[UCI]I804:24011-200000232674

2006년 8월 석사학위논문 cP 확장시 대기파동에 의한 충청지방의 대설연구 김학송

2006년 8월
석사학위논문

cP 확장시 대기파동에 의한 충청지방의 대설연구

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

김 학 송

cP 확장시 대기파동에 의한 충청지방의 대설연구

The Study on Heavy Snowfall for Atmospheric Wave in Case of Expansion of cP in Chungcheong Provinces

*2006*년 *8* 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

김 학 송

cP 확장시 대기파동에 의한 충청지방의 대설연구

지도교수 류 찬 수 · 정 효 상

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

*2006*년 *4* 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

김 학 송

김학송의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 기 상 청 공학박사 이 종 호 인

심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수 인

심사위원 기상연구소 이학박사 정 효 상 인

*2006*년 *5*월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

ABSTRACT vii

Ⅰ. 서 론 1

Ⅱ. 자료 및 분석방법 3

A. 자료 3

B. 분석방법 3

Ⅲ. 충청지방의 지형지세 및 전국 적설(누적, 계급별)현황 5

A. 충청지방의 지형지세 5

B. 충청지방의 *30*년간 적설현황 6

C. 전국계급별 적설현황 7

Ⅳ. *cP*확장시 충청지방의 대설시 대기파동 8

A. 현황 8

B. 매 *3*시간 적설 현황(서산, 보령 및 천안지방) 9

C. 일기도분석 10

1. 지상일기도 10

2. 850 hPa 고층일기도 12

3. 500 hPa 고층일기도 14

4. 300 hPa 고층일기도 15

D. 요소별 대기파동조사 및 분석(오산, *47122*) 17

1. 상승응결고도(LCL) 변화 ····· 17
2. 대류권계면(T/P) 고도변화 ····· 18
3. 1,000/700층후(thickness) 변화 ····· 19
4. 솔레노이드(Solenoid)수 변화(850 hPa, 30~45 N, 115~130 E) ····· 20
5. 최대풍 고도변화 ····· 21
6. 지상기압 변화 ····· 22
7. Showalter Stability Index(SSI) 변화 ····· 23
8. K-Index 변화 ····· 23
E. 유사사례분석 ····· 24
1. 지상 및 500 hPa 고층일기도 ····· 24
2. 상승응결고도(LCL) 변화 ····· 32
3. 대류권계면(T/P) 고도변화 ····· 35
4. 1,000/700 thickness의 변화 ····· 38
5. 솔레노이드(Solenoid)수 변화(850 hPa, 30~45 N, 115~130 E) ····· 40
Ⅴ. cP확장시 무강수의 경우 요소별 대기파동조사 (오산, 47122) ····· 43
A. 상승응결고도(LCL)의 변화 ····· 44
B. 대류권계면(T/P)고도변화 ····· 45
C. 1,000/700 thickness의 고도변화 ····· 47
D. 솔레노이드(Solenoid)수 변화 ····· 48
Ⅵ. 요약 및 결론 ····· 50

참 고 문 헌 52

감사의 글 54

List of Table

Table 1. The variation of atmosphere wave each element for snow or no snow ····· 51

List of Figures

Fig. 1. The topology of Chungcheong province ····· 5
Fig. 2. The number of days snow depth in main five places of Chungcheng province during 30 years ····· 6
Fig. 3. The snowfall depth in main five places of Chungcheng province during 30 years ····· 7
Fig. 4. The frequency of snowing around the Korea Peninsular during winter from 1999 to 2003 ····· 7
Fig. 5. Distribution of fresh snow cover ····· 8
Fig. 6. Snow condition in every 3 hours ····· 9
Fig. 7. Surface weather chart(12 UTC on 3 Jan. 2003. 00 UTC on 4 Jan. 2003) ····· 11
Fig. 8. 850 hPa upper weather chart (12 UTC on 3 Jan. 2003. 00 UTC on 4 Jan. 2003) ····· 13
Fig. 9. 500 hPa upper weather chart (12 UTC on 3 Jan. 2003. 00 UTC on 4 Jan. 2003) ····· 15
Fig. 10. 300 hPa upper weather chart (12 UTC on 3 Jan. 2003. 00 UTC on 4 Jan. 2003) ····· 16
Fig. 11. The variations of LCL in Osan from 3rd to 5th Jan. 2003 ····· 17
Fig. 12. The variations of tropopause in Osan from 3rd to 5th Jan. 2003 ····· 18

Fig. 13. The variations of thickness from 3rd to 5th Jan. 2003(1,000/700) ····· 19
Fig. 14. The variations of solenoid from 3rd to 5th Jan. 2003 (850 hPa, 30～45 N, 115～130 E) ····· 20
Fig. 15. The variations of maximum wind height from 3rd to 5th Jan. 2003 ····· 21
Fig. 16. The difference of surface pressure from 3rd to 5th Jan. 2003 (36.5 N, 115～130 E) ····· 22
Fig. 17. The variations of SSI from 3rd to 5th Jan. 2003 ····· 23
Fig. 18. The variations of K-index from 3rd to 5th Jan. 2003 ····· 24
Fig. 19. Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 19th Jan. 2000 · 25
Fig. 20. The distribution of daily snow depth on 19th Jan. 2000 ····· 26
Fig. 21. Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 7th Feb. 2000 ·· 27
Fig. 22. The distribution of daily snow depth on 7th Feb. 2000 ····· 28
Fig. 23. Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 24th Jan. 2000 · 29
Fig. 24. The distribution of daily snow depth on 24th Feb. 2001 ····· 30
Fig. 25. Surface and 500 hPa upper weather chart on 7th Jan. 2002 ····· 31
Fig. 26. The distribution of daily snow depth on 7th Jan. 2002 ····· 32
Fig. 27. The variations of LCL in Osan from 18th to 20th Jan. 2002 ····· 32
Fig. 28. The variations of LCL in Osan from 6th to 8th Jan. 2000 ····· 33
Fig. 29. The variations of LCL in Osan from 23th to 25th Feb. 2000 ····· 34
Fig. 30. The variations of LCL in Osan from 6th to 8th Jan. 2002 ····· 34
Fig. 31. The variations of tropopause in Osan from 18th to 20th Jan. 2000 ····· 35
Fig. 32. The variations of tropopause in Osan from 6th to 8th Feb. 2000 ····· 36
Fig. 33. The variations of tropopause in Osan from 23rd to 25th Feb. 2001 ····· 36
Fig. 34. The variations of tropopause in Osan from 6th to 8th Feb. 2002 ····· 37
Fig. 35. The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 18th to 20th Jan. 2000 ····· 38

Fig. 36. The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 6th to 8th Feb. 2000 ····· 38
Fig. 37. The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 23rd to 25th Feb. 2001 ····· 39
Fig. 38. The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 6th to 8th Jan. 2001 ····· 40
Fig. 39. The variations of solenoid from 18th to 20th Jan. 2001 in Osan (850 hPa, 30～45 N, 115～130 E) ····· 40
Fig. 40. The variations of solenoid from 6th to 8th Feb. 2000 in Osan (850 hPa, 30～45 N, 115～130 E) ····· 41
Fig. 41. The variations of solenoid from 23rd to 25th Feb. 2000 in Osan (850 hPa, 30～45 N, 115～130 E) ····· 41
Fig. 42. The variations of solenoid from 23rd to 25th Feb. 2001 in Osan (850 hPa, 30～45 N, 115～130 E) ····· 42
Fig. 43. Surface weather chart in case of no snow(00 UTC) ····· 43
Fig. 44. The variations of LCL in case of no snow ····· 45
Fig. 45. The variations of tropopause in case of no snow ····· 47
Fig. 46. The variations of thickness between 1,000 and 700 hPa in case of no snow ····· 48
Fig. 47. The variations of solenoid in case of no snow ····· 49

ABSTRACT

The Study on Heavy Snowfall for Atmospheric Wave in Case of Expansion of cP in Chungcheong Provinces

Kim, Hak-Song
Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D
Prof. Chung Hyo-Sang Ph.D
Department of Atmospheric Science,
Graduate School of Chosun University

Korea has strong local properties especially in relation to heavy snowfall in winter because it is a peninsula and has complicated topograph.

The Chungcheong province lies east and west and has been supplied with enough moisture because it is located to the western coastal area. And the property of air mass could change in quality easily while it passes the west sea in case of expansion of the continental high pressure(cP).

Besides it is located between the Charyeong Mountains to the north and the Noryeong Mountains to the south so it satisfies conditions of the heavy snowfall.

The heavy snowfall case has seemed as the typical pattern of expansion of cP so the analysis of that case had been done through upper-air observation data in Osan on 4 Jan. 2003.

The investigations into the changes of altitude in case of heavy snowfall and no snow, the changes of lifting condensation level(LCL), tropopause(T/P), thickness between 1,000 and 700 hPa, solenoidal index, Showalter stability index(SSI), K-index(KI) and the difference of surface pressure were carried out using the latest data(from Dec. 1999 to Mar. 2003).

As a result, the heavy snowfall in Chungcheong provinces was closely

connected with LCL, T/P, thickness between 1,000 and 700 hPa, solenoid, maximum wind height, difference of surface pressure(850 hPa, 36.5 N, 115～130 E), SSI and KI of which could be made light in adiabatic chart analysis.

