2008년 2월 석사학위논문

서해 SST 변화가 호남지방 대설에 미치는 영향에 관한 수치연구

> 조 선 대 학 교 대 학 원

> > 대기과학과

善 牟 振

서해 SST 변화가 호남지방 대설에 미치는 영향에 관한 수치연구

Numerical Study on the Impact of Sea Surface Temperature of Yellow Sea on the Heavy Snowfall over Honam Districts

2008년 2월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대기과학과

牟 善振

서해 SST 변화가 호남지방 대설에 미치는 영향에 관한 수치연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2007년 10월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대기과학과

牟 善 振

모선진의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 겸임교수 이 종 호 인 심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수 인 심사위원 부산대학교 이학박사 이 순 환 인

2007 년 11 월 일

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	V
1. 서론	1
2. 2005년 12월 발생한 대설의 발달 구조	3
2.1. 2005년 12월의 대설 사례	3
2.2. 관측자료 및 일기도 분석	4
2.3. 수평일기도 분석	7
2.4. 상승류 패턴 분석1	.4
$3.$ 해수면 온도 2 차원 분포에 따른 발달 구조 변화 \cdots 2	20
3.1. 수치 모형2	20
3.2. 수치실험 설계2	23
3.3. 대설세포의 시간적 변화2	28
3.4. 해수면 온도의 2차원 분포에 따른 영향 분석3	36
4. 결론	17
참고문헌	18

List of tables

Table 1. Temperature pattern of December 2005 in comparison with other years. \cdots 11
Table 2. Temperature change on three days at three different levels. Thick broad
indicate the temperature at maximum intensity of snowfall 12
Table 3. The configuration of numerical model MM523

List of figures

Fig.	1. Accumulated snow amount for 24 hours at Honam districts 3
Fig.	2. Distribution of depth of fresh snow for 24 hours from 21 and 22
	December 20055
Fig.	3. Geopotential height distribution at 500 hPa in 12UTC 21 December 2005.
	6
Fig.	4. Arctic Oscillation Index (AOI) from 1 September to 27 December 2005.
	Dotted circle indicates the correspondence of the end of December 2005
	with heavy snowfall. ———————————————————————————————————
Fig.	5. Temperature change at 850 hPa for 24 hours from 12UTC a) 20 and d)
	22 December 2005. Color shading indicate the area of temperature decrease
	for 24 hours. The interval of contours is 2 K9
Fig.	6. Surface synoptic chart for 12UTC a) 20 and b) 21 December 2005. Wind
	intensity over Yellow Sea become strong on 21 December 2005 and wind
	direction is also changed due to the change of pressure fields10
Fig.	7. Surface pressure distribution at 21UTC 20 and 06UTC 21 December
	2005
Fig.	8. Time evolution of vorticity distribution at 500 hPa from 00UTC 21
	December with 12 hours.
Fig.	9. Wind speed distribution at 300 hPa and 850 hPa for 00UTC (upper) and
	12UTC (lower) 21 December 2005
Fig.	10. Time evolution of the observational horizontal wind and vertical wind
	speed by wind profiler located at Gunsan. Color Shade indicate the
	intensity of vertical wind speed
Fig.	11. Time evolution of Omega values, wind, and convergence over the
	Korean Peninsula from 03UTC 21 with 3 hours interval
Fig.	12. Vertical distributions of omega values and wind at 06 and 12UTC 21
	December 2005. Cross section lines show right upper part of each figures
	and arrows indicate the intensity of vertical wind energy19
Fig.	13. The MM5 modeling system flow chart (Dudhia et. al., 2000) 22
Fig.	14. Schematic representation of the vertical structure of the model. The
	example is for 15 vertical layers. Dashed lines denote half-sigma levels, solid

	lines denote full-sigma levels(NCAR, 2000)
Fig.	15. Simulated domains and their topography with intervals of a) 16 km, b)
	$6~\mathrm{km}$, and $3~\mathrm{km}$. Line A-B in b) use for cross section analysis and points C
	and D indicates the location of vertical analysis. Line A-B is almost
	parallel to the synoptic wind, resulting in a snowfall cloud
Fig.	16. Distribution of the daily NGSST on the Yellow Sea for a) 10, b) 20,
	and c) 30 December 2005 and d) 10 January 2006. The unit of the SST is
	Celsius with a 1 K interval. ————————————————————————————————————
Fig.	17. Distribution of the snowfall accumulated for three hours over the
	Korean Peninsula at a) 12LST, b) 15LST, c) 18LST, and d) 21LST 21
	December 2005
Fig.	18. Satellite image observed by Radar and MTSAT and at 15LST 21
	December 2005. — 32
Fig.	19. Time evolution of the vertical cross section of the diversion along line
	A-B shown in Fig. 15 from 12LST with a 3-hour interval. The solid and
	dashed lines indicate the conversion and diversion, respectively. The labels
	with a box show the maximum and minimum values in the same limited
	area
Fig.	20. SST along line A-B in Fig. 15 for the simulations of 4 cases 35
Fig.	21. Distribution of snowfall accumulated for 3 hours at 15LST for a) case
	SN_1210, b) case SN_1220, c) case SN_1230, and d) case SN_011039
Fig.	22. Vertical distribution of precipitable water with the cross section along
	line A-B in Fig. 15 for a) case SN_1210, b) case SN_1220, c) case
	SN_1230, and d) case SN_0110 at 15LST41
Fig.	23. Same as in Fig. 22 except for the divergence. The solid and dashed
	lines indicate the conversion and diversion, respectively. The labels with a
	box show the maximum and minimum values in the same limited area 43
Fig.	24. Time evolution of the vertical potential temperature difference at two
	different points shown in Fig. 15b (C and D) from the values at the model
	initial time at 15LST, 18LST, 21LST, and 24LST resulting from case
	SN_1210 and case SN_0110

ABSTRACT

Numerical Study on the Impact of Sea Surface Temperature of Yellow Sea on the Heavy Snowfall over Honam Districts

Mo, Sun-Jin.

Advisor: Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D. Department of Atmospheric Science, Graduate School of Chosun University

Analysis and numerical experiments of the development mechanism of a heavy snowfall happening in the Yellow Sea of the Korean Peninsula were carried out. Especially this study mainly focused on the impacts of mesoscale meteorological phenomena on a heavy snowfall and was intended to provide basic data in trying to reduce the concerned natural disasters.

Employed data to conduct the analysis were the synoptic charts provided by the Korean Meteorological Administration and the numerical data produced on the Numerical Weather Prediction Model(including synoptic meteorological observations, radiosonde data, satellite data, RDAPS, and two-dimensional sea surface temperature in the Yellow Sea).

Recordable heavy snowfall over Honam districts happened on December 21, 2005. Analyzed to understand the developmental structure of a heavy snowfall were the horizontal synoptic charts (500 hPa synoptic charts in the Northern Hemisphere, 850 hPa 24-hour temperature changes, and surface weather maps by the hours) and the patterns of ascents (500 hPa vorticity, jet streams of 300

hPa and 850 hPa, Gunsan wind profiler, and 21-day 00UTC 850hPa omega values). Several numerical experiments were also conducted using MM5 to examine the development of heavy snowfall cells according to the two-dimensional distribution of sea surface temperature. The changes of the intensity of snowfall convection cells were strongly associated with the two-dimensional distribution of sea surface temperature in the Yellow Sea.

As a result, the two-dimensional distribution of sea surface temperature in the Yellow Sea didn't work the formation of heavy snowfall cells directly. convection cells were developed in the Yellow Sea when the sea surface temperature was low. Although SST distribution was not predominate to make convection cell, it is strongly associated with the variation of snowfall intensity.

In the case investigated in the study, the heavy snowfall cells developed in the sea near the Honam region, which means that the snowfall considerably dropped in the inland areas. Thus it's critical to figure out two-dimensional water temperature in the Yellow Sea in estimating the amount of a heavy snowfall and predicting one in the Honam region. Since the water temperature gradient plays a crucial role in the coastal areas in the Honam region, the distribution of the water temperature gradient and precipitable water will make some of the major indexes to estimate the amount of a snowfall in the inland areas of the Honam region.

1. 서 론

지구온난화현상으로 인하여 전 세계적으로 집중호우, 대설 및 가뭄 등 기상이변이 빈번해지고 있으며, 기상변화는 복잡한 형태를 띠고 있어 기상이변에 대한 원인도 다양해지고 있다. 이러한 기상이변의 원인분석 및 예측기술 개발에는 고도의 첨단분석기법이 요구되고 있다. 특히 국지적인 특성이 고려된 기상재해를 집중분석하여 모형화 하고 정량화 하는 예측시스템의 개발은 방재기술 및 기상예측기술 개발을 위하여 매우 필요하다.

호남지역은 바다와 지리산으로 둘러싸여 난후기의 집중호우와 한후기의 폭설이 빈번히 발생하고 있어, 아시아 몬순의 범주에서 집중적으로 분석해야 할 필요성이 있다.

2005년 12월 21일과 22일 양일에 걸쳐 광주지방을 중심으로 한반도 서해안지역은 기상관측 이래 가장 많은 강설을 기록하였다. 일명 "눈 폭탄"으로 불리는 현상으로, 호남지방에 폭설이 시작되기 전 백령도에서부터 눈이 관측되기시작하였으나 양은 많지 않았다. 그러나 한기의 남하가 시작됨에 따라 군산을시작으로 호남지방 전역으로 대설이 확대되었다. 따라서 본 연구 기간 중에 발생한 대설은 단순한 시베리아 기단의 확장만으로 설명하기에는 부족하다. 일반적으로 대설이란 시간당 1~3 cm 또는 24시간 내에 5~20 cm 이상의 눈이 내리는 것을 통칭한다.

일반적 대설은 대륙과 해양의 온도차, 해상에서의 수증기 공급, 기단의 변질, 산악효과, 바람장에 의한 수렴효과가 큰 지역에서 발달한다. 특히 한반도의 경 우 3면이 바다로 둘러 싸여 있기 때문에 수증기의 이류효과가 크게 나타나고 특정 종관장에 의한 수렴 발산효과가 확연히 나타나기 때문에 한반도 서해안지 역은 강설현상이 빈번하게 일어난다(전종갑 등, 1994).

한반도 서해안 강설은 대부분 겨울철에 발달한 대륙성고기압의 차가운 공기가 상대적으로 따뜻한 해양 위를 이동할 때 생기는 해수온도와 대기온도의 차이에 의하여 주로 발생하며, 겨울철 풍상 측에 해양이 위치하는 호남지방의 경우 대설의 발생빈도가 대단히 높다(정영근, 1999; 정병주 등, 2005). 그리고 동

해안의 경우 남북으로 위치한 태백산맥이 있기 때문에 지형에 의한 차폐효과가 결정적인 요인으로 작용한다(이재규, 1999; 정관범, 2004; Byun *et al.* 2006). 그러나 이러한 한반도의 강설은 매우 강한 국지성을 띠고 있으며, 이러한 국지대설의 경우 복잡한 지형에 의한 영향으로 대설지역과 대설량을 정확히 예보하는 것은 매우 어렵다(전종갑, 1994; Lee and Park, 1996).

일반적으로 대설의 관측자료 분석을 통하여 해양 상에서 발달한 저기압 후면의 차가운 공기와 그 전면의 따뜻한 공기의 이류가 강설의 주요한 발달 기구이며, 그리고 전종갑 등(1994)은 1990년 한반도 전역의 대설 사례를 동역학적, 열역학적인 분석을 통하여 저기압의 발달에 해양에서의 열수송이 매우 중요한역할을 하고 있으며, 이들에 의한 이차 순환이 상승력을 배가시키는 것으로 분석하였다. 이러한 연구는 종관적인 분석을 통하여 호남지방 대설의 정도를 대략예측할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 그리고 대설과 같은 종관규모 기상현상은 기상상태에 따른 지형의 영향이 매우 크며, 영향의 강도는 풍향에 의하여 좌우되기도 한다(류찬수와 이순환, 2002; 류찬수 등, 2004). 종관자료를 바탕으로 보면 한반도의 동안과 서안의 강설 메커니즘은 차이가 있으며, 이 차이는단순한 해기 차와 그에 따른 저기압의 발생만으로 설명하기 매우 어렵다는 연구결과도 있다(정영근, 1999; 정병주 등, 2005; 기상청, 2006)

그러므로 본 연구에서는 한반도 서해안지역에서 기록적인 대설이 발생한 2005년 12월 21일의 사례일 을 통하여 사상최대의 대설발생일의 발생요인을 분석하고, 특히 중규모 기상현상이 대설에 미치는 영향을 살펴보고, 기존연구자료 및 본 연구에 생산된 자료를 바탕으로 재해저감을 위한 기초자료로 제공하고자한다.

