

호남지방 고층관측자료동화가 수치기상예보에 미치는 영향에 관한 연구

류찬수¹ · 원효성² · 이순환^{1,*}

¹조선대학교 아시아몬순기후환경연구센터, ²광주지방기상청

A Study on the Influence of Aerological Observation Data Assimilation at Honam Area on Numerical Weather Prediction

Chan-Su Ryu¹, Hyo-Sung Won² and Soon-Hwan Lee^{1,*}

¹Center for Asia Monsoon & Climate Environment Research, Chosun University, Seseok-dong Dong-gu Gwangju, 501-759

²Gwangju Regional Meteorological Office, Korea Meteorological Administration (KMA), Korea San-1, Woonam-dong Gwangju, Gwangju 500-170

Abstract: Aerological observation at Heuksando located in south-western part of Koran Peninsula has been started at 1 June 2003. In order to clarify the improvement of meteorological prediction quality, it is necessary to compare between aerological data observed at Gwangju and Heuksando and to make clear the influence of Heuksando data assimilation. Therefore numerical simulations were carried out with High resolution meteorological prediction system based on MMS (The 5th Generation Mesoscale Model). The pattern of wind and temperature field observed at Heuksando and Gwangju are different due to land surface friction and sensible heat flux at surface and the wind field simulated with Gwangju and Heuksando aerological data agree well with observation wind field. Although the amount of precipitation in these experiments is underestimated, the area and starting time of precipitation around Honam province in case with Heuksando data is more reliable than without the data.

Keywords: data assimilations, MMS, numerical simulation, mesoscale model, precipitation

요약: 한반도 남서해안에 위치한 흑산도의 고층관측이 2003년 6월 1일부터 실시되고 있다. 이러한 흑산도 관측자료에 의한 수치예보개선효과를 보기위하여 광주의 관측자료와 비교 분석하였다. 분석에는 MMS를 기본으로 제작한 호남지방 고밀도 예측시스템을 이용하였다. 먼저 지표면 마찰과 현열플럭스의 차이에 의하여 광주와 흑산도의 바람장과 온도장은 다르게 나타났으며, 광주와 흑산도의 자료를 모두 동화시킨 수치예측 바람장과 기상장이 관측과 제일 잘 일치하였다. 강수면에서 비록 강수량은 과소평가를 하고 있으나, 강수시간과 강수구역은 흑산도자료를 포함하여 자료동화를 시킨 경우 관측과 매우 유사하게 나타났다.

주요어: 자료동화, MMS, 수치실험, 중규모수치모형, 강수

서론

매년 한반도 남서지역에서는 여름의 남서기류에 의한 집중호우와 겨울의 서해상에서 유입되는 기류에 의한 폭설등으로 매우 많은 피해를 입고 있다. 단기

간의 기상피해를 막기 위해서는 신속하고 정확한 예보가 필요하다. 그러나 남서해안의 복잡한 해안선과 다수의 도서가 접해 있고, 지리산등의 복잡한 지형구조로 인해 예측이 힘들고, 집중호우와 폭풍 등의 기상현상은 짧은 시간동안에 발달, 소멸하기 때문에 예보에 어려움이 많다(김남욱, 1994; 류찬수 등, 2004). 이러한 규모의 기상현상예보향상에 경계조건과 초기조건의 정확한 예측이 매우 중요하다. 제한적인 지역 모형의 대기장 개선을 위한 중규모모형과 중규모

*Corresponding author: leesh@chosun.ac.kr
Tel: 82-62-230-7714
Fax: 82-62-230-7915

대기모형의 사이의 관계를 설명하여, 최상의 결합조건을 찾는 연구가 지속적으로 진행되고 있다(Wamer et al., 1997). 이러한 경계조건 결합연구와 더불어 한반도 남서해안의 기상예보에 필요한 핵심적인 사항 중의 하나가 남서쪽에서 유입되는 기류의 상태를 정확히 수치모형의 초기자료로 이용하는 것이다.

그래서 중관자료와 비중관자료를 이용하여 수치대기의 초기장형성에 매우 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 초기자료 생성을 위해 여러 가지 관측자료를 통합하여 관리하고 이를 가시화시켜 분석을 용이하게 하고, 동시에 종합적인 자료동화체계를 만드는 연구가 실시되고 있다(McGinley, 1992). 한국에서도 연구차원에서 LAPS(The Local Analysis and Prediction System)를 이용하여, 사용가능한 모든 관측자료 종합적으로 처리 분석하여 고해상도 3차원자료를 생산하고 있으며, 이를 기상수치모형의 초기자료로 이용하고 있다(김용상 등, 2002). 그러나 비중관자료의 경우, 지역의 특수성을 반영하고 있지만, 넓은 공간적인 대표성을 확인해야 할 필요가 있기 때문에 현재 현업에서는 매우 제한적으로만 사용되고 있다. 그러므로 대표성과 정확성이 검증된 중관자료의 효율성은 크다고 볼 수 있다. 특히 연직분포를 나타내는 고층자료가 초기 기상장을 표현하는데 중요한 자료로 사용되고 있다.

