

## 기상연구소의 국지규모 기상 분석 및 예측 시스템(KLAPS)의 실시간 운영

김용상<sup>1</sup> · 박옥란<sup>1</sup> · 황승언<sup>2</sup>

<sup>1</sup>기상연구소 예보연구실 · <sup>2</sup>기상연구소 해양기상지진연구실  
(2001년 5월 18일 접수; 2001년 10월 20일 채택)

### Realtime Operation of the Korea Local Analysis and Prediction System at METRI

Yong-Sang Kim<sup>1</sup>, Oak-Ran Park<sup>1</sup> and Seung-On Hwang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forecast Research Laboratory, Meteorological Research Institute

<sup>2</sup>Marine Meteorology and Earthquake Research Laboratory, Meteorological Research Institute  
(Manuscript received 18 May 2001; accepted 20 October 2001)

#### Abstract

This research note presents a local atmospheric analysis system for possible operational use at Korea Meteorological Administration/Meteorological Research Institute (KMA/METRI). The system, named the Korea Local Analysis and Prediction System (KLAPS), adapts the data assimilation part of the local analysis and prediction system (LAPS) that has been developed at US National Oceanic and Atmospheric Administration/Forecast Systems Laboratory (NOAA/FSL). The KLAPS can handle all possible meteorological data archived in Korea for enhancing mesoscale information at model initial time. The system has been running semi-operationally. The analyzed data from this new system is compared with that from the operational suite. Impact of the enhanced mesoscale information at initial time on the daily weather forecast performance in the operational forecast system is discussed.

**Key words:** KLAPS, data assimilation, operational use, mesoscale information

#### 1. 서 론

해마다 한반도에서 발생하는 여름철의 집중호우나 겨울철의 폭설과 같이 짧은 시간 동안에 발달 또는 소멸 과정을 거치는 중·소규모의 악기상 현상에 의한 인명 및 재산 피해를 줄이기 위해서는 신속하고 정확한 단시간 예보가 필요하다. 단시간 예보를 위해서는 무엇보다 예보 시점에서의 정확한 기상 상태를 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서 기존의 중관 관측 자료 외에도 단기 수치 예보 결과, 위성자료, 레이더 자료 등의 비종관 기상자료를 활용할 필요가 있다. 이를 통해 사용자들이 예보를 산출하는데 도움이 될 수 있

도록 수집된 모든 자료들을 신속하게 처리하여 다양한 그래픽 도구를 통해 현재의 기상 상태를 표출할 수 있어야 한다. 다음으로 단시간 예보를 위해서는 정확한 수치 예보가 요구되는데 수치 모델링에 있어서 모델 초기 자료의 개선은 매우 중요한 부분을 차지한다. 수치예보의 초기자료 구성에 있어서 실시간 관측자료의 이용은 매우 중요하다. 여기에는 관측 자료간 규모의 문제, 비종관 관측자료의 이용, 격자점으로서의 내삽, 관측 자료 선별 등의 전처리 과정의 개발이 필요하다. 이처럼 여러 측기로부터 생산되는 관측 자료를 단시간예보에 활용하기 위해서는 관측자료들을 종합, 분석하여 예보자들이 판단하기 용이하게 현재의 기상상태를 가시화 할 수 있고 동시에 이 자료를 수치예보 초기자료로 이용할 수 있게 하는 기상자료 분석 및 동화 시스템의 개발이 필수적이다(McGinley *et al.*, 1992).

기상연구소에서는 1997년 이래로 미국 예보시

---

Corresponding Author: Yong-Sang Kim, Meteorological Research Institute, KMA, Seoul 156-720, Korea  
Phone : +82-2-834-5920  
E-mail : yskim@metri.re.kr

시스템연구소(FSL)와 협력하여 국지규모 기상 자료 처리 및 분석 시스템(LAPS)을 개발하여 왔다(과학기술처, 1997; 과학기술부, 2000). LAPS는 예보자들이 종합적으로 대기상태를 이해하도록 다양한 관측 기기로부터 생산되는 방대한 양의 관측 자료를 분석하는 시스템으로서 FSL에서 1980년대 말부터 개발에 착수하였다. LAPS는 지상과 상층 기상자료의 분석을 수행하며 실시간 예보를 위한 다양한 변수들을 생산해 낸다. 이 시스템은 90년대 초 국지 악기상이 빈번히 발생하는 콜로라도 지역의 실시간 예보에 많은 기여를 했다(McGinley, 1995). 최근에는 분석자료의 주관적인 이용 이외에도 LAPS로부터 산출된 분석자료를 국지규모 수치모델의 초기자료로 제공하려는 연구가 진행되고 있다. 한편 기상청에서는 조밀한 지상 관측망 이외에 레이더, 자동기상관측 시스템 등을 설치 운영해 왔으며, 기상 및 환경 관측 위성으로부터 수신되는 자료의 분석 시스템을 운영하여 한반도 내에서 발생하는 중·소규모의 기상현상을 정밀하게 관측할 수 있는 기반을 갖추고 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 FSL의 LAPS를 우리나라 영역에 대하여 적용하여 현재 기상연구소 예보연구실에서 운영되고 있는 실시간 운영 시스템을 소개한다. 이 시스템의 구축에는 우리나라의 관측자료를 이용하기 위한 입력 프로그램 개발, 영역 변환, 기초 입력 자료(지형, 지표 특성, 격자점 변환표) 생성 등의 작업이 이루어졌다. 이 시스템을 이하 KLAPS(Korea Local Analysis and Prediction System)라 한다. 2장에서는 KLAPS의 분석체계를 소개하였으며 3장에서는 KLAPS의 분석자료를 이용한 예보에의 응용, 그래픽 표출, 그리고 4장에서는 1999년 10월 이래로 시험 운영 중에 있는 KLAPS의 실시간 운영 체계에 대하여 언급하였다.

