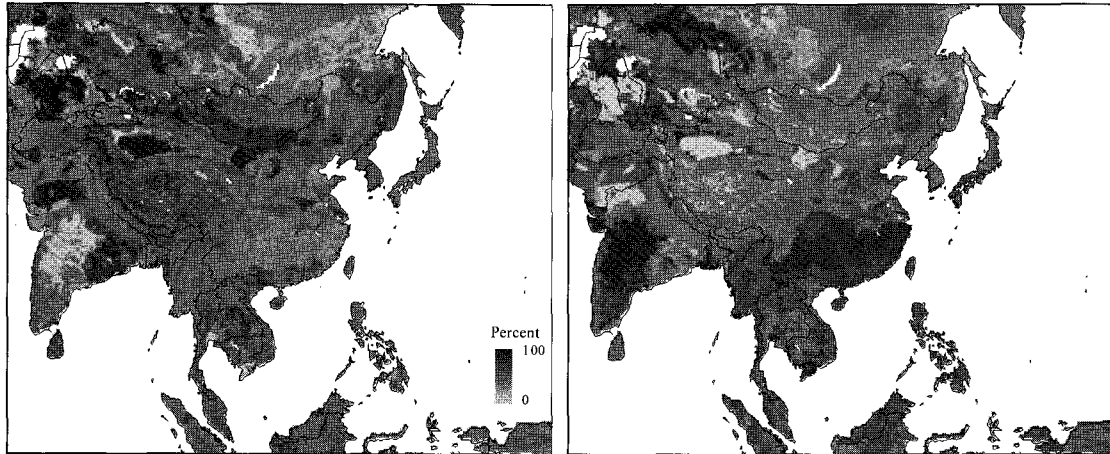
토양성분함유율 자료는 각 토양층의 열 및 수리 특성변수를 산정하는데 이용된다(Cosby등, 1984). Reynolds 등(2000)은 5minute 단위 경도/위도의 FAO-UNESCO Sand/Clay 지도(FAO, 1996)를 이용하여, 0-30cm 그리고 30-100cm 깊이의 두층에 대해 토양성분 함유율을 재산정하였다. 아시아 지역기상모형을 위한 토양성분함유율 자료는 이 자료로부터 면적가중평균법에 의해 지표모형(Common Land Model; Dai 등, 2001 2003)의 각 토양층에 대해 구축되었다. 그림 3은 모형의 제 1층을 위한 30km의 계산망에 대한 Sand/Clay 분포를 보여준다.

### 3.4 식생피복비율(Fractional Vegetation Cover)

식생피복비율은 생태학적인 매개변수로, 지표중발산, 광합성, 광선반사율(albedo), 및 그외의 지표-기상 상호작용흐름에 영향을 미치는 지표의 나대지(bare soil)와 식생 부분의 비율을 나타내는 요소이다(Liang 등, 2005). Zeng 등(2000 2002)의 방법을 따라 식생피복비율이 시간적으로 일정한 것으로 가정하였다. 토지피복 자료와 마찬가지로, 1992년 4월 부터 1993년 3월까지의 AVHRR 10일 복합 정규식생 지수를 바탕으로 산정하며, 구름차단으로 인한 자료의



(a) 평균 (b) 표준편차  
그림 2. 아시아 지역기상모형 지형고도 자료의 공간분포



(a) Sand (b) Clay  
**그림 3. 모형의 토양 제 1층에서의 토양성분함유율의 공간적 분포**

불확실성을 최소화하기 위하여 연평균 최대정규식생 지수( $N_{p,max}$ )를 이용하여 각 토지피복 종류에 따라 산정하였다. 식생피복비율은 다음의 식 (1)에 의해 산정된다.

