



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#)



2010년 8월
석사학위논문

KLAPS를 활용한 겨울철 한반도 중서부지방의 강수유형판별 연구

- 2010년 2월 4일 ~ 2월 12일 사례를 중심으로 -

조선대학교 대학원

대기과학과

허 솔 잎

2010년 8월 석사학위논문

KLAS를 활용한 겨울철 한반도 중서부지방의 강수유형분류 연구

허 솔 임

KLAPS를 활용한 겨울철 한반도 중서부지방의 강수유형판별 연구

- 2010년 2월 4일 ~ 2월 12일 사례를 중심으로 -

The Study of Discrimination for the Winter Precipitation Type over
the Western Central Region of Korean Peninsula using KLAPS
: Case Study for Feb. 4 to 12, 2010

2010년 8월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

허 솔 임

KLAPS를 활용한 겨울철 한반도 중서부지방의 강수유형판별 연구

- 2010년 2월 4일 ~ 2월 12일 사례를 중심으로 -

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 4월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

허 솔 일

허솔잎의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 국립기상연구소 이학박사 최치영

심사위원 조선대학교 교수 수류찬수

심사위원 기상청 공학박사 이종호

2010년 5월

조선대학교 대학원

목 차

List of tables	iii
List of figures	iv
ABSTRACT	vii
제1장 서 론	1
제2장 연구배경 및 목적	3
제3장 자료 및 분석 방법	4
제1절 3차원 국지 분석 및 예측 시스템(KLAPS)	7
제4장 연구결과	10
제1절 강수형태 : 눈	10
1. 기상실황	10
2. 일기도 분석	11
3. 원격탐사 자료 분석	14
4. KLAPS 자료 분석	18
제2절 강수형태 : 비	22
1. 기상실황	22

2. 일기도 분석	23
3. 원격탐사 자료 분석	26
4. KLAPS 자료 분석	29
제3절 강수형태 : 비 → 눈	33
1. 기상실황	33
2. 일기도 분석	34
3. 원격탐사 자료 분석	37
4. KLAPS 자료 분석	40
제4절 결 과	44
제5장 결 론	47
참고문헌	49

List of tables

Table 1. Forecast rule of precipitation type.	5
Table 2. Input data for the KLAPS analysis.	9
Table 3. The comparison of KLAPS analysis snow event at 15UTC to 21UTC 03 Feb. 2010 before and after 3hours.	44
Table 4. The comparison of KLAPS analysis rain event at 18UTC 08 to 00UTC 09 Feb. 2010 before and after 3hours.	45
Table 5. The comparison of KLAPS analysis rain → snow event at 18UTC 10 to 00UTC 11 Feb. 2010 before and after 3hours.	46

List of figures

Fig. 1. The flow chart of 3-D KMA analysis and prediction system (KLAPS) procedure.	9
Fig. 2. The distribution of surface at 18UTC 03 Feb. 2010.	10
Fig. 3. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 04 Feb. 2010.	10
Fig. 4. The surface weather chart at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.	12
Fig. 5. The 850hPa weather chart 12UTC 03 Feb. 2010, 00UTC 04 Feb. 2010.	13
Fig. 6. The images of GMS at a) 0900UTC, b) 1233UTC, c) 1500UTC, d) 1833UTC, e) 2100UTC 03 Feb. 2010 and f) 0033UTC 04 Feb. 2010.	16
Fig. 7. The reflectivity images of the radar at a) 09UTC, b) 12UTC, c) 15UTC, d) 18UTC, e) 21UTC 03 Feb. 2010 and f) 00UTC 04 Feb. 2010.	17
Fig. 8. The 1,000–700hPa thickness and surface temperature at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.	19
Fig. 9. The sounding at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.	20

Fig. 10. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.	21
Fig. 11. The distribution of surface at 18UTC 08 Feb. 2010.	22
Fig. 12. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 09 Feb. 2010.	22
Fig. 13. The surface weather chart at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.	24
Fig. 14. The 850hPa weather chart at 12UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.	25
Fig. 15. The images of GMS at a) 1233UTC, b) 1500UTC, c) 1833UTC, d) 2100UTC 08 Feb. 2010 and e) 0033UTC, f) 0300UTC 09 Feb. 2010.	27
Fig. 16. The reflectivity images of the radar at a) 12UTC, b) 15UTC, c) 18UTC, d) 21UTC 08 Feb. 2010 and e) 00UTC, f) 03UTC 09 Feb. 2010.	28
Fig. 17. The 1,000–700hPa thickness and surface temperature at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.	30
Fig. 18. The sounding at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.	31

Fig. 19. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.	32
Fig. 20. The distribution of surface at 19UTC, 21UTC 10 Feb. 2010.	33
Fig. 21. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 11 Feb. 2010.	33
Fig. 22. The surface weather chart at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.	35
Fig. 23. The 850hPa weather chart 12UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.	36
Fig. 24. The images of GMS at a) 1233UTC, b) 1500UTC, c) 1833UTC, d) 2100UTC 10 Feb. 2010 and e) 0033UTC, f) 0300UTC 11 Feb. 2010.	38
Fig. 25. The reflectivity images of the radar at a) 12UTC, b) 15UTC, c) 18UTC, d) 21UTC 10 Feb. 2010 and e) 00UTC, f) 03UTC 11 Feb. 2010.	39
Fig. 26. The 1,000–700hPa thickness and surface temperature at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.	41
Fig. 27. The sounding at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.	42
Fig. 28. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.	43

ABSTRACT

The Study of Discrimination for the Winter Precipitation Type over
the Western Central Region of Korean Peninsula using KLAPS
: Case Study for Feb. 4 to 12, 2010

Heo, Sol-Ip

Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D.

Department of Atmospheric Science,

Graduate School of Chosun University

Distinguishing rain from snow in a weather forecast is very important for quantitative forecasting about the amount of precipitation. However, it is not easy to discriminate the demarcation, and it can result in incorrect weather information. Based on this view, I want to study the synoptic condition of the atmosphere by analyzing precipitation patterns starting from Feb. 4th, 2010 to Feb 12th, 2010, using surface distribution charts, AWS(Automatic Weather System) accumulated rainfall data, synoptic maps, MTSAT satellite images, as well as radar images, and to propose an alternative standard for forecasting rain and snow by using KLAPS(Korea Local Analysis and Prediction System). KLAPS is a system which rapidly analyzes substantial amounts of observation data produced by various observation equipment within a limited time for weather forecasters to understand atmospheric conditions synthetically. It is producing analysis data with high-resolution by comprehensively processing and analyzing all the observation data available in Korea. Thus, I performed analysis with it by producing an output from north and south vertical section of

1,000–700hPa thickness · surface temperature, sounding, equivalent potential temperature · temperature · wind with Seoul(37.6N, 127.0E) as the center.

As a result, I found out that the wintertime precipitation in Korean Peninsula was as follows. As the cold and dry Siberian high extends its power, a southwest air current is formed while a trough of pressure is passing over the Korean Peninsula. Precipitation was high when a trough of pressure develops as the cold upper air current moves south, and the northeast air current is strengthened. We need to analyze both thickness and temperature since they are closely related. Thickness lines tended to move south as the temperature dropped, and the freezing level recorded low when the precipitation form turned out to be snow. When it comes to the equivalent potential temperature, we could see instability being intensified due to the growing convection current when there was a big equivalent potential temperature difference between the upper and the lower layers. Therefore, I can see there are many differences in wintertime precipitation regarding its scale, shape, and size. They are not only determined by the changes of the temperature in that location, but the distribution of precipitation particles can be differentiated due to the altitude where the crystals created and vertical wind shear. I want to increase the accurate weather forecast possibility of precipitation form, which hasn't been precise so far, and to contribute to reducing the damage resulting in meteorological disaster by providing weather forecast guidance through a quantification of precedence elements rather than a generalization of analyzed materials in this research. To do that, we need to expand material analysis, diversify the elements of analyzation, and accumulate data interpretation abilities.

제1장 서 론

우리나라 겨울철 강수량은 70~150mm정도로 연평균 강수량에 비해 매우 적은 양이 내리지만 그럼에도 불구하고 겨울철 강수는 형태에 따라 큰 불편을 초래하고 있다. 특히 겨울철 강수형태 중 눈은 항공기 운항 및 도로 교통에 위험요소가 되고 있으며 눈의 무게로 인해 산업시설 등에 막대한 재해를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라 강우에 비하여 약 10배까지의 체적 변화가 있기 때문에 강설을 예측하기는 더욱 어렵고 한계가 있다.

그동안 겨울철 강수에 대한 연구는 다양한 방식으로 진행되었다. Park and Joung(1984)과 송병현(1993)은 겨울철 시베리아 기단의 장출 경로에 따라 기단변질이 크게 달라져 한반도에 영향을 미치고 있음을 제시하였고, 조구희 등(2000)은 겨울철 강설현상은 지속적인 중규모 강수구름 유입 시 지형의 특성에 따라 강수형태, 규모, 모양, 크기 등이 다르게 나타나 그 지역의 기온과 습도 값의 변화뿐만 아니라 발생고도, 연직 바람시어 등에 의해서도 영향을 받는다는 결과를 제시하였으며, 외국의 경우에서도 일본 북해도 지역을 중심으로 지형에 따른 강수 형태를 분석하였다(Harimaya and Sato, 1992). 또한 문승의와 김성렬(1980), 문길태와 김홍진(1982) 등은 저기압 전선에 동반된 강설 특성에 대해 연구하였고, 이와 관련하여 홍성유, 이동규(1987)는 수치모델을 이용하여 겨울철 저기압 발달 과정에 대해 연구하였다. 그리고 최만규 등(2000)은 내륙, 산간, 해안지역을 구분하여 대기 상·하층 기상요소에 따른 눈/비 예상에 대한 조사를 실시하여 1,000-700hPa 층후도의 이용이 산간지역에서는 제약점이 있음을 보고하였다. 이와 관련하여 강수 예보시 수치 보조자료의 1,000-700 hPa 층후도는 눈/비 판정에 도움을 주고 있으나, 지역적으로 넓은 구역으로 표시되어 있어 산간지역을 포함한 국지적인 특성을 갖는 눈/비 판정에는 제약점이 있음을 이용석(2001)의 조사로 알 수 있다.

강수 형태는 850hPa 기온이 강수 시에 습윤단열감률을 따르는 경우와 그렇지 않은 경우로도 결정지어져 850hPa 온도와 지상온도를 통계적으로 이용하기도 하였다. 산간지역은 강설시기에 단열감률을 따르지 않고, 지상기온이 낮아 거의 눈 형태로 강수현상이 나타나고, 해안지역의 경우 850hPa 기온이 -6°C 이하에서는 거의 눈 형태의 강수현상을 보였다. 그러나 850hPa 기온이 -6°C 이상에서는 단열감률을

따르는 경우에 지상기온이 1.6°C 이상이면 비 형태, 단열감률을 따르지 않고 850hPa 기온과 거의 차를 보이지 않을 때는 눈 형태의 강수현상을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 강설시기(1, 2월)에 850hPa 기온이 -8°C 이하에서는 전 지점 모두 눈의 형태로 강수현상이 나타났다.

한편 해안지역은 지상기온 0°C 이하, 850hPa 기온 -6.5°C 이하에서 강설이 집중되어 한기 이류 시 특성과 습윤단열감률 특성이 잘 나타나며, 지상기온 $1\sim4^{\circ}\text{C}$, 850hPa 기온이 -6°C 이하 시 강수형태가 비 구역으로 나타나 타 지역보다 850hPa 기온이 낮아야 눈이 되는 특성을 보였다. 산간지역은 비 구역이 타 지역에 비해 좁으며, 난기 이류 시(지상기온 영하, 850hPa 기온 영상) 강수 지속시간 중 2~3시간의 단시간동안 비가 내렸고, 대부분 눈 형태의 강수를 보였다. 이는 대부분 눈 결정이 850hPa 고도 이상에서 형성되어 운정 고도가 높아 대부분 상층기온이 강수의 고도에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 강원도 영동지방의 동계 강설예보 정확도 향상 방안 조사에서는 850hPa 등온선의 위도별·월별 조사로 지형을 고려한 850hPa 등온선을 분석해야 한다고 조사한 사례가 있다(이선기, 이승범, 2001). 그리고 김희식 등(2002)은 공군기상전대에서 운용하고 있는 중규모 모델을 사용하여 강수의 혼합되어 있는 정도를 백분율로 나타내 시간에 따른 강수현상의 진행을 확인하여 강수형태예보를 생산하기도 하였다. 그러나 층후값에 의한 예보는 경험치에 의해 눈/비를 예보하는 방법으로 이 값들이 과연 얼마만큼 정확하게 눈/비의 예보를 하는지도 명확하지 않을뿐더러 전 예보구역에 대한 객관적인 자료를 제시해주지 못하며, 나아가서는 각 강수형태에 따른 강수량을 계산하는 데에도 적절하지 못하다(이용석, 2001).

이와 같이, 비교적 여러 각도에서 한반도 강수에 대한 연구가 이루어지고 있으나 현재 그동안 이루어진 연구는 강우, 강설 사례에 국한된 경우가 많고 강수형태에 대한 종합적, 체계적인 접근은 아직 드문 편이다. 또한 그동안 연구되어왔던 기준값들의 정확성이 명확하지 않아 강수형태 판별에 대해 다른 연구는 매우 중요하고 필요함에도 아직은 미흡한 실정이다. 눈/비 현상은 그 형태에 따라 특징이 있을 것으로 판단되며, 겨울철 강수 예보 시에는 이러한 특징을 전제로 예보되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 강수형태판별에 대한 임계값을 산정함으로써 예보자의 경험에 의해 판단되어 온 눈/비 예보의 객관적 접근을 시도하였다.

제2장 연구배경 및 목적

한반도 겨울철은 한랭한 대륙성 고기압의 영향을 주로 받는다. 특히 시베리아 기단의 장출 시에는 우리나라 강설이 자주 발생하며, 가끔 대설이 국지적으로 발생하여 교통두절이나 인명피해, 산업재해 등 많은 설해를 가져오기도 한다. 또한 중부지방은 인구밀도가 높고 다양한 산업시설이 많은 지역으로서 재해 예방 차원에서도 겨울철 강수형태 예측에 대한 기후학적 특성 연구의 필요성이 커지고 있다. 따라서 강설에 의한 피해를 줄이기 위해서는 강설의 시각 및 규모, 강설지역 등에 대한 정확한 예측이 필요하다. 그러나 겨울철 강수는 주로 중규모 현상에 의한 것으로서 국지성이 매우 커서 그 예측이 쉽지 않으며, 보다 정확한 예측을 위해서는 그 지역의 강수 특징에 대한 종합적이고 체계적인 이해가 우선적으로 요구된다고 할 수 있다(고형일 2003).

한반도 북쪽에 고기압이 위치하는 경우가 증가할 때 북서쪽이나 북동쪽 고기압에 의한 강수비율도 증가하며, 남쪽에 고기압이 위치하는 경우라도 시베리아 고기압에서 떨어져 나온 이동성 고기압에 의한 경우가 많아 겨울철 우리나라의 일기는 시베리아 고기압에 의해 변화함을 알 수 있다. 이로 인해 한반도의 중부지방은 집중호우나 대설 같은 위험 현상이 자주 발생하고 이로 인한 피해가 많은 지역이다. 하지만, 이러한 상황에 비해 그에 관련된 연구는 부족한 실정이다.

겨울철 강수형태 예보 시 850hPa의 기온이 0°C 안팎일 때는 연직 기온의 분포에 따라 여러 형태의 강수현상이 나타나지만, 이 또한 시시때때로 그 값이 변하며 임계값이 정확하지 않아 강수 형태를 예상하는 데 많은 어려움이 있다(이우진, 2006).

따라서 본 연구에서는 3차원 국지 분석 및 예측 시스템(Korea Local Analysis and Prediction System ; KLAPS)에 포함되어 있는 구름 및 강수 산출 알고리즘과 온도분석장, 그리고 여러 역학적 수치분석자료를 활용하여 그동안 겨울철 강수형태 예보시 사용된 값들을 검증해보고, 이의 예측가능성을 판별하는 체계를 파악하여 좀 더 정확하게 예보할 수 있는 적절한 수치를 찾아보고자 한다.

제3장 자료 및 분석 방법

2010년 2월 4일부터 2월 12일까지 한반도 중서부 지방에서는 단시간에 강수의 형태가 급변하는 현상이 관측되었다. 2월 4일과 8일에 각각 눈과 비의 형태로 강수가 관측되었으며, 11일에는 비에서 눈으로 그 형태가 변화하였다. 이 기간 중 강수 강도는 비교적 약했지만 5일 동안 눈, 비, 그리고 비에서 눈으로 강수형태가 변화하는 것으로 다양한 강수형태가 관측되어 이 기간을 연구대상으로 하였다.

연구과정은, 강수형태의 지상분포와 사례지점 자동기상관측기기(Automatic Weather System ; AWS)의 시계열 자료를 이용하여 현재일기를 알아보고, 종관적인 대기상태를 분석하기위해 일기도 자료를 사용하였으며 특히 지상일기도와 850hPa 일기도의 기압배치를 중점적으로 분석하였다. 또한 특정 고도의 값을 추출하여 수평단면을 나타낸 레이더 CAPPI 영상 자료와 MTSAT-1R 위성 합성영상 자료, 그리고 강수 현상 시 나타나는 특징과 강수 형태가 변화하는 시간을 중심으로 그 상태를 체계적으로 분석하기위해 KLAPS를 사용하였다. KLAPS는 적용시키고자 하는 지역에서 수집 가능한 모든 기상관측자료를 3차원적으로 분석 및 동화가 가능하기 때문에 이를 이용해 사례지점을 중심으로 1,000-700hPa 층후와 기온, 사운딩, 고도별 상당온위와 기온 그리고 바람장을 산출하였다.

본 연구에서는 강수형태를 판별할 때 흔히 이용하는 1,000-700hPa 층후값 외에도 기온변화에 따른 강수의 변화가 있을 것이라는 가정 하에 층후에 따른 강수형태와 각 고도별 기온에 따른 강수형태를 함께 비교하여 상관성에 대하여 검증하였다.

기준의 분석방법을 살펴보면, 첫 번째로 층후값을 들 수가 있다. 이는 강수형태를 판별함에 있어 가장 보편적으로 사용된 방법으로 현재 사용하는 겨울철 강수형태 예보칙은 “1,000-700hPa 층후값이 2,760gpm 이하이면 눈, 2,760gpm과 2,820gpm 사이이면 진눈깨비, 2,820gpm 이상이며 비”이다. 이용석(2001)은 1985~2000년까지의 월별 자료를 사용하여 기준의 층후값 자료에 지상 온도와 850hPa 온도를 추가하여 한반도에 적합한 예보칙을 Table 1에 다음과 같이 제시하였다.

Table 1을 기준으로 하여 예보를 할 시에는 위의 3가지 조건 중 2가지 이상을 만족시킬 때에 적용되었으며, 3가지 조건을 모두 만족시킬 때는 97%의 매우 높은 정확도를 나타내고, 2가지 조건을 만족시킬 때는 87%의 정확도가 나타났다.

Table 1. Forecast rule of precipitation type (The forecast can be determined when more than 2 conditions are satisfied).

Forecast Condition \n	snow	sleet	rain
1,000–700hPa thickness	below 2,780	2,780~2,800	above 2,800
SFC temperature	below 0°C	0~2°C	above 2°C
850hPa temperature	below -6°C	-6~ -4°C	above -4°C

총후, h 는 다음과 같이 나타난다.

$$h = \frac{R_d}{g} T_V \ln \frac{P_1}{P_2}$$

여기서 R_d 는 건조공기 기체상수($287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), g 는 중력가속도($9.8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}$), P_1, P_2 는 상층과 하층 등압면의 기압, T_V 는 가온도를 나타낸다.

이 식에서 보면 두 기압면사이의 총후는 두 층간의 평균 가온도에 비례하는데, 가온도는 습윤공기와 같은 밀도를 가지는 기압조건에서의 건조공기의 온도로서, 습윤공기의 혼합비를 w 라고 표시하면

$$T_V = T + \frac{1}{6}w$$

의 관계가 있다. 이 식에서 w 는 대단히 작은 값이어서 가온도가 대략 온도에 비례한다고 말할 수 있으므로 총후도 역시 대기의 온도에 비례한다고 할 수 있다. 따라서 총후는 해당 두 등압면 간의 평균온도에 비례한다(홍성길, 1995).

두 번째로는 빙결고도의 높이를 이용한 것인데 빙결고도는 대기의 온도가 0°C에 달하는 고도를 말한다. 일반적으로 강수형태는 기온과 관련된 빙결고도의 높이에 따라 강설인지 또는 강우인지가 결정되며, 원칙적으로는 대기 중의 수적이 빙결고도 이상의 고도에서는 빙결되어야 하지만 실제 대기 중에서 0°C ~ -20°C에서는 대부분의 경우 작은 수적이 얼지 않은 채로 떠 있는 경우도 있다. 심지어는 -40°C 부근에서까지 얼지 않은 수적이 있음이 보고되고, 지상온도와도 밀접한 관련이 있어 이를 판정하는 것은 더욱 어려움이 따른다.

