

집중관측사업의 현황과 발전 방향

김현희 · 박선기*

이화여자대학교 국지재해기상예측기술센터/환경공학과
(2008년 5월 6일 접수; 2008년 6월 23일 승인)

Current Status of Intensive Observing Period and Development Direction

Hyun Hee Kim and Seon Ki Park*

Severe Storm Research Center and Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University
(Manuscript received 6 May 2008; in final form 23 June 2008)

Abstract

Domestic IOP (intensive observing period) has mostly been represented by the KEOP (Korea Enhanced Observing Period), which started the 5-yr second phase in 2006 after the first phase (2001-2005). During the first phase, the KEOP had focused on special observations (e.g., frontal systems, typhoons, etc.) around the Haenam supersite, while extended observations have been attempted from the second phase, e.g., mountain and downstream meteorology in 2006 and heavy rainfall in the mid-central region and marine meteorology in 2007. So far the KEOP has collected some useful data for severe weather systems in Korea, which are very important in understanding the development mechanisms of disastrous weather systems moving into or developing in Korea.

In the future, intensive observations should be made for all characteristic weather systems in Korea including the easterly in the central-eastern coastal areas, the orographically-developed systems around mountains, the heavy snowfall in the western coastal areas, the upstream/downstream effect around major mountain ranges, and the heavy rainfall in the mid-central region. Enhancing observations over the seas around the Korean Peninsula is utmost important to improve forecast accuracy on the weather systems moving into Korea through the seas. Observations of sand dust storm in the domestic and the source regions are also essential. Such various IOPs should serve as important components of international field campaign such as THORPEX (THE Observing system Research and Predictability EXperiment) through active international collaborations.

Key words: Observation, KEOP, IOP, THORPEX

1. 서론

한반도에서 발생하는 집중호우, 태풍 등의 재해기상을 유발하는 기상 시스템의 발생 및 발달 기구의 규명을 위해서는 기존 관측망과 연계한 고해상도의 집중관측이 요구되며, 이를 위한 첨단 관측시스템의 도입과 운영, 그리고 이를 활용한 선도연구가 필요하다. 집중

관측은 상시적으로 운영하기 보다는 특정 기상현상을 목표로 한시적으로 운영되는 것이 보편적이어서 통상 집중관측 사업에는 한시적인 의미를 나타내는 “기간(period)”이라는 표현이 포함된다. 예를 들어 미 남부 대평원지역에서 행해진 “국제 H₂O 프로젝트 (International H₂O Project - IHOP_2002)”의 현장관측은 2002년 5월 13일부터 6월 25일 사이에 이루어져 멕시코만의 온난습윤한 기단과 서부 산악 지역의 온난건조한 기단의 충돌에 의해 생기는 호우성 스톰에 대해 이루어졌다 (Weckwertha *et al.*, 2004).

지금까지 성공적인 집중관측 사업으로 알려져 있는 “대만지역 중규모 실험 (Taiwan Area Mesoscale Experiment - TAMEX)”은 1차 사업이 1987년 5월

*Corresponding Author: Seon Ki Park, Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University, 11-1 Daehyun-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea.
Phone : +82-2-3277-3331, Fax : +82-2-3277-3275
E-mail : spark@ewha.ac.kr

1일부터 6월 29일까지 수행되었으며, 주로 몬순전선대 (Mei-Yu front)와 연관된 중규모 순환, 중규모대류시스템의 진화, 지형효과 등의 연구에 초점을 두었다 (Kuo and Chen, 1990). TAMEX를 통해 수집된 자료는 몬순전선, 하층제트, 스펀션, 해양 중규모대류시스템, 산악 대류, 지형에 의해 생성된 중규모 저기압, 지형에 의한 전선 변형, 야간수렴대, 해륙풍 등이며, 이러한 관측을 이용해서 활발한 연구가 이루어졌다.

우리나라에서는 지난 수년간 장마철과 태풍 내습기에 집중관측 사업 (intensive observing period - IOP)을 수행해왔으며, 주로 국립기상연구소 주관으로 “한반도 악기상 집중관측 사업 (Korea Enhanced Observing Period - KEOP)”이라는 명칭으로 2001년부터 수행되어 왔다 (조천호, 2001). KEOP 사업은 2005년에 1단계를 종료하고, 2006년부터 2010년까지 2단계를 수행 중이다.

국내의 대표적 집중관측사업인 KEOP은 악기상 집중관측, 집중관측 자료를 이용한 활용연구, 그리고 KEOP 자료센터 운영 등 크게 세 가지 분야로 나뉘어 수행되어 왔다. KEOP 사업에서는 주로 한반도 남서부를 통과하는 저기압 및 태풍에 대한 고해상도 집중관측이 이루어졌으며, 수집된 관측자료들은 태풍 및 한랭전선에 대한 구조 분석 (이선용 등, 2001; Kim *et al.*, 2002a; Kim *et al.*, 2005), 위성자료 산출의 검증 (김미자 등, 2002), 악기상 관측 (Kim *et al.*, 2002a), 장마전선상의 중규모 대류운동 분석 (Kim *et al.*, 2004), 비종관 자료에 대한 수치모델의 민감도 분석 (원혜영 등, 2006; 박영연 등, 2006) 등의 연구에 다양하게 활용되어 왔다. 그러나 수집된 자료의 활용이 대부분 기상청 및 기상연구소로 한정되어 있어, 학계와 연계된 다양한 학술 연구의 기초자료로 활용되지 못한 면이 있다.

KEOP 사업은 2010년 2단계를 마지막으로 종료된다 (개인통신, 이희상, 2007). 본 연구에서는 우선 KEOP으로 대표되어진 국내 집중관측 사업의 내용을 간단하게 검토하고 KEOP 이후의 집중관측 사업의 발전 전략에 대해 논하고자 한다. KEOP 자료를 활용한 연구가 학술지에 발표된 경우가 많지 않아 TAMEX처럼 다각적이고 깊이 있는 검토가 용이하지 않으나, KEOP의 종료를 앞두고 향후 국내 집중관측 사업의 방향에 대한 논의가 필요한 시점이라 생각된다.

앞으로의 방향과 관련하여 국제적으로 수행되고 있는 관측사업에 관심을 가질 필요가 있다. 국내의 집중

관측 사업은 국제적 관측사업의 중요한 구성원으로 참여가 가능하기 때문이다. 예를 들어 인간 사회에 큰 영향을 미치는 기상현상 (high impact weather)에 대해 2주 정도 중기예보의 예측가능성을 향상시키는 목적을 가지고 시작된 세계기상기구 (WMO; World Meteorological Organization)의 THORPEX (THE Observing system Research and Predictability EXperiment; WMO, cited 2008) 사업과 중요한 공동연구를 수행할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 THORPEX 등과 같은 국제공동관측 사업과의 연계성에 대해서도 논하고자 한다.