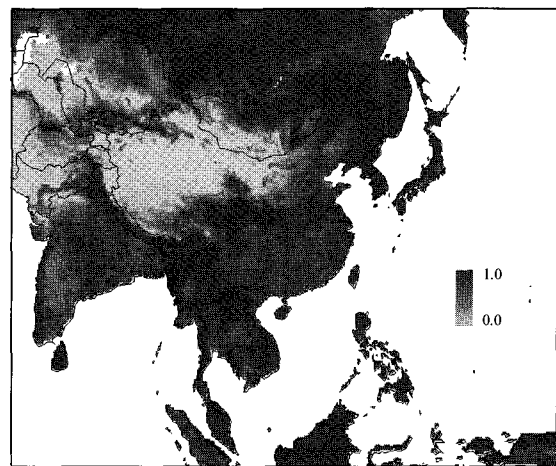
$$C_v = \frac{N_{p,max} - N_s}{N_{c,v} - N_s} \quad (1)$$

여기서,  $C_v$ 는 식생피복비율,  $N_{c,v}$ 는 각 지표피복종류에 따른 정규식생지수로 Zeng 등(2000)에 의해 International Geosphere Biosphere Programme (IGBP) 지표피복범주에 대해 처음 산정된 후, Liang 등(2005)에 의해 USGS 지표피복 자료를 위해 조정되었다.  $N_s$ 는 나대지에 해당하는 정규식생지수값으로 주로 겨울철에 발생하여 구름차단 등으로 인한 많은 불확실성을 수반하므로 Zeng 등(2000)의 가정을 따라 모든 USGS 지표피복종류에 대해 일정한 값인 0.05로 가정하였다. 그림 4는 면적가중평균법에 의해 30km 모형계산망을 위해 산정된 식생피복비율의 분포이다.

### 3.5 엽면적지수(Leaf Area Index)

엽면적지수는 단위지표면적에 자라는 모든 잎들의 한쪽면적의 합을 지표면적으로 나눈 비율이다. 1981년 7월 부터 1999년 12월까지의 8km 해상도를 갖는 Interrupted Goode Homolosine 투영법의 월평균 엽면적지수(Zhou 등, 2001 Buermann 등, 2002)가 원자료로 수집되었다. 구름차단 등에 의해 일부 결측된 부분은 반경 16km내에 있는 동일한 피복종류지역 값

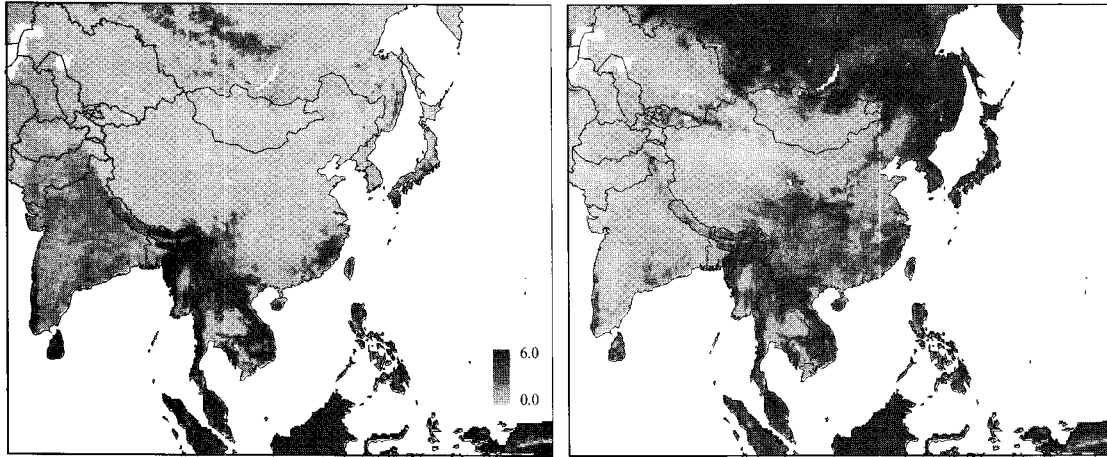
들의 평균치로 보완이 되었다. 이 엽면적지수는 총단위 지표면적에 따라 산정되었으므로, 식생부분에만 해당하는 엽면적지수를 구하기 위해 3.4에서 산정된 식생피복비율값으로 나누어져 산정되었다(Zeng 등, 2002). 그림 5는 30km 모형계산망에 대한 연평균 겨울(1월)과 여름(7월)의 엽면적지수의 공간분포이다.