2. 2005년 12월 발생한 대설의 발달 구조

2.1. 2005년 12월의 대설 사례

2005년 12월 21일, 22일 양일에 걸쳐 호남지방을 중심으로 관측사상 최대의 폭설이 발생하였다(Fig. 1, Fig. 2). 이 대설로 인하여 정읍 59 cm, 부안 47 cm, 광주 40.5 cm, 순천 32.2 cm, 등 10여개 관측지점이 12월중 일 최심신적설의 극 값을 경신하였다. 그리고 폭설, 풍랑피해로 2005년 12월 특별재난지역으로 선포된 호남지역 등 전국 8개시도 57개 시군구 지역의 피해복구비가 7,212억 원 정도로 추산되고 있으며, 기타 교통통제에 의한 인적·물적 피해를 합하면 피해액은 추산하기 어렵다. 그리고 67년만의 대설에 의한 뒤늦은 호남지방의 고속도로 통제에 의하여 고속도로 상에서 200대 이상의 차량이 고립되면서 소송이발생하였다. 대전지법은 2004년 3월 폭설로 인한 경부중부고속도로 고립 피해자 679명이 한국도로공사를 상대로 제기한 손해배상 청구소송에서 한국도로공사의 "고속도로설치 관리상의 책임이 인정된다"며 1인당 30만~60만원의 위자료를 지급하라고 일부 승소 판결한 예가 있다.

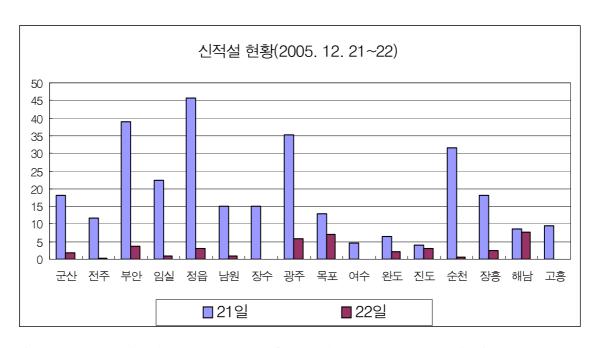


Fig. 1. Accumulated snow amount for 24 hours at Honam districts.

2.2. 관측자료 및 일기도 분석

본 연구는 호남지방의 대설이 발생한 2005년 12월 21일부터 22일의 기상청 종관 기상관측자료, 고층자료 그리고 기상위성자료를 바탕으로 분석하였다. 분석은 미국예보시스템연구소(Forecast Systems Laboratory: FSL)에서 제공한 LAPS 시스템(Local Analysis and Prediction System: LAPS)을 이용하였다. 기상관측장비의현대화를 통한 관측기술의 발달에도 불구하고 중규모 이하의 기상예보에는 아직도많은 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 기술의개발이 필수적이다.

연구에는 사용된 KLAPS는 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA)의 예보시스템연구소에서 개발한 국지규모 기상분석 및 동화시스템(LAPS)을 바탕으로 한국의 대기 및 지표 상태에 적용한 것이다. 이 LAPS 시스템의 레이더자료동화 모듈을 개량하여 한반도 남서해안에 적용하였다 (류찬수 등, 2005; 이순환과 원효성, 2005.; 이순환 등, 2006) 새로운 기상관측기기가 개발되고 이용됨에 따라 해석적인 차원에서 기상예보관련 연구자들에게 관측자료 가 제공되었다. 그러나 자료의 양이나 형태면에서 이를 분석하는데 방대한 시간이 소요되고, 공간적·시간적인 불연속체인 관측 자료를 예보연구자들이 정해진 예보 시간 내에 해석하여 내는 것은 어려웠다. 그러한 이유로 신속, 정확하게 현업예보 자들에게 제공할 수 있는 새로운 분석시스템이 필요하게 되었고, 단시간 내에 진단 적으로 매시간 meso- 규모의 분석할 목적으로 LAPS가 고안되었다. 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 분석에 는 사용하지 않았으나 재해석자료는 3차원 graphic user interface에 의하여 화상으 로 결과를 표출하고 있으며, 이것을 분석하여 현재 기상상태를 분석하는 것이 가능 하다.

그리고 진단모형인 LAPS의 물리 역학적으로 부족한 부분을 설명하기위하여 기상청에서 제공하는 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 자료를 분석에 사용하였다. RDAPS는 PSU/NCAR MM5를 기준으로 제작된 중규 모 기상모형이다. 이것은 1999년부터 00UTC와 12UTC의 결과치를 계산하는 현업 모형으로 2002년부터는 3DVAR를 적용하고 있다. RDAPS는 초기 노이즈 저감을 위하여 12시간동안의 4차원 자료동화와 3차 변분법을 적용하고 있다. 그리고 Reiser scheme을 구름복사과정과 같이 적용하여 구름물리를 설명하고 있다. 지표 면 경계층은 MRF 방법을 사용한다. RDAPS를 이용하여 현재 한반도 주변의 기상 장을 예측하고 있으며, 집중호우 및 기타 기상재해예방과 관련하여 RDAPS자료는 중요한 요소로 적용되고 있다.

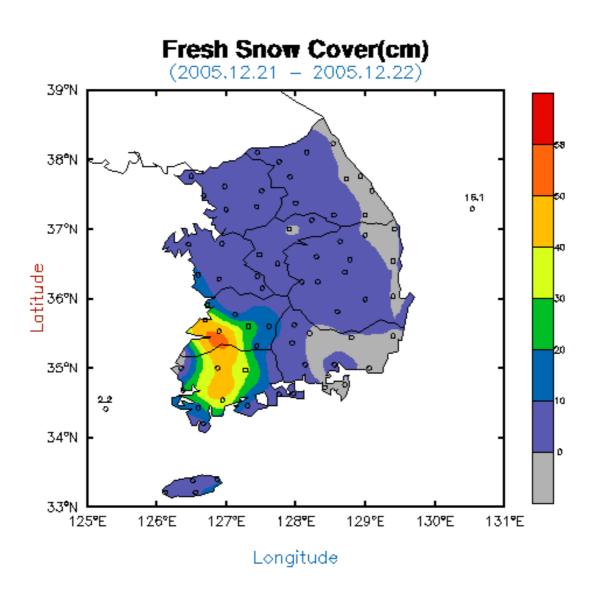


Fig. 2. Distribution of depth of fresh snow for 24 hours from 21 and 22 December 2005.

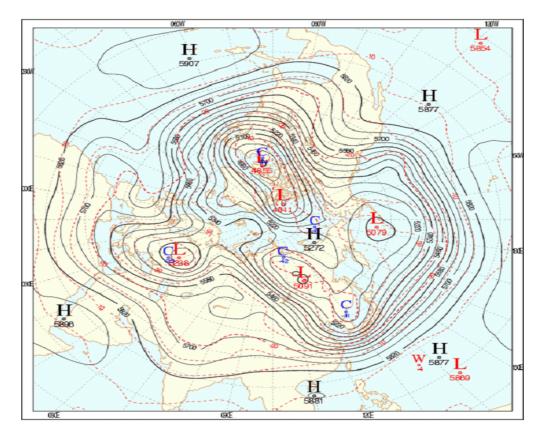


Fig. 3. Geopotential height distribution at 500 hPa in 12UTC 21 December 2005.

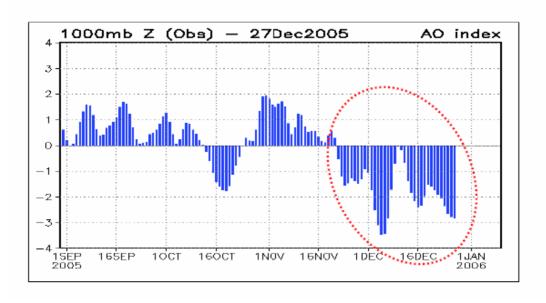


Fig. 4. Arctic Oscillation Index (AOI) from 1 September to 27 December 2005. Dotted circle indicates the correspondence of the end of December 2005 with heavy snowfall.

2.3. 수평일기도 분석

Fig. 3은 사례기간동안의 북반구 500 hPa 일기도를 나타낸 것이다.

북반구 500 hPa 일기도는 북극을 중심으로 상층에 3개의 장파가 형성되었고, 동아시아 부근에서는 북극으로부터 강한 한기가 중위도로 계속해서 뻗어 내려왔다.

이에 따라 시베리아부근에서는 찬 대륙고기압이 평년보다 일찍 강하게 발달하였다. 화북지방에 있는 기압골이 한기의 지속적인 영향으로 점차 접근함에 따라 기압골 전면에서 상승기류에 의해 대기가 매우 불안정 하다.

Fig. 4는 NOAA NCEP (National Center for Environment Prediction:미국기상 청)재해석 자료를 이용하여 나타낸 극진동을 나타낸 것이다.

2005년 12월 한 달간 극진동이 강한 음의 값을 나타낸다. 극진동이 음의 값을 나타낸 중위도지방의 강한 극기단에 의해 온도가 하강하고 상층편서풍이 남하하는 것을 의미한다. 그러므로 2005년의 한파는 Fig. 3에서 본 3개의 장파의 영향으로 나타난 것이며, 이것은 우리나라 뿐 아니라 북미, 유럽에서도 강한 음의 값을 나타낸다. 특히 시베리아기단은 음의 값이 평년에 비하여 대단히 높게 나타난다.

Table 1은 33년간의 한반도의 평균기온에 대한 2005년 12월의 기온변화를 나타 낸 것이다.

2005년 12월의 평균기온은 -2.0 ℃로 평년에 비하여 -3.7 ℃ 이상 낮으며, 최고 기온의 편차는 -4.3 ℃까지 나타난다. 이것은 극진동이 장기적으로 존재함에 따라 한반도의 기온이 평년에 비하여 낮게 나타난 것이다. 그러므로 극진동의 정확한 예측은 장기예보 측면에서 매우 중요한 동적인자이다. 그러나 현재의 예보능력으로 극진동의 정확히 예보하는 데 많은 어려움이 있다.

Fig. 5는 850 hPa고도에서 12월 20일 12UTC부터 24시간 기온변화를 나타낸 것이다.

먼저 대설 발생 전인 20일 12UTC 까지는 전체적으로 화북지방에서 제한적으로 기온감소가 나타난다. 화북지방에서 최대 10 ℃의 기온 하강이 나타났다. 그러나 21일 00UTC에 한기 핵의 세력이 급격히 강화되면서 남동진하였다. 이때 한기 핵의 일부가 한반도로 접근하였고, 21일 12UTC에 한기 핵의 일부가 한반도 서해안에 도착하면서 대설이 발생하였으며, 그리고 일부는 동중국해로 빠져나갔다. 결국시베리아기단의 발달한 한기 핵이 남동진하여 상층의 기온하강이 나타남을 알 수 있다. 그 후 대설이 소강상태로 접어들면서 한기 핵은 동중국해로 빠져나갔다.

Table 2는 광주지방 상층관측에 의해 나타난 고도별 기온과 850 hPa의 RDAPS 기온의 시간변화를 나타낸 것이다.

대설발달 전인 20일은 500 hPa 고도의 기온이 -23 ℃로 큰 변화가 없다. 그러나 대설이 발달하며 한기가 남하는 21일의 경우 -30 ℃ 이하로 떨어지며 12UTC에는 최대 -38.1 ℃ 까지 하강한다. 그러나 하층의 경우 상층만큼 하강을 보이지는 않는다. 그러므로 상하층간의 온도 불균형은 대기 불안정을 강화시켜 호남지방의 대설을 유도하였다고 볼 수 있다.

Fig. 6은 시간대별 지상일기도의 변화를 나타낸 것이다.

2005년 12월 20일 12UTC 지상일기도에서는 바이칼호 남쪽에 중심을 둔 찬 대륙고기압 세력이 점차 영향을 미치고 있고, 동해북부 해상에 약한 기압골이 형성되어 있는 가운데 서해상의 기압경도력 강화와 북쪽으로부터 지속적인 한기 유입으로 인한 대기불안정과 해기차에 의해 형성된 눈구름의 유입으로 폭풍과 대설현상이 예상되었다. 21일 지상일기도에서는 화북지방에 중심을 둔 찬 대륙고기압이 점차 접근하고 동해상에는 저기압이 형성되어 서고동저형의 기압배치에서 기압경도력에 의해 점차 강풍을 동반한 많은 눈이 내렸다. 22일 지상일기도에서는 찬 대륙고기압이 점차 약해지고 동해상에 있는 저기압이 동진하면서 폭설과 강풍 현상이점차 약화되었다.

