

## 레이더 자료동화에 따른 기상장모의 민감도에 관한 수치연구

이 순 환 · 박 근 영\* · 류 찬 수  
조선대학교 아시아몬순 · 기후환경연구센터  
\*조선대학교 대기과학과

(2005년 6월 16일 접수; 2005년 12월 21일 채택)

### Numerical Study on the Sensitivity of Meteorological Field Variation due to Radar Data Assimilation

Soon-Hwan Lee, Geun-Yeong Park\* and Chan-Su Ryu

Center for Asian Monsoon & Climate Environment Research, Chosun university, Gwangju 501-759, Korea

\*Department of Atmospheric Science, Chosun university, Gwangju 501-759, Korea

(Manuscript received 16 June, 2005; accepted 21 December, 2005)

The purpose of this research is development of radar data assimilation observed at Jindo S-band radar. The accurate observational data assimilation system is one of the important factors to meteorological numerical prediction of the region scale. Diagnostic analysis system LAPS(Local Analysis and Prediction System) developed by US FSL(Forecast Systems Laboratory) is adopted assimilation system of the Honam district forecasting system.

The LAPS system was adjusted in calculation environment in the Honam district. And the improvement in the predictability by the application of the LAPS system was confirmed by the experiment applied to Honam district local severe rain case of generating 22 July 2003.

The results are as follows:

- 1) Precipitation amounts of Gwangju is strong associated with the strong in lower level from analysis of aerological data. This indicated the circulation field especially, 850 hPa layer, acts important role to precipitation in Homan area.
- 2) Wind in coastal area tends to be stronger than inland area and radar data show the strong wind in conversions zone around front.
- 3) Radar data assimilation make the precipitation area be extended and maximum amount of precipitation be smaller.
- 4) In respect to contribution rate of different height wind field on precipitation variation, radar data assimilation of upper level is smaller than that of lower level.

Key Words : Radar assimilation, Low level Jet, LAPS, MM5, Numerical model, Precipitation

#### 1. 서 론

최근 10년간 세계적인 기후의 온난화 현상과 관련하여 한반도지역의 기상현상에 급격한 변화가 발생되고 있다. 이와 같은 급격한 변화는 많은 재산과

인명피해를 유발하기 때문에 지역기상예보능력의 향상을 통하여 피해를 최소화하도록 노력하고 있다. 이러한 기상장의 정확도는 대기환경 예측에 매우 중요한 요소로 작용한다. 반면 중규모 현상은 변압풍에 의한 하층제트와 상층제트의 3차원적인 위치관련성, 대기와 지표의 상호작용 등 매우 복잡한 요소를 포함하고 있기 때문에 예측이 어렵다. 그러므로 이들 중규모 기상장의 예보에는 정확한 관측

Corresponding Author : Chan-Su Ryu, Center for Asian Monsoon & Climate Environment Research, Chosun university, Gwangju 501-759, Korea  
Phone: +82-62-230-7380  
E-mail: csryu@chosun.ac.kr

자료가 필수불가결하다. 그러한 이유로 기상청은 최근 레이더 관측망 확충사업으로 1988년부터 관악산을 시작으로 5개소에 C-band 도플러 레이더를 설치하여(2000년에 3개소 추가 : 백령도, 진도, 광덕산, 면봉산) 운영하고 있다. 1989년에 정지기상위성(Geostationary Meteorology Satellite : GMS)과, 미국해양대기관리청(National Oceanic Atmospheric Administration : NOAA) 및 지구관측 플랫폼 기술위성(Advanced Earth Observation Satellite : ADEOS)의 자료 수신, 전국 450여대의 자동기상관측 시스템(Automatic Weather System : AWS)의 증대를 통하여 급격히 변화하는 중규모 기상현상의 관측체계를 구축하고 있다<sup>1-3)</sup>.

특히 기상레이더는 마이크로파를 이용하여 광범위한 영역의 강수상태를 단시간 내에 파악할 수 있으며, 연속적인 관측을 통하여 강수세포의 이동을 포착할 수 있다. 또한, 레이더 자료는 매우 높은 시공간상의 해상도를 가지고 있어서 태풍 및 집중호우의 기상분석에 많이 이용하고 있다.

레이더 등 기상관측 장비의 현대화를 통한 관측 기술의 발달과 더불어 수치예보의 중요성이 높아지면서 수치모델의 기술적인 진보도 이루어 졌다. 그러나 수치예보의 물리적인 한계와 전자계산의 한계로 인하여 아직도 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 중규모 이하의 고밀도 기상예보상황에서 매우 뚜렷이 나타난다<sup>4-6)</sup>. 이러한 문제점을 극복하는 하나의 방안으로 비종관 관측자료와 수치예보를 상호 동화시켜 중규모 기상예보의 정확성을 높이는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 최근 수년간 고층 비종관 자료동화기술 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 이에 비해 단시간 내에 광역적으로 자료를 획득할 수 있는 레이더와 위성자료의 동화 기술은 아직 미흡한 실정이다. 특히 레이더 자료는 연속적인 관측으로 인하여 어느 정도 예보자료로 이용할 수 있다. 그러나 영상에 의존하고, 이동중의 변질에 대한 예보치를 생산할 수 없는 단점으로 인하여 초단시간의 정성적인 예보만 가능하고 정량적인 예보는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 도플러 레이더에서 시선속도의 3차원적인 분포를 이용하여 수평 바람장을 산출하고, 이를 초기 자료동화자료로 활용하여 도플러 레이더 자료동화가 바람과 강수량에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 분석된 바람장의 특성과 호남지역에서 발생하는 하층제트와 집중호우의 관계를 레이더 자료를 이용하여 비교하였다.

## 2. 수치 모형 및 실험설계

본 연구에서 사용된 수치모형 MM5(Meso-scale

Model for 5th Generation)는 펜실베니아 주립대학의 Anthes에 의하여 개발된 중규모 수치 모형을 기초로 제작되었다. 그리고 미국 대기연구소(National Center of Atmospheric Research : NCAR)에서 개선과정을 거친 3차원 대기역학 모형이다. 세계적으로 연구 및 현업에 가장 많이 이용되는 수치모형의 하나이고, 현재 기상청에서는 30 km 해상도의 기상예보용으로 현업에 사용 중인 수치모형이다<sup>7-9)</sup>.

본 모형의 특징은 다중 nesting 능력, 비정역학, 4차원 동화시스템, 즉 다양한 외부자료 이용, 여러 가지 계산기에의 적용성, 다양한 물리 과정 옵션 등을 들 수 있다.