2. 국내 집중관측 사업 내용

2.1 KEOP 1단계 사업 내용

KEOP 사업의 주목적은 한반도 악기상 현상에 대한 감시 및 집중관측이다. 또한 고해상도 집중관측을 통해 악기상 현상의 생성/발달 기구를 이해하고자 하는 목적도 포함되어 있다. KEOP의 1단계 사업 5년 (2001~2005년) 동안 집중관측을 위한 하드웨어의 틀이 구축되었고 (예; 오토존데, 에어로존데 (무인항공기 관측), 레인존데 등의 관측시스템), 중규모 모형을 이용해 관측 자료의 영향 분석 및 생성/발달 기구 규명을 위한 소프트웨어의 기본 틀도 갖추게 되었다 (최영진·남재철, 2006; 최영진 등, 2006).

KEOP 사업의 수행을 위해 전남 해남에 국가 악기상 집중관측센터 (National Center for Intensive Observation of Severe Weathers - NCIO)를 구축하였다 (김백조 등, 2003). 집중관측 기간은 일반적으로 장마 전기 2주 동안에 걸쳐 수행하였는데, 해남 NCIO에서 운영 중인 장비는 1) 오토존데 (무인자동고층관측수행, 1회 24개의 레디오존데 장착); 2) 윈드 프로파일러 (1.3 GHz, 1분 간격의 연직 바람자료 생산); 3) 마이크로강수레이더 (반사도, 강수율, 구름물 함량, 우적크기 분포 등 측정); 4) 광학강우강도계 (강수율, 강우 및 강설의 광학적 특성 측정); 5) 20 m 플릭스 관측탑 (순복사, 바람, 이산화탄소 및 수증기, 토양 수분, 현열/잠열/복사속 측정) 등이다 (박선기, 2005).

그 외 KEOP에 관련된 관측은 레디오존데 고층관측 (해남, 고흥, 남원, 흑산도, 고산, 광주), 레이더 관측 (무안, 진도, 고산), 그리고 에어로존데 관측 등이 있다 (박선기, 2005, Fig. 1 참조). 레이더 관측은 진도에 S-밴드 레이더, 무안에 X-밴드 연구용 레이더를 설치하

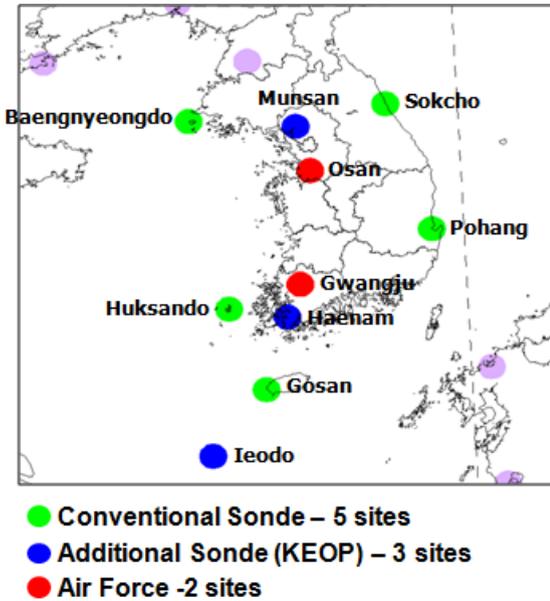


Fig. 1. Location of radiosonde sites for the KEOP-2007.

여 이중 레이더 관측이 가능하게 하였다.

KEOP 사업의 1차년도 (2001년)에는 에어로존데 (3기), 오토존데 (1기) 및 레윈존데 (1기)를 도입하여 제주도 남서 해상에서 대기-해양에 대한 집중관측이 이루어졌다 (Kim *et al.*, 2001). 또한 성능이 향상된 레윈존데 관측을 이용해 태풍 및 스톰의 시-공간적인 구조를 파악하고, 비종관 관측 자료의 영향을 조사하였다. 그리고 에어로존데와 레윈존데 자료를 비교 검증하였

고, 에어로존데 및 AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) 자료와 레윈존데 자료간의 변동성 분석을 통하여 이들 자료들이 상호간의 결측값을 복원하는데 보완적으로 이용될 수 있음을 보였다. 또한 태풍관측의 전략 수립을 위해 위성으로부터 산출된 태풍정보를 KEOP 관측 자료를 통해 검증하였다 (Table 1 참조).

또한 다른 관측 사업들과 연계하여 복합적 자료 생산 및 활용에 중점을 두었다. 예를 들어 실시간 해양/기후 감시를 위하여 ARGO 플로트를 도입하여, 동해에 3기, 북서태평양에 7기를 투하해 태풍 발생에 따른 해양 환경 변화 특성을 밝히는 데 기여하였다 (ARGO 플로트의 관측 내역 및 분포는 박선기 (2005)의 Fig. 4 및 Fig. 5 참조). 그뿐 아니라 아시아 몬순 지역에서의 에너지, 물 순환 및 지표-대기 상호작용에 대한 이해 향상을 위해 해남 지역에 지표 플럭스 및 복사수지 연속관측시스템을 구축하여 해당 관측 자료를 생산하였다.

KEOP 자료센터에서는 관측 및 분석 자료의 효과적인 저장 및 관리를 위해 KEOP 홈페이지 (<http://keop.metri.re.kr>)를 구축하였다. 또한 국제관측 프로그램과의 연계를 위한 노력으로 국제공동 태풍감시 야외실험 (International Cooperative Aerosonde Field Experiment of Typhoon Monitoring; ICAFEX-TYPHOON, 2001년 5월 7-9일, 기상청)과 악기상 관측 및 예측에 관한 국제 워크숍(International Workshop on Observation and Forecasting of Severe Weathers associated with KEOP; IWOFF-KEOP, 2001년 11월 13-14일, 제주) 등의 국제회의를 성공적으로 개최한 바 있으며, ICAFEX

Table 1. KEOP and related other IOPs in 2001 and 2002.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| KEOP 2001 (Intensive Observation) - Including Typhoon(LEKIMA) | 2001.09.23 - 10.06 | Aerosonde Rawinsonde | Moslpo | AWS (Moslpo) |
| KEOP 2002 (Summertime IOP) Including Typhoon(NAKRI) | 2002.07.08 - 07.19 | Autosonde (07.04-07.24) | Haenam | - |
| | | Rawinsonde | Heuksando Gwangju, Gosan, Yeosu | |
| | | Autosonde | Moslpo | |
| TY 2002 (Special Observation) - Including Typhoon Rusa | 2002.08.30 - 09.02 | Autosonde | Haenam | |
| 2002 IUAFOX (2002 Intensive Observation of Atmosphere and Flux) | 2002.11.20 - 11.25 | Autosonde | Haenam | Flux (Haenam) |
| 2002 Christmas Experiment (2002 Intensive Observation of Snowfall) | 2002.12.23 - 12.26 | Autosonde | Haenam | Doppler Radar (Muan) |

프로그램과 관측 자료 상호교환을 추진하였다.