## 2. 국지규모 기상자료 분석 시스템 (KLAPS)

KLAPS는 적용시키고자 하는 지역에서 수집 가능한 모든 기상관측 자료를 KLAPS의 분석 기법을 이용하여 고해상도의 재분석 자료로 생산해 내며, 이때 각종 기상관측자료가 KLAPS를 이용하여 초기 추정치에 동화된다. KLAPS에는 초기

자료 수집 모듈과 분석 모듈로 크게 나누어지는데, 분석 과정에는 지상 분석 과정과 3차원 바람, 온도, 습도, 구름, 강수, 토양 분석과정, 그리고 그로부터 유도되는 각종 자료 분석 과정으로 구성되며, 각각의 분석 과정은 관측자료의 특성을 고려한 자료 분석 및 동화 기법을 포함하고 있다. KLAPS의 각 단계별 분석 과정은 다음 단계 혹은 이전 단계의 분석 과정과 상호 관련성을 가지며 또한 이전 시간의 분석 자료와의 연속성을 유지하며 수행되도록 설계되었다. 최종 분석된 자료는 3차원 그래픽 도구에 의해 현재 대기상태를 나타내는 그림으로 표출되어 실험 예보에 활용되고, 또한 3차원 격자점 자료로 변환되어 수치예보 모델의 초기자료로 제공된다. 분석 결과는 기상관련 기관 및 방재 기관 등으로 분배되며 Fig. 1은 이상의 KLAPS에 대한 흐름도를 나타낸다. KLAPS의 전반적인 구성에 대한 좀 더 자세한 설명은 Albers 등(1996), Albers(1995)와 McGinley 등(1991)을 참고하기 바란다.

현재 KLAPS의 좌표계는 수평 2~20 km의 해상도로 람버트 공형(Lambert conformal) 및 극평사(Polar Stereo Graphic) 등의 도법이 가능하며, 연직 좌표계는 등압면 좌표계로 25 hPa의 해상도까지 분석이 가능하다. 따라서 meso- $\beta$ 에서 meso- $\gamma$ 에 이르는 국지 규모 기상 현상까지 분석해 낼 수 있다. meso- $\beta$  이하 규모의 악기상 현상은 단 시간 수치예보에 있어서 신속히 예측할 수 있어야 그 피해를 최소한으로 줄일 수 있으므로 KLAPS 시스템은 이런 목적에 매우 적합한 시스템 일 수 있다. 이미 LAPS 시스템은 콜로라도 주립대학교의 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System), 오클라호마 대학의 ARPS(Advanced Regional Prediction System) 그리고 MM5 모델의 전처리 과정으로 이용되고 있으며(Snoek *et al.*, 1998; Brewster *et al.*, 1995; Shaw *et al.*, 2001), 현재 미국의 차세대 국지 악기상 모델로 개발중인 WRF(Weather Research and Forecast) 모델의 전처리과정으로도 개발되고 있다. 즉, KLAPS로 분석된 자료가 특정한 수치예보 모델에 국한되지 않고 일반적인 국지 악기상 예보 모델의 전처리 과정에 적용시킬 수 있다는 점은 KLAPS의 또 다른 장점이라 할 수 있다.

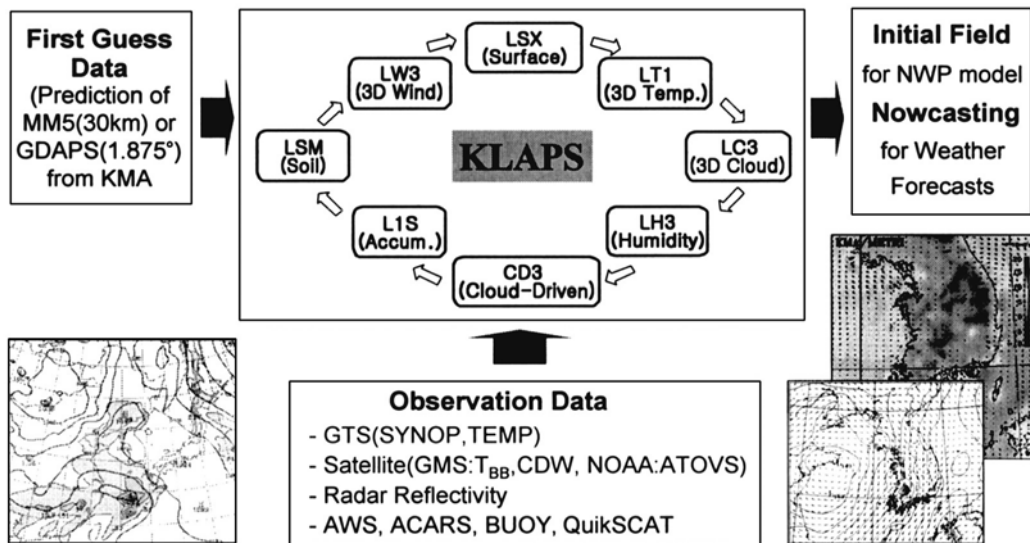


Fig. 1. Schematic diagram of KLAPS process.

