

제주 지역에 적합한 중규모 단시간 예측 시스템의 개발

김용상^{1,*} · 최준태¹ · 이용희¹ · 오재호²

¹기상연구소 예보연구실, 156-720 서울특별시 동작구 신대방동 460-18

²부경대학교 환경대기과학과, 608-737 부산광역시 남구 대연 3동 599-1

Development of Meso-scale Short Range NWP System for the Cheju Regional Meteorological Office, Korea

Yong-Sang Kim^{1,*} · Jun-Tae Choi¹ · Yong Hee Lee¹ · Jai-Ho Oh²

¹Forecast Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea

²Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University,
Pusan 608-737, Korea

Abstract: The operational meso-scale short range NWP system was developed for Cheju Regional Meteorological Office located at Cheju island, Korea. The Central Meteorological Service Center, KMA has reported the information on numerical weather prediction every 12 hours. But this information is not enough to determine the detail forecast for the regional meteorological office because the terrain of the Korean peninsula is very complex and the resolution of the numerical model provided by KMA headquarter is too coarse to resolve the local severe weather system such as heavy rainfall. LAPS and MM5 models were chosen for three-dimensional data assimilation and numerical weather prediction tools respectively. LAPS was designed to provide the initial data to all regional numerical prediction models including MM5. Synoptic observational data from GTS, satellite brightness temperature data from GMS-5 and the composite reflectivity data from 5 radar sites were used in the LAPS data assimilation for producing the initial data. MM5 was performed on PC-cluster based on 16 pentium CPUs which was one of the cheapest distributed parallel computer in these days. We named this system as Halla Short Range Prediction System (HSRPS). HSRPS was verified by heavy rainfall case in July 9, 1999, it showed that HSRPS well resolved local severe weather which was not simulated by 30 km MM5/KMA. Especially, the structure of rainfall amount was very close to the corresponding observation. HSRPS will be operating every 6 hours in the Cheju Regional Meteorological Office from April 2000.

Key words: NWP, LAPS, MM5, data assimilation, Halla Short Range Prediction System, distributed parallel computer, PC-cluster

요약: 제주 지방 기상청을 대상으로 하는 지역 규모 단시간 수치예보 시스템을 구축하였다. 기상청 본청에서 하루 2회 제공되는 30 km 해상도의 수치예보 자료로는 지방 기상청의 예보관들이 우리 나라와 같이 복잡한 지형에서 발생하는 그 지역의 국지 악기상을 파악하기에는 무리가 있다. 지역 규모의 고해상도 수치예보를 위해 LAPS와 MM5를 자료 분석과 예보 모델로 이용하였다. LAPS는 양질의 수치예보 초기자료를 생산해 내기 위해 종관 관측 자료뿐만 아니라 위성 및 레이더 등의 비 종관 관측자료도 자료동화에 이용한다. MM5 모델은 16노드의 펜티엄 PC로 구성된 클러스터에서 수행되었으며 이 시스템은 분산병렬 클러스터 컴퓨터로 가격대비 성능이 매우 우수한 미니 슈퍼컴퓨터이다. 자료동화 모델, 수치예보 모델 그리고 PC-클러스터를 종합한 지역 규모 단시간 수치예보 시스템을 한라 단시간 예측 시스템이라 명명하였으며 이 시스템은 현재 제주 지방 기상청에서 독자적으로 운영되고 있다. 기상청 본청에서 제공되는 수치예보 정보로는 탐지할 수 없었던 1999년 7월 9일 제주 지역의 집중호우 사례에 대하여 본 시스템을 검증한 결과 모델이 예측한 강수량이 실제 강수량을 잘 재현하였다. 한라 단시간 예측 시스템은 2000년 4월부터 하루 4회 제주 지방 기상청에서 독자적으로 운영되고 있다.

주요어: 수치예보, 국지규모 자료분석 및 동화 시스템, 자료동화, 한라 단시간 예측 시스템, 분산 병렬 컴퓨터, PC-클러스터

서론

중위도 편서풍대에 위치한 우리 나라는 해양과 대륙의 전이지대에 위치함으로써 대륙 및 해양성 기후의 특징을 모두 가진다. 또한 지형적으로 남북을 가로지르는 태백산맥과 동서를 가로지르는 소백산맥 등 조밀한 지역 내에 복잡한 지형으로 구성되어 일기 변화가 심하다. 그 외에도 도시화·산업화에 따른 산림 훼손과 인구 밀집 등으로 인해 악기상 현상에 의한 자연재해 피해가 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.

자연재해 중 가장 큰 피해를 초래하는 현상은 집중 호우로써 우리 나라에서 1년 동안 발생하는 자연재해에 의한 피해의 30% 정도를 차지한다(기상청, 1996). Orlanski(1975)의 기상 현상 규모별 분류(Table 1)에 의하면 우리 나라에서 발생하는 대부분의 집중호우는 장마전선이나 중규모 대류운과 같은 중-β 규모의 기상현상에서 기인한다(Lee and Wee, 1998). 그러므로 중-β 규모의 기상현상을 정확히 예측해 내는 것이 기상재해에 의한 피해를 줄이는데 가장 중요한 관건이 된다. 최근 중-β와 중-γ 규모의 기상현상을 정확히 예측하려는 노력으로 비 종관 관측자료를 이용한 자료동화 기술과 고해상도 수치예보 모델의 개발 그리고 방대한 양의 수치예보 모델의 계산 시간을 처리할 수 있는 병렬화 기법의 활용 등이 중요한 연구 분야가 되고 있다(Albers *et al.*, 1996; Dudhia *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 1997).