한반도 주변의 상세한 기압분포를 확인하기 위하여 1 hPa단위의 기압장을 나타 낸 것이 Fig. 7이다. 앞에서와 같이 시베리아기단의 강한 유입은 대설을 일으키는 주요한 요인이다. 그러나 Fig. 6에서는 나타나지 않으나 Fig. 7에서는 대설이 발달하기 전인 20일 21UTC에 호남지방에 가까운 서해안에 약한 열적저기압이 형성되는 것을 볼 수 있다. 시베리아기단이 강화되는 전면에서 나타나는 것으로 종관규모인 시베리아기단에 비하여 매우 세력이 작은 중규모적인 운동에 의하여 형성된 것이다. 이러한 시베리아기단 전면의 중규모 열적저기압은 한반도 해상에서 하층수렴을 강화시키는 역할을 한다. 20일에 발생한 국지 열적저기압은 대설이 발생을 시작한 20일에는 한반도 쪽으로 이동하며, 공간적인 규모가 축소된다. 대설이 최성기를이루는 21일 06UTC 이후에는 거의 사리지는 것을 볼 수 있다. 이것은 비록 소규모이지만 대설이 발생하기 전에 국지적인 열적저기압이 발생하며, 이것은 서해상에서 공기를 상승시키는 요인으로 작용한다. 이러한 열적 저기압이 생성되는 원인은따뜻한 공기가 남서해안으로부터 유입되고, 상층의 제트기류가 한반도 호남지방의상공을 지나가기 때문이다.

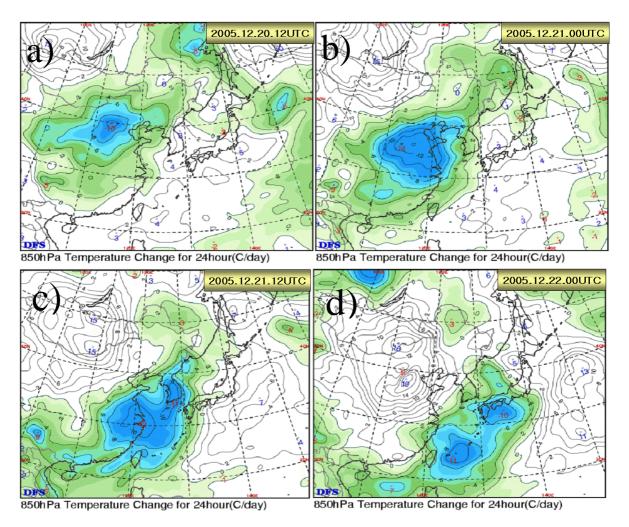


Fig. 5. Temperature change at 850 hPa for 24 hours from 12UTC a) 20 and d) 22 December 2005. Color shading indicate the area of temperature decrease for 24 hours. The interval of contours is 2 K.

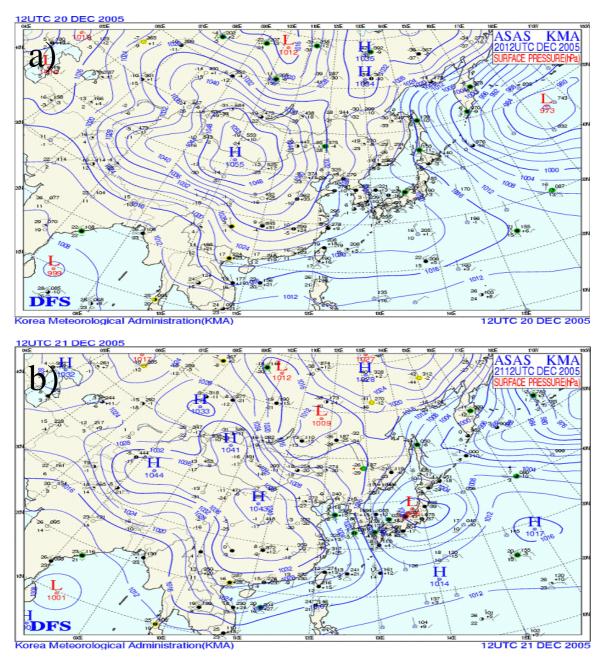


Fig. 6. Surface synoptic chart for 12UTC a) 20 and b) 21 December 2005. Wind intensity over Yellow Sea become strong on 21 December 2005 and wind direction is also changed due to the change of pressure fields.

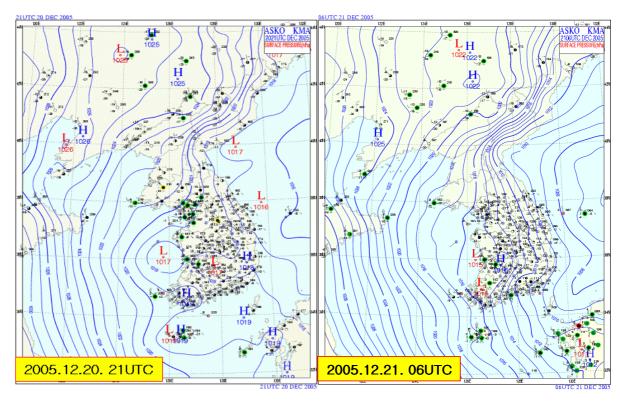


Fig. 7. Surface pressure distribution at 21UTC 20 and 06UTC 21 December 2005.

Table 1. Temperature pattern of December 2005 in comparison with other years.

Period	T_{mean} (°C)	Difference of	Difference of	Difference of
renod		T_{mean} (°C)	T_{lowest} (°C)	$T_{highest}$ (°C)
1st ten days	0.4	-2.7	-2.4	-3.5
2nd ten days	-3.8	-5.2	-5.5	-5.6
3rd ten days	-2.9	-3.3	-3.6	-3.7
Monthy mean	-2.1	-3.7	-3.8	-4.3

Table 2. Temperature change on three days at three different levels. Thick broad indicate the temperature at maximum intensity of snowfall.

Date	20 Dec.		21 Dec.		22 Dec.	
Time(UTC)	00	12	00	12	00	1 2
Surface	-7.7	2.0	-6.7	-3.9	-4.3	1.0
850 hPa	-8.5	-6.3	-13.1	-14.5	-5.7	-
500 hPa	-23.7	-23.5	-33.9	-38.1	-33.1	-
GDAPS (850 hPa)	-6.0	-7.0	-10.0	-15.0	-13.0	-10.0

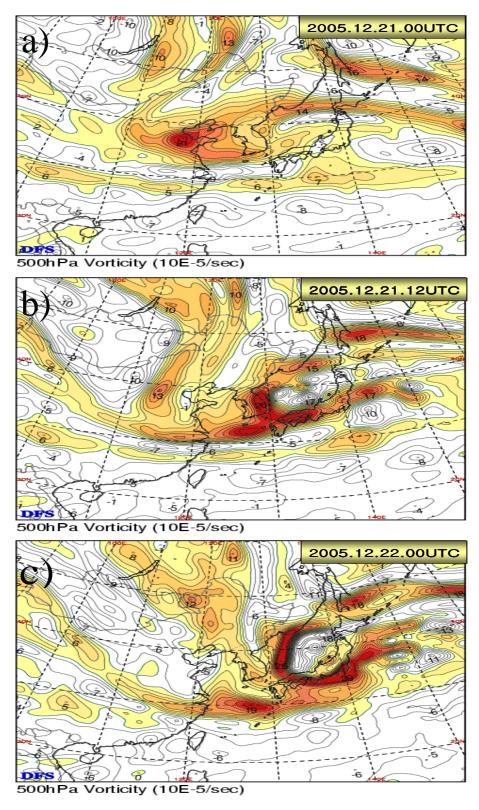


Fig. 8. Time evolution of vorticity distribution at 500 hPa from 00UTC 21 December with 12 hours.

2.4. 상승류 패턴 분석

Fig. 8은 상승류의 강도를 분석하기 위하여 500 hPa의 와도를 12월 21일 00 UTC부터 12시간 별로 나타낸 것이다.

대설이 발달하기 전인 21일 00UTC의 경우(Fig. 8a) 산둥반도 부근에서 강한 양의 와도가 나타난다. 이러한 양의 와도는 강한 상승류를 가진 저기압성 흐름이 강화되고 있는 것을 의미한다. 그리고 그 일부가 호남지방에 접근하고, 12시간 후인 12UTC에는 양의 와도 중심이 한반도 중앙부에 위치하여 일본 큐슈와 동중국해 쪽으로 와도 축을 형성하고 있다. 이때 한반도 전체와 남해안지역에 강한 상승이 나타나며, 호남지방을 중심으로 한 남부지방에 대설이 발생하였다. 22일 00UTC에 와도의 중심이 일본과 동해안에 위치하며, 한반도지역의 상승강도 역시 감소한다.

Fig. 9는 21일의 300 hPa와 850 hPa의 제트기류를 나타낸 것이다.

300 hPa 고도의 제트기류는 최대풍속이 100 %정도로 매우 강하게 나타난다. 제트기류는 일본 큐슈 상공에 위치하고 있다. 850 hPa의 하층제트는 20 % 풍속 이였으며, 중심역이 한반도의 서해상에 위치하고 있다. 이 두 제트기류가 한반도 서해안을 중심으로 거의 동일한 위치에 나타난다. 특히 12UTC의 경우 두 제트기류의 중심이 거의 일치하고 있다. 즉 21일 00UTC에 중국 동쪽의 상·하층제트가 합류한다. 이렇듯 상하층 제트의 결합이 상승기류를 더욱 강화시키는 것이다. 제트기류의 중심이 남해상에 위치하기 때문에 남해상에서 상승이 강화되며, 해상에서 강풍역이 증가한다. 이러한 상승효과는 앞 절에서 설명한 한반도 호남지방의 국지적인 저기압 생성과 밀접하게 관련되어 있다.

국지적인 상승변동을 파악하기 위하여 대설이 발달한 21일의 레이더자료를 분석하였다. Fig. 10은 군산기상에서 관측한 windprofiler의 관측 자료를 나타낸 것으로수평 바람장과 연직속도를 나타낸다. 바람장은 오전 10LST 이전에는 3 km 이하의모든 층에서 북풍이 강하게 작용하고 있으며 연직상승속도가 50 cm/s이하로 작게나타난다. 그러나 10LST부터 풍속이 강해지며, 상층으로 갈수록 서풍성분이 강해진다. 이것은 상층에서의 강한 한기유입을 의미한다. 그리고 11LST에는 상층이류의 강도가 강화되었으며, 전체적인 상승속도가 100 cm/s 이상인 구역이 나타난다. 그러나 12LST가 되면서 전체적인 이류와 상승속도가 감소하지만 다시 오후가 되면서 3 km 이하 고도에서 상승강도가 커졌다. 이것은 두개의 국지적인 강한 상승세포가 통과하였고 이러한 상승세포가 대설을 유도하였음을 의미한다.

Fig. 11은 대설이 발달하기 전인 21일 00UTC의 850 hPa에서 계산된 오메가 값과 풍향을 나타낸 것이다.

한반도 서해안지역에 강한 오메가 값을 가진 선상의 수렴대가 나타나고 있다. 이 수렴대를 중심으로 저위도 쪽에서는 강한 남동기류, 고위도 쪽에서는 강한 북서 기류가 유입되고 있다. 남동기류는 따뜻한 온도를 가지고 있는 기류로 한반도 남서 해안지역의 온위를 증가시키고 동시에 수증기를 공급하는 역할은 한다. 북쪽의 찬 공기가 유입되고 있으며 이들이 서해상에서 부딪치고 있다. 그리고 시간이 지남에 따라 수렴의 중심은 한반도 서해안으로 이동하며, 이때 강한 대설이 발달하였다.

Fig. 12는 수치모의에서 모의한 북서풍의 유입축을 자른 오메가의 단면도를 나타낸 것이다.

대설이 강하게 발생하는 06UTC에 서해상의 강한 상승기류가 나타나는 것을 볼수 있다. 반면 내륙의 경우 강한 하강기류를 모의하고 있다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 같이 00UTC의 수렴대가 서해상으로 이동하여 호남지방의 강한 대설을 발달 시켰다는 것을 의미하며, 강설이 잦아드는 12UTC의 경우 서해상의 상승류가급격히 작아지고 있음을 볼 수 있다.

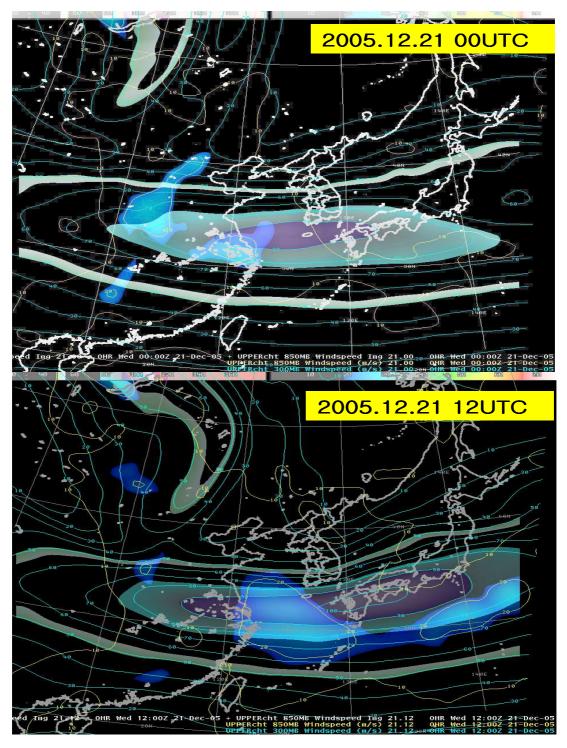


Fig. 9. Wind speed distribution at 300 hPa and 850 hPa for 00UTC (upper) and 12UTC (lower) 21 December 2005.