MM5는 비정역학모형으로 연직 좌표계는 지표면에서 지형고도를 따르는 기압을 기준으로 하고, 상층으로 갈수록 평형을 이루는 기압준거좌표계로 이루어져 있다. 일반적으로 지표경계층내의 대기현상은 공간규모가 작기 때문에, 지표에 가까운 층을 고해상도로 정의한다.

수평 좌표계는 Arakawa-Lamb B-staggered 좌표계이다. 이 좌표계는 온도, 비습, 기압 등 스칼라 변수와 연직속도는 각 격자의 중심에서 정의되고, 수평풍속성분(u, v 성분)은 격자점에서 정의된다. 중규모 모형의 경우 Arakawa-B와 C 격자가 많이 적용되고 있다. Arakawa-B 좌표계는 일반적으로 중규모모형에서 사용되는 Arakawa-C 격자보다 적분 시간을 길게 설정할 수 있어서, 연산량과 계산시간을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다<sup>10)</sup>.

본 모형에서의 물리과정 입력자료를 나타낸 것이 Table 1이다. 초기치와 경계치는 미국기상청(National Center for Environment Prediction : NCEP) 자료를 사용하였다. 복사과정은 구름의 존재 여부를 판단하여 복사량이 결정되는 Cloud - radiation 방안이고, 경계층의 물리과정은 MRF를 사용하였으며, 경계층의 물리량이 상층의 이동을 원활히 하기 위하여 천층 대류과정을 적용하였다. 지표면 열수지 과정은 Land Surface Model로 4층의 주중층과 1층의 식생층이 포함되어 있어서, 지표면 온도뿐만 아니라 식생의 온도도 계산되어진다. 격자 5km 이하의 경우, 미물리 과정만으로 강수를 표현할 수 있으나, Duchia<sup>10)</sup>에 의하면 meso- $\gamma$  규모의 격자라고 하더라도 미물리 과정만으로 강수를 표현하는데 부족하다고 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 적운과정으로 변형 Arakawa 모수화(Grell 모수화)를 적용하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 영역이다. 한반도를 중심으로 한 동아시아지역(125\*125\*23, 30 km)을 제 1영역, 제 2 영역은 남부지방(98\*98\*23, 15 km), 제 3 영역은 고해상도의 지리산을 중심으로, 흑산도가

Table 1. The configuration of nested numerical domain

Domain	Domain1 (RDAPS)	Domain2	Domain3
Grid size	30 km	15 km	5 km
Domain size	171 ´ 191	98 ´ 98	82 ´ 82
Vertical size	23 layers	←	←
Cumulus	Kain-Fritsch	Grell	←
microphysics	Mixed-Phase (Reiser)	←	←
PBL	MRF	←	←
Radiation	Cloud radiation	←	←
Soil model	LSM	RRTM	←
Topo./land-use	30 second	←	←
Initial data	NCEP	←	←
Lateral boundary data	NCEP	1-way	1-way

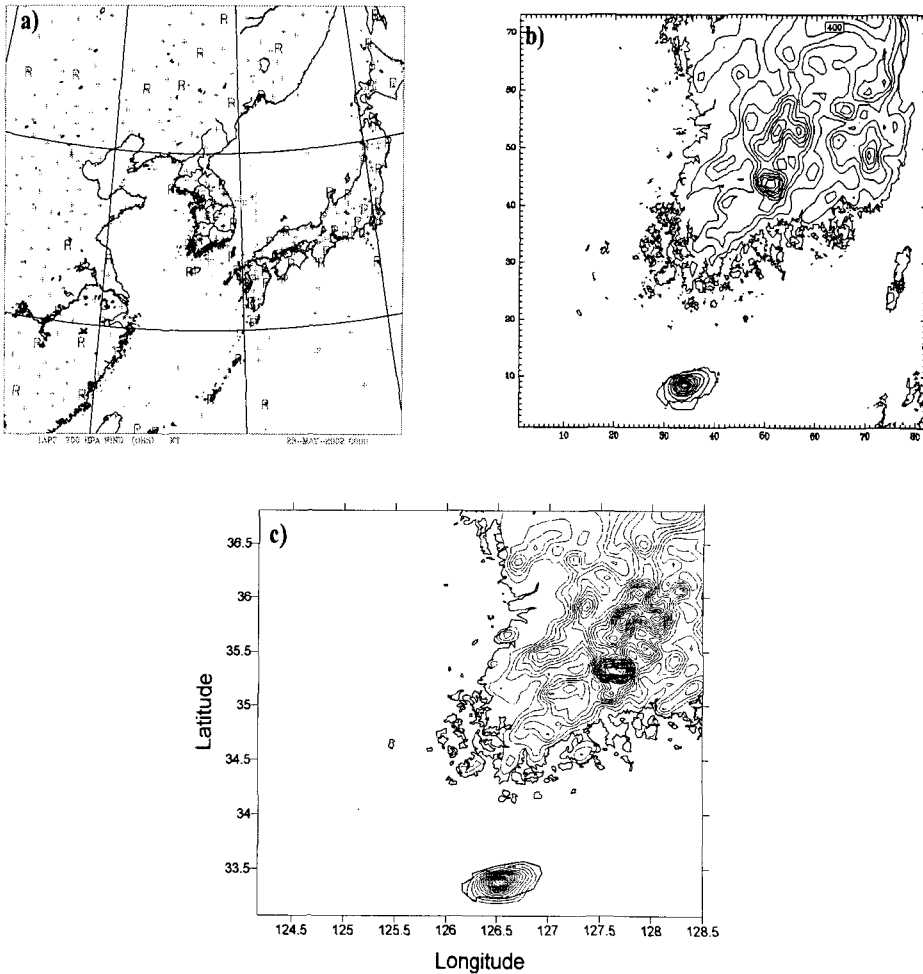


Fig. 1. The model domain and their topography used in regional meteorological prediction system. Horizontal distance of grids is 30 km (Domain a), 15 km (Domain b), and 5 km (Domain c), respectively.

포함된 호남지방 악기상 예보대상지역이 본 실험의 영역이다. 제3 영역의 격자수는 82×82로 하고, 격자 간격은 5 km의 등 간격으로 설정하였다. 연직격자는 대류권을 포함한 23층으로 구분하였으며, 연직 좌표의 간격은 지표면의 급격한 난류 및 열 수송을 표현하기 위하여 지표면 부근이 조밀하고 상층으로 올라 갈수록 간격이 증가하는 부등 격자를 사용하였다. 적분기간은 2003년 7월 21일 12LST부터 7월 23일 12LST까지이며, 적분시간은 5 km에 30 sec이다. 본 연구에서는 주로 3등지의 계산결과를 이용하여 분석하였다.

