한국지리정보학회지 1권 1호 : 99~108(1998)

ARPS 모형 지면 과정 모수화에 위성 자료의 응용

하경자[1] · 서애숙[2] · 정효상[3]

The Application of Satellite Data to Land Surface Process Parameterization in ARPS Model

Kyung-Ja Ha[1] · Ae-Sook Suh[2] and Hyo-Sang Chung[3]

요 약

국지 기상 모형의 지표 특성을 표현하기 위해 토양 구분, 식생 구분, 지표 거칠기 길이, 지표 알베도와 엽면지수가 지면 과정 모수화 내에서 처방되어야 한다. 이 연구에서는 인공위성 관측값으로부터 계절함수로 얻어진 경,위도 1도 및 1도의 엽면지수, 지표거칠기 길이, 눈이 없을 때의 지표 알베도와 상세 격자 NDVI를 지면 과정 모형에 적용하였다. 생물권과 대기권 사이, 지면과 대기 사이의 상호작용에서 이러한 인공위성 자료를 사용한 것과 사용하지 않은 것을 비교함으로써, 열, 에너지 및 수증기 속들, 지면 기온, 바람, 식생 물함유량, 비습, 강수장의 민감도가 조사되었다.

주요어 : 인공위성 자료, 엽면지수, NDVI, 지면과정 모수화, ARPS 모형

ABSTRACT

In order to represent the surface characteristics in local meteorological model, soil type, vegetation index, surface roughness length, surface albedo and leaf area index should be prescribed on the surface process parameterization. In this study, the 1°/1°leaf area index, surface roughness length, and snow free surface albedo and fine mesh NDVI with seasonal variation derived from the satellite observation were applied to the land surface process parameterization. From comparison between with and without satellite data in the interactions between biosphere and atmosphere, land and atmosphere, the sensitivity of the simulated heat, energy and water vapor fluxes, ground temperature, wind, canopy water content, specific humidity, and precipitation fields were investigated.

KEYWORDS : Satellite data, Leaf area index, NDVI, land surface parameterization, ARPS model

1998년 8월 12일 접수 Received on August 12, 1998

1 부산대학교 대기과학과 Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University (kjha@hyowon.pusan.ac.kr)
2 기상청 수원기상대 Suwon Meteorological Station, Korea Meteorological Agency
3 기상청 기상연구소 Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Agency

* 이 논문은 기상연구소의 “기상자료 종합분석 시스템 개발” 연구과제의 지원에 의해 수행되었음

서 론

최근 들어 사막화와 산림훼손 등의 지표 변화가 대기 경계층내의 기상 현상에 미치는 영향을 이해하기 위해 정확한 지표 바닥 경계 조건의 규정에 대한 중요성이 증가되었다. 이와 관련되어 지표 변화는 대기와 지표의 복사 교환, 운동량 교환 및 열의 교환에 있어 대기 장의 경계 조건으로 분리되는 모수로 여겨졌다. 따라서 지표 변화가 대기 중에 미치는 영향에 대한 연구는 복사에 있어서의 알베도의 영향, 운동량 전달에 있어 지표 거칠기 효과 그리고 현열 및 잠열과정 효과가 민감도 실험을 통해 수행되었다.

Rowntree(1988)와 Garnett(1992)은 지표 과정을 수치 모형에 처방하는 실험을 통하여 지표 조건이 모형 대기에 실질적이고 의미 있는 결과에 영향이 있음을 보였다. 그런데 대부분의 중규모 이상의 수치 모형에서는 식생층내에서나 지표와 대기와의 상호작용에 대한 복잡한 물리적 과정이 비교적 간단히 모수화되어 왔고 지표 변화의 효과가 한·두 변수에 국한되어 나타나도록 모수화되었다. 예를 들어, Henderson-Sellers 와 Gornitz(1984)는 기후학적 영향 평가에서 식생 변화만을 고려한 몇 가지 실험을 수행하였다. 비슷한 실험으로 Sud 등(1988)은 삼림파괴에 기인된 지표 거칠기 길이의 변화만을 살펴보았다. 이러한 유사 실험에서는 지표와 대기의 상호작용에 대한 모수화가 단순화되어 나타났다.