The LCL in case of snowing hit a new low at 300～700 gpm and then the depth of snow cover was the deepest when LCL was 600～1,000 gpm. Though, in case of no snow, the lowest LCL was 600～900 gpm and rose suddenly over 1,000 gpm.

There was the maximum depth of snow cover when the T/P was 6,000～12,000 gpm and before hitting a new low. As a whole, there was a heavy snowfall(over 10 cm) when the T/P was about 6,000～7,000 gpm.

The depth of snow cover was the deepest when 1,000/700 thickness was 2,650～2,700 gpm which had the lowest 1,000/700 thickness. 1,000/700 thickness tended to hit the new low over 2,700 gpm in case of no rain.

When the solenoid was 20～25, the depth of snow cover was less than 10 cm and than the solenoid was over 25, the depth of snow cover was more than 15cm.

There was a tendency to have a heavy snowfall when the wind speed in 500 hPa was over 80 kts and there was a cold core which was below -40 degrees.

Ⅰ. 서 론

우리나라는 아시아 동쪽에 위치하여 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 지형이 매우 복잡하게 형성되어있다. 따라서 기상현상이 지역적으로 다르게 나타나며, 특히 겨울철 대설현상은 국지성이 크므로 어느 정도 지역이 구분되어 나타난다(전종갑 등, 1994 ; 이동규, 이현아, 1994). 특히, 우리나라는 대체적으로 울릉도, 강원도 영동지역과 내륙지역으로 구분(김성삼, 1979)하여 대설형태를 생각할 수 있는데, 대설현상은 강한 상승운동과 충분한 수분공급을 필요로 하기 때문에 육지와 바다가 인접한 곳이나 기단변질이 잘 일어나는 지역, 그리고 산악의 영향으로 산 경사면을 상승하는 지역 등에서 잘 나타난다(전종갑 등. 1994 ; 이동규, 이현아, 1994 ; 서은경, 전종갑, 1991).

대설현상의 종관장 접근은 대륙고기압이 확장하는 형과 우리나라 남서방향에서 접근하는 기압골 형으로 구분할 수 있다. 두 형 모두 대설 가능성은 어느 정도 예측이 가능하지만 아직까지 정량적인 예보는 어려움이 많은 것이 사실이다.

충청도는 강원도 영동보다는 대설현상이 적은 경향이지만 종종 폭설이 내려 교통두절은 물론 농작물 재배에 큰 영향을 끼친다.

충청도는 동서방향으로 길게 위치하여 있으며 서해안과 인접해 있어 충분한 수증기 공급이 잘 이루어지므로 대륙고기압(cP)의 변질(이훈, 이태영, 1994)이 쉽게 이루어진다.

또한 북쪽으로 차령산맥, 남쪽은 노령산맥으로 이어져 있어 대설의 조건을 어느 정도 갖추고 있다.

대설에 관한 논문은 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 류찬수 등(2005)은 호남지방의 대설예측을 강수량예보, 강수발생 확률예보, 등급별 강수예보 등 3범주의 통계적 모델로 접근 하였고, 또 다른 논문(류찬수 등. 2004)에서 cP 확장시 기단변질과 지형효과에 의한 대설예측기법을 연구하였다. 유혁기(1997)와 기원도, 이강휴(1991)는 서고동저형의 기압배치 하에서 상층한기에 따른 대설을 연구하였고, 이인성(1991)은 일기도 패턴별로, 양승만(2001)은 고층일기도와 한기이류정도로, 강릉기

상청(1993)은 남고북저형에서 북동기류에 의한 대설을 연구하였으며, 1994년에는 중서부지방의 국지적 대설을 고층일기도와 와도장, 연직류를 추적 조사하였고, 안기창(2005)은 수치모델의 분석장을 토대로 대설원인을 연구 하였다.

본 연구에서는 충청도 지방의 대설상태를 규명하기위해 종관장의 일기도와 오산(47122)의 단열선도 자료를 토대로 그 변화과정을 살펴보고자 연직자료 변화에 따른 강설형태를 분석하였고, 사례분석을 통하여 대설의 충족조건과 무강수의 변화과정을 연구하였다.

본 연구의 결과는 앞으로 대설예보업무에 참고가 되리라 생각한다.

Ⅱ. 자료 및 분석방법

A. 자료

연구에 사용 한 자료는 1999년 12월부터 2003년 3월의 겨울철 4년 동안 충청남북도 대전, 서산, 천안, 부여, 금산, 보령, 청주, 보은, 충주, 제천, 추풍령(11개소)등 관측 지점의 대설자료를 이용하였다. 2004년 3월 5일 충청도 지방에는 대전에서 49 cm의 폭설이 내려 충청도지방에 많은 재산피해가 발생하였다. 따라서 이 사례의 대설은 이상기상으로 구분하여 본 연구에서 제외시켰다.

자료는 cP 확장의 전형적인 것으로 2003년 1월 4일 대설형태를 중점 분석하고, 이와 유사한 사례를 알아보았다. cP 확장시 고도변화에 따른 대설의 형태와 무강수 형태를 조사하였으며, 위의 분석 자료로서 1999년부터 2003년 3월까지 4년의 가장 최근의 자료를 토대로 LCL, T/P, 1,000/700 Thickness 고도변화, Solenoid수 변화, 지상 기압차, SSI 및 KI 변화를 조사하였다. 2003년 1월 4일의 경우 지상 및 850, 500, 300 hPa일기도와 오산(47122)의 고층관측자료를 활용하여 상승응결고도변화, 권계면(T/P)고도변화, 1,000/700 Thickness 변화, Solenoid수 변화, 최대풍 고도변화, 지상기압 차(850 hPa, 36.5 N, 115-130 E), 쇼웰터지수(SSI는 850 hPa면의 LCL에서 포화단열선을 따라 올라가 500 hPa 면과 만남 점의 온도 T′를 500 hPa 면의 실제온도 T에서 뺀 값이다 즉, T - T′이다)와 K지수(K-index = (850 T - 500 T) + (850 Td) -(700포차))를 산출하였다.

B. 분석방법

2003년 1월 3~5일 cP확장에 따라 충청남도 서산지방의 대설현상을 중심으로 분석하였으며, 이에 따른 유사사례를 찾아 비교하여 보았다.

4개의 유사사례에 있어 비교 분석 해본 결과 큰 의미가 없는 것으로 생각된 최대풍 고도변화와 SSI, KI는 제외하였으며, 지상기압차가 클수록 기압경도력이 강화되는 상황을 2003년 1월 4일의 경우에서 보였기 때문에 또한 제외하였다.

그리고, cP는 확장하였으나 적설을 기록하지 않은 6개 사례도 분석하여 유사사례시 강설예보업무에 활용토록 하였으며 자료로는 cP 확장시 지상일기도만을 제시하였다.

Ⅲ. 충청지역의 지형지세 및 전국 적설(누적, 계급별)현황

A. 충청도지방의 지형지세

Fig. 1 The topology of Chungcheong province.

Fig.1은 충청지방의 지형을 나타내었다. 이로써 충청도지방을 중심으로 지형지세(대전지방기상청, 2001)를 살펴보고자 한다. 충청도지방은 산지와 평야로 이루어져 있는데 차령산맥은 서해안 보령 부근의 성주산(680 m)에서 발원하여 청양 부근의 칠갑산(561 m)을 지나 천안 동부 서운산(579 m)을 거쳐 충북 북부지역인 충주와 제천, 강원도 원주 남부의 치악산(1,288 m)을 지나 백두대간인 태백산맥으로 이어진다.

또한 소백산맥은 지리산 부근에서 시작하여 충북 남부 영동 부근의 민주지산(1,242 m)에서 북북동방향으로 향하여 충북 보은의 속리산(1,058 m)과 단양 부근을 지나 역시 태백산맥과 연결된다. 노령산맥은 전북 내장산에서 시작하여 충남과 전북의 경계인 전북 완주군을 거쳐 충남 금산, 옥천으로 연결되며 대전의 계룡산으로 이어진다. 차령산맥을 경계로 북서쪽에는 예당평야, 남동쪽과 소백산맥 사이에는

논산평야와 청원평야가 자리하고 있고 남한강 수계인 충주댐(6,648㎢)과 금강수계의 대청댐(3,264㎢)이 있다,

또한 충남지방은 서해에 접하여 있어 서해상을 통해 들어오는 기류를 직접 받는다. 따라서 충청도 지방의 기후는 산맥이 지나는 산악지역과 평야지역, 바다와 접한 서해안 지역으로 구분되며, 산맥을 경계로 대설현상도 다르게 나타나는 등 지형효과를 크게 받는다.

B. 충청도지방의 *30*년간 적설현황

충청도지방의 지역별 30년간 연 적설 일수는 Fig. 2와 같다. 전 기간동안 큰 변화는 없으나 1987년 이전에는 변동 폭이 컸으며, 그 이후에는 대체로 비슷한 경향을 보이고 있다. 서산과 추풍령은 대전, 청주, 충주에 비해 전반적으로 눈이 자주 오고 년 평균 적설 일수는 충주 19일, 서산 30일, 청주 26일, 대전 27일, 추풍령 32일로 나타났다.