마지막으로 습구온도이다. 이것은 환기효과(ventilation effects)로 떨어지는 강수

의 온도가 습구온도를 유지시키기 때문이다. 습구온도는 포화된 공기가 갖는 최종적인 기온이며, 액상형태의 강수와 고체인 강수형태를 구분하는 유용한 정보를 제공한다. 그 예로 습구온도가 적어도 300m 부근에서 1°C 이상이라면 위쪽에서 떨어지는 얼음들은 녹아서 비로 떨어진다. 또한 만약 대기가 충분히 건조하다면 0°C 이상의 온도에서도 강설이 일어난다는 것은 익히 알려진 것이다. 경험적으로 이러한 강우와 강설 구분의 습구온도 임계값은 약 1.3°C 근처이며 따라서 지면에서의 습구온도가 이 임계값 이상이면 강우, 0°C 이하이면 강설, 두 경계값 사이는 강우와 강설이 혼합되어 나타날 수 있다. 따라서 국지분석시스템에서 계산된 자료를 이용하여 습구온도를 계산하고 구름분석을 통해 파악된 강수현상이 나타나는 격자에서 이 습구온도를 적용해서 강수유형 자료를 산출할 수 있는 것이다(하종철 등, 2008).

본 연구에서는 사례기간동안 종관일기도와 원격탐사자료를 바탕으로 KLAPS를 이용하여 3차원의 바람, 연직운동, 상당온위, 기온 등을 분석하였다. 이에 산출된 자료를 각 사례에 적용시켜 사례기간동안 나타난 강수형태에 대해 분석하여 좀 더 신속하고 신뢰성이 높은 예보를 위해 정확성을 검증하였다.

제1절 3차원 국지 분석 및 예측 시스템(KLAPS)

강수예보를 하기 위해서는 무엇보다 예보 시점에서의 정확한 기상 상태를 파악하는 것이 중요하며, 기존의 종관 관측자료 외에도 단기 수치 예보 결과, 위성자료, 레이더자료 등의 비 종관 기상자료를 활용할 필요가 있다. 또한 이를 통해 사용자들이 예보를 산출하는데 도움이 될 수 있도록 수집된 모든 자료들을 신속하게 처리하여 다양한 그래픽 도구를 통해 현재의 기상 상태를 표출할 수 있어야 한다. 다음으로 정확한 수치예보가 요구되는데 수치 모델링에 있어서 모델 초기자료의 개선이 필요하며, 수치예보의 초기자료 구성에 있어서 실시간 관측 자료의 이용은 매우 중요하다. 여기에는 관측 자료간 규모의 문제, 비 종관 관측 자료의 이용, 격자점으로의 내삽, 관측자료 선별 등의 전처리 과정의 개발이 요구된다(김용상 등, 2002).

현재 대기 감시능력 향상을 위해 관측망의 확대가 지속적으로 이루어져 자동기상관측장비, 레이더, 수직측풍장비 등의 장비를 통해 다양한 관측 자료가 실시간 수집되고 있다. 그러나 관측 형태에 따라 별도로 제공되는 관측 정보는 별도의 모니터링과 분석을 요구하게 되므로, 대기의 상태를 입체적으로 조망하기에는 부족한 측면이 있다. 그래서 실시간으로 활용 가능한 관측 자료와 수치예측 자료를 사용해서 대기를 3차원적으로 분석하여 예보관에게 제공할 수 있는 시스템이 요구되었다. 이를 위하여 국립기상연구소에서는 기존에 개발해오던 국지분석시스템을 활용해 KLAPS를 구축하고 협업화 하여 2006년 5월 15일부터 운영하여 매시간 5km 해상도의 분석장을 예보관들에게 지원하고 있다(기상연구소, 2006). KLAPS의 배경장은 연직 35층의 해상도를 갖는 MM5 모델 예측장을 사용하였다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 현재 KLAPS는 매시간 10분 이내에 분석과정이 완료되어 지원을 하기 때문에 매시 6분 이내에 관측되어 수집되어지는 관측 자료를 활용하게 된다. 이때 활용되는 관측 자료는 위성자료, 레이더자료, AWS자료, 일본지상관측자료(Automated Meteorological Data Acquisition System ; AMeDAS), 낙뢰자료, 수직측풍장비자료, 항공기상관측자료이다. 15km 격자 영역의 분석에는 분석유효시각보다 늦게 이루어지기 때문에 GTS, ACARS, 고층관측자료가 더 포함된다(Brewster et al. 1995, Snook et al. 1998, Schultz, P. and Albers, S. 2001). 여러 종류의 관측으로부터 역학적 균형을 이루는 초기장을 생산하는 일련의 물리적 초기화 과정이 KLAPS에는 포함되어 있다(Shaw et al. 2001).

KLAPS는 초기 자료 수집 모듈과 분석 모듈로 크게 나누어지는데, 분석 과정에는 지상 분석 과정과 3차원 바람, 온도, 습도, 구름, 강수, 토양 분석과정, 그리고 그로부터 유도되는 각종 자료 분석 과정으로 구성되며, 각각의 분석 과정은 관측자료의 특성을 고려한 자료 분석 및 동화 기법을 포함하고 있다. KLAPS의 각 단계별 분석 과정은 다음 단계 혹은 이전 단계의 분석과정과 상호 관련성을 가지며 또한 이전 시간의 분석 자료와의 연속성을 유지하며 수행되도록 설계되었다. 최종 분석된 자료는 3차원 그래픽 도구에 의해 현재 대기상태를 나타내는 그림으로 표출되어 실황 예보에 활용되고, 3차원 격자점 자료로 변환되어 수치예보 모델의 초기 자료로 제공되며, 분석 예보는 기상관련 기관 및 방재 기관 등으로 분배된다.

현재 우리나라에서 KLAPS의 입력 자료로 이용되고 있는 기상 관측 자료의 종류를 Table 2에 나타내었다. 한반도 영역에서는 지상관측, 고층관측, 기상레이더, 해양 부이, AWS, ACARS(Aircraft Communications Addressing and Reportion System)등의 자료가 이용 가능하고, 분석 영역 전체에 대하여 지상 및 고층 관측 자료, 해양 부이, GMS 위성자료, QuickSCAT, CDW(Cloud Drift Wind, 구름이동 속도) 등이 입력된다.

KLAPS 분석과정은 지상분석 과정부터 시작되는데 이는 지상분석 자료가 다른 분석 과정의 초기 및 경계 자료로써 이용되기 때문이다. 본격적인 분석에 들어가기 전에 지상관측 자료에 대한 기후, 연속성, 표준편차 등을 검사하는 품질 검사과정이 수행된다. 관측자료는 내삽된 분석자료와 비교하여 다시 한 번 품질검사 과정을 거치고, 이때 그 차이가 일정 임계치 이상을 초과하는 경우에 관측치는 제거된다.

한편 바람장 분석은 단일 도플러 레이더의 반지름 방향 바람과 레이더 이외의 측기(레디오존데 등)에서 관측된 바람 자료를 결합시키는 2단계 객관 분석법이 이용된다. 사전 분석 작업이 완료되면 레이더 관측 자료가 KLAPS 격자점으로 내·외삽되며 품질 검사 후 사전 분석장을 이용하여 보정된다. KLAPS 3차원 온도장 분석은 MM5로 부터의 초기 추정 온도 자료를 KLAPS 격자점으로 내삽함으로서 시작된다. 레디오존데 자료 등이 사전분석 과정에 이용되며 마지막으로 지상 온도 분석 자료가 3차원 분석의 하층 정보로써 제공된다(황승언 등, 2002).

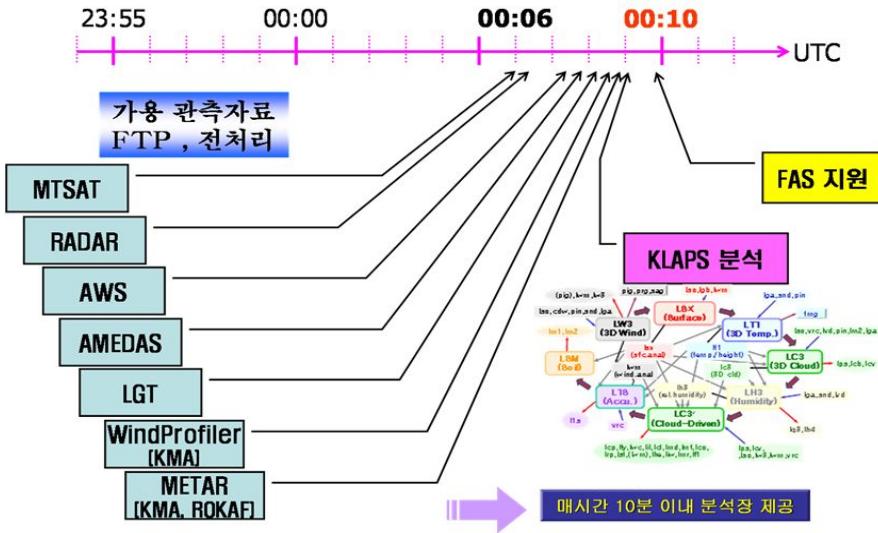


Fig. 1. The flow chart of 3-D KMA analysis and prediction system (KLAPS) procedure.

Table 2. 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, Td	Used in every 6 hour at Osan
Satellite (GMS: T_{BB} , CDW)	Full coverage	Hourly	Brightness temp, Albedo, Cloud Drift Wind	IR1, IR2, IR3, VIS, CDW
Radar	8	Every 10 Min	Reflectivity, Radial velocity	Composite Reflectivity at 7 Radar in Korea
AWS	470	Hourly	T, Wind, SLP, RH	Resolution 17 km
BUOY	5	Hourly		
QuickSCAT	At sea	Approximately 4 Times a day	Sea Surface Wind	Polar orbit satellite
ATOVS		2 Times a day	3-dim T, Td	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) GDAPS(1.875°)	3 hourly 6 hourly	3-dim. variables 3-dim. variables	Forecast Analysis
Input candidates			SATEM(satellite sounding), SATOB(cloud drift wind)	

제4장 연구결과

제1절 강수형태 : 눈

1. 기상실황

Fig. 2는 2010년 2월 4일 현재일기를 나타내는 지상분포도이며 Fig. 3은 서울 시 계열 자료이다.

3시 이후에 짧은 시간동안 강수가 있었으며, 지상분포도를 통해 강수형태가 눈으로 나타남을 알 수 있다. 이 시간을 전후로 풍향이 북서풍에서 서풍, 남서풍으로 바뀌었다. 기온은 약 -6°C 에서 강수가 나타난 후로 7시까지 점점 하강하다가 상대 습도가 낮아지면서 다시 기온이 상승하여 날씨가 회복되었다.

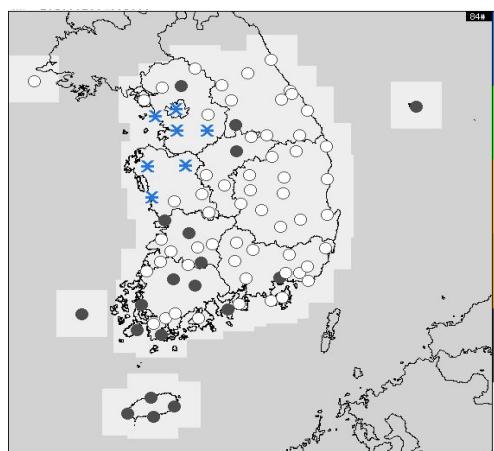


Fig. 2. The distribution of surface at 18UTC 03 Feb. 2010.

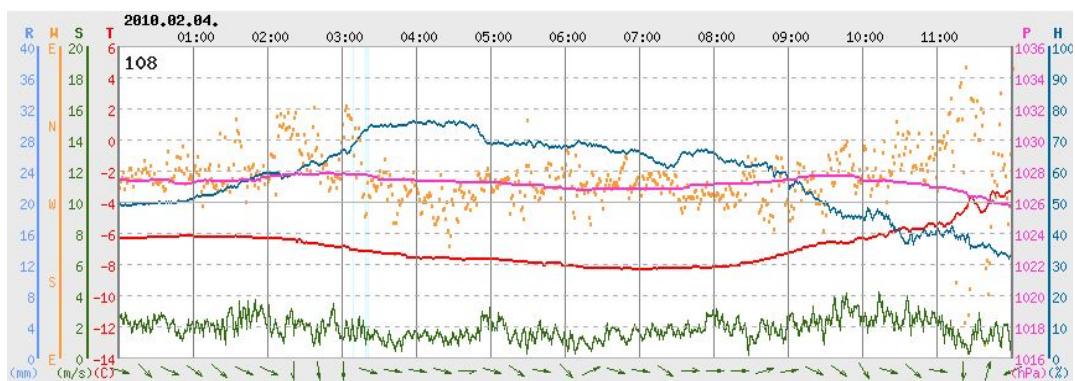


Fig. 3. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 04 Feb. 2010.

2. 일기도 분석

사례시간 전·후의 일기도 자료를 분석하여 어떤 대기흐름과 기압배치상태에서 강수가 발생되었는지 알아보았다. 또한 강수현상이 관측된 날의 상층 자료를 분석함으로써 보다 실질적인 결론을 얻을 수 있고, 많은 데이터를 이용해 오차를 줄이기 위해 상층 일기도를 사용하였다. 특히 850hPa 일기도는 등고도선과 전선(종류, 활동성)을 해석하여 일기의 분포를 알고 기압계 분포와 강도를 분석하여 강수예보가 가능하기 때문에 850hPa 일기도를 이용하였다.

Fig. 4는 강수형태가 눈으로 나타났던 3일의 사례시간 3시간 전 15UTC, 사례시간 18UTC, 사례시간 3시간 후 21UTC의 지상일기도이다.

사례기간동안 대륙고기압의 세력이 약화되면서 서해상의 등압선 간격이 넓어지고 있으며 중국남부지역의 강수를 동반한 구름대(중상층운)가 동진하고 있다. 원산만에서 서한만으로 기압골이 형성되고 있고, 대륙고기압이 계속 남동진하면서 영향을 주어 한반도 중서부지방에 약한 강수가 있었으나 점차 해소되는 경향이다. 또한 한반도 북서쪽에서 접근하는 고기압(점차 변질되는 경향)의 영향을 받아 대륙고기압이 약화되고 한기이류 역시 점차 약화되어 대체로 좋은 날씨가 전개될 것으로 보인다.

Fig. 5는 사례시간 6시간 전, 후의 850hPa 일기도이다.

동쪽에 위치한 저기압이 역회전하면서 서쪽의 한기를 끌어내리고 있어 강수발생 가능성을 보여주었다. 때문에 한기이류가 지속될 수 있는 상황이나 등온선은 북상하고 있고 등온선 간격이 넓어지면서 한기이류강도는 약화되고 있다. 중국 남서쪽으로부터 온난이류가 접근하고, 한기축도 조금씩 동쪽으로 이동하는 추세이며 중국 중부에서 몽골 북쪽까지 이어져있는 기압등이 동진함에 따라 대체로 좋은 날씨가 나타날 것으로 보인다.

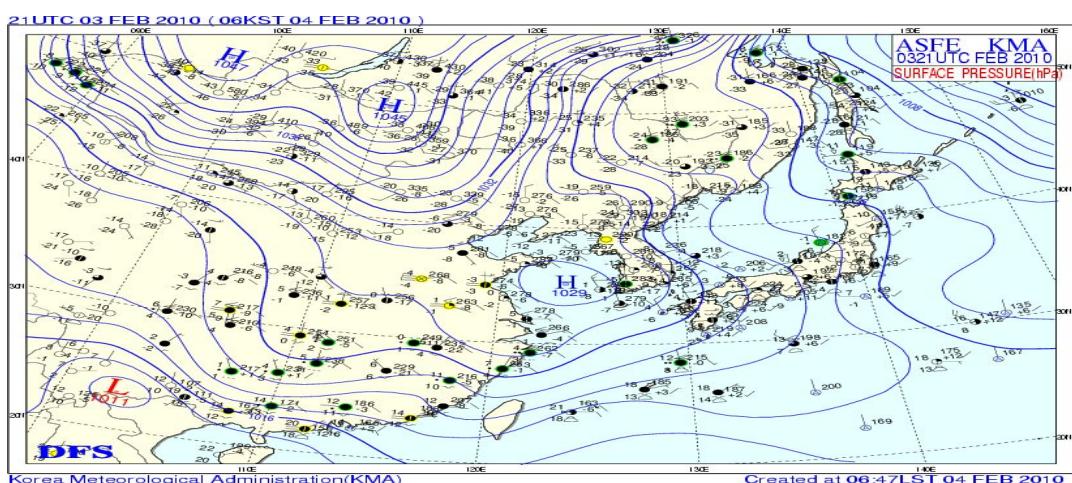
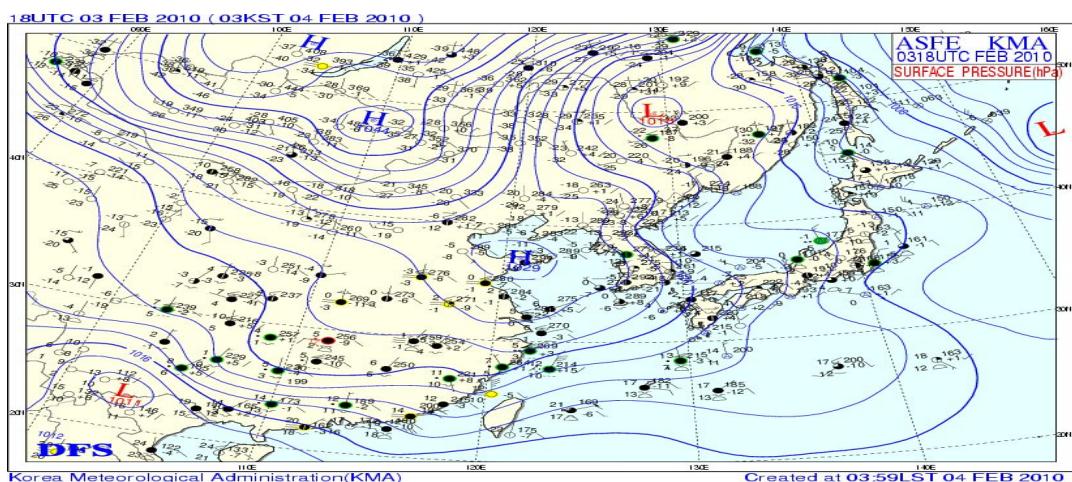
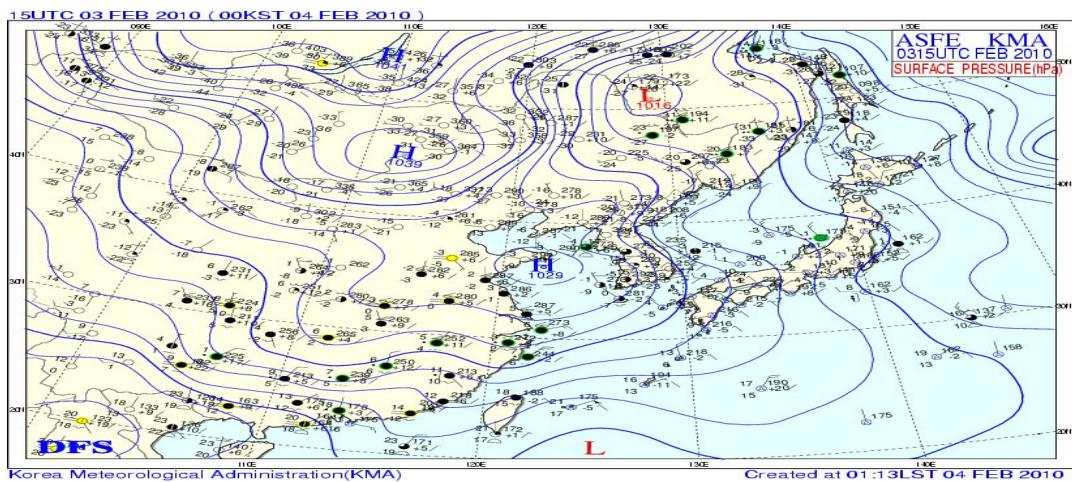
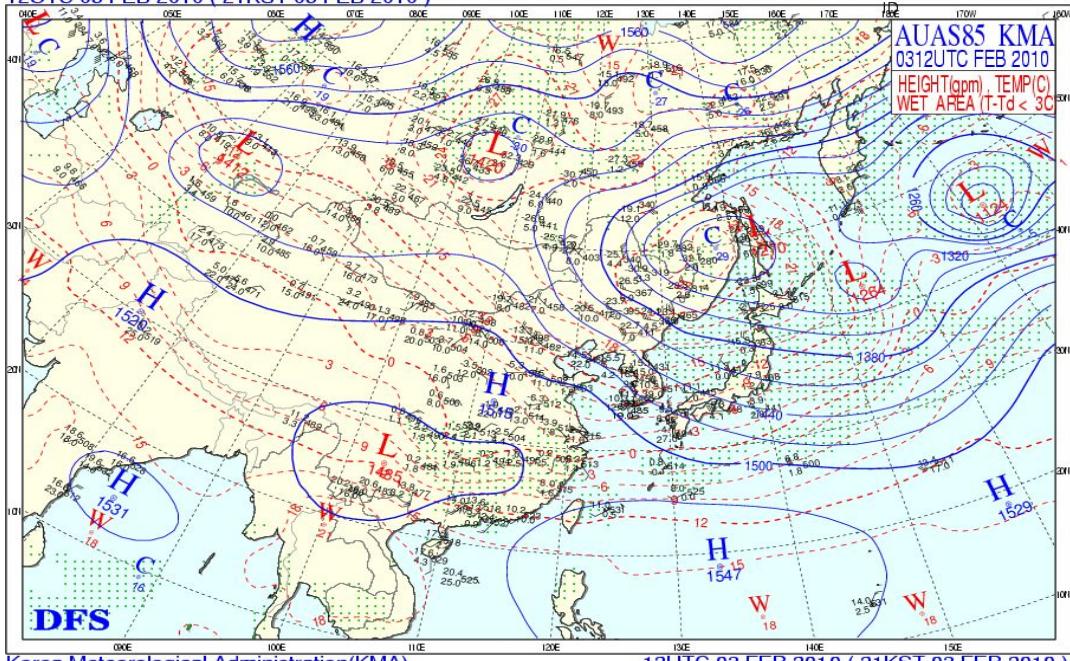


Fig. 4. The surface weather chart at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.