사업의 2차년도 (2002년)에는 여름철 몬순과 관련하여 한반도에 집중호우를 유발하는 중규모 대류계와 태풍을 관측목표로 삼아 기존 관측망과 연계하여 집중 관측이 수행되었다 (Table 1 참조). 이를 위해 해남 지역을 슈퍼사이트로 지정하고 오토존데, 윈드프로파일러 등의 첨단 관측 장비를 설치, 운영하였다 (Kim *et al.*, 2002b). 국가 악기상 집중관측 센터 (해남)와 연구용 도플러 기상레이더 사이트 (무안) 구축으로 한반도 남서지역의 악기상 감시를 위한 최적 관측망이 구성되었으며, 관측 기간 동안 광주지방기상청과 국립기상연구소에 실시간으로 관측 자료가 제공되어 악기상을 감시하는 체계가 구축되어 현재까지 지속되고 있다.

시-공간적으로 고해상도의 집중 관측 자료를 생산하기 위하여 7월 8일부터 19일까지 12일간 한반도 남서지역과 제주도 남쪽 해상에서 에어로존데, 오토존데, 레윈존데 등을 이용하여 악기상 집중관측을 수행하였다. 또한 태풍 “루사”의 접근 및 한반도 상륙시 태풍 중심 근처의 구조 파악을 위하여 8월 30일부터 9월 2일까지 4일간 해남에서 태풍 집중관측을 성공적으로 실시하여 자료를 생산하였다. 또한, 한반도에 접근한 태풍과 관련하여 ATOVS 자료를 이용하여 3차원 대기 온습도 자료를 산출하였다 (김미자 등, 2002).

KEOP-2002 자료를 활용하여 태풍과 관련된 학술 연구가 이루어졌다. 우선 에어로존데 관측 자료를 이용하여 태풍 전면 대기경계층 특성, 태풍 “나크리”의 갑작스런 약화 원인 (Kim *et al.*, 2005), 태풍 “루사” 접근 및 상륙 시 중심부근의 대기연직구조 특성 등을 분석하였다 (Kim *et al.*, 2003a). 그리고 고해상도 관측 자료를 이용하여 태풍 접근과 장마전선의 북상 시 대기운동의 발전과정을 조사하였다 (Kim *et al.*, 2002a). 또한 중규모 자료동화 시스템과 수치모델을 이용하여 관측

자료의 분석 및 예측 민감도 실험을 수행하여 비중관 관측 자료가 기상분석에 미치는 영향을 평가하였다.

국제집중관측프로그램인 CAMP (CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period) Asia-Australia Monsoon Project) 와 연계하여 20m 플릭스 관측탑 (해남)에서 2002년 7월 9일부터 지금까지 30분 간격의 플릭스 관측 자료를 생산하고 있으며, 또한 대기연직구조에 따른 지표 플릭스 변화 특성 분석을 위하여 2002년 11월 21일부터 24일까지 4일간 대기 및 플릭스 특별 집중관측을 통하여 플릭스 관측 자료를 생산하였다 (Kim *et al.*, 2002b). 이들 자료를 이용하여 지표 플릭스 일변화와 혼합층 성장 특성과 에너지 수지를 분석하였다.

3차년도 (2003년)에는 2년간의 사업 수행의 결과 해남 국가 악기상 집중관측센터가 안정적으로 운영되기 시작하면서 오토존데, 윈드프로파일러, 플릭스 타워 등의 장비로부터 자동으로 실시간 연속 관측 가능한 체계를 구축하고 자료를 생산할 수 있도록 하였다. 이러한 기반을 토대로 한반도 남서지역에서의 장마 기간 동안 집중관측이 수행되었고 관측 자료를 생산하였다 (Table 2 참조; Kim *et al.*, 2003b).

KEOP-2003 자료를 활용한 연구로는 재해성 기상 현상 (장마, 집중호우, 태풍)에 대해 윈드프로파일러 자료 특성을 분석하였고, 해남 윈드프로파일러와 오토존데 관측 자료의 민감도 분석을 위한 관측시스템 실험 (Observing System Experiments - OSEs)을 수행하였다 (Kim *et al.*, 2003b). 중규모 모델의 지표플릭스 모수화 방안 검증을 위하여 플릭스 관측 자료를 분석하였고, 국지분석시스템 (Korea Local Analysis and Prediction System - KLAPS)을 이용하여 집중관측자료 및 중관/비중관 관측자료의 재분석장 산출 체계를 구축하고 자료를 생산하였다. 또한 재해성 기상 현상에 대한 이해의 증진을 위하여 집중관측자료 및 재분석장

Table 2. Same as in Table 1 except in 2003.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|--|--------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 2003 Springtime IOP | 2003.04.28 - 04.29 | Autosonde | Haenam | Windprofiler (Haenam, Ordinary) |
| KEOP 2003 (Summertime IOP) | 2003.06.20 - 07.04 | Autosonde (06.18 - 07.14) | Haenam | " |
| | | Rawinsonde | Goheung, Heuksando, Gosan, Gwangju | " |
| TY 2003 (Special Observation) -Including Typhoon MAEMI | 2003.09.09-09.12 | Autosonde | Haenam | " |

자료를 분석하여 집중호우 현상의 구조와 발생 및 발달 원인을 규명하였다.

4차년도 (2004년)에는 해남 국가 악기상 집중관측 센터를 중심으로 한반도 남서지역에서 재해성 기상현상 (장마, 강설)에 대한 집중관측 실험이 수행되어 고해상도의 고층관측자료가 생산되었다 (Table 3 참조). 여름철 집중관측 자료를 통해 여름철 강수계의 구조 특성을 분석하였고, 중규모 수치모델(5th Generation Mesoscale Model - MM5)을 이용하여 강수예측에 대한 관측 자료의 민감도 실험을 수행하고 그 영향을 평가하였다 (박영연 등, 2007). 이에 더하여 윈드프로파일러를 이용한 여름철 강수 형태를 분류하고 그 특성을 분석하였으며, 고층 및 레이더 자료를 이용한 장마전선의 하층 대기의 구조 특성 분석도 하였다 (원혜영 등, 2006a). 또한 정지기상위성(GOES-9)자료를 이용하여 동아시아의 여름철에 발생하는 대류시스템의 시-공간 규모와 변동특성을 분석하여 여름철 강수대의 예측가능성을 조사하였다 (백선균 등, 2006). 강설사례의 관측을 통해서 강설세포의 유형 분류 및 이와 관련된 하층대기환경구조가 분석되었다. 특히 2004년에는 한국항공우주연구원과 공동으로 최초의 국산 에어로존데의 시험 기상관측도 수행되었다.