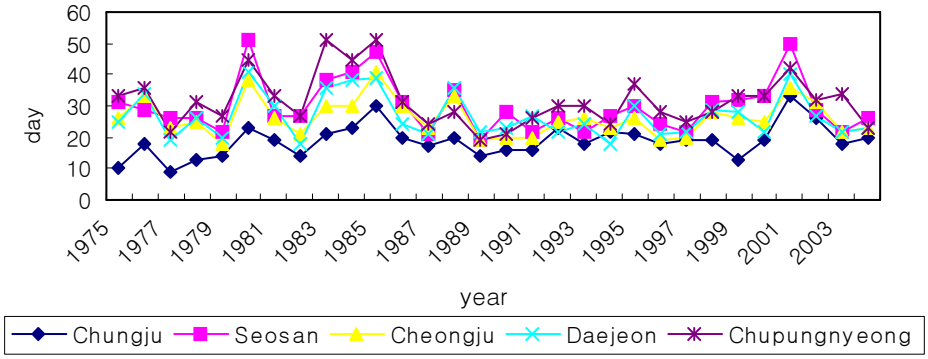

Fig. 2 The number of days snow depth in main five places of Chungcheng province during 30 years.

또한 30년간 누적적설량을 살펴보면(Fig. 3) 1987년 이전에는 전반적으로 적설량이 많았으나 그 이후에는 점차 감소하고 있으며 적설일수와 비교하여 적설량도 점차 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

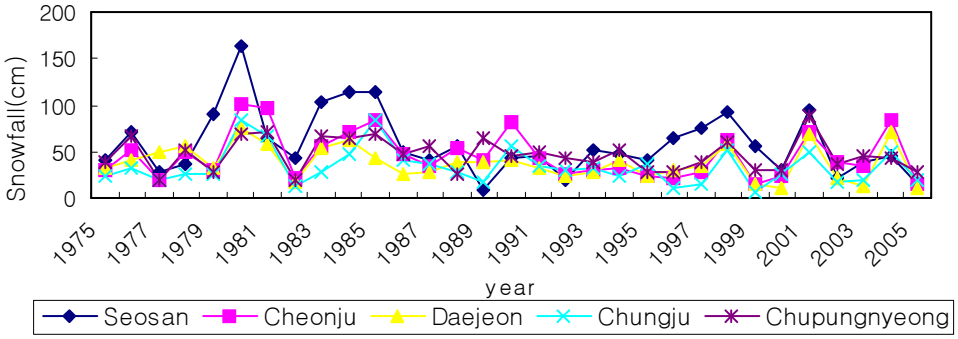

Fig. 3 The snowfall depth in main five places of Chungcheng province during 30 years

C. 전국계급별 적설현황

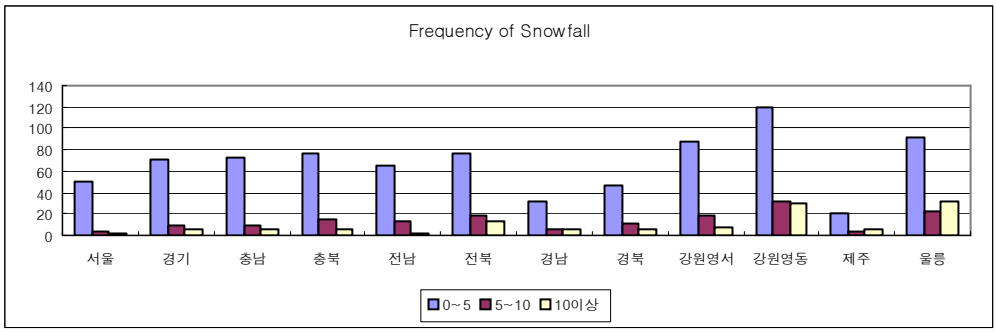

Fig. 4 The frequency of snowing around the Korea Peninsular during winter from 1999 to 2003.

전국 계급별 적설현황을 보면(Fig. 4) 강원도영동지방에서 계급 0~5 cm미만 120회, 5~10 cm 미만 32회, 10 cm 이상 29회로 가장 많았다.

충청북도지역이 충청남도지역보다 약간 많은데, 계급별로 각각 77회, 15회, 6회였으며 충청남도지역은 각각 73회, 10회, 6회로 나타났다. 전라북도지방은 0~5 cm 미만은 충청도지방과 비슷하지만 5 cm 이상에서는 5~7회 정도 더 많았다.

울릉도지방은 적설량은 많았으나 계급별 빈도로 볼 때 강원도 영동에 비해 10~30회 정도 적었다.

Ⅳ. *cP* 확장시 충청도지방의 대설시 대기파동

A. 현황

cP 확장시 충청지역의 대설시 대기파동에 대해 사례분석을 위하여 2003년 1월 4일 신적설 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 주로 충청남도 서해안과 전라남북도 중·서부 지역에 10~20 cm의 많은 적설이 기록되었다.

1월 4일 지역별 신적설은 서산 15.3 cm, 천안 13.4 cm, 보령 11.6 cm, 군산 15.5 cm, 전주 13.3 cm, 정읍 15.4 cm, 광주 16.1 cm를 기록하였다. 또한 서울, 경기도와 강원도영서지역 그리고 경북북서지역에서도 5 cm 이내의 강설을 기록하였다.

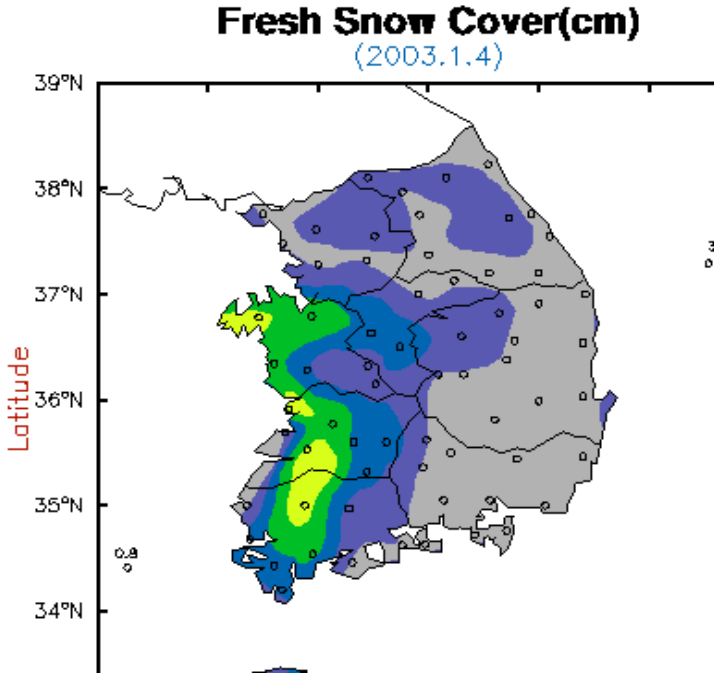

Fig. 5 Distribution of Fresh snow cover.

이날의 대설은 1월 3일 7시 30분에 서산에서 약하게 내리기 시작하여 3일 신적설 6.7 cm를 기록하였으며 4일 14시 40분까지 이어지면서 당일 신적설 15.3 cm를 기록하였다.

보령지방에서도 3일 10시 35분경 눈이 내리기 시작하여 3일 신적설 8.8 cm를 기록하였으며, 4일 신적설 11.6 cm의 많은 눈을 보이고 5일 9시 28분에 끝났다. 천안지방에서는 3일 11시 15분경부터 눈이 내리기 시작하여 3일 신적설 2.2 cm의 적은 양을 기록하였으나, 4일 15시 40분에 신적설 13.4 cm를 기록하였고, 5일 아침에도 산발적인 눈이 내렸으나 1.2 cm에 그쳤다.

충청북도 청주지역에서는 1월 3일 11시 15분경 눈이 내리기 시작하여 5.2 cm의 적설을 기록하였고, 4일 23시 35분에 눈이 그치면서 적설 8.4 cm를 기록하였다. 보은지역에서는 3일 15시경 눈이 내리기 시작하여 5일 3시경까지 내리면서 최심적설 6.8 cm를 기록하였다. 충주지역에서는 1월 3일 2.1 cm를 기록하고 4일 이후로는 적설현상은 없었다. 추풍령지역에서도 1월 3일 11시 25분 경 눈이 내리기 시작하여 5일도 약하게 내렸는데 일별 적설은 3일 3.7 cm, 4일 0.1 cm, 5일 0.2 cm를 기록하였다.

B. 매 *3*시간 적설 현황*(*서산*,* 보령 및 천안지방*)*

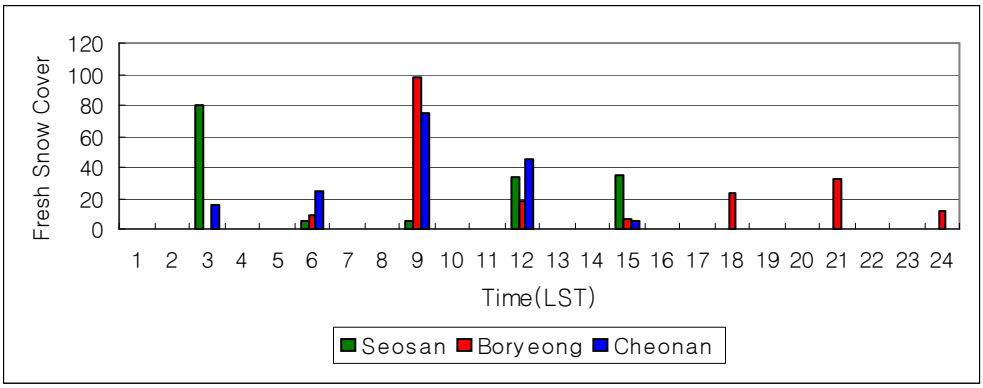

Fig. 6 Snow condition in every 3 hours

Fig. 6에 나타난 바와 같이 2003년 1월 4일 새벽 3시경 서산지방에 많은 눈이 내렸으며, 강설현상은 점차 남쪽으로 내려가면서 9시경에는 보령지방에 많은 눈을 보였고, 오후에는 점차 적설량이 현저히 줄어들면서 대설은 끝났다.