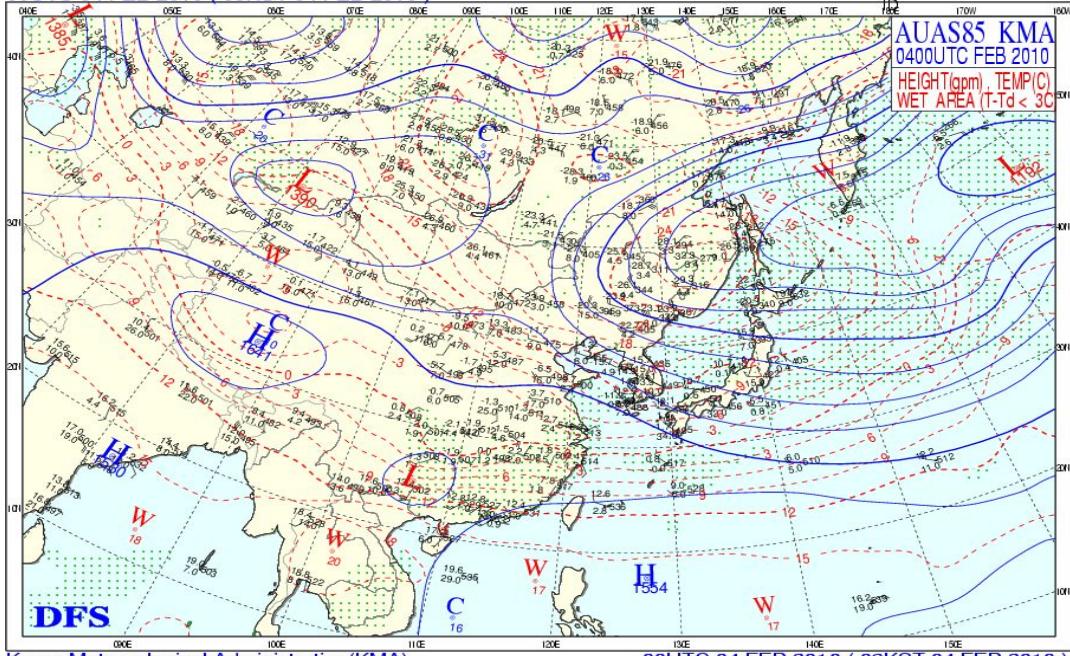
12UTC 03 FEB 2010 (21KST 03 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

12UTC 03 FEB 2010 (21KST 03 FEB 2010)

00UTC 04 FEB 2010 (09KST 04 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

00UTC 04 FEB 2010 (09KST 04 FEB 2010)

Fig. 5. The 850hPa weather chart at 12UTC 03 Feb. 2010, 00UTC 04 Feb. 2010.

3. 원격탐사 자료 분석

Fig. 6은 3일 0900UTC부터 4일 0033UTC까지 강수발생 전·후를 나타낸 MTSAT 합성 영상이다.

서해북부해상에 구름대가 남동진하여 내륙으로 접근하고 있으며, 상층운이 남부 지방과 제주도 남쪽해상을 통과하고 있다. 우리나라는 별다른 구름의 영향 없이 대체로 맑은 날씨를 보이고 있었으나 산동반도 아래에 발생한 중하층운이 우리나라 쪽으로 이동하면서 영향을 주었다. 중국 내륙으로부터 한기유입에 의해 발생한 해상의 적운열이 남동진하여 전남 해안지방에 약하게 영향을 주었으나, 남하하면서 약화되는 경향을 보인다. 또한 중국 내륙의 상층운은 우리나라 고압대에서 약화되고는 있으나 점차 상층 건조역이 동진해 감에 따라 우리나라에 영향을 줄 것으로 보인다. 지상저기압에 의해 발달하여 남남동진하고 있는 하층운은 서울 경기지역에 영향을 주고 있고, 서해상의 구름대도 내륙으로 유입되고 있다. 특히 경기만의 구름대는 다소 발달하고 있는 것으로 보인다. 상층 강풍대에 의한 상층운은 약화되면서 동진하고 있어 남부지방으로 약하게 영향을 줄 것으로 보인다. 강수 발생 후(e) 우리나라 대부분 지역은 구름이 없는 맑은 날씨를 보이고 있으나 전남 서해안지역 및 울릉도 독도 지역으로는 해기차에 의한 적운열이 영향을 받고 있다. 서해안지역으로 영향을 주고 있는 구름대는 이동방향이 서풍대에서 북풍대로 바뀌고 있어, 영향권에서 점차 벗어나겠으나 전라남도 해안지역으로는 영향이 지속될 것으로 보인다.

Fig. 7은 3일 09UTC부터 4일 00UTC까지 3시간 간격으로 나타낸 레이더 CAPPI 1.5km 자료이다.

CAPPI 영상은 여러 고도각의 PPI 관측 자료인 볼륨관측 자료에서 관심 있는 특정한 고도의 수평자료를 추출하여 표출하며, PPI 영상은 지구곡률 때문에 레이더로부터 멀어지면서 높은 고도의 자료를 표출하는 반면 CAPPI 영상은 일정한 고도의 자료만을 나타내기 때문에 에코의 수평적인 해석에 유용하다(이종호, 류찬수 2009). 강수 형태가 눈으로 관측되었고, 그 강도가 약해 눈의 Z-R관계식을 이용하여 관측한 자료를 분석하였다. Z-R 관계식은 레이더반사도(Z)와 지상강수량(R)과의 경험적, 통계적인 관계식을 말하며 다음과 같다.

$$Z(\text{mm}^6/\text{m}^3) = \alpha R^\beta$$

여기서 R 은 지상강수량(mm/h)을 나타내고, α 와 β 는 경험에 의한 상수 값이다. 눈의 Z-R 관계식은 $Z=2000R^{2.0}$ (WMO, 1985)으로 Fig. 7은 이 식을 사용하여 얻은 레이더 영상 자료이다.

눈이 내린 18UTC경에 강수가 정확히 관측되지 않았던 위성영상과 비교했을 때 레이더 영상에서는 서울지역에 충상형 강수에코가 관측되었다. 서해북부에서 관측된 에코는 점점 우리나라로 이동하며 확장하여 영향을 주고 있다. 그럼에서 보듯이 충상형 에코는 비교적 일정한 강도를 가지고 넓게 퍼져 있어 에코강도의 수평적, 연직적 편차가 크지 않으며 느리게 이동하다 강수 발생 후 소멸되었다. 또한 이런 충상형 에코는 수평범위가 좁고 강도가 강하며 에코 높이가 높은 대류형 에코에 비해 강도는 약하나 지형적인 영향으로 강한 부분이 군데군데 나타나는 경우도 있다(이종호, 류찬수 2009).

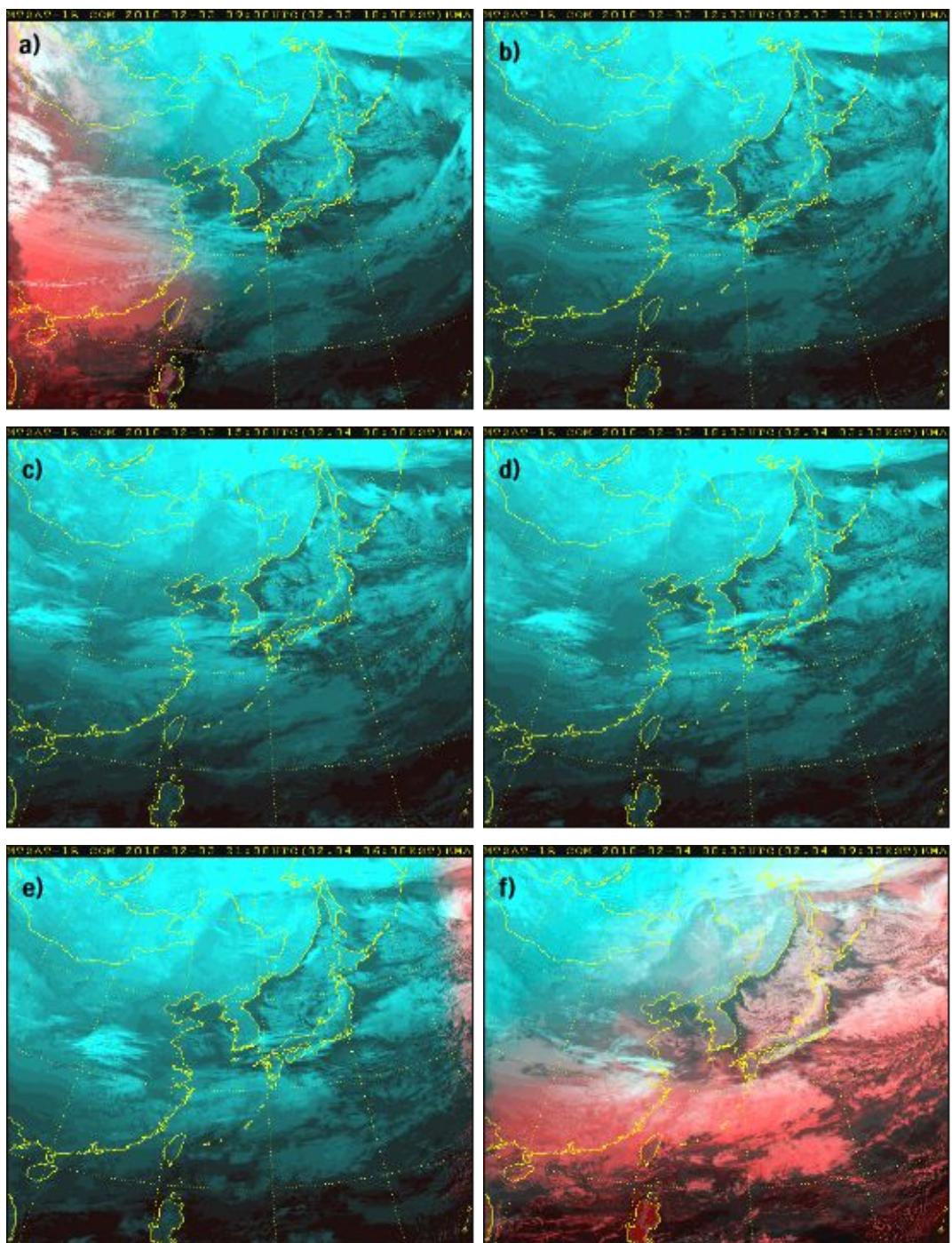


Fig. 6. The images of GMS at a) 0900UTC, b) 1233UTC, c) 1500UTC, d) 1833UTC, e) 2100UTC 03 Feb. 2010 and f) 0033UTC 04 Feb. 2010.

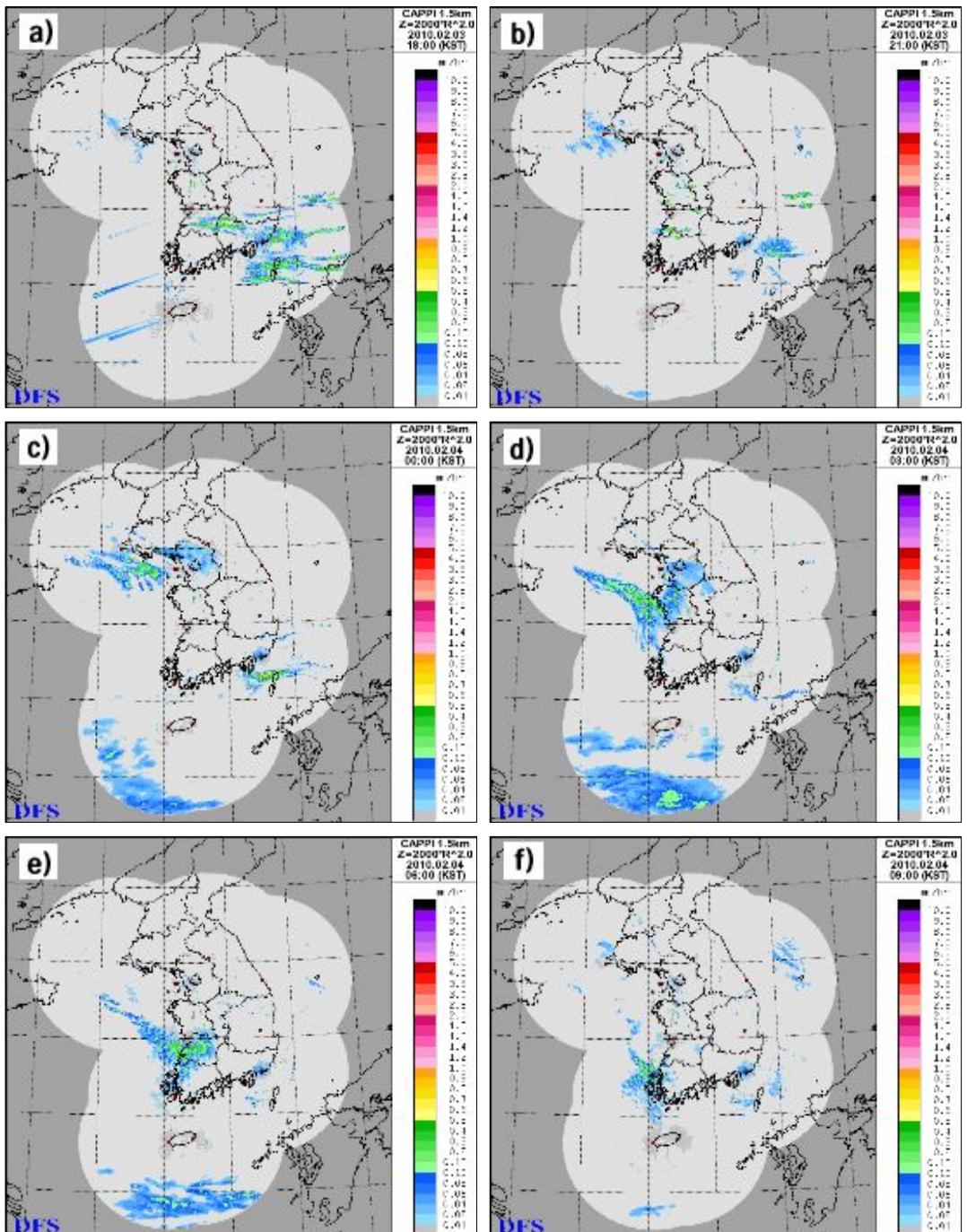


Fig. 7. The reflectivity images of the radar at a) 09UTC, b) 12UTC, c) 15UTC, d) 18UTC, e) 21UTC 03 Feb. 2010 and f) 00UTC 04 Feb. 2010.

4. KLAPS 자료 분석

Fig. 8, 9, 10은 각각 KLAPS를 이용하여 서울의 1,000-700hPa 층후와 기온, 사운딩, 고도별 상당온위와 기온 그리고 바람장을 묘사한 것이다.

Fig. 8은 2월 3일 15UTC, 18UTC, 21UTC의 자료를 산출해낸 1,000-700hPa 층후도와 지상 기온이다. 동서로 뻗어있는 초록색 실선이 층후값을 나타내며, 층후선은 대기상태에 따라 낮아하기도 하고 상승하기도 한다. 주황색 선은 지상기온을 나타내며, 지상기온이 영하이면 점선, 영상이면 실선으로 표시되는데 층후값과 지상기온을 함께 표출함으로써 어떠한 상관성이 있는지 한눈에 알아볼 수 있다. 먼저 3일 15UTC에 나타난 지상기온은 -7°C 이며 전체적으로 찬 공기파의 분포를 나타내고, 층후값은 2,705gpm으로 비교적 낮은 기온과 좁은 온도경도를 보였다. 또한 강수 발생 전 온도골이 형성되어 층후 경도가 강화되었으며 기온은 약간 상승하여 18UTC에서는 -2°C , 층후값 2,700gpm 그리고 21UTC에서는 -1°C , 2,705gpm으로 이전에 비해서는 기온이 상승하였지만 여전히 낮은 기온과 2,700gpm의 층후값으로 눈이 내린 것으로 보인다. 이는 기준에 사용했던 지상기온 0°C 이하, 1,000-700hPa 층후값 2,780gpm이하에서는 눈이 내린다는 이론과 일치한다.

Fig. 9는 3일 15UTC부터 21UTC까지 3시간 간격으로 사운딩을 나타낸 것이다. 3일 15UTC의 상층은 차고 건조한 역이 위치하고 있으며 북서계열의 바람이 불고, 18UTC에서는 약 900hPa 부근에 습윤층을 경계로 하여 상층은 차고 건조한 영역이 위치하고 있다. 대기온도가 0°C 가 되는 최저고도인 빙결고도는 0m, 눈이 내린 후 21UTC에는 그 값이 92m로 상승하였다. 강수 발생 이후 한랭 고기압의 접근에 따라서 지상의 온도는 낮아지고 북서풍의 바람이 강화되는 패턴을 보였다.

Fig. 10은 각 고도별 상당온위, 기온, 바람장을 서울을 중심으로 하여 나타낸 남북연직단면도이다. 주황색 실선은 상당온위선으로 불안정도를 한눈에 알아보기 위해 이미지로도 표출하였다. 3일 15UTC에서는 상당온위 272K선이 서울을 중심으로 하여 급격히 하강하였고, 상당온위간의 간격이 넓은 것으로 보아 상당온위차가 나타났으며 서쪽은 북서풍이 동쪽은 남풍이 불고 있어 대류불안정이 강화되고 있음을 보여 준다. 또한 연두색 점선으로 나타난 선은 기온선으로 사례기간 중 모두 영하로 관측되어 눈의 형태로 강수가 나타났음을 알 수 있다.

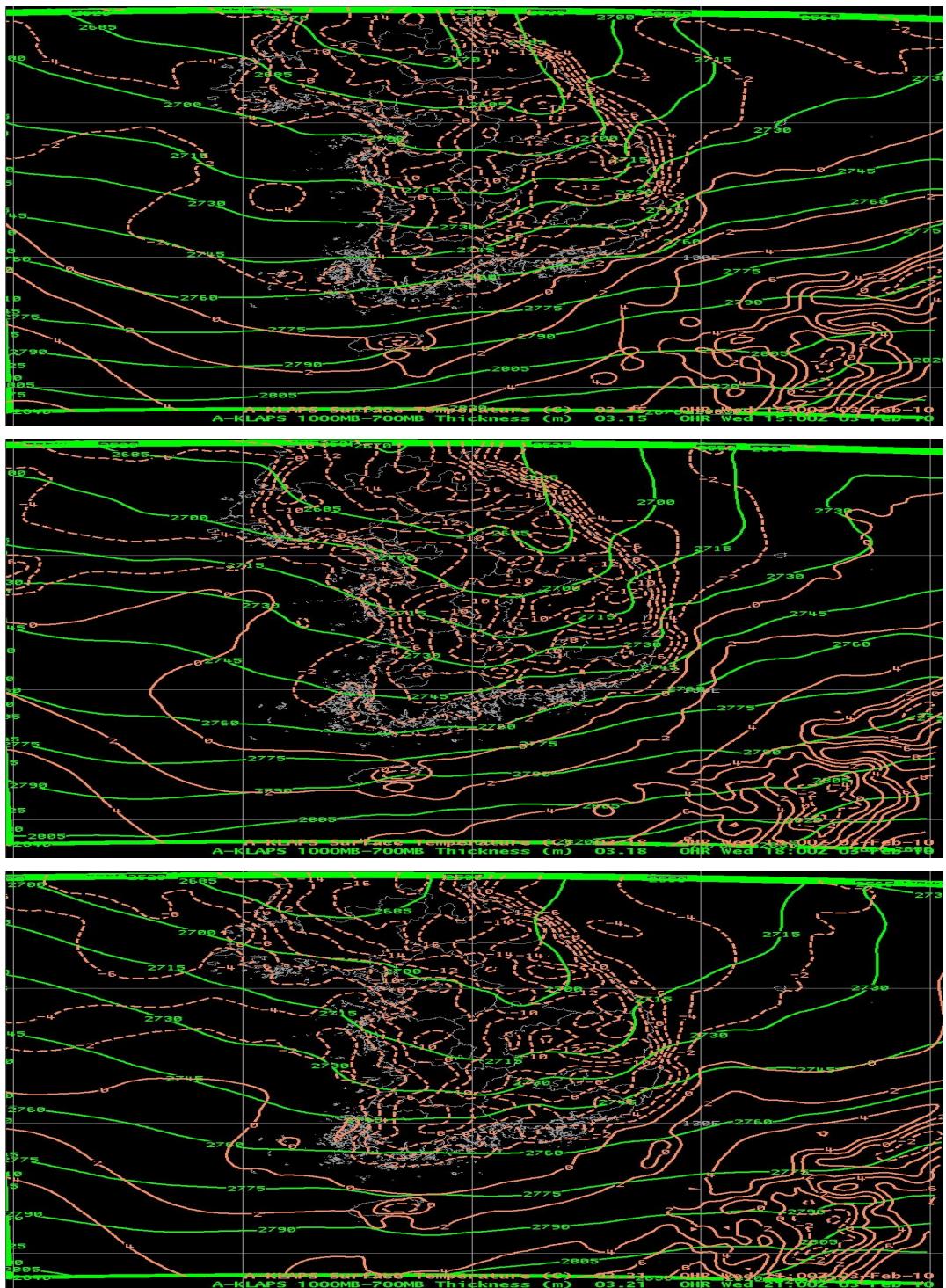


Fig. 8. The 1,000-700hPa thickness and surface temperature at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.