5차년도 (2005년)는 사업의 1단계가 종료되는 시점으로 해남 국가 악기상 집중관측센터의 안정적인 첨단 장비의 운영 및 관측 자료의 생산이 이루어졌다. 재해성 기상현상의 메커니즘 규명과 최적 관측전략의 수립을 위해 남서지방의 시-공간 고해상도의 집중관측자료

가 생산되었으며 (Table 4 참조), 이 자료를 국지분석시스템 (KLAPS)과 중규모 모델 (Weather Research and Forecast - WRF)의 입력 자료로 활용하여 집중관측자료에 대한 분석 및 예측민감도 실험을 수행하였다 (원혜영 등, 2006b). 그리고 윈드프로파일러와 재분석 자료를 이용하여 여름철 강수형태 분류와 이와 관련된 장마기간의 종관특성 분석이 이루어졌다 (원혜영 등, 2006a). 예측가능성 분석을 위해서 정지기상위성 (GOES-9) 자료를 이용한 구름열 (cloud streak)의 Hövmöller 다이어그램을 분석하였으며 이를 수치모델결과와의 비교하여 그 동조성을 조사하였다 (백선균 등, 2006). 특히 전북 강수 지역에 있었던 돌풍사례를 대상으로 윈드프로파일러와 레이더자료를 활용한 하층바람의 구조를 분석하였고 이를 국지분석시스템과 중규모 모델(WRF)을 이용하여 비종관자료의 효과를 분석하였다 (이선용·조천호, 2006).

1단계를 마치면서 그 동안 생산된 고해상도의 집중관측자료의 활용 증대와 유관기관, 대학 및 국제관측프로그램 (THORPEX 등)과의 협력강화를 위해 KEOP 관측자료 DB를 구축하고 개선하였다 (최영진 등, 2006a). 연중 24시간 무인관측이 가능한 자료는 윈드프로파일러, 플렉스타워, 오토존데, 마이크로강수레이더, 광학강우강도계 등으로부터 얻은 자료이다. 상시관측 자료와 함께 집중관측자료는 KEOP 홈페이지 (<http://keop.metri.re.kr/>의 "DATA SETS" 배너)를 통해 로그인 후 다운로드가 가능하다.

Table 3. Same as in Table 1 except in 2004.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|---|-----------------------------------|------------------------------|--|------------------------------------|
| 2004 Wintertime IOP - Including Snowfall | 2004.01.19 - 01.25 | Autosonde | Haenam | Windprofiler (Haenam, Ordinary) |
| | 2004.02.03 - 02.06 | Autosonde | Haenam | " |
| | 2004.03.02 - 03.05 | Autosonde | Haenam | " |
| 2004 Springtime IOP - Including rainfall | 2004.04.25 - 04.27 | Autosonde | Haenam | " |
| 2004 KEOP (Summertime IOP) - Including Typhoon DIANMU/ MINDULLE | 2004.06.20 - 07.05 | Autosonde (06.18 - 07.18) | Haenam | " |
| | | Rawinsonde | Goheung, Namwon, Heuksando, Gosan, Gwangju | |
| 2004 Anticyclones IOP | 2004.07.23 - 07.24 (in summer) | Autosonde | Haenam | " |
| | 2004.10.15 - 10.16 (in fall) | Autosonde | Haenam | " |
| TY 2004 (Special Obsmervation) -Including Typhoon MEGI | 2004.08.17 - 08.19 | Autosonde | Haenam | " |

Table 4. Same as in Table 1 except in 2005.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|---|--|--|--|------------------------------------|
| 2005 Wintertime IOP - Including Anticyclones | 2005.01.21 - 01.22 2005.01.26 - 01.27 | Autosonde | Haenam | Windprofiler (Haenam, Ordinary) |
| 2005 Wintertime IOP - Including Snowfall | 2005.01.31 - 02.03 | Autosonde | Haenam | " |
| 2005 Springtime IOP - Including Anticyclones | 2005.05.02 - 05.03 | Autosonde | Haenam | " |
| 2005 KEOP (Summertime IOP) | 2005.06.25 - 07.11 | Autosonde (06.18 - 07.18) Rawinsonde | Haenam Gwangju, Namhae, Heuksando, Gosan | " |

2.2 KEOP 2단계 (2006-2007) 사업 내용

KEOP 사업 2단계의 목표는 5년간 수행된 1단계 사업을 기반으로 선도 관측을 통한 중규모 현상의 예측 가능성 연구 및 목표관측 전략 기술 개발이다. 목표관측 (targeting observation) 또는 적응관측 (adaptive observation)은 관심영역의 예보정확도를 향상시키기 위해 풍상측에 관측을 보강해 주어야 하는 지역을 찾아 내어 다양한 관측시스템을 설치함을 의미한다 (Park, 2004; Fig. 1 참조). 목표관측의 개념이 KEOP 2단계 사업에 포함되었다는 사실은 한반도 지역의 악기상에 대한 예보 정확도를 높이기 위해서 풍상측인 외국의 관측 자료도 중요하게 활용하겠다는 의미가 내재되어 있다. 이는 KEOP의 사업범위가 국제적인 관측사업의 한 구성원으로 참여하고, 이를 통해 국제 관측 사업으로부터 얻어지는 자료를 공유하고 활용하는 수준까지 확대되어진다고 볼 수 있다.

2단계 1차년도 (2006년)에는 동계와 하계 집중관측이 수행되었다 (Table 5 참조). 특히, 장마전선에 중첩된 중규모 현상을 하계 집중관측의 목표로 삼고, 이를 위해 해남을 기점으로 광주, 남원, 거창을 잇는 관측망을 구축하여 관학연 및 공군의 협력 관측이 수행되었

다 (최영진 등, 2006b). 또한 관측 자료를 활용한 수치 민감도 실험을 통해 고층관측의 시공간 밀도의 차이가 주는 예측성 변화를 분석하였으며 (원혜영 등, 2006b), KEOP-2006 관측 자료를 이용한 EOF 분석을 통해 장마 기간 동안의 대기특성을 분석하고 그 결과를 토대로 수치모델의 기준상태 설정에 따른 강수예측 민감도 실험이 수행되었다 (원혜영 등, 2007b).

중규모 재해기상현상의 발달 기구 규명을 위하여, 이중 도플러 레이더를 이용한 3차원 바람장 분석기법을 개발하였고, 중규모 대류계가 발달한 사례의 수치실험을 통해 초기조건과 레이더 관측자료가 수치모델에서 강수계 예측에 주는 영향을 분석하였다 (이선용 등, 2006). 또한 윈드프로파일러와 오토존데 관측자료를 비교분석함으로써 자료의 품질을 평가하여 장비간의 상호 검증을 하였다 (김기훈 등, 2007a). 특히 집중관측 자료의 실시간 자료 품질 검사 시스템을 구축하여 자료의 품질 및 사용의 편리성을 높였다 (김기훈 등, 2006).