KLAPS의 개발 목적은 다양한 관측 기기로부터 생산되는 여러 가지 자료들을 종합 분석하고 자료동화하는 것이다. 현재 KLAPS에는 전 세계에서 생산되는 대부분의 기상 관측 자료를 동화할 수 있는 입력 루틴이 개발되어 있으며 각 자료별 민감도 실험을 통하여 각 관측 자료별 수치예보 결과의 반응 실험을 수행하고 있다. 이를 통해 KLAPS는 수치예보 모델 결과를 개선시키는 관측자료와 그렇지 못한 자료를 가려낼 수 있는 판단의 기준으로서도 이용될 수 있으며, 더 나아가 어느 지역, 어느 국가의 최적 관측체계 구축을 위한 좋은 실험 도구로 이용될 수 있을 것이다.

## 2.1 입력 자료

최근 기상청은 지난 몇 년 전부터 기상 관측 장비의 현대화 및 관측망 보강에 주력하여 시·공간적으로 향상된 기상 관측 자료를 생산해 내고 있다. 기상청은 1988년에 전국에 5개소의 기상레이더와(2000년에 백령도 추가 신설) 전국 450여대의 자동기상관측 시스템(AWS: Automatic Weather Station)을 설치하였으며, 1989년에 정지 기상위성인 GMS(Geostationary Meteorological Satellite) 및 극궤도 기상위성인 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 위성자료 수

신 및 분석 시스템과 최근에 TRMM(Tropical Radar Measuring Mission) 및 QuikSCAT(Quik Scatterometer) 등 환경 관측 위성으로부터 각종 기상 관련 변수 관측(3차원 레이더 에코 및 해상풍) 자료를 얻게 되었다. 따라서 단시간 예보 및 양질의 자료를 생산해 내기 위한 고품질의 고해상도 관측 자료가 준비되었다고 볼 수 있다.

수치예보의 초기자료 생산을 위해서 시·공간적인 변동성을 갖는 기상현상의 신호를 실시간 초기화시키기 위해서는 종관 시간(매 12시간) 이외에 현재 사용할 수 있는 비종관 관측자료를 이용하여 각각을 수치예보 모델의 격자점에 할당해야 한다. 일반적으로 관측자료의 해상도는 모델 격자 간격보다 넓기 때문에 관측자료를 모델 격자에 맞게 내삽해 주어야 하며 이와 동시에 관측 오차를 줄여주기 위한 완화 과정을 거쳐야 한다. 반면 관측밀도가 아주 높다면 자료 선별 과정을 거쳐 가장 대표적인 관측자료를 결정하여야 한다. 또한 모델 적분에 사용되기 위하여 관측변수를 모델 변수로 전환해 주는 과정 등 자료 전처리과정이 요구된다. KLAPS의 초기 입력자료 분석 과정에는 다양한 관측기기로부터의 관측자료를 KLAPS 격자점으로 내삽하는 루틴이 포함되어 있으며 우리나라 자료를 적용하기 위해서 이들 입력 루틴을 수정해 주어야 한다.

현재 우리나라에서 KLAPS의 입력 자료로 이용되고 있는 기상 관측 자료의 종류를 Table 1에, 각 자료별 관측 위치를 Fig. 2에 나타내었다. 한반도 영역에서는 지상관측, 고층관측, 기상레이더, 해양 부이, AWS, ACARS(Aircraft Communications Addressing and Reporting System) 등의 자료가 이용 가능하고, 분석 영역 전체에 대하여 지상 및 고층 관측자료, 해양 부이, GMS 위성자료, QuikSCAT, 구름 이동 속도(CDW; Cloud Drift Wind) 등이 입력된다. 이 가운데 GMS 위성 자료는 분석 영역을 대부분 포함하며 구름이 없는 지역에서 고해상도의 회도온도 자료를 제공해 준다. 앞으로 이용하고자 계획 중인 관측자료 중 항공기상관측자료(METAR)는 구름 관측변수가 다양하여 KLAPS 구름분석이 좀 더 세밀해 질 수 있으며, 레이더 속도 자료는 고해상도로 소규모의 기상현상을 잘 반영할 수 있을 것이다.

KLAPS 분석과정이 수행되기 위해서는 먼저 초기 추정치로 기상청 수치예보과에서 현업 운영되는 30 km 해상도의 MM5 자료가 10 km KLAPS 격자점 값으로 내삽되고, 여기에 위에 언급된 각각의 자료들이 첨가되어 동화된다. 고해상도의 위성

및 레이더 자료 등은 분석 해상도와 비교하여 그 픽셀값을 그대로 이용하거나 이중 선형 내삽법이 이용된다. 나머지 관측자료들은 관측자료의 밀도에 따라 변화하는 가변 영향 반원을 채택하여 Barnes의 객관 분석법에 의해 내삽된다(Barnes, 1964).