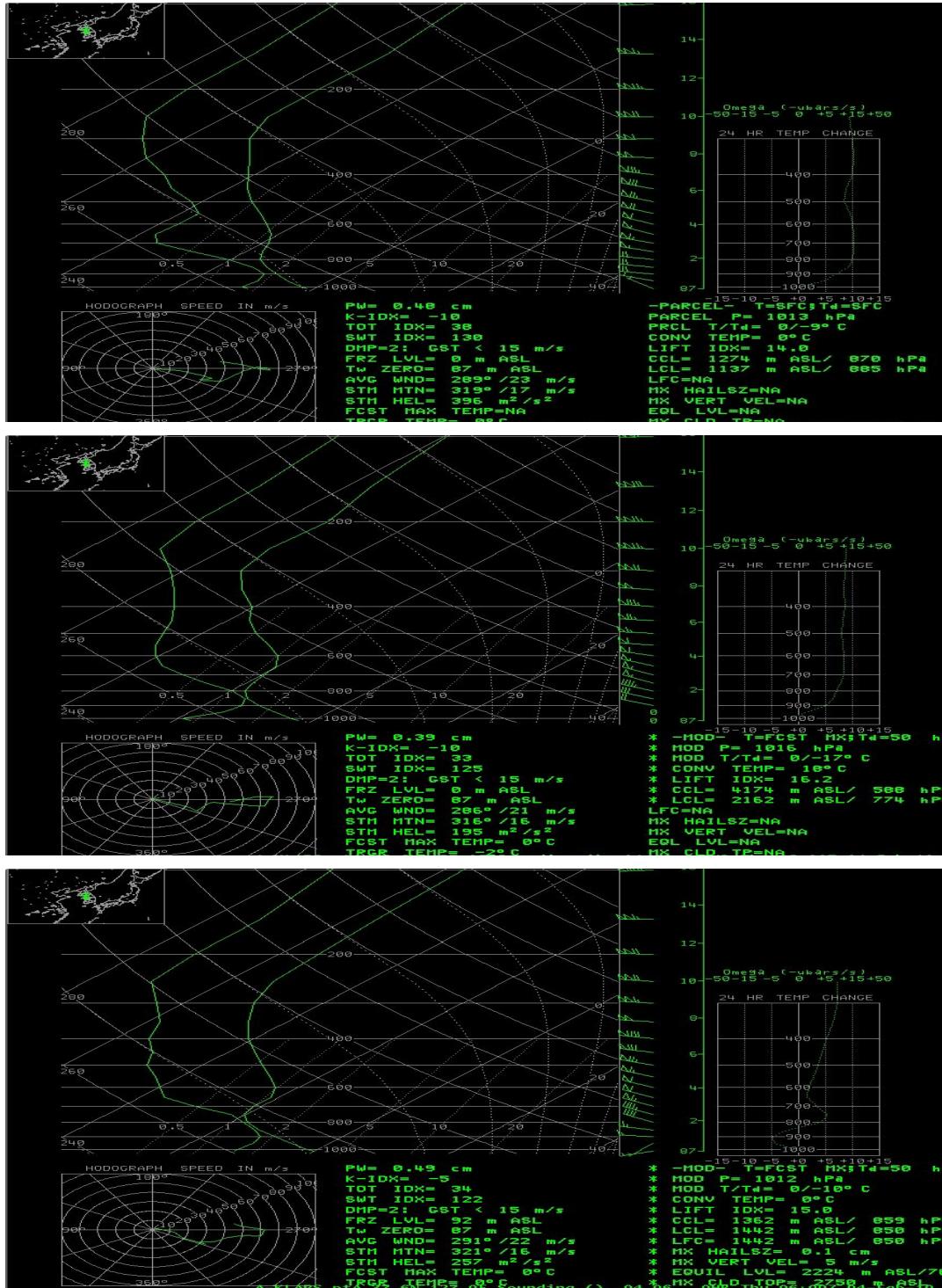


Fig. 9. The sounding at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.

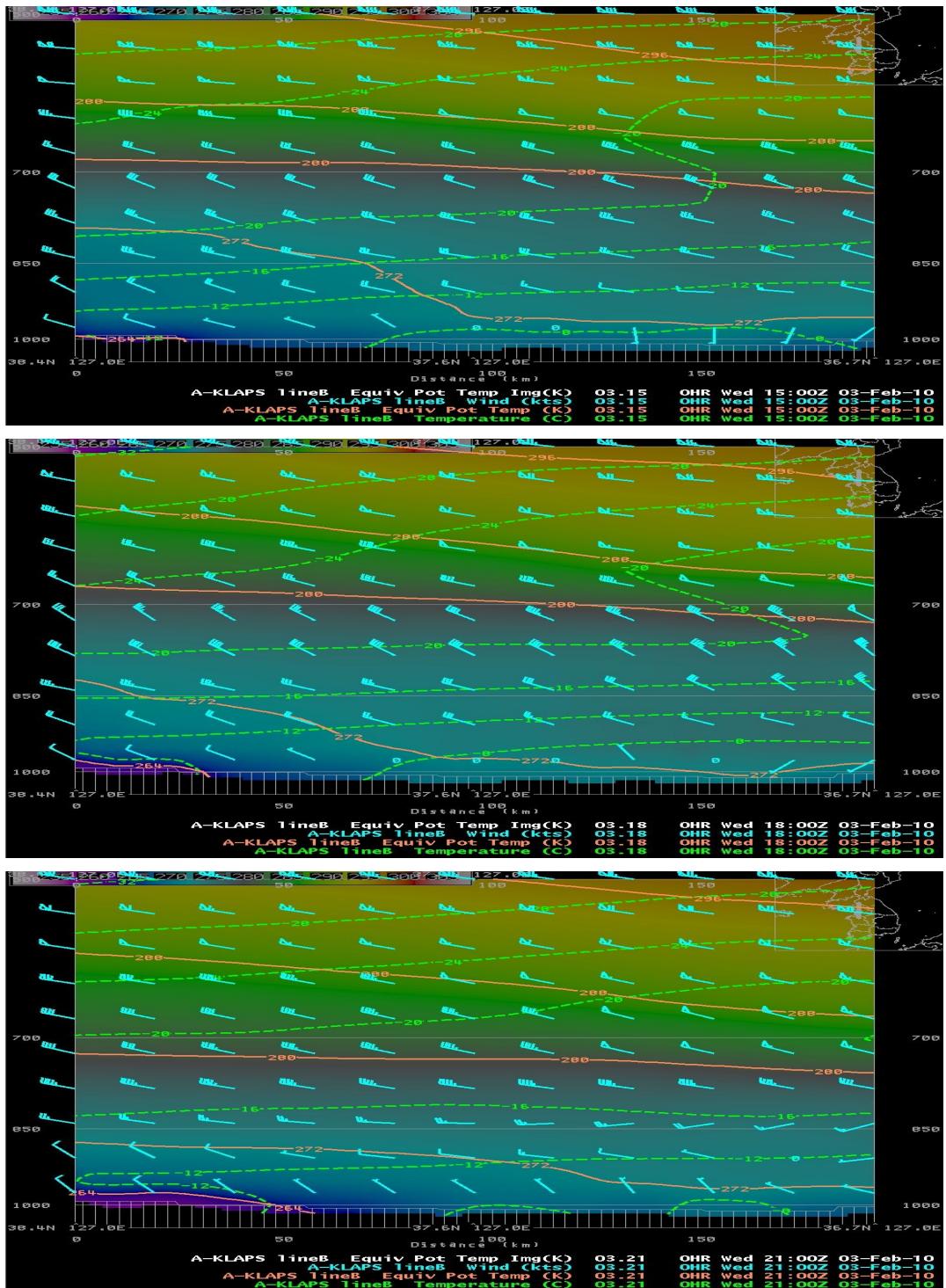


Fig. 10. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 15UTC, 18UTC and 21UTC 03 Feb. 2010.

제2절 강수형태 : 비

1. 기상실황

Fig. 11은 2010년 2월 9일 현재일기를 나타내는 지상분포도로 사례지점에서 강수형태는 비로 나타났다.

Fig. 12의 9일 서울에서의 시계열 자료를 보면 강수가 나타난 시간 전부터 기온이 하강하였지만 영상온도를 유지하고, 상대습도는 높아지면서 비의 형태로 강수가 시작되었다. 북풍과 동풍계열의 바람이 불었고 약 20시까지 강수가 지속되었음을 알 수 있다.

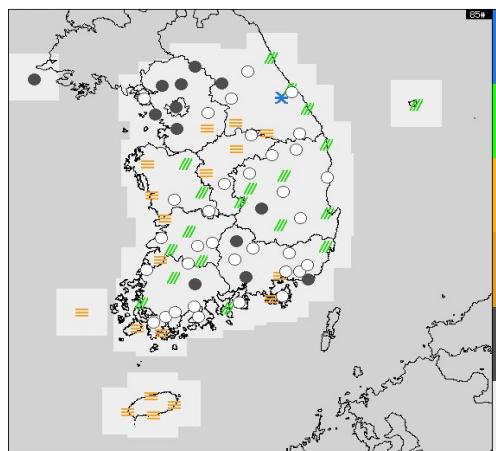


Fig. 11. The distribution of surface at 18UTC 08 Feb. 2010.

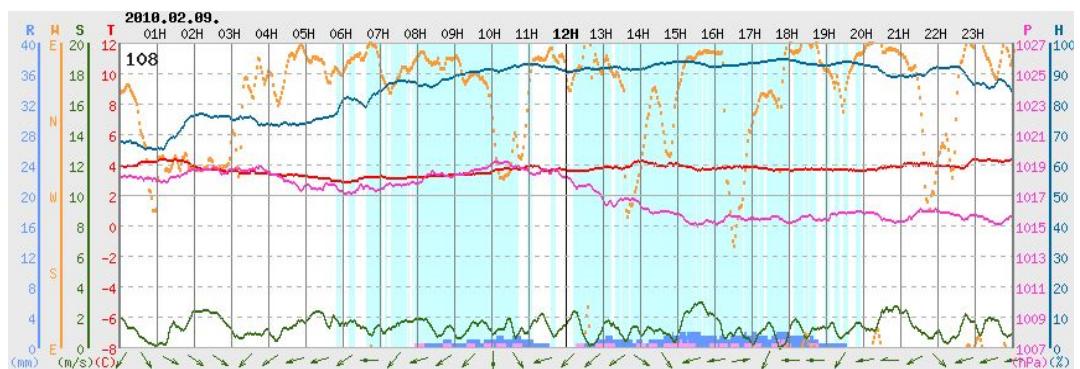


Fig. 12. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 09 Feb. 2010.

2. 일기도 분석

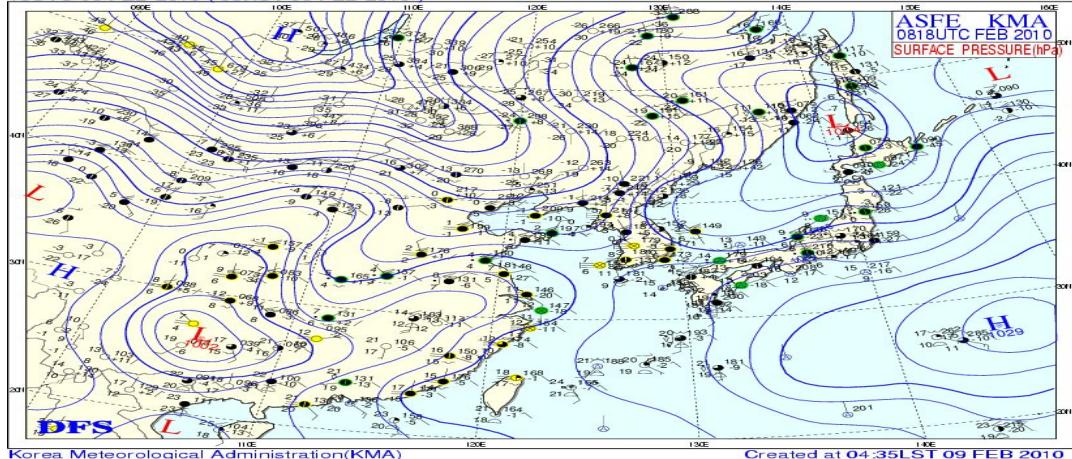
Fig. 13은 8일 18UTC, 21UTC 그리고 9일 00UTC의 지상일기도 자료이다.

전반적으로 한반도는 고기압의 가장자리에 들다가 남서쪽에서 접근하는 기압골의 영향을 받고 있다. 강수현상이 시작되었던 21UTC의 전·후 일기상태를 살펴보면 일본 남동쪽해상의 고기압은 남동진하고 바이칼호 서쪽의 대륙고기압은 거의 정체하고 있다. 연해주의 저기압은 동진하고 있으며, 중국 중부의 저기압은 느리게 북동진하여 우리나라를 안장부에 들어 있다. 대륙고기압은 점차 남동진하고 중국남서쪽으로부터 골이 파고들면서 강수가 시작되어 남쪽에 형성된 기압골과 고기압이 동해로 확장하여 동풍이 강화되면서 점차 그 세력이 확대될 것으로 보인다. 또한 9일 00UTC의 일기도에서는 바이칼호 서쪽부근의 찬 대륙 고기압이 동해북부와 중국 내륙으로 확장하고 있으나, 상층강풍축이 동서로 뻗어있으며, 남쪽 아열대 고기압이 세력을 유지하고 있어서 한반도는 안장부에 놓여 계속 궂은 날씨가 이어질 것으로 보인다.

Fig. 14는 8일 12UTC, 9일 00UTC의 850hPa 일기도 자료이다.

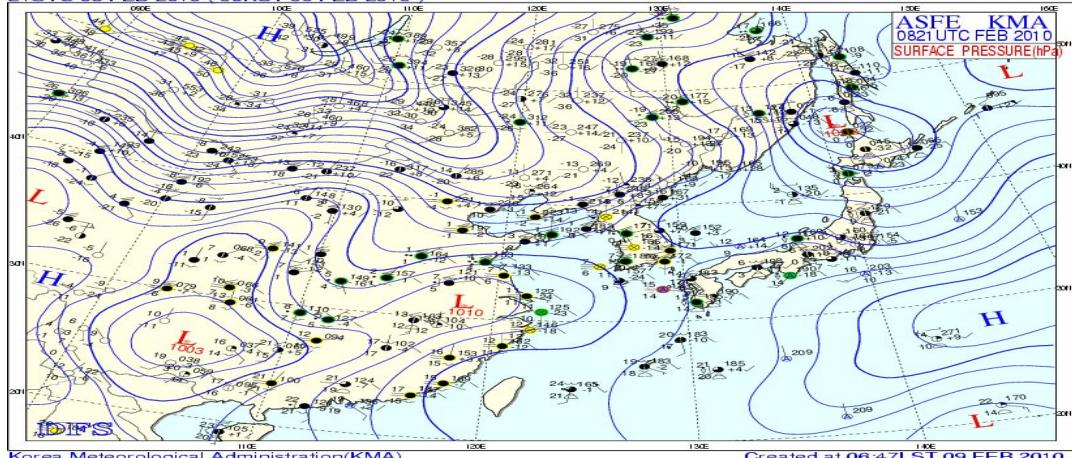
중국 중부내륙에 위치한 저기압은 약간 발달하고 있으며, 그 전면의 하층제트가 다소 강해지는 경향을 보인다. 남쪽의 따뜻한 공기와 북쪽의 차가운 공기가 수렴되는 중부지방을 중심으로는 강수가 예상되며, 대륙고기압이 확장함에 따라 남쪽의 고기압이 약간 밀리면서 남부지방으로 수렴역이 형성되어 제주도와 남부지방에서 강수가 시작되고 충청도까지 확대될 것으로 보인다. 우리나라 남부지방에서 중국 중부로 하여 뻗은 등온선은 당분간 유지되겠으며, 저기압은 약하지만 점차 온도경도가 강해지고 남쪽으로부터 온난이류가, 북쪽으로부터 한기이류가 발생하여 전선 강도가 강해질 것으로 예상된다. 그리고 강수가 시작한 후인 9일 00UTC의 850hPa 일기도를 보면 온도 조밀구역이 중국 중부내륙에서 동해상으로 위치하고 온도골은 중국 내륙으로 위치하여 남풍계열이 유입되면서 하층운이 폭넓게 만들어지고 있다. 또한 중국 중부내륙에서 산등반도 부근으로 불연속면이 그리고 제주도 서쪽으로는 쉬어가 위치하고 있어 강수역은 계속 발달하고, 남부지방으로는 하층제트가 위치하고 있어 전국적으로 영향을 줄 것으로 보인다.

18UTC 08 FEB 2010 (03KST 09 FEB 2010)



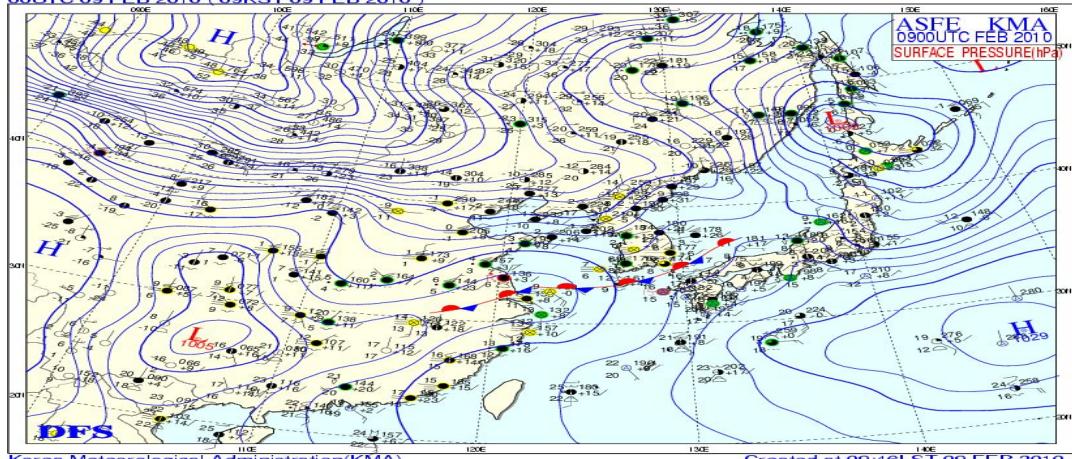
Created at 04:35LST 09 FEB 2010

21UTC 08 FEB 2010 (06KST 09 FEB 2010)



Created at 06:47LST 09 FEB 2010

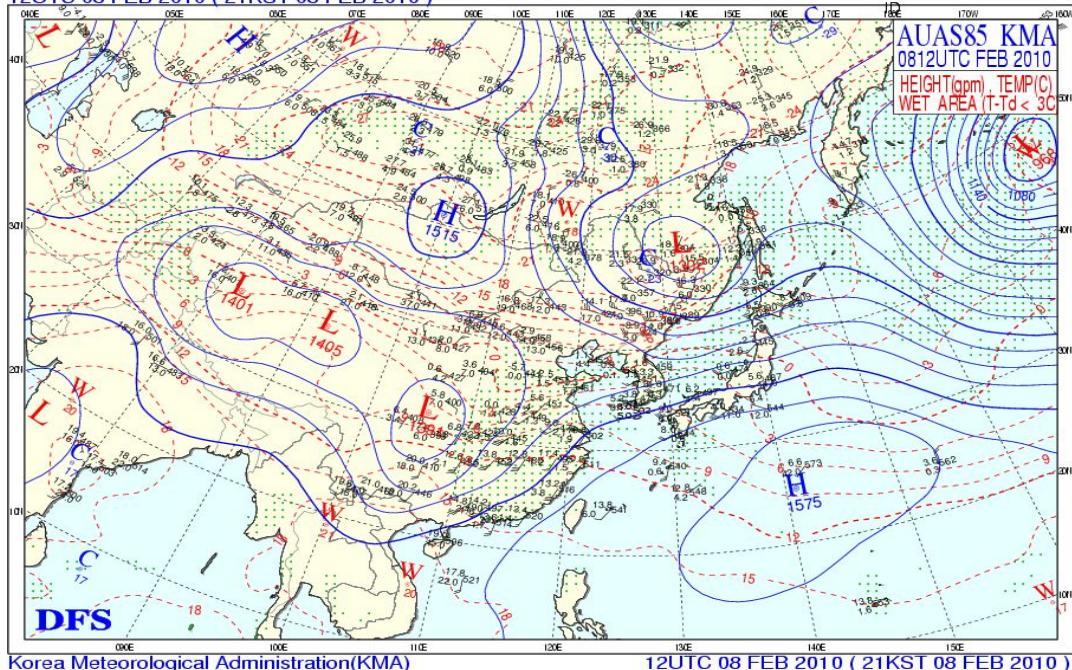
00UTC 09 FEB 2010 (09KST 09 FEB 2010)



Created at 09:46LST 09 FEB 2010

Fig. 13. The surface weather chart at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.