현재 호남지방의 고층자료를 보면, 광주와 오산과 제주의 지방기상청과 공군에서 고층자료를 생산하고, 이것이 수치모형 자료동화에 사용되고 있다. 그러나 광주와 오산은 해안에서 100 km 이상 내륙에 위치하고 있으므로 상대적으로 대기하층의 기상상태가 지형 등 각종 지상요인에 의하여 불확실성을 가진다.

최근 해남과 흑산도에 고층 중관 관측망이 보강되었다. 특히 해남과 흑산도는 여름철 지리산등 한반도 남서해안에 발생하는 집중호우의 원인이 되는 수증기 유입구로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 2002년 2월에 설치된 해남 국가 악기상센터의 오토존대(Autosonde)를 이용하여, 비정규적이지만 집중적인 고층관측을 통하여 호남지방의 집중호우와 각종 중규모 기상현상의 자료 수집 및 분석을 수행하고 있다. 또한 정규적인 고층관측을 위하여 2003년 6월부터 전라남도 흑산도에 매 12시간 간격의 정규고층관측이 시행되고 있다. 흑산도는 호남지방의 여름철 기상재해를 발생시키는 습한 남서기류의 유입구에 위치하고 있고, 주변에 장애물이 되는 지형지물이 없어서

광주와 오산의 관측과는 달리 매우 정확히 대기의 상태를 파악할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 지금까지 광주와 오산에서 관측된 자료를 이용하여 호남지방 3차원 자료동화를 이용하여 초기기상장을 생산하였으나, 2곳의 고층관측이 추가됨으로 기상수치예보에 사용되는 초기기상장 정확도에 따른 수치기상요소 변화가 불가피하게 되었다.

본 연구에서는 먼저 광주 고층자료와 흑산도 고층자료분석을 통하여, 기류이동에 따른 두 지점상의 대기상태의 차이를 분석하고, 호남지방 고해상도 기상예측시스템을 이용한 수치실험을 통하여, 추가된 흑산도의 고층기상관측자료동화가 호남지방의 강수예측에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

호남지방 고해상도 기상예측시스템

이 연구에 사용된 예측시스템은 대기수치모형 MM5(The 5th generation Mesoscale Model) Version 3을 기초로 호남지방의 기상예측을 위해서 구성된 호남지방고해상도 기상예측시스템을 이용하였다. 기본모형인 MM5는 펜실베이니아 주립대학에서 개발된 중규모 수치 모형을 기초로 제작되어, 미국 대기연구소(National Center of Atmospheric Research)에서 개선과정을 거친 3차원 대기역학 모형이다. 세계적으로 연구 및 현업에 많이 이용되는 수치모형의 하나이고, 현재 기상청에서는 30 km 해상도의 기상예보용으로 현업에 사용 중인 수치모형이다(Grell et al., 1994). 본 모형의 특징은 다중 네스팅 능력, 비정역학, 4차원동화시스템, 즉 다양한 외부자료이용, 여러 가지 계산기에의 적용성, 다양한 물리과정 옵션 등을 들 수 있다.

비정역학모형으로 연직 좌표계는 지표면에서 지형고도를 따르는 기압을 기준으로 하고, 상층으로 갈수록 평형을 이루는 기압준거좌표계로 이루어져 있다. 일반적으로 지표경계계층 내의 대기현상은 공간규모가 작기 때문에 지표에 가까운 층을 고해상도로 정의한다.

수평 좌표계는 Arakawa-Lamb B-staggered 좌표계이다. 이 좌표계는 온도와 비습과 기압 등 스칼라 변수와 연직속도는 각 격자의 중심에서 정의되고, 수평 풍속성분(u, v 성분)은 격자점에서 정의 된다. 중규모 모형의 경우 Arakawa-B와 C 격자가 많이 적용되고 있다. Arakawa-B 좌표계는 일반적으로 중규모모형에서 사용되는 Arakawa-C 격자보다 적분시간을 길게

설정할 수 있어서 연산량과 계산시간을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 시스템은 호남지방의 기상현상 해석을 위하여 제작된 것으로 4개의 적자영역을 가지고 있다. 그러나 제1영역의 경우, 기상청 현업모형인 RDAPS (Regional Data Assimilation and Prediction System)와 같은 영역이기 때문에 RDAPS자료가 있을 경우 제1영역은 계산을 수행하지 않고 RDAPS자료를 그대로 사용한다. 본 연구에서는 NCEP(National Center for Environment Prediction) 재분석자료를 경제처로 사용하고, 제 2영역부터 제 4영역까지 3개의 등지격자로 이루어져 있다. 연격격자는 모든 등지영역에서 동일하게 32개의 층으로 나누었다.

