creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000239410

2010년 2월
석사학위논문

수치모델자료를 이용한 영동지방의 대설사례 특성 분석
(2008년 12월 21일 - 22일 대설 사례 중심으로)

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 도 완

2010년2월 석사학위논문 수치모델자료를 이용한 영동지방의 대설사례 특성 분석 김 도 완

수치모델자료를 이용한 영동지방의 대설사례 특성 분석

The Analysis of the Characteristics of Heavy Snowfall in Youngdong Region with the Numerical Model Data Assimilation

2010년 2월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 도 완

수치모델자료를 이용한 영동지방의 대설사례 특성 분석

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출합니다.

2009년 10월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 도 완

김도완 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 전문경력 교 수 정 효 상

심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수

심사위원 국립기상연구소 이학박사 김 백 조

2009년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT v
제1장 서론 1
제1절 연구배경 1
제2절 기존 연구 및 연구 목적 1
제2장 자료 및 분석 방법 4
제1절 자료 4
제2절 분석 방법 7
제3장 대설 사례 특성 분석 9
제1절 대설 사례 선정 9
제2절 시간별 기상요소 분석 11
제3절 종관 분석 14
제4절 원격탐사자료 분석 25
제4장 하층 대류권의 바람장 분석 30
제1절 수치분석모델 및 모의 설계 33
제2절 시간-고도 연직 시계열 특성 36
제3절 상승류 패턴 특성 41
제5장 결 론 47
참고문헌 49

List of Tables

Table 1. The case of the mountainous snowfall pattern in case of expansion of cP in Youngdong region ····· 5
Table 2. Same as Table 1 except for the cold-coastal snowfall pattern ····· 6
Table 3. Same as Table 1 except for the warm-coastal snowfall pattern ····· 6
Table 4. Temperature pattern of Dec. 2008 in comparison with past 33 years ····· 17
Table 5. Arctic Oscillation Index (AOI) from NOAA NCEP. ····· 18
Table 6. Time pattern of RDAPS temperature at 850 hPa and altitude classified temperature which appears by the observation of the upper layer in Sokcho region ····· 18
Table 7. Input data for the KLAPS analysis. ····· 35

List of Figures

Fig. 1. The case of the mountainous snowfall pattern in case of expansion of cP in Youngdong region ····· 8
Fig. 2. Same as Table 1 except for the cold-coastal snowfall pattern ····· 8
Fig. 3. Same as Table 1 except for the warm-coastal snowfall pattern ····· 8
Fig. 4. The amount of snow accumulation for 24 hours in Youngdong region ·· 10
Fig. 5. The amount of snowfall accumulation on 22 Dec. 2008. ····· 10
Fig. 6. The amount of precipitation accumulation for every 3 hour from a) 09UTC 21 to i) 09 UTC 22 Dec. 2008 ····· 12
Fig. 7. The distributions of hourly Pressure, Height, Relative, humidity wind, Snowfall amount and Temperature on Gangneung ····· 13
Fig. 8. Same as Fig. 7 except for Sokcho ····· 13
Fig. 9. The weather chart at 500 hPa at the Northern Hemisphere on 12UTC 21 Dec. 2008. ····· 17
Fig. 10. Arctic Oscillation Index (AOI) from NOAA NCEP. ····· 18
Fig. 11. Temperature change at 850 hPa for 24 hours from a) 12UTC 20 to d) 12 UTC 22 Dec. 2008 ····· 19
Fig. 12. Surface weather chart on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008 ····· 20
Fig. 13. The weather chart at 850 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008 ····· 21
Fig. 14. The weather chart at 500 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008 ····· 22
Fig. 15. The weather chart at 300 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008 ····· 23
Fig. 16. The GDAPS pressure field by 1 atm unit on a) 18UTC 21 and b) 06UTC 22 Dec. 2008 ····· 24
Fig. 17. The images of GMS(Geostationary Meteorological Satellite). (a) 2333 UTC 20, (b) 0533 UTC 21, (c) 1133 UTC 21, (d) 1733 UTC 21, (e) 2333 UTC 21, (f) 0533 UTC 22 Dec. 2008, respectively. ····· 27
Fig. 18. The daily average sea surface temperature by MTSAT on 21 Dec. 2008. ····· 28

Fig. 19. The reflectivity images of the radar for (a) 00 UTC 21, (b) 06 UTC 21, (c) 12 UTC 21, (d) 18 UTC 21, (e) 00 UTC 22, (f) 06 UTC 22 Dec. 2008, respectively. ····· 29
Fig. 20. The analysis of the wind field and dew point depression at 850 hPa on (a) 12UTC 20, (b) 00UTC 21, and (c) 00UTC 22 Dec. 2008 ····· 31
Fig. 21. Same as Fig. 20 except for 925 hPa ····· 32
Fig. 22. Schematic diagram of KLAPS process. ····· 35
Fig. 23. The analysis of the vertical sectional equivalent potential temperature in Gangwon region on 08UTC 20 Dec. 2008 ····· 38
Fig. 24. The analysis of the vertical sectional wind field in Gangwon region on 21UTC 20 Dec. 2008 ····· 38
Fig. 25. The analysis of the vertical sectional dew point depression convergence zone in Gangwon region ····· 39
Fig. 26. The data of the time sereies of the lower layer temperature in Gangwon region ····· 40
Fig. 27. Same as Fig. 26 except for dew point depression in Gangwon region 40
Fig. 28. The vorticity distribution at 500 hPa for every 12 hour from (a) 00UTC 21 to (c) 00UTC 22 Dec. 2008 ····· 43
Fig. 29. The vertical sectional vorticity of the East and the West and moisture flux in Gangwon region on (a) 22UTC 20, (b) 05UTC 21, and (c) 20UTC 21 Dec. 2008 ····· 44
Fig. 30. The data of the upper layer wind in Youngdong region by using the windprofiler data ····· 45
Fig. 31. The section at diagram of the omega which is cut verticality the east and the west from (a) 18UTC 20, (b) 00UTC 21, (c) 06UTC 21, (d) 12UTC 21, (e) 18UTC 21, (f) 00UTC 22 Dec. 2008 ····· 46

ABSTRACT

The Analysis of the Characteristics of Heavy Snowfall in Youngdong Region with the Numerical Model Data Assimilation

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

The characteristics of the snowfall in Youngdong region shows are heavy snowfall in geographically restrict range and in same region, there is a remarkable contrast between snow accumulation and snow day. The distance from the coast line to divide the line of a mountain range plays an important role in snowfall. For understanding distribution of the snowfall amount and genesis system of snowfall at this region which shows various snowfall pattern, it is very important to classify and study patterns of the snowfall events.

This study focuses on analyzing and understanding of the numerical model assimilation due to three-demensional analysis system (KLAPS) data to get at the characteristic of heavy snowfall in Youngdong region. There's establish of the cold-coastal conceptual model in Gangwon Youngdong region and contribution in improvement of analysis and forecast ability about local heavy snowfall. For this, due to the record-breaking case of heavy snowfall for fourty years, amounted to 62.5cm (22 Dec. 2008), which is occuring in Sokcho from 21 Dec. 2008 to 22 Dec. 2008, the highest-resolutional data which is offered from KLAPS is used. Considering that air temperature gradient of the lower and upper part of the troposphere, the direction of the wind and wind velocity of the lower part, and the change of the sea air refraction (difference in sea-water

temperature and temperature) in Youngdong region and the East sea Buoy that is adjacent to and etc. are regarded as a critical variable to conclude snowfall pattern.

The convergence air current is strengthen at windward side and leads to more and more snowfall, and also thermal ridge is stretched to Youngdong region and related lower layer wind curtain is persistently flow into Youngdong region in the East sea. Strong northeast air current (chill air current) from high latitude and strong southwest air current (warm air current) from low latitude flow into this convergence zone at the center, after that these currents meet on the East sea and then, heavy snowfall is generating by relocating the center of the convergence from Youngdong region to the Tae back as time goes by. The snowfall pattern of cold-coastal model in rich precipitation in the costal area rather than mountainous area, surface wind shows NW in Youngseo region, NE in Youngdong region, and the lower troposphere wind shows NE in the lower part, NNE-NW wind in the upper part. The upper and the lower layer's the change of the direction of the wind is affected by an influx of the upper layer's cold air. When the isobar is arranged to north and south direction due to developing cP and then expand to the Maritime Province in Russia, the lower layer of NE system which is provided heat and moisture from the oceans which is relatively warm passing the East sea, is affected by the topography of Youngdong region. It is analyzed that the cost-coastal heavy snowfall in Youngdong region seems to appear by this lower layer of the NE system.

제1장 서 론

제1절 연구배경

국지적인 특성이 고려된 기상재해 분석 및 모형화 하고 정량화 할 수 있는 예측시스템의 개발은 방재기술 및 기상예측기술 개발을 위하여 매우 필요하다. 영동지방은 서쪽으로는 태백산맥이 남북으로 위치해 있고 동쪽으로 동해와 인접해 있는 지리적인 위치로 전 계절에 걸쳐 지역 특성에 따른 국지적인 기상 현상이 많이 발생하고 있다. 특히, 대설은 영동지방의 기후 특징 중 대표적이라 할 수 있다. 대설 일수가 많고 강설량이 많은 영동지방의 강릉과 속초, 그리고 울릉도는 연 강수량에서 겨울철(12월~2월) 강수량이 각각 약 10%와 20% 이상을 차지하고 있는데 이는 우리나라 다른 지역의 5% 내외에 비하면 매우 높은 것이다(허창희와 강인식, 1988 ; 이병설, 1979). 이 지역의 강설 특징은 좁은 지리적 범위에 국한되어 나타나는 좁고 강한 강수역과 지역적으로 커다란 변화를 보이는 적설량과 강설 일수이다. 해안선으로부터 산맥의 분수계까지의 거리가 중요한 역할을 하고 있으며, 이러한 복잡한 지역에서의 강설의 발생과 강설량의 분포를 이해하기 위해서는 강설의 패턴을 분류하여 연구하는 것이 매우 중요하다.

정광범 등(2004)은 cP 확장 시 영동지방의 강설 패턴을 하층 대류권의 바람장에 따라 산악 강설 패턴, 한기-해안 강설 패턴, 난기-해안 강설 패턴으로 분류하였다. 또한, 각 강설 패턴에 대한 종관적인 대기구조의 특성을 파악한 후 3차원 분석시스템을 이용하여, 2008년 12월 21일부터 22일까지 영동지방에 내린 대설을 한기-해안 강설 패턴으로 분류하고 분석하였다.

제2절 기존 연구 및 연구 목적

대설에 관한 연구는 국내외에서 활발하게 이루어져 왔다. Wilson (1977)은 온타리오 호수가 겨울철 강수패턴에 미치는 영향에 대한 연구에서 온타리오 호 동쪽의 강수량은 지형에 의해 발생한다고 지적하였고, Kocin & Uccllini (1990)은 대설은 육지와 바다의

온도차가 심한 곳, 기단의 변질이 잘 일어나는 따뜻한 바다가 접해 있는 곳, 다습한 공기가 산악 효과에 의해 상승이 잘되는 곳 등에서 자주 발생함을 지적하였으며, Anderson & Nilson(1990)은 상대적으로 따뜻한 해수면 위를 통과해오는 차가운 동풍 기류가 지속될 때 스웨덴 동해의 폭설이 나타남을 밝혔다.

국내에서는 류찬수 등(2005)은 호남지방의 대설예측을 강수량예보, 강수발생 확률예보, 등급별 강수예보 등 3범주의 통계적 모델로 접근하였고, 또 다른 논문(류찬수 등, 2004)에서는 cP 확장 시 기단변질과 지형효과에 의한 대설 예측기법을 연구하였다. 정병주 등(2005)은 중부지방의 대설에 관한 사례연구를 보였으며, 손건태 등(2005)은 수치자료를 통계학적으로 분석하여 호남대설의 예측가능성을 예시하였다.

영동지방 대설과 관련된 연구는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 관측 자료의 분석을 통한 영동지방 대설 연구로 지상의 적설량과 바람, 상·하층의 기온과 기압, 그리고 동해의 해수면 온도 자료 등 종관, 비종관 자료를 이용한 통계 분석 연구이다. 둘째, MM5, ARPS 등 수치모델을 이용한 영동지방 대설 사례의 수치 모의와 관련된 연구이다(조구희 등, 2004). 지상 관측 자료를 이용한 연구로서 김기본(1993)은 겨울철 우리나라 서해안에서 발생하는 대설에 관한 연구에서 저기압 후면의 기압골형에서는 동해안 지역이 다른 지역보다 상대적으로 많은 대설 빈도를 보이고 해양과 대기의 온도차가 대설 발생의 유무에 많은 영향을 준다고 하였다. 최만규(1994)는 상·하층의 기온과 기압자료를 이용하여 영동지방의 대설이 동해 해상의 상층 한기 남하에 따른 대기 불안정이 크게 작용한 것으로 분석하였고, 또한, 북고남저 기압 패턴에서 500 hPa 기압골 전면에서 발생하는 영동 산간지방 대설로 나타나며, 이러한 강수는 경압파의 발달로 인한 순환과 저기압 주변에 북동기류가 강제 상승하면서 나타난다고 분석하였다(최만규, 1998). 정광범 등(2004)은 영동지방의 겨울철에 나타나는 강한 강수는 주로 하층대기의 풍향과 풍속에 따라 결정된다고 보고, 지상관측 바람 자료와 종관 바람장으로 미국 기상청/대기과학연구(NCEP/NCAR) 재분석의 대류권 하층 풍향과 풍속 자료를 분석하여 겨울철 영동지방의 강수가 대부분 대관령 동풍과 관련되며, 대관령 바람은 종관 규모의 바람과 밀접한 관계가 있다고 분석하였다.

수치모델 모의자료의 분석을 통한 연구로서 이훈 등(1994)은 대설 요인들은 하층류의 방향과 속도, 기단의 변질 효과, 지형의 높이, 그리고 종관 기압배치의 지속성 등의 요인에 의해 결정되며 북동풍보다는 남동풍이 불 때 강수량이 더 많았으며, 같은 풍향이라도 풍속이 작아지면 강수량이 작아짐을 분석하였다. 또한, 이재규(1999)는 대관령과 강릉지역의 강설량 차이를 일으키는 종관구조를 알아보기 위하여 대설사례를 비교

•분석하여 강릉과 대관령의 강설량에 따라 산악 강설 패턴(대관령이 강릉보다 강설량이 많은 경우)과 해안 강설 패턴(강릉이 대관령보다 강설량이 많은 경우)으로 나누고, 각 유형에 따른 역전층의 고도, 상승-하강구역, 그리고 저기압의 발달을 조사하였다. 그 결과 산악 강설 패턴은 종관적으로 저기압의 발달과 직접 관련이 있고 반면 해안 강설 패턴은 저기압의 발달보다 하층에 나타나는 상승운동과 관련이 있다고 분석하였다.

본 연구에서는 영동지방의 대설의 특성을 파악하기 위해서 3차원 분석 시스템(KLAPS) 자료를 이용한 수치모델 모의자료를 분석에 초점을 두었다. 따라서 2008년 12월 21일부터 22일까지 속초지역에 62.5 cm(2008. 12. 22.) 적설을 보이면서 40여년만의 기록적인 대설이 발생한 사례를 분석하였다. 특히, 기존연구에서 부족했던 겨울철 cP 확장 시 풍계 및 기타 여러 대기 조건에 따른 대설 특징을 KLAPS로부터 제공되는 고분해능의 자료를 이용하여 cP 확장 시 강원 영동지방의 한기-해안 강설 패턴의 개념모델(Conceptual model)을 정립하고, 이 패턴에 따라 발생하는 국지 대설현상에 대한 분석 및 예측능력 향상에 기여하고자 한다.

제2장 자료 및 분석방법

제1절 자료

본 연구에서는 2006년 1월부터 2009년 3월까지 최근 3년 동안 신적설 0.1 cm 이상을 기록한 총 155건의 최심적설자료를 이용하여 영동지방에서 cP 확장에 의한 적설사례 자료를 분류한 후 하층 대류권의 바람장에 의한 강설 패턴 사례로 분류하였다.

영동지방에서 cP 확장에 의한 적설이 기록된 사례를 종관일기도 분석 결과, 모두 총 80건이었다. 또 하층 바람장에 따라 분류한 결과, 산악 강설 패턴이 65건으로 가장 많았고, 한기-해안 강설 패턴이 9건, 난기-해안 강설 패턴이 6건이었다.

또한, 지역별 강설 패턴은 3년간의 최심적설자료와 비교해 본 결과 산악 강설 패턴에서는 대관령, 속초, 원주, 인제, 철원, 태백, 홍천의 적설자료를 한기-해안 강설 패턴에서는 강릉, 북강릉, 속초, 철원, 영월, 춘천의 적설자료를 난기-해안 강설 패턴에서는 강릉, 동해, 속초, 영월, 원주, 태백의 적설자료를 분류 기준을 정하였지만, 어디까지나 통계자료일 뿐, 영동지역의 강설특성을 보다 면밀하게 분석하기 위해서는 라디오존데, Wind profiler, 위성, 레이더 자료 등의 분석으로 보완할 필요가 있다.

각 강설 패턴별 평균 적설은 역시 3년간의 최심적설자료를 기준으로 분석하였으며, 산악 강설 패턴에서는 평균 적설이 대관령 9.4 cm, 속초 7.1 cm, 원주 1.8 cm, 인제 3.8 cm, 철원 2.5 cm, 춘천 2.4 cm, 태백 9.2 cm, 홍천 2.5 cm를 기록했으며, 한기-해안 강설 패턴에서는 강릉 3.5 cm, 북강릉 11.4 cm, 속초 14.8 cm, 영월 3.7 cm, 철원 4.2 cm, 춘천 5.3 cm를 기록했으며, 난기-해안 강설 패턴에서는 강릉 4.8 cm, 동해 2.1 cm, 속초 3 cm, 영월 1.8 cm, 원주 0.5 cm, 태백 0.4 cm를 기록했다. 전체적으로 각 강설 패턴별 평균 적설은 산악 강설 패턴일 경우 4.8 cm, 한기-해안 강설 패턴일 경우 7.1 cm, 난기-해안 강설 패턴일 경우 2.5 cm를 기록했다. 분석결과 대설 횟수는 산악 강설 패턴이 더 많은 값을 기록하였으나, 한기-해안 강설 패턴이 평균 적설에서 높게 기록된 것을 알 수 있었다. 이는 영서지방보다는 영동지방에 많은 양의 강설이 기록되고 있음을 의미한다(Table 1~Table 3).

본 연구에서는 영동지방 대설의 영향력이 큰 한기-해안 강설 패턴의 사례를 중심으로 분석하였다. 특히, 겨울철 대류운 상부 고도가 일반적으로 850 hPa까지 생성되므로 대기 하층권에서 상층권까지 온도 경도, 대기 하층의 풍향과 풍속, 동해와의 해기차 변화 등을 강설의 패턴을 결정하는 중요한 변수로 보고 종관 일기도, 위성 영상, 레이더 영상, AWS 누적 강수량 자료, FAS 자료 등을 분석에 이용하였다.

Table 1. The case of the mountainous snowfall pattern in case of expansion of cP in Youngdong region.

Date \ Station	Daegwallyeong	Sokcho	Wonju	Inje	Cheorwon	Chuncheon	Taebaek	Hongcheon
20060109	0.6		0.2	0.9		0.5		0.5
20060112	8.8	8.3		6.8	3.6	5.3	1.5	1.7
20060118	8.5	5.7						
20060130	17.4						14.3	
20060206	29.9	5.8					31	
20060215							1.7	
20060228	5.7	5.1	1.2	8.3	8	0.3	7.3	2.5
20060303	0.1							
20060305	1.2							
20060316	9						4.5	
20060319	0.3							
20060325	0.3							
20060328	12.6	0.8	0.8	3.5	2.5	5.2	5	5.2
20060419	3.8						5	
20061106	5.2		0.2				1	
20061115	12						1	0.8
20061123	5.4							
20061127	7.9						2.6	
20061201	6.9		2		0.7	0.3	1	0.3
20061207	11							
20061208				2.5	0.3	0.5	7.5	2.1
20061215	34.6		4.2					
20061222			0.2	0.9	0.2			
20070102	8.6			1		0.1	1.1	0.4
20070106	18.3		2.7	2.6	5.2	2.2	11	8
20070122	14.7		0.6	2.5	0.4	1.2	0.3	0.2
20070127	25.9	1.2	1.7	2.5	1.2	2.5	2.4	3
20070203				0.5		1.3		0.2
20070210	2						2.3	
20070213	15.5			2.1		0.5	12.7	1
20070227	0.3							
20070305	0.4		2.3					
20070310	2.8				1			
20070315	12.1							
20070329	5.9	1.1					3.5	
20070402	3						5.7	
20070417	0.2							
20071119	5.7		3.2	7	4.4	6.6	4.6	5.7
20071123	0.3							
20071202	0.4							
20071206	5.2		4.5	5.2	7.1	5.1	2	4.1
20071210	1.7			3	2.2	0.5	1	0.3
20071214	1.5		7.5	6.5	5.9	5.4	1.5	1.6
20071217				0.5				0.1
20071220	0.4		0.4		0.1			0.5
20071229	0.2		0.2		0.6	0.1	0.3	
20080103								0.3
20070111	36.3	16.8	3.7	11.5	6.4	9.5	32	11.5

Table 1. cotinued.