본 연구는 2003년 7월 22일의 호남지방에서 발달한 저기압을 대상으로 레이더 해석과 수치실험을 병행 실시하였다. 본 연구에서 먼저 대상기간의 레이더 영상을 분석하고, LAPS을 이용하여 850 hPa와 500 hPa의 수평 바람장을 산출한다. 이런 수평 바람장은 레이더 자료로부터 산출하며, 레이더의 바람 최고 출력은 30 m/s로 정하였다. 이 수치보다 높은 경우는 집힘 현상에 의하여 관측이 불가능하다.

레이더 분석에 의하여 생성된 수평 바람장을 호남지방고해상도 수치예측시스템의 자료동화과정을 통하여 호남지방의 악기상 예측능력 향상을 위하여 레이더 자료의 이용 가능성을 분석하였다.

### 3. 레이더 자료에 의한 바람장 추정

대부분의 도플러 기상레이더는 시계열 바람자료를 제공한다. 이러한 바람 자료는 일정한 고도각에서 방위각의 함수로 관측된 시선속도자료를 이용하여 평균풍속과 풍향을 추정하는 VAD 방법으로 추정된다<sup>1,11)</sup>.

도플러 기상레이더에 의해 관측된 강수입자의 시선속도  $V_r$ 은 식(1)과 같이 강수입자를 둘러싸고 있는 주변바람장의 수평풍속  $V_h$ , 수평풍향  $\theta_0$ , 강수입자의 연직 속도  $w$ , 레이더의 고도각  $\varphi$  및 방위각  $\theta$ 로 표현된다.

$$V_r = -V_h \cos\varphi \cos(\theta - \theta_0) + w \sin\varphi \quad (1)$$

레이더를 중심으로 넓은 지역에 걸쳐 바람장이 균일하고 강수입자의 연직속도가 일정한 경우에 Fig. 2와 같이 고정된 고도각에서 방위각을 따라 조사하면 강수입자의 시선속도는 Fig. 3과 같이 코사인 함수를 따라 변한다. 이때 시선속도가 최대인  $V_{r1}$ 과 최소인  $V_{r2}$ 를 결정할 수 있다. 그리고 레이더의 방위각이 수평풍향과 일치하는 경우 ( $\theta = \theta_0$ )와 수평풍향과 반대인 경우( $\theta = \theta_0 + \pi$ )에 식(1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\theta = \theta_0 \text{인 경우 } V_{r1} = V_h \cos\varphi + w \sin\varphi \quad (2)$$

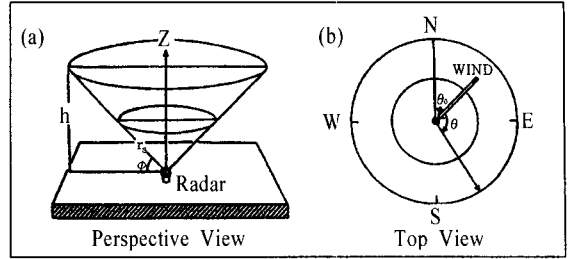


Fig. 2. Radar emission from the fixing altitude angle and PPI image.

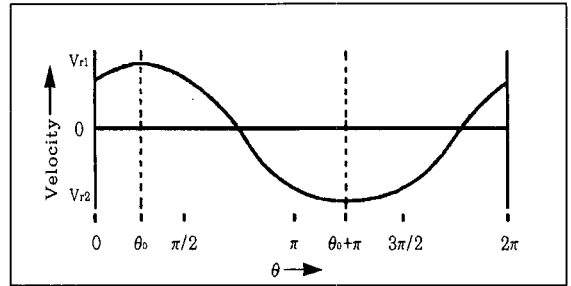


Fig. 3. Radial velocity curve from VAD.

$$\theta = \theta_0 + \pi \text{인 경우 } V_{r2} = -V_h \cos\varphi + w \sin\varphi \quad (3)$$

다시 이 두식을 연립하여 풀면 다음과 같이 수평 풍속과 강수입자의 연직속도를 구할 수 있다.

$$V_h = \frac{V_{r1} - V_{r2}}{2 \cos\varphi} \quad (4)$$

$$w = \frac{V_{r1} + V_{r2}}{2 \sin\varphi} \quad (5)$$

도플러 기상레이더에 의해서 제공되는 시계열 바람자료는 지금까지 설명한 VAD 방법으로 추정된 바람자료이다. 따라서 이러한 바람자료는 바람장 추정 시에 제시된 가정을 항상 엄두하고 활용하여야 한다.

### 4. 레이더 자료동화

기상관측장비의 현대화를 통한 관측기술의 발달에도 불구하고 중규모 이하의 기상예보에는 아직도 많은 문제점을 나타내고 있고, 단시간 악기상 예보는 아직 미흡하다고 볼 수 있다. 이러한 문제점을 보완하고 기상예보능력 향상을 위해서는 다양한 기상 측기로부터의 기상관측 자료를 종합 분석 처리하여 수치예보에 활용하는 자료동화 기술의 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA)의 예보

시스템연구소(Forecast Systems Laboratory : FSL)에서 개발한 국지규모 기상 분석 및 동화 시스템(Local Analysis and Prediction System : LAPS)을 바탕으로 한국의 대기 및 지표상태에 적용한 KLAPS를 적용하였다<sup>12-14)</sup>. 이 LAPS 시스템의 레이더 자료동화 모듈을 개량하여 한반도 남서해안에 적용하였다.

새로운 기상관측기기가 개발되고 이용됨에 따라 해석적인 차원에서 기상예보관련 연구자들에게 관측 자료가 제공되었다. 그러나 자료의 양이나 형태 면에서 이를 분석하는데 방대한 시간이 소요되고, 공간적 시간적인 불연속체인 관측 자료를 예보연구자들이 정해진 예보 시간 내에 해석하여 내는 것은 어려웠다. 그러한 이유로 신속, 정확하게 현업 예보자들에게 제공할 수 있는 새로운 분석 시스템이 필요하게 되었고, 단시간 내에 진단적으로 메시간 meso- $\beta$  규모의 분석할 목적으로 LAPS가 고안되었다.

첫 단계로 관측 자료에서 진단적으로 생성된 LAPS 결과물을 미국 콜로라도 주립대학에서 개발된 3차원 대기수치모형(Regional Atmospheric Modelling System : RAMS)에 적용되어 국지적인 악기상이 빈번한 록키산맥 주위의 중규모 기상장 예보에 이용되었다. 그리고 본래 LAPS가 가지고 있는 실험예보의 목적에서도 활용 목적이 어느 정도 충족되어 진단적인 예보모형의 개선도 이루어졌다.