복사과정은 구름의 존재 여부만 판단하여 복사량이 결정되는 Cloud-radiation 방안이고, 경제층의 물리과정은 MRF-경제층모형을 사용하였으며, 경제층의 물리량이 상층의 이동을 원활하게 하기 위하여 천층대위 과정을 적용하였다. 지표면 열수지 과정은 4층의 주중층과 1층의 식생층이 포함되어 있어서, 지표면 온도뿐 아니라 식생의 온도도 계산되어진다. 적자 5 km 이하의 경우, 비물리 과정만으로 강수량 표현할 수 있으나, Duchia et al.(2001)에 의하면 meso- β 규모의 적자라고 하더라도 비물리 과정만으로 강수량 표현하는데 부족하다고 제시하였다. 그러므로 본 연구에서는 적률과정으로 변형 Arakawa모수화(Grell 모수화)를 적용하였다.

호남지방 종관특성 (흑산도와 광주고층자료분석)

연구지역 및 종관기상장

Fig. 1은 본 연구 대상지역의 지형도이다. 그리고 현재 고층관측이 이루어지고 있는 광주와 흑산도의 위치를 나타낸다.

한반도 남서부에 위치한 호남 지방은 서쪽과 남쪽은 바다와 접해 있으며, 동쪽은 소백산맥의 주능선으로 영남지방과 구분되고, 북쪽은 금강으로 충청도와 구분되어 있다. 해안은 굴곡이 심한 리아스식해안으로 되어 있으며 2000여개 이상의 도서 지방을 포함하고 있으며, 해안선이 매우 복잡한 형태를 띠고 있다. 호남지방의 서해안은 지권이 낮은 평야가 넓고 남해안보다 배수가 느려 호우 빈도에 비해 호우피해가 더 많다.

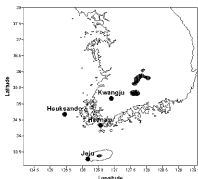


Fig. 1. Topography at Honam area and locations of observational site of aerological data.

내륙은 소백산맥이 남쪽으로 뻗어 나오고, 노령산맥이 동서로 위치하고 있다. 소백산맥으로부터 뻗어 나온 산간지대가 북동쪽 노고단(1507 m)으로부터 무등산(1187 m), 조계산(884 m), 월출산(809 m) 등을 끼고 해남까지 대사선으로 뻗고 있다. 이들 두 산맥 사이에 광주, 목포 등의 도시가 존재하고 있다. 따라서 이들 도시는 복잡한 해안의 영향을 받은 해륙풍과 두 산맥에 의하여 형성되는 산곡풍의 영향을 동시에 받은 복잡한 형태의 중규모 순환이 발생할 것이다 (류 등, 2004; Lee and Kimura, 2001).

연구대상기간은 하계 이동성저기압이 한반도를 통과하며 강수량 발생시킨 2003년 7월 14일부터 24일까지 10일을 대상으로 하였다.

Fig. 2는 대상기간 중의 지상일기도를 나타낸 것이다. 연구대상기간의 종관기상장을 보면, 오호츠크 고기압이 강하게 유지되면서 장마전선이 남부지방과 남해안 부근에서 주로 활동하고 있다. 그리고 장마전선에 의하여 남부지방을 중심으로 호리고 비가 오는 일이 많았다. 장마전선이 활성을 보이는 가운데 장마전선상에서 발달한 저기압의 영향으로 전국적으로 많은 비가 내렸으며, 장마는 제주도에서 23일, 남부 및 중부지방에서는 25일에 종료된 것처럼 어려울 일기를 보여준다. 7월 17일과 18일에는 장마전선상에 발달한 저기압의 영향으로 제주도를 제외한 전국에 25~115 mm의 많은 비가 내렸고, 21~23일에도 중부지방을 중심으로 많은 비가 내렸으며, 전국적으로

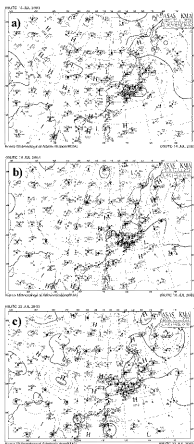


Fig. 2. Surface synoptic chart from 14 to 22 July 2003 with 4 days interval.

1~180 mm의 강수량을 보였다.

그리고 대성기간중 광주와 흑산도의 기상 및 고층 관측자료 분석하여 두 지점의 동태적인 특성을 분석하였다.

Fig. 3은 대성기간동안에 광주와 흑산도에서 관측된 일강수량을 나타낸 것이다.