C. 일기도분석

1. 지상일기도

a. 2003년 1월 2일 00 UTC(적설시작 24시간 전)

2003년 1월 3일 07시 30분, 서산지방에서 눈이 오기 시작하여 11시 30분 경 대부분 지역에서 눈이 내리기 시작하였다. 따라서 눈 내리기 24시간 전 일기도로 2일 00 UTC를 선정하였다.

일기도 상황을 살펴보면 우리나라 중부지방에 1,035 hPa의 고기압이 위치하여 있고, 몽고동쪽과 화북지방에 각각 1,035 hPa 및 1,030 hPa의 저기압이 자리하고 있으며, 또 다른 저기압은 산둥반도 서쪽에 있으며 중심기압은 1,032 hPa이다. 바이칼호 남서방향에서 남북으로 다소 발달한 1,061 hPa의 대륙고기압이 자리하면서 또 다른 축은 몽고 남쪽에서 발해만 방면으로 세력을 확장하고 있다.

b. 2003년 1월 3일 00 UTC(적설시작)

화북지방의 저기압은 동해상으로 이동되어 중심기압은 1,018 hPa로 발달하였으며, 대륙고기압은 몽고 남쪽까지 내려오면서 24시간 전보다 다소 약화되어 1,050 hPa 정도지만, 대륙고기압이 발달된 상태이다. 우리나라 서해상에서 등압선이 남북으로 서면서 기압경도력이 강화되고 있다.

동해상의 저기압과 몽고남쪽의 대륙고기압과의 기압차는 32 hPa이며 서해북부해상에서 발해만 서쪽으로 기압경도력이 강화되고 있다.

c. 2003년 1월 4일 03 및 06 UTC(적설 최성기)

신적설 최심이 나타나는 시간대는 서산이 14시 15분에 15.3 cm, 천안은 12시에 11.6 cm를 기록하였고, 보령에서 11.6 cm로 10시 29분에 나타났다. 03 및 06 UTC 일기도는 거의 비슷한 기압계경향을 보여주고 있으며, 3일 동해상에 형성되었던 저기압은 일본 홋가이도 방면으로 이동되면서 한 축은 일본 동쪽 해상으로 형성되어 있고, 또 다른 축은 우리나라 동해상을 거쳐 북한지방으로 향하면서 산동반도 방면으로 이어지고 있다.

따라서 우리나라는 등압선이 남북으로 서면서 기압경도력이 매우 강화된 상태를 보여주고 있으며, 또한 대륙고기압은 몽고남쪽에 위치하면서 중심기압이 1,057 hPa로 전일에 비해 발달해 겨울철 서고동저형 cP확장의 전형을 보이고 있다. 대륙고기압과 홋가이도 부근의 저기압과의 기압 차는 61 hPa이고, 적설최심은 기압경도력이 가장 강한 상태에서 나타났으며, 그 후 점차 적설량은 줄어들었다. 반면 육상과 해상에는 폭풍현상(주의보 및 경보)이 발생되면서, 육상의 대부분의 지역에서 적설현상은 끝났으나. 충청북도 일부지역에서는 5일에도 약하게나마 적설현상을 보였다.

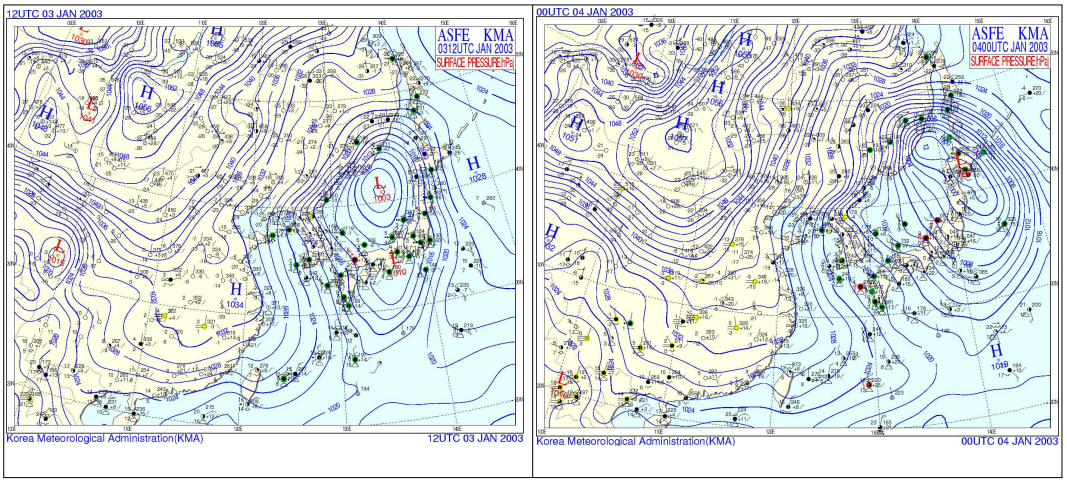

Fig. 7 Surface weather chart(12 UTC on 3 Jan. 2003, 00 UTC on 4 Jan. 2003)

2. 850 hPa 고층일기도

a. 2003년 1월 2일 00 UTC(적설시작 24시간 전)

남해상에 고압부가 자리하면서 우리나라는 남쪽에서 파고드는 기압능에 들어있다. 한편 화북지방의 저압부는 그 축을 발해만 서쪽인 화중지방으로 향하고 있고, 화중지방의 고압부(36 N, 90 E)는 바이칼호 방면으로 기압능을 형성시키고 있으며, 또 다른 방향인 산동반도 방면으로 기압계 축을 확장시키고 있다.

화중지방의 고압부와 남해상의 고압부 사이에서 남서기류가 우리나라로 유입되고 있다. 북극에서 내려온 한기골은 폭넓게 대륙 고압부를 감싸고 있으며, 110E선상에 화북에서 화남지방까지 강하게 온도골이 형성되는 반면에 우리나라는 온도능에 들어있다.

화북지방의 저압부 후면과 화남지방에서 습수 구역이 강화되고 있으며, 발해만 서쪽인 40 N를 동서로 온도경도가 강화되고 있다.

b. 2003년 1월 3일 00 UTC(적설시작)

화북지방에 중심을 둔 저압부는 만주방면으로 이동되었으나, 기압골 축은 북한지방을 지나 서해상으로 형성되고 있으며, 다른 한 축은 화북 북쪽으로 형성되면서 계속적으로 우리나라에 영향을 주고 있다.

화중지방의 고압부는 24시간동안 약 8도정도 동쪽으로 이동(36 N, 98 E)되었으며, 남해상의 고압부는 일본남쪽해상으로 이동되면서 24시간 전인 2일 00 UTC에 형성되었던 110 E부근의 한기골을 120 E까지 이동시키면서 더욱 강화되고 있다.

여전히 우리나라는 난역에 들어, 남서기류에 의해 서해상의 습기(수증기)를 계속적으로 유입시키고 있다.

c. 2003년 1월 4일 00 UTC(적설최성기)

만주지방에서 발달한 저압부는 그 중심이 연해주방면(46 N, 138 E)으로 이동되면서 우리나라 중부지방으로 기압골을 강화시키고 있다. 화북지방의 2차 기압골도 서해북부해상으로 형성되면서 우리나라 전 지역이 매우 발달한 기압골속에 들어있다.

화중지방의 고압부는 몽고남쪽으로 조금 북상하였으며, 160 E부근인 일본 동쪽해상의 발달한 기압능이 저압부의 동진을 저지하고 있다.

몽고남쪽의 고압부가 강화되고 있고, 일본 동쪽의 발달한 기압능 사이에 든 우리나라는 이동이 느린 발달한 기압골의 영향을 받고 있다.

한기골은 만주지방에서 서해상을 지나 남해상으로 형성되면서 온도경도가 강화되는 상황이고, 한기골이 우리나라에서 남북으로 형성되면서 많은 적설을 기록하였으며, 점차 한기골이 약해지면서 적설현상도 현저히 줄어드는 경향이다.

4일 12 UTC의 한 핵이 만주동쪽으로 다소 북상하면서 충청도 지방에 형성되었던 한기골은 조금씩 남해상으로 내려가면서 상대적으로 서해상에는 온도경도가 다소 약해지고 있다.