2단계 2차년도 (2007년)에는 해남 국가 악기상 집중관측센터에 최첨단 장비인 라디오미터가 신규 도입된 후 상시 관측이 이루어지고 있으며, 이를 통해 고해상도의 온습도 프로파일을 생산하기 시작했다 (Table 6 참조; 원혜영 등, 2008; 이정순 등, 2008; 전은희 등,

Table 5. Same as in Table 1 except in 2006.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------|---|------------------------------------|
| KEOP 2006 (Wintertime IOP) | 2006.02.07 - 02.08 | Rawinsonde | Haenam | Windprofiler (Haenam, Ordinary) |
| KEOP 2006 (Wintertime IOP) | 2006.02.13 - 02.15 | Rawinsonde | Haenam, Muan | " |
| KEOP 2006 (Summertime IOP) | 2006.06.21 - 07.06 | Rawinsonde (Autosonde) | Baengnyeongdo, Sokcho, Heuksando, Pohang, Gosan, Namwon, Haenam, Geochang | " |

Table 6. Same as in Table 1 except in 2007.

| IOP Title | Period | Equipment | Location | Added Observation |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------|--|------------------------------------|
| KEOP 2007 (Wintertime IOP) | 2007.03.02 - 03.05 | Rawinsonde (Autosonde) | Haenam, Munsan | Windprofiler (Haenam, Ordinary) |
| KEOP 2007 (Summertime IOP) | 2007.06.15 - 07.15 | Rawinsonde (Autosonde) | Baengnyeongdo, Sokcho, Heuksando, Pohang, Gosan, Munsan, Haenam, Ieodo | " |

2008). 라디오미터와 존데와의 비교 관측을 통해 장비 간의 비교분석이 이루어졌으며 (전은희 등, 2008), 특히 태풍 “나리” 사례에 대한 윈드프로파일러와 라디오미터를 이용한 역학/열역학적 분석이 이루어졌다. 또한 한국해양연구원의 공동 연구로 한반도 남부해역에서 선상관측이 이루어졌고, 이 자료와 KLAPS에서 생산된 분석장을 비교-검증하였으며 수치민감도 실험도 행하였다 (원혜영 등, 2007a).

특히 2007년에는 기존의 관측망에 더해 경기 북부의 호우, 남서 해안의 악기상, 태풍 및 장마전선과 관련된 해양-대기 상호작용 등에 대한 집중관측을 위해 각각 문산, 해남, 이어도에 레윈존데를 추가하였다 (Fig. 1 참조). 이로써 장마전선 및 중규모 악기상에 대한 집중관측을 위해 한반도 전역으로 관측망이 확대되었고, 한 달간의 집중관측을 통해 고해상도의 관측자료가 생

산되었으며 (김기훈 등, 2007b; 원혜영 등, 2007c), 이를 통해 장마전선의 연직 시공간 특성을 분석하였다 (김기훈 등, 2008). 또한 KEOP-2007 관측 자료를 활용하여 현업모형의 관측민감도 실험을 위해 시스템을 구축하였으며 관측 자료의 효과를 분석하였다. 또한 집중관측 자료를 이용한 여름철 대류계의 관측시스템 실험을 위해서 WRF/U3VR (unified 3DVAR) 기반의 영향반경 조절이 수치예보에 미치는 영향을 연구하였다.

KEOP-2007의 연구범위는 1) 집중관측과 재해성 기상현상의 기구 규명; 2) 예측 가능성 분석; 3) 관측시스템 실험 등이다 (Table 7-9 참조). 우선 고해상도 관측 자료를 실시간으로 생산하고, 동계 (2007. 3. 2 ~ 3. 5) 및 하계 (2007. 6. 15 ~ 7. 15) 집중관측과 선상 집중관측 (2007. 8. 24 ~ 8. 31)을 수행하였다 (Table 7). 특히 하계 집중관측의 경우 전국적인 규모로 장기간 동안 집

Table 7. Research contents and results from the KEOP-2007 for enhanced observations and mechanisms of disastrous meteorological phenomena.

| 연구 내용 | 연구 결과 |
|-----------------------|--|
| 집중관측과 재해성 기상현상의 기구 규명 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 고해상도 관측자료의 실시간 생산 <ul style="list-style-type: none"> - 첨단 관측장비를 이용한 실시간 집중관측 자료생산 - 라디오미터 관측장비의 신규 도입 ○ 동계 집중관측 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 겨울철 한파 및 폭설 관측을 위한 집중관측 실시 (기간: 2007. 03. 02 ~ 03. 05, 장소: 해남, 문산) ○ 하계 집중관측 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 장마전선 및 중규모 악기상 현상의 집중관측 수행(기간: 2007. 06. 15 ~ 07. 15, 장소: 기상청 5개 고층관측소와 해남, 이어도, 문산) ○ 선상 집중관측 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 지구온난화 환경에서 강화되는 태풍해일의 예측기술 개선을 위한 선상 관측 수행 (기간: 2007. 08. 24 ~ 08. 31, 장소: 제주도 인근 및 남해 원양, 국립해양조사원 소속 이어도호) ○ 은평구 뉴타운 특별관측 협조 <ul style="list-style-type: none"> - 도시개발 사업전후의 도시대기환경 변화분석을 위한 집중관측 수행 (기간: 2007. 10. 08 ~ 10. 12, 장소: 은평 웰미디어 고등학교) ○ 중규모 현상의 상세 분석 <ul style="list-style-type: none"> - KEOP-2007 관측기간동안 생산된 고층관측자료를 이용한 장마전선의 연직 시·공간 특성 분석 - 라디오미터와 윈드프로파일러를 이용한 태풍 ‘나리’(2007. 09.16) 사례의 역학/열역학적 특성 분석 - KEOP-2006 집중관측을 통해 생산된 시·공간 고해상도 자료의 EOF 분석을 통해 대기의 연직구조의 시공간 특성 연구 ○ 윈드프로파일러와 존데 관측자료의 상호 비교 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 존데와 윈드프로파일러 바람 자료의 비교 분석 수행(해남과 문산에서 관측된 KEOP-2007 관측자료) |

Table 8. Same as in Table 7 except for predictability analysis.

| 연구 내용 | 연구 결과 |
|---|-------|
| <p>예측가능성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 모형의 강수계 예측 가능성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 관측자료의 EOF 분석을 통해 도출된 결과를 이용한 수치모델 기준 상태 설정에 따른 강수계 예측 민감도 수치연구 ○ 이중도플러 레이더를 이용한 예측성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 3차원 번분법을 사용한 이중도플러 분석방안을 이용하여 관측시스템 모사 실험 수행 - 장마전선상의 중규모 대류계(2006년 6월 30일 사례)에 이중도플러 분석방안을 적용 | |

중관측을 수행하였고, 이를 통해 장마전선의 발생/발달/쇠퇴에 관한 역학적 및 열역학적 구조를 보다 상세히 분석할 수 있었다(김기훈 등, 2008). KEOP-2007 관측 자료를 기상청 현업 모형에 적용한 결과 관측 자료가 현업모형의 예측능력 향상에 기여할 수 있음을 알 수 있었다(원혜영 등, 2007a). 또한 KEOP 2006 및 2007 관측기간 동안 생산된 시·공간 고해상도 자료를 이용하여 중규모 현상의 상세 분석을 행하였으며, 윈드프로파일러와 존데 관측자료의 상호 비교 분석을 통해 해남 관측자료의 특성을 분석하였다(김기훈 등, 2007a).

예측가능성 분석 분야에서는 EOF 분석을 통한 모형의 강수계 예측 가능성을 분석하고 이중도플러 레이더를 이용한 중규모 강수계의 예측성을 분석하였다(Table 8). 또한 최첨단 관측 장비인 라디오미터 관측 자료를 이용하여 강수예측성 및 민감도를 분석하였다(원혜영 등, 2008; 이정순 등, 2008).