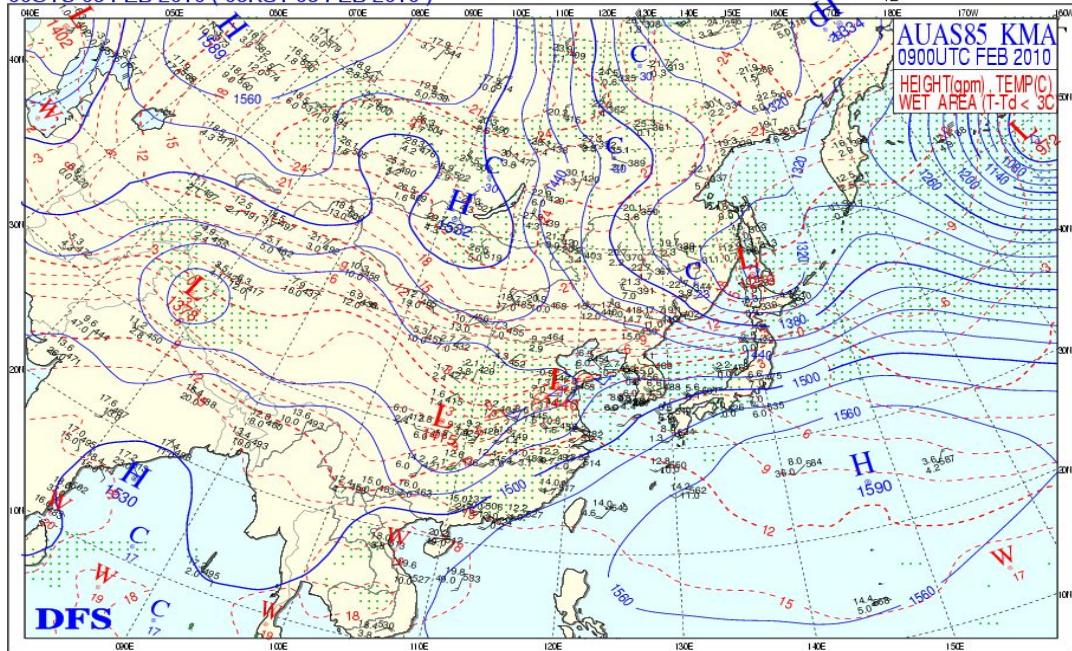
12UTC 08 FEB 2010 (21KST 08 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

12UTC 08 FEB 2010 (21KST 08 FEB 2010)

00UTC 09 FEB 2010 (09KST 09 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

00UTC 09 FEB 2010 (09KST 09 FEB 2010)

Fig. 14. The 850hPa weather chart at 12UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.

3. 원격탐사 자료 분석

Fig. 15는 강수가 발생하기 전 8일 1233UTC에서 강수가 발생 한 후 9일 0300UTC 사이의 MTSAT 위성영상자료이다.

a) 8일 1233UTC와 b) 1500UTC에서는 우리나라 주변에 분포해있던 구름대가 강수발생 전까지 느린 이동속도를 보이며 우리나라에 영향을 주고, 북서쪽에서는 고기압이 확장하면서 북쪽 한기가 남하하여 지속적으로 한기가 유입되고 있다. 또한 우리나라에 유입되는 주 강수 구름대는 동해남부해상으로 진출하긴 하였으나 약한 강수를 동반한 구름대가 우리나라 및 서해상에 넓게 분포하고 있다. 서해상의 구름대는 지속적으로 발생하여 우리나라에 영향을 주어 내륙 및 서해상에 구름역이 폭넓게 위치하고 있다. c) 8일 1833UTC와 d) 2100UTC에서는 충청도와 경기도를 경계로 하여 남쪽은 남쪽에서 북상하는 구름대, 북쪽은 북쪽에서 남하하는 구름대로 인하여 이 영역을 중심으로 수평방향의 수렴이 발생하고 있다. 따라서 구름대가 다소 발달하는 경향을 보이면서 강수가 있을 것으로 보인다. 한편 강수 발생 후 d) 2100UTC와 e) 0033UTC에서는 경기도와 충청도를 경계로 위치하던 상층운이 충청도 남쪽으로 이동하였으나 경기만 입구에 상층 저기압성 회전 흐름이 형성되어 이 영역에서 구름이 발달되었다. 그리고 동해상과 강원도에는 동풍에 의한 구름대가 형성되면서 동진하는 구름대의 전면을 소산시키고 있다.

Fig. 16은 8일 12UTC부터 9일 03UTC까지 3시간 간격으로 나타낸 CAPPI 1.5km 레이더영상 자료이다.

d)는 강수가 발생한 8일 21UTC의 모습으로 강수발생 전·후를 살펴보면 강수 발생 6시간 전에는 우리나라 남동해상에 강수에코가 있으나 우리나라에 영향을 주지 않았다. 그러나 강수 발생 3시간 전 c) 8일 18UTC부터 서해상에서 발달한 에코대가 점점 우리나라를 향해 접근하고 있는 모습을 볼 수 있다. 이로 인해 중부지역은 수평으로 길게 발달한 밴드형 에코에 의해 덮여 있으며, 강수 발생 후 밴드형 에코는 점점 서쪽으로 이동하여 부분적으로 시간당 10mm/h의 강수량을 보이는 곳도 있다.

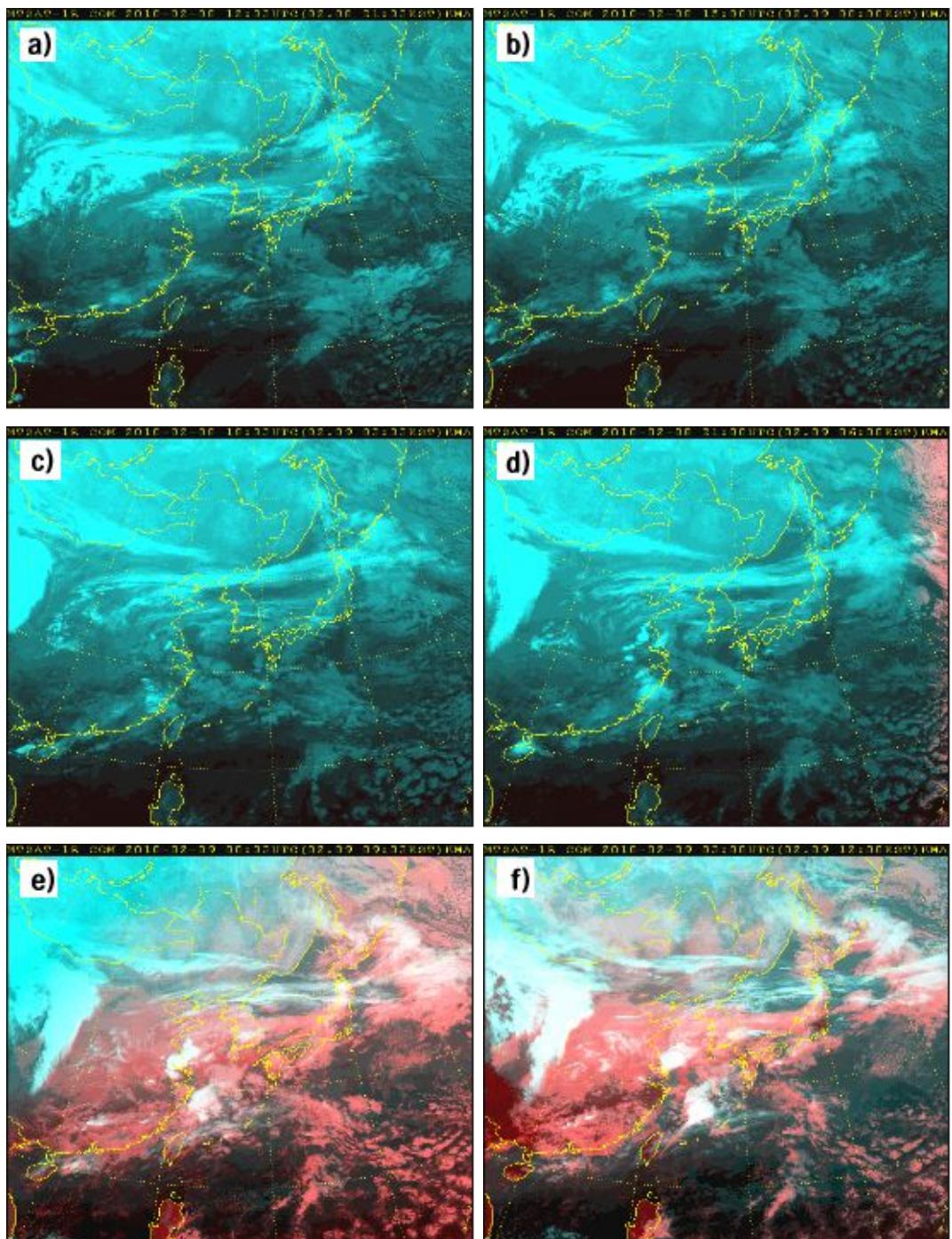


Fig. 15. The images of GMS at a) 1233UTC, b)1500UTC, c) 1833UTC, d) 2100UTC 08 Feb. 2010 and e) 0033UTC, f) 0300UTC 09 Feb. 2010.

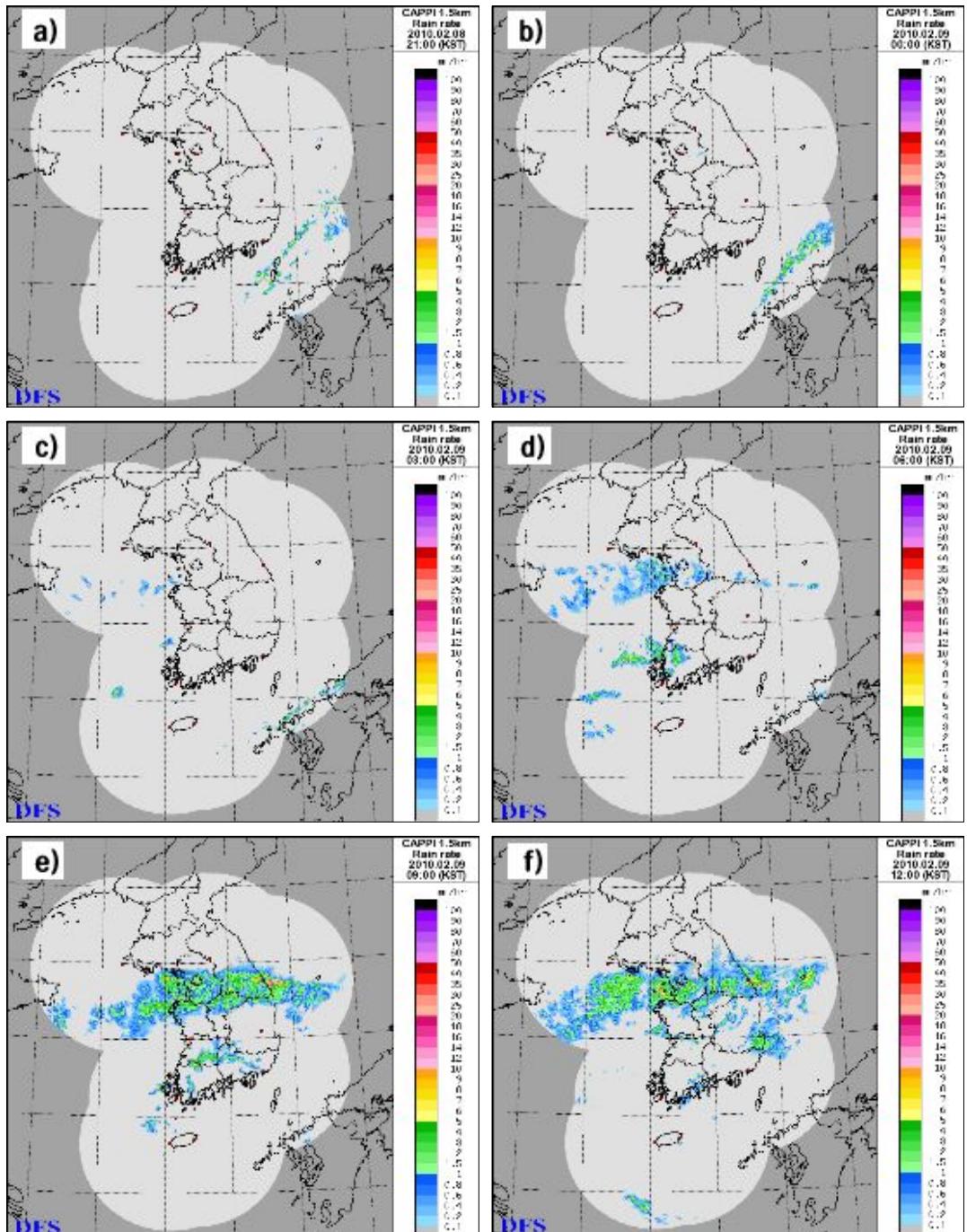


Fig. 16. The reflectivity images of the radar at a) 12UTC, b) 15UTC, c) 18UTC, d) 21UTC 08 Feb. 2010 and e) 00UTC, f) 03UTC 09 Feb. 2010.

4. KLAPS 자료 분석

Fig. 17은 강수형태가 비로 나타났을 때의 3시간 전부터 강수발생 3시간 후까지 분석된 1,000-700hPa 층후도와 지상 기온 자료이다.

8일 18UTC 2,860gpm이었던 층후값이 21UTC에는 2,845gpm 정도로 하강하여 나타났으며 층후 간격은 점점 좁아지고 지상기온은 2~3°C로 큰 변화를 보이지는 않았다. 2,845gpm~2,860gpm은 강수형태가 비로 나타나는 2,800gpm 경계값의 범위이며 기온 역시 2°C 이상으로 나타나 비의 형태로 강수가 발생했음을 알 수 있다. 또한 강수가 발생하기 전까지는 층후선이 불안정한 분포를 보였으나 강수발생 후에는 수평적으로 비교적 안정한 분포를 보였다.

Fig. 18 역시 8일 18UTC부터 9일 00UTC까지 3시간 간격으로 나타낸 사운딩 분석 자료이다.

강수 발생 3시간 전의 경우 약 650hPa에서는 포화상태를 보이고 있으며, 600hPa 부근에는 역전층이 형성되어 상하층 사이의 에너지 교환은 안정층에 의하여 차단되었다. 그러나 대기불안정도가 높아졌고 습윤 대기 고도가 낮아지면서 강수가 발생하였다. 대기 중층에서 상층까지는 남풍계열의 바람이 불었고, 빙결고도는 1,341m에서 961m까지 하강하였으며 눈이 내렸을 때 보다는 상대적으로 높은 고도에서 빙결고도가 나타난 것을 알 수 있다. 강수발생 후에는 남서풍의 바람이 강화되는 패턴이 중하층에서 나타났으며 습윤 대기 고도가 점차 낮아지는 패턴을 보였다.

상당온위, 바람장, 기온을 나타내는 Fig. 19에서는 850hPa 기온 0°C, 700hPa에서는 -4°C로 눈이 내렸을 때에 비해 높은 기온이 나타났다. 850hPa에서 500hPa까지의 바람장을 보면 전 층의 풍계가 서풍으로 형성되어 있었으나 하층에서 시간이 지날 수록 서풍에서 북풍의 기류가 불 때 강수가 발생한 것으로 보인다. 보라색은 저상당온위, 빨간색은 고상당온위를 나타내는데 강수발생 시간 8일 21UTC의 500hPa 상층에 320K의 고상당온위역이 분포하여 상대적으로 따뜻하고 습윤한 공기가 유입되어 하층의 습기 수렴과 함께 상승류가 유발되었다. 이로 인해 상·하층간의 상당온위 차가 발생하여 불안정이 강화되었지만 지상기온 0°C로 강수형태가 비로 내렸음을 알 수 있다. 이 시간에는 하층에서의 습기 수렴과 난기 이류성 상승류에 의해 발달과 유지 과정을 설명할 수 있으며 대기 하층에서의 높은 상당온위는 열역학적으로 불안정한 대기상태가 나타난다고 볼 수 있다.

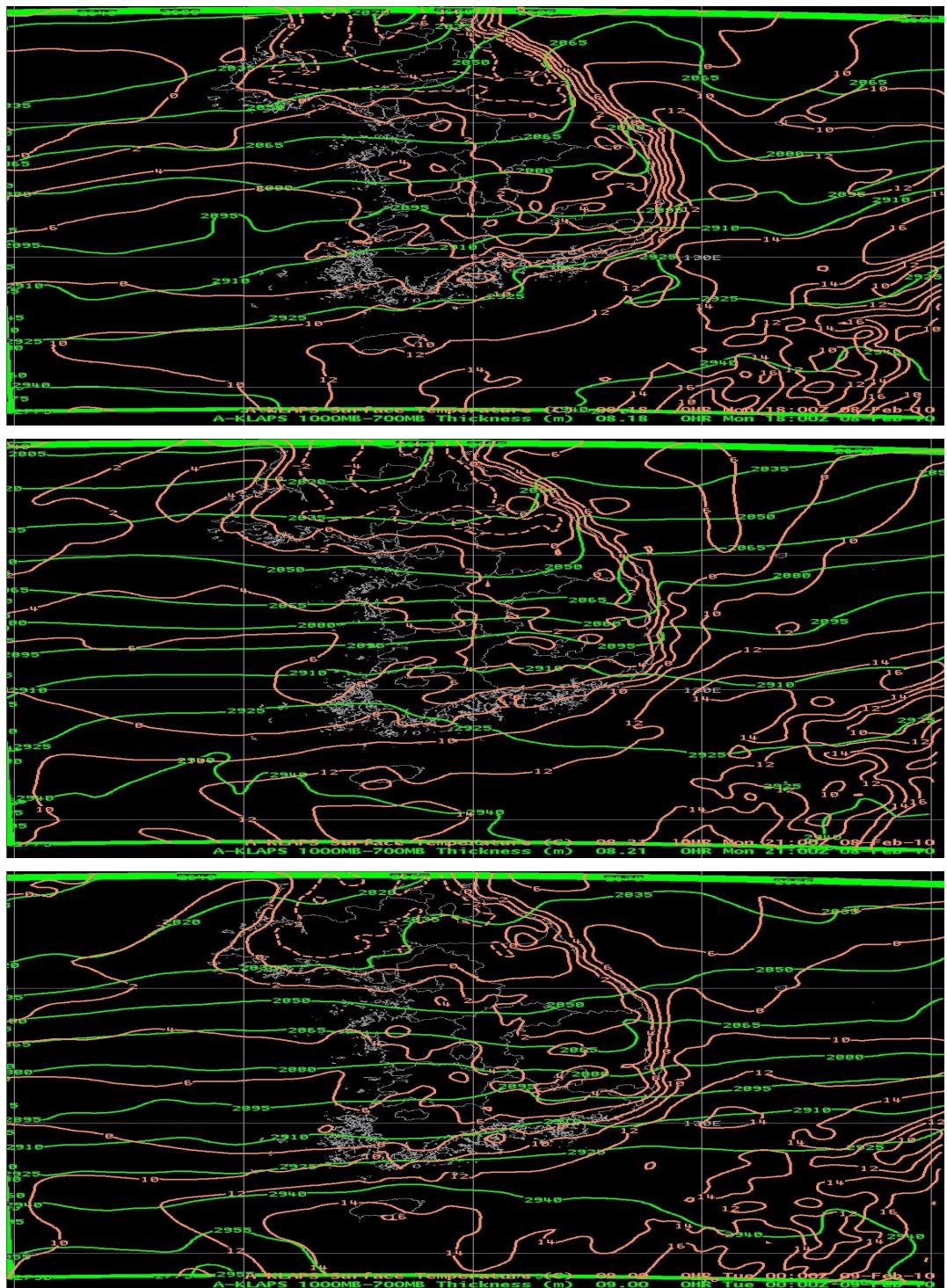


Fig. 17. The 1,000-700hPa thickness and surface temperature at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.