Date \ Station	Daegwallyeong	Sokcho	Wonju	Inje	Cheorwon	Chuncheon	Taebaek	Hongcheon
20080120	74.7	12.6	0.9	4.5	3.3	2.5	65.1	4.5
20080129	41.7	17.3	1	2.7			40.5	3.2
20081229	3.9		0.7		0.5			
20090116	0.8		0.2		1.9	4		
20090118	6.8		2.2					
20090124	6.9		2.2		1.1	0.7		
20090130	19.3							
20090215	3							
20090219	1.3		2.8		1.6	0.6		
20090223	2.7							
20090225	0.1							
20090302	11.3				2.1	0.2		
20090313	7.5							
20090323	1.7		0.4					
20090325	15.3							
20090326			0.9		0.2	3		
20090329	5.4	3.2						
Average	**9.4**	**7.1**	**1.8**	**3.8**	**2.5**	**2.4**	**9.2**	**2.5**

Table 2. Same as Table 1 except for the cold-coastal snowfall pattern.

Date \ Station	Gangneung	N.Gangneung	Sokcho	Yeongwol	Cheorwon	Chuncheon
20060105	0.2	5.6				
20060131	3.7	1	6.1	7.7	0.3	
20060211	0.2	0.4	0.8			
20061217	9.6	8	17.2	2.9	2.9	6.2
20070328			1.1			
20071121	1.7		0.7		8	
20080127	5.8					
20080127						
20081221		5.1	62.6	0.5	5.5	4.3
20080301		2.5				
Average	**3.5**	**11.4**	**14.8**	**3.7**	**4.2**	**5.3**

Table 3. Same as Table 1 except for the warm-coastal snowfall pattern.

Date \ Station	Gangneung	Donghae	Sokcho	Yeongwol	Wonju	Taebaek
20060119						0.5
20060313				0.3	0.7	0.3
20061205					0.3	
20070317	2.8	2.1	3.6			
20070319	6.8	5.6	2.3			0.5
20080113		6.2		3.2		
Average	**4.8**	**4.6**	**3.0**	**1.8**	**0.5**	**0.4**

제2절 분석 방법

호남서해안과 더불어 우리나라의 대표적인 대설지역인 강원 영동지방은 대설로 인해 교통 두절, 농작물 피해, 시설물 붕괴 등의 피해가 자주 발생한다. 이러한 강원 영동지방은 태백산맥의 동쪽 지역으로, 타지방과는 다른 기후 특성을 보인다.

영동지방은 남북 주향의 태백산맥의 분수계로부터 동해안까지 거리가 10~30 km에 불과하며, 해안선인 동쪽으로의 경사가 급하여 국지적인 지형 특성이 강하게 나타난다. 그러므로 여름철에는 차가운 동해의 영향으로 서늘하고, 때때로 태백산맥을 타고 넘으며 발생하는 푄(Foehn)현상으로 전국에서 가장 높은 기온을 기록하기도 하고, 강설 시는 10월부터 다음해 4월까지로 다른 지역에 비하여 길며 강설일수가 많고, 대설이 잦은 곳이기도 하다. 특히 영동지방은 태백산맥을 넘는 습윤 공기와 동해에 위치한 찬 북동기류가 만나 대설의 원인이 된다. 또한, 영동지방의 대설은 대륙성 고기압이 자주 확장하는 1월과 2월에 많이 발생한다.

정광범 등(2004)등은 영동지방의 겨울철 강수를 하층 대류권의 바람장에 따라 다음과 같이 세 가지 형태로 구분하였다. 강수형태를 보면, 첫째, 해안지역보다 산악지역에 강수가 많은 산악 강설 패턴의 경우 지상관측 바람에서 대관령과 강릉이 모두 동풍이 관측되고 상·하층 대류권의 바람 모두 북동풍이고 상대적으로 풍속이 강하며, 특히 상층보다 하층의 풍속이 강한 바람과 연관되어 있다고 분석하였다. 둘째, 산악지역보다 해안지역에 강수가 많은 한기-해안 강설 패턴은 지상관측 바람에서 대관령과 강릉은 각각 북동풍과 북서풍을 보이고 하층 대류권 바람에서는 하층과 상층 각각 북동풍과 북북동풍~북서풍과 관련되어 있으며, 대체적으로 풍속이 약한 바람과 관련되며, 이는 상·하층의 풍향의 변화는 상층의 한기의 유입을 의미한다. 그리고 난기-해안 강설 패턴은 지상관측 바람에서 대관령과 강릉은 각각 북동~남동풍과 남서풍을 보이고 하층 대류권 바람에서는 하층과 상층에서 각각 동풍~남동풍과 남동풍~남서풍과 관련되어 있으며, 대체적으로 풍속이 약하고 상·하층의 풍속이 비슷한 바람과 관련된다고 분석하였으며, 이는 상·하층의 풍향의 변화는 상층의 난기 유입을 의미한다(Fig. 1~Fig. 3).

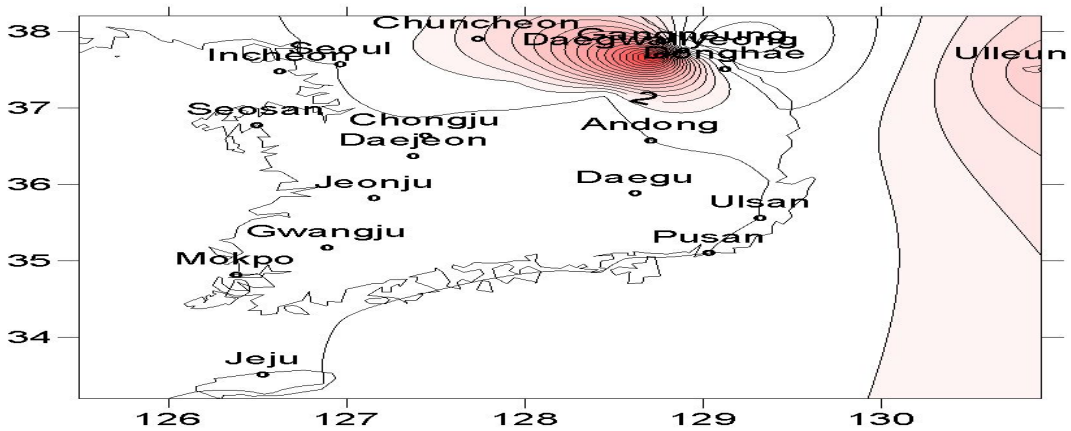

Fig. 1. The case of the mountainous snowfall pattern in case of expansion of cP in Youngdong region.

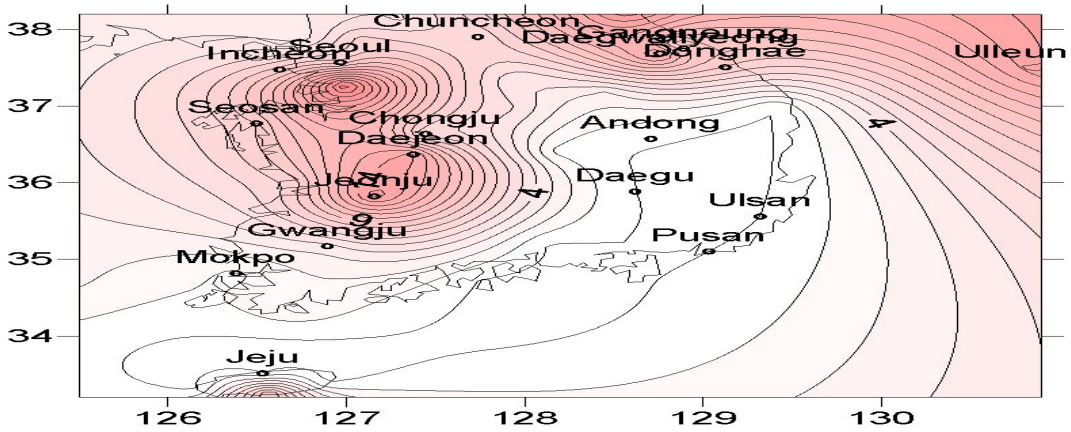

Fig. 2. Same as Fig. 1 except for the cold-coastal snowfall pattern.

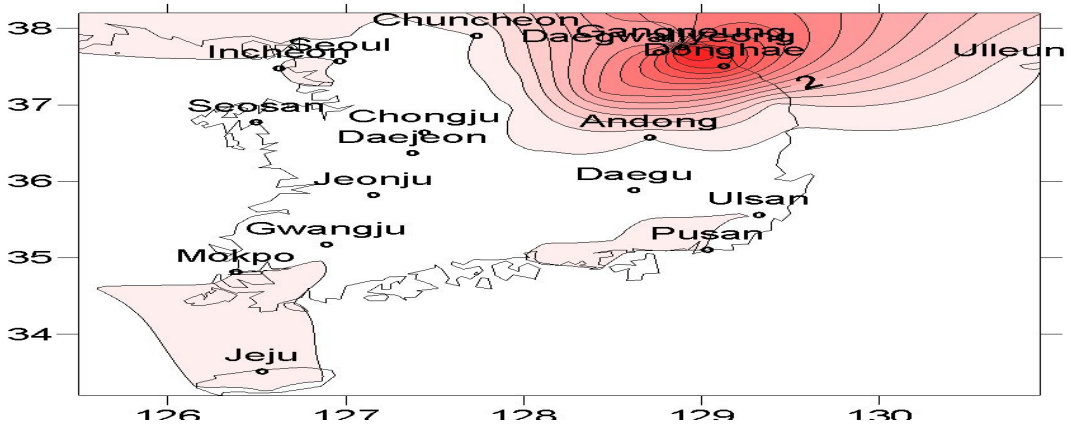

Fig. 3. Same as Fig. 1 except for the warm-coastal snowfall pattern.

제3장 대설 사례 특성 분석

제1절 대설 사례 선정

대설이란 짧은 시간에 많은 양의 눈이 내리는 현상으로서, 일반적으로 시간당 1~3 cm 이상 또는 24시간 이내 5~20 cm 이상의 눈이 내리는 현상을 말한다(허기영 등, 2005). 대설은 시간적으로나 공간적으로 집중성이 강하게 발생하며, 30분~2시간 주기로 강약의 변동을 보인다.

겨울철 저기압 통과 후 대륙고기압이 북서쪽에서 확장해오면, 상대적으로 따뜻한 해수면 위를 찬 공기가 지나오면서 눈구름이 발달하고 내륙으로 밀려와 해안지역으로 중심으로 많은 강설이 발생하게 된다. 대륙의 찬 기단이 따뜻한 해수의 성질을 닮아가는 과정이라서 기단변질형으로 불린다(박순웅과 정창희, 1984; 김갑수와 이태영, 2002). 영동지방에서는 cP가 만주쪽으로 확장되면서 북고남저의 기압배치가 되면 북동기류를 맞는 강원 영동 동해안 지역에 많은 강설이 발생하게 된다.

2008년 12월 21일과 22일 양일에 걸쳐 많은 강설을 기록한 사례 역시 cP 확장 시 발생한 대설로써, 영동 산지에서 20일 20UTC부터 눈이 내리기 시작했고, 영동 해안지역에서는 21일 22UTC~24UTC에 비와 눈이 내렸다. 적설량은 속초 62.6 cm, 북강릉 49 cm, 동해 24.3 cm, 대관령 19 cm 등으로 나타났다. 이를 보아 알 수 있듯이 2008년 12월 21일, 22일 이틀에 걸쳐 강원 속초를 비롯한 영동지방일대에 예년에 없던 폭설이 발생하였다(Fig. 4, Fig. 5 참조). 특히, 동해시의 경우 하루에 내린 적설량으로 지난 91년 기상이 관측된 이후 최심신적설의 극값을 경신하였으며, 강릉과 속초지역도 지난 78년 이후 두 번째로 많은 적설량을 기록하였다. 그리고 21일 강원 영동지역 4개 시, 군에 대설경보가 9개 시, 군에 대설주의보가 각각 발효된 가운데 동해안과 산간 지방을 중심으로 주요 산간 도로가 잇따라 통제되고, 강원도 강릉 교육청은 임시 휴교령을 내렸다. 또한 항구에 정박해있던 선박 2척이 가라앉았으며, 강원 산간 지방의 200여개의 비닐하우스가 주저앉는 피해도 발생하였다.

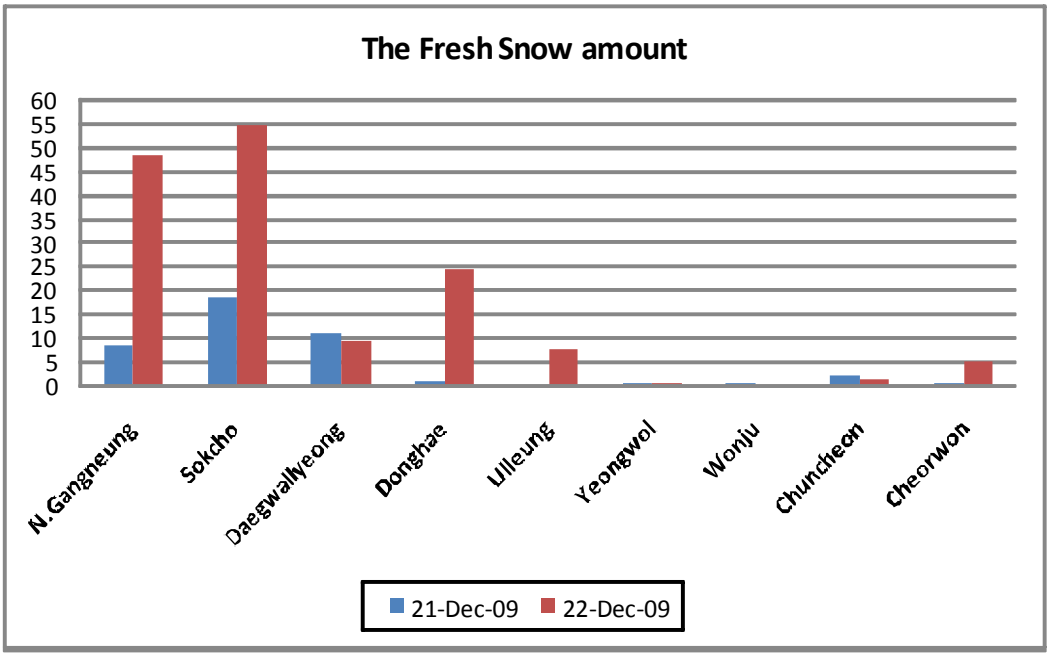

Fig. 4. The amount of snow accumulation for 24 hours in Youngdong region.

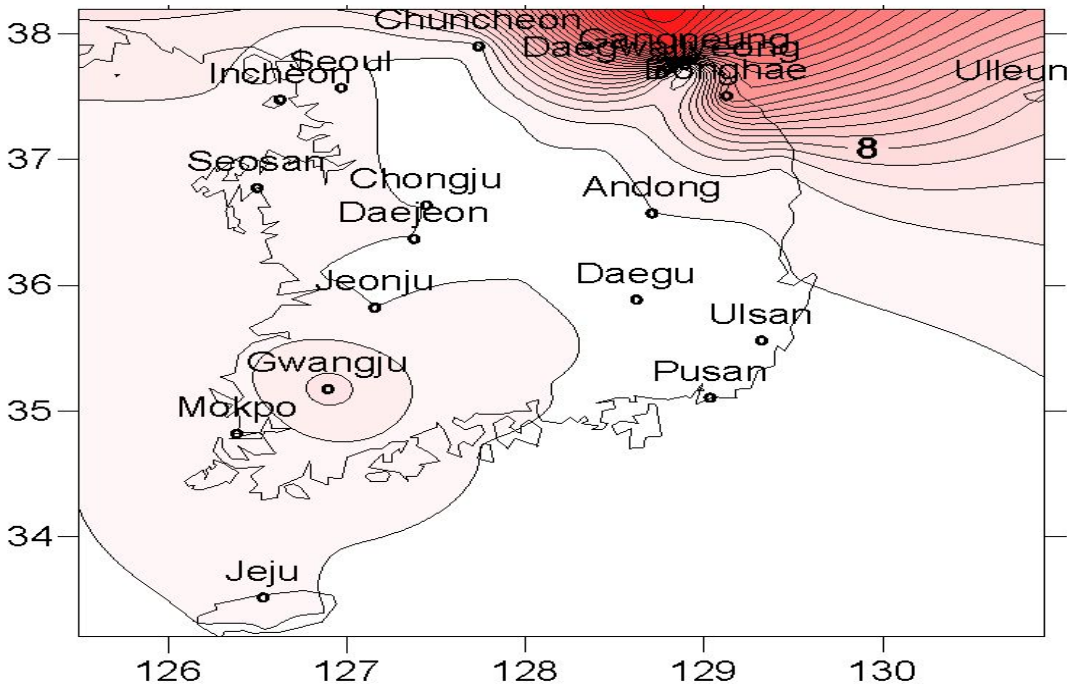

Fig. 5. The amount of snowfall accumulation on 22 Dec. 2008.

제2절 시간별 기상요소 분석

2008년 12월 21일 오전에 강릉시를 비롯하여 강원 영동지방 및 영서 지방에 대설 예비특보가 발표된 가운데, 12월 21일 03UTC를 기하여 강원영동지방과 영서 동쪽 산지에 대설주의보가 발효되었다. 점차 강원지방 전 지역으로 확대되었으며, 강릉시를 비롯한 일부 지역은 대설경보까지 발표되었다.

Fig. 5는 사례기간 동안의 48시간 누적 강수량 분포도를 나타낸 것이다. 강원 영동과 경북 동해안을 중심으로 강수량이 집중되었으며, 특히 속초, 강릉 등 강원 영동지방에 최심적설 평균 40 cm를 기록하였다. 또한, 강원 영동지방 대부분은 눈 또는 진눈깨비가 내렸으며, 경북 동해안지방은 비 또는 진눈깨비 내렸지만, 강수 시간이 매우 짧았다.

Fig. 6은 사례기간 동안의 3시간별 적설 분포도를 나타낸 것이다. 3시간별 적설 분포도를 분석해보면 12월 20일 21UTC부터 강원 영동 북부지역을 중심으로 강설이 시작되었으며, 21일 12UTC부터 21일 21UTC까지 강설이 집중되었고, 22일 00UTC 이후에는 강설이 대부분 종료되었다.

Fig. 7은 강릉시의 시간대별 적설을 나타낸 것이다. 강릉시는 12월 21일 00UTC부터 적설이 나타나기 시작했으며, 그 당시 기온은 0.6℃를 기록했다. 이후 계속적으로 적설량이 상승했으며, 21일 23UTC에 51.0cm로 최심적설을 기록했다.

Fig. 8은 속초시의 시간대별 적설을 나타낸 것이다. 속초시는 21일 03UTC부터 적설이 나타나기 시작했으며, 그 당시 기온은 2.7℃를 기록했다. 21일 22UTC에 62.6cm로 최심적설을 기록했다.

두 지역의 강설 집중 시간은 21일 15UTC~22일 00UTC까지로 기온이 강릉 -2.2℃, 속초는 -2.1℃까지 하강했다. 이는 한기이류가 긴 시간동안 지속되었음을 의미한다.

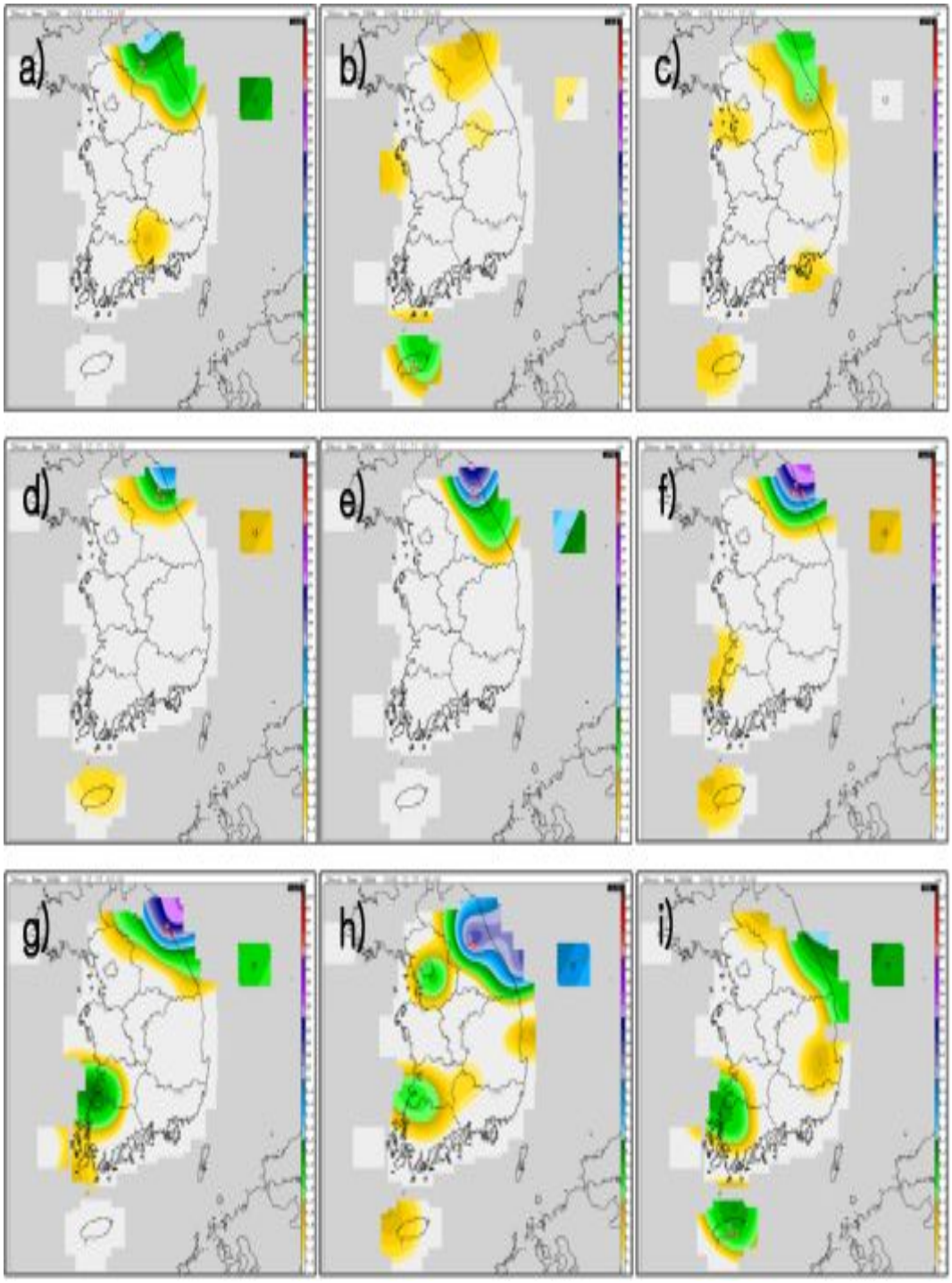

Fig. 6. The amount of precipitation accumulation for every 3 hour from a) 09UTC 21 to i) 09 UTC 22 Dec. 2008.