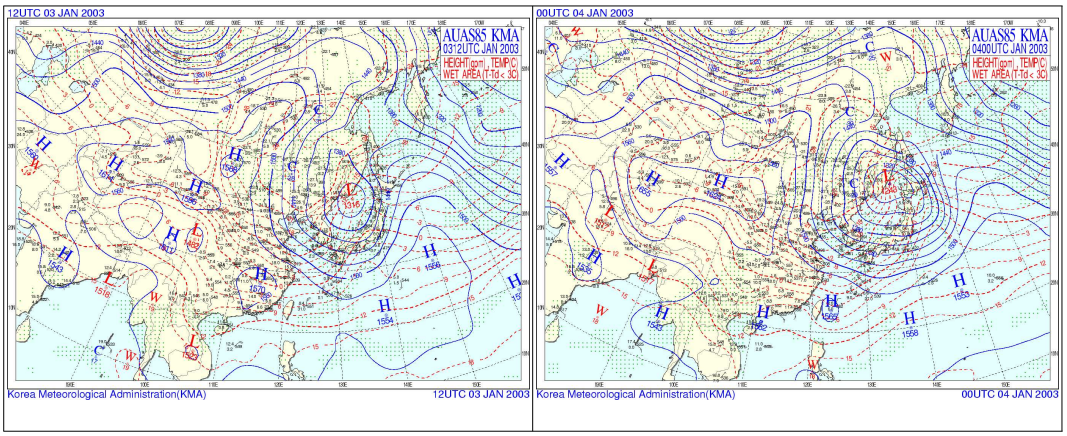

Fig. 8 850 hPa upper weather chart(12 UTC on 3 Jan. 2003, 00 UTC on 4 Jan. 2003)

3. 500 hPa 고층일기도

a. 2003년 1월 2일 00 UTC(적설시작 24시간 전)

우리나라는 남해상에서 파고드는 발달한 기압능에 들어 있다. 일본 중·북부지방에 형성된 발달한 저압부는 한 핵을 동반하고 순조롭게 동진 하고 있다. 또 다른 저압부는 화북지방(45 N 115 E부근)에 중심을 두고 남서방향으로 기압골을 형성시키며 발달하고 있으며, 그 남쪽인 화중과 화남지방에 각각 독립된 기압골이 자리잡고 있다. 화북지방의 저압부 중심부근에는 -44 ℃의 한 핵을 동반하고 있으며, 기압골중심 방향으로 한기골을 형성시키며 기압골을 발달시키고 있다.

등온선은 등고도선을 횡단하면서 남쪽으로 쐐기모양으로 파고들고 있다(경압성이 강함). 상공의 바람은 우리나라에서 북서풍이 40~50 Kts, 중국동해안에는 서남서풍이 30 kts정도 유입되고 있다. 그리고 우리나라는 약하지만 온도골에 들어있으며, 화중지방에는 온도능이 자리하고 있어, 중국동해안 방면으로 태평양상의 수증기가 다량 유입되는 상황이다. 30 N부근에는 동서방향으로 남서, 서풍이 50~80 Kts로 강하게 불고 있다.

b. 2003년 1월 3일 00 UTC(적설시작)

화북지방에 중심을 둔 저압부는 만주동쪽으로 이동되었으며(48 N, 128 E), 기압골은 발해만을 거쳐 상해방면으로 형성되어 기압골축의 폭이 좁은 상당히 발달된 모습을 보이고 있다. 또 다른 기압골은 만주서쪽 내지 북서쪽으로 형성되어있다.

한기 핵은 -43℃로서 온도골이 기압골 축과 겹쳐있어 기압골은 최성기에 달한 모습이다. 등온선이 등고도선을 횡단하면서 기압골 발달을 촉진시키고 있다.

한기골이 화북지방에 폭넓게 자리 잡으면서 우리나라로 유입되어 적설 지속시간이 길어졌다.

c. 2003년 1월 4일 00 UTC(적설최성기)

만주동쪽으로 느리게 이동된 저압부(37 N, 131 E)는 그 폭을 동서방향으로 넓게 형성시키면서(약 30도거리) 남동 내지 남서방향으로 기압골을 형성시키고 있다. 우리나라부근에는 동서로 Zonal한 상태를 보이며 이동속도가 다소 빨라지고 있다. 한기골은 우리나라 서해상과 화북지방으로 향하고 있으며, 저압부의 남쪽연변인 중부이남지방과 산동반도 남쪽방향으로 북서풍이 80~110 kts로 유입되고 있어 상당히 발달된 기압골이다. 이 저압부는 5일 일본북쪽인 홋가이도 방면으로 이동되었다.

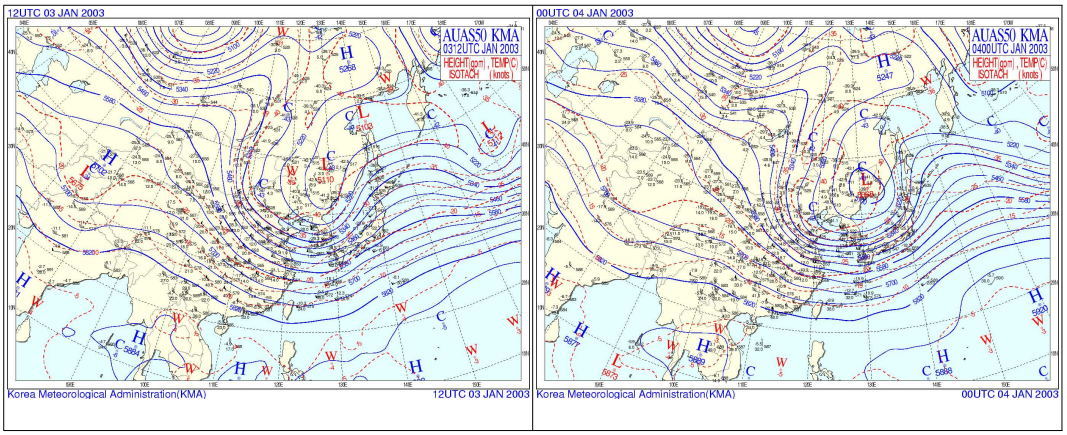

Fig. 9 500 hPa upper weather chart(12 UTC on 3 Jan. 2003, 00 UTC on 4 Jan. 2003)

4. 300 hPa 고층일기도

a. 2003년 1월 2일 00 UTC(적설시작 24시간 전)

한대제트(polar jet)는 40 N, 110 E 부근에 제트 곡을 형성시키며 40 N 북쪽을 동서로 흐르고 있으며, 서북서풍이 120 Kts로 강하게 흐르고 있다.

아열대제트(sub-tropical jet)는 화남지방에서 30 N를 따라 남해상에서 약하게 능

을 이루며 일본 남쪽으로 흐르고 있으며, 바람은 서풍, 북서풍이 140~160 Kts로 강하게 흐르고 있다.

b. 2003년 1월 3일 00 UTC(적설시작)

Polar jet는 산동반도 남쪽으로 jet곡을 형성시키며 남쪽의 sub-tropical jet와 합류하여 일본열도로 흐르고 있다. 따라서 우리나라부근에서 한기가 정체하고 있으며, 바람은 남서풍이 150~160 Kts로 강하게 흐르고 있다.

그리고 바이칼호 방면에서 또 다른 polar jet가 남쪽방향으로 흐르면서 서서히 남하하여 우리나라방면으로 유입될 것으로 보인다.

c. 2003년 1월 4일 00 UTC(적설최성기)

바이칼호 방면에서 내려온 polar jet와 30 N부근에서 일본남쪽으로 흐르는 sub tropical jet가 일본열도에서 합류하여 일본 동쪽해상으로 흐르고 있으며, 점차 남쪽먼 해상으로 이동되면서 일본남쪽해상으로 흘러가, 우리나라에서 벗어나고 있다.

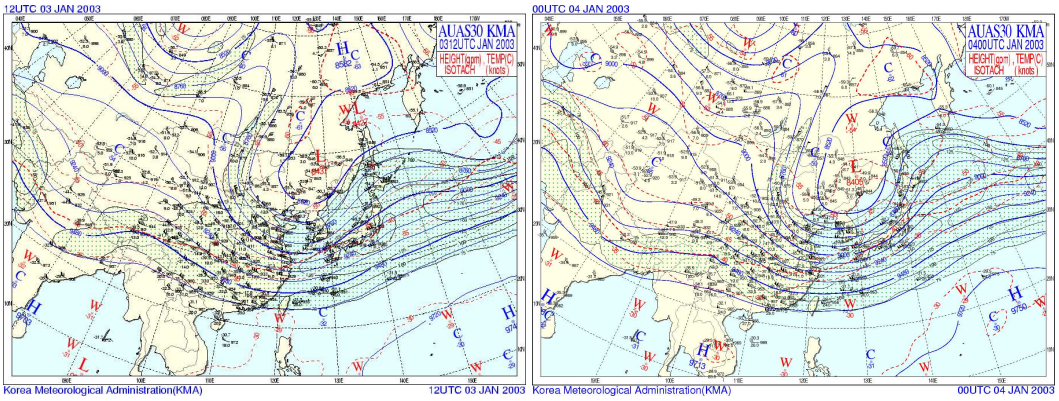

Fig. 10 300 hPa upper weather chart(12 UTC on 3 Jan. 2003. 00 UTC on 4 Jan. 2003)

D. 요소별 대기파동조사 및 분석*(*오산*, 47122)*

1. 상승응결고도(LCL) 변화

2003년 1월 3일과 4일의 적설현황을 살펴보면 4일 서산지방에서 15.3 cm(나타난 시각 4일 14:15), 천안 13.4, 보령 11.6 cm를 기록 한 사례이다. Fig. 11은 2003년 1월 3일부터 5일까지 오산의 단열선도에서 산출한 상승응결고도의 시간대별 고도변화과정을 나타냈고, 막대는 그날 가장 많은 눈이 내린 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다.