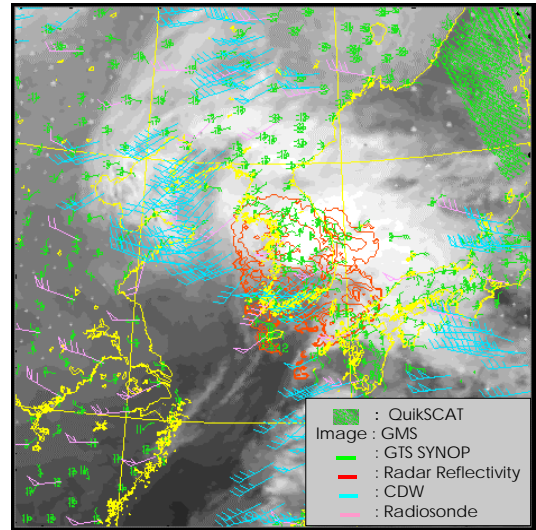


Fig. 2. Analyzed domain and data sources of KLAPS.

Table 1. Input data for the KLAPS analysis shown in Fig. 2.

Data	Numbers of Data	Obs. period	Variables	Remark
Surface (GTS: SYNOP, SHIP, BUOY)	GTS: 200 Station: 30	6 hourly (3 hourly)	Surface variables (Cloud type and amount)	Used in every 3 hour
Upper-air (GTS: TEMP)	GTS: 20 Station: 5	12 hourly (6 hourly)	Wind, T, T <sub>d</sub>	Used in every 6 hour at Osan
Satellite (GMS: T <sub>BB</sub> , CDW)	Full coverage	Hourly	Brightness temp. Albedo, Cloud Drift Wind	IR1, IR2, IR3, VIS, CDW
Radar	6	Every 10 min.	Reflectivity	Composite Reflectivity at 6 Radar in Korea
AWS	470	Hourly	T, Wind, SLP, RH	Only SLP, RH at some AWSs
QuikSCAT	At sea	Approximately 4 times a day	Sea Surface Wind	Polar orbit satellite
ACARS	15	Hourly	Wind, T	300 hPa above data from KAL
First guess	MM5(30 km)	3 hourly	3-dim. variables	Forecast
	GDAPS(1.875°)	6 hourly	3-dim. variables	Analysis
Input candidates	SATEM(Satellite sounding), Radar radial velocity, METAR			

## 2.2 지상 분석 과정

KLAPS 분석과정은 지상분석 과정부터 시작되는데 이는 지상분석 자료가 다른 분석 과정의 초기 및 경계자료로써 이용되기 때문이다. 본격적인 분석에 들어가기 전에 지상관측 자료에 대한기후, 연속성, 표준편차 등을 검사하는 품질 검사과정이 수행된다. 관측자료는 내삽된 분석자료와 비교하여 다시 한번 품질검사 과정을 거치고, 이때 그 차이가 일정 임계치 이상을 초과하는 경우에 관측치는 제거된다. 품질검사를 거친 자료들은 분석 영역의 격자점 값으로 재분석하기 위하여 분석영역의 내부에서는 큐빅 스피라인(cubic spline)방법이, 외부의 경계에서는 Barnes의 객관 분석법이 적용된다.

다음으로 Lewis(1971)에 의해 개발된 변분법을 이용하여 기압과 바람장을 구속조건으로 운동방정식을 만족시키도록 한다. 풍향의 변화는 시간변화 경향에 의하여 비선형항을 계산하는데 이용되며 마찰항은 지형 고도차를 이용하여 지표 거칠기로부터 계산된다(Richard *et al.*, 1989). 온도와 노점온도는 관측자료가 소한 지역의 외삽 오차를 줄이기 위하여 초기추정치와의 연속성을 고려하여 분석된다. 맑은 대기의 경우 위성 휘도 온도의 수평 경도는 큐빅 스피라인의 한 구속 조건으로 이용되어 지상 온도에 일치시킴으로써 지상 온도 분석 과정에 포함된다(김용상 등, 2000). 토양 수분은 수치예보 모델의 하층 경계 조건의 초기화에 매우 중요한 요소이다. KLAPS는 간단한 1차원 토양 수분 모델(Groves, 1989)을 KLAPS 지상 및 강수 분석 과정과 결합하여 이용하고 있다. Groves의 토양 습윤 모델은 수분의 토양 침투와 증발산 과정의 매개변수화로 이루어져 있으며 이 과정은 KLAPS의 지상분석 및 강수분석 과정과 결합하여 수행된다.

## 2.3 상층의 바람, 온도, 습도, 구름 분석 과정

기본적으로 바람장 분석은 단일 도플러 레이더의 반지름 방향 바람과 레이더 이외의 측기(레디오존데 등)에서 관측된 바람 자료를 결합시키는 2단계 객관 분석법이 이용된다. 먼저 지상관측

바람과 레디오존데 바람 자료를 이용하여 사전 바람 분석장을 만들어 낸다. MM5 모델로부터의 초기 추정 바람장과 관측 자료간의 차이를 구함으로써 관측 변량(residual)이 계산된다. 그 변량이 특정 임계치를 넘는 해당 관측 자료는 분석 대상에서 제외된다. 자료 품질 검사 과정을 거친 변량은 3차원 격자점으로 내외삽되고  $\pm 50$  hPa 범위 내의 연직 격자점으로 내외삽된다. 그 변량은 각 층에서 관측 자료의 밀도에 따라 주어지는 영향 반원에 의해 Barnes 분석법에 의해 분석된다.

사전 분석 작업이 완료되면 레이더 관측 자료가 KLAPS 격자점으로 내외삽되며 품질 검사 후 사전 분석장을 이용하여 보정된다. 레이더 반지름 성분 속도가 존재하는 각 점에서 사전 분석장을 좌표 변환하여 레이더 접선 성분의 바람장을 산출해 낸다. 이 유도된 바람장은 레이더 반지름 성분 속도와 결합함으로써 2차원 레이더 바람장이 생성된다. 이 바람장은 위에 언급된 분석법에 의해 다시 한번 분석되며 분석된 변량은 초기 추정치에 더해져 최종 바람장이 산출된다.