Horizontal Wind + Vertical Wind | Time Res.: 10 min | Height Res.: 72 m 5.5 5.0 5.0 4.5 4.5 4.0 4.0 3.5 3.5 Height (km AGL) 3.0 3.0 2.5 2.5 2.0 2.0 1.5 1.5 1.0 1.0 0.5 0.5 0.0 12:00 Time (KST) 09:00 21-Dec-2005 15:00 14:00 13:00 11:00 10:00 21-Dec-2005 [Unit : cm/s] -700 -650 -600 -550 -500 -450 -400 -350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 300

GUNSAN Lat.:36 Lon.:126.75 Elev.:26.93 m

Fig. 10. Time evolution of the observational horizontal wind and vertical wind speed by windprofiler located at Gunsan. Color Shade indicate the intensity of vertical wind speed.

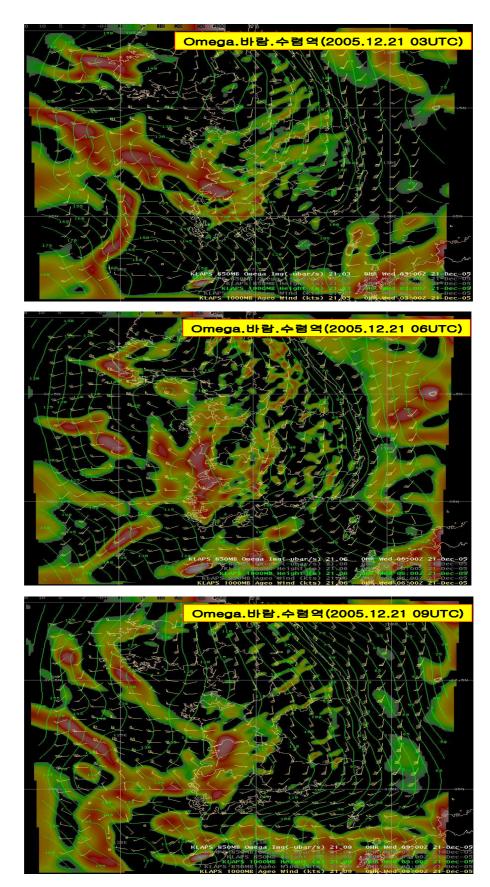


Fig. 11. Time evolution of Omega values, wind, and convergence over the Korean Peninsula from 03UTC 21 with 3 hours interval.

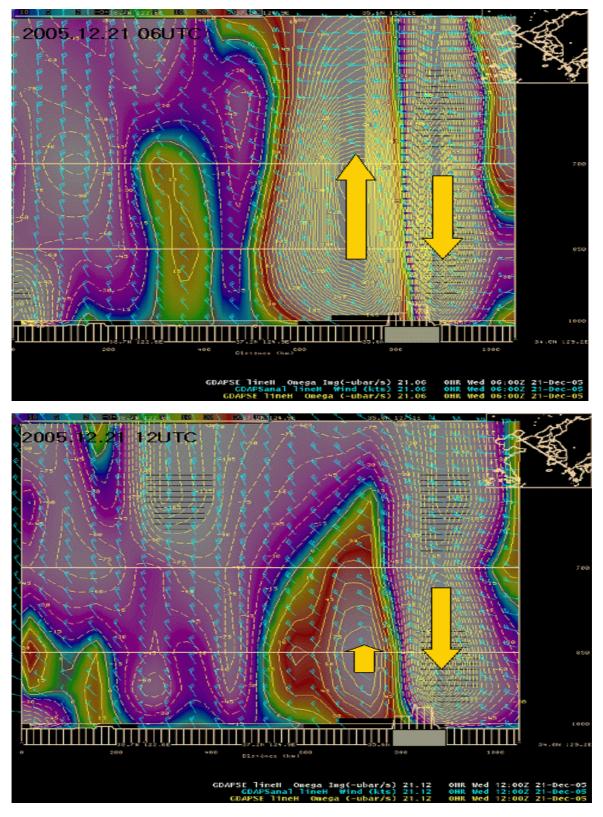


Fig. 12. Vertical distributions of omega values and wind at 06 and 12UTC 21 December 2005. Cross section lines show right upper part of each figures and arrows indicate the intensity of vertical wind energy.

3. 해수면 온도 2차원 분포에 따른 발달구조 변화

한반도 서해안지역의 대설은 서해상의 대기/해양의 상호작용에 의한 열적인 현상과 밀접하게 관련된다. 겨울철 시베리아지역에서 강한 복사냉각에 의하여 발달한 강한 한기가 동아시아지역으로 장출하면서 서해상에서는 강한 대기/해양의 온도차가 발생한다. 이러한 강한 해기차는 대설세포를 발달시키는 주요한 요인이 된다. 이러한 대기/해양의 온도차에 의한 대설세포 발달은 이미 많은 대설사례 연구를 통하여 알려져 있다(Nagata, 1993; Ninomya, 1996, 2006; Yoshizaki, 2004). 그리고 지형에 의한 수분의 수렴과 이들에 의한 상승류의 형성에 관한 연구도 많이 이루어져 왔다(Olson et al., 1995; Lee and Lee, 1994; Lee and Lee, 2003; Jung et al. 2005; Cheong et al., 2006).

그러나 많은 연구에도 불구하고 서해상의 2차원적인 SST분포가 대설에 미치는 영향에 관한 연구는 별로 수행되지 않았다. 이는 서해상에서는 항상 구름이 존재할 가능성이 높으며, 이러한 구름분포는 정확한 SST의 추정을 어렵게 만든다. 그러나 최근 발달한 인공위성 관측기술에 의하여 구름분포에 상관없이 매일의 SST분포를 산출할 수 있다. 따라서 서해 해수면 온도의 2차원적인 분포가 호남지방 대설에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 수치실험을 실시하였다.

3.1. 수치모형

본 연구에서 사용된 MM5 (Fifth Generation NCAR/Penn Stat Mesoscale Model)모형은 펜실베니아주립대학의 Anthes에 의하여 개발된 중규모수치 모형을 기초로 제작되어 펜실베니아 주립대학과 NCAR에서 개선과정을 거친 3차원 대기역학모형이다(Rogers and Fritsch, 2001; Romero and Doswell, 2000, 2001; Rutiano and Ferretti, 2001; Guo et al., 2003; et al., 2007a,b). 이 모형은 현재 세계적으로 연구 및 현업에 많이 이용되는 수치모형의 하나이다. 본 모형의 특징은 i) 다중네스팅 능력, ii) 비정역학, iii) 4차원동화시스템 즉 다양한 외부입력자료이용, iv) 여러 가지 계산기에의 적용성, v) 다양한 물리과정옵션 등을 들 수 있다(Dudhia, 1993; Grell et al., 1995; Dudhia et al., 2002).

Fig. 13은 MM5의 계산과정을 간략히 모사한 것이다

MM5에 사용되는 연직좌표계는 지형고도에 따른 sigma-P(-P)좌표계이다. 본 좌표계는 지표면에서는 지형고도를 따르는 기압을 기준으로 하고, 상층으로 갈수록 평형을 이룬다. 연직 sigma-P는 아래와 같이 정의되어진다.

n - n. (3.1)

 $\sigma = \frac{P - Pt}{\Phi}$ 여기서 는p강합을 의미하고, 는 각각 지표면과 모형의 최상층의 기압을 나타낸다. P P_t, P_s

식(3.1)과 Fig. 14에서 보는 바와 같이 각 고도의 기압은 무차원 의 값으로 환산되고, 이들 의 값이 MM5의 연직좌표계를 이룬다. 지표에서는 의 값이 0 이며, 최상층은 1로 정의된다. 일반적으로 지표경계층 내의 대기현상은 공간규모가 작기때문에 지표면에 9가까운 층을 고해상도로 정의한다.

MM5에 사용되는 수평좌표계는 Arakawa-Lamb B-staggered 좌표계이다. 이 좌표계는 온도, 비습, 기압 등 스칼라변수와 연직속도는 각 격자의 중심에서 정의되고, 수평풍속성분(동서, 남북성분)은 격자점에서 정의되어진다.

실제 모형의 좌표계 구성이 기초방정식계 차분화에 깊이 관련되어있다. 즉 어떤 위치에 정의되어있는 요소의 경도와 평균치를 이용하여 차분화 할 것인가에 따라 결과치가 달라진다.

중규모 모형의 경우, Arakawa-B와 C 격자가 많이 적용되고 있다. Arakawa-B 좌표계는 일반적으로 중규모모형에서 사용되는 Arakawa-C 격자보다 적분시간을 길게 설정할 수 있어서 연산 량과 계산시간을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Arakawa -Lamb B-staggered를 채택하였다.

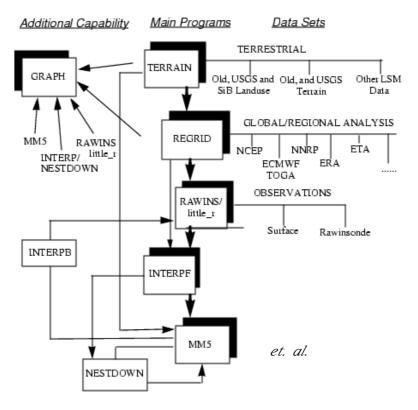


Fig. 13. The MM5 modeling system flow chart (Dudhia , 2000).

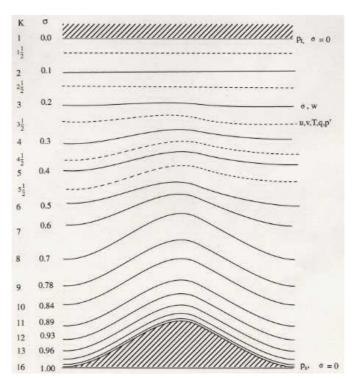


Fig. 14. Schematic representation of the vertical structure of the model. The example is for 15 vertical layers. Dashed lines denote half-sigma levels, solid lines denote full-sigma levels(NCAR, 2000).

3.2. 수치실험 설계

Fig. 15는 본 연구에서 사용한 수치실험의 영역을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 3개의 둥지격자를 적용하였다. 제 1영역은 90 90개의 수평격자를 가지고 있으며, 각 격자의 해상도는 16 km 이다. 이 영역은 1200 1280 km 의 영역으로 한반도 전체를 포함한 동아시아영역에 해당한다. 제 2영역은 격자 간 X 격이 6 km 이며 112 112의 격자수를 가진다. 이 영역은 한반도와 서해가 여기에 해당한다. 제 3영역은 격자간격이 3km 이며 총 142 136의 격자수로 호남지역과 그 연안을 포함한다. 그리고 수치실험에 적용한 모형의 물리특성은 Table 3에 나타냈다. 초기치와 경계치는 미국기상청(National Center for Environment Prediction: NCEP) 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 제 2영역의 결과를 위주로 분석을 실시하였다.

Table 3. The configuration of numerical model MM5.

domain	domain 1	domain 2	domain 3	
grid size	16 km	6 km	3 km	
domain size	90×90	112 × 112	142 × 136	
vertical size	33 layer (model top : 100 hPa)			
cumulus scheme	Grell none			
explicit moisture scheme	Mixed-Phase(Reisner)			
planetary boundary layer	MRF			
soil model	5 layer soil temperature model			
radiation	interaction cloud and clear air			
shallow convection	On	Off		
topo/landuse data	30sec USGS	30sec USGS / 3sec DEM		
initial data	Assimilated by LAPS			
lateral boundary	MM5/KMA(30km)	mother domain (1 way nesting)		
prediction length	72 hour			

습윤물리과정은 16 km 영역에서만 10~30 km 격자에 적합한 GRELL 적운모수화 방안과 Mixed-Phase(Reisner) 명시적 습윤물리 과정을 적용하였으며 9 km, 3 km 영역에서는 Mixed-Phase(Reisner)만 적용하였다. 현재 적운모수화 방안은 10~20 km이상 격자에서는 적극적으로 사용하며 3 km 이하 격자에서는 사용하지 않는 것이 일반화되어 있으나 이 사이 구간이 3~10 km 구간에서는 아직 명확한 권고 기준이 제시되고 있지 않다(Dudhia, 1999). 현재 MM5는 20~30 km 격자체계에 적합한 적운모수화 방안만 지원하고 있어 9 km 영역에서는 적운모수화 방안을 적용하지 않았다. 경계층 물리과정은 MRF(Hong and Pan, 1996), 지표물리과정은 5층 토양모형을, 복사과정은 구름-복사 상호작용을 적용하였다. 겨울철 따뜻한 바다 위에 찬공기가 존재하는 환경에서 과다한 대류발생으로 강수가 너무 자주 발생하는 현상을 억제하기 위하여 27 km 영역에서만 비강수 구름을 모의하는 천층대류를 적용시켰다. 이 결과 겨울철에 빈번한 강수발생이 어느 정도 해소되는 결과를 보였다.