마지막으로 관측시스템 실험 분야에서는 실시간 적용 가능한 목표관측전략을 개발하고 자료동화 시스템을 통해 목표관측 수행 기반 시스템을 구축하였다. 또한 WRF/LAPS 및 WRF/3DVAR를 기반으로 한 실험 체계 개선과 레윈존데 관측자료의 민감도 분석을 통해 OSE 실험을 위한 기반체제를 개선하였다(Table 9). 민감도 실험을 통해 모델 초기시작의 강수 스핀업을 향상시키기 위한 적절한 싸이클 과정이 필요함을 알 수 있었다. 또한 2008년에 THORPEX 사업의 일환으로

아시아-태평양 지역에서 주로 태풍에 대한 현장관측 및 예측가능성 연구를 목적으로 하는 T-PARC(THORPEX-Pacific Asia Region Campaign)에 능동적으로 참여하여 목표관측 실험에 유용하게 이용될 수 있는 기반 시스템을 구축하였다.

3. 향후 집중관측 사업 발전 전략

KEOP-2008 사업을 통해 국립기상연구소는 T-PARC 2008과 연계하여 태풍예측 정확도 향상을 위해 항공기를 이용한 드롭존데 관측을 지원하면서 국제 공동관측 사업에 참여할 계획이다(개인통신, 이희상, 2008). T-PARC 국제공동 집중관측에 참여하여 관측 자료를 이용한 재해기상 현상의 발달 기구 분석 및 예측성 향상을 위한 관측시스템 연구 등을 수행할 계획이다. 또한 목표관측 전략기술 개발을 통해 자료동화에 적합한 관측 등을 수행할 예정이다.

T-PARC 2008에의 성공적 참여를 위해 국립기상연구소는 KMA T-PARC WG(working group)과 “예측가능성 및 관측 실험(PROBEX; PRedictability and OBServation EXperiment in Korea)”에 대한 학술위원회를 구성하였다. PROBEX는 국내의 모든 관측 관련 사업들을 포괄적으로 포함하는 개념이며, 각각의 관측 사업에 대해 국가 차원에서의 전략과 비전을 제시하고 공유하게 함으로써 체계적이고 일관된 지원이 가능하

Table 9. Same as in Table 7 except for observing-systems experiment (OSE).

| 연구 내용 | 연구 결과 |
|--|-------|
| <p>관측시스템 실험</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 목표관측 수행 기반 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 앙상블 정보를 이용한 수반민감도 기반의 목표관측전략을 연구, 개발 - 특이벡터를 이용하여 악기상 사례의 예측 민감 지역을 파악 - 목표관측 자료를 동화할 수 있는 자료동화시스템인 WRF/3DVAR 시스템 구축 ○ OSE 실험을 위한 기반 체제 개선 <ul style="list-style-type: none"> - WRF/LAPS 및 WRF/3DVAR를 기반으로 집중관측사례 수치모의를 위한 실험 체제를 구축 및 개선 - 실험 결과 포출 및 기본적 검증에 위한 시스템 구축 - KEOP-2007 집중관측자료를 활용하여 현업 모형의 관측자료 수치 민감도 실험 분석 | |

게 하고자 하는 시도이다. 학계의 다양한 전문분야로 구성된 PROBEX 학술위원회의 활동은 T-PARC 2008을 비롯한 국제 공동 관측과의 협의 및 연구를 지원하게 될 것이며 관측 자료의 편리한 이용을 위해 자료 DB 갱신을 실시할 계획이다.

KEOP 사업은 2010년에 2단계 사업이 종료됨으로써 더 이상 존속되지 않는다. 지금까지 한반도 악기상 감시를 위한 집중관측을 여러 차례 수행하면서 유용한 자료를 축적하였고, 이는 향후 한반도에 유입되거나 발생하는 재해기상 현상들의 발달 기구를 이해하는데 중요한 자료로 활용될 것이다.

KEOP의 남은 기간 동안 한반도의 특성적인 재해기상에 대한 이해를 더욱 향상시키기 위해 적절한 투자가

이루어져야 할 것으로 본다. 이를 위해 Fig. 2에 보인 바와 같이 동해, 남해, 서해상에서의 해상관측, 경기북부를 중심으로 한 중부호우 집중관측, 서해안 지방의 폭설 집중관측, 큰 산맥을 중심으로 한 풍상-풍하 집중관측, 동해안 지역의 동풍기류-지형효과 집중관측 등을 고려하여 관측계획을 수립해야 할 것이며, 크게는 국내 및 발원지의 황사집중관측까지도 KEOP의 관측사업에 포함할 것을 제안한다. 비록 KEOP 사업 자체는 종료된다고 하더라도 향후 위에 언급된 한반도의 특성적인 기상현상들에 대한 관측을 위해 다양한 집중관측프로그램 (IOP)이 지속적으로 필요하며, PROBEX의 주요 요소로 포함되는 것이 바람직하다.