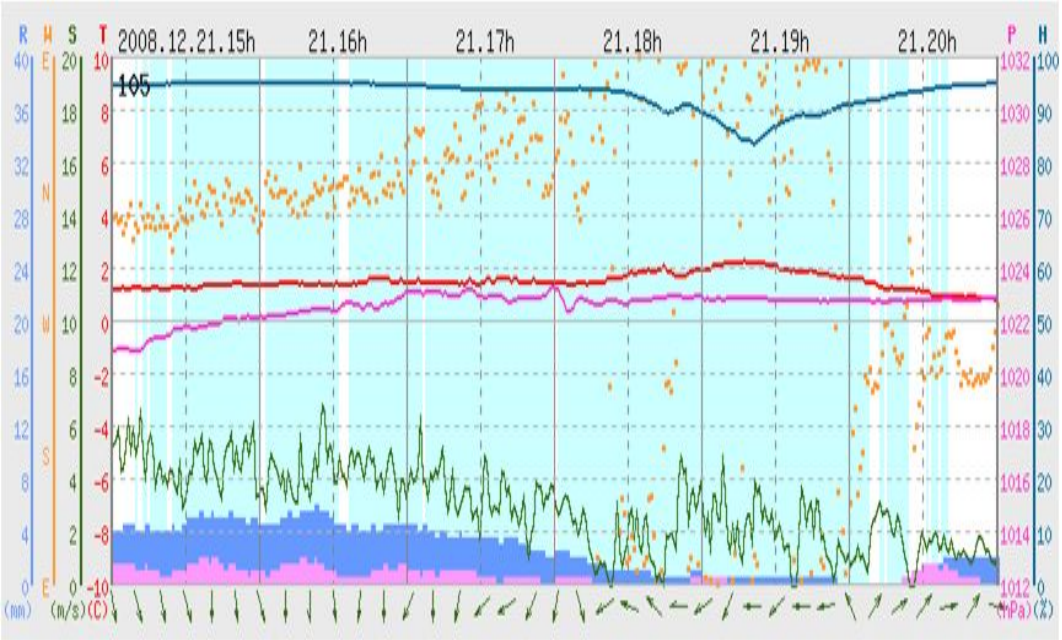

Fig. 7. The distributions of hourly pressure, height, relative, humidity wind, snowfall amount and temperature on Gangneung.

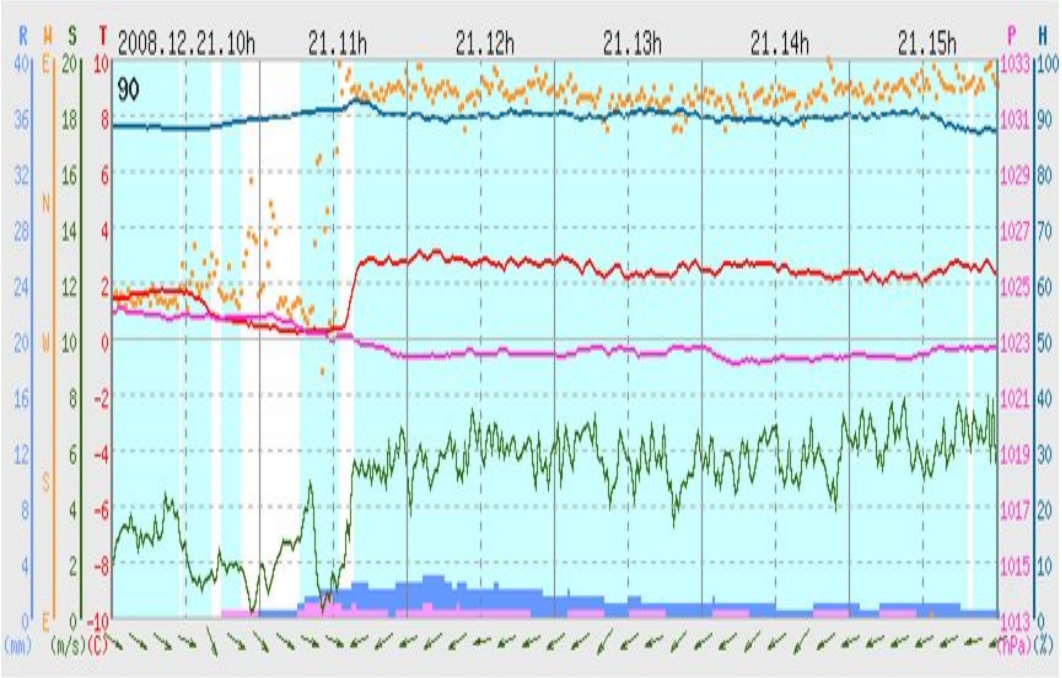

Fig. 8. Same as Fig. 7 except for Sokcho.

제3절 종관 분석

Fig. 9는 사례기간 동안의 북반구 500 hPa 일기도를 나타낸 것이다.

북반구 500 hPa 일기도는 북극을 중심으로 상층에 3개의 장파가 형성되었고, 아시아 부근에서는 북극으로부터 강한 한기가 중위도로 계속해서 뻗어 내려왔다. 이에 따라 시베리아 부근에서는 찬 대륙고기압이 평년보다 일찍 강하게 발달하였다. 화북지방에 있는 기압골이 한기의 지속적인 영향으로 점차 접근함에 따라 기압골 전면에서 상승기류에 의해 대기가 매우 불안정하다.

Fig. 10은 NOAA NCEP (National Center for Environment Prediction: 미국기상청) 재해석 자료를 이용하여 나타낸 극진동을 나타낸 것이다.

2008년의 극진동이 최근 3년간의 극진동에 비해 강한 음의 값을 나타낸다. 극진동이 음의 값을 나타낸 중위도지방의 강한 극기단에 의해 온도가 하강하고 상층편서풍이 남하하는 것을 의미한다. 그러므로 2008년 한파는 Fig. 6에서 본 3개의 장파의 영향으로 나타난 것이며, 이것은 우리나라 뿐 아니라 북미, 유럽에서도 강한 음의 값을 나타낸다. 특히, 시베리아 기단은 음의 값이 평년에 비하여 대단히 높게 나타난다.

Table 4는 33년간의 한반도의 평균기온에 대한 2008년 12월의 기온변화를 나타낸 것이다.

2008년 12월의 평균기온은 -2.2℃로 평년에 비하여 -3.9℃ 이상 낮으며, 최고기온의 편차는 -4.5℃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. 11은 850 hPa 고도에서 12월 20일 12UTC부터 24시간 기온변화를 나타낸 것이다.

먼저 대설 발생 전인 20일 12UTC 까지는 전체적으로 한만국경부터 화북지방까지 매우 넓게 기온감소가 나타났고, 동해 북쪽에 한기의 핵이 나타난다. 특히 한만국경에서는 -18℃의 기온 하강이 나타났다. 그러나 21일 00UTC에 한기 핵의 세력이 급격히 강화되면서 남동진하였다. 또한 한기의 핵이 한반도로 접근하였고, 21일 12UTC에 한기의 핵의 일부가 한반도 서해안에 도착하면서 동해상의 한기의 핵과의 장벽효과에 의해 대설이 발생하였다. 이는 북동기류의 영향으로 대설이 발생했음 의미한다. 결국 시

베리아기단의 발달한 한기의 핵이 남동진하여 하층 대류권의 기온하강이 나타남을 알 수 있다. 그 후 한기의 핵이 더욱 남동진하여 영동지방과 동해안지방에 대설을 발생하였다.

Table 5는 속초지방 상층관측에 의해 나타난 고도별 기온과 850 hPa의 RDAPS 기온의 시간변화를 나타낸 것이다.

대설발달 전인 20일은 500 hPa 고도의 기온이 -21℃로 큰 변화가 없다. 그러나 대설이 발달하며 한기가 지속되는 21일의 경우 -30℃ 이하로 떨어지며 12UTC에는 최대 -36.2℃ 까지 하강한다. 그러나 하층의 경우 상층만큼 하강을 보이지는 않는다. 그러므로 상하층간의 온도 불균형은 대기 불안정을 강화시켜 영동지방의 대설을 유도하였다고 볼 수 있다.

Fig. 12는 12월 21일 00UTC와 12UTC의 지상 일기도를 나타낸 것이다.

지상 일기도를 살펴보면, 한만국경으로 고기압이 장출하고 화북지방에 중심기압이 1,058 hPa의 고기압이 위치하고 있으며, 동해상으로 중심기압이 1,017 hPa의 저기압이 깊어지면서 북동기류가 발생하는 시스템이 나타난다. 그 후 한만국경과 화북지방에 장출된 고기압은 남동진하여 한반도로 시베리아 기단이 확장중인 시스템을 나타낸다.

동해상의 저기압도 중심기압이 1,011 hPa로 발달하여 일본열도 쪽으로 더욱 깊어지고 있어 북동기류의 영향이 커지고 있음을 의미한다. 한만국경부터 장출 된 고기압은 한반도 방면으로 이동하면서 한 축은 동해상으로 형성되어있고, 또 다른 축은 우리나라 서해상을 거쳐 북한지방으로 향하면서 산동반도 방면으로 이어지고 있다.

따라서 우리나라는 등압선이 남북으로 서면서 기압경도력이 매우 강화된 상태를 보여주고 있으며, 또한 대륙고기압은 한만국경과 화북지방에 위치하면서 중심기압이 1,058 hPa로 발달해 겨울철 서고동저형 cP확장의 대표적인 전형을 보이고 있다. 대륙고기압과 일본열도 에 위치한 저기압과의 기압 차는 47 hPa이고, 적설최심은 기압경도력이 가장 강한상태에서 나타났으며, 그 후 점차 적설량은 감소하였다.

Fig. 13은 12월 21일 00UTC와 12UTC의 850 hPa 고도의 일기도를 나타낸 것이다.

850 hPa 일기도를 살펴보면, 화북지방으로 중심기압이 1,638 gpm의 고기압이 위치해 있고, 남해상의 고기압은 점차 일본열도 남쪽해상 쪽으로 이동해가고 있다. 그로 인해 90E 부근의 한기의 핵을 120E까지 이동시키면서 더욱 강화되고 있다. 중심기압이 1,162 gpm의 저기압은 캄차카 반도에서부터 동해상 및 한반도까지 기압골을 형성되면서 계속적으로 우리나라에 영향을 주고 있다. 또한, 만주 북쪽으로 한핵이 위치해 있으며, 한만국경부터 남해상까지 강한 온도 경도를 형성하고 있는 시스템이 나타난다. 여

전히 우리나라는 난역에 들어, 북동기류에 의해 동해상의 습기(수증기)를 계속적으로 유입시키고 있다.

Fig. 14는 12월 21일 00UTC와 12UTC의 500 hPa 고도의 일기도를 나타낸 것이다.

캄차카 반도에 중심을 둔 저압부는 만주 동쪽까지 확장되어 있으며, 기압골은 발해만을 거쳐 상해방면으로 형성되어 기압골축의 폭이 좁은 상당히 발달된 모습을 보이고 있다. 한기 핵은 -48℃로서 온도골이 기압골 축과 겹쳐있어 기압골은 최성기에 도달한 모습을 나타낸다. 등온선이 등고도선을 횡단하면서 기압골 발달을 촉진시키고 있다. 한기골이 만주지방까지 폭넓게 자리 잡으면서 우리나라로 유입되어 적설 지속시간이 길어졌다. 또한 일기도 분석 결과 발해만에 위치한 골 후면(화북지방)은 하층 고기압이 발달하고, 한반도를 비롯한 동해상은 하층 저기압을 발달시킬 시스템을 나타낸다.

Fig. 15는 12월 21일 00UTC와 12UTC의 300 hPa 고도의 일기도를 나타낸 것이다.

Polar jet는 화북지방 남쪽으로 jet곡을 형성시키며 남쪽의 sub-tropical jet와 함께 한반도 전역을 걸쳐 일본열도로 흐르고 있다. 따라서 우리나라에서 한기가 정체하고 있으며, 바람은 남서풍이 130~140 kts로 강하다. 화북지방은 polar jet의 입구 왼편에 위치하여 상층 수렴역을 형성하고 이에 대응하는 하층에서는 발산역을 나타낼 시스템을 나타낸다.

Fig. 16은 한반도 주변의 상세한 기압분포를 확인하기 위하여 1 hPa단위의 기압장을 나타낸 것이다. 앞에서와 같이 시베리아기단의 강한 유입은 대설을 일으키는 주요한 요인이다. 그러나 일기도 분석에서와 마찬가지로 Fig. 16에서도 대설이 발달하기 전인 21일 18UTC에 영동지방에 가까운 동해안에 북동기류가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 시베리아기단이 확장되어 가는 동안 종관규모인 시베리아기단에 비하여 매우 세력이 작은 중규모적인 운동에 의하여 형성된 것이다. 이러한 시베리아기단과 북동기류에 의한 동해상의 저기압이 동해상에서 하층수렴을 강화시키는 역할을 한다. 20일에 발생한 동해상의 저기압은 대설이 발생을 시작한 21일에는 북동기류에 의해 영동지방쪽으로 이동하며, 공간적인 규모가 축소된다. 대설이 최성기를 이루는 22일 06UTC 이후에는 거의 사리지는 것을 볼 수 있다. 이것은 비록 소규모이지만 대설이 발생하기 전에 캄차카반도부터의 저기압이 확장하여, 동해상에서 공기를 상승시키는 요인으로 작용한다. 이러한 북동기류의 생성되는 원인은 따뜻한 공기가 북동해안으로부터 유입되고, 상층의 제트기류가 한반도 영동지방의 상공을 지나가기 때문이다.

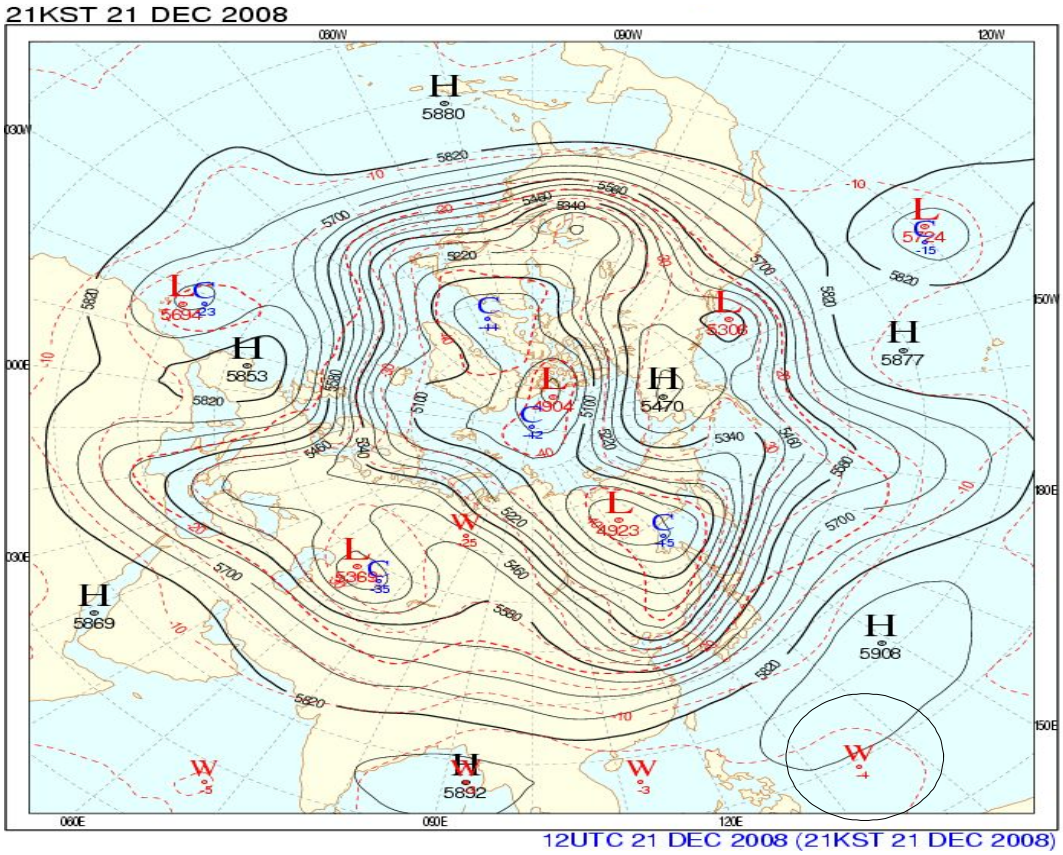

Fig. 9. The weather chart at 500 hPa at the Northern Hemisphere on 12UTC 21 Dec. 2008.

Table 4. Temperature pattern of Dec. 2008 in comparison with past 33 years.

Period	T_{mean} (℃)	Difference of T_{mean} (℃)	Difference of T_{lowest} (℃)	Difference of $T_{highest}$ (℃)
1st ten days	0.4	-2.8	-2.4	-3.7
2nd ten days	-3.8	-5.4	-5.5	-5.8
3rd ten days	-2.9	-3.4	-3.6	-3.9
Monthy mean	-2.2	-3.9	-3.8	-4.5

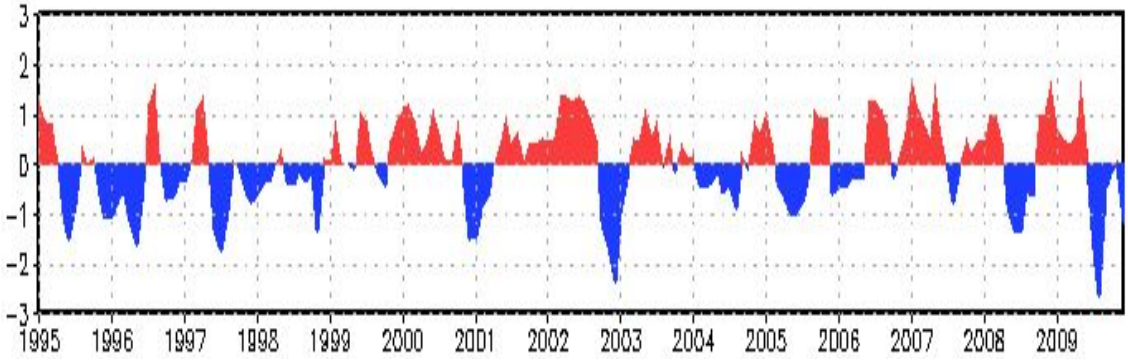

Fig. 10. Arctic Oscillation Index (AOI) from NOAA NCEP.

Table 5. Arctic Oscillation Index (AOI) from NOAA NCEP.

month / year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	-0.170	-0.156	-1.604	0.138	0.156	1.071	0.103	-0.265	0.606	-1.029	0.521	2.282
2007	2.034	-1.307	1.182	0.544	0.894	-0.555	-0.397	-0.034	0.179	0.383	-0.519	0.821
2008	0.819	0.938	0.586	-0.455	-1.205	-0.090	-0.480	-0.080	-0.327	1.676	0.092	0.648
2009	0.800	-0.672	0.121	0.973	1.194	-1.351	-1.356	-0.054	0.875	-1.540	0.459	****

Table 6. Time pattern of RDAPS temperature at 850 hPa and altitude classified temperature which appears by the observation of the upper layer in Sokcho region.