경계값 및 자료동화에 필요한 초기 추정값 자료는 기상청에서 정규적으로 운영되는 MM5/KMA를 사용하였다. MM5/KMA는 기상청에서 공식적으로 운영되는 지역수치예측모델로 MM 5세대 모델을 기반으로 하여 수평해상도가 30 km, 연직으로 33층으로 구성된 정수계 모형이다.

서해상의 2차원 해수면온도는 NGSST (Next Generation Sea Surface Temperature) 자료를 바탕으로 작성되었다. NGSST는 NOAA 위성의 AVHRR과 MODIS의 적외선 관측자료와 AMSR-E의 가시관측 자료를 바탕으로 작성된다. 최종적으로 0.5도의 격자간격으로 구름이 제거된 1일의 동아시아 전체의 해수면온도 자료를 생산한다. 위성자료 및 자료처리상에서 발생하는 오차는 해안 근처의 부이자료와 상선 등에 의한 실제 관측자료에 의해서 보정된다. 그리고 이들 자료는 185개의 부이자료와 실제 비교 연구를 통하여 자료가 검정되었다(Kawai and Kuwagata, 2003; Hosoda and Kuwagata, 2004; Guan and Kuwagata, 2004).

본 연구에서는 해수면온도의 2차원적인 분포가 호남대설에 미치는 영향을 파악하는 것으로 다양한 형태의 해수면 온도를 대상으로 수치실험을 실시하였다. 일반적으로 수치실험에 사용되는 해수면온도 자료는 기후치를 사용하거나 구름이 제거된 자료를 얻기 위하여 15일 정도의 위성자료를 중첩하여 작성된 해수면온도 자료를 사용하게 된다. 그러나 이러한 해수면온도 자료를 실제의 해수면 정보를 왜곡할

수 있다. 즉 서해는 바다의 깊이가 매우 얕고 조석의 영향이 다른 바다와 달리 매우 크기 때문에 해수면의 온도가 매우 급하게 변하는 경향이 있다. 특히 겨울철의경우 갯벌 등에 의한 지표면의 열적인 에너지가 해수에 영향을 미친다. 그러므로15일 이상의 해수면 온도의 중첩은 실제의 해수면 온도를 반영하지 않을 가능성이었다. 그러므로 본 연구에서 사용된 NGSST는 매일의 해수면온도를 반영하기 때문에 이러한 오차를 발생할 여지가 작다.

Fig. 16은 본 연구에서 사용한 해수면분포를 나타낸 것이다.

대설이 발생한 2005년 12월 20일을 중심으로 10일 간격으로 각각 12월 10일, 30일 그리고 2006년 1월 10일의 해수면 온도를 사용하였다. 이를 바탕으로 해수면 자료 : 2005년 12월 10일 (case SN_1210), 20일 (case SN_1220), 30일 (case SN_1230), 2006년 1월 10일 (case SN_0110) 인 총 4가지 수치실험을 실시하였다.

먼저 12월 10일의 해수면 분포를 보면 서해의 서쪽인 중국 해안지역의 온도는 12 이상으로 높게 나타난다. 그러나 12월 20일이 되면 급격하게 낮아진다. 반면 호남지방의 해안역에서도 해수면온도가 낮아지지만 하강정도가 중국역의 해안보다는 정다. 12월 30일이 되면 중국 측 해안의 경우 5 이하로 떨어지는 곳도 나타나고 있으나 서해의 동안부는 10 이상을 유지한다. 그리고 2006년 1월 10일이되면 서해 전역이 10 이하를 나타낸다. 이는 서해의 서안부가 먼저 온도가 하강하고 동안부는 시간차를 가지고 온도가 낮아지는 경향을 나타낸다. 대기의 종관적인 상태는 대설이 발달한 2005년 12월 20월을 공통적으로 적용하고 해수면 분포를 달리하여 이들이 대설발달에 미치는 영향을 분석하였다.

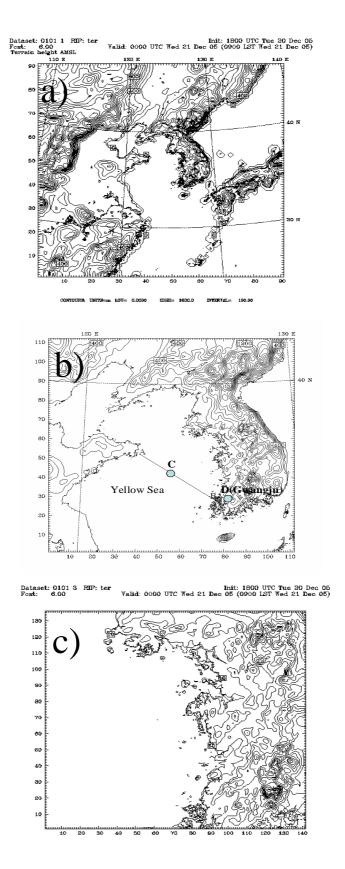


Fig. 15. Simulated domains and their topography with intervals of a) 16 km, b) 6 km, and 3 km. Line A-B in b) use for cross section analysis and points C and D indicates the location of vertical analysis. Line A-B is almost parallel to the synoptic wind, resulting in a snowfall cloud.

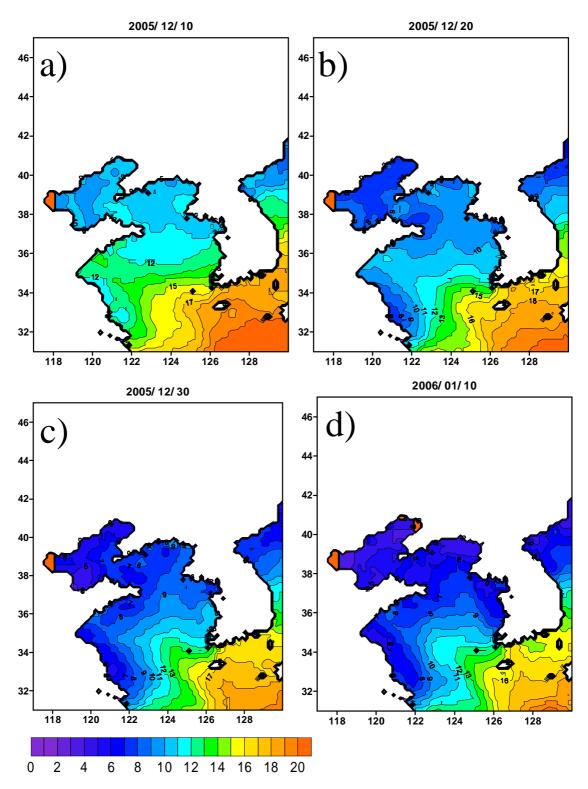


Fig. 16. Distribution of the daily NGSST on the Yellow Sea for a) 10, b) 20, and c) 30 December 2005 and d) 10 January 2006. The unit of the SST is Celsius with a 1 K interval.

3.3. 대설세포의 시간적 변화

대설이 발생한 2005년 12월 21일의 해수면 자료를 적용한 경우 (case SN_1220) 의 대설세포 발달의 시간적 변화를 살펴보았다.

Fig. 17은 2005년 12월 21일에 형성된 3시간 누적적설량의 시간변화를 나타낸 것이다.

각각 a) 12LST, b) 15LST, c) 18LST, d) 21LST의 강설량을 나타낸다. 서해상에서 발달한 대설세포는 종관 바람을 타고 한반도로 접근한다. 이때 두개의 주요한대류세포가 나타난다. 하나는 서해를 가로지르는 세포이며 다른 하나는 서해안의해안선에 평행한 것이다. 서해를 가로지르는 세포는 대기/해양의 상호작용에 의한 것이며, 다른 하나는 한반도 해안지형에 의한 강제력에 의한 것이다. 즉 한반도에발생하는 대설의 주요한 요인은 이들 대기/해양 상호 열 교환과 지형강제력이라는 것을 의미한다.

12LST에 가장 큰 대류세포는 서해의 중심부에 위치하며, 시간이 경과함에 따라 호남지방으로 접근한다. 그리고 15LST에 앞에서 나타난 두개의 대류세포가 호남지방에서 결합되어 강한 대류 세포가 형성된다. 이렇게 형성된 대류세포는 21LST까지 거의 6 시간동안 호남지방에 정체한다. 이때 강한 대설이 발생하며 24시간 대설발생분포를 나타낸 Fig. 1의 분포와 비교할 때 매우 유사하게 나타난다.

Fig. 18은 레이더와 MTSAT 위성에서 관측한 대설 당일 15시의 구름사진을 나타낸 것이다.

두개의 대류세포가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 대류세포의 위치와 강도는 SN_1220에서 계산된 신적설의 분포와 유사하다고 판단된다. 그러므로 본 연구의 계산 결과는 일정정도 신뢰성을 갖고 있다고 판단된다.

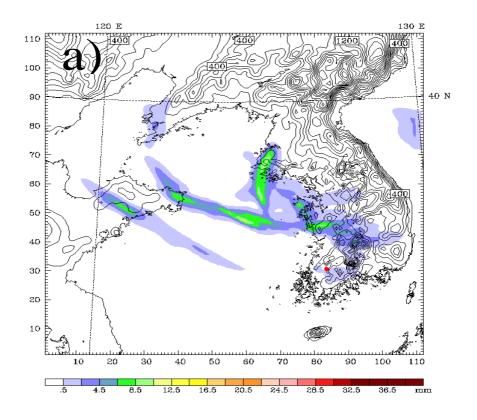
Fig. 19는 서해를 가로지르는 직선 A-B (Fig. 15)의 연직 단면상에서 나타난 발산장을 12시부터 3시간 간격으로 나타낸 것이다.

직선과 점선은 각각 수렴과 발산을 나타낸다. 먼저 12시에 서해의 중앙부 4 km 상공에 약하게 수렴이 발생한다. 이러한 수렴은 종관기류에 의한 강한 냉기이류에 의한 것으로 보인다. 그러나 나머지 지역에서는 뚜렷한 수렴 또는 발산이 나타나지 않는다.

15시가 되면서 전 지역대상에서 수렴과 발산이 활발해지는데, 고도 3~4 km 부근에서 강한 발산이 나타난다. 이 지역은 이전 시간대에 약한 수렴이 발생한 지역

이다. 그리고 3 km 이하의 고도에서는 반대로 강한 수렴이 나타나고 있다. 이러한 분포는 해상뿐 아니라 육상에서도 볼 수 있다. 이것은 이전 시간대의 강한 냉기이류에 의하여 서해 상공에 강한 한기가 축적됨에 따랄 나타난 것이다. 이렇게 축적된 서해상의 한기는 상대적으로 높은 온도를 가진 서해의 해수면과의 열적인 상호 작용을 하게 된다. 즉 대기/해상의 온도차에 의하여 대기가 불안정하여지면서 상승류가 발달한다. 이때 하층에서는 수렴을 하며 상층에서는 발산을 하게 된다. 그리고 이때 잠열과 현열의 이동에 의하여 상층에서는 대규모의 눈구름이 형성되게 된다. 반면 육지의 경우는 열적인 요인이 아닌 지형에 의한 강제적인 상승에 의한 것으로 보인다. 18시가 되면 해양상의 활발했던 수렴과 발산은 약화된다. 그러나 육지에서의 수렴과 발산은 전 시간에 비하여 강도는 약화되었지만, 해양상과 비교하면 아직도 그 세력 을 유지하고 있다. 그러나 전체적으로 시간이 경과함에 따라 수렴 발산의 강도는 약화되고 있다.

따라서 해양상의 수렴·발산에 의한 대류세포와 육상의 대류세포는 그들을 제어하는 요인에 차이가 있다고 볼 수 있다. 해양상의 경우 대기/해양의 온도차에 의한 불안정이 대류세포를 생성시키며, 육지의 경우 지형에 의하여 대류세포가 형성된다. 이러한 지형강제력에 의해 형성된 대류세포의 수명은 상대적으로 해양상에서 발달한 대류세포보다는 길게 나타난다.