세계적으로 관측 및 감시가 가장 활발한 아마존 사막화의 국지적 영향에 대한 모형 연구에서는 특히 강수량의 변동에 지표 거칠기의 감소에 기인한 증산량과 마찰 수렴에서의 감소가 중요하게 나타나 지표 조건에 뚜렷이 의존하고 있음을 보였다. 그러나 이 경우 지표 알베도가 삼림훼손과 함께 일의적으로 증가되게 나타나지 않는다면 경계층 부근의 승온의 효과가 습기속 수렴을 가속할지도 모른다. 즉, 습기의 수송 수렴의 효과가 알베도 효과를 상쇄하여 강수량 감소의 효과를 예상밖으로 줄일 수 있다는 것이다. 즉, 지표 변질 과정을 한·두가지 변수에만 국한하여 모수화하면 정확한 지표/생권/대기의 상호작용을 나타내기 어렵다. 따라서 산업화 이후에 진행된 지표 조건들의 변화를 정확히 얻고, 이들의 상호 의존 관계를 밝힐 수 있는 민감도 반응 실험은 지표/생권/대기의 상호작용의 이해와 지표피복의 변화가 어떠한 기상·기후 변화를 초래하는가를 이해하는 것에 매우 중요할 것이다.

또한 지표면의 변화가 기후변화에 있어 대기의 온실가스 증가만큼 중요하다는 것을 밝혔다(Bonan 등, 1993). 예를 들면, 삼림손실은 지표면의 온도(Ts)를 증가시키고 더 따뜻하고 더 건조한 기후를 제공함으로써 강수량은 감소될 것이다. 비록 전 지표면이 인간생활, 산림손실, 농업에 의해서 변화된다는 것은 명백하지만, 지금까지 지구적으로 이러한 변화를 정량적으로 밝힐 방법은 없다. 또 전 지구의 식생(종, 성장습관, 생활형태)의 변화에 대한 정량적인 분석은 어려운 문제이다(Running 등, 1994a). 지표면 분리 방법이 다양하게 소개되고, 이 방법들의 문제점에 대해 Townshend 등(1991)과 Running 등(1994a)에 의해 토의되었는데, 이 토의로부터 빠른 지표 변화의 감지에 대해 원격 탐사 자료만이 지표면 분석과 모니터링에 대한 정확하고 반복적인 방법을 제공해 줄 수 있음을 지적하였다.

원격 탐사 자료는 성긴 공간규모에서의 미세한 지표면 변화를 연구하는데 유용하게 사용된다. 예를 들면, 30m 분해능인 Thermatic Mapper data는 도시팽창(Haack 등, 1987), 산림손실(Stole 와 Tucker, 1993)을 추정하는데 사용되었다. 반면에 1km 분해능의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 자료와 이를 성긴 격자로 만든 4km 격자 AVHRR가 대륙 규모의 지표면을 추정하는데 사용되었다(Tucker 등, 1993; Houghton 등, 1993). 최근 연구에서는 위성 자료로 얻은 엽면지수(Leaf Area Index,

LAI)가 식생층과 광합성에 사용되는 복사 흡수양의 율과 같은 생물리학 변수들을 정량화하는데 사용되어지고 있다(Pierce 등, 1993; Sellers 등, 1994).

TABLE 1. A summary documentary

Properties	Description
Equation	Nonhydrostatic, fully compressible
Coordinate System	Generalized terrain-following coordinate vertical stretching including Map projection options
Geometry	1-D, 2-D, 3-D configurations
Prognostic Variables	Wind, potential temperature, pressure, kinetic energy, specific humidity, mixing ratios(cloud water, rainwater, cloud ice, snow, graupe/hail)
Discretization	Spatial : Arakawa C-grid Temporal : leapfrog scheme First-order forward-backward explicit with second-order centered implicit option for small time steps
Nesting	Adaptive grid refinement interface for unlimited level of grid nesting
Terrain	30 sec terrain(the US),1 deg terrain(the world)
Solution Technique	Split-explicit (mode-splitting)
Objective Analysis	Oklahoma Local Analysis and Prediction System (OLAPS)
Soil Model	Two-layer diffusive soil model
Subgrid Scale Turbulence	Smagorinsky-Lilly diagnostic(first-order closure) Turbulent kinetic energy formulation(1.5-order) Germano dynamic closure including isotropic and anisotropic turbulence treatments
Spatial Computational Mixing	2nd-and 4th-order mixing options
Cloud Physics	Kessler warm-rain and 3-category ice
Surface Layer Parameterizations	Bulk aerodynamic drag laws+stability-dependent formulations
Data Assimilation	Forward-variational four-dimensional data assimilation system
Cumulus Parameterization	Kuo and Kain-Fritsch cumulus parameterization schemes
Boundary Conditions	Lateral : periodic, rigid, zerogradient Top & Bottom : rigid, zero-gradient, periodic, and top radiation condition using a Rayleigh sponge layer.
Surface Layer Parameterizations	Bulk aerodynamic drag laws+stability- dependent formulations