Date	20 Dec.		21 Dec.		22 Dec.	
Time(UTC)	00	12	00	**12**	00	12
Surface	-6.7	2.2	-6.7	**-3.9**	-4.3	1.0
850 hPa	-7.5	-5.3	-12.1	**-14.5**	-5.7	-
500 hPa	-21.7	-21.5	-32.9	**-36.2**	-30.1	-
GDAPS (850 hPa)	-5.7	-7.0	-11.0	**-16.0**	-10.0	-10.0

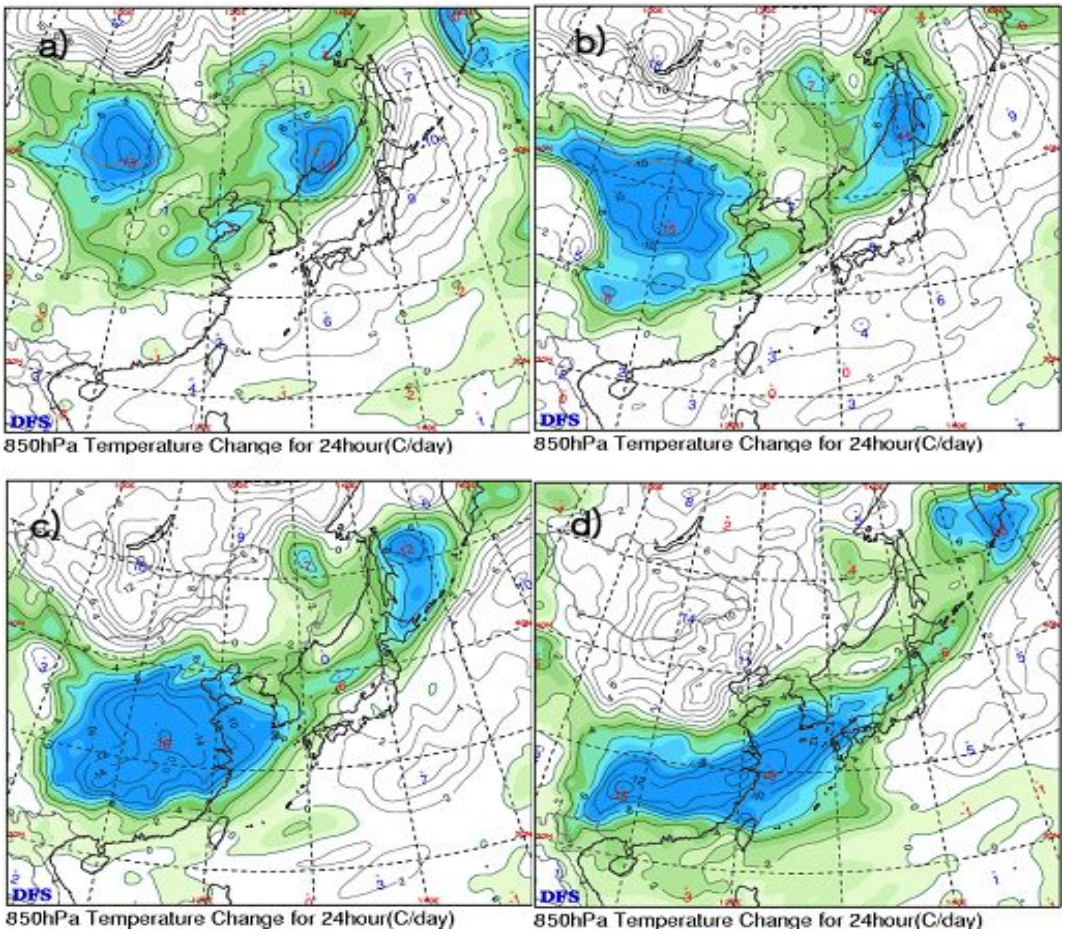

Fig. 11. Temperature change at 850 hPa for 24 hours from a) 12UTC 20 to d) 12 UTC 22 Dec. 2008. (Color shading indicate the area of temperature decrease for 24 hours. The interval of contours is 2 K).

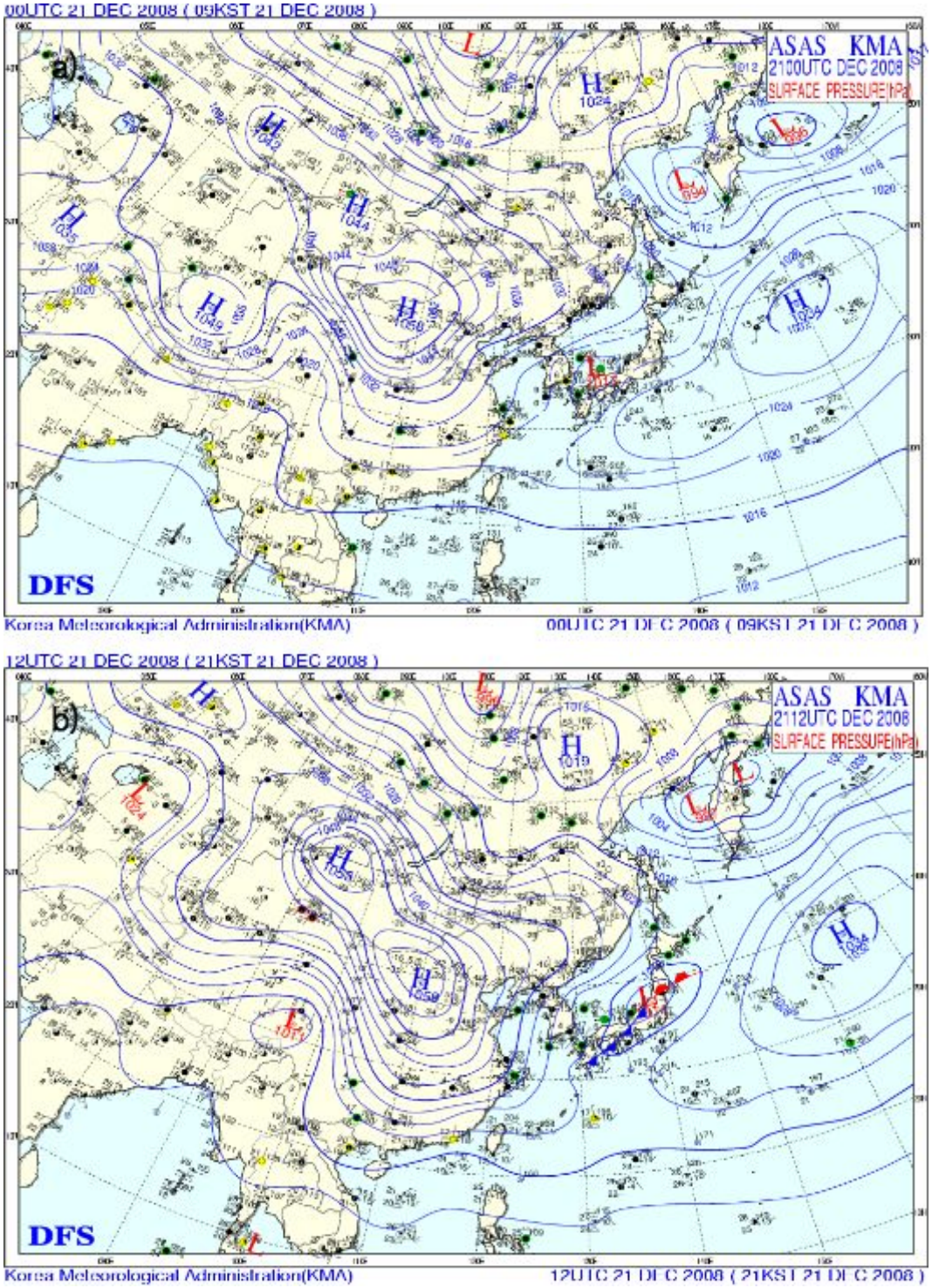

Fig. 12. Surface weather chart on a) 00UTC and b) 12UTC on 21 Dec. 2008.

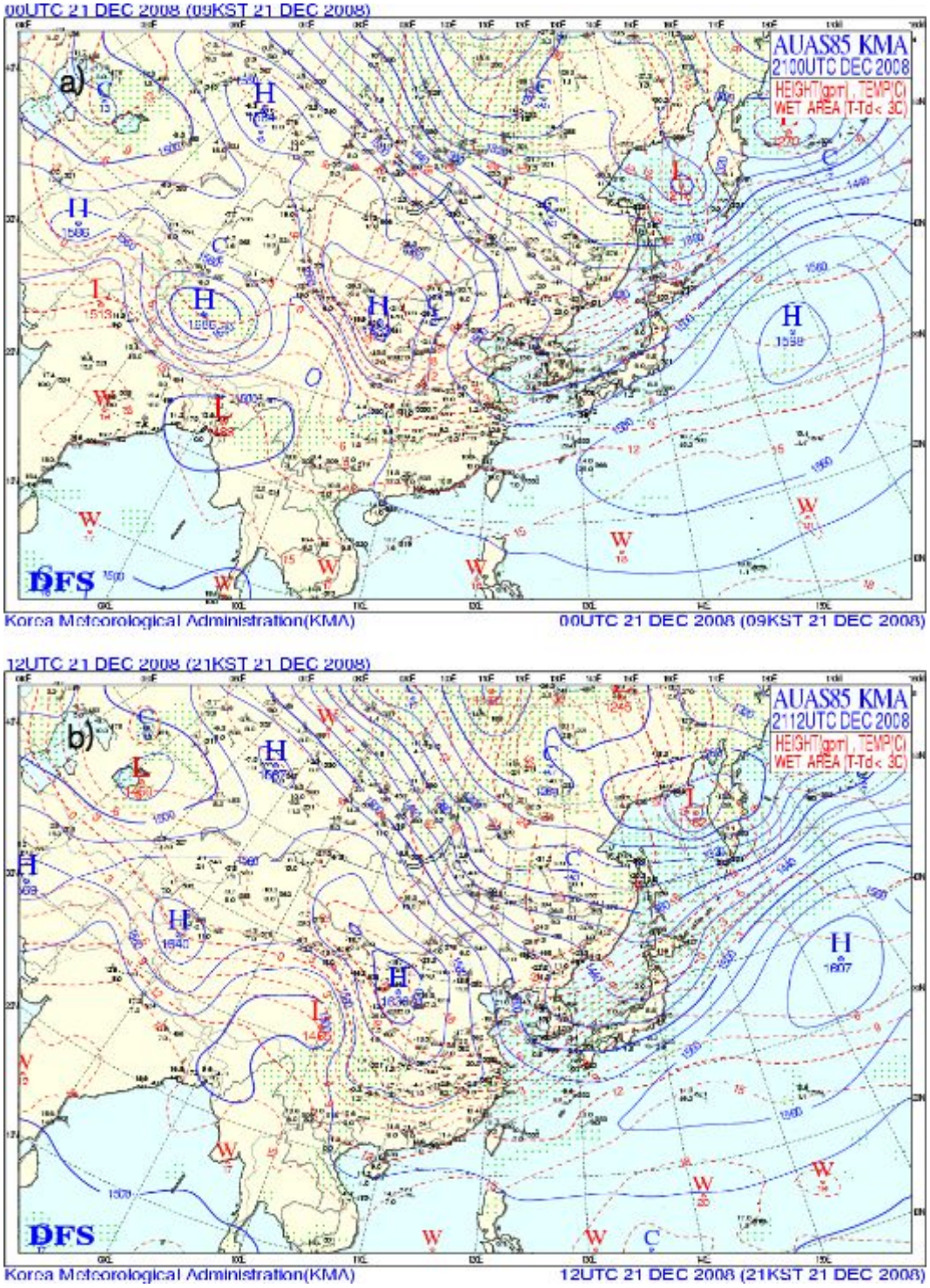

Fig. 13. The weather chart at 850 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008.

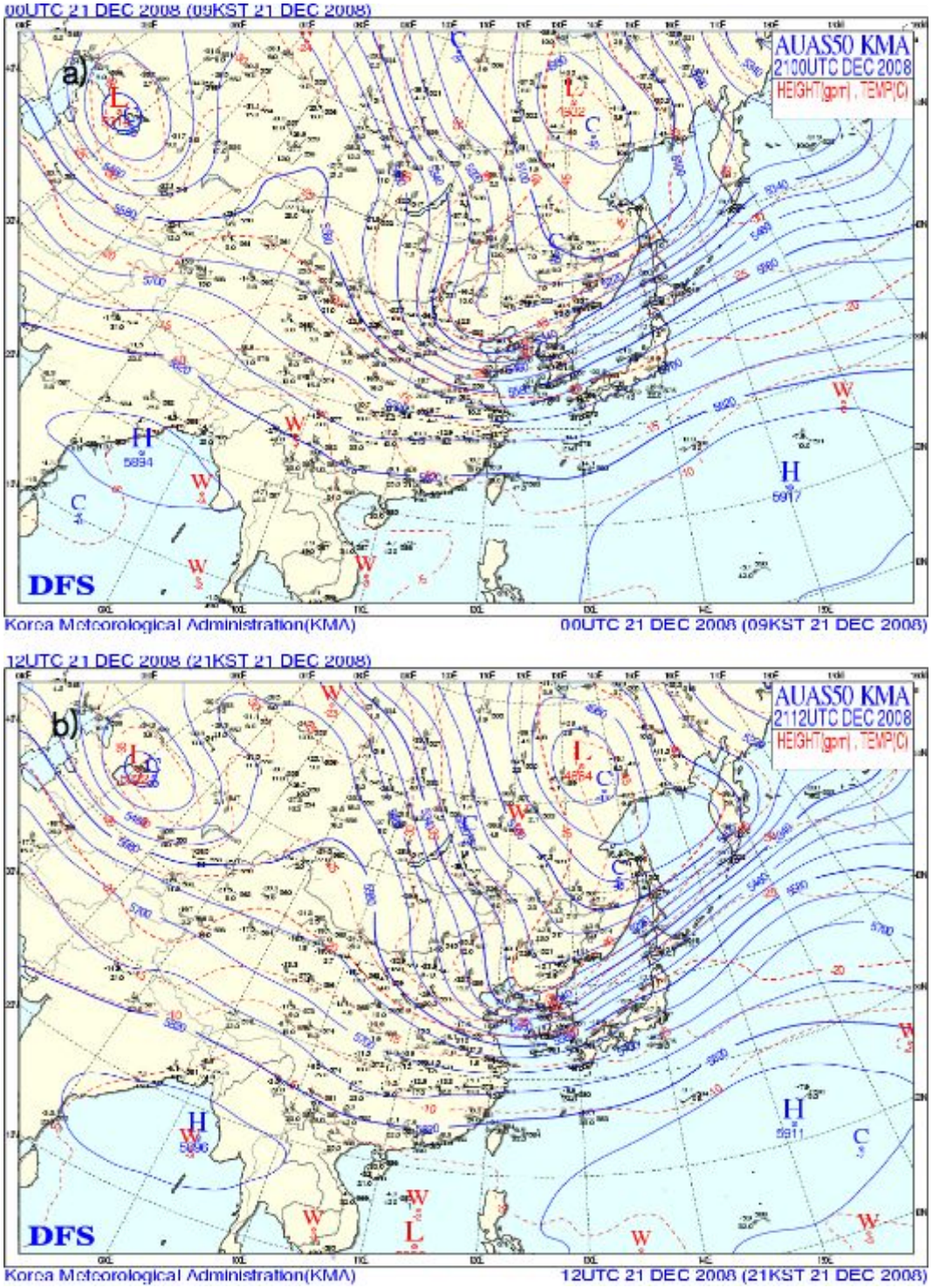

Fig. 14. The weather chart at 500 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008.

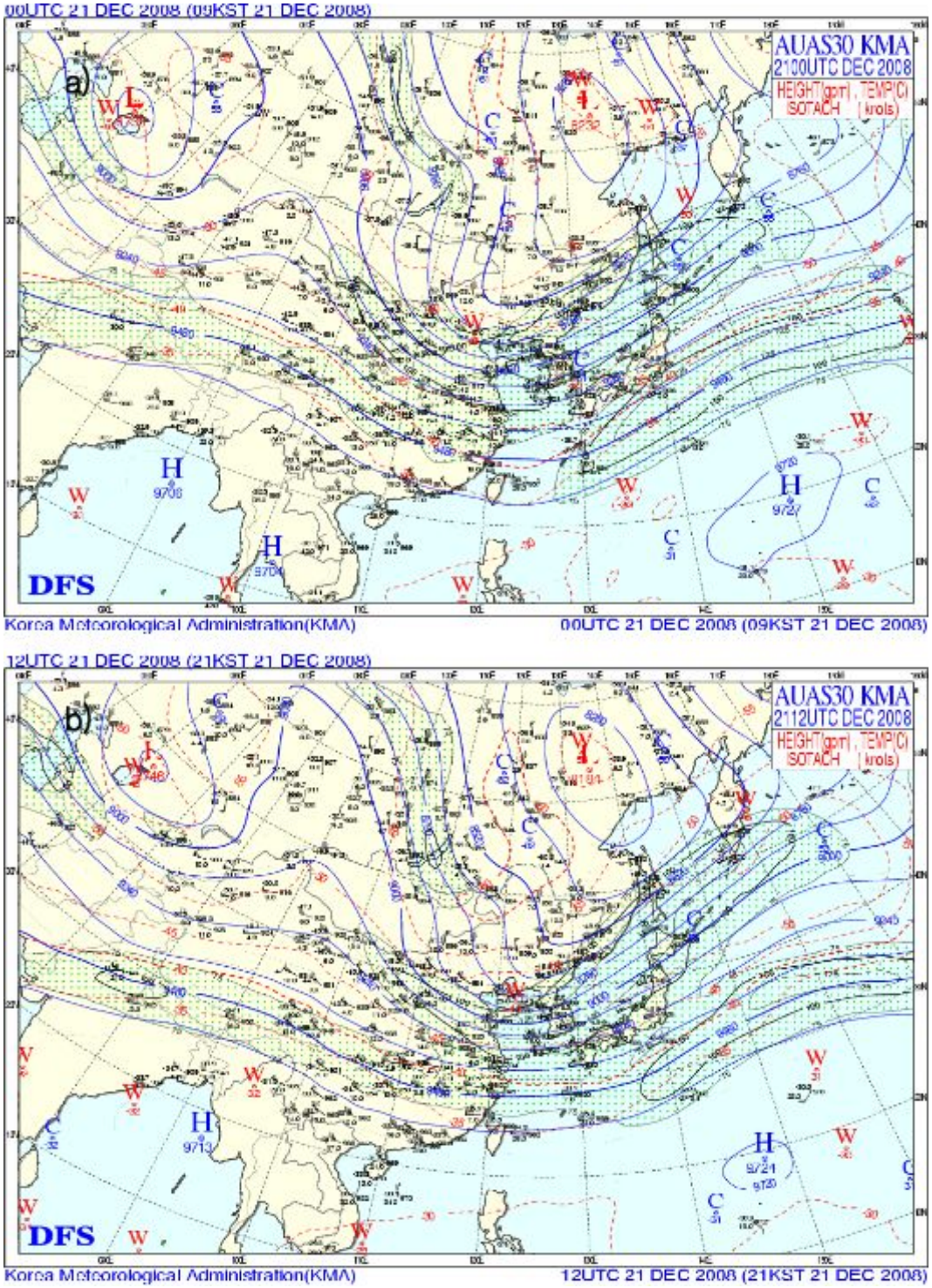

Fig. 15. The weather chart at 300 hPa on a) 00UTC and b) 12UTC 21 Dec. 2008.

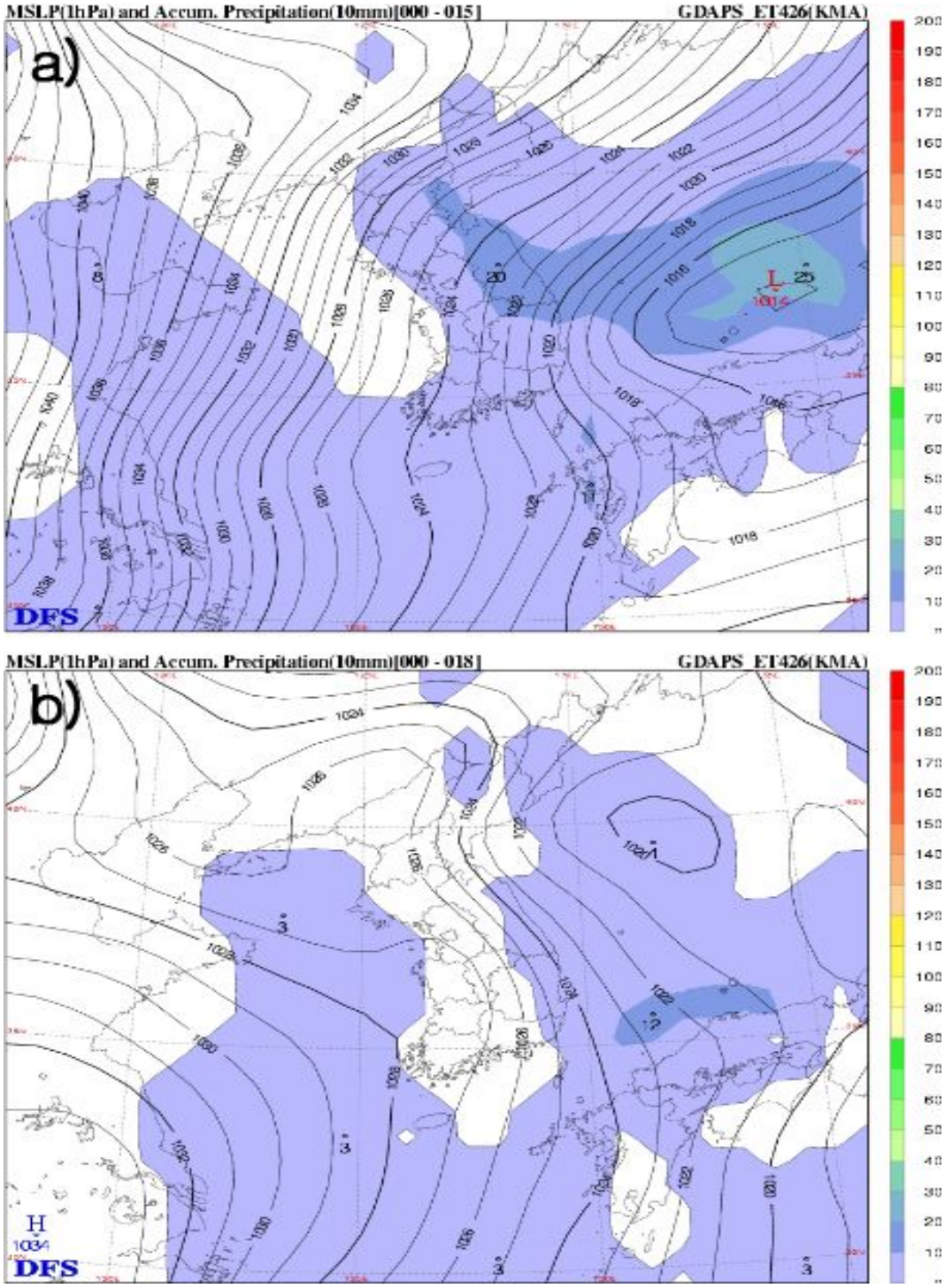

Fig. 16. The GDAPS pressure field by 1 atm unit on a) 18UTC 21 and b) 06UTC 22 Dec. 2008.