KLAPS 상층 습도장 분석은 MM5 초기 추정 습도장을 KLAPS 격자점 값으로 내삽함으로써 시작된다. KLAPS 지상분석 과정으로부터의 노점 온도가 경계층 내에 연직으로 적용되고 과냉각 제거를 위한 품질 검사 과정이 수행된다. 사전 분석 과정이 완료되면 KLAPS 구름 분석으로부터의 정보가 구름역에서의 습도를 증가시키는데 이용되며, 위성으로부터의 수증기 정보가 HSM(Horizontal Shape Matching) 기법을 이용하여 삽입됨으로써 최종 3차원 습윤 분석과정이 완성된다(Birkenheuer, 1992).

KLAPS 3차원 온도장 분석은 MM5로부터의 초기 추정 온도 자료를 KLAPS 격자점으로 내삽함으로써 시작된다. 레디오존데 자료 등이 사전 분석 과정에 이용되며 마지막으로 지상 온도 분석 자료가 3차원 분석의 하층 정보로써 제공된다. KLAPS 지상 온도 자료를 삽입하기 위하여 지형 위에 50 hPa 두께의 경계층이 설정된다. 이 층의 상단에는 사전 분석 자료로부터의 온도 자료가 주어지고 하단에는 KLAPS 지상 온도자료가 주어진다. 이것은 지상 기압이 750 hPa 이상인 지

역에서만 수행된다. 다음으로 지상 온도와 초기 추정치의 차이가 경계층 내에 적용된다. 이것은 지상과 3차원 온도장 분석간의 연속성을 유지하는 연직 온도를 생산하기 위함이다. 최종 3차원 온도장은 정역학 방정식에 의해 3차원 고도장을 분석해 낸다.

KLAPS 구름 분석은 지상 구름 관측 자료를 초기조건으로 하여 시작된다. 구름의 연직 사운딩 자료는 사전 3차원 분석을 위하여 수평적으로 분석된다. 다음으로 위성 자료가 KLAPS 3차원 분석 과정에 삽입되어 운정 고도장을 산출해 내는데 이것은 다시 사전 분석 과정에 혼합된다. 또한 지상과 위성 자료간의 연속성을 유지하기 위한 품질 검사 과정이 수행된다. 최종 분석장을 산출하기 위하여 레이더와 위성 가시 자료가 삽입되어 부분적으로 세밀한 분석이 이루어지며 다시 관측 자료간의 연속성을 유지하기 위한 품질 검사 과정이 수행됨으로써 3차원 구름장 분석이 완료된다(김용상 등, 2001). 앞에 언급한 각각의 분석과정에 대한 자세한 설명 및 흐름도는 과학기술부(2000)를 참조하기 바란다.

### 3. KLAPS 분석 자료의 가시화 및

#### 분석 결과를 활용한 모델 모의 결과

KLAPS 분석 과정에 의해 기본적인 지상 및 상층 기상변수(온도, 습도, 고도, 바람, 구름, 강수, 토양)와 유도변수(발산, 상승속도 등)가 생산된다.

이외에 산업 기상변수(산불지수; Fire danger index, 열지수; Heat index, 악기상 지수; Storm index, 가시도 등)가 산출된다.

KLAPS 분석 전후의 차이를 알아보기 위하여 이러한 분석과정을 거쳐 생산된 분석 자료 중 한 예를 Fig. 3에 보였다. KLAPS를 이용하여 AWS 지상 바람 자료를 초기추정치에 자료동화한 결과 한라산의 지형 효과에 의한 바람장의 변화가 비교적 잘 묘사되었으며 해양과 육지 사이의 온도선이 밀집되는 등 국지적 온도 패턴도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 또 다른 예로 1998년 7월 31일 지리산 부근에 집중호우가 발생하였을 당시의 MM5 초기 추정치와 KLAPS에 의해 분석된 850 hPa의 고도장과 바람장을 비교하였다(Fig. 4). 등압선과 바람이 지형 등 국지적인 효과에 의해 변화되었으며 우리나라 남해안 부근의 서풍계열의 바람장이 남서풍 계열의 바람으로 바뀌며 강화되었다. 자료동화로 인해 고도장이 전체적으로 상승하였고 황해상의 저기압 중심이 약간 남쪽으로 내려왔으며, 지리산 서쪽에 중규모 저기압이 고립된 셀 형태로 분석되는 등 많은 변화를 볼 수 있다.