현재 우리 나라의 수치예보는 기상청 본청에서 전국 규모의 수치예보 자료를 생산하여 하루 2회 지방 기상청에 수치예보 정보를 제공하고 있다. 그러나 본청에서 제공되는 수치예보 정보만으로는 지방 기상청 예보관들이 그 지역의 국지예보에 이용하기에 그 자료의 양이나 해상도면에서 무리가 있다. 즉 본청에서 제공되는 수치예보 자료는 그 수평 해상도가 30km로 중-γ 규모의 기상현상을 제대로 예측할 수 없을 뿐만 아니라 모델 결과 제공 횟수도 하루 2차례로 갑자기 발생하는 국지 악기상 현상을 조기에 포착하기에 많은 어려움이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 지방 기상청에서 독자적으로 운영할 수 있는 고해상도 수치예보 시스템의 필요성이 대두되어, 이 연구에서는 제주 지방 기상청을 대상으로 고해상도 수치예보 시스템을 구축하고 시범 운영하였다.

본 논문에서는 제주 지방 기상청에 설치되어 운영 중인 “한라 단시간 예측 시스템”의 개요와 그 구성 요소인 자료동화 시스템, 수치예보 모델 그리고 PC-클러스터에 대하여 소개한다. 또한 단시간 예측 시스템의 예측 능력을 알아보기 위해 1999년 7월 9일의 호우 사례에 대한 수치 모의 결과에 대해 사례 분석 하였으며 마지막으로 2000년 5월에 대한 통계 검증을 실시하여 지역 규모 수치예보 시스템의 유용성을 알아보았다.

제주 지방 기상청 『한라 단시간 예측 시스템』

지방 기상청 고유의 수치예보 시스템 확보를 위하여 기상청 본청의 전산기 및 수치 모델에 의존하지 않고 지방 기상청에서 자체 운영할 수 있는 현지 운영 시스템(in-house system)인 “한라 단시간 예측 시스템(Halla Short Range Prediction System: HSRPS)”을 개발하여 제주 지방 기상청에 이식하였다.

제주도는 그 면적이 1,825km² 정도밖에 되지 않는 작은 섬이지만 섬 중앙에 위치한 한라산의 지형적 영향으로 기상 현상의 변화가 심하다. 즉, 지형효과에 의한 풍향 변화는 강수의 지역적 편중성을 가져오며, 맑은 날에도 해륙풍이나 산곡풍 등에 의해 제주도 내에서의 기상현상은 다양하게 나타난다.

제주도 지역은 사방이 바다로 둘러싸여 있기 때문에 수치 모델링에 있어서 복잡한 지형에 의해 발생할 수 있는 모델 경계에서의 잡음을 제거할 수 있다는 장점이 있는 반면, 단점으로는 대부분의 모델 영역이 바다로 이루어져 있어서 관측자료를 이용하기에 불충분하며 이로 인해 모델 초기 자료 생산에 제약이 있다. 이를 보완하기 위해 기상위성 및 기상 레이더 등의 고해상도 원격탐사 자료를 초기 추정치에 동화시킴으로써 초기자료의 질을 향상시켰다.

Fig. 1은 제주 지방 기상청에 구축된 한라 단시간 예측 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 본 시스템의 자료동화 시스템으로는 미국 예보시스템 연구소(FSL: Forecast Systems Laboratory)에서 개발한 국지규모

Table 1. The scale characteristics (Orlanski, 1975).

Scale	Length (km)	Life time
Synoptic	2000 ~ 10000	2 ~ 11 days
Meso-α	200 ~ 2000	6 hours ~ 2 days
Meso-β	20 ~ 200	30 min ~ 6 hours
Meso-γ	~ 20	~ 30min

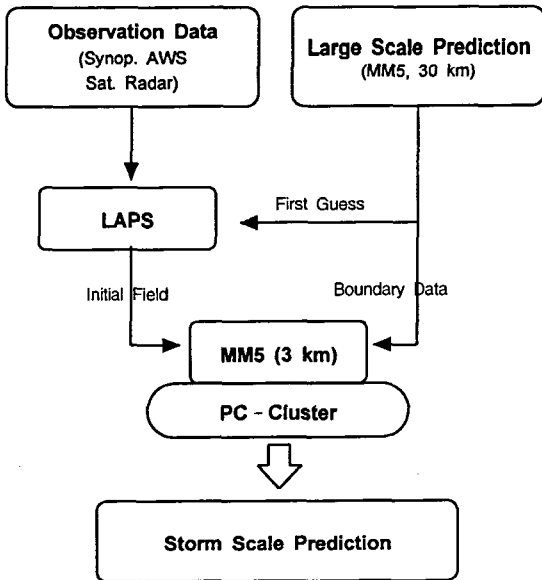


Fig. 1. The concept of Halla Short Range Prediction System.