2003년 1월 2일 00 UTC(강수시작 24시간 전)의 상승응결고도(LCL)는 지면복사냉각이 심한 관계로 450 gpm으로 낮았다. 2,000 gpm정도의 고도에서 점차 낮아져, 강수시작 6시간 전인 3일 3시경에는 약 1,100 gpm이 되었으며, 적설시작시점인 3일 09시(00 UTC)에는 780 gpm에 상승응결고도가 형성되었다. 눈은 지속적으로 내려 1월 5일 11시경까지 이어졌고. 상승응결고도는 3일 15시(06 UTC)에 200 gpm까지 낮아졌다가 점차 높아져 540~800 gpm정도로 유지되었다.

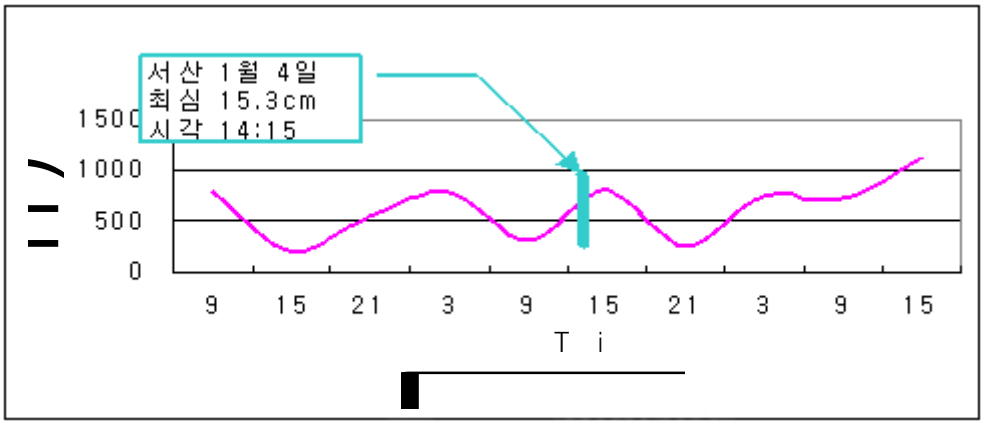

Fig. 11 The variations of LCL in Osan from 3rd to 5th Jan. 2003

지속적으로 눈이 내리면서 약 300 gpm으로 낮아진 후 800 gpm정도로 높아지기 바로 전에 최심신적설이 기록되었고, 점차 고도가 730 gpm정도 유지된 후 고도는

1,100 gpm이상으로 높아지면서 적설은 종료되었다.

따라서 LCL은 24시전 전에는 1,100 gpm 이상 유지되다가 800 gpm 이하로 내려왔을 때부터 강수는 시작되는 경향을 보였고, 적설이 소강상태를 보일 경우 고도는 다시 500~800 gpm를 오르내리다가, 또 다시 적설이 시작되면서 200~300 gpm정도로 고도는 내려가는 경향을 보인다. 최심이 나타나는 고도는 이보다 높은 500~700 gpm정도에서 강하게 나타나는 경향을 보인다.

대설시작 전에 고도 2,000 gpm이상에서 점차 낮아져 200 gpm정도의 저점을 형성시킨 후, 다시 높아지기 시작하여 1월 3일에 500 gpm 고도에서 1차 최심적설(10 cm미만)을 기록하였고, 점차 800 gpm 고도로 높아진 다음 다시 300 gpm 고도로 낮아진 후, 800 gpm 고도에서 2차 최심적설(10 cm이상)을 기록하였다. 그 후 완만한 파상운동을 보인 후 1,000 gpm 이상(5일 15시경)으로 높아져 대설현상은 끝났다.

적설이 시작될 때 LCL은 200~250 gpm정도로 낮아지고 있으며, 고도 800 gpm으로 높아진 고도에서 최심이 나타나는 경향이며, 그 후 1,000 gpm 이상으로 높아지면 강수는 약해지거나 종료하고 있다.

2. 대류권계면(T/P) 고도변화

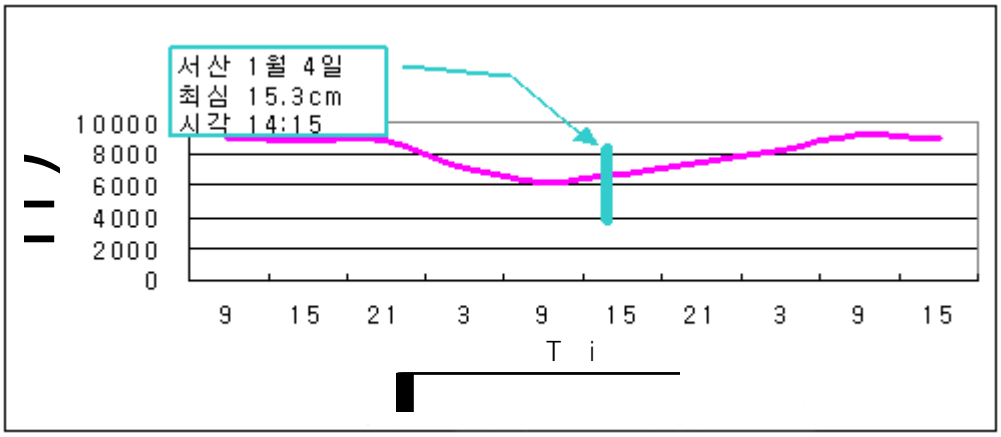

Fig. 12 The variations of tropopause in Osan from 3rd to 5th Jan. 2003

Fig. 12는 Fig. 11과 같은 방법으로 오산의 권계면고도의 변화과정을 표시하였으며 막대는 가장 많은 눈이 내린 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다. 적설시작 24시간 전에는 10,000 gpm이상이었으나, 강수시작 약 6시간 전에는 약 9,200 gpm까지 고도가 하강하여, 9,000 gpm정도로 내려온 시점에서 적설이 시작되었고, 8,800 gpm고도에서 1차 최심적설을 기록(10 cm미만)하였다. 적설이 지속적일 때 8,800 gpm를 유지하였고, 적설강도가 강해지는 시점에는 6,200 gpm정도까지 낮아져, 다시 높아진 6,700 gpm의 고도에서 2차 최심적설이 나타났다(10 cm이상). 점차 적설강도가 약해지면서 7,500 gpm이상으로 고도는 상승하였다.

대류권계면고도는 9,000 gpm정도로 낮아지면서 눈이 내리기 시작하여 적설현상이 약한 상태에서의 고도는 8,800 gpm를 유지하였고, 적설강도가 강했던 고도는 6,700 gpm정도이다. 7,500 gpm이상이면 강수는 약해지고 있다.

3. 1,000/700층후(Thickness) 변화

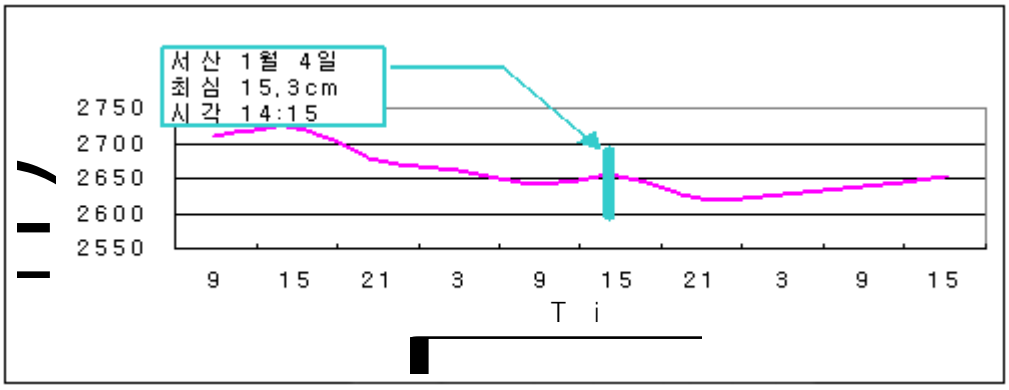

Fig. 13 The variations of thickness from 3rd to 5th Jan. 2003(1,000/700)

Fig. 13은 Fig. 11과 같은 방법으로 오산의 1,000/700 hPa 층후의 변화과정을 표시하였으며 막대는 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다.

층후에 따른 강수형태는 일반적으로 2,760~2,820 gpm사이에서는 진눈깨비,

2,760 gpm 이하에서는 눈, 2,820 gpm 이상에서는 비가 내린다.

Fig. 13에서 본 바와 같이 강수시작 24시간 전에 2,750 gpm 이상에서 파동을 보이며, 강수시점에는 2,710 gpm정도로 낮아지는 경향이다. 강수가 지속되면서 층후는 더 낮아져 2,640 gpm 이하로 되었으며, 많은 눈을 내리는 시점에서 2,640~2,660 gpm을 보이고 있다.

4. 솔레노이드(Solenoid)수 변화(850 hPa, 30~45 N, 115~130 E)

Solenoid수를 결정하는데 있어 범위설정에 따라 달라질 수 있는데, 본 연구에서는 850 hPa면에서 30~45 N, 115~130 E의 범위를 설정하여 조사하였다.