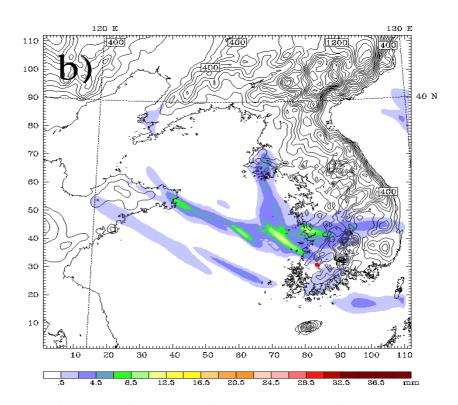


Fig. 17-1. Distribution of the snowfall accumulated for three hours over the Korean Peninsula at a) 12LST, b) 15LST, c) 18LST, and d) 21LST 21 December 2005.

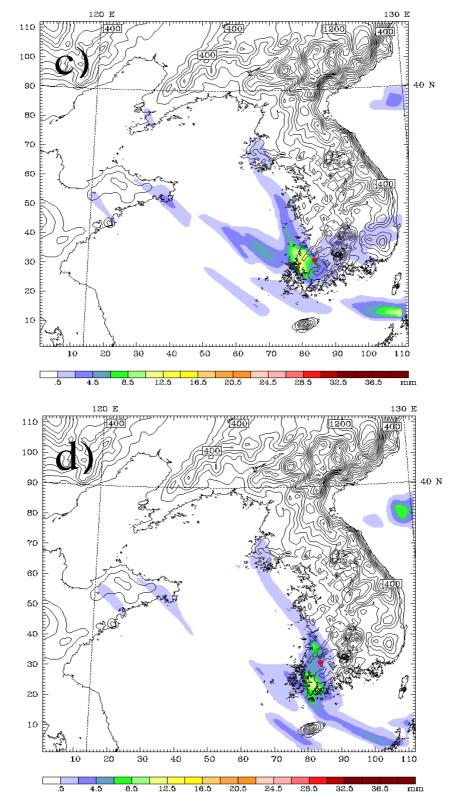


Fig. 17-2. Continued.

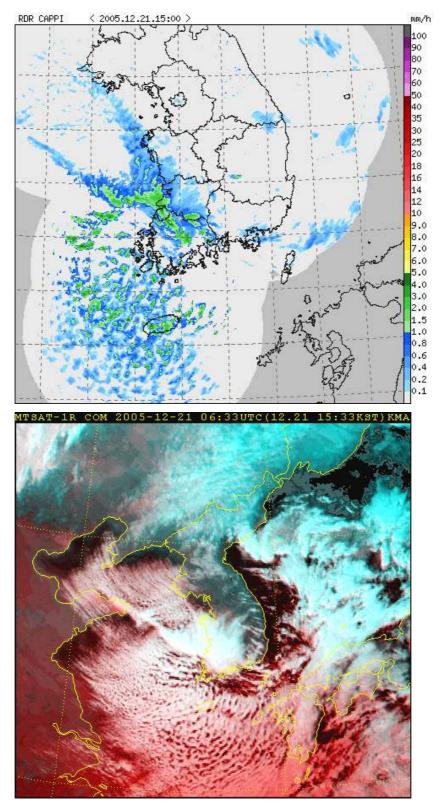


Fig. 18. Satellite image observed by Radar and MTSAT and at 15 LST 21 December 2005.

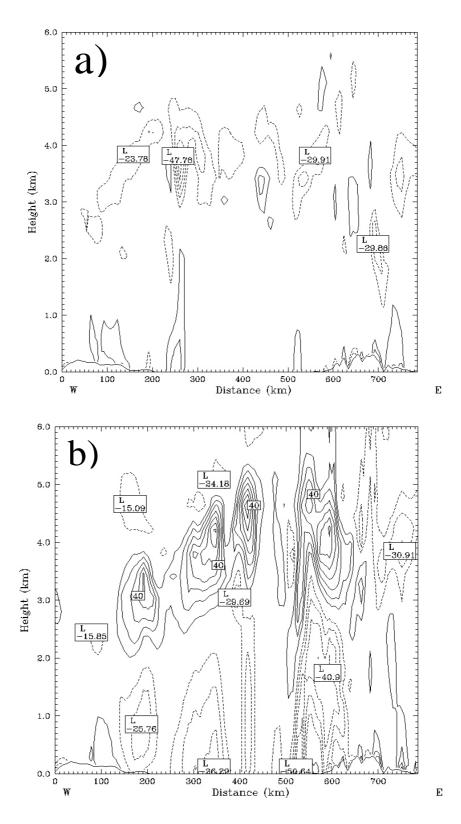


Fig. 19-1. Time evolution of the vertical cross section of the diversion along line A-B shown in Fig. 15 from 12LST with a 3-hour interval. The solid and dashed lines indicate the conversion and diversion, respectively. The labels with a box show the maximum and minimum values in the same limited area.

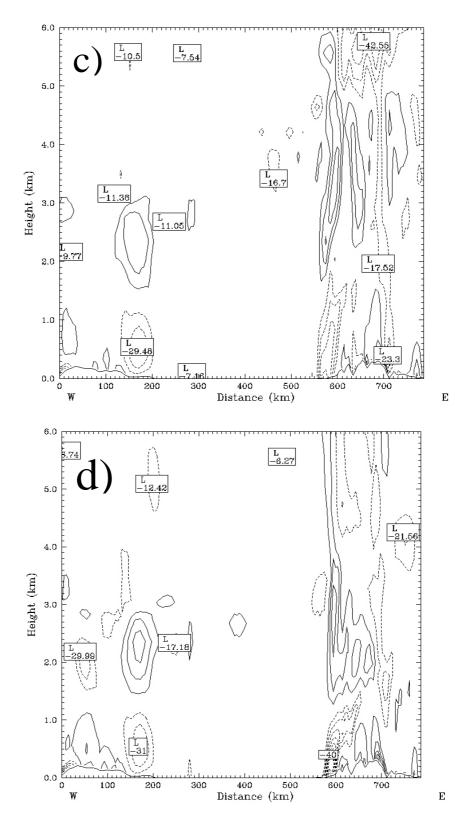


Fig. 19-2. Continued.

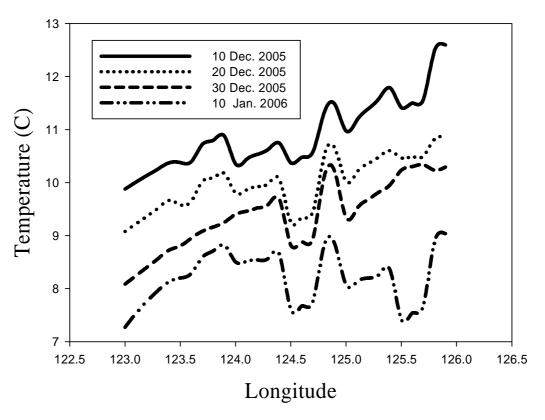


Fig. 20. SST along line A-B in Fig. 15 for the simulations of 4 cases.

3.4. 해수면온도의 2차원 분포에 따른 영향 분석

먼저 본 연구사례의 해수면 온도 분포 특성을 살펴보았다.

Fig. 20은 네 가지 다른 해수면온도를 가진 수치실험에 사용한 A-B 선상의 해수면 온도를 나타낸 것이다.

일반적으로 서해상의 해수면온도는 12월부터 온도가 감소한다. 그리고 전체적인 분포에서 서해의 서부가 동부에 비하여 온도가 낮게 나타난다. 이는 서해 동부 지역에는 넓은 갯벌이 존재하고 상대적으로 수심이 얕기 때문에 갯벌의 육지면에 낮시간 동안 입사되는 태양복사에너지가 그 위에 있는 수면에 직접적으로 전달된다. 이렇게 강한 현열이 서해 서부지역의 해수에 전달되기 때문에 온도가 상대적으로 높게 나타난다. 그러나 1월(case SN_0110)에는 그 차이가 거의 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 그러므로 이러한 해수면 온도의 2차원적인 분포의 차이 역시 대설을 발생시키는 대류세포의 발달에 영향을 미칠 수 있다.

이러한 해수면 온도의 2 차원적인 분포가 대류세포 발달에 미치는 영향을 보기 위해 수치실험을 실시하였다.

Fig. 21은 각 실험에 의하여 계산된 15LST의 3시간 누적 강설량을 나타낸 것이다. Fig. 17c에서 나타난 두개의 강한 대류세포는 전 실험에서도 동일하게 나타난다. 이는 대설을 발생시키는 대류세포는 종관적인 기상환경에 밀접하게 관련되어있으며, 2차원적인 해수면온도 분포는 대류세포 형성 자체에는 크게 영향을 미치지않는다는 것을 의미한다. 그러나 이들의 강설량을 비교하면 정량적인 차이가 나타난다. 3시간 누적최대강설량은 SN_1210의 15 ㎜이며, SN_1220, SN_1230, SN_0110순으로 감소한다. Fig. 20에서 본 바와 같이 서해의 동부 즉 호남지방의 연안에서해수면온도 차이가 크게 나타나는 것과 마찬가지로 강설량의 차이 역시 이 지역에서 크게 나타난다. 이는 2차원적인 해수면온도의 미세한 차이가 실질적인 강설량의변화에도 영향을 준 것으로 보인다.

연직대류세포의 구조를 파악하기 위하여 Fig. 15에 나타난 A-B선상 가강수량의 연직단면도를 나타낸 것이 Fig. 22이다.

Case SN_0110을 제외한 나머지는 서해상과 호남지방의 육상에서 두개의 강한 대류세포가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 연직 가강수량의 분포는 각 실험에서 사용된 해수면온도의 분포와 매우 잘 일치하고 있다. 그리고 Case SN_0101은 해양 상에서는 발달된 대류세포를 볼 수 없지만 육지의 경우 강한 대류세포가 나

타난다. 이것은 상대적으로 낮은 온도를 가진 해양과 대기의 상호작용에 의해서는 대류세포가 잘 발달하지 않으나 연안지역의 지형장제력은 대류세포를 발달시킬 수있을 정도의 강제를 가진다는 것을 의미한다. 그리고 모든 경우에서, 해양상의 가강수량 분포는 매우 급격하게 변하는데 비하여 육지에 가까운 지역의 경우 가강수량의 변화 폭이 작게 나타난다. 그러므로 지형강제력이 작용하는 대류세포의 경우해수면온도 분포의 영향이 상대적으로 작게 작용하지만, 해양상 에서 발달하는 대류세포는 해수면온도의 2차원적인 분포에 매우 민감하게 작용한다고 판단된다.

Fig. 23은 각 실험에 의해 계산된 연직 수렴/발산장을 나타낸 것이다.

모든 경우에서 하층은 수렴이, 상층은 발산이 지배적으로 나타난다. 수렴 발산에서도 2개의 대류 세포가 뚜렷이 나타나며, 특히 지형강제력에 의한 하층수렴의 강도는 전 실험에서 강하게 나타난다. 그리고 이들의 지형강제력에 의한 수렴은 풍상측에서 주로 나타나며 특히 연안지역에서 강하게 나타나기 때문에 이 지역의 해수면온도에 따른 영향과 지형에 따른 영향이 복합적으로 나타날 가능성도 존재한다. 그러므로 차후에는 지형강제력을 좀 더 정량적으로 분석하는 연구가 필요하다고본다.

SN_1210과 SN_0110에서 계산된 서해중앙부와 광주지역 연직온도장의 시간 변화를 나타낸 것이 Fig. 24이다.

이는 각 시간대의 연직자료와 초기치와의 차이를 나타낸 것으로 음의 값은 냉각, 양의 값은 승온을 나타낸다. 두 실험 모두 15LST에서 18LST 사이에 2500 m 고도에서 강한 음의 이류가 나타난다. 비록 강도는 약하지만 하층에서는 반대로 승온 현상이 나타나는데 이는 상대적으로 온도가 높은 해수면의 영향이라 볼 수 있다. 그러므로 이 시간대에 상하층간의 온도차는 급격하게 커지면서 대류발달에 필요한 연직불안정이 형성된다. 그리고 서해상의 15LST 한기이류의 강도를 비교해보면 SN_1210의 경우 2000 m 고도에서 약 15.4 ℃ 하강하는데 비하여 SN_0101에서는 2800 m 고도에서 최대 7.7 ℃ 하강한다. 이는 차가운 복사냉각에 의하여 발달한 시베리아기단이 서해를 통과하면서 변질되고 이들의 영향이 한기이류의 지역적인 차이로 나타나는 것을 의미한다. 나아가 따뜻한 서해상의 해수면온도는 시베리아기단의 강한 한랭이류를 유도하는 경향이 있다.