기상 분석 및 동화 시스템인 LAPS(Local Analysis and Prediction System)를 이용하였으며 중규모 수치 모형으로는 미국 펜실바니아 대학과 국립 대기연구센터(NCAR: National Center for Atmospheric Research)에서 개발한 MM5(The fifth generation of Mesoscale Model)를 이용하였다. 또한 운영 시스템으로는 병렬 컴퓨터인 PC-클러스터를 이용하여 MM5를 분산-병렬 처리하였다.

자료동화 시스템으로 이용된 LAPS는 지역 단위로 이용 가능한 모든 관측자료를 수집하여 고해상도의 분석을 수행하며 이를 실행 예보(Nowcasting)와 수치 예보 모델의 초기자료로 제공한다. 생산된 분석 및 예보자료들은 3차원 표출 프로그램을 이용하여 예보자들의 요구에 따라 가시화하고 그 결과를 기상관련 기관 및 방재 기관으로 분배하며 나아가 지역규모 수치예보 모델의 초기자료로 이용한다. Table 2에 LAPS의 사양을 나타내었으며 현재 LAPS의 좌표계는 수평 2~20km의 해상도로 램버트 및 극평사등의 도법이 가능하며 연직 좌표계는 등압면 좌표계로 25 hPa의 해상도까지 분석이 가능하다.

모델 분석 영역은 병렬 MM5를 Table 3과 같이 3 영역(각각 27, 9, 3km)으로 구분한 등지격자체계로 구성하였다. 지형고도 자료로는 USGC의 30초 자료를 이용하였으며 영역 3에서의 한라산 고도가 1500m로 실제 높이에 근접하여 표현되었다. 습윤 물리과정

Table 2. The LAPS specifications used in HSRPS.

Specification	LAPS (Local Analysis and Prediction System)
Coordinate	Isobaric - coordinate
Input data	<ul style="list-style-type: none"> - First guess : 30 km-MM5/KMA - GTS : SYNOP, TEMP, BUOY, SHIP - AWS (Automatic Weather Station) - Satellite (T_{BB}, Albedo), Radar (Reflectivity)
Function	<ul style="list-style-type: none"> - Data analysis for nowcasting - Data assimilation for NWP
Physical processes	<ul style="list-style-type: none"> - Variational method for wind (U, V), P, T - Upper level moisture adjust using Forward mode and cloud analysis - 2D wind retrieval from radar radial Velocity - Satellite brightness Temp. adjusts to surface Temperature using HSM technique

Table 3. MM5 configurations used in HSRPS.

domain	domain 1	domain 2	domain 3
resolution	27 km	9 km	3 km
# of grid	57×51	61×55	61×55
vertical layer	31 layers (model top: 100 hPa)		
cumulus	Grell	Off	
explicit moisture	Mixed-Phase (Reisner)		
PBL	MRF		
shallow convection	On	Off	
topo data	USGS (global 30 seconds)		
initial data	Assimilated by LAPS		
lateral boundary	MM5/KMA (30 km)	one-way nesting	
prediction length	21 hours		

은 27km 영역에서는 10~30km 격자에 적합하다고 알려진 Grell 적은 모수화 방안과 Mixed-Phase(Reisner) 명시적 습윤 물리 과정을 적용하였으며 9, 3km 영역에는 적은 모수화 과정을 이용하지 않고 명시적 습윤 물리과정만을 적용하였다. 현재 적은 모수화 방안은 10~20km 이상 격자에서 주로 사용되고 있으며 3km 이하의 격자에서는 사용하지 않는 것이 일반화되어 있으나 3~10km 구간에서는 아직 명확히 어떤 방안이 더 나은지 알려져 있지 않은 실정이다. 경계층 물리 과정은 MRF(Medium Range Forecast), 지표 물리과정은 5층 토양 모델을, 복사과정은 구름-복사 상호작용을 적용하였다. 또한 겨울철에 과도한 대류 발생으로 강수가 자주 발생하는 현상을 억제하기 위

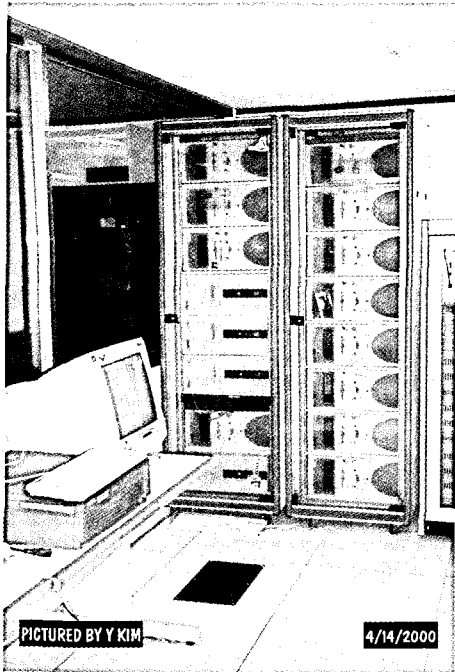


Fig. 2. The PC-cluster operated in Cheju Regional Meteorological Office.

하여 천층 대류를 적용시켰다(Dudhia *et al.*, 2000).