제4절 원격탐사자료 분석

겨울철 한반도에는 강설이 발생하게 하는 종관적인 유형은 크게 저기압형, 한기확장형, 상층골형으로 구분할 수 있다(이우진, 2007). 위성영상은 이러한 종관적인 유형에 따르는 수천 km 영역의 구름의 변화와 이동과 함께 수십 km 정도의 좁은 영역에 나타나는 중규모 현상도 감시할 수 있다. 특히, 하층 대류권의 바람장 비교 분석에 유용하다.

Fig. 17은 12월 21일 00UTC 부터 22일 00UTC 까지 위성영상 자료를 나타낸 것이다.

위성영상 자료를 분석해 본 결과, 저기압이 통과 후 대륙고기압이 북서쪽에서 확장되어 오고 동해상에 저기압이 발달하여 북동기류와 따뜻한 동해를 지나 적운 계열의 구름이 형성된 것을 알 수 있다. 적운 계열의 방향은 한기-해안 강설 패턴의 바람장과 잘 일치한다.

겨울철에 발생하는 대설은 찬 대륙성 기단이 상대적으로 한반도 주변의 해양을 지나면서 종관적인 기압배치, 지형 효과와 더불어 대기와 해양의 온도차에 의해 영향을 받는 현상이다.

Fig. 18은 MTSAT 주간 평균 해수면온도를 나타낸 것이다.

2008년 12월 15일부터 22일까지 동해 중부해상 평균해수면 온도는 15~18℃를 기록했고, 강수강도가 가장 강했던 21일 12UTC에 925hPa 기온과 해수면의 온도차는 19~23℃, 850hPa 기온과의 차이는 23~26℃ 였다. 즉, 해기차 매우 커서 영동해안지방에 매우 많은 양의 수증기가 발생했음을 의미한다.

따라서 습윤한 공기는 동풍 계열의 바람에 의해 풍상측으로 수송되어 수렴대 내에 수증기를 공급한다. 상승된 습윤 공기는 해안 산악에서 응결에 의한 잠열 방출을 증가시켜 이로 인해 풍상측에 수렴 기류가 강화되어 더 많은 강설을 유발시키며, 동해에서 온도능(thermal ridge)이 영동지방으로 뻗어 있고 이와 관련된 바람장이 영동지방으로 끊임없이 온난 이류의 존재를 암시하고 있어 이것이 대설 지역의 하층 불안정을 더욱 가속시켰다.

기상 레이더는 다른 관측 장비들에 비해 시공간적 해상도가 높기 때문에 영동지방의 대설 시 레이더 반사도의 특징과 대기 연직구조의 분석에 유용하다. 또한, 레이더는 중간규모 구름계 내부의 바람장의 변화와 이동을 유추할 수 있는 유용한 장비이므로 (박상균 등, 1998) 강수 반사도의 분석을 통해 대설을 유발하는 중규모대류운시스템의 강수구조 및 하층 대류권의 바람장을 분석하였다.

Fig. 19는 2008년 12월 21일 00UTC부터 22일 06UTC까지의 기상레이더 강수 반사도 영상을 나타낸 것이다.

레이더 영상에서는 2008년 12월 21일 00UTC에 중부지방과 남부지방에 band형의 강수 반사도가 나타났으나, 12UTC 이후 강원 산악지방과 영동 북부지방에 강수 반사도가 나타났다. 강설 집중 시간인 22일 00UTC는 영동지방 대부분과 경북 동해안 일대까지 강수 반사도가 도넛형으로 나타났다. 이는 북동기류의 장벽효과 영향으로 습윤공기가 동해와 영동해안지방에 정체하였다.

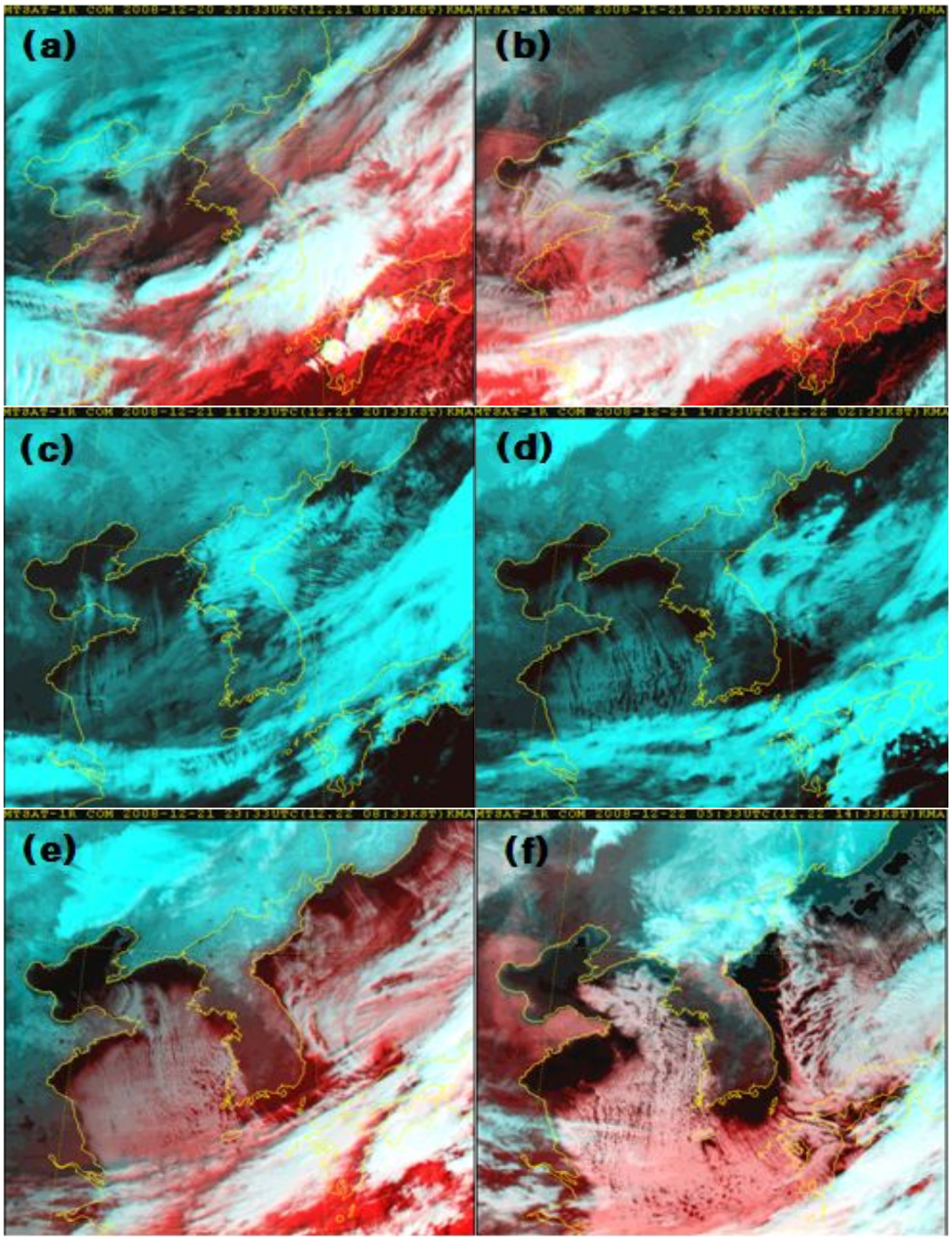

Fig. 17. The images of GMS(Geostationary Meteorological Satellite). (a) 2333 UTC 20, (b) 0533 UTC 21, (c) 1133 UTC 21, (d) 1733 UTC 21, (e) 2333 UTC 21, (f) 0533 UTC 22 Dec. 2008, respectively.

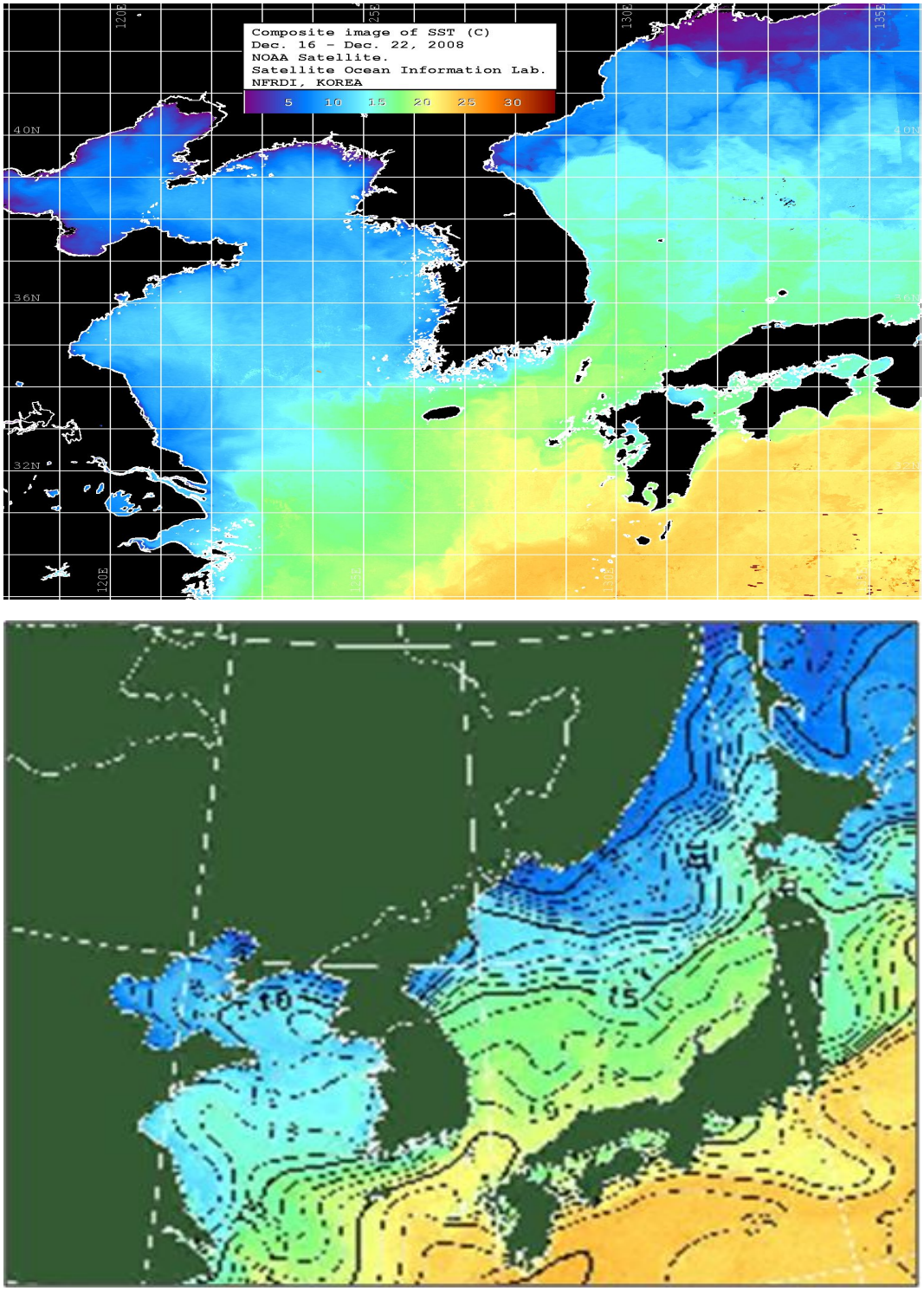

Fig. 18. The daily average sea surface temperature by MTSAT on 21 Dec. 2008.

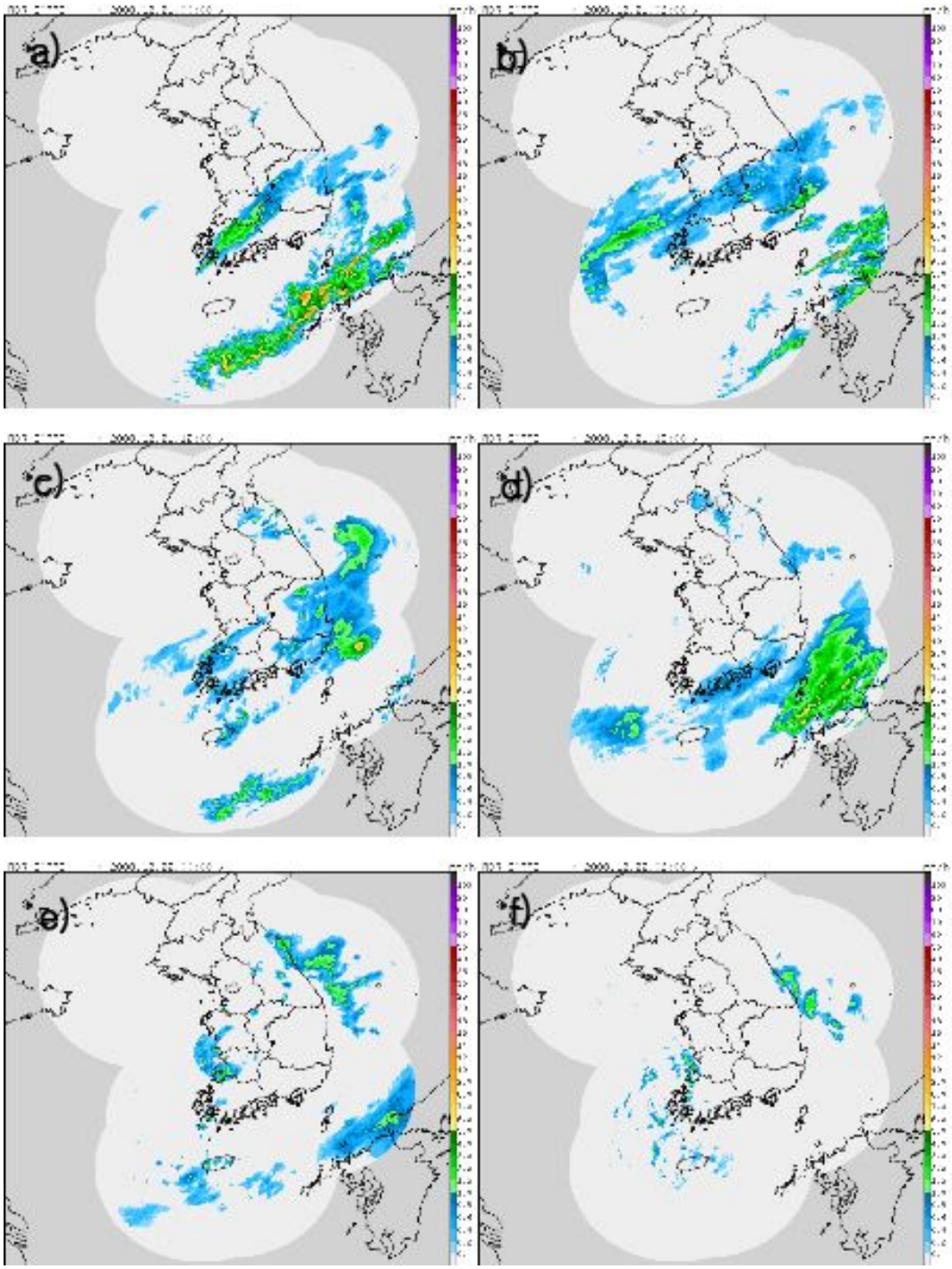

Fig. 19. The reflectivity images of the radar for (a) 00 UTC 21, (b) 06 UTC 21, (c) 12 UTC 21, (d) 18 UTC 21, (e) 00 UTC 22, (f) 06 UTC 22 Dec. 2008, respectively.

제4장 하층 대류권의 바람장 분석

영동지방 겨울철에 나타나는 강한 강수는 주로 하층 대기의 풍향과 풍속에 따라 결정된다고 보고, 이를 조사하기 위하여 영동지방 강수와 관련된 지상관측 바람 자료와 종관 바람장으로 미국 기상청/대기과학연구(NCEP/NCAR) 재분석의 대류권 하층 풍향과 풍속자료를 분석하였다. 이 연구 결과는 겨울철 영동지역의 강수가 대부분 대관령 동풍과 관련되어 있고, 대관령 바람은 종관 규모의 바람과 밀접한 관계가 있다고 보고하였다(정광범, 2004).

영동지방의 겨울철 강수를 하층 대류권의 바람장에 따라 다음과 같이 세 가지 형태로 구분하였다. 강수형태를 보면, 해안지역보다 산악지역에 강수가 많은 산악 강설 패턴의 경우 지상관측 바람에서 대관령과 강릉이 모두 동풍이 관측되고 상·하층 대류권의 바람 모두 북동풍이고 상대적으로 풍속이 강하며, 특히 상층보다 하층의 풍속이 강한 바람과 연관되어 있다고 분석하였다. 산악지역보다 해안지역에 강수가 많은 한기-해안 강설 패턴은 지상관측 바람에서 대관령과 강릉은 각각 북동풍과 북서풍을 보이고 하층 대류권 바람에서는 하층과 상층 각각 북동풍과 북북동풍~북서풍과 관련되어 있으며, 대체적으로 풍속이 약한 바람과 관련되며, 이는 상·하층의 풍향의 변화는 상층의 한기의 유입을 의미한다. 그리고 난기-해안 강설 패턴은 지상관측 바람에서 대관령과 강릉은 각각 북동~남동풍과 남서풍을 보이고 하층 대류권 바람에서는 하층과 상층에서 각각 동풍~남동풍과 남동풍~남서풍과 관련되어 있으며, 대체적으로 풍속이 약하고 상·하층의 풍속이 비슷한 바람과 관련된다고 분석하였으며, 이는 상·하층의 풍향의 변화는 상층의 난기 유입을 의미한다.

Figs. 20과 21은 2008년 12월 21일부터 22일까지의 대설 사례에 대한 850 hPa와 925 hPa의 풍계 및 습수 분석을 나타낸 영상이다. 850 hPa에서는 강설이 시작되기 전 20일 12UTC에는 서풍, 강설이 시작된 21일 00UTC에는 북북동풍, 강설이 끝나가는 22일 00UTC에는 북서풍이 불었으며, 925 hPa에서는 강설이 시작되기 전 20일 12UTC에는 북동풍, 강설이 시작된 21일 00UTC에는 북동풍, 강설이 끝나가는 22일 00UTC에는 북풍이 불었다. 또한 습수역은 강설이 시작된 21일 00UTC에는 일치하였으며, 강설이 끝나가는 22일 00UTC에는 습수역이 약화되었다.

본 연구에서는 기존의 연구 자료를 토대로 수치모델 자료를 이용하여 보다 정밀한 한기-해안 강설 패턴의 개념 모델을 정립하고자 한다.