본 논문에서는 지표에서의 다양한 변수들의 상호의존적 영향을 되먹이 과정으로 이해하고 이들의 성분들을 모형에서 표현하는 과정을 보다 정확하게 개선할 수 있는 자료를 제시할 것이다. 실제 지표 과정을 모수화 하는 데는 모수의 선택뿐만 아니라 모수끼리의 의존적 관계를 나타내는 것이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 지표 모수를 기상 위성 관측 자료를 재처리하여 얻은 자료로서 공간적으로 세밀하고 균질한 격자에 나타내어 모형에 적용하고 기상 모형의 예보 자료 및 진단 자료의 개선에 기여하고자 한다.

2. ARPS 중규모 기상 모형의 지표 과정

(1) 모형 개요

본 연구를 위해 사용된 모형은 CAPS(Center for Analysis and Prediction of Storms)에서 사용하는 국지 모형인 ARPS(Advanced Regional Prediction System)이다. 이 모형 개발 계획의 기본적인 목적은 과학적이고 교육적인 목적을 위한 중규모 storm 예측기법의 개발을 위한 것이다. 이 모형은 WSR-88D 레이다로부터의 자료와 같은 다양한 같은 관측 자료들의 동화 방법을 사용함으로써 storm 규모 운동의 예보를 위한 기술로 제공되어 질 수 있도록 제작되었다.

ARPS 모형에 대한 기본적인 특성과 모수화 방법은 표 1에 나타내었다. 이 모형의 특징은 레이다 관측 자료와 같이 많은 관측 자료를 포괄하여 다룰 수 있는 장점이 있으며, 다양한 규모 격자로 변환이 가능하며 지표 과정을 잘 나타내기 위해 2층 토양 모형을 내접하고 있다. 그러나 지표 경계층 모수화는 안정도에 의존하여 지표에서의 속들(fluxes)이 결정되도록 만들어져 있다.

(2) 지면 과정 모수화

본 연구에서는 수평격자 9km×9km의 동서 및 남북으로 각각 50개의 격자망을 추풍령(36.00N, 128.00E)을 중심으로 얹혀 놓았다. 그림 1a에 모형 수평 공간과 지표 고도(m)를 나타내었다.

ARPS의 지면 과정은 부프로그램 ARPSSRC에서 처방된다. 이 부프로그램에서는 ARPS 격자에 맞게 지표 성질의 변수가 재처리되는데, 이들은 다음과 같다. 즉,

whsoil.dat : soil type data set (1°×1°,global coverage)
owe14d.dat : vegetation type data set (1°×1°,global coverage)
ndvi9006.dat : Kidwell(1990) monthly Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) (10°×10°, entire globe)

이 세 파일은 토양, 식생 구분 및 정규화된 식생 지수 차이(NDVI)로서 모두 전구 영역에 대해 주어져 있다. 그림 1의 (b), (c), (d)는 모형 영역에서의 토양 구분, 식생 구분과 6월의 NDVI 지수이다. 이들은 모두 처방되는 초기 모수 및 바닥 경계조건들로 지면 과정을 나타내는 위성 자료들이다.

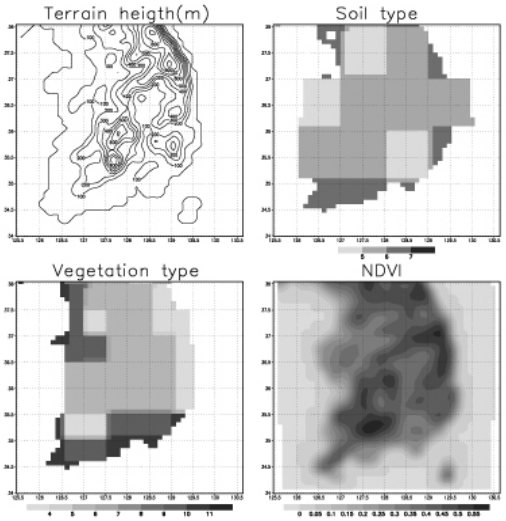

FIGURE 1. The terrain height, soil type, vegetation type, and normalized difference vegetation index in model domain derived from the satellite-observed data

3. 사례 실험 적분

사례 분석의 실험 일자는 1996년 6월 24일 12Z이다. 초기 입력 자료는 이 초기 시각의 KLAM 자료로서 위도·경도점 (26.996N, 113.216E)를 원점으로 하는 40km×40km 간격의 58×58의 수평 격자위의 지면 온도와 지표 기압장, 지위 고도(geopotential height), 바람장, 비습장(specific humidity field)이다. 그림 2는 초기 시각의 지면 온도, 지표 기압장, 지표에서의 바람장, 그리고 지표에서의 비습장이다.