모델 수행은 기상연구소의 PC 클러스터(Fig. 2)에서 수행되었다. PC-클러스터는 16노드의 400MHz 펜티엄 PC를 고성능 스위치로 연결하여 슈퍼컴의 성능을 내는 컴퓨터로, 가격대비 성능이 매우 우수한 미니 슈퍼컴퓨터라고 말할 수 있다(이용희 외 1999; 김영태 외, 1999). 제주 지방 기상청에서 MM5를 이용하여 21시간 예보를 수행하는데 PC-클러스터에서 약 2시간 45분이 소요된다.

관측자료 및 분석 영역

Fig. 3에는 한라 단시간 예측 시스템에서 LAPS의 분석 영역과 관측 자료의 분포를 나타내었다. 첫 번째 분석 영역(Cheju I)은 수평 27km 격자 간격으로 동서 71×남북 71, 연직 50hPa 간격으로 21층으로 구성되었으며, Cheju II, Cheju III 영역은 각각 9, 3km 격자간격으로 75×75×21로 구성되었다. 분석 영역 경계 부근에서 발생할 수 있는 잡음을 제거시켜 주기 위하여 MM5 모델의 예보 영역보다 약 1° 정도 넓은 영역을 분석 영역으로 설정하였다.

초기 추정치로는 기상청 수치예보과에서 현업 운영

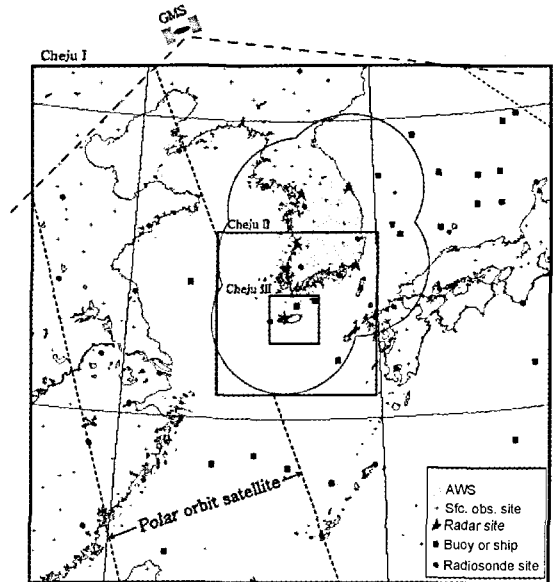


Fig. 3. LAPS analyzed domains and data sources for HSRPS.

중인 해상도 30km의 MM5 매 3시간 간격의 예측 자료를 이용하였으며 이 자료에 각 분석 시간대 관측자료를 LAPS를 이용하여 동화시켜 초기자료를 생산하였다. 본 연구에 사용된 관측자료로는 GTS 자료(SYNOF, TEMP, SHIP, BUOY)와 우리 나라 자동기상관측소 자료(AWS, 전국 약 460개소), GMS 기상위성의 회도온도, 알베도 자료 그리고 우리나라 5개 레이더 관측소의 합성 반사도 자료가 이용되었다.

LAPS 자료동화 과정은 기본적으로 Barnes의 2단계 객관분석법(Barnes, 1964)과 cubic spline 법에 기초한 객관분석 스킴에 의해 일차적으로 분석되며 다음으로 관측자료 특성에 맞는 LAPS만의 독특한 자료동화 기법에 의해 각종 관측자료가 초기 객관 분석장에 동화된다. LAPS에 대한 자세한 설명은 김용상 외(1999), McGinley *et al.*(1991), Birkenheuer (1992), Albers(1995) 그리고 Albers *et al.*(1996)을 참고하기 바란다.

실시간 현업 운영

한라 단시간 예측 시스템은 현재 제주 지방 기상청에 설치된 PC-클러스터에서 하루 4회(00, 06, 12, 18 UTC) 수치 예보 결과를 생산해 내고 있으며 그 과정은 다음과 같다.