장미권선상의 저기압이 한반도에 접근한 7월 17일

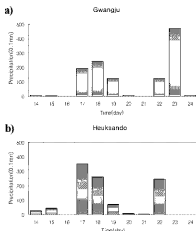


Fig. 3. The evolution of daily precipitation observed at (a) Gwangju and (b) Heuksando.

과 22일에 강수가 나타났다. 강수량의 변화형태와 강수시차와 종결시간을 보면, 광주지역에 비하여 흑산도의 강수시차시간이 빠르며 종결시간도 빠르게 나타난다. 이것은 흑산도가 풍상측에 위치하고 있기 때문이다. 그러므로 강수 예보측면에서 풍상측에 위치한 흑산도의 기상정보는 중요하게 작용한다고 볼 수 있다.

흑산도와 광주 고층자료분석

일기예보의 자료동화자료로 이용되고 있는 종관자료로서 고층 관측 자료는 매우 중요한 역할을 한다. 호남지방의 고층자료는 광주와 흑산도의 해남에서 수집된다(Fig. 1). 광주지역에서는 1일 4회 6시간 간격으로 고층기상관측을 비양사키고 있으며, 흑산도의 경우 2003년 6월 1일부터 1일 2회 12시간 간격으로 고층기상관측을 실시하고 있다. 그리고 해남에서는 태풍이 한반도 남서해안을 통과하거나 집중호우시 1시간 또는 3시간 단위로 집중적으로 비양사키 각종 자료를 생산한다. 그래서 광주와 흑산도의 고층관측은 정기적으로 실시되고 있으므로 무연으로 포함할 수 있으나, 해남의 경우 비정규관측으로 기상예보무연에 포함되어 있지 않고, 연구차원에서 기상분석이 이루어진다. 중위기상장의 분석에서의 값이 광주와

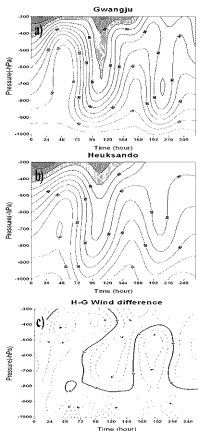


Fig. 4. The time-height evolution of horizontal wind speed (ms^{-1}) observed at (a) Gwangju and (b) Heuksando and (c) their difference. The contour intervals are 5 ms^{-1} for (a) and (b) and 2 ms^{-1} for (c).

흑산도의 강수형태는 깊은 호남지방에 위치하고 있지만 강수패턴에는 약간의 차이가 있다.

Fig. 4a와 4b는 광주와 흑산도의 연차방향의 수평 바람의 시간변화와 각각의 차이를 나타낸 그림이다.

두 그림에서 보듯이 전체적으로는 상층으로 갈수록 풍속이 강하여지는 대기의 구조를 잘 나타내주고 있

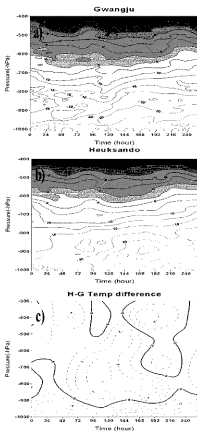


Fig. 5. The same as Fig. 3 except for temperature ($^{\circ}\text{C}$).

다. 강수량의 일변회향(Fig. 3)과 비교하면, 강수가 있는 날 풍속이 빨라지며, 대류권내의 최대풍속역이 700 hPa 부근에서 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 저기압 통과시 풍속이 강하여진 것으로 하층에 강한 풍속과 강수에 밀접한 관계를 시사한다. 흑산도와 광주에서 같은 경향의 바람장이 관측되었다.

Fig. 4c는 두 바람장의 차이인 나타낸 것으로, 표준 등압면 상의 흑산도 풍속에서 광주의 풍속을 뺀 값

이다. 여기서 지상부터 상층 800 hPa까지는 양의 값으로 흑산도가 광주보다 풍속이 크게 나타난다. 강수가 있는 시기에는 큰 양의 값을 가졌다. 이는 흑산도는 해양에 위치해 있고 풍상쪽에 위치해서 유입되는 기류류 직접적으로 받고 있고, 바람을 저해하는 장애 요소가 없는데 반하여, 호남 내륙지역에 위치한 광주 지역은 해안 도서지역을 통과하면서 지면 마찰로 인해서 풍속이 감소하여 흑산도에 비해서 약하게 나타난 것이다.

Fig. 5a와 5b는 광주와 흑산도의 고층자료류 이용하여 온도장을 비교해 보았다. 두 그림에서 보듯이 상층으로 갈수록 온도가 낮아지는 대기의 연직구조를 잘 나타내주고 있다. 또한 해양에 위치한 흑산도에서 관측된 대기하층의 온도변화가 광주의 기온변화보다 매우 단조로운 것을 볼 수 있다. 이것은 흑산도가 해양상에 위치하기 때문에 나타난다.