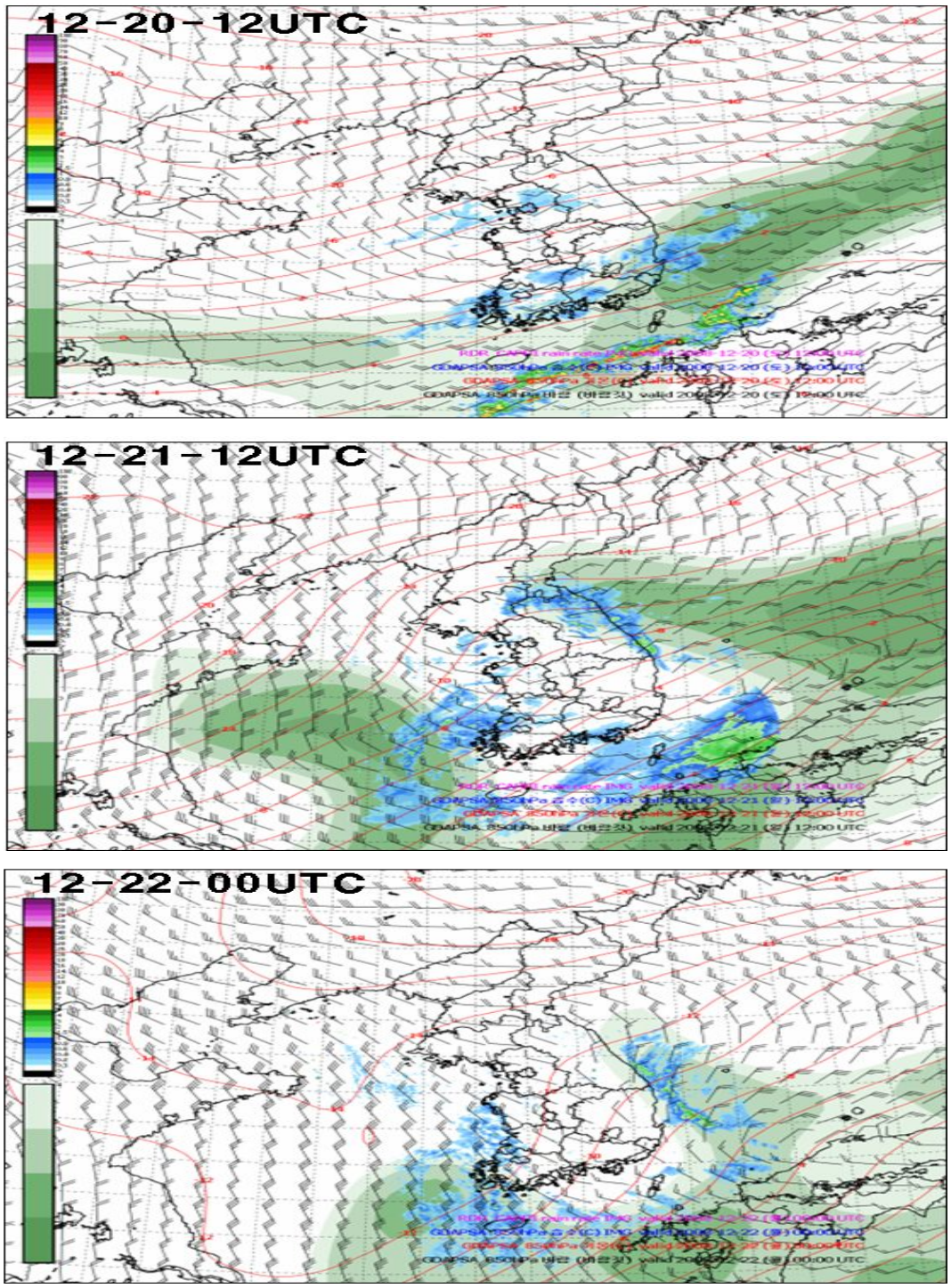

Fig. 20. The analysis of the wind field and dew point depression at 850 hPa on (a) 12UTC 20, (b) 00UTC 21, and (c) 00UTC 22 Dec. 2008.

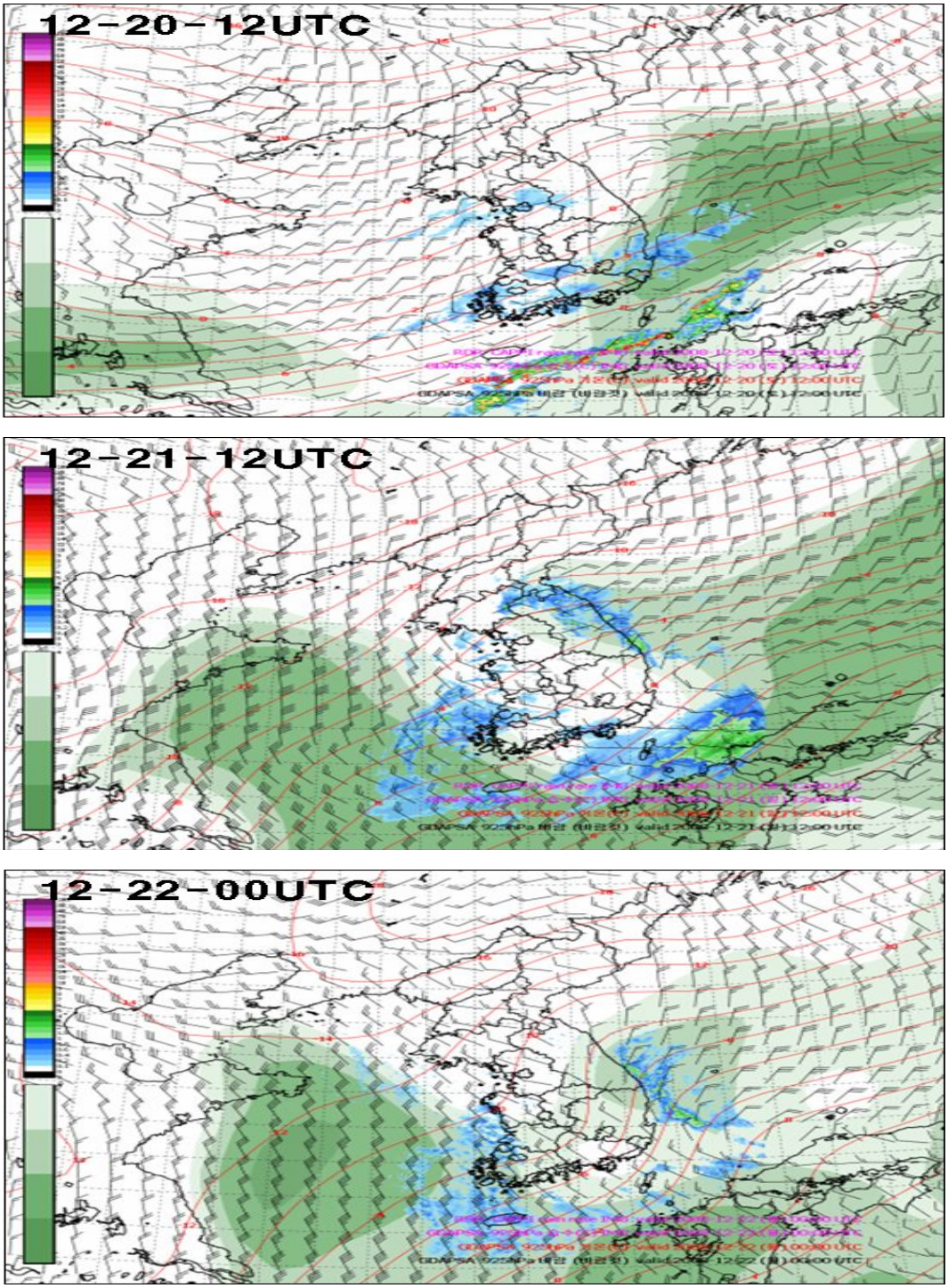

Fig. 21. Same as Fig. 20 except for 925 hPa.

제1절 수치분석모델 및 모의 설계

본 연구는 영동지방의 대설이 발생한 2008년 12월 21일부터 22일의 기상청 종관자료, 고층자료 그리고 기상위성자료를 바탕으로 분석하였다. 분석은 미국예보시스템연구소(Forecast Systems Laboratory : FSL)에서 제공한 LAPS(Local Analysis and Prediction System)을 이용하였다. 기상관측장비의 현대화를 통한 관측기술의 발달에도 불구하고 중규모 이하의 기상예보에는 아직도 많은 문제점을 나타내고 있고, 단시간 악기상 예보는 아직 미흡하다고 볼 수 있다. 이러한 문제점을 보완하고 기상예보능력 향상을 위해서는 다양한 기상측기로부터의 기상관측 자료를 종합·분석 처리하여 수치예보에 활용하는 자료동화 기술의 개발이 필수적이다.

본 연구에 사용된 KLAPS(Korea Local Analysis and Prediction System)는 적용시키고자 하는 지역에서 수집 가능한 모든 기상관측자료를 KLAPS의 분석기법을 이용하여 고해상도 자료를 생산해내며, 이 때 각종 기상관측자료가 KLAPS를 이용하여 초기 추정치에 동화된다. KLAPS에는 초기 자료 수집 모듈과 분석 모듈로 크게 나누어지는데, 분석 과정에서 자성 분석 과정과 3차원 바람, 온도, 습도, 구름, 강수, 토양 분석과정, 그리고 그로부터 유도되는 각종 자료 분석 과정으로 구성되며, 각각의 분석 과정은 관측 자료의 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 실활 예보에 활용되고, 또한 3차원 격자점으로 자료로 변환되어 수치예보 모델의 초기 자료로 제공된다. 분석 결과는 기상관련 기관 및 방재 기관 등으로 분배되며 Fig. 22은 이상의 KLAPS에 대한 흐름도를 나타낸다(McGinley et al, 1991; Albers, 1995; Albers et al, 1996).

새로운 기상관측기기가 개발되고 이용됨에 따라 해석적인 차원에서 기상예보관련 연구자들에게 관측 자료가 제공되었다. 그러나 자료의 양이나 형태면에서 이를 분석하는데 방대한 시간이 소요되고, 공간적·시간적인 불연속체인 관측 자료를 예보연구자들이 정해진 예보시간 내에 해석하여 내는 것은 어려웠다. 그러한 이유로 현재 KLAPS의 좌표계는 수평 2~20 km의 해상도로 람퍼트 공형(Lambert conformal) 및 극평사(Polar Stereo Graphic) 등의 도법이 가능하며, 연직 좌표계는 등압면 좌표계로 25 hPa

의 해상도까지 분석이 가능하다. 따라서 meso-ß에서 meso-γ에 이르는 국지규모 기상 현상까지 분석해 낼 수 있다. meso-ß 이하 규모의 악기상 현상은 단시간 수치예보에 있어서 신속히 예측할 수 있어야 그 피해를 최소한으로 줄일 수 있으므로 KLAPS 시스템은 이런 목적에 매우 적합한 시스템일 수 있다. 이미 LAPS 시스템은 콜로라도 주립대학교의 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System), 오클라호마 대학의 ARPS(Advanced Regional Prediction System) 그리고 MM5 모델의 전 처리과정으로 이용되고 있으며(Brewster et al, 1995; Snook et al, 1998; Shaw et al, 2001), 현재 미국의 차세대 국지 악기상 모델로 개발중인 WRF(Weather Research and Forecast) 모델의 전 처리과정으로도 개발되고 있다. 즉, KLAPS로 분석된 자료가 특정한 수치예보 모델에 국한되지 않고 일반적인 국지 악기상 예보 모델의 전 처리과정에 적용시킬 수 있다는 점은 KLAPS의 또 다른 장점이라 할 수 있다. 또한 수집된 각종 자료를 진단적으로 재분석하여 영동지방의 고해당도 국지기상예측모델의 초기치로 이용하고 KLAPS 재분석자료는 그 자체로도 진단적인 예보자료로 사용될 수 있다.

본 연구에서는 진단적인 분석에는 사용하지 않았으나 재해석자료는 3차원 graphic user interface에 의하여 화상으로 결과를 표출하고 있으며, 이것을 분석하여 현재 기상상태를 분석하는 것이 가능하다.

그러나 KLAPS 시스템은 물리 역학적으로 부족한 부분이 많은데, 이를 설명하기 위해서 기상청에서 제공되는 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System)자료를 분석에 사용하였다. RDAPS는 PSU/NCAR MM5를 기준으로 제작된 중규모 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. 지표면 경계층은 MRF 방법을 사용한다. RDAPS를 이용하여 현재 한반도 주변의 기상장을 예측하고 있으며, 집중호우 및 기타 기상재해예방과 관련하여 RDAPS자료는 중요한 요소로 적용되고 있다.

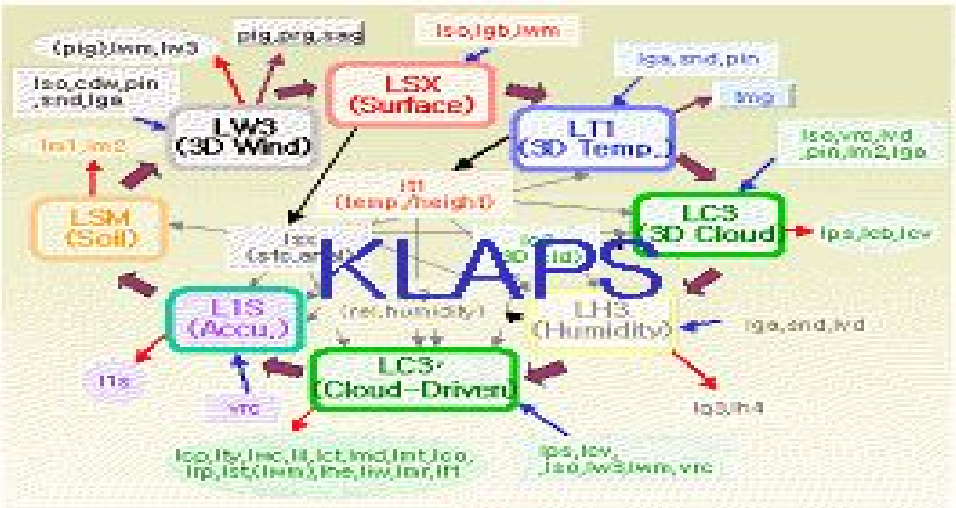

Fig. 22. Schematic diagram of KLAPS process.

Table 7. Input data for the KLAPS analysis.

Data	Numbers of Data	Period	Variables	Remark
Surface (GTS: SYNOP, SHIP, BUOY)	GTS: 300 Station: 30 Aviation Station: 50	3 hourly (1 hourly)	Surface variables (Cloud type and amount)	Used in every 3 hour
Upper-air (GTS: TEMP)	GTS: 50	12 hourly (6 hourly)	Wind, T, T_d	Used in every 6 hour at Osan
Satellite (GMS: T_{BB}, CDW)	Full coverage	Hourly	Brightness temp, Albeldo, Cloud Drift Wind	IR1, IR2, IR3, VIS, CDW
Radar	8	Every 10 Min	Reflectivity, Radial velocity	Composite Reflectivity at 7 Radar in Korea
AWS BUOY	470 5	Hourly Hourly	T, Wind, SLP, RH	Resolution 17 km
QuickSCAT	At sea	Approximately 4 Times a day	Sea Surface Wind	Polar orbit satellite
ATOVS		2 Times a day	3-dim T, T_d	Retrieved at NOAA 16
ACARS	100(100/10)	Hourly	Wind, T	All data from FSL 300 hPa above data from KAL
Wind Profiler	25	Hourly	Wind	400 hPa under data from JMA
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), SATOB(cloud drift wind)			

제2절 시간-고도 연직 시계열 특성

수치브라우저의 연직단면에서 제공되는 상하층의 온도, 상당온위, 바람장 분석을 통하여 2008년 12월 20일 06UTC부터 2008년 12월 22일 00UTC까지의 강원지방의 연직단면을 분석한 것으로 지상에서 상층 500 hPa까지의 온도, 상당온위, 바람장을 나타낸 것이다.

상당온위는 대기 상하층간의 불안정을 판단하는 척도로 이용된다. 따라서 대기 하층에 고상당온위역이 위치하고, 중층에 저상당온위역이 위치할 때 대기는 불안정한 상태에 놓인다. 일반적으로 대기 중에서 상당온위가 상층으로 올라갈수록 높아지는 것은 대기가 안정함을 나타내는 것이다. Fig. 23은 실선이 상당온위를 나타낸 것이며, 그 값을 기준으로 이미지 처리하여 저상당온위역 일수록 보라색, 고상당온위역 일수록 빨간색으로 표시하였다.

Fig. 23를 분석해 본 결과, 이번 사례에서는 강설이 증가하기 전 20일 08UTC에서 925 hPa 하층에서 상대적으로 고상당온위역이 위치하고, 850 hPa까지는 저상당온위역이 위치하는 모습을 보임으로써 대기가 불안정한 상태임을 알 수 있다. 다시 말해, 강설이 시작하기 전에 하층으로 고상당온위역이 296K이상 형성되어 있음을 볼 수 있으며, 이는 영동지방에 강한 눈이 내리는 시점 6시간 전에 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 24를 분석해 본 결과, 850 hPa에서 500 hPa까지의 바람장을 보면 전 층의 풍계가 북서풍으로 형성되어 있다. 그러나 850 hPa 미만의 하층 대류권의 풍계는 북동풍으로 형성되어 있을 때 강설현상이 강해짐을 보인다. 이는 호남 서해안 지방과는 다르게 영동지방은 북동기류의 영향이 강설에 크게 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다.

위에서 분석한 것과 같이 영동지방의 고도별로 연직 분석한 결과, 강설이 강하게 내리는 시점은 하층에 고상당온위가 나타난 후 약 6시간 후에 발생되며, 하층 대류권에서 북동풍이 불어 습윤공기를 지속시켰음을 알 수 있다.

Fig. 25는 GDAPS 모델의 습수역과 수렴역의 연직단면 분석을 나타낸 것이다. 850 hPa이하에서 수렴역이 존재하고, 습수는 700 hPa이하에서 나타난다. 이날, 강원영동을 비롯해 영서 및 경기도까지 강수현상이 나타났다. 특히, 하층 습수가 강원도 지역에 집중되어 있는 21일 06UTC 이후 강원도지역으로 강수현상이 집중되었다. 강원도 전역에는 강수현상이 있었으나, 영동지방은 태백산맥에 의해 강한 상승류가 존재하였고, 그로 인해 영동지방에 많은 강수현상이 발생했다. 상승류가 약해지는 22일 00UTC 이후로는

강수가 종료되었다.

Fig. 26은 GDAPS와 RDAPS의 하층 기온 시계열 모델 자료를 나타낸 것이다. 각각 850 hPa와 925 hPa에서 속초시, 강릉시, 동해시의 기온자료를 기준으로 시계열 자료를 나타냈으며, 850 hPa에서 GDAPS 자료의 경우 20일 00UTC 부터 지속적으로 하강하고 있다. 특히, 21일 03UTC 이후로는 속초시가 -6.5℃에서 -12.2℃까지, 강릉시가 -5℃에서 -11.8℃까지, 동해시가 -4.5℃에서 -11.1℃까지 급격히 하강했다. RDAPS 자료 역시 21일 03UTC 이후 속초시가 -6.6℃에서 -12.2℃까지, 강릉시가 -5.9℃에서 -11.1℃까지, 동해시가 -5.2℃에서 -10.5℃까지 급격히 하강했다. 925 hPa에서 GDAPS 자료의 경우 21일 03UTC 이후 속초시가 -3.4℃에서 -6.8℃까지, 강릉시가 -0.8℃에서 -6.1℃까지, 동해시가 -0.8℃에서 -5.8℃까지 급격히 하강했다. RDAPS 자료의 경우 21일 03UTC 이후 속초시가 -1.5℃에서 -6.6℃까지, 강릉시가 -0.4℃에서 -5.8℃까지, 동해시가 -0.2℃에서 -5.2℃까지 급격히 하강했다. 이는 앞서 기상 실황에서 설명된 기온 시계열 자료와 RDAPS 시계열 모델자료 거의 일치했음 알 수 있다. 또한 이번 사례가 강수기간동안 한기이류에 의해 기온이 지속적으로 하강하여 일어났다.

Fig. 27은 GDAPS와 RDAPS의 하층 습수 시계열 모델 자료를 나타낸 것이다.

분석 결과 강수기간동안 두 모델에서 하층 습수를 모의하고 있음을 알 수 있다. 하층에서 습수역이 존재하고 기온이 하강하여 한기가 증가함으로써 대설이 일어났다.

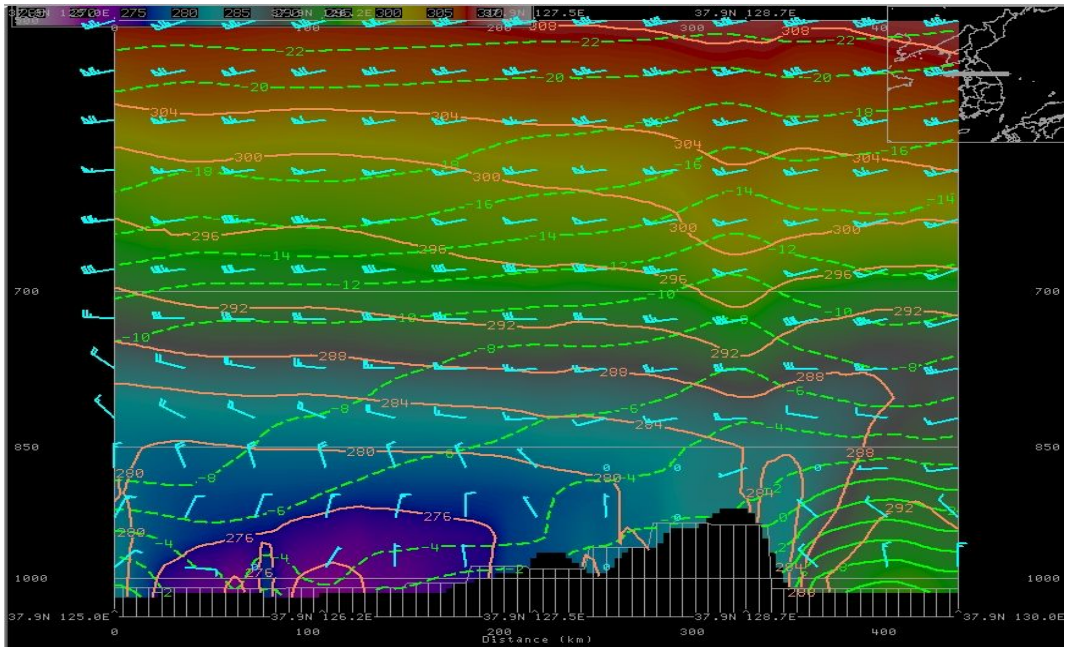

Fig. 23. The analysis of the vertical sectional equivalent potential temperature in Gangwon region on 08UTC 20 Dec. 2008.