**그림 4. 아시아 지역기상모형 식생피복비율의 공간적 분포**

## 4. 요약 및 결론

아시아 지역의 기후 및 기상 예측과 수자원의 관리와 영향평가, 그리고 기상재해방지에 사용되는 지역기상모형의 예측도 향상을 위해, 보다 정밀하고 일관성 있는 지표경계조건의 구축이 요구된다. 본 연구에서 아시아 지역기상모형을 위해 일차적으로 산정된 지표경계조건으로는 토지피복, 지형고도, 토양성분함유율, 식생피복비율 및 엽면적지수 등의 자료들이 있다.



(a) 겨울 (1월) (b) 여름 (7월)  
**그림 5. 연평균 겨울(1월) 및 여름(7월)의 엽면적지수의 공간분포**

30km해상도의 지표경계조건 구축을 위해 수집된 고 해상도의 원자료들과 방대한 자료의 저장, 처리 및 재생산을 위해 사용된 방법들은 아시아 지역의 다른 해상도의 분포형 모형은 물론 전세계의 다른 지역기상 모형을 위해 사용될 수 있다. 현존하는 양질의 가용한 원자료의 확보노력에도 불구하고, 이번 연구에서 구축된 지표경계조건 자료들은 원자료에서 기인하는 불확실성을 포함할 수 있으므로, 이에 대한 검토와 다양한 방법으로 관측된 원자료들을 이용한 지표경계조건건의 비교평가는 후속연구에서 다루어 질 것이다.

### 참 고 문 헌

- 기상연구소 기후연구실 (2004) 한반도 기후 100년 변화와 미래 전망. 연구보고서.
- Buermann, W., Wang, Y., Dong, J., Zhou, L., Zeng, X., Dickinson, R.E., Potter, C.S., and Myneni, R.B. (2002) Analysis of a Multiyear Global Vegetation Leaf Area Index Data Set. *J. Geophys. Res.*, Vol. 107, No. 4646, doi:10.1029/2001JD000975.
- Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Clapp, R.B., and Ginn, T.R. (1984) A Statistical Exploration of the Relationships of Soil Moisture Characteristics to the Physical Properties of Soils. *Water Resour. Res.*, Vol. 20, pp. 682-690.
- Dai, Y., Zeng, X., Dickinson, R.E., and co-authors. (2001) *The Common Land Model (CLM): Technical Documentation and User's Guide*.
- Dai, Y., Zeng, X., Dickinson, R.E., Baker, I., Bonan, G.B., Bosilovich, M.G., Denning, A.S., Dirmeyer, P.A., Houser, P.R., Niu, G., Oleson, K.W., Schlosser, C.A., and Yang, Z.-L. (2003) The Common Land Model. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 84, pp. 1013-1023.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (1996) *The Digitized Soil Map of the World Including Derived Soil Properties*. CD-ROM, Rime, France.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007) *Fourth Assessment Report, Climate Change 2007 - Summary for Policy-makers*.
- Liang, X.-Z., Choi, H.I., Kunkel, K.E., Dai, Y., Joseph, E., Wang, J.X.L., and Kumar, P. (2005) Surface Boundary Conditions for Mesoscale Regional Climate Models. *Earth Interactions*, Vol. 9, Paper 18.
- Reynolds, C.A., Jackson, T.J., and Rawls, W.J. (2000) Estimating Soil Water-holding Capacities by Linking the Food and Agriculture Organization Soil Map of the World with Global Pedon Databases and Continuous Pedotransfer Functions. *Water Resources Research*, Vol. 36, pp. 3653-3662.

Zeng, X., Dickinson, R.E., Walker, A., Shaikh, M., DeFries, R.S., and Qi, J. (2000) Derivation and Evaluation of Global 1-km Fractional Vegetation Cover Data for Land Modeling. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 39, pp. 826–839.

Zeng, X., Shaikh, M., Dai, Y., Dickinson, R.E., and Myneni, R. (2002) Coupling of the Common Land Model to the NCAR Community Climate Model. *J. Climate*, Vol. 15, pp. 1832–1854.

Zhou, L., Tucker, C.J., Kaufmann, R.K., Slayback, D., Shabanov, N.V., and Myneni, R.B. (2001) Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index During 1981 to 1999. *J. Geophys. Res.*, Vol. 106, pp. 20069–20083.

© 논문접수일 : 2007년 09월 08일  
© 심사의뢰일 : 2007년 09월 10일  
© 심사완료일 : 2007년 09월 14일