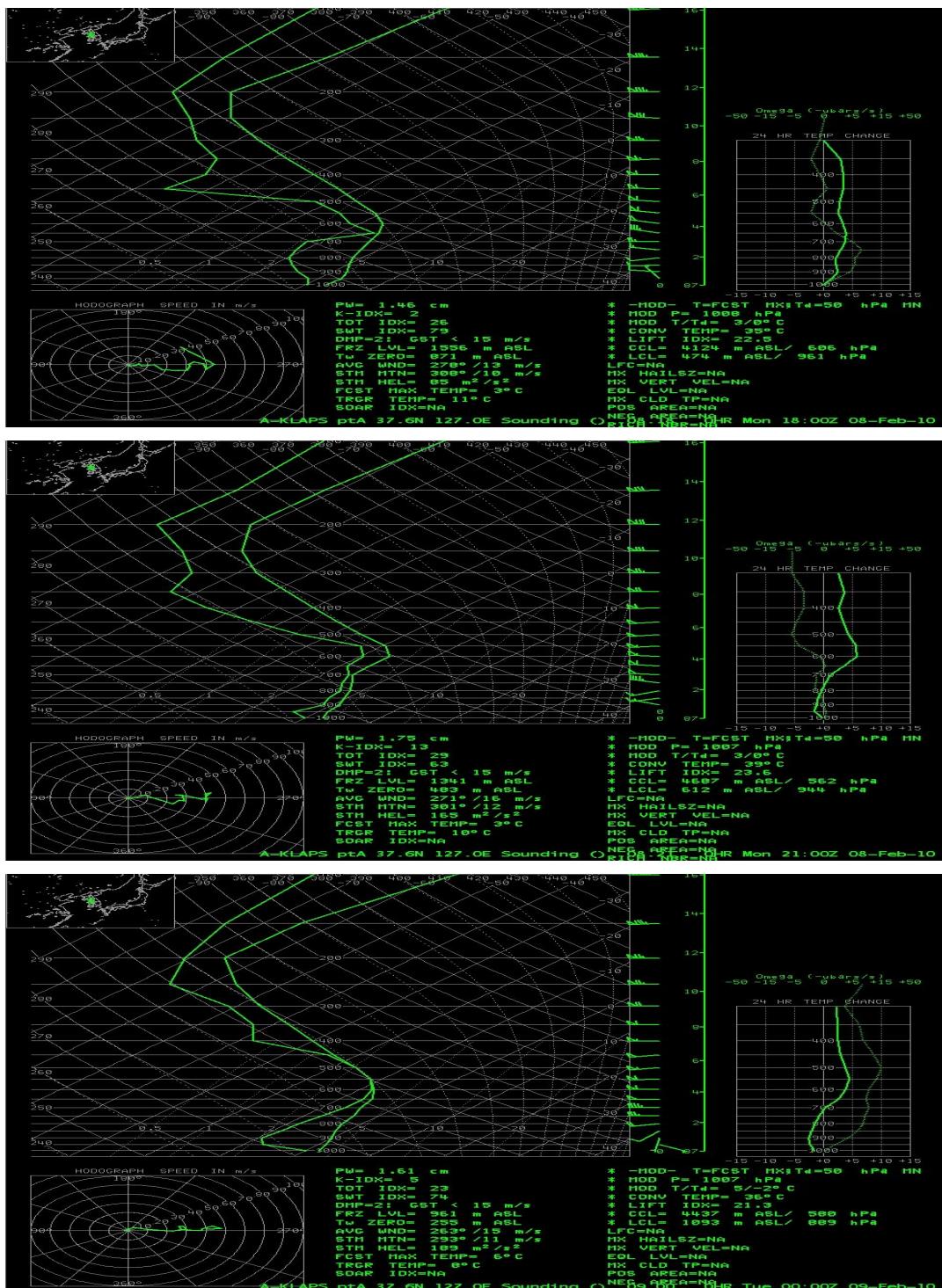


Fig. 18. The sounding at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.

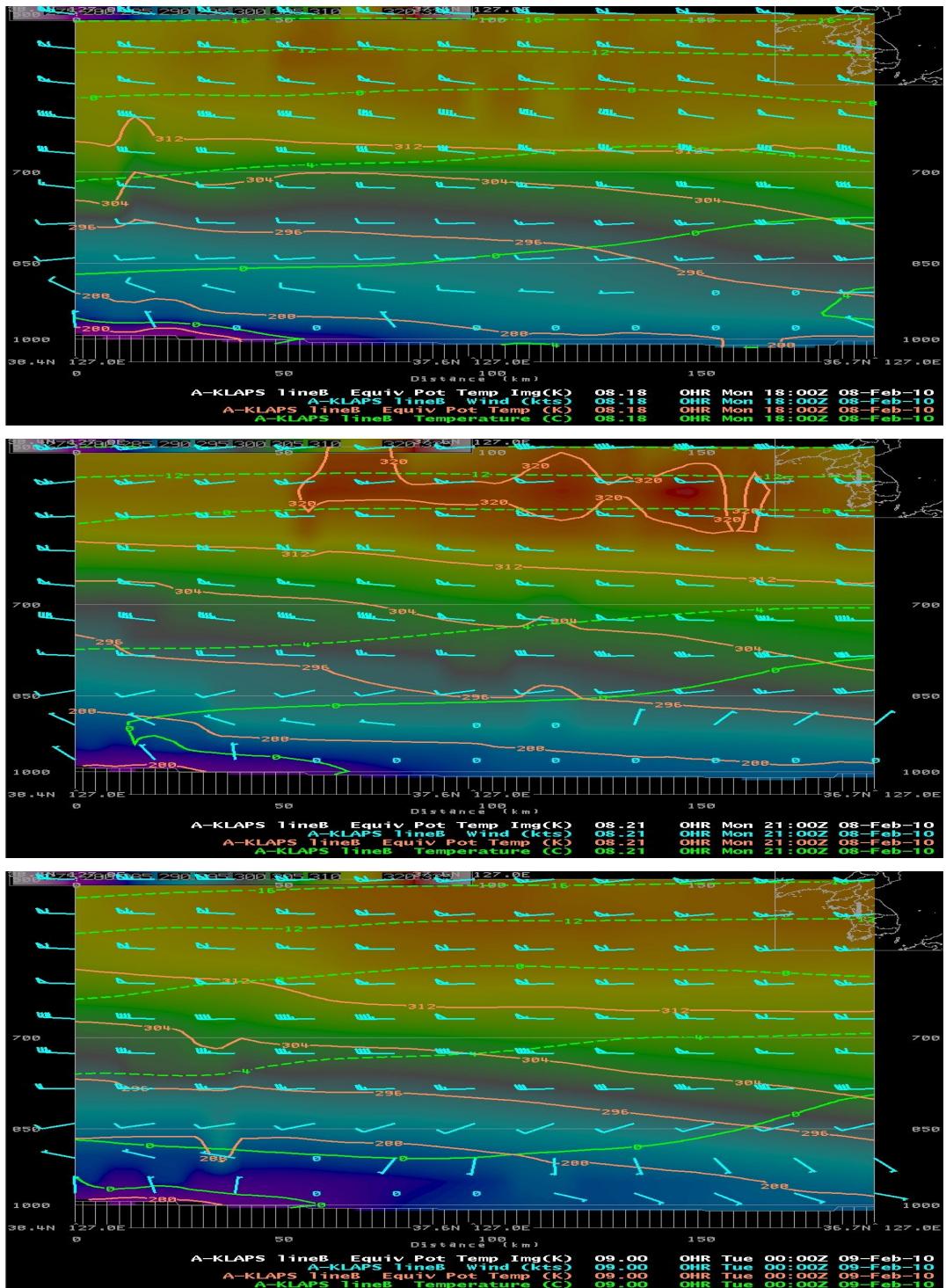


Fig. 19. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 18UTC, 21UTC 08 Feb. 2010 and 00UTC 09 Feb. 2010.

제3절 강수형태 : 비 → 눈

1. 기상실황

Fig. 20의 지상분포도를 보면 10일 19UTC의 강수형태는 비였으나 21UTC부터 눈으로 바뀐 것을 알 수 있다. 이 강수는 동풍계열의 바람을 가지고 강수형태가 바뀐 시점으로 하여 약 3°C였던 기온이 영하로 급격히 하강하면서 그 형태가 바뀐 것으로 보인다.

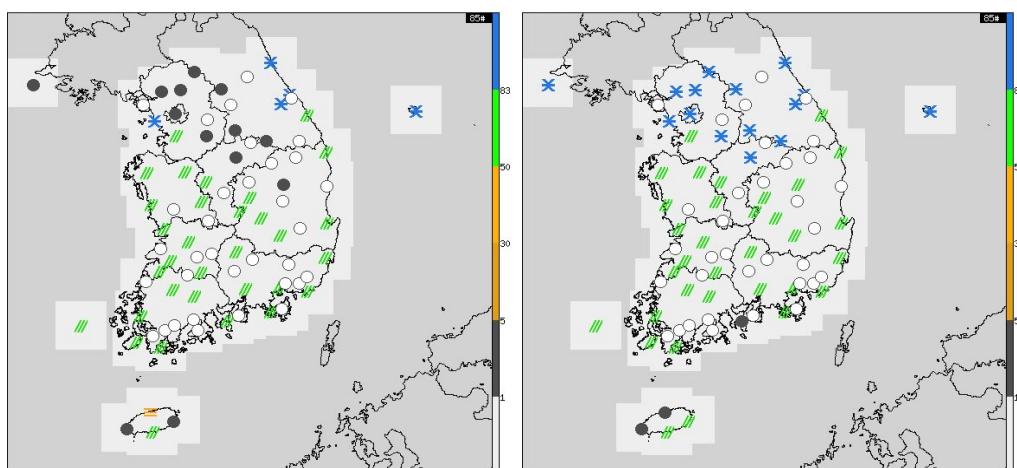


Fig. 20. The distribution of surface at 19UTC, 21UTC 10 Feb. 2010.

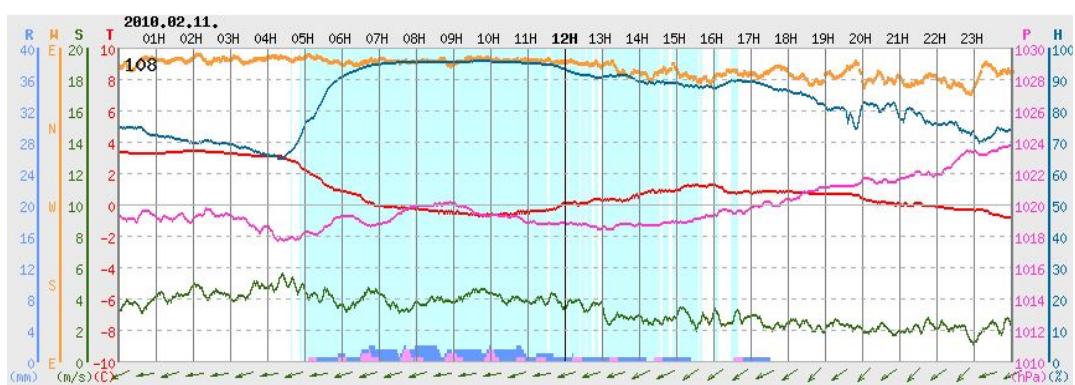


Fig. 21. The time series of temperature, wind speed, wind direction, precipitation, relative humidity, pressure at Seoul AWS site 11 Feb. 2010.

2. 일기도 분석

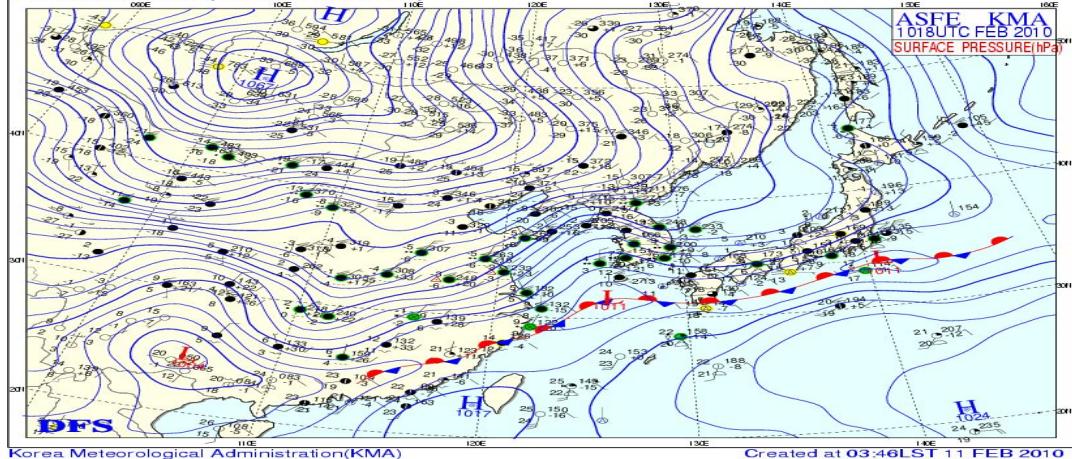
Fig. 22는 10일 18UTC, 21UTC, 11일 00UTC의 지상일기도이며, 10일 18UTC에는 비, 21UTC에는 그 형태가 눈으로 변하여 11일 00UTC에는 눈의 형태로 강수가 있었다.

대륙 고기압이 동해북부와 중국 내륙으로 확장하고, 한반도는 남해상을 지나는 저기압의 영향을 받아 기압골에 놓여 있다. 또한 남해상으로 위치한 정체전선 상에서 저기압이 만들어져 남해상을 지나면서 전국적으로 강수가 있겠으며, 한기가 남하하면서 중부지방에서는 점차 강수형태의 변화가 있을 것으로 보인다. 동해안지방 역시 고기압이 동해상으로 확장하면서 동풍의 취주거리가 길며 한기가 이류 되고 있어 많은 눈이 예상된다. 강수형태가 바뀐 후의 일기도에서는 제주도에 저기압이 위치하고 대륙에는 고기압이 자리 잡아 북고남저형의 기압배치 형태로 남해에서 발해만으로 기압골이 형성되어 있다. 또한 남해상의 저기압이 빠르게 빠져나가고 북동기류에 의해 전국적으로 강수가 나타나고 있다.

Fig. 23은 강수형태가 변하기 전·후의 850hPa 일기도이다.

10일 12UTC에서는 온도 조밀구역이 중국남부에서 한반도를 지나 동해상으로 위치하고 중국남부에서 서해상과 남부지방으로 불연속면이 형성되어 있다. 이로 인해 남서류에 의한 습기의 유입으로 불안정이 높아지면서 해상에서는 저기압 파동을 강화시킬 듯 보인다. 대륙고기압이 동해북부로 확장함에 따라 한반도로 한기이류를 시키고 -6°C 선이 중부지방까지 내려오면서 강수형태가 바뀔 것으로 보인다. 한편 동해상의 기압골이 물러간 자리를 고기압이 채우면서 동해안지방은 동풍이 유입되어 많은 눈이 올 것으로 보인다. 강수형태가 눈으로 변한 후인 11일 00UTC의 850hPa 일기도를 보면 mT는 세력을 유지한 채 따뜻한 공기를 우리나라로 이동시킨 반면, 대륙고기압은 약간 약해지는 경향이나 찬 공기를 우리나라로 이류시켰다. 때문에 우리나라 주변의 온도경도가 조밀해지고 연직 상승류가 강해지면서 서해남부해상에 저기압이 발생되어, 하층제트가 강하게 나타났다. 또한 두 공기가 수렴되는 중부지방을 중심으로 눈이 내리고 있고, 건조하고 찬 공기가 남쪽으로 이동함에 따라 눈은 점차 약해지기 시작하여 북서쪽지방부터 약해질 것으로 보인다.

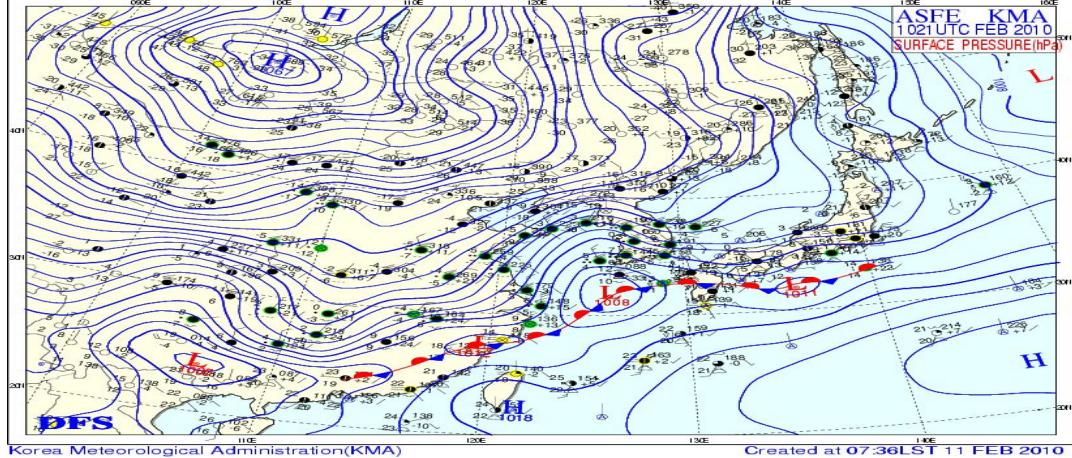
18UTC 10 FEB 2010 (03KST 11 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

Created at 03:46LST 11 FEB 2010

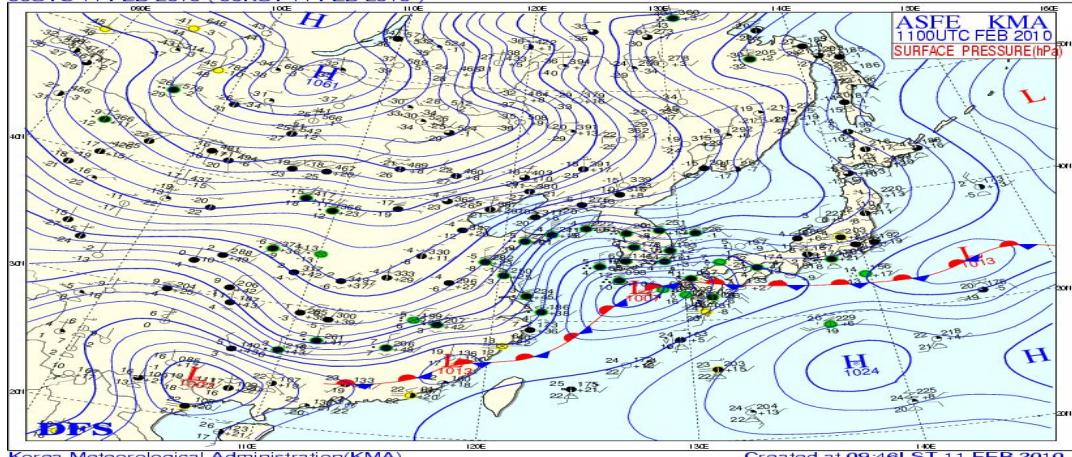
21UTC 10 FEB 2010 (06KST 11 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

Created at 07:36LST 11 FEB 2010

00UTC 11 FEB 2010 (09KST 11 FEB 2010)

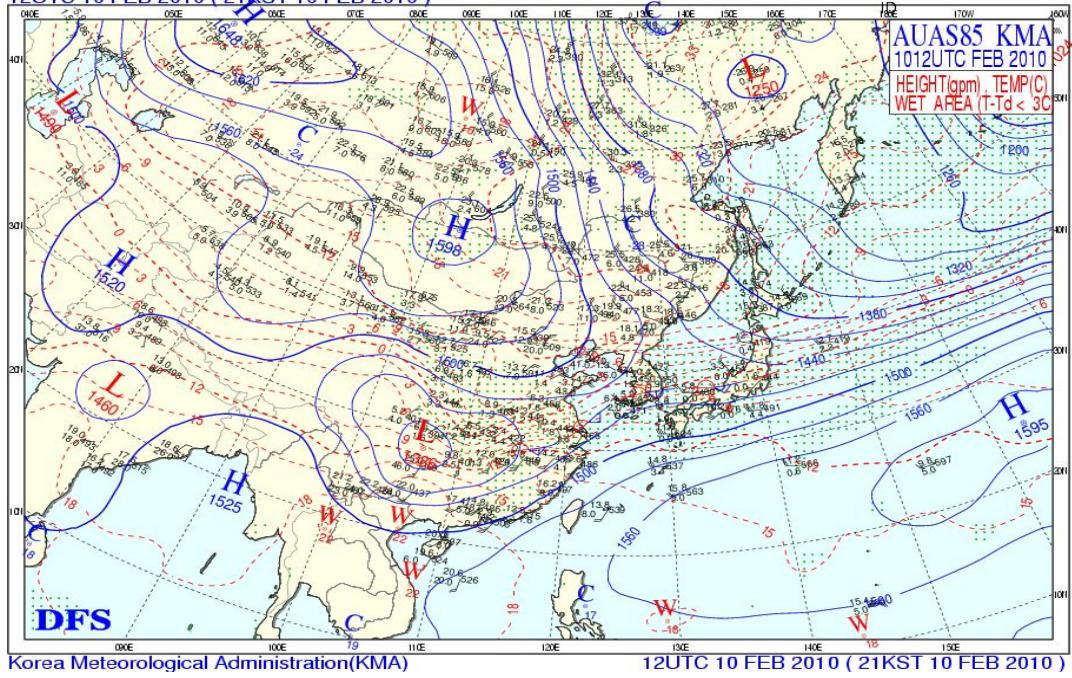


Korea Meteorological Administration(KMA)

Created at 09:46LST 11 FEB 2010

Fig. 22. The surface weather chart at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.