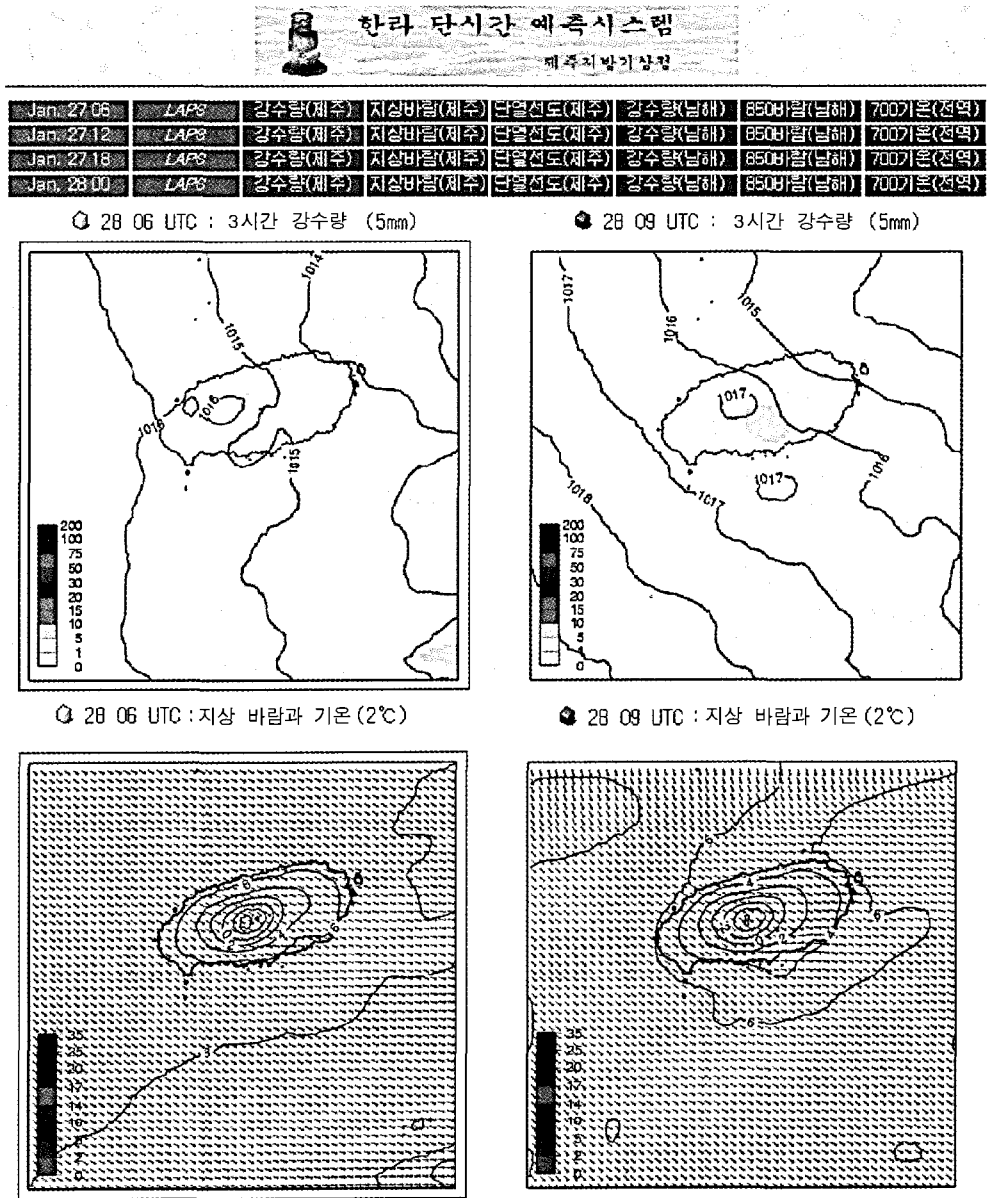


Fig. 4. The HSRPS display system which is shown by KMA intranet. The upper panel: 3 hourly accumulated rainfall, lower panel: surface temperature and wind vector field.

수치예보 모델의 초기자료는 앞서서도 언급한 바와 같이 기상청 수치예보과에서 생산되는 MM5(30km) 예측자료를 초기 추정치로 매 3시간마다 LAPS를 이용하여 각종 기상관측자료가 동화되고 초기화과정을 거쳐 생산되며 경계자료는 수치예보과 30km 예측자료를 내삽하여 이용하고 있다.

초기자료가 만들어지기까지 소요되는 시간은 기상 관측자료의 수집, 자료해독 그리고 분석까지 약 2시

간(자료수집 시간이 약 1시간 50분) 그리고 MM5 모델의 적분 시간은 약 2시간 45분이 소요되어 정시에서 4시간 45분 후에 21시간 수치예보 결과 자료를 활용할 수 있다. 현재 수치예보 결과자료가 생산되어 예보에 이용되기까지의 시간을 2시간대로 단축하기 위하여 관측자료 수집 시간의 단축, PC-클러스터의 성능 향상, 수치예보 프로그램의 병렬화 등의 연구도 병행하여 추진되고 있다.

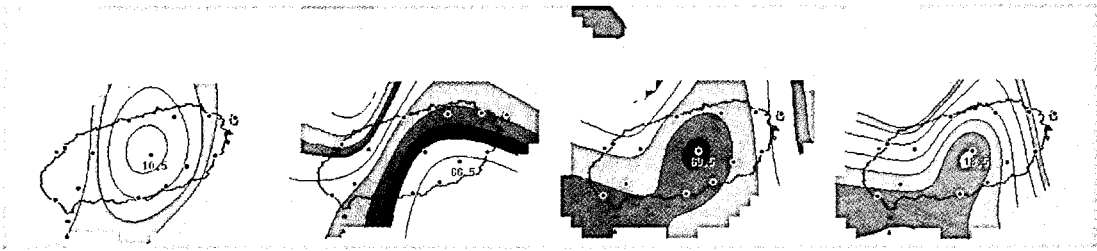


Fig. 5. The evolution of 3 hourly accumulated rainfall amount observed Automatic Weather System from 09 UTC 9 July to 03 UTC 10 July 1999. The contour interval increases logarithmically.