이 날의 이 시각에는 태풍이 우리 나라 남해상에 발달한 경우이며 ARPS로 세밀하게 지표 변수를 표현하고 예측하기 위해 추풍령부근 (36.00N, 128.0E)을 원점으로 하여 9km×9km의 50×58 격자망을 사용하였다. 12h를 시작점으로 하였다. 모형 실험 결과와 규준 실험 (control experiment)의 비교를 위해 초기 시각에서 12초 간격으로 새로 산출되며 6시간 후의 지표 변수 및 기상장을 살펴보았다.

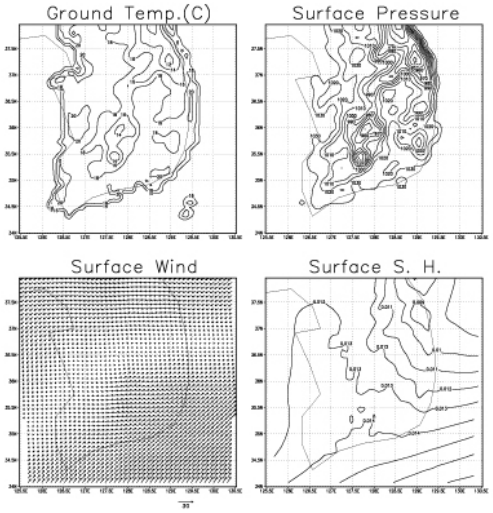

FIGURE 2. The horizontal field of ground temperature, surface pressure, surface wind and surface specific humidity as the initial field at 12Z 24 June 1996

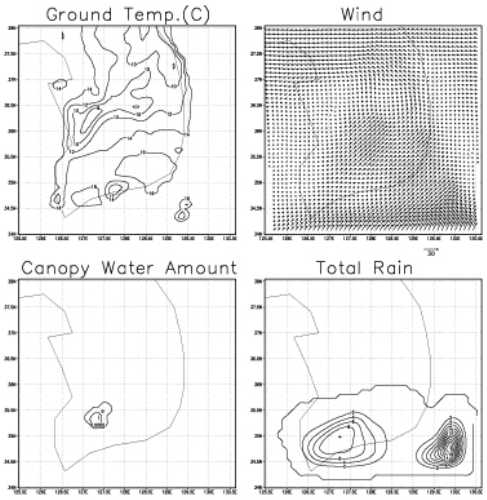

FIGURE 3. The simulated ground temperature, surface wind, canopy water amount and total rain after 3h time integration

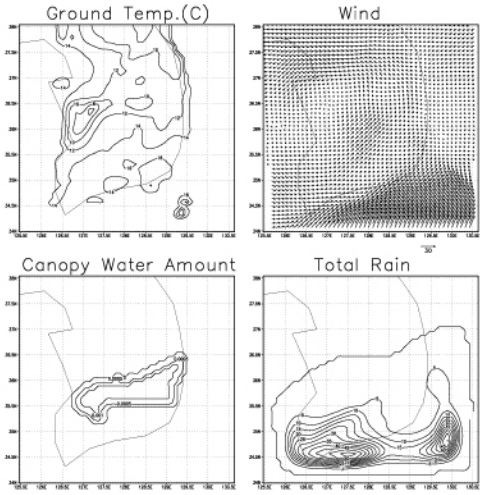

FIGURE 4. The simulated ground temperature, surface wind, canopy water amount and total rain after 6h time integration

4. 결과 분석

(1) 규준 실험 결과

규준 실험의 3시간 후와 6시간 후의 결과를 그림 3과 4에 보였다. 이 그림들은 지표 기온, 지표 바람, 식생 수분양 및 강수량인데 시

간이 진행되는 동안 우리 나라 남해상 및 남해안에서 태풍의 영향을 더 많이 받아 바람이 증가되고 강수가 증가되어 나타나고 있다. 이는 강수량 관측량을 보인 그림 5에서도 잘 볼 수 있는 특징이다. 태풍에 의해 모형 적분 시간 3시간 후인 24시와 새벽 3시에 이미 태풍에 의해 남해안 일대와 남해상에 많은 비가 내리고 있다. 그리고 지리산 북부 산악지역과 우리 나라 남부 산악 지역에서 강수 지역의 북쪽으로 식생이 많은 지역에서 식생 수분양이 증가되었다.