Fig. 5c는 지표면의 영향을 더 자세히 보기위하여 광주와 흑산도의 기온의 차이류 나타낸 그림이다. 표준달인 8월 상의 흑산도 기온에서 광주의 기온을 뺀 값으로 양의 값이 나옴수록 흑색에 가까워지고 음의 값에 가까워짐수록 백색으로 나타난다. 전체적으로 저상에서 900 hPa까지는 광주가 흑산도보다 기온이 높다. 이는 흑산도는 해양에 위치해 있어 지표의 현

열 플럭스가 대륙에 속한 광주보다 낮음을 알 수 있다. 즉 광주의 경우 맑은 날 지표의 가열로 인한 열이 900 hPa까지 영향을 미친 것으로 생각된다. 그리고 강수일과 비교하면 강수일인 17-19일까지 대기하층의 기온차는 감소한다. 이는 광주지역에서 발생하는 상방의 현열플럭스가 감소하기 때문이다.

수치실험 설계

앞 절의 고층자료 분석을 통하여 해양상에 위치한 흑산도와 내륙에 위치한 광주의 연직 기상장의 차이를 살펴보았다. 이러한 종관장이 실제 호남지방의 수치예보에 미치는 영향을 보기위하여 수치실험을 실시하였다.

Fig. 6은 본 연구에 사용된 영역이다. 앞 절에서 설명한 호남지방 고해상도 기상예측시스템의 1, 2, 3영역을 계산영역으로 사용하였다. 기상청 RDAPS에 해당하는 티벳고원을 중심으로 한 동남아시아지역(171°×191°×23, 30 km)을 제1영역으로 하고, 제2영역은 한반도 남부지방(98°×98°×23, 15 km), 제 3영역은 고해상도의 지리산을 중심으로, 흑산도가 포함된 호남지방 약기상 예보대상지역(82°×82°×23, 5 km)을 본 실험의 영역이다.

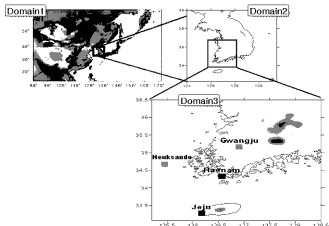


Fig. 6. The model domain and their topography used in regional meteorological prediction system. Horizontal distance of grids is 30 km (Domain1), 15 km (Domain2), and 5 km (Domain3), respectively.

본 연구에서는 흑산도 고층자료의 기상예보에 미치는 영향을 보기 위한 것으로 수치실험은 자료동화에 이용되는 고층자료에 따라 3가지 실험을 실시하였다.

첫 번째(이하 EXP0)는 초기자료로 NCEP 재분석 자료를 이용하고, 고층자료동화를 사용하지 않은 경우이고, 두 번째(이하 EXP1)는 기존의 부틴예보표상정한 것으로 NCEP 재분석자료를 초기장으로 하고, 풍주의 고층자료만을 동화시킨 계산이며, 마지막(이하 EXP2)으로 기존부틴예보에 새로 추가된 흑산도 고층 관측 자료동화를 추가하여 계산한 것이다.

계산기간은 7월 21일 12LST부터 7월 24일 00LST 까지 60시간이다. 이 기간동안 중국대륙공부에 전선을 동반한 저기압이 21일 12LST에 출현해서, 22일과 23일 양일간에 걸쳐 한반도에 접근하였다. 이때 한반도 공부지방에 많은 비를 내렸으며, 풍주와 흑산도에 서도 강수가 나타났다. 그리고 Fig. 3에서 보는 바와 같이 흑산도와 풍주에 강수시점이 차이가 나는데, 실험결과를 통하여 풍주와 흑산도의 강수시작시점의 예측정확도를 분석하였다.

결과 및 토의

바람장 분석

Fig. 7은 EXP0에서 계산된 7월 22일 12시(a), 23일 00시(b), 23일 12시(c)의 바람장을 나타낸 그림이다. 전체적으로 서해안쪽은 남풍계열이 기류가 형성되고, 지형의 영향을 받은 대륙 쪽은 남서풍계열의 바람이 나타났다. 또한 남서해안의 섬들의 영향으로 해안을 따라서 기류가 이동하고 있다. 호남지방 내륙의 높은 지리산의 산악의 영향으로 전체적인 바람장이 지리산을 넘어가지 못하고 주위류 도는 전형적인 모습을 보여준다. 제주도의 영향으로 제주도과 남해안 사이에 칼만와일이 나타나고 있으며, 와일의 방향이 시간에 따라 변한다. 이것은 동관장의 미약하지만 변화하는 것을 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 시간에 따른 큰 차이는 나타나지 않는다.