생산된 수치예보 결과는 기상청 인트라넷을 통해 제주 지방 기상청 예보관들의 지역 예보의 보조 자료로 활용되어 제주도 지역의 예보 정확도 향상에 기여하고 있다. Fig. 4는 제주 지방 기상청 예보관들에게 제공되는 한라 단시간 예측 시스템의 결과 중 일부를 나타내었다.

아니라 강수 분포에 있어서도 매우 흥미로운 호우 사례이다. AWS에 의해 관측된 강수량의 분포가 32mm에서 312mm에 이르는 것으로부터 알 수 있듯이 강수량의 지역적 편차가 한라산의 지형효과에 의해 매우 크게 나타났음을 볼 수 있다(Fig. 5). Fig. 6은 지상과 500hPa 종관 일기도로 상층 기압골이 오오츠크해 고기압에 의한 저지 현상에 의해 정체된 가운데 황해상에서 계속적으로 발생하는 저기압에 의해 한반도 지역에 강수를 초래하였으며 특히 제주도 지역에 일 강수량 312mm의 기록적인 집중호우를 초래하였다.

집중호우 수치 모의

1999년 7월 9일의 제주도 호우 사례는 강수량뿐만

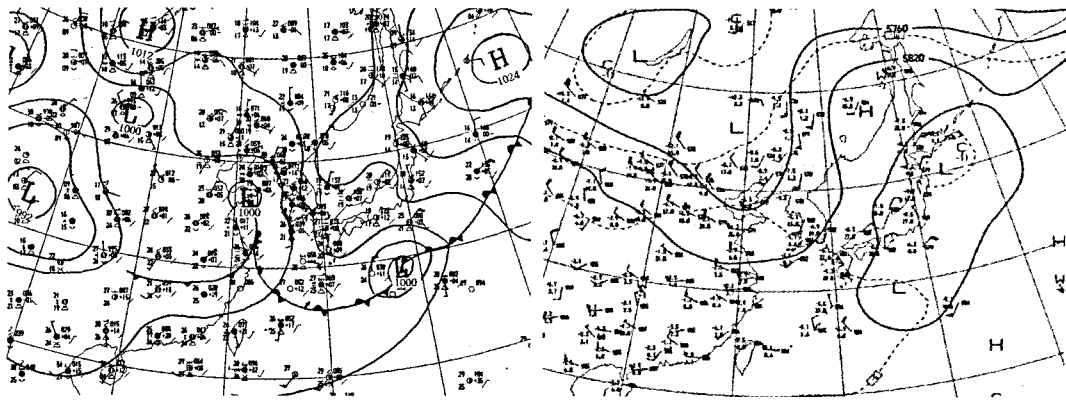


Fig. 6. The synoptic charts of surface and 500 hPa on 00 UTC 9 July 1999.

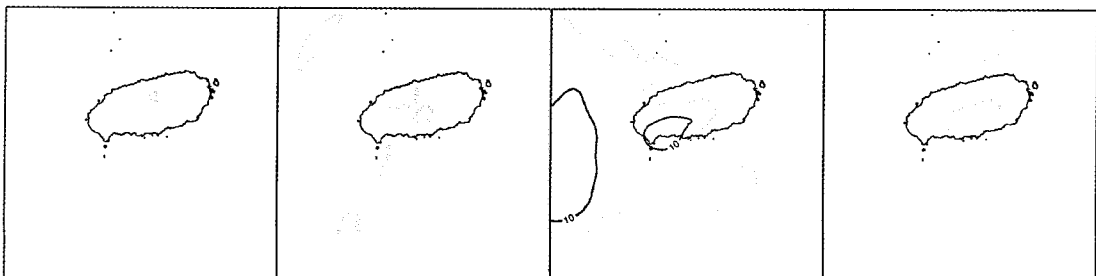


Fig. 7. The evolution of 3 hourly accumulated rainfall amount simulated by MM5-3 km without LAPS procedure from 09 UTC 9 July to 03 UTC 10 July 1999. The contour interval is 10mm and the shading area is precipitation area.

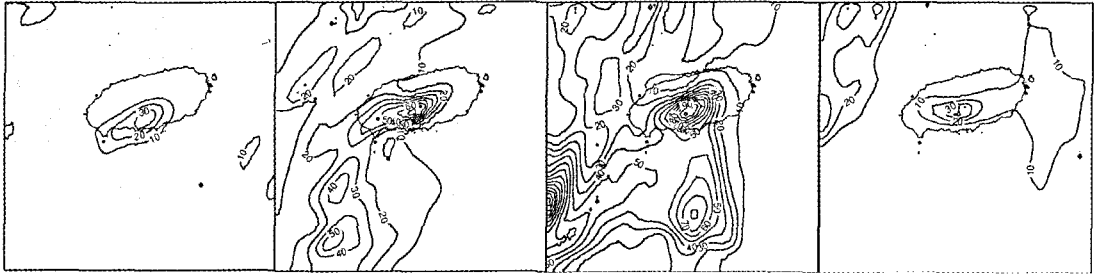


Fig. 8. Same as Fig. 7, except for including LAPS.