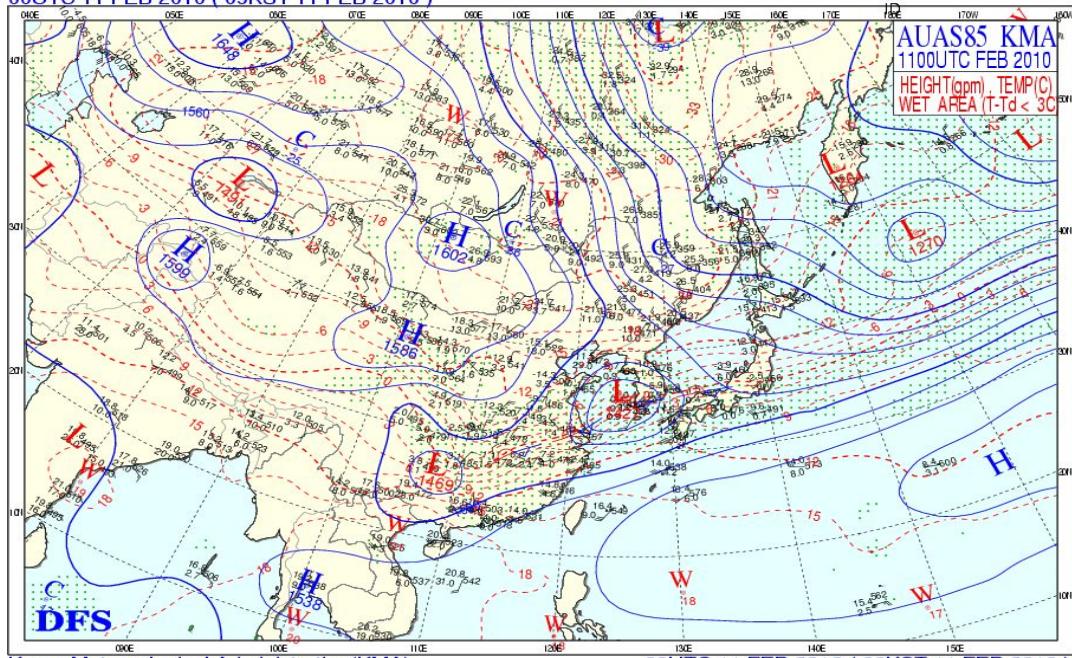
12UTC 10 FEB 2010 (21KST 10 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

12UTC 10 FEB 2010 (21KST 10 FEB 2010)

00UTC 11 FEB 2010 (09KST 11 FEB 2010)



Korea Meteorological Administration(KMA)

00UTC 11 FEB 2010 (09KST 11 FEB 2010)

Fig. 23. The 850hPa weather chart 12UTC 10 and 00UTC 11 Feb. 2010.

3. 원격탐사 자료 분석

Fig. 24는 강수형태가 비에서 눈으로 변한 기간의 위성 MTSAT-1R 합성 영상 자료이다.

a) 10일 1233UTC를 보면 북서쪽으로부터 한기가 이류해오면서 점차 서해상의 적운열이 발달하여 우리나라 남부지방이 적운열에 의한 영향을 받게 되었다. 또한 저기압성 중심이 계속 뚜렷해지고, 전면에서는 난기가 후면에서는 한기가 유입되고 있어 적운계열의 구름대가 더욱 발달하였다. 서해상과 중남부지방에는 하층운이 유입되어 있으나 북쪽기류와 남쪽기류가 수렴되면서 전라남도 앞 해상에서 구름대가 발달하는 경향을 보이고 있다. 구름대는 동해상으로 이동하였으나 후면의 건조역에 의해 우리나라로 유입되는 하층운이 저지되는 경향을 보이고 있다. 그리고 b)와 c)에서 우리나라에 유입되고 있던 구름대는 우리나라 부근에 형성되어 있는 동풍류에 의해 구름대가 다소 소산되는 경향을 보이나 서해중부 이남에서 이동하는 구름대에 남동류가 유입되면서 발달하고 있는 상태이다. 특히 가장 발달한 구름대가 이동하는 곳은 전라도 남서해상이며, 북쪽 구름대의 전면과 그 경계는 계속 악화되는 경향이나 중심부근이 위치한 곳에서는 저기압성 형태를 뚜렷이 갖추면서 구름대가 발달하고 있다. 또한 구름대 상층에서는 계속 저기압성 회전을 보이고 있고 이 구름대는 화중내륙에서 발달하며 동진하고 있어 우리나라로 유입 가능성이 있을 것으로 판단된다. 이 사례시간에는 저기압을 동반하고 있는 구름대에 남쪽에서는 난기가, 북쪽에서는 한기가 유입되면서 지속적으로 발달하여 우리나라 전역에 영향을 주어 강수형태가 변하였다.

Fig. 25는 각각 a) 10일 12UTC, b) 15UTC, c) 18UTC, d) 21UTC 및 e) 11일 00UTC, f) 03UTC의 레이더 영상자료이며, c)에서는 강수형태가 비로 내렸고 d)는 눈으로 바뀐 시간의 자료이다.

10일 18UTC에 서해상 전역에 한기 유입으로 인해 발생한 강한 적란운이 발달하면서 북동진하여 21UTC에는 우리나라 충청도 및 전라도 부근에 강한 에코가 형성되었다. 강수에코는 빠르게 이동하고 우리나라 전역에 걸쳐 형성되어 영향을 주고 있으며, 강수형태가 변한 후 다소 약화되는 경향을 보이고 있다. 이러한 변화는 위성과 레이더 영상에서 구름밴드의 이동과 강수에코의 변화를 연속적으로 비교하여 알 수 있다.

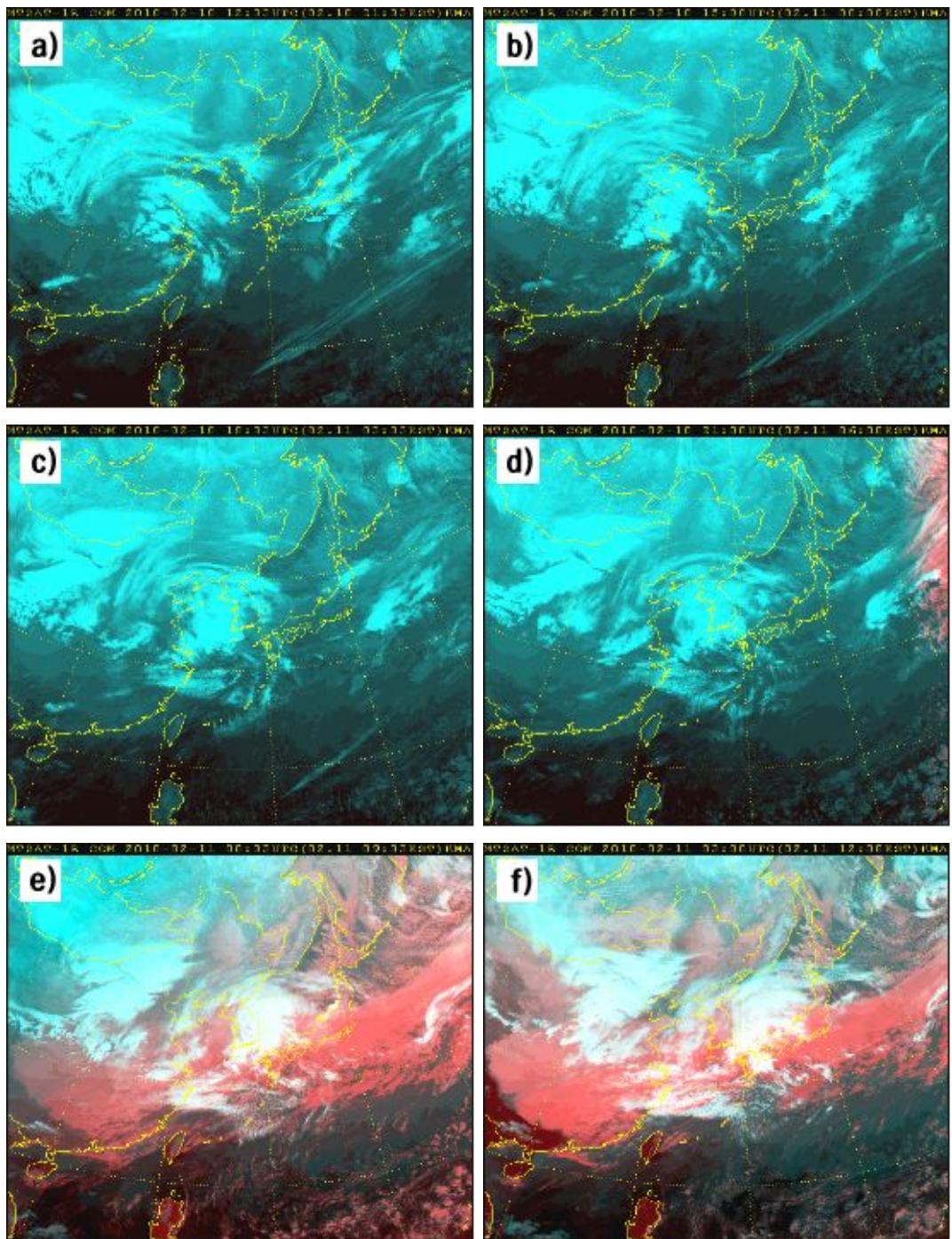


Fig. 24. The images of GMS at a) 1233UTC, b) 1500UTC, c) 1833UTC, d) 2100UTC 10 Feb. 2010 and e) 0033UTC, f) 0300UTC 11 Feb. 2010.

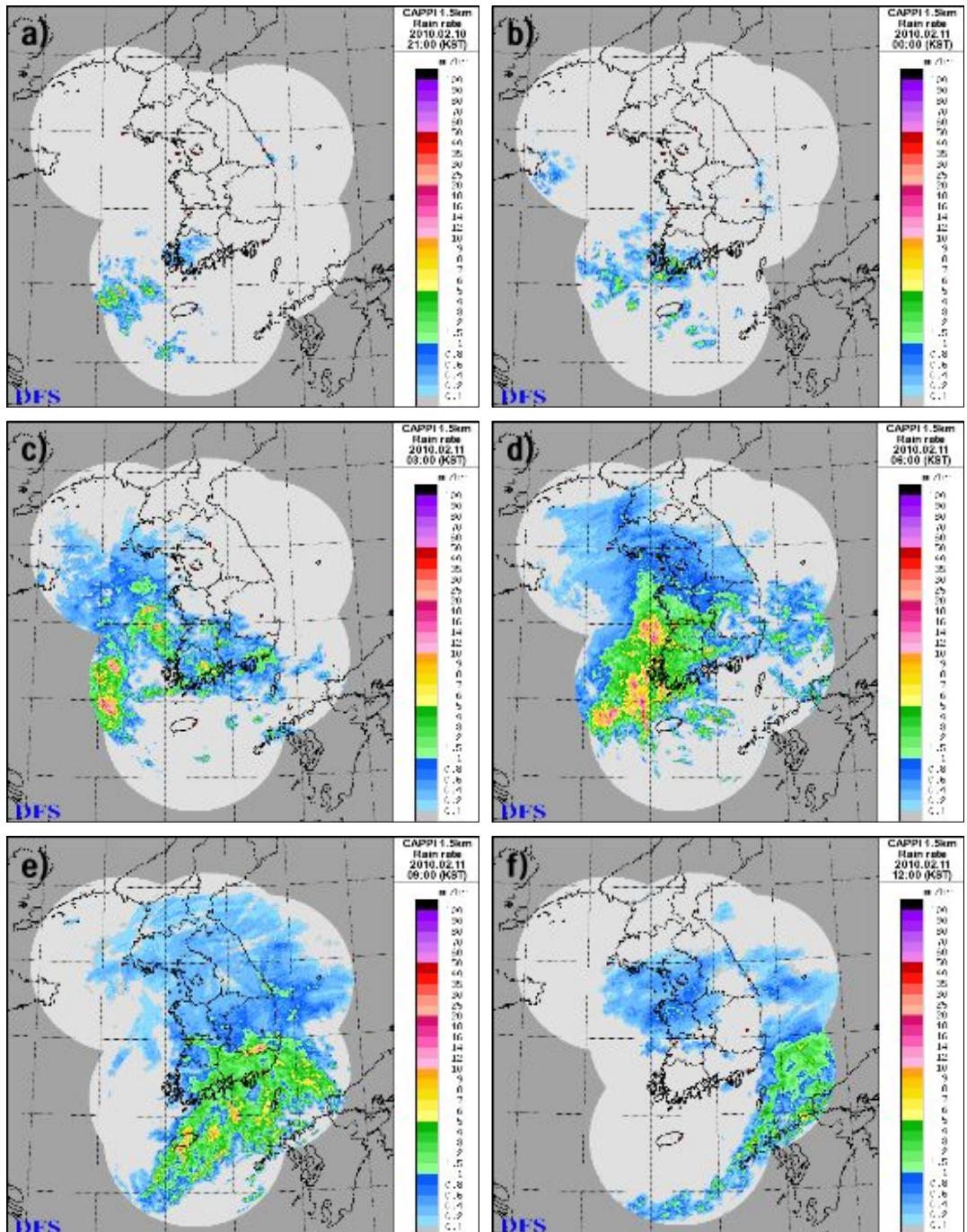


Fig. 25. The reflectivity images of the radar at a) 12UTC, b) 15UTC, c) 18UTC, d) 21UTC 10 Feb. 2010 and e) 00UTC, f) 03UTC 11 Feb. 2010.

4. KLAPS 자료 분석

Fig. 26은 강수 형태가 변하기 전 10일 18UTC, 강수형태가 변한 21UTC, 강수 형태가 변하고 난 후 11일 03UTC의 1,000-700hPa 층후와 지상기온을 나타낸 것이다.

강수형태가 변하기 전 2,830gpm으로 나타난 층후값이 2,820gpm까지 하강하였는데 1,000-700hPa 층후가 2,820gpm 이상일 경우 비가 예상되고, 2,760gpm 이하일 경우 눈이 예상된다는 기준의 보고와 실제 관측된 값과는 약간 차이가 있었다. 그러나 지상기온 4°C 선이 남하하여 0°C 의 기온분포를 보이면서 지상기온 차이에 의한 강수형태 변화 가능성을 보여 주었다. 이는 층후와 기온이 밀접한 관련이 있음을 나타내며 처음에 가정했던 기온에 의해 강수형태가 변할 것이라는 내용과 일치하여 강수형태를 판별할 때 층후와 기온의 변화를 함께 분석해야 함을 알 수 있다.

Fig. 27은 서울 지점 사운딩 자료이며, 강수형태 변화 3시간 전 비가 내렸던 10일 18UTC의 경우 약 900hPa 부근의 대기가 포화상태에 있으며 이 때 빙결고도는 755m로 관측되었다. 3시간 후 강수형태가 눈으로 변하였는데 한기유입으로 인해 하층에서 상층까지 포화에 이르고 있는 모습을 볼 수 있다. 따라서 습윤 대기 상태를 보이고 있으며 강수형태 변화 후 빙결고도 값은 217m까지 하강하였다.

Fig. 28은 고도별 상당온위, 바람, 기온의 남북연직단면도를 나타낸 것이다.

10일 18UTC와 11일 03UTC의 강수형태가 변하기 전·후를 비교해 보았을 때 상당온위선의 간격이 점점 좁아지고 기온선은 하강하는 경향을 보였다. 또한 강수형태가 변하기 전 700hPa 부근에 위치한 상당온위 300K선이 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 급격히 하강하여 대기 상태가 불안정함을 나타내고 있다. 따라서 이 고도 아래에서 대류성 구름이 형성되고, 상당온위는 하층으로 갈수록 감소하는 분포를 보여주고 있다. 지상의 북동계열 바람은 상층으로 갈수록 고기압성 회전을 보이면서 남서계열로 불고 있어 순전에 의한 한기이류가 강하게 발생하였고 하층의 수분속을 유입시켜 불안정이 강화되었다. 지상부근은 보라색으로 표출되어 상대적으로 저상당온위역이 위치하고, 700hPa 부근에서는 빨간색으로 고상당온위역이 위치하는 것을 상당온위 이미지화를 통해 알 수 있었는데 보통 상·하층의 상당온위차가 클수록 대류 활동이 활발하게 일어나기 때문에 이는 대기 불안정이 가속화 되고 있음을 알 수 있다. 이렇게 상·하층의 상당온위 차와 바람 자료를 동시에 분석함으로써 대류불안정 정도를 알 수 있었다.

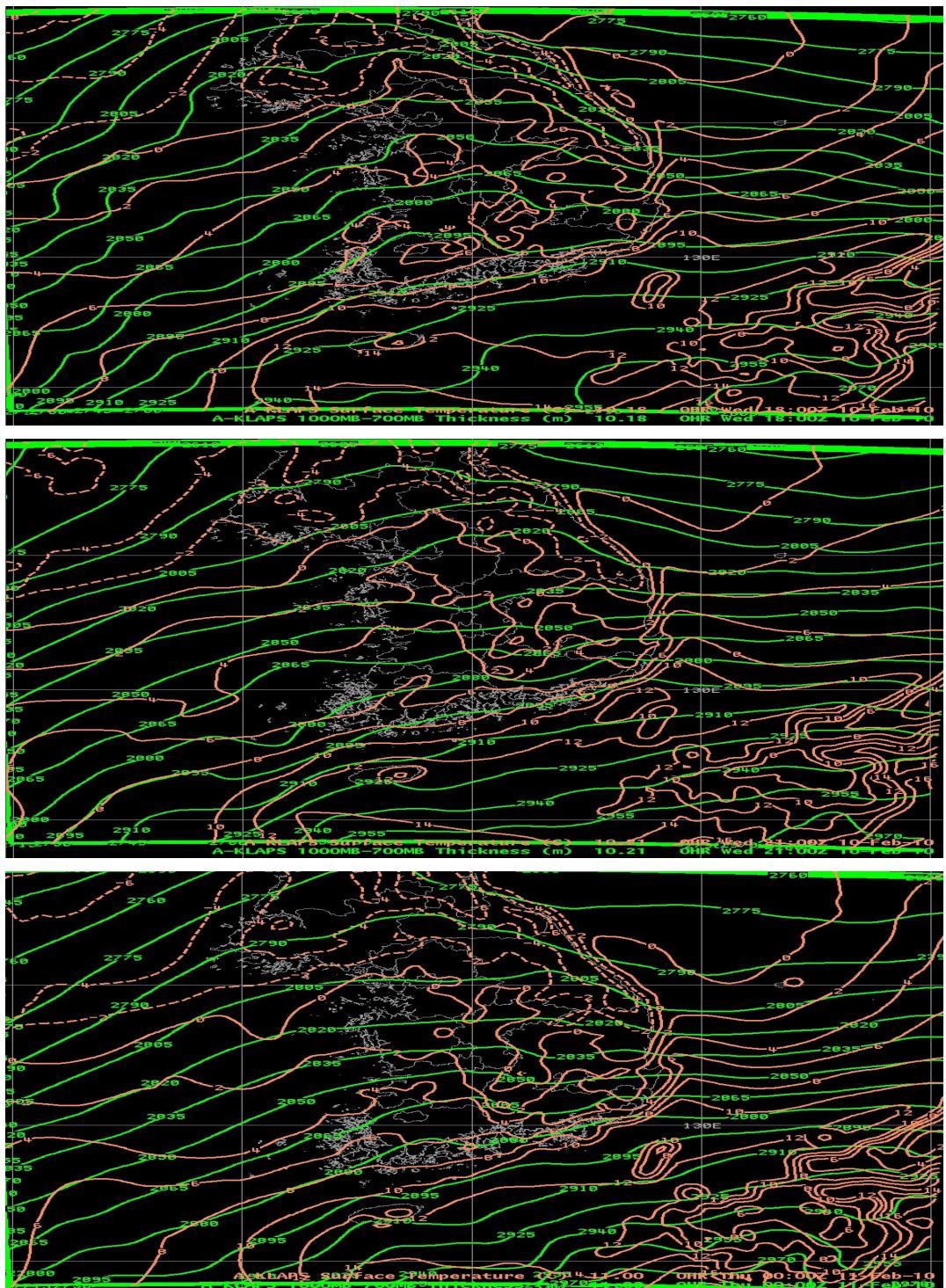


Fig. 26. The 1,000-700hPa thickness and surface temperature at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.