수집 가능한 모든 자료가 LAPS의 해석대상이 된다. 수집된 각종자료를 진단적으로 재분석하여 호남지방 고해상도 국지기상예측모델의 초기치로 이용한다. LAPS 재분석자료는 그 자체로도 진단적인 예보자료로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 진단적인 분석에는 사용하지 않았으나 재해석자료는 3차원 graphic user interface에 의하여 화상으로 결과를 표출하고 있으며, 이것을 분석하여 현재 기상상태를 분석하는 것이 가능하다.

LAPS의 수평 좌표계는 Lambert 좌표계와 Polar stereo 좌표계가 현재 운용되고 있으며, 연직 좌표계는 기압준거 좌표계가 적용된다. 또한, 다양한 해상도의 기상현상을 분석할 수 있다.

상관분석을 통하여 지표면 마찰항을 계산하면 3차원적인 공간에서의 바람장 분석이 가능하다. 바람장 분석은 2가지 단계가 존재한다. 직접적인 지상관측 및 고층 준데 관측자료를 가지고 Barnes법을 이용하여 1단계 바람장을 구한 후, 이를 수치모형의 결과치와 비교한 후 그 차이를 분석하여 보정된 바람장을 구하고, 이를 통하여 루틴관측 장비만을 이용한 보정된 진단 바람장을 도출한다<sup>15)</sup>. 다음 단계는 정규루틴이 아닌 비정규루틴 관측자료인 레이더의 관측결과를 이용하여 바람장을 산출한다. 이것을

1단계의 보정된 바람장과 결합을 통하여 성분분석 및 차이분석을 하여 최종적인 3차원 바람장을 산출한다. 이것을 호남지방 고해상도 국지 예측시스템의 초기 바람장으로 이용한다. 결국 등 레이더 바람장의 이용이 불가능할 경우 1차 보정 바람장을 이용할 수도 있다.

## 5. 결과 및 토의

### 5.1. 중관장 분석

Fig. 4는 연구기간인 2003년 7월 14~24일까지의 지상일기도중에서 강수의 형태가 뚜렷하게 나타난 7월 18일의 지상일기도와 레이더 영상분석 자료 및 GMS 영상을 함께 분석하였다. 전체적인 기압장의 형태를 알아보기 위해 지상일기도의 자료를 분석하였고, 우리나라의 기상상태를 살펴보기 위하여 레이더영상과 GMS 영상을 함께 관찰하면 우리나라의 강수구역을 자세히 볼 수 있다.

연구기간의 중관기압장을 보면 오호츠크해 고기압이 강하게 유지되면서 장마전선이 중부지방에 많은 비를 내렸고 남부지방과 남해안 부근에서 주로 활동하며, 남부지방을 중심으로 흐리고 비가 오는 날이 많았다. 장마전선이 활성을 보이는 가운데 장마전선 상에서 발달한 저기압의 영향으로 전국적으로 많은 비가 내렸으며, 장마는 제주도에서 7월 23일에 종료되었고, 남부 및 중부지방에서는 25일에 종료된 전형적인 여름철 일기를 보여준 사례이다.

7월 17~18일에는 장마전선 상에 발달한 저기압의 영향으로 제주도를 제외한 전국에 25~115 mm의 많은 비가 내렸고, 21~23일에도 중부지방을 중심으로 많은 비가 내렸으며, 전국적으로 1~180 mm의 많은 강수가 있었다. 광주는 7월 23일에 47 mm로 가장 많은 양의 강수가 있었다.

### 5.2. 바람장 분석

Fig. 5는 광주의 고층자료를 이용하여 바람장을 분석한 것이다. 전체적으로는 상층으로 갈수록 강수가 강하여지는 대기의 구조가 잘 나타났고, 강수가 있는 시기에 바람이 강하게 나타났다. 이는 저기압 통과 시 풍속이 강하여진 것으로 보인다.

연구기간동안의 지상일기도와 일강수량의 변화그림에서 보듯이 장마전선상의 저기압이 한반도에 접근하는 7월 17일~19일, 7월 21일~24일에 강수가 나타나서 저기압의 통과와 강수와의 관계가 잘 나타났다.

7월 17일에서 19일 사이에 많은 강수가 있었는데, 650~700 hPa에서 최대풍속이 나타났고, 두 번째 강수가 있었던 7월 22일에서 23일 사이에는 700~850 hPa 사이에서 최대풍속이 나타났다. 여기에서 보면