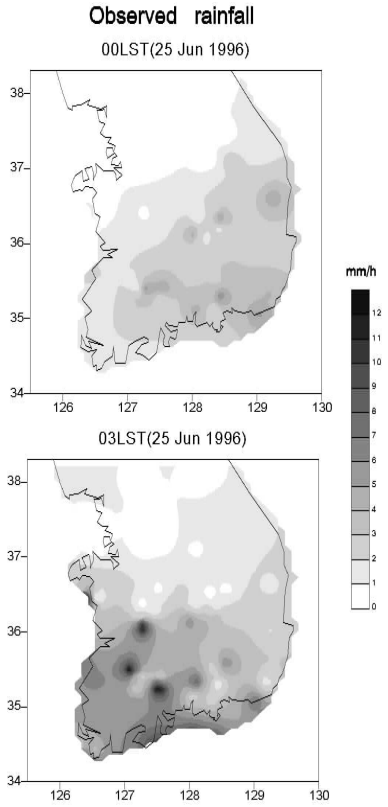

FIGURE 5. The observed precipitation(mm/h) in case day

대개 식생 및 거칠기 길이, 지표 알베도는 계절 변화에 따른 식생 변화나 구름 및 기상과 같이 비교적 짧은 변화 주기를 가지고 있다. 그러나 상세한 기상 조건 및 시간적 발전 양상을 모두 나타내기는 어렵다. 우리 나라 지역에서의 이러한 지표 변수들의 계절 변화를 위성 관측 자료를 통해 알아보고자 한다. 우리 나라 지역의 1°×1°격자 내에서 평균 엽면 지수, 거칠기 길이(m) 그리고 지표 알베도의 2년간 월평균 관측치(GSFC/NASA)를 그림 6에 보였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 삼림 지역은 엽면 지수 및 거칠기 길이에 있어 높은 값을 가지며 하계에 높은 값을 가지고 뚜렷한 연주기 변동이 나타나며, 농경지 지역의 거칠기 길이는 낮으나 엽면 지수에 있어 비교적 뚜렷한 연변동이 나타났다.

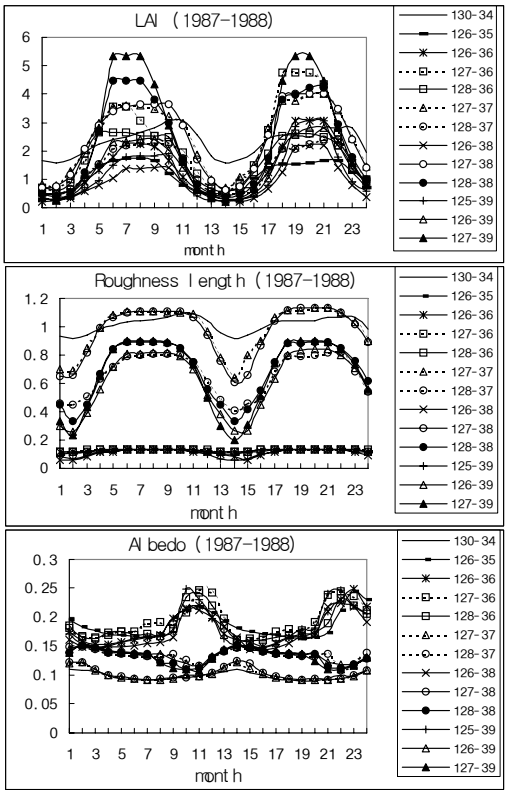

FIGURE 6. The monthly leaf area Index, roughness length and surface albedo for the two-year of 1987 and 1988 in each grid of Korea. The each symbol denotes the grid point (longitude- latitude) of 1°×1°.

지표 알베도의 변화는 농경 지역에서 뚜렷한 연주기가 있으며 겨울철에 큰 알베도를 보인다. 이렇게 엽면 지수뿐만 아니라 지표 거칠기 길이 및 지표 알베도도 뚜렷한 연주기를 가지고 있으므로 이들의 계절 효과를 고려하는 모수화가 이루어져야 한다.