KLAPS 운영 시스템의 마지막 단계인 수치예보 모델의 초기장 제공에 있어서 KLAPS 분석 결과 자료가 수치예보 모델의 결과에 미치는 영향을 알아보았다. 사례 연구로서 2001년 1월 7일의 한반도 대설 사례에 대해서 모델 모의 실험을 수행하였다. 기상청 수치예보과의 MM5 결과를

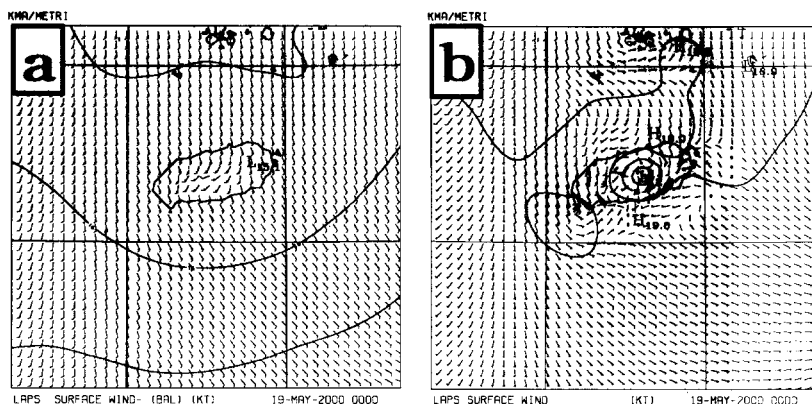


Fig. 3. Comparison between surface wind and temperature fields (a) without KLAPS, and (b) with KLAPS.

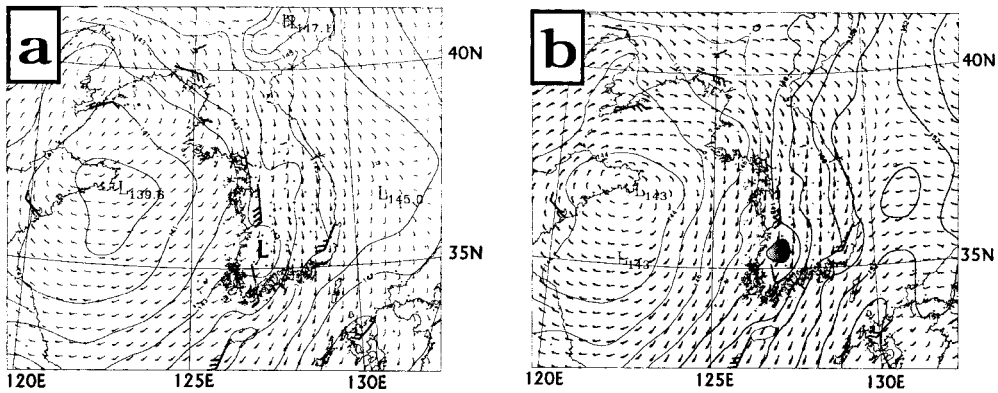


Fig. 4. Comparison between 850 hPa wind and height fields (a) without KLAPS, and (b) with KLAPS on 1200 UTC 31 July 1998. The shaded area means isolated low.

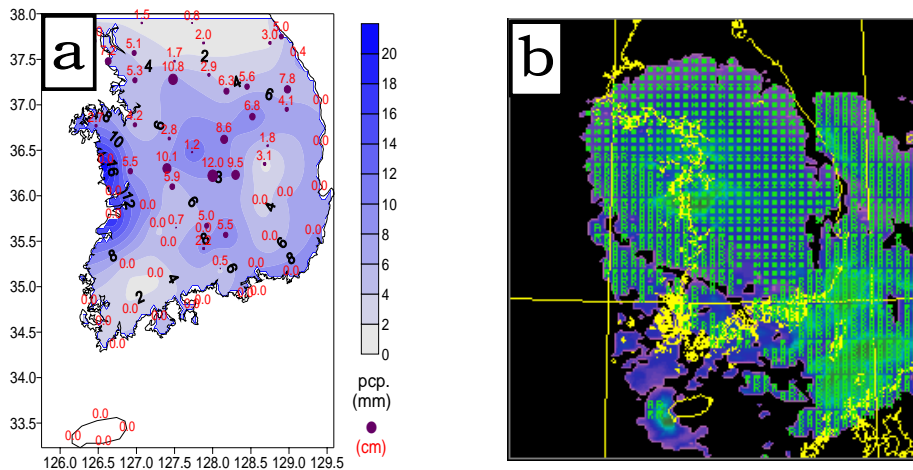


Fig. 5. (a) 3-hour accumulated precipitation amounts (•; snow) and (b) radar echo and precipitation type on 00UTC Jan. 7 2001 (R; rain, \*, snow).

초기 추정치로 사용하였으며 1월 6일 00 UTC를 초기 시간으로 MM5(Dudhia *et al.*, 2000)를 사용하여 24시간 적분하였다. 초기 추정치를 그대로 사용한 기준 실험(CONTROL run) 및 KLAPS를 이용하여 각종 관측자료를 저해상도의 초기 추정치에 동화시킴으로써 생산된 고해상도의 재분석 자료를 초기치로 사용한 동화 실험(ASSIMILATION run)을 수행하였다. 2001년 1월 7일의 한반도 대설 사례는 기상청의 사후 분석 결과 화남지방에서 발생한 저기압이 우리나라 남해상으로 느리게 북동진하면서 동해에 위치하고 있는 찬 공기와

만나 우리나라 중부와 내륙 산간지방에 많은 눈을 내린 것으로 분석되었다.