Fig. 8은 풍주의 고층자료로 자료동화 시킨 EXP1에 의하여 계산된 12시간 간격의 바람장을 나타낸 것이다. 7월 22일 12시의 바람장(a)을 EXP0의 바람장과 비교하면, 서해안의 바람장은 매우 유사하게 나타나고 있다. 그러나 남해안 경우 남풍계열의 바람이 붙어서 소백산맥 남쪽방향으로 강하게 유입된다. 그리고 23일 이후 풍속이 빨라짐에 따라 제주도후면의

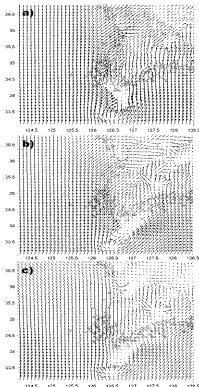


Fig. 7. Surface wind fields calculated at EXP0 at 1200LST 22 (a), 00LST 23 (b), and 12LST 23 (c) July 2003.

칼만 와일이 약해졌다(Fig. 8b,c). 그리고 서해상의 기류 변화가 심하게 나타나는데 풍랑이 남풍계열에서 남서풍계열로 변한다. 이것은 풍주지역의 고층자료동화에 의한 바람장이 보정되어 나타난 것이다.

Fig. 9는 EXP0에 풍주와 흑산도의 고층자료를 추가시켜 동화 시킨 EXP2의 바람장이다. 여기에서는 EXP1과 전체적으로 비슷한 바람장의 패턴을 보이고 있다. 흑산도의 데이터의 추가로 약간의 풍향 변화만 보이고 있다.

Table 1은 적분기간 동안 호남지방의 17개 관측소에서 관측된 지상의 풍향 및 풍속 자료이다. 여기에서

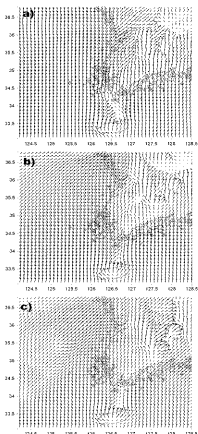


Fig. 8. The same figures as Fig. 7 except for EXP1.

서 풍향을 보면 전체적으로 남남서풍계열의 바람이 불었고, 강수가 있는 23일 00시부터 12시까지의 4~9 m/s의 강한 바람이 불었고, 특히 해안가에 있는 해남과 여수 및 흑산도에서 강한 풍속이 나타났고, 강수가 끝난 24일에는 풍속이 현저하게 감소되었다. 따라서 여기에서는 자료동화를 시킨 EXP1과 EXP2의 바람경이 관측된 바람경과 비슷한 패턴이었으나, EXP0에서는 패턴이 나타나지 않았다.

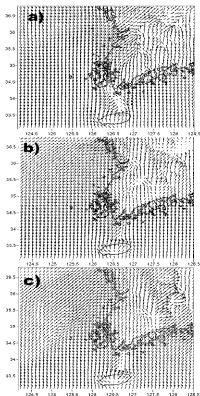


Fig. 9. The same figures as Fig. 7 except for EXP2.

강수패턴 차이 분석

강주와 흑산도의 고층자료동화가 호남지방의 강수량에 미치는 영향을 보기 위하여 각 실험에서 예측된 강수형태를 보았다.

Fig. 10은 자료동화를 사키지 않고 계산한 EXP0의 22일 12시부터 12시간 간격의 강수량을 나타낸 것이다. 전체적으로 지형의 영향으로 인한 강수가 부분적으로 나타나기는 하나, 정확한 패턴은 나타나지는 않았고, 관측에서 나타난 전선상의 저기압 패턴은 나타나지 않았다.

Fig. 11은 EXP0에 강주의 고층자료를 자료동화 시

Table 1. Surface wind direct and speed observed by KMA from 12LST 22 July to 00LST 24 July.

Station	Dir. (0-36)				Speed (0.1 m/s)			
	2212	2300	2312	2400	2212	2300	2312	2400
140GS	20	25	29	20	30	43	49	10
146J	16	16	18	9	37	38	23	9
156GJ	18	18	27	25	36	39	15	6
165MP	18	23	25	5	42	45	20	7
168YS	14	23	23	25	17	84	58	20
169HSD	16	20	34	2	77	92	27	31
170WD	11	25	34	0	44	44	39	0
175JD	16	23	25	27	87	82	25	36
243BA	18	18	27	0	29	45	14	0
244IS	16	16	25	0	30	29	25	0
245JE	14	14	27	0	15	25	13	0
247NW	23	20	29	0	12	20	17	0
248JS	20	20	27	0	35	44	28	2
256SC	16	11	29	23	12	7	23	6
260JH	14	16	27	5	29	39	34	4
261HN	11	23	29	0	23	67	31	0
262GH	14	18	25	0	10	9	14	1

킨 EXP1의 강수량이다. 그림은 각각 22일 12LST부터 12시간 간격을 나타낸다. 22일 12LST의 경우, 전체적인 강수량이 매우 작게 나타나는데 이것은 모형속의 강수과정이 활성화되는데 12시간 정도가 필요하기 때문이다. 자료동화를 시키지 않은 EXP0에서 나타나지 않은 전선성강수가 나타났고, 중관장의 일기패턴과 거의 일치하였다. 지리산과 덕유산울 중심으로 지형성 강수현상도 나타나고 있다. 그리고 시간이 지남에 따라서 전선이 발달하여 강수량이 증가하고 있다.