그러나 이러한 한랭이류는 지역에 상관없이 시간이 지남에 따라 감소한다. 계속 적으로 시베리아기단이 발달하고 있기 때문에 온난이류에 의한 기온하강률 감소 가능성은 거의 없다. 그러므로 중층의 기온하강률 감소는 연직방향 대류에 의한 눈구름이 형성 되면서 방출되는 잠열에 의한 것으로 볼 수 있다. 실험 SN_0110의 경우 두지역 모두 한랭이류의 감소가 나타나지만 실험 SN_1210의 경우 서해 중앙부만이 한랭이류의 감소가 나타나고 광주지역의 경우 나타나지 않는다. 그러므로 해수면온도가 높은 SN_1210의 경우 해양 상에서 눈구름이 형성되면서 대기 중의 가강수량이 급격히 줄어든다. 이때 육지의 내륙의 경우 유입되는 수증기량이 적기 때문 자체적으로 눈구름을 형성할 가능성이 낮다. 그러므로 대기 중의 눈구름 형성에의한 잠열 방출의 가능성이 낮아 급격한 승온을 기대할 수 없다. 반면 해수면온도가 낮은 SN_0110의 경우 해양 상에서 생성되는 눈구름이 작기 때문에 가강수량의손실이 적어 내륙에서의 눈구름 형성이 용이하다. 따라서 이에 따른 대기 중의 잠열 방출 가능성이 높기 때문에 대기가 같이 승온할 가능성이 커진다고 볼 수 있다.

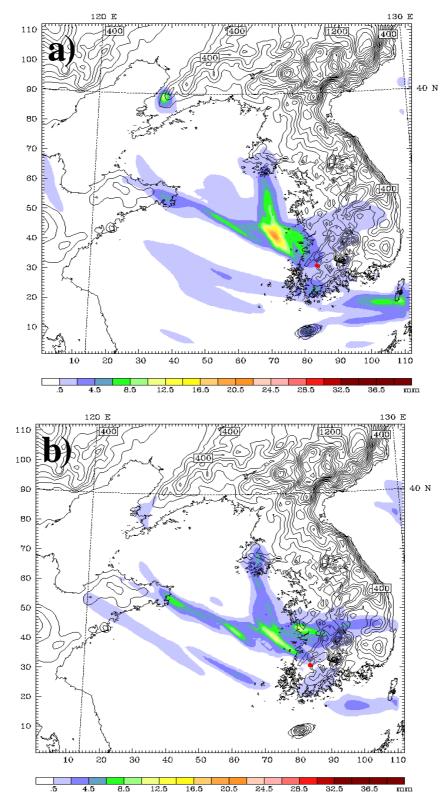


Fig. 21-1. Distribution of snowfall accumulated for 3 hours at 15LST for a) case SN_1210, b) case SN_1220, c) case SN_1230, and d) case SN_0110.

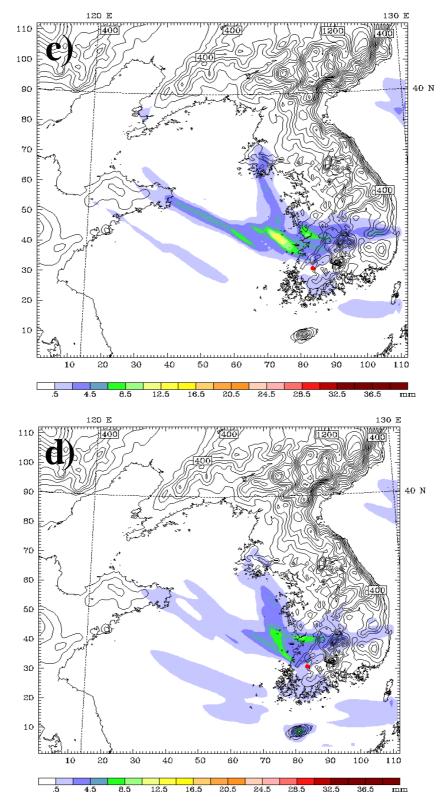


Fig. 21-2. Continued.

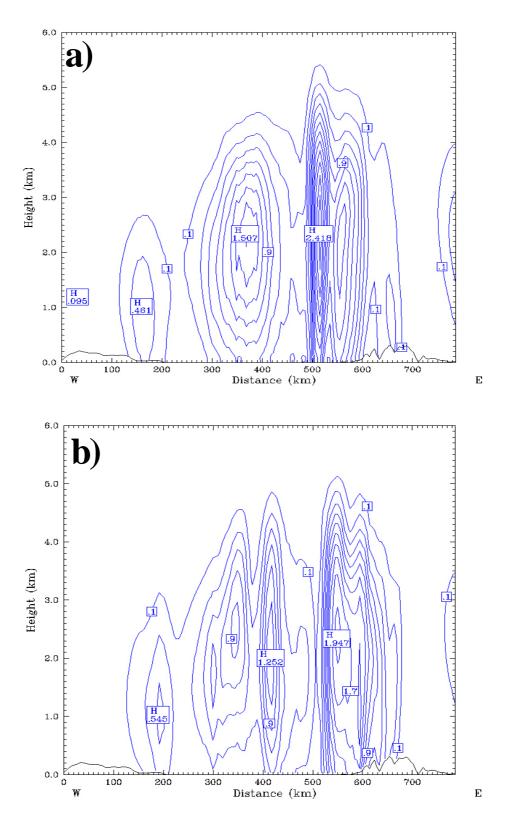


Fig. 22-1. Vertical distribution of precipitable water with the cross section along line A-B in Fig. 15 for a) case SN_1210, b) case SN_1220, c) case SN_1230, and d) case SN_0110 at 15LST.

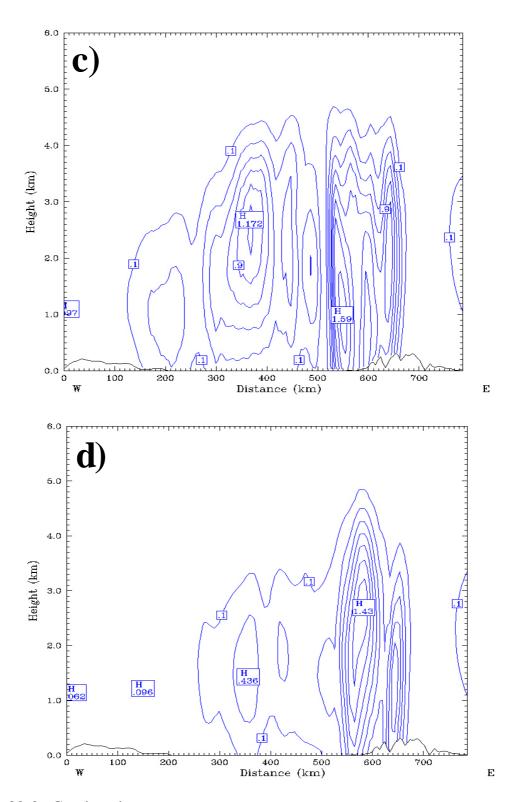


Fig. 22-2. Continued

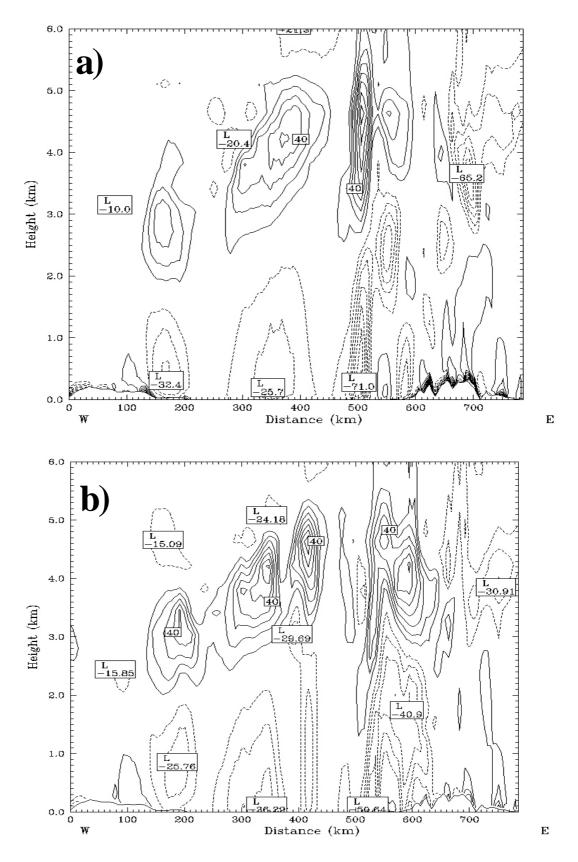


Fig. 23-1. Same as in Fig. 22 except for the divergence. The solid and dashed lines indicate the conversion and diversion, respectively. The labels with a box show the maximum and minimum values in the same limited area.

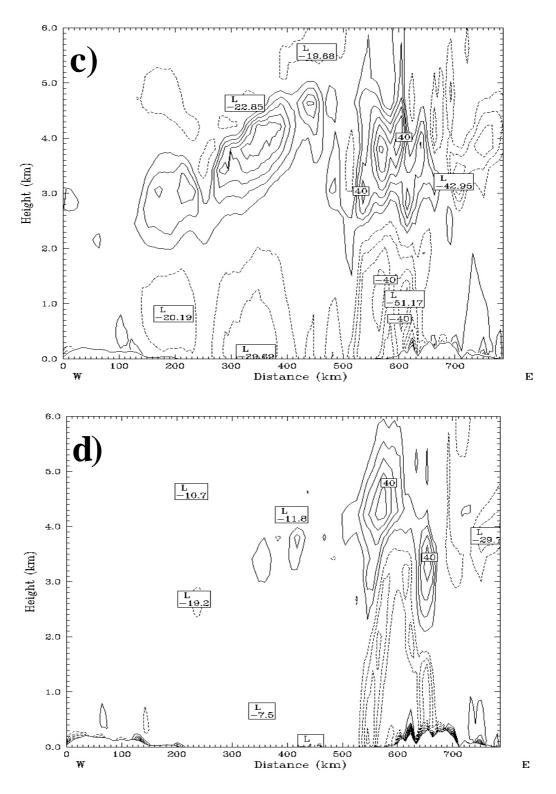


Fig. 23-2. Continued.

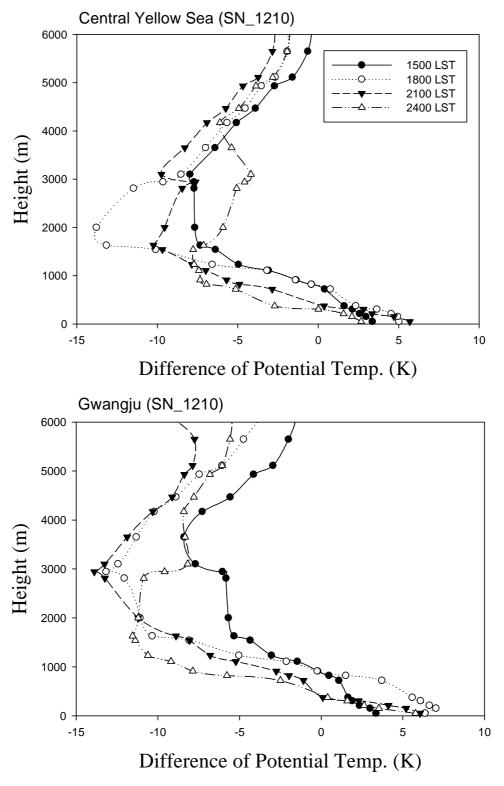


Fig. 24-1. Time evolution of the vertical potential temperature difference at two different points shown in Fig. 15b (C and D) from the values at the model initial time at 15LST, 18LST, 21LST, and 24LST resulting from case SN_1210 and case SN_0110.

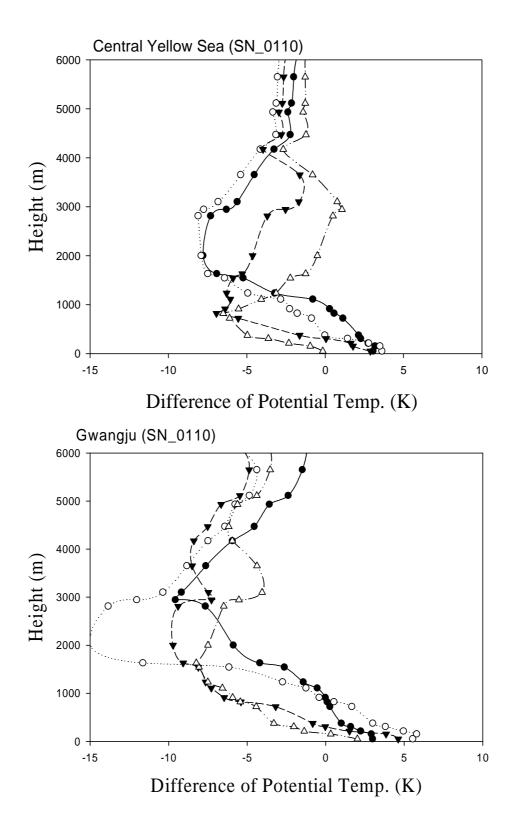


Fig. 24-2. Continued.