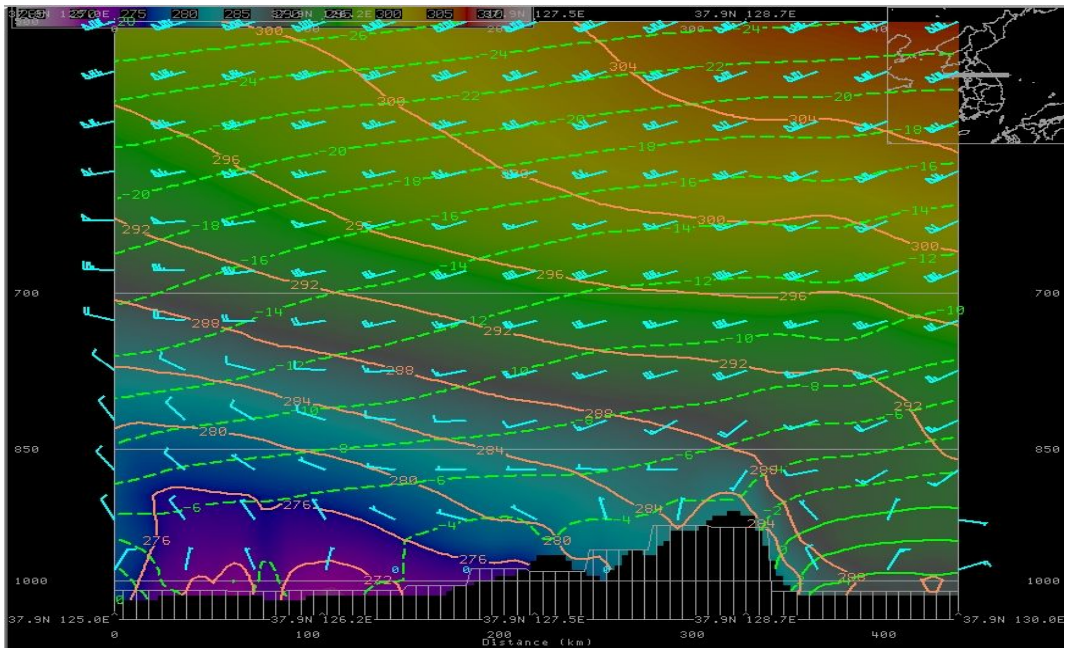

Fig. 24. The analysis of the vertical sectional wind field in Gangwon region on 21UTC 20 Dec. 2008.

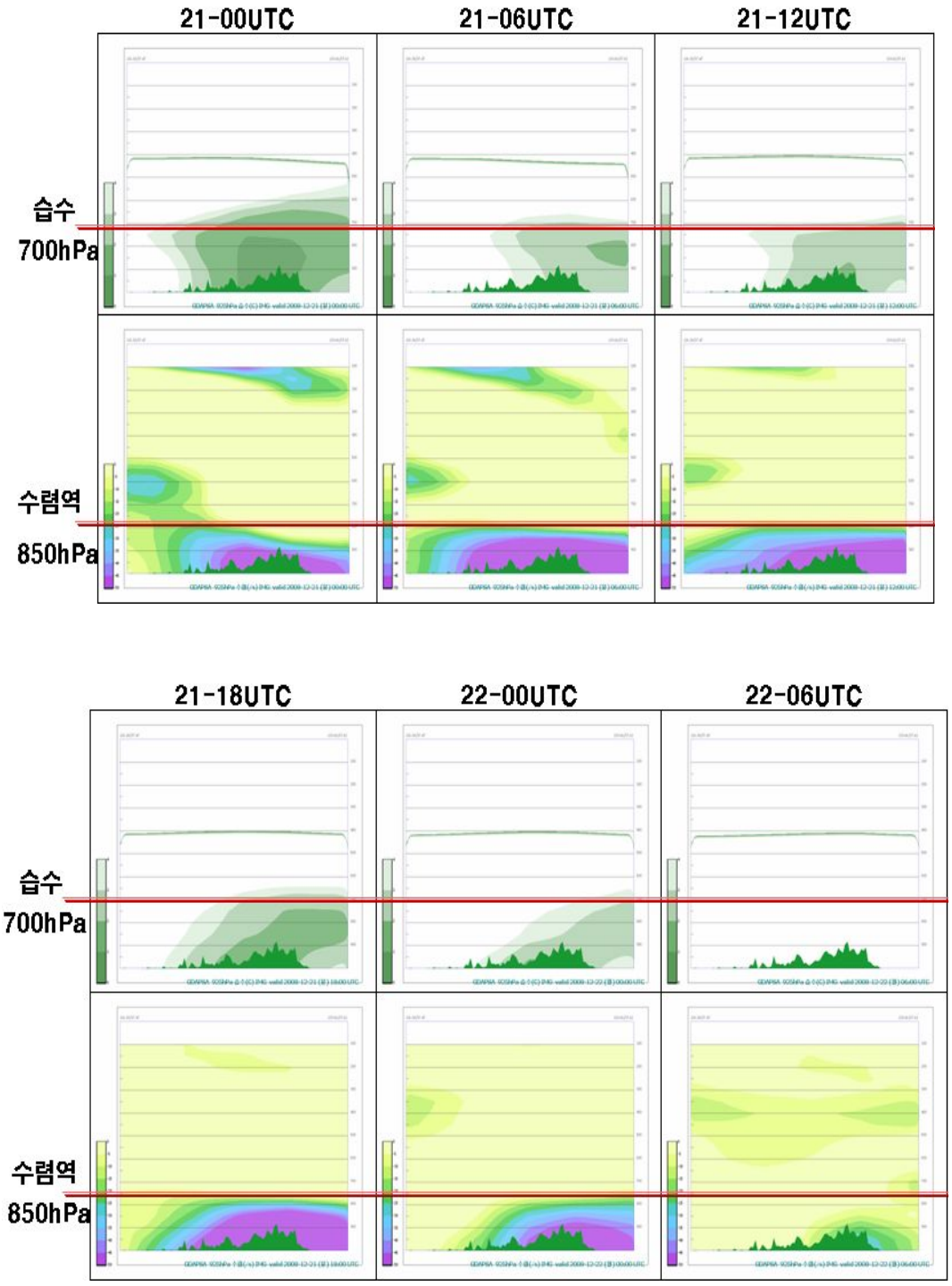

Fig. 25. The analysis of the vertical sectional dew point depression convergence zone in Gangwon region.

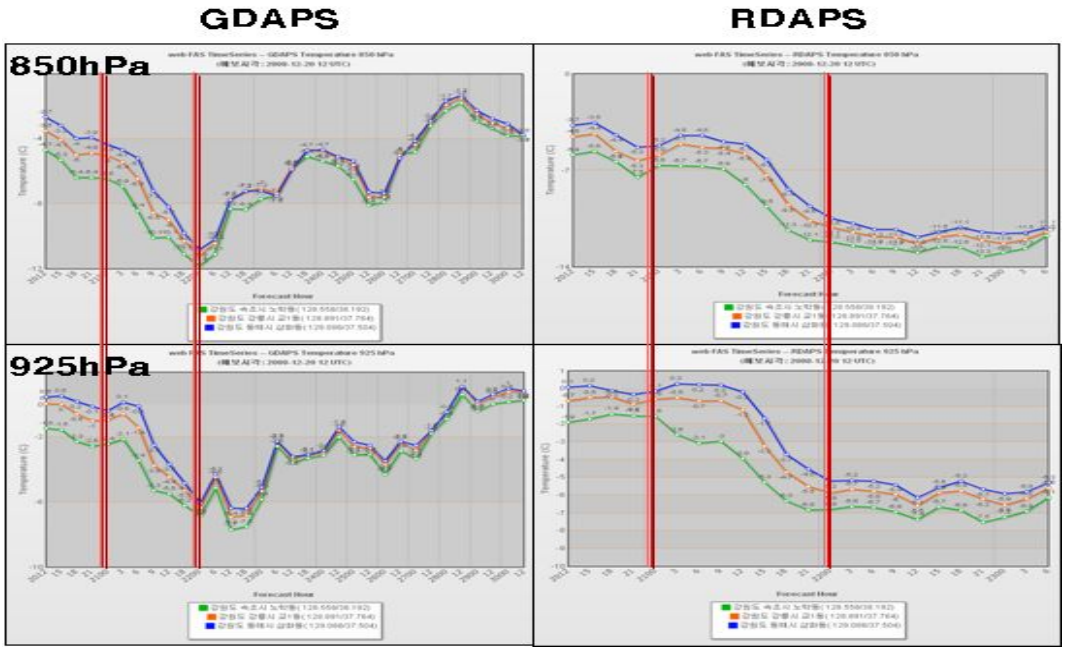

Fig. 26. The data of the time sereies of the lower layer temperature in Gangwon region.

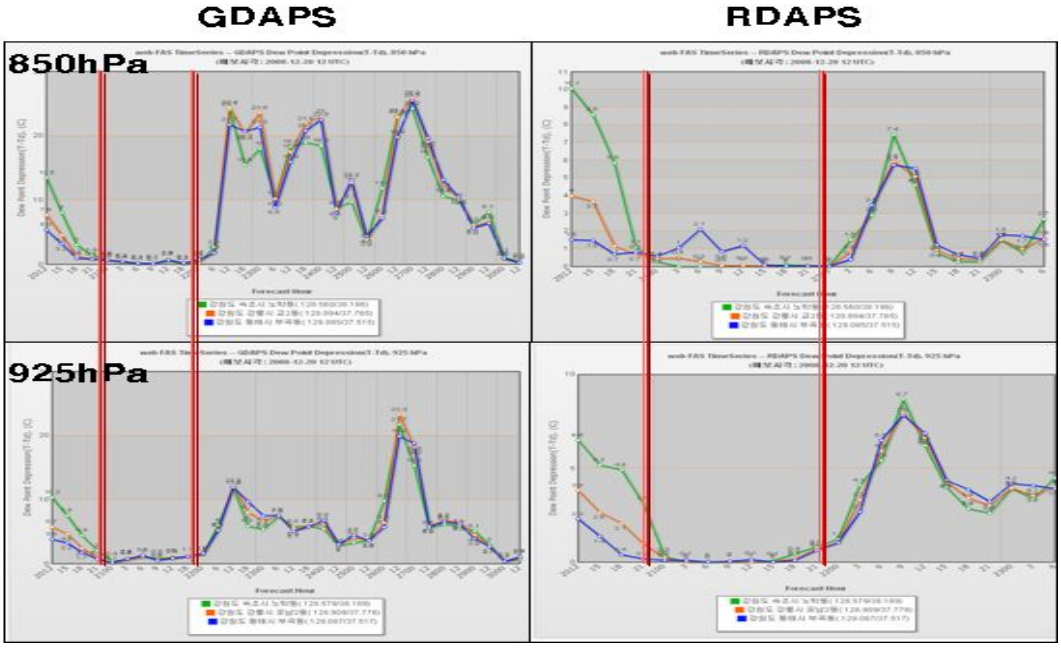

Fig. 27. Same as Fig. 26 except for dew point depression in Gangwon region.

제3절 상승류 패턴 특성

Fig. 28은 상승류의 강도를 분석하기 위하여 500 hPa의 와도를 12월 21일 00UTC부터 22일 00UTC까지 12시간별로 나타낸 것이다. 와도는 고도장보다 그 특성규모가 작기 때문에 대기 패턴의 세부분석과 상층공기덩이 추적에 유용하다.

강설이 강하게 시작되기 전인 21일 00UTC의 경우 화북지방에서 만주지방, 그리고 캄차카 반도까지 강한 양의 와도가 나타난다. 이러한 양의 와도는 강한 상승류를 가진 저기압성 흐름이 강화되고 있는 것을 의미한다. 그리고 일부가 중부지방에 접근하고, 12시간 후인 12UTC에는 양의 와도 중심이 서해상에 위치하여 캄차카반도에서부터 한반도 중부지방까지 와도 축을 형성하고 있다. 22일 00UTC의 경우 양의 와도 중심이 한반도 중앙부에 위치하여 일본 큐슈와 서해 쪽으로 와도 축을 형성하고 있다. 이 때 한반도 전체와 동해안 지역에 강한 상승이 나타나며, 영동지방을 중심으로 한 동해안 지역에 대설이 발생하였다. 그 후 와도의 중심이 일본과 동해안에 위치하며, 한반도 지역의 상승강도가 감소한다.

Fig. 29는 강원지방의 동서 연직단면 와도와 수분속을 나타낸 것이다. 포인트 지점을 분석해보면 강설 시작 전 음의 와도와 양의 와도가 대치하고 있고 그로 인해 수증기의 유입이 높아지고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 수분속을 통해서도 알 수 있는데 와도의 유선이 합류하는 지점에 강수가 증가했다. 강설이 시작되고 있는 시점을 살펴보면 포인트 지점의 와도는 여전히 대치하고 있지만, 상층의 와도 값이 양의 값을 띠는 것으로 보아 현재의 기상이 매우 악화되고 있음을 의미한다. 강설의 강하게 시작되는 시점에서는 양의 와도와 음의 와도가 상층까지 대치하면서 매우 많은 양의 수증기의 유입이 이루어지고 있음을 의미한다. 또한 수분속 값 역시 상층까지 수증기의 유입이 많아지면서 영동해안지방에 많은 강설을 발생했다.

Fig. 28와 Fig. 29를 비교 분석해 본 결과, 대기 상층의 와도가 저기압성을 띠는 시간과 강원지방의 동서연직 분석 결과 나타나는 저기압성 와도가 분포하는 시간이 거의 일치했으며, 또한 대기 상층에서 발산역이 존재하므로 대기 하층에서는 수렴역이 형성되었음을 의미한다. 이는 강원 영동지방에 악기상이 발생했음을 나타낸다.

국지적인 상승변동을 파악하기 위하여 대설이 발달하기 시작한 12월 20일, 21일의 영동지방의 상층풍자료를 분석하였다. Fig. 30은 강원기상청에서 관측한 wind profiler의 관측 자료를 나타낸 것으로 수평 바람장과 연직속도를 나타낸다. 바람장은 20일

17UTC 이전에는 1.5 ㎞ 이하의 모든 층에서 북풍이 강하게 작용하고 있으며 연직상승속도가 50 ㎝/s이하로 작게 나타난다. 그러나 17UTC부터 풍속이 강해지며, 상층으로 갈수록 서풍성분이 강해진다. 이것은 상층에서의 강한 한기유입을 의미한다. 그리고 20UTC까지는 하층 풍향이 수렴되고 있음 보인다. 또한, 상층이류의 강도가 강화되었으며, 전체적인 상승속도가 100 ㎝/s 이상인 구역이 나타난다. 그러나 20UTC가 되면서 전체적인 이류와 상승속도가 감소하지만 다시 해가 뜨기 시작하면서 3 ㎞ 이하 고도에서 상승강도가 커졌다. 이것은 두개의 국지적인 강한 상승세포가 통과하였고 이러한 상승세포가 대설을 유도하였음을 의미한다.

Fig. 31는 수치모델에서 모의한 동서연직으로 자른 오메가의 단면도를 나타낸 것이다.

대설이 시작하는 시점의 포인트에서는 음의 값이 영동지방에 크게 분포하고 있다. 이는 상승운동이 일어남을 의미한다. 또한, 850 hPa이하에서 수렴역이 존재하여 악기상이 일어났음 알 수 있다. 대설이 강하게 발생하는 12UTC에 영동지방에 전체적으로 강한 상승기류가 나타나는 것을 볼 수 있다. 반면 내륙의 경우 강한 하강기류를 모의하고 있다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 같이 00UTC의 북동기류가 동해상으로 이동하여 영동지방의 강한 대설을 발달 시켰다는 것을 의미하며, 수렴역 또한 하층에 넓게 분포하고 있다. 강설이 잦아드는 18UTC의 경우 동해상의 상승류가 급격히 작아지고 있음을 볼 수 있으며, 하층에도 발산역이 나타났다.

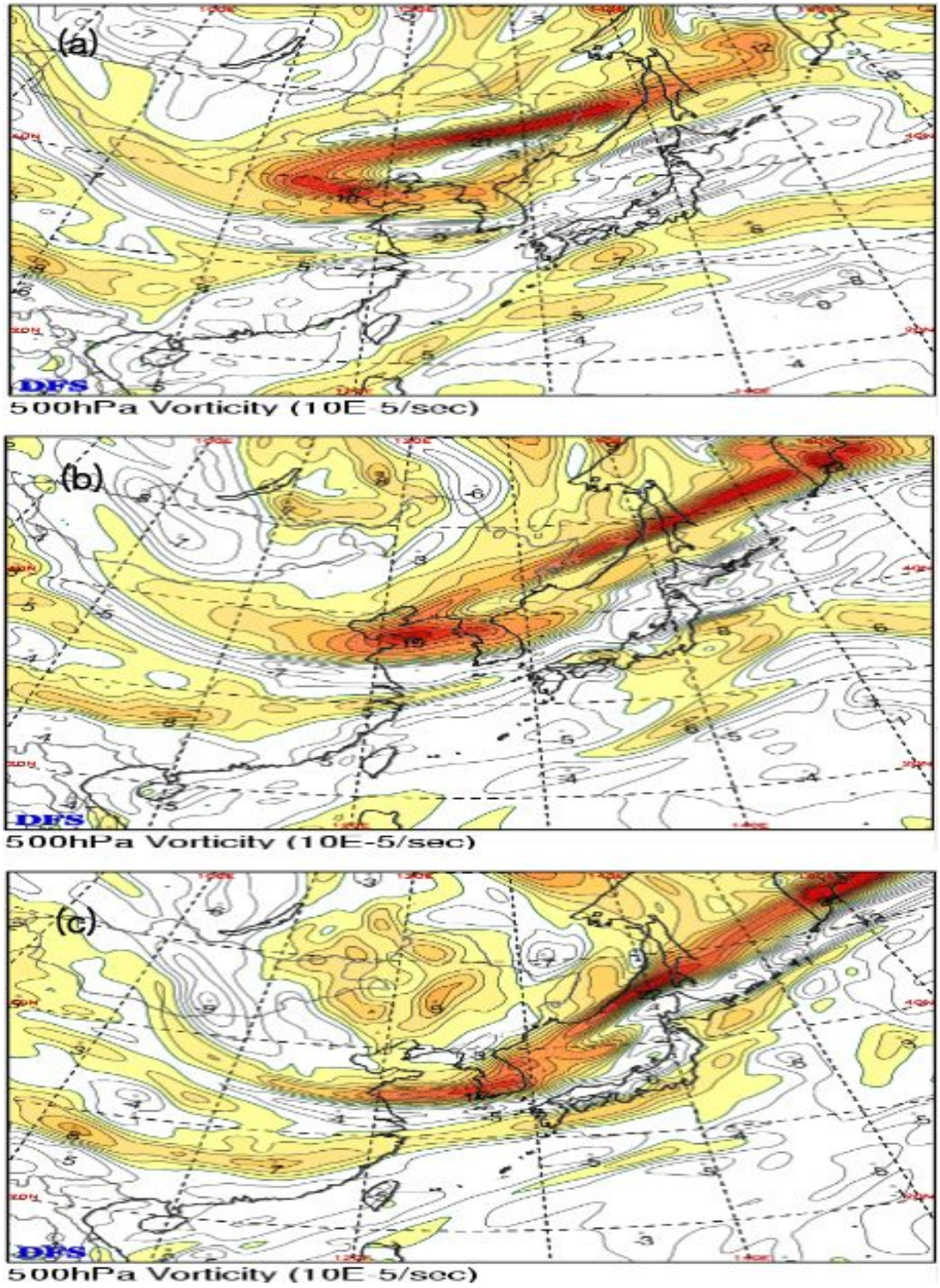

Fig. 28. The vorticity distribution at 500 hPa for every 12 hour from (a) 00UTC 21 to (c) 00UTC 22 Dec. 2008.