Fig. 14는 Fig. 11과 같은 방법으로 솔레노이드 수의 변화과정을 표시하였으며 막대는 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다. 이와 같이 cP확장 24시간 전의 Solenoid수는 6~7개에서 cP 확장 후 강수 시점에는 27개 정도로 증가하였으며, 강수지속 시 27~30개로 유지되다가, 32개 정도에서 많은 눈을 보이는 경향이다. 따라서 cP 확장시 대설은 27~35개 정도에서 나타나고 있음을 알 수 있다.

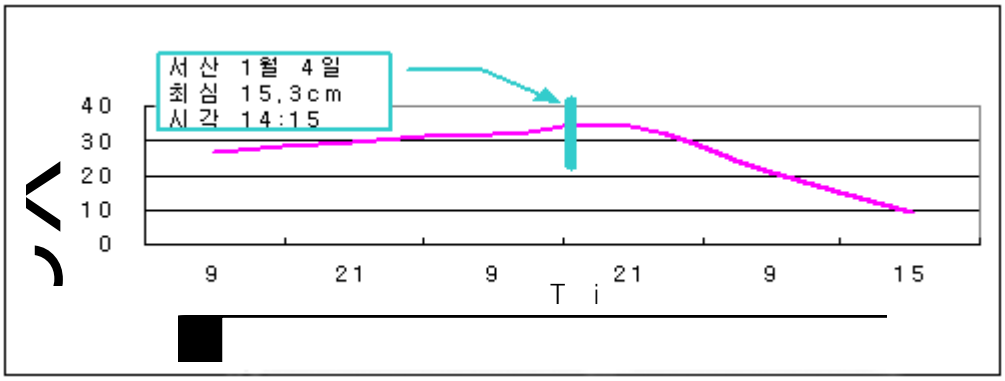

Fig. 14 The variations of solenoid from 3rd to 5th Jan. 2003(850 hPa, 30~45 N, 115~130 E)

5. 최대풍 고도변화

Fig. 15는 Fig. 13과 같은 방법으로 오산의 최대풍 고도변화과정을 표시하였으며 막대는 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다. 이와 같이 강수시작 24시간 전에는 11,000 gpm이상에서 점차 고도는 낮아지고 있으며, 강수시작 6시간 전에는 11,600 gpm, 강수시작시점에는 11,200 gpm로 낮아졌다.

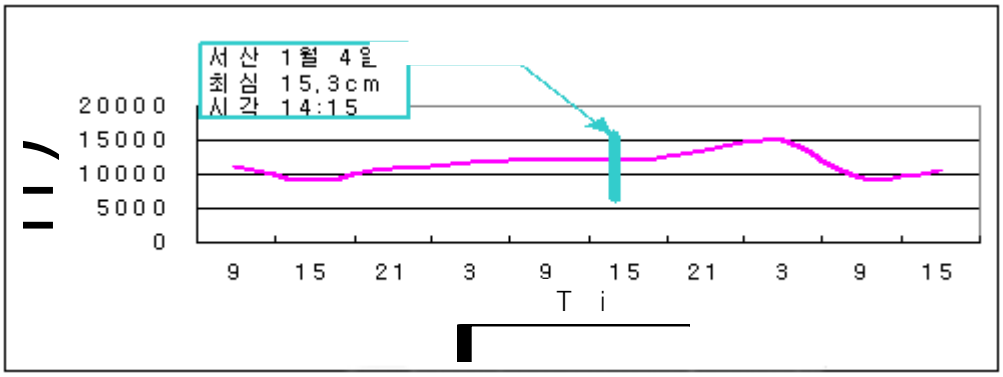

Fig. 15 The variations of maximum wind height from 3rd to 5th Jan. 2003

Fig. 15는 Fig. 14와 같은 방법으로 오산의 최대풍이 나타난 고도변화를 표시하였으며 막대는 서산지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다. 강수가 지속되면서 고도는 약 9,000 gpm정도까지 낮아졌으며, 이때 적설은 5~10 cm정도 보였고, 강수가 약해지면서 고도는 높아지기 시작하여 12,000 gpm정도에서 많은 눈이 내려 적설은 8~15 cm를 보였다. 강수가 빠른 속도로 약해지면서 고도는 13,000 gpm 이상으로 높아졌다.

적설 시작 시 바람은 140~160 kts의 강한 바람이 불다가, 90~130 kts로 다소 약화되면서 많은 눈을 보이기 시작하여, 적설 최고점에서 90 kts를 보였다. 적설현상이 약화되면서 바람은 120 Kts 이상으로 강해졌음을 보여준다.

cP확장 최초에는 고도가 11,000 gpm이상에서 바람 160 Kts로 강했다가, 적설 시작 시에 고도는 11,200 gpm로 상승되면서 바람은 130 Kts로 다소 약해졌으며, 많은

눈이 내리는 시점에서는 고도 12,000 gpm, 바람 90 Kts정도였다.

6. 지상기압 변화(36.5 N, 115 E~130 E의 기압차)

Fig. 16은 36.5 N 115.0 E의 지점과 36.5 N 130.0 E과의 기압차를 보여주고 있으며 조사방법은 Fig. 15와 같다. 강수시작 24시간 전에는 기압차가 강수시작 12시간 전까지 3 hPa정도를 보였으나, 강수시작 6시간 전에는 12 hPa, 3시간 전에는 16 hPa, 강수시작점에는 19 hPa로 증가하였음을 알 수 있다.

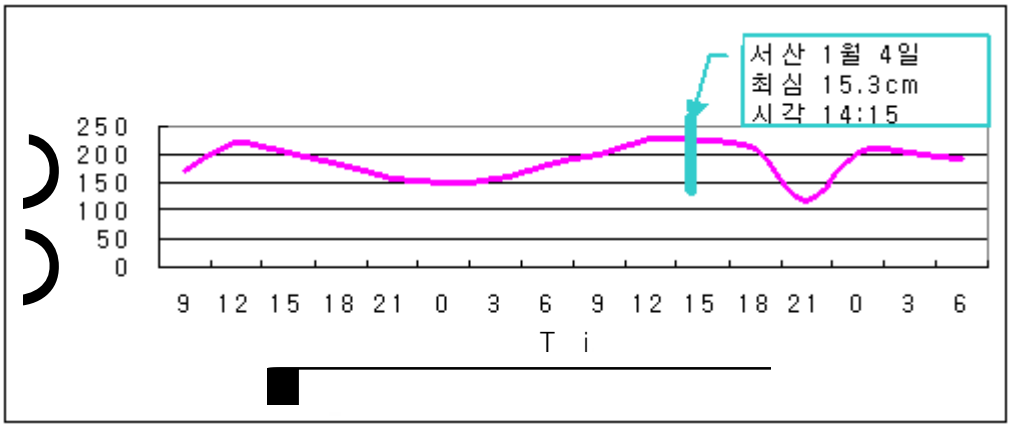

Fig. 16 The difference of surface pressure from 3rd to 5th Jan. 2003(36.5 N, 115~130 E)

강수가 계속되면서 19~23 hPa정도(5~10 cm)로 유지되다가 강수현상이 약해지면서 17 hPa정도 유지되었는데, 다시 강수현상이 강해지면서 21~25 hPa로 기압차가 커짐을 알 수 있었다.

10 cm이상 적설 시 21~25 hPa정도의 기압차가 나타났다.

7. Showalter Stability Index(SSI) 변화

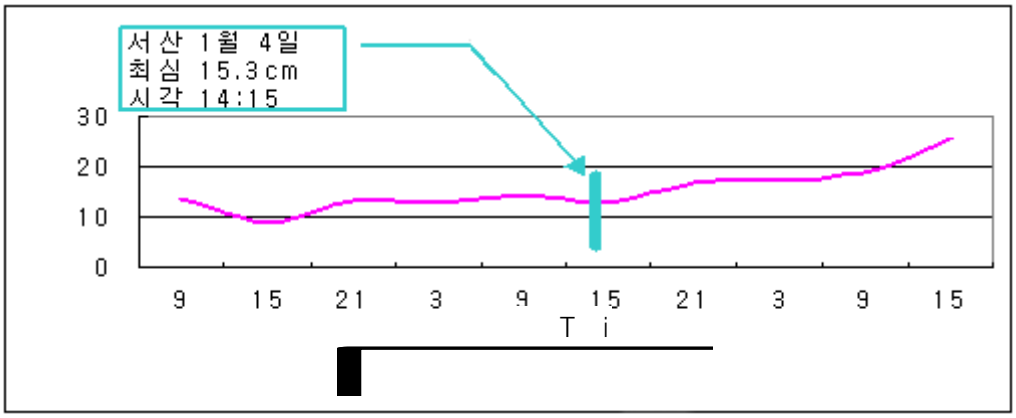

Fig. 17 The variations of SSI from 3rd to 5th Jan. 2003

Fig. 17은 Fig. 15와 같은 방법으로 오산의 SSI(Showalter Stability Index) 변화 과정을 조사하였다.

SSI는 소나기나 뇌우, 토네이도 등에 주로 이용하지만, cP 확장시 적설과 관련지어 생각 해 보았다. SSI는 3이하일 때 소나기 및 뇌우 가능성이 높은 것으로 알려져 있다.