Fig. 12는 EXP0에 광주와 흑산도의 고층자료를 자료동화시킨 EXP2의 강수량이다. 여기에서도 EXP1과 마찬가지로 중관장에 따른 강수패턴은 잘 나타났다. 전체적으로 강수량은 약간 감소하였다. EXP1의 경우와 비교할 때에서 지리산, 덕유산 부근의 지형성 강수형태에는 차이가 거의 없으나, 전북지역에 형성된 전선성 강수는 강도와 분포에서 다르게 나타난다. EXP1(Fig. 10c)와 비교하면 전북지역에서 나타난 전선성 강수면적은 좁아지고, 최대강수량은 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 서해안에서 유입되는 바람의 강도가 증가되어 나타난 것을 보인다. 이러한 바람의 형성은 흑산도 고층자료에 의한 동화효과라고 할 수 있다.

자료동화에 따른 강수예측능력 분석

강수시점을 알아보기 위하여 광주와 흑산도의 강수

시작시점을 비교해 보았다.

Table 2는 7월 22일 00LST부터 7월 24일 00LST까지 광주와 흑산도의 12시간 간격 누적 강수량이다. 여기서 광주는 22일 12LST부터 강수가 시작되어서 23일 12LST에는 47 mm의 많은 강수를 내렸다. 흑산도는 22일 이전부터 강수가 시작되어 23일에 22.5 mm의 강수를 내렸다.

Table 3은 수치실험을 통해서 나온 7월 22일 00LST부터 7월 24일 00LST까지 광주와 흑산도의 자료로 강수예측 결과이다.

흑산도의 경우 모든 실험에서 강수가 23일 12시 이후에 나타난다. 이것은 관측과 일치하지 않는다. 그러므로 흑산도의 고층자료동화는 흑산도 자체의 강수예측능력향상에는 기여하지 않는다고 볼 수 있다. 광주의 강수량 시간변화를 보면, EXP1, EXP2에서 관측치와 비슷한 패턴을 가지고 있었다. 자료동화를 시키지 않은 EXP0은 관측치와 상관성을 찾을 수가 없었다.

관측치와 예측치를 비교해 본 결과, 광주는 22일 12LST이전부터 강수가 시작되었는데, 광주고층자료만 사용한 EXP1에서는 강수가 나타나지 않는 반면에 흑산도가 추가된 EXP2에서는 13 mm의 강수가 있었다. 이것은 관측에서 광주지역의 강수시작시점과 잘 일치하고 있으며 양적인 측면에서도 부합한다. 그러므로 광주와 흑산도를 같이 자료동화한 EXP2에서

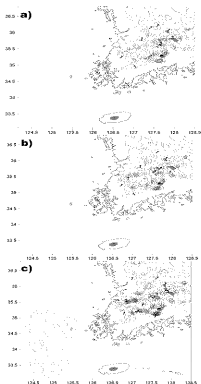


Fig. 10. Precipitation calculated at EXP0 at (a) 1200LST 22, (b) 00LST 23, and (c) 12LST 23 July 2003. Contours interval of precipitation is 10 mm/hour.

풍하중의 강수에측능력이 향상된 것으로 나타났다. 따라서 흑산도의 고층 자료 추가의 3차원 자료동화가 호남내륙지방의 기상장 예보에 많은 역할을 할 것으로 생각된다.

결론

2003년 6월 1일부터 12시간 간격으로 흑산도의 고층자료가 생산됨에 따라서 광주와 흑산도의 고층자료를 비교분석하고, 호남지방 고해상도 기상예측시스템

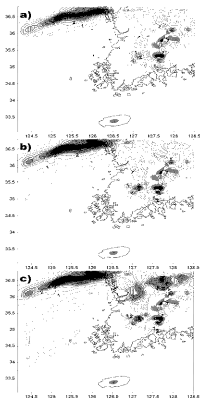


Fig. 11. The same figures as Fig. 10 except for EXP1.

을 이용하여, 흑산도 자료동화의 영향을 분석하였다.

광주와 흑산도의 고층자료로 풍속을 비교해 본 결과, 강수가 있던 시기의 대기하층의 풍속은 흑산도에 서 크게 나타났다. 이는 흑산도는 해안에 위치해 있어 서쪽의 기류를 직접적으로 받고 있고, 바람을 저해하는 장애요소가 없는데, 반하여 높은 지리산 자락에 위치한 광주 지역은 섬과 육지에 의한 지형마찰로 인해서 풍속이 감소하여 흑산도에 비해서 약하게 나타났다.