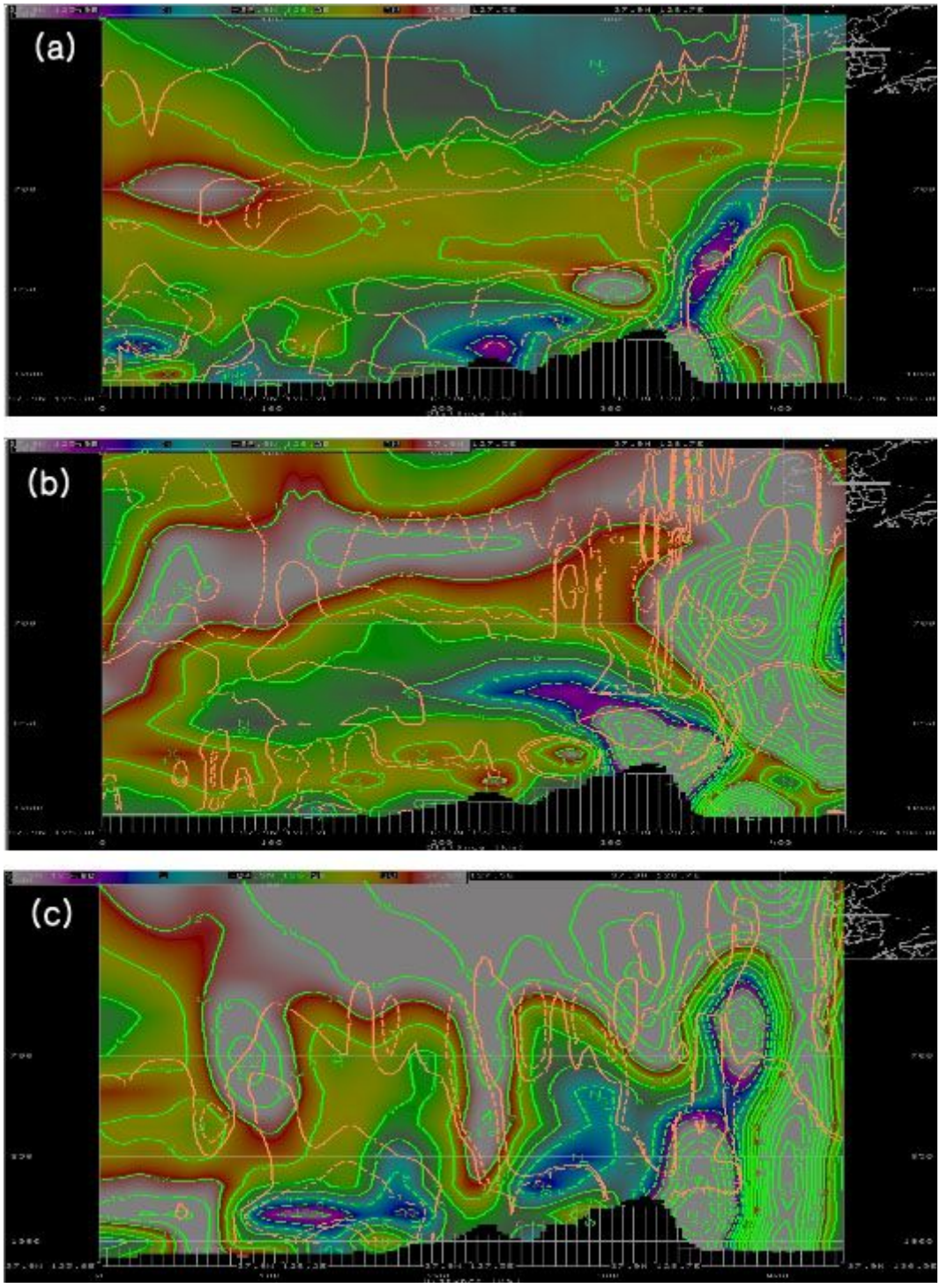

Fig. 29 The vertical sectional vorticity of the East and the West and moisture flux in Gangwon region on (a) 22UTC 20, (b) 05UTC 21, and (c) 20UTC 21 Dec. 2008.

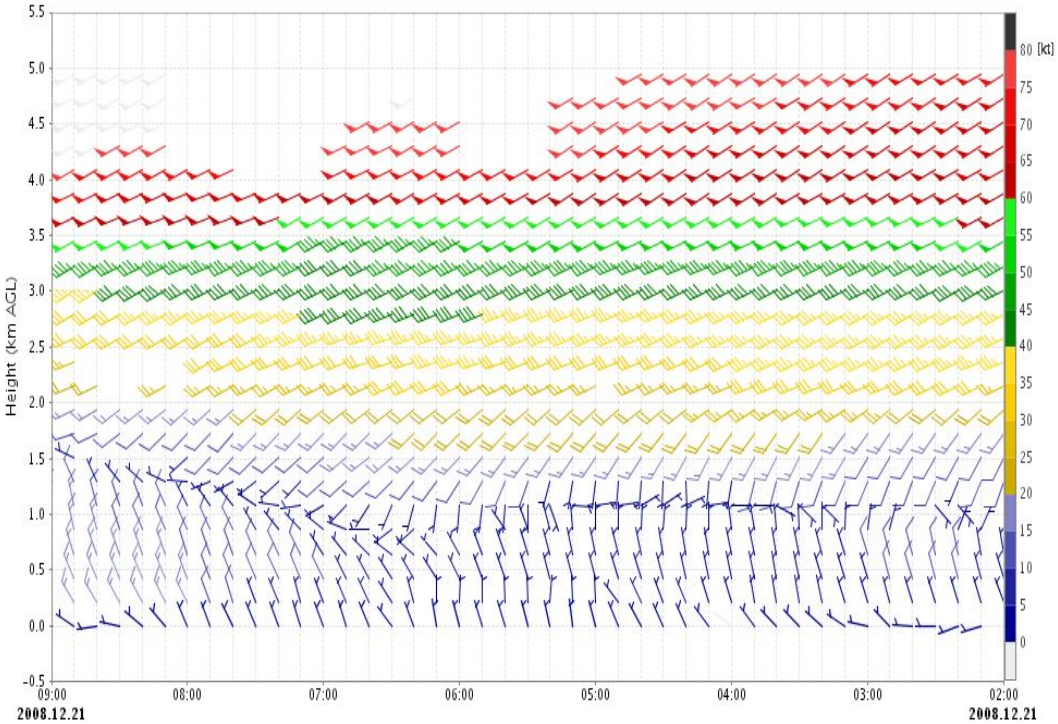

Fig. 30. The data of the upper layer wind in Youngdong region by using the windprofiler data.

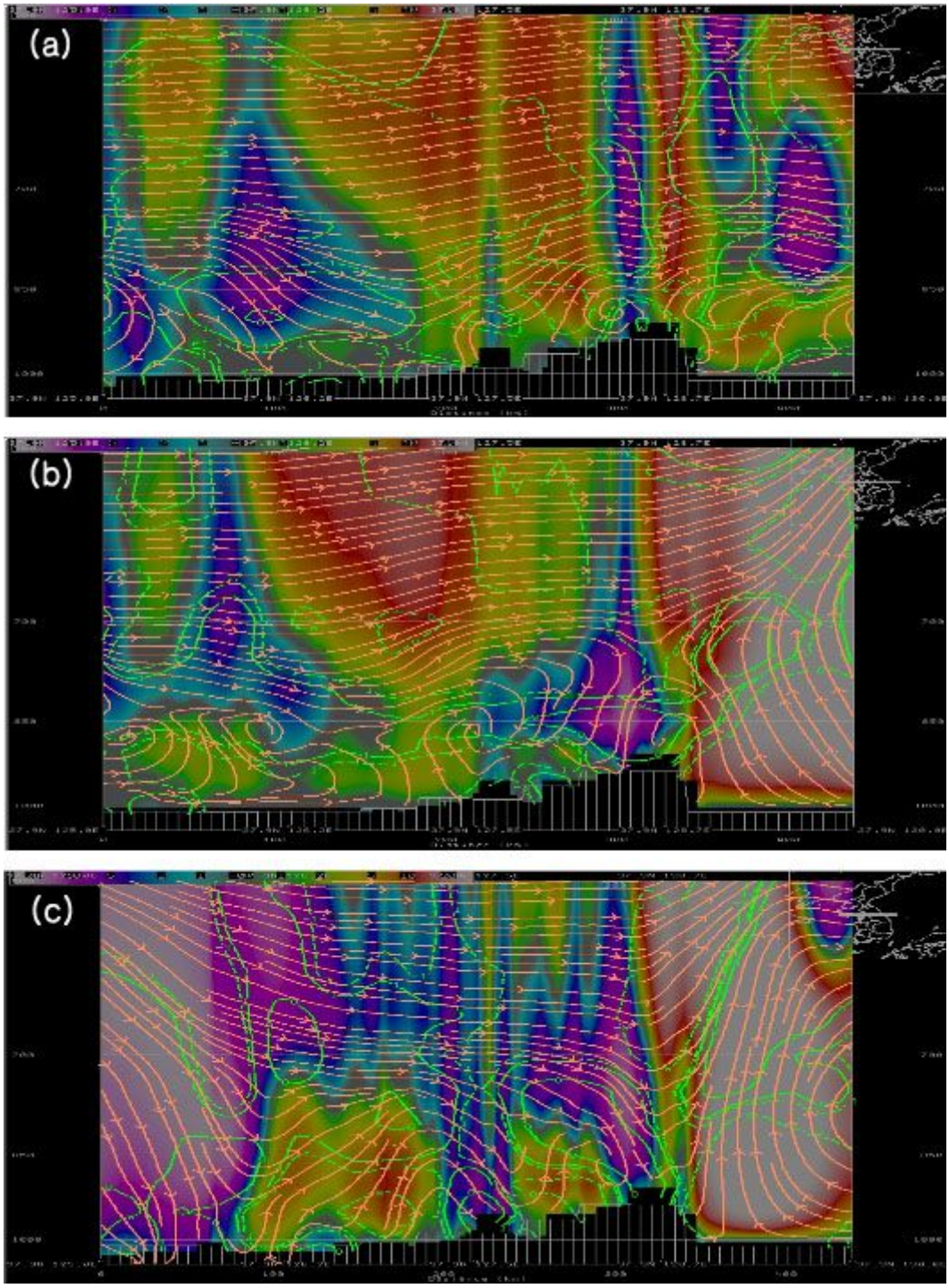

Fig. 31. The section at diagram of the omega which is cut verticality the east and the west from (a) 18UTC 20, (b) 06UTC 21, and(c) 18UTC 21. Dec. 2008.

제5장 결 론

영동지방에 기록적인 대설이 있었던 2008년 12월 21일부터 22일까지의 대설메커니즘과 하층 바람장이 영동지방의 강설 패턴 발달에 미치는 영향과 한기-해안 강설 패턴의 개념 모델을 정립하기위해서 일기도 분석과 수치모의 실험을 실시한 결과는 아래와 같다.

(1) 한만국경으로 고기압이 장출하고 화북지방에 중심기압이 1,058 hPa의 고기압이 위치하고 있으며, 동해상으로 중심기압이 1,017 hPa의 저기압이 깊어지면서 북동기류가 발생하는 시스템이 나타났다. 우리나라는 등압선이 남북으로 서면서 기압경도력이 매우 강화된 상태를 보여주고 있었으며, 또한 대륙고기압은 한만국경과 화북지방에 위치하면서 중심기압이 1,058 hPa로 발달해 겨울철 서고동저형 cP확장의 대표적인 전형을 보이고 있었다. 대륙고기압과 일본열도에 위치한 저기압과의 기압 차는 47 hPa이고, 적설최심은 기압경도력이 가장 강한상태에서 나타났으며, 그 후 점차 적설량은 감소하였다.

(2) 850 hPa에서 강설이 시작되기 전에는 서풍, 강설이 시작된 북북동풍, 강설이 끝나갈 때 북서풍을 보였으며, 925 hPa에서는 강설이 시작되기 전 북동풍, 강설이 시작된 북동풍, 강설이 끝나갈 때 북풍을 보였다. 또한, 지상에서는 영서지방에서 북동풍, 영동지방에서는 북서풍을 보였다.

(3) KLAPS 분석에서는 상당온위는 강설이 증가하기 전 925 hPa 하층에서 상대적으로 고상당온위역이 위치하고, 850 hPa까지는 저상당온위역이 위치하는 모습을 보임으로써 대기가 불안정한 상태를 보였다. 또한 강설이 시작하기 전에 하층으로 고상당온위역이 296K이상 형성되어 있음을 볼 수 있었으며, 이는 영동지방에 강한 눈이 내리는 시점 6시간 전에 형성됨을 알 수 있었다.

(4) 상승류의 강도를 분석하기 위하여 500 hPa의 와도는 대기 상층의 와도가 저기압성을 띠는 시간과 강원지방의 동서연직 분석 결과 나타나는 저기압성 와도가 분포하는 시간이 거의 일치했으며, 또한 대기 상층에서 발산역이 존재하므로 대기 하층에서는 수렴역이 형성되었음을 의미한다. 이는 강원 영동지방에 악기상이 발생했음을 나타낸다.

(5) 오메가를 분석하기 위해서 850 hPa이하에서 수렴역이 존재하여 악기상이 일어났음 알 수 있다. 대설이 강하게 발생하는 시점에 영동지방에 전체적으로 강한 상승기류가 나타나는 것을 볼 수 있다. 반면 내륙의 경우 강한 하강기류를 모의하고 있다. 즉, 북동기류가 동해상으로 이동하여 영동지방의 강한 대설을 발달 시켰다는 것을 의미하며, 수렴역 또한 하층에 넓게 분포하고 있다. 강설이 잦아드는 시점에서 동해상의 상승류가 급격히 작아지고 있음을 볼 수 있으며, 하층에도 발산역이 나타났다.

영동지방에서 한기-해안 강설 패턴의 모델은 습윤한 공기가 동풍 계열의 바람에 의해 풍상측으로 수송되어 수렴대 내에 수증기를 공급하고, 상승된 습윤 공기는 해안지방에서 응결에 의한 잠열 방출을 증가시켜 이로 인해 풍상측에 수렴 기류가 강화되어 더 많은 강설을 유발시키며, 동해에서 온도능(thermal ridge)이 영동지방으로 뻗어 있고 이와 관련된 바람장이 영동지방으로 끊임없이 온난 이류의 존재를 암시하고 있어 이것이 대설 지역의 하층 불안정을 더욱 가속시키는 모델이다. 또한, 한반도 영동지방 동해안지역에 강한 오메가 값을 가진 선상의 수렴대가 나타났고, 이 수렴대를 중심으로 고위도 쪽에서는 강한 북동기류, 저위도 쪽에서는 강한 남서기류가 유입되었으며, 북동기류의 찬 공기가 유입되었고, 이들이 동해상에서 부딪쳐 시간이 지남에 따라 수렴의 중심은 영동지방의 태백산맥으로 이동하며, 이때 강한 대설이 발달하였다.

즉, 산악지역보다 해안지역에 강수가 많은 한기-해안 강설 패턴은 지상관측 바람에서 영서지방과 영동지방은 각각 북동풍과 북서풍을 보이고 하층 대류권 바람에서는 하층과 상층 각각 북동풍과 북북동풍~북서풍과 관련되어 있으며, 대체적으로 풍속이 약한 바람과 관련되며, 이는 상·하층의 풍향의 변화는 상층의 한기의 유입을 의미한다. 또한, 영동지방의 한기-해안 강설 패턴은 시베리아 고기압이 발달하여 연해주 방향으로 확장되면서 등압선이 남북방향으로 배치되었을 때, 동해를 지나면서 상대적으로 따뜻한 해수면으로부터 열과 수분을 공급받은 북동풍 계열의 하층 기류가 영동 지방 지형의 영향을 받으면서 나타나는 것으로 보인다.

향후 영동지방에 폭설이 내린 패턴 별로 더 많은 사례를 KLAPS자료 분석을 통해 분석과 예측성을 높이는 데 기여해야겠다.

참고문헌

기상연구소, 2002; 기상연구소의 국지규모 기상 분석 및 예측시스템(KLAPS)의 실시간 운영. 한국기상학회지, 38(1), pp. 1-10.

기상청, 2006; 국지기상예측기술개발(Ⅱ)/강원지방 폭설예측기술개발. 기상청 연구보고서(2002M-001-02), pp. 51-205.

김갑수, 이태영 2002; 모형 물리과정들과 초기 자료에 대한 강설 수치예측의 민감도 연구. 한국기상학회, 대기, 12(3), pp. 160-165.

김기본, 1993; 겨울철 우리나라 서해안에서 발생하는 폭설에 관한 연구. 경북대학교 교육대학원 석사학위 청구논문, pp. 49.

류찬수, 신유미, 이순환, 2004; 해안지역 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한 수치연구. 한국기상학회, 40(1), pp. 71-86.

류찬수, 원효성, 이순환, 2005; 호남지방 고층관측자료 동화가 수치기상예보에 미치는 영향에 관한 연구. 한국지구과학회지, 26(1), pp. 66-77.

모선진, 2008; 서해 SST 변화가 호남지방 대설에 미치는 영향에 관한 수치연구. 조선대학교 일반대학원 석사학위 청구논문, pp. 52.

박상군, 김경익, 민경덕, 문영수, 이동인, 1998; 도플러 레이더를 이용한 한랭전선 주변의 바람장 추정. 한국기상학회 추계 학술대회 논문집, 10, pp. 154-157.

박순웅, 정창희, 1984; 동계 한파 내습시 황해 상에서 공기의 변질에 관하여. 한국기상학회지, 20, pp. 35-50.

손건태, 이정형, 2005: 3시간 강수량예보를 위한 상태종속모형. 자료분석학회지, 7(1). pp. 137-150.

서은경, 전종갑, 1991; 1990년 1월 29일~2월 1일 한반도에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지, 27(2), pp. 35-50.

이병설, 1979; 우리나라의 자연계절에 관한 연구. 대한지리학회, 14(2), pp. 1-11.

이우진, 장동언, 주상원, 정건교, 2007; 차세대 전지구예보시스템 구축 방향. 한국기상학회 추계 학술대회 논문집. 10, pp. 462-463.

이재규, 1999; 대관령과 강릉지역의 강설량 차이을 일으키는 종관 구조 : 사례 연구. 한국기상학회지, 35(3), pp. 319-334.

이훈, 이태영, 1994; 영동지역의 폭설요인. 한국기상학회지, 30(2), pp. 197-218.

전종갑, 이동규, 이현아, 1994; 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지, 30(1), pp. 97-117.

정광범, 김지언, 권태영, 2004; 영동지역 겨울철 강수와 하층 바람과의 특성. 한국기상학회지, 40(4), pp. 369-380.

정병주, 홍성유, 서명석, 나득균, 2005; 2004년 3월 4-5일 한반도 대설 사례의 역학, 열역학적 특성에 관한 수치연구. 한국기상학회지, 41(3), pp. 387-399.

조구희, 조영준, 권태영, 2004; 겨울철 영동지역 강수 사례와 관련된 기단의 특성. 한국기상학회지, 40(4), pp. 381-393.

최만규, 1994; 동해상의 한기남하에 따른 영동지방의 대설. 강원기상청, pp. 1-4.

최만규, 1998; 영동산간과 해안지방 대설 생성의 구조적 특성. 강원기상특성집, 제Ⅶ권 L, pp. 373-395.

허기영, 하경자, 신선희 2005; 2005년 3월 5일에 나타난 부산지역 대설의 발달기구에 대한 연구. 한국기상학회 추계 학술대회 논문집, 10, pp. 30-31.

허창회, 강인식, 1988; 한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구. 한국기상학회지, 24(1), pp. 38-48.

Albers, S. C., 1995; The LAPS wind analisis. Wea. Forecasting, 10, pp. 342-352.

Albers, S. C., J. A. McGinley, D. L. Birkenheour, and J. R. Smart, 1996; The Local Analysis and Prediction System; Analysis of clouds, precipitation, and temperature. Wea. Forecasting, 11, pp. 273-287.

Anderson, T., and S. Nilson, 1990; Topogrephically Induced Convective Snowbands over the Baltic Sea and Their Precipitation Distribution. Amer. Meteor. Soc., 5, pp. 299-312.

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., pp. 178-180.

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.

Kocin, P. J., and L. W. Uccellini, 1990; Snowstorms along northeastern coast of the United States : 1955 to 1985. Amer. Meteor. Soc., pp. 280..

Lee, H., and T. Y. Lee, 1994; The govering factors for heavy snowfall in Youngdong area. J. Korean Meteor. Soc., 30, pp. 197-218. (in Korean)

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.

McGinley, J., S. Albers and P. Stamus, 1992; Local data assimilation and analysis for nowcasting. Adv. Space Res., 12, pp. 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, pp. 337-356.

Shaw, B., E. Thaler and E. Szoke, 2001 : Operational evalution of the LAPS-MM5 "Hot Start" local forecast model. 18th Conf. on Weather Analysis and Forecasting. Fort Lauderdale. FL, Amer. Meteor. Soc., pp. 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, pp. 138-150.

Wilson, J. W., 1977; Effect of Lake Ontario on Precipitation. Mon. Wea Rev., 105, pp. 207-14.

감사의 글

모든 면에서 부족함이 너무 많고, 모든 일에 항상 완벽하지 못한 저에게 학문의 참된 의미를 깨우쳐 주시고 변함없는 믿음과 사랑으로 학문과 인생에 가르침을 주신 류찬수 교수님께 깊이 머리 숙여 존경하오며 무한한 감사를 드립니다.

또한 이렇게 논문을 쓰기까지 부족한 저에게 여러 가지로 배움과 지도를 아끼지 않으신 정효상 교수님, 서울에서 광주까지 부족한 제 논문을 심사하러 와주신 김백조 박사님의 도움으로 논문을 쓸 수 있게 되었습니다. 앞으로도 더욱 부족한 저에게 많은 학문과 인생에 대한 지도 부탁드립니다.

그리고 항상 실험실에서 서로 협조하며 제 대학원 생활를 같이 해 준 실험실 식구들에게 고마운 마음을 전합니다.

나를 도와주신 많은 분들이 있었기에 어려움을 견딜 수 있었고, 나도 할 수 있다는 자부심을 가지게 되었습니다. 또한 실패라는 말을 뒤집어보면 경험이라고 했습니다. 제가 실험실을 떠나 사회로 나가게 되더라도 항상 경험이라는 마음가짐으로 최선을 다할 것입니다.

마지막으로 언제나 당신의 아들을 믿고 격려해 주신 부모님, 외할머니, 가족 모두의 끝없는 사랑으로 제가 항상 당당할 수 있었습니다. 앞으로도 더욱 발전된 모습을 보여드릴 것을 약속하며 이 논문을 바칩니다.

2009년 12월

김 도 완 드림

저작물 이용 허락서

학 과	대기과학과	학 번	20087524	과 정	석사
성 명	한글: 김 도 완 한문 : 金 度 完 영문 : Kim, Do-Wan				
주 소	광주광역시 동구 학동 삼익세라믹@ 5동 303호				
연락처	E-MAIL : camcam08@nate.com				
논문제목	한글 : **수치모델자료를 이용한 영동지방의 대설사례 특성 분석** 영어 : The Analysis of the Characteristics of Heavy Snowfall in Youngdong Region with the Numerical Model Data Assimilation.				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 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. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 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 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 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 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(o) 반대( )

2010 년 2 월

저작자: 김 도 완 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하