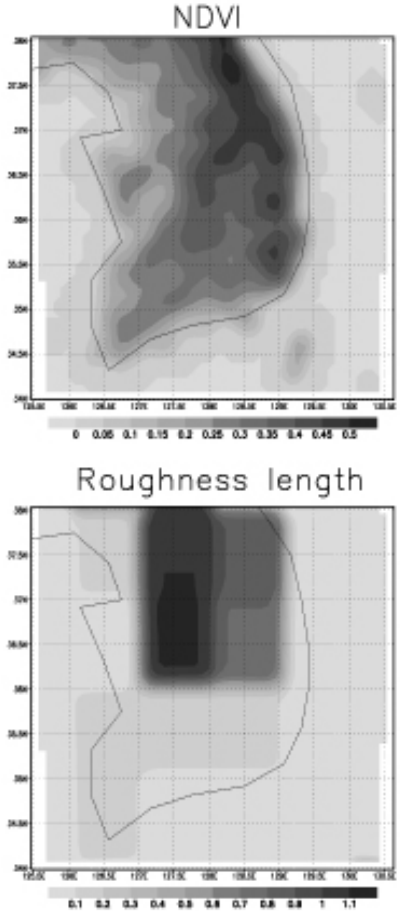

FIGURE 7. The normalized difference vegetation index and roughness length obtained from the satellite data in order to use to the sensitivity test for the atmospheric responses to the land surface parameter

(2) 위성 관측 NDVI를 고려한 실험 결과

이와 같이 계절 변화가 뚜렷한 지표 변수들 중에 엽면 지수의 기본값인 표준 식생 지수(NDVI)(Astar 등, 1985)와 그리고 중요한 지면 변수인 지표 거칠기 길이를 NOAA 위성 자료를 사용하여 얻은 1°×1°격자값을 사용하여(Goward 등, 1993), ARPS에서 지표 처방 변수로 나타내었다. 그림 7은 이 두 지표 변수의 ARPS 모형 실험 영역내의 6월 값이다.

NDVI를 처방하여 ARPS의 6h 모형 실험 결과를 지표 기온의 차이, 지표 바람장의 차이, 식생 수분양 차이 및 강수량 차이를 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서는 그날의 위성 관측 자료로부터 재처리되어 입력된 NDVI의 모습이 규준 실험의 초기장인 그림 2의 NDVI에 비해 우리 나라 남서 내륙지역에서 작은 값을 나타낸다. 이러한 NDVI의 차이로 인해 바로 그 지역에 식생 수분양의 감소와 남동 해안지역에 바람장의 차이가 큰데 이는 내륙에서의 복잡한 지형의 효과와 결합되어 강수량의 차이로 남동 해안 및 대마도 부근에 유의하게 나타났다. 지표 기온에 있어서의 차이는 남동 해안뿐만 아니라 38N 부근에서 산악의 능선에서 나타나는데 이는 시간이 진행되면서 야간의 복사 냉각이 강화되어 나타나는 것으로 추정된다.

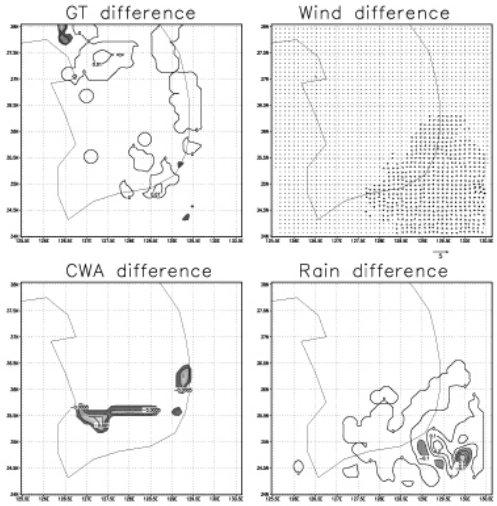

FIGURE 8. The simulated ground temperature, surface wind, canopy water amount and total rain after 6h integration with replacement of the satellite-observed NDVI

⑶ 위성 관측 지표거칠기 길이를 고려한 실험 결과

지표 거칠기 길이 z_o는 여러 모형에서 간단히 취급되어 지면 규모나 계절에 대해 변하지 않게 일정하게 주어진다. z_o의 한 값을 사용하는 모형은 운동량과 규모간 열 및 수증기 등의 수송을 부적절하게 다룰 수 밖에 없다. Sud 등(1988)은 대규모 순환 모사에서 사막 지역에서 거칠기 길이를 감소시켜 쉬어 응력 효과, 하층 수렴 및 대류성 강수가 모두 감소하는 것을 보인 바 있다.

대기에 지표에 의한 전단응력(shear stress)은 일반적으로 다음과 같이 주어진다.

$$\tau = \rho \frac{\overrightarrow{u_r}}{\gamma_{am}}$$

여기서 τ는 전단응력($kgm^{-1}s^{-2}$), ρ는 대기밀도(kgm^{-3}), $\overrightarrow{u_r}$는 지표의 기준 고도에서 바람(ms^{-1})이며, γ_{am}은 운동량 전달에 대한 동역학적 저항(sm-1)이다. 즉 τ는 수평 바람 $\overrightarrow{u_r}$에 의해 거친 정도에 따라 표면의 감속력에 의해 유도되는 대기에서 지표로의 운동량 전달율이다.