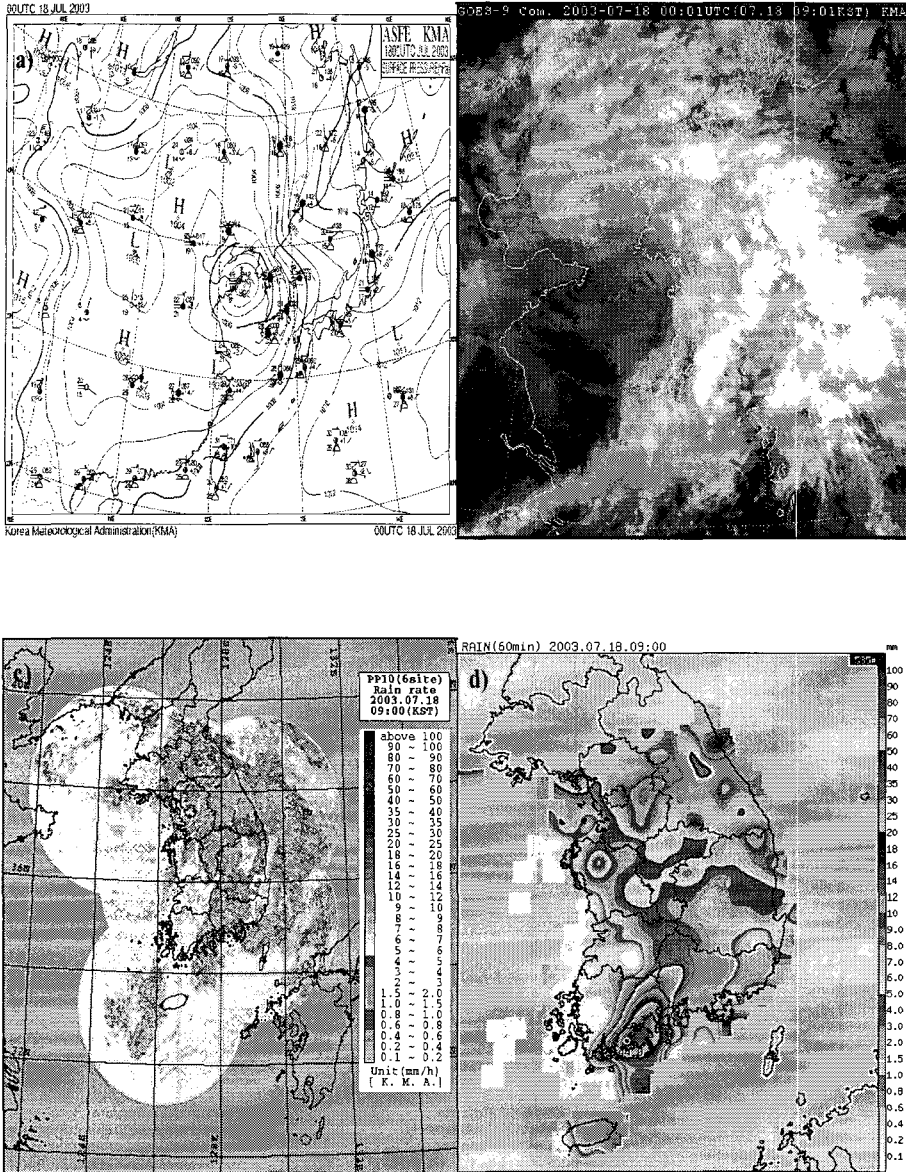


Fig. 4. The synoptic condition at 00UTC 18 July 2003. a) surface weather chart, b) GMS image, c) radar image, and d) AWS precipitation.

하층에서 강한 풍속이 있을시 더 많은 강수가 있을 수 있다. 따라서 700~800 hPa에서의 강한 풍속이 강수량과 상관관계가 높음을 알 수 있다.

### 5.3. 레이더 자료분석

Fig. 6은 호남지방의 저기압 통과 시 진도 S-band 레이더의 에코영상과 함께 AWS 강수량과 레이더 자료에 의해서 생산된 지표부근의 수평바람장과 도플러에코를 나타낸다. 진도레이더는 관측반경 240 km의 고성능레이더이다.

레이더 에코에 의한 강우강도에서는 전라남북도와 충청도를 중심으로 밴드상의 강수대를 볼 수 있다. 이것은 저기압에 의한 남서풍의 유입으로 호남 지방에 수렴대가 형성되었음을 의미하며 수렴대는 시간에 따라 동쪽으로 진행하며 발달한다. 강수강도는 지리산 후면인 장수지역에 60 mm/hr 이상의 강한 강수가 나타난다. 장수지역의 강한 강수는 강수밴드 중심부의 강수강도와 비슷하며, 이것은 지형적인 요인에 의해 형성되었다. 저기압에 의해 형성되어 강

레이더 자료동화에 따른 기상장모의 민감도에 관한 수치연구

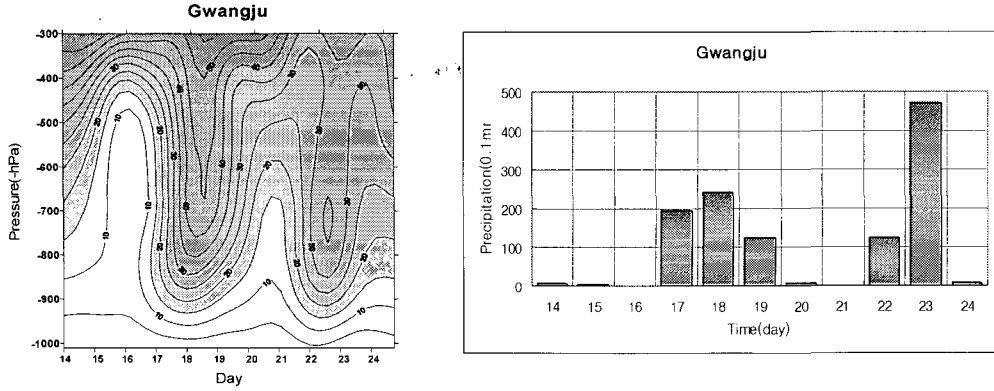


Fig. 5. Time variation of a) wind speed and b) surface precipitation at Gwangju for 10 days from 14 July 2003.

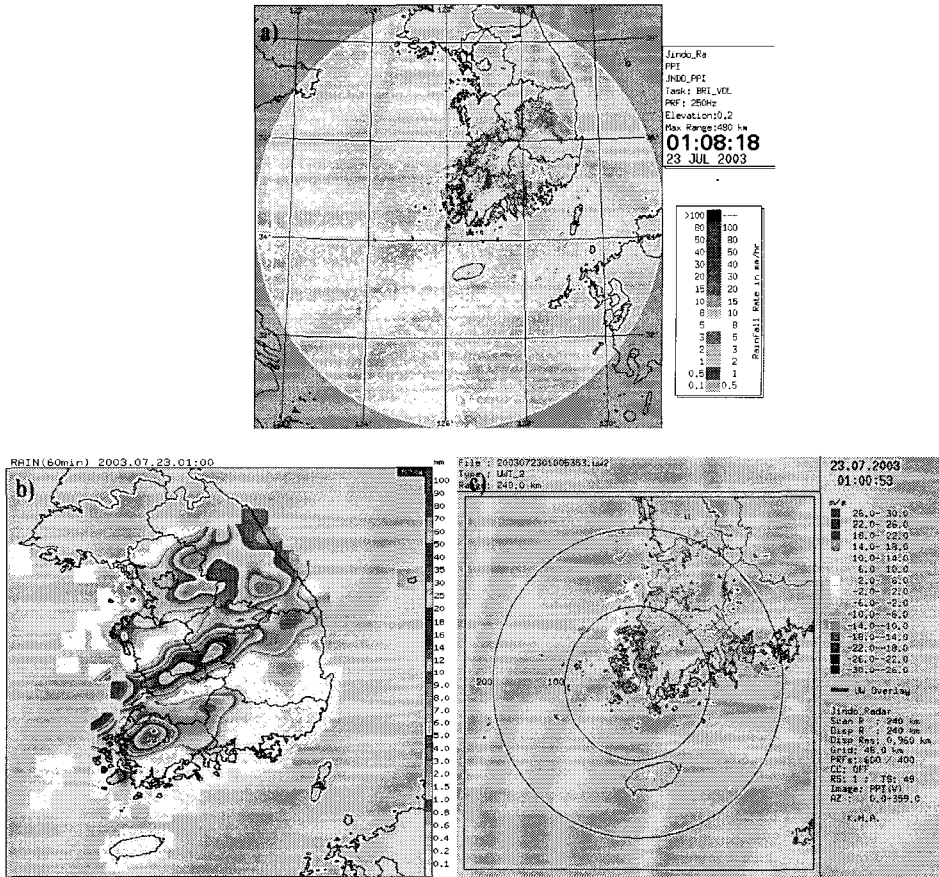


Fig. 6. Wind field and precipitation intensity at 23 July 2003. a) Radar echo detected by Jin-do S-band radar, b) AWS precipitation, and c) Doppler velocity PPI image.