Fig. 7은 관측자료를 초기 추정치에 동화하지 않고 MM5 30km 자료를 단순 내삽한 자료를 초기자료로 이용한 실험(NOLAPS)의 3시간 누적 강수량 결과를 나타낸 것이다. AWS 관측자료(Fig. 5)와 비교하여 강수량이 매우 적게 모의되었으며 강수 시작 시간도 실제보다 3시간 정도 늦게 모의되었다. 이러한 모델 결과를 개선하기 위해서는 실제 관측자료의 동화와 4차원 자료동화(FDDA: Four Dimensional Data Assimilation)와 같은 기법을 도입하는 것이 중요하다. 그러나 이러한 기법들을 도입하는데 있어서 걸림돌이 되는 컴퓨터 계산 시간을 확보하기 위해서 최소 비용으로 확보할 수 있는 PC-클러스터를 이용하는 방법과 LAPS와 같은 지역 규모 자료동화 시스템을 적용시키는 것이 중요하다.

Fig. 8은 LAPS 자료동화 시스템을 이용하여 초기 추정치에 관측자료를 동화시킴으로써 미세 규모의 기상 현상이 반영된 초기자료를 수치예보 모델 수행에 이용한 실험(LAPS) 결과이다. 그 결과 강수량의 패

턴 및 강수 시작 시간 등이 NOLAPS에 비하여 상당한 개선이 이루어 졌음을 알 수 있다. 즉 제한지역 수치예보 모델링에 있어서 초기자료가 모델 결과(강수량)에 많은 영향을 미침을 알 수 있으며 특히 고해상도 수치예보로 갈수록 고해상도의 관측자료가 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

한라 단시간 예측 시스템의 검증

본 연구에서 개발한 한라 단시간 예측 시스템의 검증을 위하여 2000년 5월 한달 동안의 운영 결과에 대해 간단한 통계적 검증을 수행하였다. Fig. 9는 제주도내 15개 관측점(AWS 포함)의 지상 온도 관측 자료와 그 위치에 해당하는 모델 격자점 온도를 비교하여 계산한 RMS 오차와 BIAS 값을 나타낸 것이다.

Fig. 9A는 각 예측 시간대별 RMS 오차와 BIAS 값을 나타낸 것이다. RMS 오차는 2.3°C에서 2.9°C 정도로 예보 시간이 길어짐에 따라 그 오차가 약간

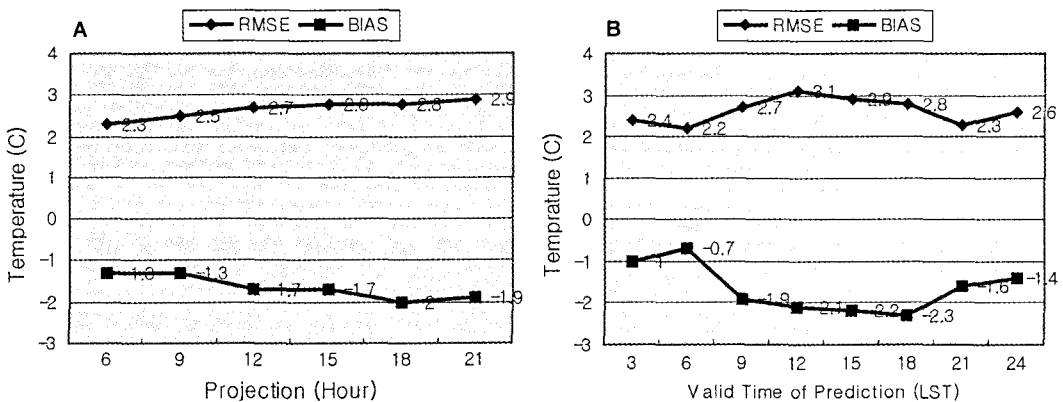


Fig. 9. RMSE and BIAS of temperature prediction on surface layer according to projection (A) and valid time (B) during May 2000. The observation from 15 AWS was used in verification.

증가하였으며 BIAS 값도 -1.3°C 에서 -2.0°C 로 나타났다. 이 수치는 다른 예보 모델의 검증 결과와 비교해 볼 때 상당히 우수한 것으로 판단된다(기상청, 1996). Fig. 9B는 앞의 검증방법과 비슷하나 수치예보 모델의 하루중 예측 특성을 살펴보기 위하여 하루 4차례 생산되는 예보 결과에서 각 시간대별(3시, 6시, ...24시) 예측결과들을 검증한 결과이다. 여기에서 예측결과는 야간보다 주간에 RMS 오차가 0.5°C 정도 크게 나타나며, BIAS 값에서는 주간에 음의 편차가 야간보다 1°C 정도 크게 나타나 주간에 모델 결과가 다소 낮게 나타나는 특성이 있음을 알 수 있다. 이는 수치예보 모델이 야간에 냉각된 효과를 주간에 충분히 보상하지 못하고 냉각 효과가 주간까지 지연되어 나타나는 것으로 분석되며 이를 해결하기 위해서는 수치예보 모델의 지표 물리과정을 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 지상온도에 대해서만 간단한 검증 작업을 수행하였으며 기타 다른 변수들에 대한 검증은 차후 연구로 넘기도록 하겠다.

결론 및 향후 계획

중- β 및 γ 규모의 기상현상을 예측하기 위한 단시간 예측시스템을 개발하여 제주 지방청에 설치하여 현업 운영을 시작하였다. 이 시스템은 상세한 지역 예보를 발표해야 하는 지방 기상청의 예보관들의 예보 결정에 객관적인 판단 기준이 될 것이다.