γ_{am}은 중립상태에서 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_{am} = \frac{1}{\overrightarrow{u_r}} \left[\frac{1}{k} \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) \right]^2$$

여기서 k는 Von Karman 상수로 0.41, z_o는 거칠기 길이(m)이며, z_r는 기준 고도(m)이다.

자연에서 이 식의 거칠기 길이 z_o는 지표 성질의 함수이며 식생 밀도에 좌우되는 변수이다. 예를 들면, 숲이나 늪지에서의 거친 표면은 사막이나 낮은 잔디의 평평한 표면보다 난류 교환에서 볼 때 대기와 더욱 강하게 결합되어 있다.

대개 γ_{am}은 $\frac{1}{C_b \overrightarrow{u_r}}$로 보고 C_b는 지표의 항력계수(drag coefficient)로 둔다. 기상 모형에서는 간단히 항력 계수를 육지와 바다로 구분하여 취급하고 있는데, 이 연구에서는 위성 자료로부터 NDVI와 함께 거칠기 길이를 사용하여 지표 특성을 자세히 나타내었다.

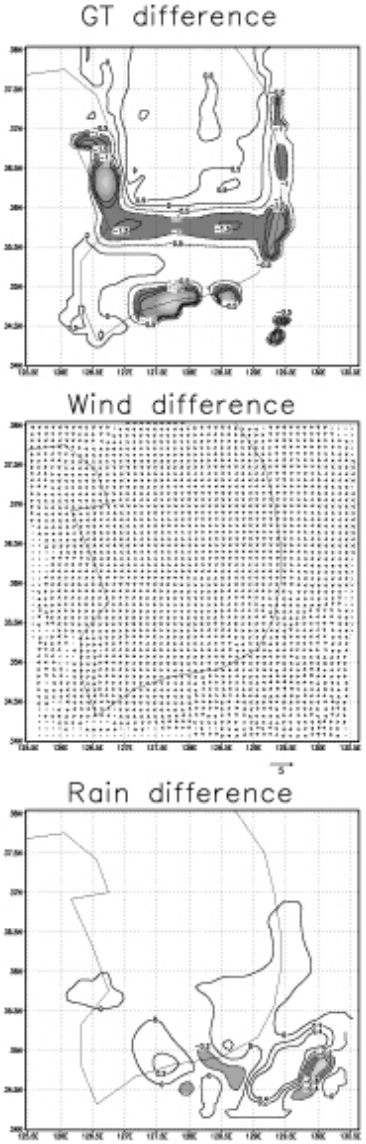

FIGURE 9. The simulated ground temperature, surface wind total rain after 6h integration with the replacement of the satellite-observed surface roughness length.

원래 모형내에서 식생 종류에 따라 처방되는 지표 거칠기에 비해 실시간 위성 관측 자

료의 처방에 따라 거칠기 길이의 차이는 실험 영역의 남서 지역에서 차이가 크며 우리 나라 북부 지역과 일본 지역에서 큰 차이를 보인다.

지표거칠기 실험 결과 그림 9에서는 지표 온도의 경우, 규준 실험에 비해 36N 이북의 내륙에서는 높게, 해안은 더 차게 모사 되었으며 특히 지리산 동·서쪽으로 더 차게 모사되었다. 이는 야간에 일어나는 이 지역의 더 작은 거칠기 길이에 대해 장파 복사의 강화로 인한 것으로 볼 수 있다. 강수량에 있어서 거칠기 길이의 민감도는 특히 우리 나라 남해안 일대에 강수량에 많은 차이가 나타나는데, 특히 대마도엔 더 적은 강수를, 그 서쪽 해상에는 더 큰 강수를 나타내었다.

결 론

기상 모형에서의 지표 과정 모수화는 지표와 대기, 식생을 포함하는 생권과 대기권, 암권과 생권, 암권과 대기 등에서 일어나는 자연적 상호 작용을 나타내는 방법이다. 그러나 이 모수화를 위해 지역적으로 균질하게 관측되어지는 자료를 얻기란 매우 어렵다.

이 연구의 결과와 이미 조사되어진 지표 변수의 대기에 대한 민감도 실험 결과에서 지표의 토양 특성을 반영하는 변수들과 식생 분포와 관련된 변수들이 지면과 대기 하층의 열속 및 운동량 속에 영향을 미치고 나아가 기상 현상의 시간적 발전에 기여하는 것을 알 수 있다. 그러므로 정확하고 균질하게 지표 변수를 처방하거나 표현해야 되며 이를 위해 위성 관측량들의 모수화 내에 모수로의 응용이 무엇보다 중요하다.