한 하층제트에 의한 상층수렴이 지형적인 요인과 결합하여 강한 강수를 나타낸 것이다.

레이더 자료에 의해서 생산된 지표부근의 수평 바람장과 도플러에코에서는 붉은색계열에서는 바람이 진도레이더에서 멀어지고 파란부분은 진도레이더를

향해 접근하고 있음을 의미한다. 강수밴드를 향하여 강한 수렴장이 형성되고 있으며, 이런 수렴에 의하여 밴드중심에서의 도플러 속도는 감소하고 있다. 그리고 남남서풍의 풍상층에 위치한 경상남도 산청 지방에서도 강한 도플러 속도를 감지할 수 있다. 이

리한 강한 수렴에 의해서 경상남도지역에서도 강수를 확인할 수 있다. 즉, 레이더 영상에 의하여 분석된 바람장에서는 수렴바람장이 강하게 나타나고 있다. 이러한 강한 수렴 바람장은 강한 강수를 발생시키는 하나의 요인이 될 수 있다.

5.4. 레이더 자료동화 민감도 분석

레이더자료에 의해 생성된 수렴 바람장을 고해상도 호남지방 기상예측시스템의 동화자료로 적용할 경우 수치대기 중규모 기상장의 변화를 살펴보았다. Fig. 7은 레이더 자료동화를 하지 않은 경우의 21일부터 지상의 바람장을 나타낸 것이다.

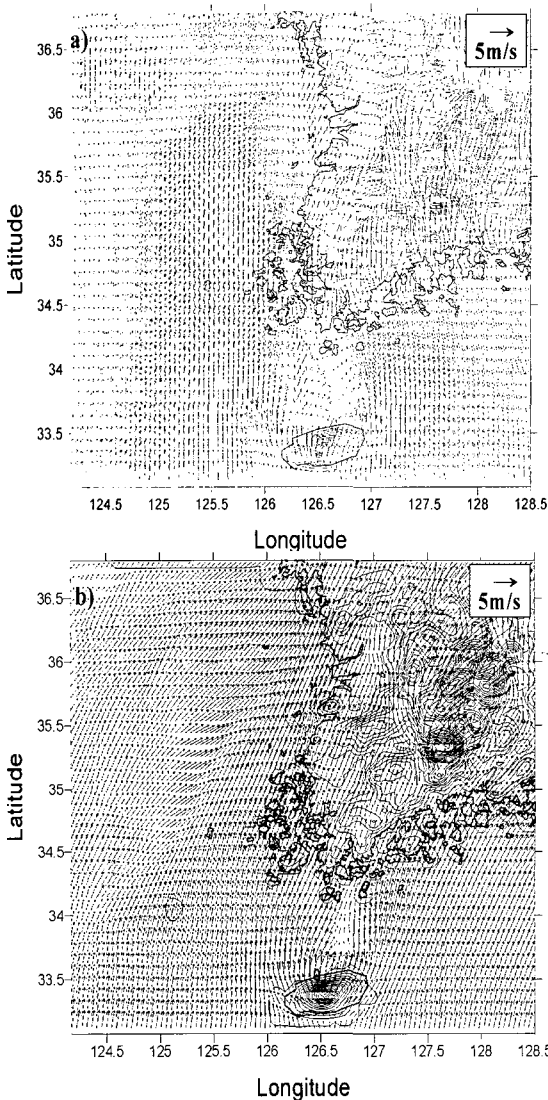


Fig. 7. Simulated surface wind field without radar assimilation data at 00LST a) 21 and b) 22 July 2003.

호남지방은 복잡한 해안선에 의하여 내륙의 바람장은 복합적으로 나타난다<sup>16)</sup>. 내륙의 중규모 흐름은 지형의 영향을 크게 받고 있다. 그림에서 역시 내륙의 경우 지형에 따라서 바람장의 흐름이 달라진다. 먼저 제주도 풍하측 칼만외도에 의한 소용돌이 흐름은 매우 깨끗하게 재현되었다. 그리고 시간이 지나면서 칼만 외도는 제주도 후면 좌우측에서 번갈아 형성되고 있다. 이것은 이론적인 현상과 잘 일치하고 있다.

전체적인 해상의 바람장은 시간에 따른 변화가 적게 나타난다. 이것은 해안에 의한 중규모 기상장의 변화요인이 적은 것으로 해석할 수 있다. 그러나 해안선에 유입되면서 많은 차이점이 나타난다. 즉 주간과 야간의 해륙풍의 영향과 산곡풍의 영향이 복합적으로 나타난다. 그리고 제주도에서 발생한 후류가 여수 등 남해안지역의 유입 바람장에 영향을 받는 것처럼 나타난다. 이것은 좀더 정밀한 관측과 수치연구가 필요하기 때문에 본 연구에서는 구체적으로 영향의 평가는 실시하지 않았다. 또한, 7월 23일 00시에서 해상에 수렴대가 발생한 것을 볼 수 있으나 이것은 야간의 안정층에서 형성된 섬의 후류가 시각적으로 나타난 것으로 볼 수 있다. 이것은 지표면 또는 수표면의 영향으로 대기하층에 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 8은 레이더 자료를 동화시켰을 때 바람장의 시간변화를 나타낸 것이다. 전체적인 바람장의 형태는 동화를 실시하지 않은 경우의 바람과 비슷하게 나타난다. 그러나 제주도 후면에서 바람 형태의 차이가 나타난다. 이것은 자료동화를 통하여 풍속이 강하게 나타나고 있기 때문이다. 그리고 수렴대 부근인 전북지방의 풍속이 강하게 나타나고 있다. 호남지방의 17개 관측소에서 관측된 지상의 풍향 및 풍속자료에서 풍향을 보면 전체적으로 남-남서풍 계열의 바람이 불었고, 강수가 있는 7월 23일 00시부터 12시까지는 4~9 %의 강한 바람이 불었고, 특히 해안가에 있는 해남과 여수, 그리고 흑산도에서 강한 풍속이 나타났으며, 강수가 끝난 7월 24일에는 풍속이 현저하게 감소되었다. 자료동화에 의한 바람은 해안지방에서 강하게 나타나는데 이것은 관측에 의한 풍속과 비슷하게 나타나는 경향이 있다.