모델 실험에 앞서 레이더 반사도 자료를 이용하여 강수 형태를 구분한 KLAPS 분석 결과를 살펴보면, 영·호남 지방의 강수 그리고 대전 이북지방과 소백산맥을 중심으로 분포하는 강설 등이 관측치와 매우 유사함을 볼 수 있다(Fig. 5). Fig. 6은 기준 실험과 동화 실험의 강수량 결과를 나타낸다. 관측치(Fig. 5a)와 비교하여 강수량과 강수 분포가 두 실험 모두 유사한 모습을 보이나 동화 실험의 경우가 강수량이나 강수 위치에 있



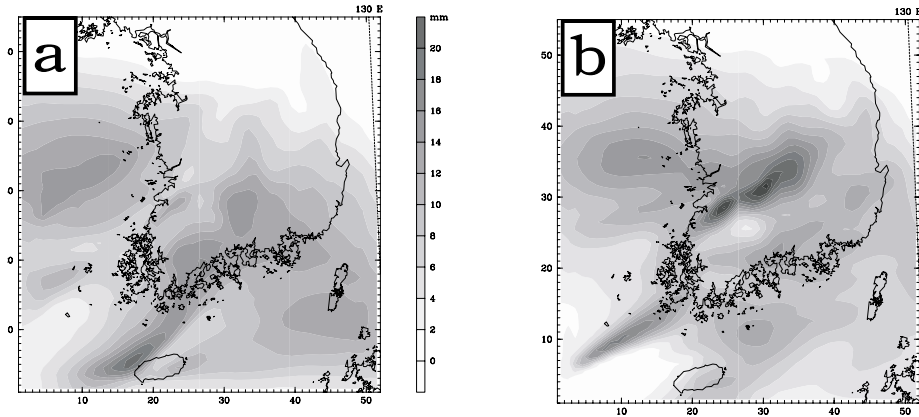


Fig. 6. Simulated 3-hour accumulated precipitation amounts from (a) CONTROL run, and (b) ASSIMILATION run valid on 00UTC Jan. 7 2001.

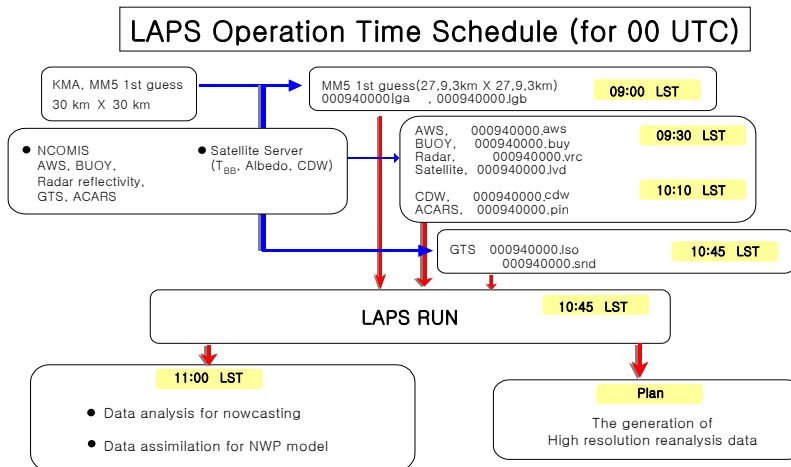


Fig. 7. The KLAPS operational time schedule.

어서 좀 더 세밀하게 수치 모의된 것으로 분석된다. 특히 동화 실험은 충남 서해안 지방으로부터 한반도 중부에 걸쳐 나타나는 강수 밴드와 강수량을 약간 남쪽으로 치우친 경향은 있지만 규준 실험에 비하여 관측치에 좀 더 유사하게 모의하고 있음을 볼 수 있다. 이는 Fig. 5b에서 볼 수 있듯이 충남 서부 지역의 강한 에코 자료가 자료 동화 됨으로써 규준실험에서 나타난 제주도 서쪽에서 소백산맥을 따라 나타난 약한 강수대를 북쪽으로 끌어 올렸으며 그 강도도 강하게 모의되었다.

#### 4. KLAPS 실시간 운영 체계

기상연구소에서는 2000년 10월부터 KLAPS를 실시간으로 운영하고 있다. Fig. 7은 KLAPS의 현업 운영 스케줄을 나타낸 것이다. 수치예보과에서 생산되는 3시간 간격의 MM5 예측 자료를 초기추정치로 채택하고 매 3시간 간격으로 GTS(SYNOP, TEMP), 위성 휘도온도, 레이더 반사도 자료, AWS 자료 등을 실시간으로 동화한다. GTS 자료의 입전과 디코딩에 소요되는 시간이 약 1시간 30분이 소요되기 때문에 KLAPS 분석 소요 시간 등을



고려하면 정시보다 약 2시간 후에 KLAPS 분석자료가 생산된다.

KLAPS 분석 결과는 기상연구소 홈페이지(<http://www.metri.re.kr/~laps>)를 통해 조회할 수 있다. KLAPS의 장점인 국지 분석을 위해 우리나라 8개 지점을 중심으로 3 km 해상도의 고 해상도 분석을 수행 중에 있으며, 우리나라와 일본 그리고 중국 일부를 포함하는 영역을 대상으로 10 km 해상도의 분석도 수행되고 있다. 홈페이지에 표출되는 KLAPS 분석 변수들을 살펴보면 바람장, 기압장, 온도장 등 기본적인 기상변수들 이외에 구름 관련 변수 그리고 분석 영역의 중심을 동서로 자른 연직 단면도 상의 구름 형태와 분포 등이 있다.

현재 KLAPS 분석자료는 기상연구소에서 운영 중인 제주도 영역을 대상으로 한 한라 단시간 예측 시스템의 초기자료로서 실시간 제공되고 있으며(김용상 등, 2001), 기상청 수치예보과에서 운영 중인 MM5 결과와 비교·검증하기 위하여 수치예보과 MM5 영역을 대상으로 KLAPS와 MM5를 결합한 시스템을 구축하여 실시간 운영을 추진중에 있다.