본 연구에서 사용한 위성 자료는 식생을 표현하는 NDVI 및 엽면 지수, 지표 성질을 표현하는 거칠기 길이, 알베도 등이다. 기상 모형에 접합하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리된다.

ARPS 모형 실험에서는 실시간 위성 관측 자료인 NDVI와 지표 거칠기 길이를 우리 나라 영역에 적용하여 강수량, 지표 온도, 식생 수분양 및 지표 바람장에서의 영향을 살펴보았다. 이 연구에 사용된 지면 과정 모수화에 위성 자료를 적용함으로써 기온에 있어서는 거칠기 길이에 대해 민감하게 변화하였으며, 강수에 대해서는 유사한 변화를 보였다. 특히 산악 주변과 농경지에서의 정확한 식생 분포와 계절 변화를 모형내에서 표현하는 것이 무엇보다 중요하다고 볼 수 있으며 야간에 육풍의 강약이나 복사 냉각 효과의 민감도에 있어 큰 차이를 보여 storm 규모의 모형내의 변수로 위성 자료의 획득이 필요할 것으로 본다.

감사의 글

이 논문의 모든 계산은 시스템공학연구소의 슈퍼컴퓨터 Cray를 이용하였으므로 이에 감사드립니다. KAGIS

참고문헌

Astar, G., E.T. Kanemasu and M. Yoshida. 1985. Estimates of leaf area index from spectral reflectance of wheat under different cultural practices and solar angle. Remote Sens. Environ. 17: 1-11.

Bonan, G.B., D. Pollard and S.L. Thompson. 1993. Influence of sub-grid scale heterogeneity in leaf area index, stomatal resistance, and soil moisture on grid-scale land-atmosphere interactions. J. Clim. 6: 1882-1897.

Garnett, J.R. 1992. Sensitivity of climate simulations to land-surface and atmospheric boundary-layer treatments. -A review, J. CLIM. 6: 419-449.

Goward, S.N., D.G. Dye, S. Turner and J. Yang. 1993. Objective assessment of the NOAA global vegetation index data product, Int. J. Remote Sens. 14: 3365-3394.

Haack, B., N. Bryant and S. Adam. 1987. An assessment of Landsat MSS and TM data for urban and near-urban land-cover digital classification, Remote Sens, Environ. 21, 201-203.

Henderson-Sellers, A., and V. Gornitz. 1984. Possible climatic impacts of land cover transformations with particular emphasis on tropical deforestation, Clim. Change. 6: 231-257.

Houghton, R.A., J.D. Unruh and P.A. Lefebvre. 1993. Current land cover in the tropics and its potential for sequestering carbon, Global Biogeochem. Cycles. 7: 305-320.

Pierce, L.L., J. Walker, T. Dowling, T. Mcvicar, T. Hatton, S. Running and J. Coughlan. 1993. Ecohydrological changes in Murray-Darling basin, Ⅲ, A simulation of regional hydrological changes, J. Appl. Ecol. 30. 283-294.

Rowntree, P.R. 1988. Review of GCMs as a basis for prediction the effects of vegetation change on climate, in Forests, Climate and Hydrology-Regional Impacts, edited by E. R.C. Reynolds and F. B. Thompson, 162pp. United Nations University, New York.

Running, S.W., and T. Loveland, and L.L. Pierce. 1994. A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global biogeochemical models, Ambio. 23: 77-81.

Sellers, P.J., S. Los, C. Tucker, C. Justice, D. Dazlich, G. Collatz, and D. Randall. 1994. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs, 2, The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data, Int. J. Remote Sens. 15:3519-3546.

Stole, D., and C.J. Tucker. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978-1988, Science. 260:1905-1910.

Sud, Y.C., J. Shukla, and Y. Mintz. 1988. Influence of land surface roughness on atmospheric circulation and precipitation: A sensitivity study with a general circulation model, J. Appl. Meteorol. 27: 1036-1054.

Townshend, J.R. G., C.O. Justice, W. Li. C. Gurney, and J. McManus. 1991. Global Land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities, Remote Sens. Environ. 35: 243-255.

Tucker, D.P., G. Koerper, H. Gucinski, and C. Peterson. 1993. Monitoring global change: Comparison of forest cover estimates using remote sensing and inventory approaches, Environ. Monit. Manage. 26: 295-305. KAGIS