Fig. 9는 각각 레이더 자료동화를 통한 저기압통과시의 강수분포를 나타낸 것이다. 전체적인 강수량은 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한, 전라북도 지역의 강수량이 잘 재현되었다. 전라북도 지역에서 AWS에 의해 관측된 강수량 중 50 mm 이상 관측된 지역의 강수량과 비교하여 보면 전라북도 지역의 강수패턴을 잘 표현하고 있다. 특히 강수대 부근의 강수량이 증대되고 있다. 그러나 강수대 중



심의 강수강도는 반대로 감소한다. 즉 강수대 중심에서 강수량은 줄어드나 강수범위가 넓어진다. 이것은 850 hPa의 바람장의 변화에 기인하는 것이다. 이

러한 바람의 변화는 수증기 수렴에 영향을 미치며, 수증기량 수렴의 변화는 강수강도에 영향을 미친다.

Table 2는 장수, 해남, 흑산도에서 관측된 지상풍

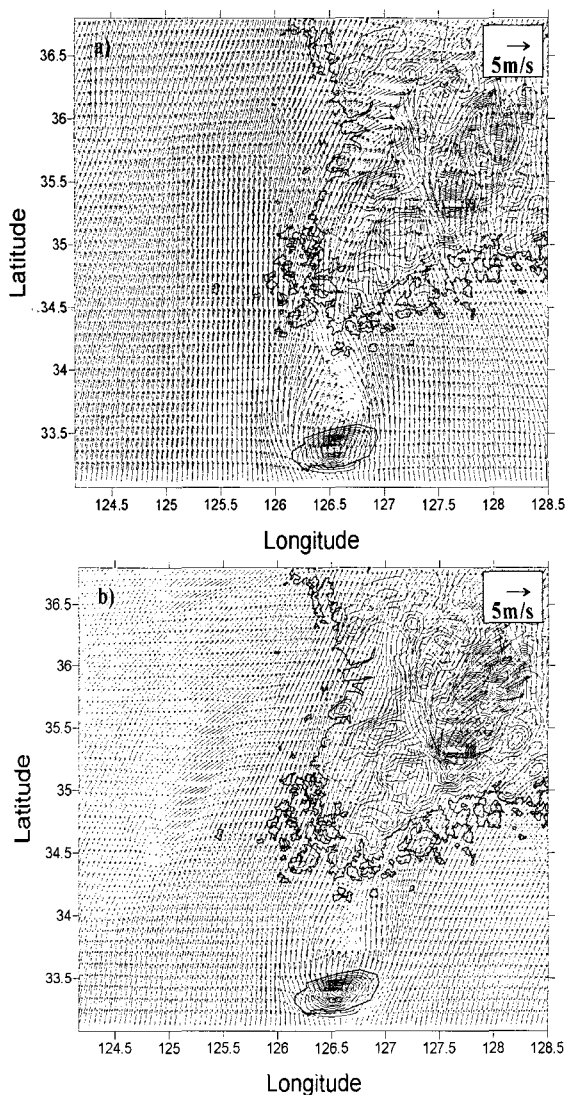


Fig. 8. Same as Fig. 7 except for radar data assimilation.

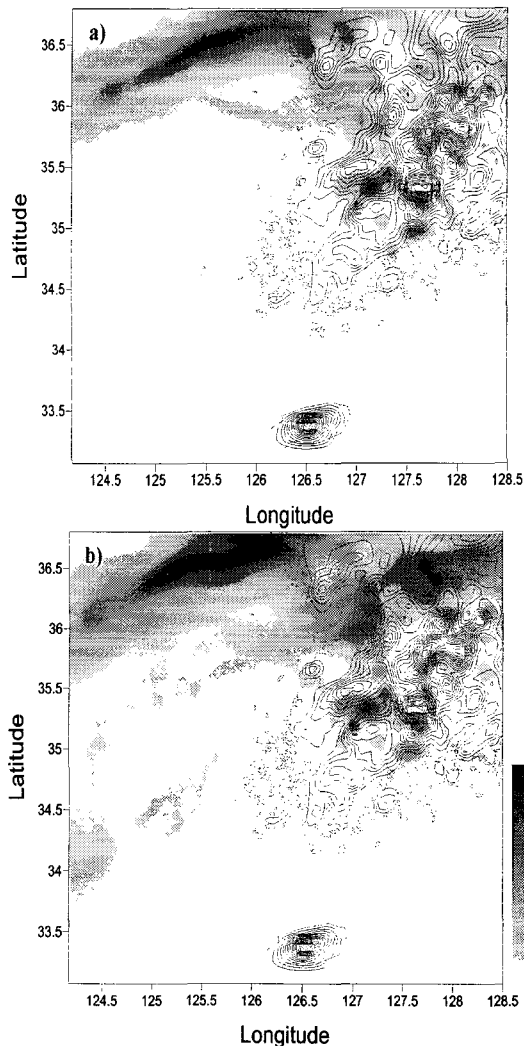


Fig. 9. Simulated surface precipitation a) without and b) with radar data assimilation at 00LST 23 July 2003.

Table 2. Wind speed and 3 hours accumulated precipitation of observation and simulation at 00LST 23 July 2003

		Observation	Simulation with radar assimilation	Simulation without radar assimilation
Wind Speed (m/s)	Jangsu	4.4	4.2	4.0
	Heanam	6.7	4.9	6.0
	Heuksan	9.2	5.1	6.3
Precipitation (mm/3h)	Jangsu	5.2	1.4	5.4
	Heanam	0.0	0.0	0.0
	Heuksan	11.5	0.0	4.1

속과 3시간 누적 강수량을 계산에 의한 값과 비교한 것이다. 풍속의 경우 자료동화와 상관없이 실제 관측치보다 과소모의를 하는 경향이 있다. 그러나 레이더 자료동화를 실시한 수치모의 결과가 자료동화를 하지 않은 경우보다 관측치에 가까운 값을 나타내고 있다. 그리고 강수량의 경우 실제 관측치와 비교하면 과소평가되는 경향을 나타내고 있으나 지역에 따른 차이가 크게 나타나서 정확한 비교는 어렵다. 그리고 흑산도의 경우 자료동화를 한 수치실험에서 4.1 mm/3 hour의 강수가 나타나고 있으나 자료동화를 하지 않은 실험에서는 강수가 나타나지 않는다. 이것은 레이더 자료에 의한 바람장의 동화가 정성적인 강수현상을 예측하는데 도움을 주고 있다는 것을 의미한다.