본 시스템은 자료동화 시스템, 수치예보 모델 그리고 이를 수행할 PC-클러스터의 3가지 구성 요소가 상호 원활한 작용을 함으로써 지방 기상청을 위한 독자적인 단시간 예측 시스템의 진가가 발휘되어 질 것으로 보인다. LAPS 자료동화 시스템은 미세 규모의 기상현상을 초기자료에 반영함으로써 수치예보 모델의 예보 정확도를 향상시키고, 중- β 규모의 물리과정과 고해상도 지형 자료 등을 이용함으로써 수 km 규모의 기상 현상까지도 모의해 낼 수 있다. 또한 수치모델을 지방 기상청 단위로 중앙 기상관서의 전산 지원 없이 독자적으로 PC-클러스터에서 수행할 수 있게 된 것도 중요한 연구 결과의 하나이다.

사례 연구 결과에서도 알 수 있듯이 고해상도 수치모의에 있어서 관측자료의 중요성을 인식할 수 있었으며 향후 양질의 초기자료 생산이 수치예보의 정확도를 더욱 향상시킬 수 있으리라는 근거를 마련하

였다. 현재 기상연구소 예보연구실에서 계획하고 있는 2세대 PC-클러스터는 800MHz 속도의 CPU 32개로 구성될 예정인데 이는 제주 지방 기상청에 설치된 PC-클러스터보다 약 3.5배의 성능을 낼 것으로 기대되며 이를 이용하여 3km 해상도의 수치예보 모델을 한반도 전역을 대상으로 운영할 계획이다. 본 시스템은 기상 관련 분야뿐만 아니라 초고해상도(수평 해상도 1km 이하)의 분석 및 예측 자료를 필요로 하는 환경 및 군 작전 기상 지원에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

아직 충분한 검증 자료가 축적되지 않아 제한적인 검증만이 수행되었으며 향후 충분한 검증 자료가 확보되고 보다 많은 사례 실험을 통하여 본 시스템의 특성이 파악된다면 예보자들이 수치예보 모델 결과를 객관적으로 해석할 수 있는 예보 기술뿐만 아니라 수치 모델 자체의 개선에도 도움이 될 것이다.

사 사

이 연구는 기상연구소 주요사업인 슈퍼컴을 활용한 예보 능력 향상 연구의 세부과제인 「초단시간 강수 특성 분석 및 예측모델 개발」과 과학기술부 국제공동연구과제 「한반도 국지기상 자료동화 기법 개발」의 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

기상청, 1996, 장마집중감시 사업 기획. 136 p.
 김영태 · 이용희 · 오재호 · 최준태, 1999, 클러스터를 이용한 병렬 컴퓨터의 구현 및 병렬 MM5의 운영. 한국기상학회 가을 학술발표회, 226-229.
 김용상 · 오재호 · 차주완 · 서애숙, 1999, 국지규모 기상분석 시스템(LAPS)의 한반도 적용 및 시험. 기상연구논문집, 16(1), 52-62.
 수치예보과, 1996, 지역 예보 시스템과 예보 평가. KMA/NWPD Technical Report 96-3, 118 p.
 이용희 · 김영태 · 오재호, 1999, 분산 컴퓨터를 위한 정수형 병렬 MM5의 구현. 한국기상학회 봄학술 발표회, 271-274.
 Albers, S., 1995, The LAPS wind analysis. Weather and Forecasting, 10, 342-352.
 Albers, S., McGinley, J., Birkenheour, D., and Smart, J., 1996, The local analysis and prediction system: Analysis of clouds, precipitation, and temperature. Weather and Forecasting, 11, 273-287.
 Barnes, S.L., 1964, A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. Journal of Applied

- Meteorology*, 3, 369–409.
- Birkenheuer, D.L., 1992, The LAPS specific humid analysis. NOAA Technical Memo, ERL-FSL-1, NOAA Forecast Systems Lab., Boulder, CO, 39 p.
- Dudhia, J., Gill, D., Guo, Y.-R., Manning, K., and Wang, W. 2000, PSU/NCAR mesoscale modeling system tutorial class notes and users' guide (MM5 Modeling System Version 3), Mesoscale and Microscale Meteorology Division NCAR. 1-1 ~ 15-12.
- Kim, Y., Kothari, S., Takle, E., and Pan, Z., 1997, A runtime library and load balance analysis for parallel atmospheric models, Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments, Athens, Greece.
- Lee, D.-K. and Wee, T.-K., 1998, Numerical simulation of a meso-beta scale heavy rainfall event over the Korean peninsula. Proceeding of international conference on monsoon and hydrological cycle. Kyungju, Korea, 76–80.
- McGinley, J., Albers, S., and Stamus, P., 1991, Validation of a composite convective index as defined by a real time local analysis system. *Weather and Forecasting*, 6, 337–356
- Orlanski, I., 1975, A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of American Meteorological Society*, 56, 527–530.

2001년 2월 26일 원고 접수
2001년 5월 30일 수정원고 접수
2001년 6월 9일 원고 채택