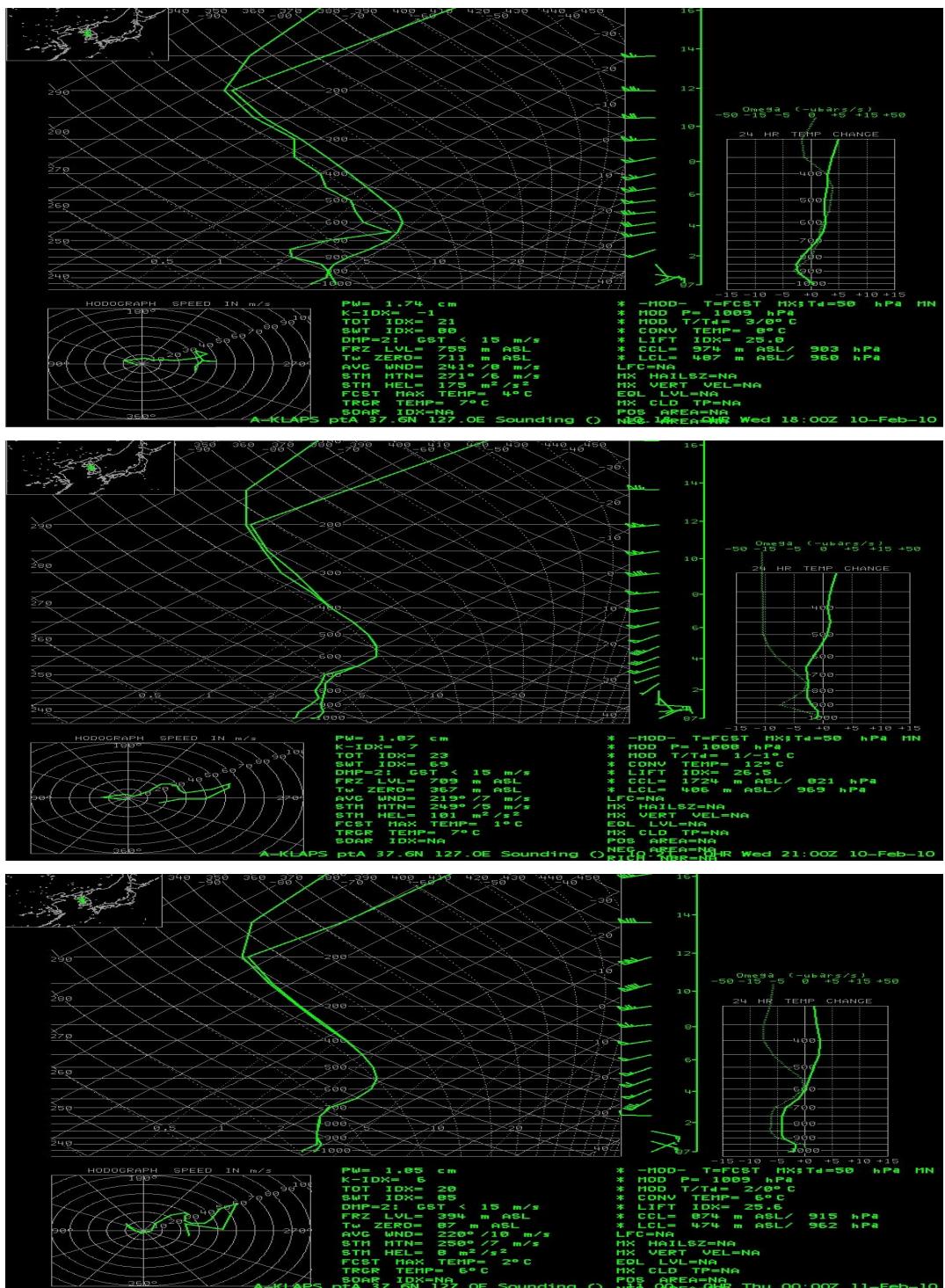


Fig. 27. The sounding at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.

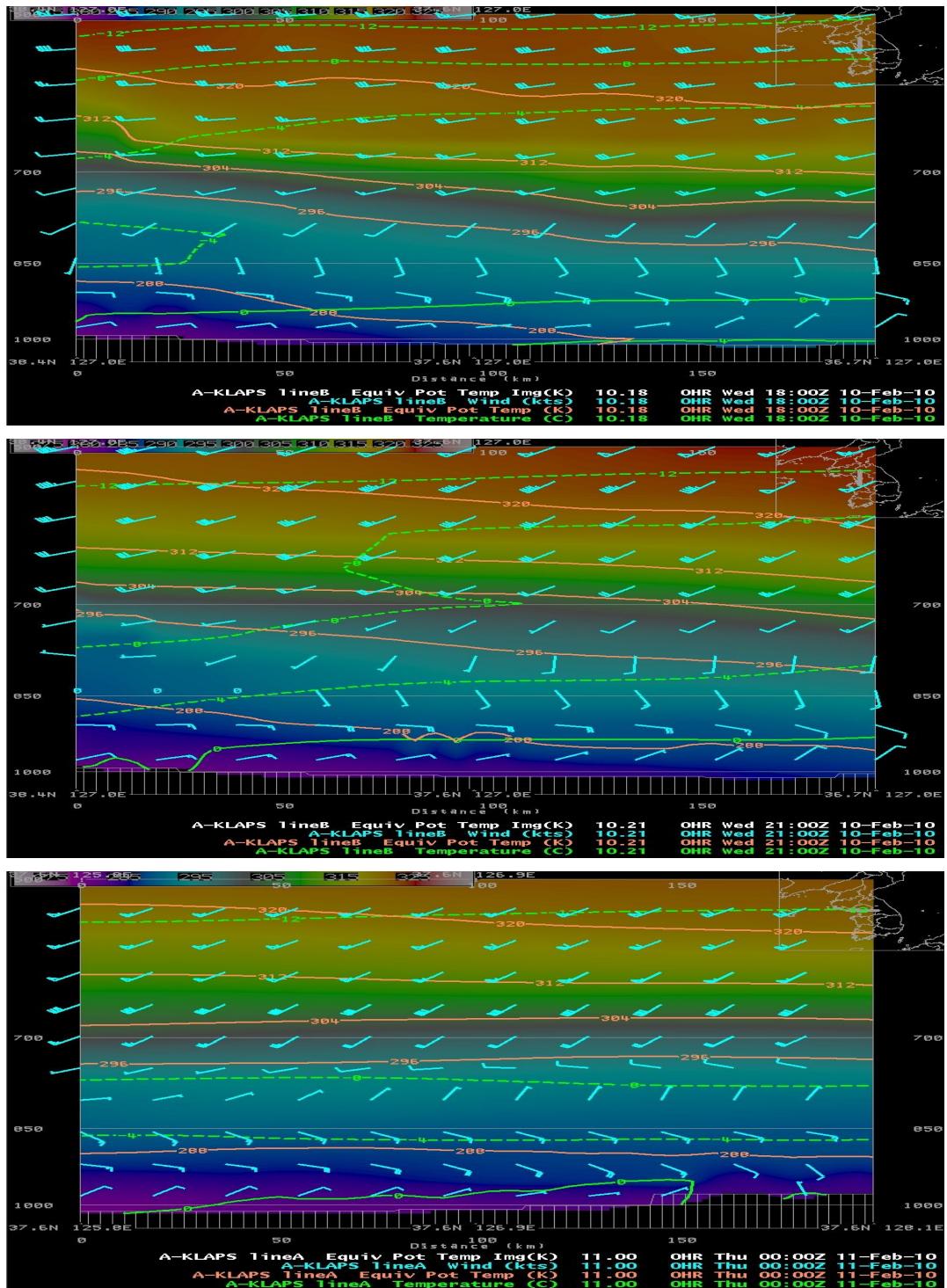


Fig. 28. The equivalent potential temperature, wind and temperature of the South and North in Seoul at 18UTC, 21UTC 10 Feb. 2010 and 00UTC 11 Feb. 2010.

제4절 결 과

KLAPS를 이용하여 분석한 각 고도별 풍향, 기온, 상당온위, 1,000–700hpa 층후, 빙결고도, 습구온도 0°C 고도의 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. The comparison of KLAPS analysis snow event at 15UTC to 21UTC 03 Feb. 2010 before and after 3hours.

Pressure (hPa)	Wind direction (deg)	Temperature (°C)	Equivalent potential temperature (K)	1,000–700hPa Thickness (gpm)	Freezing level (m)	T _w zero level (m)
-------------------	----------------------------	---------------------	---	------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------

15UTC 03 Feb. 2010

1,000	0	-7	268	2,695	0	87
850	NWW	-16	276			
700	NW	-22	280			
500	W	-30	298			

18UTC 03 Feb. 2010

1,000	0	-8	270	2,690	0	87
850	NWW	-15	276			
700	NW	-20	280			
500	NWW	-32	296			

21UTC 03 Feb. 2010

1,000	NW	-9	268	2,705	92	87
850	W	-15	276			
700	NWW	-19	282			
500	NWW	-30	296			

Table 4. The comparison of KLAPS analysis rain event at 18UTC 08 to 00UTC 09 Feb. 2010 before and after 3hours.

Pressure (hPa)	Wind direction (deg)	Temperature (°C)	Equivalent potential temperature (K)	1,000–700hPa Thickness (gpm)	Freezing level (m)	Tw zero level (m)
-------------------	----------------------------	---------------------	---	------------------------------------	--------------------------	-------------------------

18UTC 08 Feb. 2010

1,000	0	3	284	2,860	1,556	871
850	SWW	0	294			
700	W	-3	306			
500	W	-16	318			

21UTC 08 Feb. 2010

1,000	0	2	284	2,845	1,341	483
850	SW	-1	296			
700	W	-5	308			
500	W	-14	324			

00UTC 09 Feb. 2010

1,000	0	2	280	2,840	9,61	255
850	SW	-2	290			
700	W	-5	306			
500	W	-16	322			

Table 5. The comparison of KLAPS analysis rain → snow event at 18UTC 08 to 00UTC 09 Feb. 2010 before and after 3hours.

Pressure (hPa)	Wind direction (deg)	Temperature (°C)	Equivalent potential temperature (K)	1,000–700hPa Thickness (gpm)	Freezing level (m)	T _w zero level (m)
-------------------	----------------------------	---------------------	---	------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------

18UTC 10 Feb. 2010

1,000	NEE	4	284	2,825	755	711
850	SSE	-3	296			
700	SWW	-7	308			
500	SWW	-14	326			

21UTC 10 Feb. 2010

1,000	NE	1	284	2,820	709	367
850	SE	-3	292			
700	SW	-8	302			
500	SW	-15	340			

00UTC 11 Feb. 2010

1,000	NE	-1	280	2,800	394	87
850	NEE	-6	290			
700	SW	-10	300			
500	SW	-17	324			

제5장 결 론

본 연구는 강수형태의 유형판별을 위해 2010년 2월 4일에서 2월 12일 사이에 한반도 중서부지방의 강수를 대상으로, 강수형태의 지상분포도, AWS의 시계열자료, 종관일기도, MTSAT-1R 위성 합성영상, 레이더 CAPPI 1.5km 자료를 사용한 종관적인 대기흐름 분석과 3차원 국지 분석 및 예측시스템(KLAPS)을 이용하여 서울(37.6N, 127.0E)을 중심으로 1,000-700hPa thickness · surface temperature, sounding, equivalent potential temperature · temperature · wind의 남북연직단면도를 산출하여 강수형태에 따른 임계값을 분석한 것이다.

사례기간 중 나타난 눈, 비 및 비에서 눈으로 변하는 강수형태에 대해 일기도를 분석한 결과 북고남저형의 기압배치가 나타났다. 이는 시베리아 고기압이 화남지역 보다는 연해주와 화중지방 쪽으로 강하게 장출하고, 두 기압능 사이에서 우리나라 남동부 방향으로부터 기압골이 발달하여 이룬 것이며 원격탐사자료를 통해 강수역의 발생과 이동속도에 대해 알 수 있었다.

강수형태가 눈으로 나타난 경우(Table 3)는 전체적으로 북서계열의 바람이 불었으며, 층후는 2,695gpm에서 2,705gpm까지 하강하였다. 층후의 하강 정도는 약했지만 영하 기온으로 차가운 공기괴의 분포를 보이고 기온이 하강함에 따라 강수형태가 눈으로 나타났다. 강수발생 전 빙결고도는 0m, 습구온도 0°C 고도 87m로 최하값이 관측되었다.

강수형태가 비로 나타났을 때(Table 4) 역시 각 고도별 기온은 하강하는 경향을 보였지만 눈으로 왔을 때에 비하여 높은 기온 분포를 보였고, 층후값은 2,860gpm에서 2,840gpm 사이의 범위였으며, 빙결고도는 1,556m에서 1,341m로 낮아져 눈이 왔을 때에 비해 높은 값이 나타나 강수형태는 비로 나타났다.

강수형태가 비에서 눈으로 바뀌었을 때(Table 5)는 강수 발생 3시간 전 한기유입으로 인해 하층에서 상층까지 포화되어 습윤 대기 상태임을 알 수 있었고, 기온선과 층후선이 낮아하는 정도가 크게 나타나 강수형태 변화 가능성을 알 수 있었다. 특히 상당온위 300K선이 강수형태 변화 발생시간 전·후로 하여 급격히 하강하였고 북동계열의 바람이 고기압성 회전으로 보이면서 순전에 의한 한기 이류가 강하게 발생하여 하층의 수분속을 유입시켜 불안정이 강화되었다. 또한 상·하층의 상당온위차가 크게 나타나 대류활동이 활발하게 진행되어 강수형태가 비에서 눈으로

변하였다.

지금까지의 연구들은 지형과 층후를 고려한 강수형태 분석이 주를 이루었으나 본 연구에서는 층후와 빙결고도를 비롯하여 각 고도별 기온의 변화를 함께 분석하였다. 이를 통해 겨울철 강수 시 그 규모, 모양, 크기 등이 다르게 나타나며 이는 그 지역에서의 기온 값의 변화에 의해 결정 될 뿐 아니라 결정의 발생고도, 연직바람쉬어 등에 의해서도 강수입자의 형태 분포가 다르게 나타남을 알 수 있었다. 또한 층후는 기존에 강수형태 예보 시 가장 일반적으로 이용하는 방법이나 층후만을 이용한 경우에는 그 특성상 위도에 평행한 값이 나타날 확률이 크고 지형효과를 고려하지 못하여 현실적인 모사는 어려울 것이라고 판단된다. 따라서 강수형태에 영향을 주는 대기 상태를 분석하고 각 기준 변수들의 모델에 대한 의존성을 고려하여 층후값이나 기온의 조건을 보다 심도 있게 분석한다면 강수형태 예보 측면에 유용한 기초 자료가 될 것으로 사료된다.

본 연구에서 분석된 자료를 일반화시키기 보다는 향후 강수형태가 변화하는 과정에 대한 체계적인 분석을 위하여 사례 분석의 확대, 분석 요소의 다양화, 수치예보 자료를 활용한 모델의 자료 해석 능력을 추적시켜 선행요소에 대한 정량화의 예보 가이던스를 제공한다면 그동안 정확하지 않았던 강수형태에 대한 예측가능성을 높이고 보다 합리적인 예보를 생성할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

고형일, 2003 : 호남지방 강설의 기후학적 특성. 한국교원대학교 석사학위 논문, 56pp.

기상연구소, 2006 : 단시간 강수예측능력 향상 연구(III). 247pp.

김용상 · 이용희 · 박옥란, 2002 : KLAPS/MM5를 이용한 관측자료별 분석 및 예측의 민감도 연구. 대기, 12(1), 529-532.

김희식 · 김영철, 2002 : 수치모델을 이용한 강수형태예보. 대기, 12(1), 130-132.

문길태 · 김홍진, 1982 : 1981년 1월 14일-16일 사이의 저기압에 동반된 대설의 특성 연구. 한국기상학회지, 18(1), 22-32.

문승의 · 김성렬, 1980 : 동계 전선통과에 따른 남한의 강수분포 특성. 한국기상학회지, 16(2), 1-13.

송병현, 1993 : 우리나라 동해안 지역과 서해안 지역의 강설 특성 비교 연구. 서울대학교 석사학위논문, 32pp.

이선기 · 이승법, 2001 : 강원도 지방의 강수형태 판정 기법 산정. 대기, 11(3), 208-210.

이용석, 2001 : 층후값을 이용한 겨울철 강수형태 검증. 대기, 11(1), 143-146.

이우진, 2009 : 일기도와 날씨해석. 광교이택스, 215pp.

이종호 · 류찬수, 2009 : 레이더기상학. 시그마 프레스, 260pp.

조구희 · 이동인 · 윤일희, 2000 : 연안과 내륙의 강설입자의 물리적 특성 비교. 한국기상학회지, 36(4), 477-486.

최만규, 2000 : 상·하층 기상요소에 따른 눈·비 예상과 강수량을 이용한 적설량 추정. 제27회 기상업무개선발표집(기상청), 67-68.

하종철 · 이용희 · 이정순 · 이희춘 · 이희상, 2008 : 국지분석시스템을 이용한 강수유형 자료 산출. 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 306-307.

홍성길, 2003 : 기상분석과 일기예보. 교학연구사, 530pp.

홍성유 · 이동규, 1987 : 중간규모 모델에서의 겨울철 저기압의 시뮬레이션. 한국기상학회지, 23(1), 35-55.

황승언 · 박옥란 · 김용상, 2002 : 기상연구소의 국지규모 기상 분석 및 예측 시스템 (KLAPS)의 실시간 운영. 한국기상학회지, 38(1), 1-10.

Brewster, K., S. Albers, F. Carr, and M. Xue, 1995 : Initialing a non hydrostatic model using WSR-88D data and OLAPS. 27th Conf. on Radar Meteorology. Vail. CO, Amer. Meteor. Soc., 178-180.

Clift, G. A., 1985 : Use of radar in meteorology, World Meteorological Organization, Geneva, WMO Technical Note 181, 90pp.

Harimaya, T and M. Sato, 1992 : The riming proportion in snow particles falling on coastal areas. J. Japan. Meteor. Soc., 70, 57-65.

Park, S. U., Joung, C. H., 1984 : Air modification over the Yellow Sea during cold-air outbreaks in winter. J. Korean. Meteor. Soc., 20(2), 35-50.

Schultz, P. and Albers, S., 2001 : The use of three-dimensional analyses of cloud attributes for adiabatic initialization of mesoscale models. Preprints, 14th Conf. on Numerical Weather Prediction, Ft. Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc.

Shaw, B., E. Thaler and E. Szoke, 2001 : Operational evolution of the LAPS

-MM5 "Hot Start" local forecast model. 18th Conf. on Weather Analysis and Forecasting. Fort Lauderdale. FL, Amer. Meteor. Soc., 160-164.

Snook, J., P. Statmus, J. Edwards, Z. Christidis, and J. McGinley, 1998 : Local-domain mesoscale analysis and forecast model support for the 1996 centennial Olympic games. Wea. Forecasting, 13, 138-150.

감사의 글

꿈만 같던 대학원 생활을 마치고 그 결실로 이 논문을 제출하게 되었습니다.

아무것도 모르던 학부시절 대기과학실험실에 들어와 자연스럽게 대기과학의 꿈을 키웠습니다. 5년이라는 시간동안 학문적 가르침에서부터 인생에 이르기까지 강한 희망과 믿음으로 돌봐주신 은사 류찬수 교수님께 머리 숙여 깊은 감사드리며 항상 건강하시길 기원합니다. 또한 처음 논문의 방향을 잡아주시고 끊임 없이 관심을 가져주시는 정효상 교수님, 부족하기만 한 제 논문을 바쁘신 와중에도 심사해주시고 세세한 부분까지 많은 지도와 조언을 해주신 최치영 박사님과 이종호 박사님께 감사드립니다.

학부 때부터 대학원을 졸업하기까지 함께 생활한 대기과학실험실 식구들에게도 고마운 마음을 전합니다. 아마 훗날 사회에 나가서도 각종 학회를 위해 준비했던 시간과 해외연수의 추억은 잊지 못 할 것입니다.

마지막으로 광주로 떠난 큰 딸을 항상 걱정하시고 어려운 일이 있을 때마다 든든한 후원자가 되어주시는 부모님께 진심으로 감사드리며 부모님의 사랑에 보답할 수 있는 큰딸이 될 것을 약속드립니다. 또한 곧 백의의 천사가 될 동생 솔지와 논문을 쓰는 기간 동안 많은 격려와 응원을 해준 친구들에게도 고마움을 표시합니다.

질 좋은 토양에서 튼튼한 나무가 자라듯이 좋은 환경에서 많은 가르침을 받아 한결음 성장하려 합니다. 어디에서 무엇을 하든 꼭 필요한 사람이 될 수 있도록 노력하겠습니다. 제 주변의 모든 분들이 항상 건강하고 행복하시길 진심으로 기원하며 이 작은 결실을 바칩니다.

저자 허 솔 일

저작물 이용 허락서

학 과	대기과학과	학 번	20097162	과 정	석사
성 명	한글 허 솔 잎	한문 許 솔 잎	영문 Heo Sol Ip		
주 소	전북 익산시 영등동 우남그랜드 102동 1407호				
연락처	e-mail : gjthfdlv@nate.com				
논문제목	한글 KLAPS를 활용한 겨울철 한반도 중서부지방의 강수유형판별 연구 - 2010년 2월 4일 ~ 2월 12일 사례를 중심으로 -				
	영문 The Study of Discrimination for the Winter Precipitation Type over the Western Central Region of Korean Peninsula using KLAPS : Case Study for Feb. 4 to 12, 2010				

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

- 다 음 -

- 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
- 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함(다만, 저작물의 내용변경은 금지함)
- 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함
- 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함
- 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함
- 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
- 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함

동의여부 : 동의() 반대()

2010년 8월

저작자 : 허 솔 잎 (인)

조선대학교 총장 귀하