Fig. 10은 각 실험에서 계산된 강수량의 편차를 나타낸 것이다. 강수의 수렴축을 중심으로 좌우의 편차가 다르게 나타난다. 그리고 해양상에 크게 차이가 나타나는데 이것은 해양상의 초기 기상입력장의 정확도가 레이더 자료동화를 통하여 향상 되었다는 것을 뜻한다.

본 연구에서는 500 hPa의 바람장의 동화도 사용하였으나, 강수량 및 바람장의 변화를 발견할 수 없었다. 이것은 강수량의 예측에 있어서 상층바람장보다 하층바람장이 더욱 크게 영향을 미친다는 것을 의미하며, 다른 말로 하층제트의 분포 및 특징이 사전에 레이더나 고층관측 자료에 의하여 예측되고

분석된다면 강수량의 예측 정확도가 향상된다는 것을 의미한다.

## 6. 결 론

호남지방의 집중호우 예측가능성을 향상시키기 위하여 레이더 자료를 이용한 자료동화의 예측가능성과 광주지방의 고층자료를 분석하여 집중호우 발생시의 중관장을 분석하였다. 자료동화 자료로는 진도 S-band 레이더 원시자료를 이용한 고도별 수평바람장을 산출하여 이것을 자료동화자료로 사용하였다. 또한, PC-cluster를 platform으로 사용하는 호남지방 고해상도 기상예측시스템을 이용하여, 레이더 수평 바람장 자료의 동화가 집중호우 및 중규모 순환장 예측정확도에 미치는 영향을 살펴보았다.

레이더 자료처리와 수치실험을 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 광주지방의 고층자료를 분석한 결과 하층의 강한 바람과 호남지방의 강수량은 매우 밀접한 관계가 있다. 특히 850 hPa 부근의 순환장이 매우 중요하게 작용하고 있다.
- 2) 레이더 자료 분석을 통하여 해안부근의 바람이 강하게 나타나고 있으며, 특히 전선 수렴대 부근의 풍속이 강하게 나타난다.
- 3) 레이더에서 해석된 바람장과 초기 수치모형에서 제공되는 바람장의 합성초기치는 자료동화를 통해 해안 부근과 수렴대 부근에서 강하게 나타나고 있다.
- 4) 강수량의 형태 분석에서 레이더 자료를 통한 자료동화는 강수범위를 넓게 하는 경향이 있으나 최대 강수량은 감소하는 방향으로 작용한다.
- 5) 500 hPa 과 850 hPa의 두 층의 바람장 예측의 기여율 면에서 보면 상층의 바람장보다 하층의 바람장의 기여율이 높게 나타난다. 따라서 하층제트 등 500 hPa 하부에서 형성되는 기류장 분석이 매우 중요하다.

이상의 결과에서 레이더 자료의 분석을 통한 자료동화는 수치모형의 강수 및 바람장을 변화시키는 요인 중의 하나이다. 그러나 본 연구에서는 정성적인 분석에 주안점을 두었고, 레이더자료의 속도 접합 현상에 의한 고평속을 분석할 수 없다는 점에서 현업 사용 가능성에 대하여는 지속적인 연구가 필요하다.

## 감사의 글

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

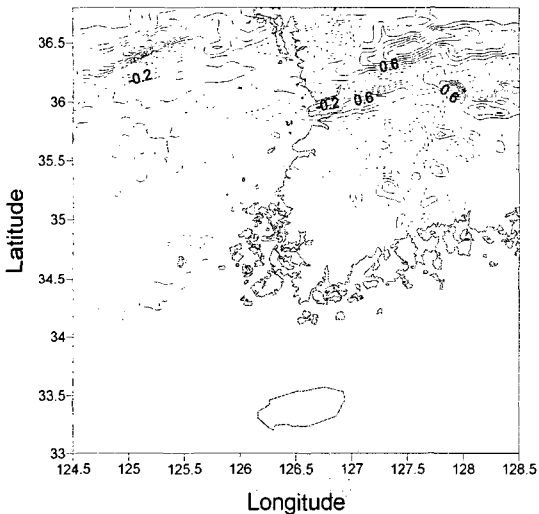


Fig. 10. Difference of precipitation between with/without radar data assimilation at 23 July 2003. Solid and dot lines indicate plus and minus values of precipitation difference between results with and without data assimilation experiments, respectively.

참 고 문 헌

- 1) 공군기상전대, 2003, 도플러 기상레이더, 공군기상전대, 7-34.
- 2) 과학기술처, 1997, 기상자료 종합분석 시스템 개발, 과학기술처, 293pp.
- 3) 기상청, 2003, 레이더 영상 분석, 서울, 동진 문화사, 50-59.
- 4) 박순웅, 윤일희, 정순갑, 1986, 1978 년 하계장마시 장마전선과 관련되어 나타난 열과 수증기의 원에 관하여, 한국기상학회지, 22(2), 2001-2028.
- 5) Kimura, F. and Arakawa, 1983, A numerical experiment of the nocturnal low level jet over Kanto plain, J. Meteor. Soc. Japan, 61, 848-861.
- 6) 홍성유, 1992, 한반도에서 발생한 집중호우의 수치 모의실험, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 246pp.
- 7) Dudhia, J., 1989, Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, J. Atmos. Sci., 46, 3077-3107.
- 8) Grell, G., Y. H. Kuo and R. J. Pasch, 1991, Semi-prognostic tests of cumulus parameterization schemes in the middle latitudes, Mon. Wea. Rev., 119, 5-31.
- 9) Chen, F. and J. Dudhia, 2001, Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part II: Preliminary Model validation, Mon. Wea. Rev., 129, 587-604.
- 10) Dudhia, J., 1993, A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: validation test and simulation of Atlantic cyclone and cold front, Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- 11) 엄원근, 1995, 레이더 기상학, 서울, 영재사, 67-107.
- 12) Albers, S. C., J. A. McGinley, D. L. Birkenheuer and J. R. Smar, 1996, The Local Analysis and Prediction System(LAPS); Analysis of clouds, precipitation and temperature, Wea. Forecasting, 11, 273-287.
- 13) Birkenheuer, D. L., 1992, The LAPS specific humidity analysis, NOAA Tech. Memo, ERL-FSL-1, NOAA Forecast Systems Laboratory, Boulder, CO, 39pp.
- 14) 김용상, 박옥란, 황승연, 2002, 기상연구소의 국지규모기상분석 및 예측시스템(KLAPS)의 실시간운영, 한국기상학회지, 38(1), 1-10.
- 15) Barnes, S. L., 1964, A technique for maximizing details in numerical weather map analysis, J. Appli. Meteor., 3, 369-409.
- 16) 류찬수, 신유미, 이순환, 2004, 해안지형 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한 수치실험, 한국기상학회지, 40(1), 71-86.