KEOP은 앞에서 언급한 바와 같이 지금까지의 산발

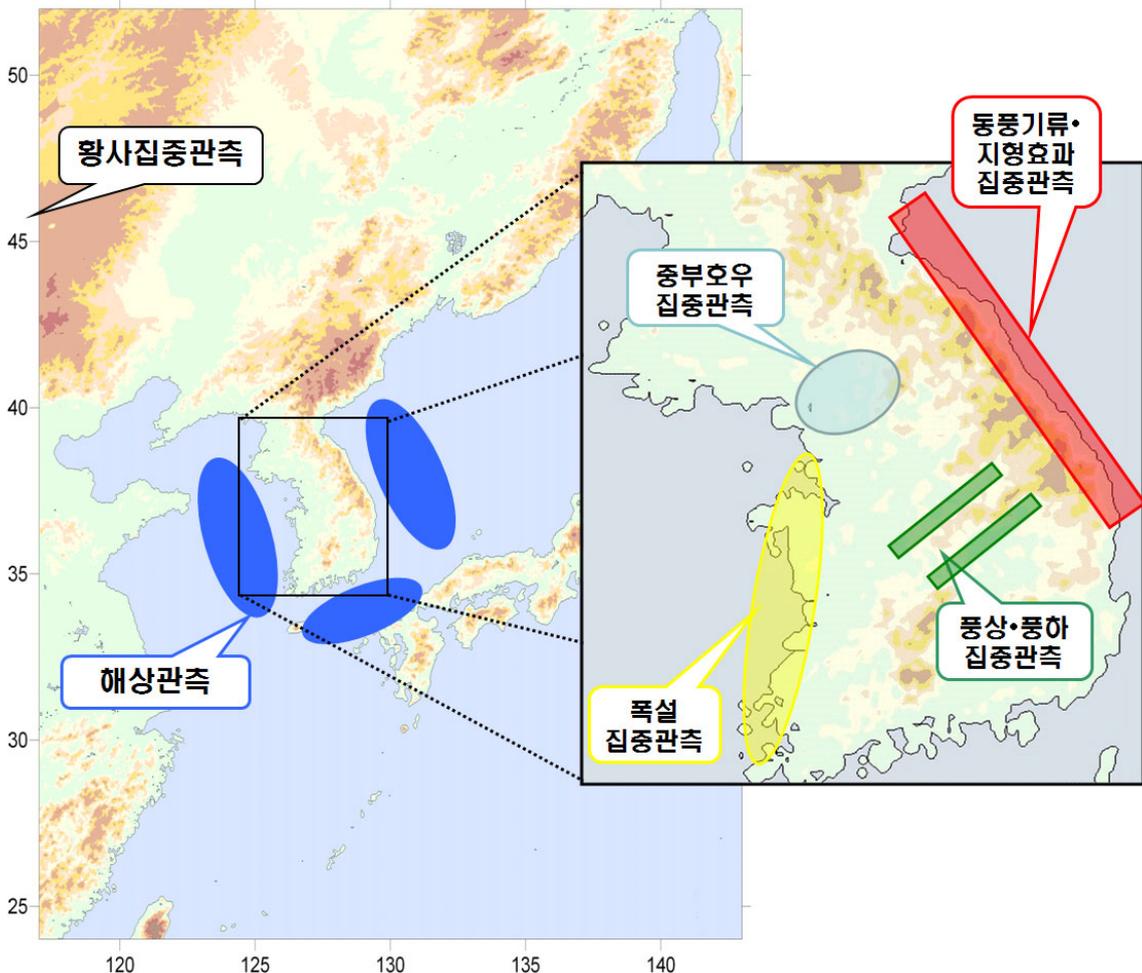


Fig. 2. Field experiments as components of the IOP in the future.

적인 집중관측에서 패러다임을 바꾸어 한반도 전체의 특성적인 기상현상을 모두 포함하는 포괄적인 집중관측 프로그램의 역할을 해야 할 필요가 있다. 즉, 개념적으로 Korea Enhanced Observation Period에서 Korea Enhanced Observation Program으로 전환되어야 한다. KEOP 사업이 2010년에 종료되더라도 그를 승계하는 포괄적 개념의 IOP가 지속되어야 할 것이며, 위에서 언급한 한반도의 특성적인 재해기상에 대한 집중관측이 지속적으로 이루어지도록 꾸준한 투자가 필요하다.

이러한 IOP들에서 얻어지는 특별관측 자료들은 고해상도의 AWS 자료와 더불어 THORPEX/T-PARC의 중요한 일부로 포함될 수 있다. 해상관측자료는 우리나라뿐만 아니라 풍하측에 있는 일본의 예보 향상을 위한 좋은 자료가 될 수 있으며, 폭설 및 호우에 대한 관측 자료는 황사 및 해상관측 자료와 함께 가깝게는 일본, 멀리는 북미대륙의 기상현상들에 대한 예보 정확도를 향상시키는데 큰 도움이 된다. 북미대륙의 기상예보의 오차가 동아시아 지역을 포함하는 북서태평양 연안의 관측의 부재에 크게 영향을 받는다는 기존의 연구 (예, Langland *et al.*, 1999)는 이러한 자료의 효용성을 뒷받침해 준다. 따라서 현재 수행되고 있는 KEOP과 미래의 IOP를 통한 특별관측은 THORPEX/T-PARC의 중요한 일부가 될 수 있다.

4. 요약 및 결론

KEOP은 1단계 사업 (2001~2005년)에서는 주로 해남 슈퍼사이트를 중심으로 한반도 남서부에 유입되는 장마전선 및 태풍에 관련된 중규모 악기상 현상들에 대한 특별관측을 실시하였으나, 2단계 사업 (2006~2010년)부터는 2006년에 거창, 남원에서 특별관측을 실시해 산악기상 및 풍하측 기상 현상을 연구하였고, 2007년에는 문산과 이어도에서 특별관측을 실시해 중부호우와 해양기상에 대한 연구를 시도하였다. 2단계 사업부터는 한반도의 특성적인 기상현상에 대한 관심이 높아졌고 이는 향후 KEOP이 지향해 나가야 할 사업 방향으로 본다. 지금까지 KEOP은 한반도 악기상 감시를 위한 집중관측을 여러 차례 수행하면서 유용한 자료를 축적하였고, 한반도에 유입되거나 발생하는 재해기상 현상들의 발달 기구를 이해하는데 중요한 자료로 활용될 것이다.

향후 KEOP에서는 동해, 서해, 남해에서의 해상관

측, 동해안에서의 동풍기류 및 지형효과에 대한 집중관측, 서해안 지방에서의 폭설집중관측, 주요 산맥을 기준으로 풍상-풍하 집중관측, 중부호우에 대한 집중관측 등을 중점적으로 실시해야 할 것이며, 국내 및 발원지에서의 황사집중관측도 포함해 우리나라의 특성적인 기상현상을 모두 망라하는 종합 관측 사업으로 발전해 나가야 할 것이다. KEOP이 2010년에 종료되지만 위의 특성적인 기상현상들에 대한 특별관측과 연구는 지속적으로 수행되어야 하며, 이는 우리나라에서 발생/발달하는 재해기상에 대한 예보정확도를 향상시키는 데 필수적이라고 할 수 있다. 이를 위해 KEOP을 승계하는 새로운 집중관측프로그램 (Intensive Observation Period - IOP)이 필요하다.

우리나라의 KEOP/IOP에서 얻어지는 특별관측 자료들은 고해상도의 AWS 자료와 더불어 THORPEX/T-PARC의 중요한 관측자료로 포함될 수 있다. 해상관측자료는 우리나라뿐만 아니라 경우에 따라 일본, 중국의 예보 향상을 위한 좋은 자료가 될 수 있다. 폭설, 호우, 황사 및 해상관측 자료는 가깝게는 일본, 멀리는 북미대륙의 기상현상들에 대한 예보 정확도를 향상시키는데 큰 도움이 된다. 따라서 현재 수행되고 있는 KEOP과 향후 IOP를 통한 다양한 특별관측 자료들은 T-PARC의 중요한 자료가 되어 목표 관측 및 자료 동화 등에 포함되어 재해기상의 예측 정확도를 높이는데 기여할 것이다.

사 사

국립기상연구소 예보연구팀의 자료 협조와 유용한 정보 제공에 감사드립니다.