광주와 흑산도의 온도장을 비교하면, 흑산도는 해안에 위치해 있어 지표의 현열 플럭스가 내륙에 위

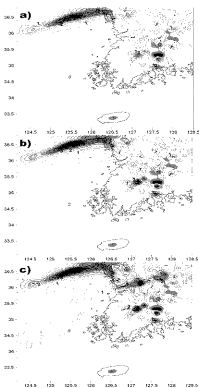


Fig. 12. The same figures as Fig. 10 except for EXP2.

치한 광주보다 낮게 나타났다. 광주의 경우 맑은 날 지표의 가열로 인한 험열의 영향이 900 hpa까지 영향을 미친다.

광주와 흑산도의 고층자료동화를 통하여 비압장의

Table 2. The time variation of precipitation for Gwangju and Heuksando

Station	Gwangju	Heuksando
22 00 sum	0	2
22 12 sum	1	20
23 00 sum	124	225
23 12 sum	470	0
24 00 sum	0	0

형태는 관측된 종관장과 유사하게 나타났다. 특히 흑산도 고층자료 추가에 의해 서해안상에서 약간의 풍향과 풍속변화를 보았다. 이는 강수량의 분포 패턴에 영향을 미친다.

수치실험을 통해서 강수량을 비교해 본 결과 EXP0에서는 지형에 의한 강수가 부분적으로 나타나고, 정확한 강수의 패턴은 나타나지 않았다. 그러나 자료동화를 시킨 실험에서는 전선성 강수가 나타났다. 특히 광주와 흑산도의 고층자료 모두를 사용한 EXP2에서는 EXP1과 비슷한 패턴이 나타났고, 강수량은 전체적으로 약간 감소하였지만, 전선 지역은 약간 증가하여, 관측치와 상당히 일치하였다. 추가된 흑산도의 고층자료의 동화로 변화를 보인 것으로 보인다. 그리고 강수의 시작시점에서 흑산도 자료동화가 광주지역의 강수시작시점에 보향상을 가져왔다.

이상의 결과에서 본 연구결과 광주와 흑산도의 지리적 차이에 의한 비압장과 온도장을 통한 강수량과의 관계를 알 수 있었고, 또한 흑산도의 고층 데이터 추가의 3차원 자료동화가 광주 예측능력을 향상시킬 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발사업의 하나인 “국지기상예측기술개발 과제”에서 수행된 것입니다.

Table 3. Precipitation calculated by EXP0, EXP1, and EXP2

Scheme	EXP0		EXP1		EXP2	
	Gwangju	Heuksan	Gwangju	Heuksan	Gwangju	Heuksan
-22 00	0.22	0	0	0	0	0
-22 12	0.45	0	0	0	0.13	0
-23 00	0.73	0	0.45	0	0.44	0
-23 12	0.98	0.49	0.59	0.46	0.51	0.69

참고문헌

- 김남욱, 1994, 1991년 7월21일 수원지방에 집중호우를 일으킨 뇌우의 연구. 연세대학교 대학원 석사학위논문, 101 p.
- 김용상, 박옥란, 황승언, 2002, 기상연구소의 국지규모기상 분석 및 예측시스템(KLAPS)의 실시간운영, 한국기상학회지, 38 (1), 1-10.
- 류찬수, 신유미, 이순환, 2004, 해안지형 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한 수치연구. 한국기상학회지, 40 (1), 71-86.
- 이순환, 이화운, 김유근, 2002, 복잡지형에서 도시화에 따른 대기확산에 관한 수치시뮬레이션, 한국대기환경학회지, 18 (2), 67-83.
- Dudhia, J., Gill, D., Guo, Y.-R., Manning, K., and Wang, W., 2000, PSU/NCAR mesoscale modeling system tutorial class note and users guide, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR, 5-12.
- Grell, G.O., J. Dudhia, and D.R. Stauffer, A description of Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), TechRep.NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, June 1994.
- Lee, S-H and F. Kimura, 2001, Comparative studies in the local circulation induced by land-use and by topography. *Boundary Layer Meteorology*, 101, 157-182.
- McGinley, J.S., 1995, Opportunities for high resolution data analysis, prediction, and product dissemination within the local weather office, 14th Conf. on weather Analysis and Forecasting. Dallas. American Meteorological Society, 478-485.
- Warner, T.T., R.A. Pererson, and R.E. Treadon, 1997, A tutorial on lateral boundary condition and potentially serious limitation to regional numerical weather prediction, *Bulletin American Meteorological Society*, 2599-2617.

2004년 8월 11일 원고 접수
 2004년 12월 22일 수정원고 접수
 2005년 1월 21일 원고 채택