4. 결 론

호남지방에 기록적인 대설이 있었던 2005년 12월 21일부터 22일까지의 대설메커 니즘과 서해상의 2차원 SST 분포가 대설세포 발달에 미치는 영향을 알아보기 일 기도분석과 수치모의실험을 실시한 결과;

수치실험에서 계산된 2005년 12월의 대설은 2개의 메인 대류세포를 가진다. 하나는 서해상에서 종관류를 따라서 발달하는 세포이고, 다른 하나는 해안선에 평행하게 발달하는 대설세포이다. 이러한 세포는 위성영상과 레이더영상을 통해서도 검증되었다. 해안선을 따라 발달하는 대설은 지형적인 강제력에 의한 상승으로 형성된 것이며, 이는 시간경과에 관계없이 지속적으로 발생한다. 한편, 서해상을 지나는 종관류에 평행하게 발달한 세포는 대기/해양의 상호작용으로 발달한 것이다.

서해상의 2차원적인 해수면온도 분포가 실질적인 대설세포의 형성에는 영향을 미치지 않았다. 그러나 해수면온도가 낮은 경우(SN_0101)는 해양상의 대류세포가 발달하기 어렵다. 일반적으로 2차원 해수면온도 분포는 대설량의 정도를 결정하는 요인으로 작용한다. 연직 가강수량 분석에서 해수면온도의 분포를따라 가강수량의 차이가 나타나며, 이들은 온도경도와 매우 밀접하게 관련되어 있음을 확인하였다.

또한, 서해상의 대설발달은 내륙의 대설발달에 영향을 미치는데 서해상의 대설을 통한 수분의 감소와 잠열 방출에 따른 승온은 내륙지역에서 발달하는 대류세포의 수증기량의 결핍을 가져오고 이는 강설량을 감소시키는 역할을 한다. 이번 사례에서는 호남지방의 근해에서 대설세포가 발달하였기 때문에 내륙으로 갈수록 강설량이 현저하게 감소한 것으로 나타났다. 따라서 호남지방의 대설을 예측하기 위해서는 서해상의 2차원적인 해수면온도 분포를 파악하여서 서해상에서의 강설량을 정확히 추정하는 것이 필요하다.

또한, 호남내륙의 강설에는 연안해역의 해수온도경도가 주요한 역할을 하며 이러한 온도경도 분포를 정확히 파악하고 가강수량을 정확히 분석한다면 호남 내륙지역의 강설량을 추정하는 하나의 주요한 지표가 될 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

- 기상청, 2006; 국지기상예측기술개발/ 호남지방 국지호우· 대설 예측기술개발, 기상청 연구보고서(2002M-001-01), 236-257.
- 류찬수, 이순환, 2002; 중규모 대기-해양 결합시스템을 이용한 동해안 지형성바람과 해상 표층류 흐름에 관한 수치시뮬레이션, 한국지구과학회 추계대회 초록집, 9, 42-43.
- 류찬수, 신유미, 이순환, 2004; 해안지역 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한수치연구, 한국기상학회, 40(1), 71-86.
- 류찬수, 원효성, 이순환; 2005, 호남지방 고층관측자료 동화가 수치기상예보에 미치는 영향에 관한 연구, 한국지구과학회지, 26(1), 66-77.
- 손건태, 이정형, 2005: 3시간 강수량예보를 위한 상태종속모형, 자료분석학회지, 7(1). 137-150.
- 이순환, 원효성, 2005; 한반도 중규모 대류 복합체의 발달 특성에 관한 연구, 한국지구 과학회, 26(7), 698-705.
- 이순환, 박근영, 류찬수, 2006; 레이더 자료동화에 따른 기상장 모의 민감도에 관한 수 치실험, 한국환경과학회지, 15(1), 9-19.
- 이재규, 1999; 대관령과 강릉지역의 강설량 차이를 일으키는 종관구조: 사례연구, 한국 기상학회지, 35(2), 319-334.
- 전종갑, 이동규, 이현아, 1994; 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구, 한국기상학회지, 30(1), 97-117.
- 정관범, 김지언, 권태영, 2004; 영동지역겨울철 강수와 관련된 하층 바람의 특성, 한국기

- 상학회지, 40(4), 369-380.
- 정병주, 홍성유, 서명석, 나득균, 2005; 2004년 3월 4-5일 한반도 대설 사례의 역학, 열 역학적 특성에 관한 수치연구, 한국기상학회지, 41(3), 387-399.
- 정영근, 1999; 호남지방 대설발생의 종관환경, 한국지구과학회지, 20(4), 398-410.
- 조익현, 유희동, 이우진, 신경섭, 2004; 2004년 3월 4일 대설사례에 관한 분석과 예보를 위한 제안, 기상기술, 14(3), 3-18.
- Byun, D. S.,and Y. K. Cho, 2006; Double peak-flood current asymmetry in a shallow-water constituent dominated embayment with a macro-tidal flat. Geophysical Research Letter. VOL. 33, doi:10.1029/2006GL026967.
- Cheong, S.-H., K.-Y. Byun, and T.-Y. Lee, 2006; Classification of snowfall over the Korean Peninsula based on development mechanism. Atmosphere, 16 (1), 33-48. (in Korean)
- Dudhia, J., 1993; A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cloud front. Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- Dudhia, J., and J. F. Bresch, 2002; A global version of the PSU-NCAR mesoscale model. Mon. Wea. Rev., 130, 2989-3007.
- Grell,G., J. Dudhia, and D. Stauffer, 1995;A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)NCAR/TN-398+STR.
- Grell, G. A., L. Schade, R. Knoche, A. Pfeiffer, and J. Egger, 2000; Nonhydrostatic climate simulations of precipitation over complex terrain. Journal of Geophysical Research, Washington, DC, 105(D24): 29595–29608.

- Guan, L.,and H. Kawamura, 2004; Merging satellite infrared and microwave SSTs: Methodology and evaluation of the new SST. J. Oceanogr., 60, 905-912.
- Guo, Z., D. H. Bromwich, and J. J. Cassano, 2003; Evaluation of polar MM5 simulations of Antarctic atmospheric circulation. Mon. Wea. Rev., 131, 384-411.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996; Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339.
- Hosoda, K.,and H. Kawamura, 2004; Global space-time statistics of sea surface temperature estimated from AMSR-E data. Geophys. Res. Letter., 31 (17): Art. No. L17202.
- Jung, B.-J., S.-Y. Hong, M.-S. Suh, and D.-K. Rha, 2005; A numerical study of dynamic and thermodynamical characteristics associated with a heavy snowfall event over the Korean Peninsula on 4-5 March 2004. J. Korean Meteor. Soc., 41(3), 387-399. (in Korean)
- Kawai, Y.,and H. Kawamura, 2003; Validation of daily amplitude of sea surface temperature evaluated with a parametric model using satellite data. J. Oceanogr., 59, 637-644.
- Lee, H., and T. Y. Lee, 1994; The govering factors for heavy snowfall in Youngdong area. J. Korean Meteor. Soc., 30, 197-218. (in Korean)
- Lee, J.-G., and J.-S. Lee, 2003; A numerical study of Yeongdong heavy snowfall events associated with easterly. J. Korean Meteor. Soc., 39, 475-490. (in Korean)
- Lee, S.-H., Y.-K. Kim, H.-S. Kim, and H.-W. Lee, 2007a; Influence of dense surface meteorological data assimilation on the prediction accuracy of

- ozone pollution in the southeastern coastal area of the Korean Peninsula. Atmospheric Environment, 41(21), 4451–4465.
- Lee, S.-H., D.-H. Kim, and H.-W. Lee, 2007b; Satellite-based assessment of the impact of sea-surface winds on regional atmospheric circulations over the Korean Peninsula. International Journal of Remote Sensing (in print).
- Lee, T.-Y., and Y.-Y. Park, 1996; Formation of a mesoscale trough over the Korean Peninsula during an excursion of Siberian high, J. Meteor. Soc. Japan, 299-323.
- Nagata, M., 1993; Meso--scale vortices developing along the Japan-Sea polar-airmass convergence zone cloud band: Numerical simulation. J. Meteor. Soc. Japan, 71, 43-57.

β

- Ninomiya, K., T. Nishimura, T. Suzuki, and S. Matsumura, 2006; Polar-Air outbreak and air mass transformation over the east coast of Asia as simulated by an AGCM. J. Meteor. Soc. Japan, 84(1), 47-68.
- Ninomiya, K., J. Fujimori, and T. Akiyama, 1996; Multiscale feature of the cold air outbreak over Japan Sea and the northwestern Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 74, 745–761.
- Olson, D. A., N. W. Junker, and B. Korty, 1995; Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at NMC. Wea. Forecasting, 10, 498-511.
- Romero, R., C. A. Doswell, III, and C. Ramis, 2000; Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasi-stationary convective systems over eastern Spain. Monthly Weather Review, Boston, MA, 128(11), 3731-3751.
- Romero, R., C. A. Doswell, III, and R. Riosalido, 2001; Observations and fine-grid simulations of a convective outbreak in Northeastern Spain: Importance of diurnal forcing and convective cold pools. Monthly Weather Review, Boston, MA, 129(9), 2157-2182.

- Rutunno, R., and R. Ferretti, 2001; Mechanisms of intense Alpine rainfall. J. Atmos. Sci., 58, 1732-1749.
- Yoshizaki, M., T. Kato, H. Eito, S. Hayashi, and W.-K. Tao, 2004; An overview of the field experiment "Winter Mesoscale Convective Systems over the Japan Sea in 2001," and comparisons of the cold-air outbreak case (14 January) between analysis and a non-hydrostatic cloud-resolving model. J. Meteor. Soc. Japan, 82, 1365–1387.

감사의 글

제가 논문을 쓰는 것이 먼 미래의 일로만 생각했는데 이렇게 시간이 흘러 어느덧 논문을 제출하게 되었습니다. 이렇게 논문을 쓰기까지 부족한 저를 지도해주신 류찬수 교수님과 여러 가지로 배움과 지도를 아끼지 않으신 이순환 박사님, 그리고 세심한 심사를 해 주신 이종호 박사님의 도움으로 부족하게나마 논문을 쓸 수 있게 되었습니다. 많이 부족하지만 앞으로도 더 많은 지도 부탁드립니다.

대학원 진학의 뜻을 밝혔을 때 흠쾌히 동의와 후원해 주신 부모님께 깊은 감사를 드립니다.

처음 실험실에 들어와서 적응하는데 동문들의 많은 도움이 있었습니다. 모두 감사합니다.

그동안 많은 일이 있었지만 이렇게 시간이 지나니까 모두 좋은 추억만 남는 것 같고 가끔씩 그때가 그립기도 합니다. 같이 했던 해외여행, 전국을 여행했던 학회활동, 각종 모임 등 너무 많은 일을 함께 했는데 지금은 시간이 흘러 다들 각자의 길로 가게 되었습니다. 그 길 앞에 늘 좋은 일만 있었으면 좋겠습니다.

논문발표 때문에 귀찮게 한 근영이형도 고맙고 오랜 기간 함께 생활하면서 늘 배려해주고 귀찮게 해도 잘 도와주는 것 역시 고맙습니다. 잊지 않고 연락해 주는 곽은영, 김선희 그리고 김은진 역시 좋은 동료이자 친구로서 고맙습니다. 논문완성 되면 한턱내라던 학부 동기들에게도 한턱내야겠습니다.

멀리 떨어져서 직장생활과 공부를 병행하는 동생 은경이도 고맙다. 조금만 더 수고해서 네가 하고자하는 꿈을 이루길 바란다.

저는 아직 젊고 가야할 길은 지금까지 지나쳐온 길 보다 훨씬 길 것이라고 생각하기에 조급하게 생각하지 않고 한 걸음 한 걸음 느리지만 지속적으로 전진 하여 부모님께 부끄럽지 않은 아들이 되겠습니다.

일일이 거론하지 못한 모든 분께 감사를 드립니다.

저작물 이용 허락서 대기과학과 학 버 학 과 20057266 과 정 석 사 한문 : 牟 善 振 한글 : 모 선 진 성 명 영문 : MO SUN-JIN 주 광주광역시 서구 화정4동 라인동산 107-403 소 연락처 E-MAIL: mosunjin@naver.com 한글 :서해 SST 변화가 호남지방 대설에 미치는 영향에 관한

수치연구

논문제목 영어 : Numerical Study on the Impact of Sea Surface

본인이 저작한 위의 저작한메우더라니다erofareleow Seamons 차유하Heavy Snowfall

작물을 이용할 수 있**모사**라테 #is
 하나야! S

- 다 음 -

┃. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함

2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다

저작물의 내용변경은 금지함.

- 8. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
- 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
- 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경 우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
- ₿. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
- 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저 작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2007 년 12 월 일

저작자: 모 선 진 (서명 또는 인)

조선대학교 총쟁 귀하