참고문헌

- 김기훈, 최영진, 허복행, 유동봉, 이선용, 원혜영, 박창근, 이성주, 장동언, 2006: KEOP-2006 존데자료의 품질검사. *2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 276-277.
- _____, _____, 이선용, 장동언, 원혜영, 박창근, 2007a: 해남 윈드프로파일러의 존데관측자료에 대한 비교검증 연구. *2007년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 366-367.
- _____, 김연희, 이희상, 박창근, 원혜영, 이성주, 전은희, 최영진, 2007b: KEOP-2007 집중관측 소개. *2007년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 328-329.
- _____, _____, 전은희, 박창근, 원혜영, 이성주, 이희상, 2008: KEOP-2007 관측자료를 이용한 2007년 장마 특성 분석. *2008년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*,

- 268-269.
- 김미자, 안명환, 정주용, 서애숙, 2002: KEOP-2001 관측자료를 이용한 NOAA-16/ ATOVS 산출 자료 검증. *2002년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 410-413.
- 김백조, 조천호, 남재철, 정효상, 김정훈, 2003: 2002년 국가 악기상 집중관측센터에서 생산된 집중관측자료의 분석 및 활용. *대기*, **13** (4), 57-70.
- 박선기, 2005: 관측 관련 사업들의 현 상황과 미래의 비전. *대기*, **15**, 141-148.
- 박영연, 박창근, 최영진, 조천호, 2007: KEOP-2004 집중관측 자료에 대한 강수예측의 민감도 분석. *대기*, **17**, 435-453.
- 백선균, 최영진, 정주용, 조천호, 2006: 정지기상위성의 밝기 온도로 분석한 2004년 동아시아 지역에서 발생한 여름철 대류 시스템의 특성과 그 예측 가능성. *대기*, **16**, 225-234.
- 원혜영, 조천호, 백선균, 2006a: 윈드프로파일러 관측자료를 이용한 장마철 강수형태 분류와 관련된 중관장의 특성 분석: 2003년-2005년. *대기*, **16**, 236-246.
- _____, 최영진, 이선용, 김기훈, 박창근, 장동언, 변재영, 조천호, 2006b: KEOP-2005, 2006 집중관측 고층자료를 이용한 민감도 연구. *2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 270-271.
- _____, _____, 김기훈, 2007a: 수치모의에서의 KEOP-2007 동계관측자료의 효과 실험과 분석. *2007년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 356-357.
- _____, 이윤희, 김연희, 이희상, 최영진, 2007b: KEOP-2006 관측자료를 활용한 수치모델의 기준상태 설정에 관한 수치 민감도 연구. *2007년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 82-83.
- _____, 김기훈, 김연희, 이희상, 최영진, 2007c: KEOP-2007 집중관측을 통한 고층관측기기에 따른 관측자료의 분석. *2007년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 318-319.
- _____, 전은희, 김기훈, 김연희, 이성주, 박창근, 이희상, 2008: 라디오미터의 채널별 밝기온도를 이용한 강수예측 가능성에 대한 고찰. *2008년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 298-299.
- 이선용, 조천호, 2006: 2005년 7월 1일 장수지방 돌풍 사례 분석. *2006년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 342-343.
- _____, 김백조, 조천호, 황동익, 박지선, 장동언, 이용근, 최준태, 허창욱, 도종관, 2001: Typhoon and cold front observation using the aerosonde. *2001년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 122-126.
- _____, 최영진, 남재철, 장동언, 2006: Dual wind retrieval 방법을 사용한 중규모 대류계의 구조 분석. *2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 86-87.
- 이성주, 김기훈, 김연희, 이희상: 오토존데를 이용한 고층관측 자동화에 관한 연구. *2008년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 302-303.
- 이정순, 하종철, 이윤희, 이희상, 전은희, 김기훈, 2008: 라디오미터를 이용한 강수예측 민감도 사례연구. *2008년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 286-287.
- 전은희, 김기훈, 원혜영, 김연희, 이윤희, 박창근, 이성주, 이희상, 2008: 듀얼 밴드 라디오미터의 성능 검증 및 사례분석. *2008년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 264-265.
- 조천호, 2001: 한반도 악기상 집중관측 사업. *대기*, **11**(3), 9-11.
- 최영진, 남재철, 2006: KEOP 1단계 사업의 성과와 의의. *2006년도 한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 384-385.
- _____, 김기훈, 이선용, 원혜영, 박창근, 이성주, 백선균, 김백조, 조천호, 장동언, 2006a: KEOP 1단계 집중관측 개요와 DB. *2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 274-275.
- _____, _____, _____, _____, _____, 허복행, 남재철, 장동언, 2006b: KEOP-2006 집중관측 - 학연기상청 및 공군 협력 관측. *2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 280-281.
- Kim, B.-J., C.-H. Cho, and H.-S. Chung, 2001: Current status and future plan of Korea Enhanced Observing Period (KEOP). *Proceedings, 2001 Autumn Meeting of KMS*, Korean Meteor. Soc., 568-572.
- _____, Y.-S. Kim, C.-H. Cho, J.-S. Park, S.-H. Shin, and Y.-H. Yun, 2002a: Aerosonde (unmanned aircraft) observations and the assessment of their usefulness in the analysis of severe weather. *Proceedings, 2002 Spring Meeting of KMS*, Korean Meteor. Soc., 508-509.
- _____, C.-H. Cho, H.-S. Chung, J.-S. Park, S.-H. Shin, and Y.-H. Yun, 2002b: 2002 KEOP field experiment with a special emphasis on establishment of intensive observatory for monitoring severe weather. *Proceedings, 2002 Autumn Meeting of KMS*, Korean Meteor. Soc., 508-509.
- _____, H.-S. Chung, C.-H. Cho, and J.-H. Kim, 2003a: Structural features of Typhoon RUSA's center. *Vaisala News*, **162**, 4-7.
- _____, J.-H. Kim, C.-H. Cho, and H.-S. Chung, 2003b: Observational characteristics of prefrontal rainband system during KEOP-2003. *Proceedings, 2003 Autumn Meeting of KMS*, Korean Meteor. Soc., 168-169.
- _____, _____, and _____, 2004: An observational study on environment and structure of mesoscale convections along a Changma front during KEOP-2004. *Proceedings, 2004 Autumn Meeting of KMS*, Korean Meteor. Soc., 382-383.
- _____, _____, _____, and S.-H. Shin, 2005: A study on the intensity change of Typhoon Nakri (0208) - Observation and GDAPS data analysis. *J. Korean Meteor. Soc.*, **41**, 763-776.
- Kuo, Y.-H., and G. T.-J. Chen, 1990: The Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX): An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 488-503.
- Langland, R. H., Z. Toth, R. Gelaro, I. Szunyogh, M. A. Shapiro, S. J. Majumdar, R. E. Morss, G. D. Rohaly, C. Velden, N. Bond, and C. H. Bishop, 1999: The North Pacific Experiment (NORPEX-98): Targeted observations

- for improved North American weather forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 1363-1384.
- Park, S. K., 2004: The Observing System Research and Predictability Experiment (THORPEX) and potential benefits for Korea and the East Asia. *Atmosphere*, **14** (3), 41-54.
- Weckwertha, T. M., D. B. Parsons, S. E. Kochb, J. A. Moorec, M. A. LeMoned, B. B. Demoze, C. Flamantf, B. Geertsg, J. Wangh, and W. F. Feltzi, 2004: An overview of the International H₂O Project (IHOP_2002) and some preliminary highlights. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 253-277.
- WMO, cited 2008: The Observing system Research and Predictability EXperiment (THORPEX). [Available online from <http://www.wmo.ch/pages/prog/arep/thorpex/>.]