향후 분석자료에 대한 충분한 검증과 운영체제의 개선을 거친 후 고해상도의 KLAPS 분석자료를 대학이나 유관기관에서도 이용할 수 있도록 공개할 예정이다.

## 5. 요약 및 결론

미국 FSL에서 개발하고 있는 KLAPS를 우리나라 환경에 맞게 적용하여 실시간으로 운영하고 있는 KLAPS를 소개하였다. KLAPS는 현재 우리나라에서 이용 가능한 모든 관측자료를 종합적으로 처리·분석하여 고해상도의 분석자료를 생산하고 있는데, 우리나라 부근의 자료를 KLAPS에 적용시키기 위하여 각 관측자료의 형태가 변환되었으며 특히 고해상도의 위성, 레이더 자료 등의 처리에는 소규모 기상현상의 특징을 유지할 수 있는 내삽법이 이용되었다.

또한 KLAPS의 여러 가지 분석 과정, KLAPS에서 동화된 자료의 가시화 및 수치예보에의 적용 등에 대해 살펴보았다. 생산된 고해상도 분석자료는 그 자체로써 단시간 예보에 활용될 수 있

고, 나아가서 수치예보 모델의 초기 입력 자료로 이용할 수 있다. 예를 들어 구름 관련 변수들은 항공 기상관계자에게 유용한 분석 변수들이다.

아직까지 KLAPS는 초기 관측자료의 양이나 종류가 미국에 비해 부족하여 그 기능을 다하지 못하고 있지만 현재 기상연구소에서는 민간 항공기 관측자료(ACARS), 구름이동벡터(CDW), 레이더(시선속도), 그리고 QuikSCAT 위성(해상풍) 등 다양한 기상관측 자료를 분석에 이용하기 위해 자료 수집과 품질검사에 대한 연구가 수행 중에 있다. KLAPS에 모든 기상관측 자료를 입력하여 대기를 분석·검증함으로써 각종 기상관측자료의 유용성 검토 및 향후 생산될 관측자료의 타당성 검사(관측방법 및 관측주기)가 가능할 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술 개발사업의 세부과제인 「중규모 기상재해 저감기반 기술개발」의 일환으로 수행된 것입니다.

## 참고문헌

- 과학기술부, 2000: 한반도 국지기상 자료동화 기법 개발, 89pp.
- 과학기술처, 1997: 기상자료 종합분석 시스템 개발(III), 293pp.
- 김용상, 오재호, 2000: 위성 휘도 온도 자료를 이용한 지상 온도 분석장의 개선, *한국자료분석학회지*, **2(4)**, 455-463.
- 김용상, 장태규, 박옥란, 2001: 3차원 구름 분석 알고리즘의 개발 및 응용, *한국자료분석학회지*, **3(1)**, 97-106.
- 김용상, 최준태, 이용희, 오재호, 2001: 제주 지역에 적합한 중규모 단시간 예측 시스템의 개발, *한국지구과학회지*, **22(3)**, 186-194.
- Albers, S. C., 1995: The LAPS wind analysis. *Wea. Forecasting*, **10**, 342-352.
- Albers, S. C., J. A. McGinley, D. L. Birkenheuer, and J. R. Smart, 1996: The Local Analysis and Prediction System; Analysis of clouds, precipitation, and temperature. *Wea. Forecasting*, **11**, 273-287.
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 369-409.
- Birkenheuer, D. L., 1992: The LAPS specific humidity analysis. *NOAA Tech. Memo. ERL-FSL-1*, NOAA Forecast Systems Laboratory, Boulder, CO, 39pp.

- Brewster, K., S. Albers, F. Carr, and M. Xue, 1995 : Initialing a non hydrostatic model using WSR-88D data and OLAPS. *27th Conf. on Radar Meteorology*. Vail. CO, Amer. Meteor. Soc., 178-180.
- 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.
- Groves, J. R., 1989: A practical soil moisture profile model. *Water Resources Bulletin*, **25**, 875-880.
- Lewis, J. M., 1971: Variational subsynoptic analysis with applications to severe local storms. *Mon.Wea.Rev.*, **99**, 786-795.
- McGinley, J. A., 1995: Opportunities for high resolution data analysis, prediction, and product dissemination within the local weather office. Preprints. *14th Conf. on Weather Analysis and Forecasting*. Dallas. TX, Amer. Meteor. Soc., 478-485.
- McGinley, J., S. Albers and P. Stamus, 1992: Local data assimilation and analysis for nowcasting. *Adv. Space Res.*, **12**, 179-188.
- McGinley, J., S. Albers and P. Stamus, 1991: Validation of a composite convective index as defined by a real time local analysis system. *Wea. Forecasting*, **6**, 337-356.
- Richard, E., P. Mascart, and E. Nickerson, 1989: The role of surface friction in downslope windstorms. *J. Appli. Meteo.*, **28**, 241-251.
- Shaw, B., E. Thaler and E. Szoke, 2001 : Operational evaluation of the LAPS-MM5 "Hot Start" local forecast model. *18th Conf. on Weather Analysis and Forecasting*. Fort Lauderdale. FL, Amer. Meteor. Soc., 160-164.
- Snook, J., P. Statmus, J. Edwards, Z. Christidis, and J. McGinley, 1998 : Local-domain mesoscale analysis and forecast model support for the 1996 centennial Olympic games. *Wea. Forecasting*, **13**, 138-150.