Fig. 17을 보면 적설시작 24시간 전 까지 15~16정도였으나, 강수시작시점에 14로 낮아지면서 강수 지속 시에는 13~15정도 유지하였다. 강수가 약해지면서 15이상으로 급격히 증가하였다. 따라서 적설 시 대기 불안정에 의한 판단은 어려울 것으로 보인다.

8. K-Index 변화

Fig. 18은 Fig. 17과 같은 방법으로 오산의 K-Index (KI) 변화과정을 조사하였다. KI는 연직 기온감률과 대기하층 습기 양의 연직분포를 알 수 있는 지수로서 지

수 25이상이면 뇌우가능성이 40 % 이상이고, 지수 40 이상에서는 100 % 가능성이 있다.

Fig. 18과 같이 적설시작시점에 8~10정도이고, 그 이외에는 전부 음(-)의 값을 기록하였다. 강수시작 12시간 전까지 -13~-30으로 나타났고, 강수현상이 지속되는 시간대에는 -7~-11정도였다. 따라서 적설 시 대기 불안정에 의한 판단은 SSI와 같이 어려울 것으로 보인다

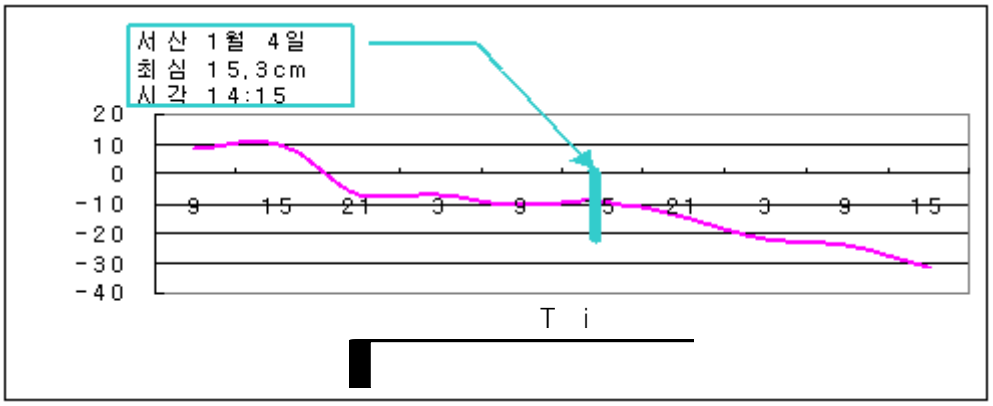

Fig. 18 The variations of K-index from 3rd to 5th Jan. 2003

E. 유사사례분석

1. 지상 및 500 hPa 고층일기도

a. 사례 1(2000년 1월 19일)

2000년 1월 18일 12 UTC 지상일기도에서 화북지방에 중심을 둔 1,044 hPa의 고기압은 화중지방으로 서서히 확장하고 있으며, 19일 00 UTC에는 서고동저형의 기압배치를 이루며 우리나라에 기압경도력을 강화시키고 있다. 19일 12 UTC에는 화중지방의 대륙고기압이 분리되면서 점차 대륙고기압의 세력은 약화되는 상황이다.

Fig. 19는 대륙고기압이 확장 된 일기도이다.

18일 12 UTC의 500 hPa 고층일기도는 만주에 중심을 둔 한기(-45 ℃)를 동반한 기압골이 화중지방으로 형성, 발달하고 있으며, 바람은 북서풍이 50~70 kts로 유입되면서 우리나라 중부지방에 -30 ℃의 등온선이 형성되어있다. 대설일인 19일 00 UTC에는 발달한 기압골 후면에 강한 한기골이 위치하면서 바람이 60~80 Kts로 강화되었고, 12 UTC에는 점차 기압골이 조금씩 약화되면서 동해상으로 이동되고 있다.

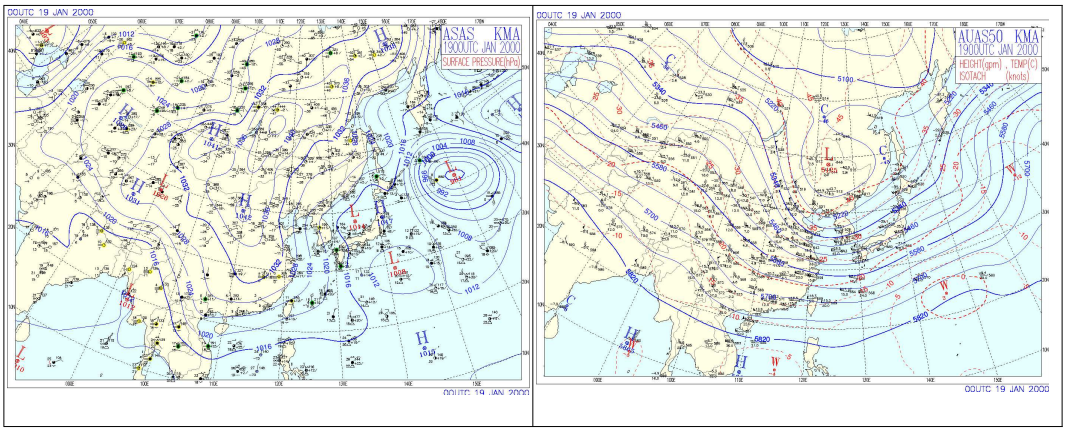

Fig. 19 Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 19th Jan. 2000

Fig. 20에서 본바와 같이 2000년 1월 19일 지역별 최심 신적설을 살펴보면 부여 10.2 cm, 서산 7.3 cm, 추풍령 7,2 cm를 기록하였다.

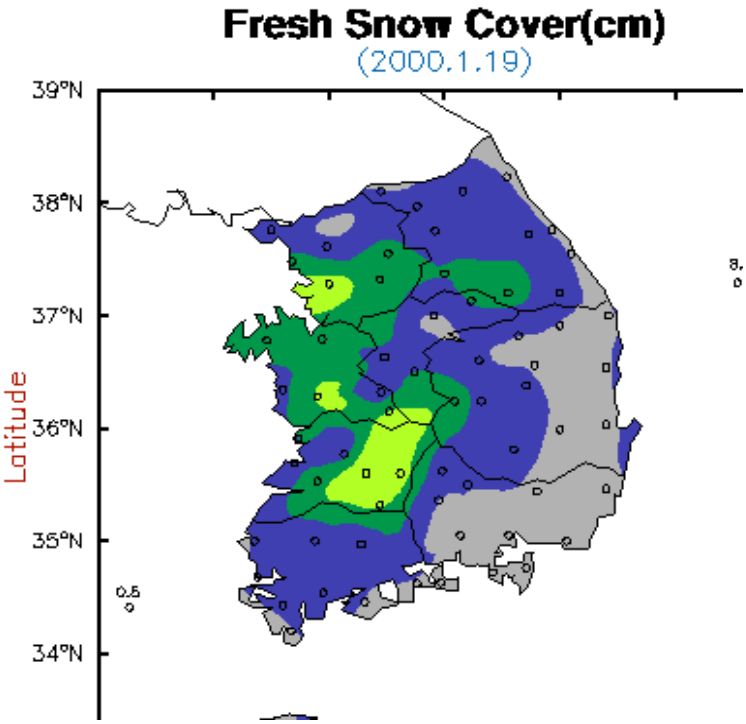

Fig. 20 The distribution of daily snow depth on 19th Jan. 2000

b. 사례 2(2000년 2월 7일)

2000년 2월 6일 12 UTC 지상일기도는 바이칼호 북쪽과 남서쪽에 각각 1,041 및 1,042 hPa의 고기압이 위치하고 있고, 남동방향으로 확장하고 있으며, 화북지방에서 기압경도력이 강화되고 있다. 7일 00UTC(Fig. 21)에는 서고동저형의 기압배치를 이루며 우리나라에 기압경도력을 강화시키고 있다. 그러나 등압선이 약간 북동방향으로 비스듬한 상태로 장시간 발달하지 않을 것으로 보인다. 7일 12 UTC에는 화중지방의 대륙고기압은 조금씩 약화되면서 화중지방으로 내려가면서 우리나라에 형성된 기압경도력은 약해지고 있다.

500 hPa 고층일기도는 6일 12 UTC에 서해상에 기압능이 형성되어있으며, 화북

지방에 중심을 둔 발달한 저압부는 한기(-42 ℃)를 동반하고 발해만 북서쪽에 기압골을 형성시키고 있으며, 기압골 연변인 화중지방에서 북서풍이 50~70 Kts로 강하게 유입되고 있다. 7일 00 UTC에는 발달한 기압골이 발해만을 거쳐 화중지방으로 형성 되면서 한핵도 -43 ℃로 더 낮아졌으며, 우리나라 중부지방에는 -30 ℃의 등온선이 걸쳐있다. 이때의 바람은 북서풍이 50~80 Kts로 강화되어 경압성이 상당히 강화된 상태를 보인다. 7일 12 UTC에는 발달한 기압골이 동해상으로 이동되면서 점차 기압능에 들고 있다.

Fig. 22에서 충청북도 남부지역에서 5 cm이상의 적설을 보였고 특히 추풍령에서 6.9 cm의 적설을 기록 하였다. 2000년 2월 7일 18시경부터 눈이 내리기 시작하여 8일 3시 47분까지 9.0 cm의 적설을 보였다.

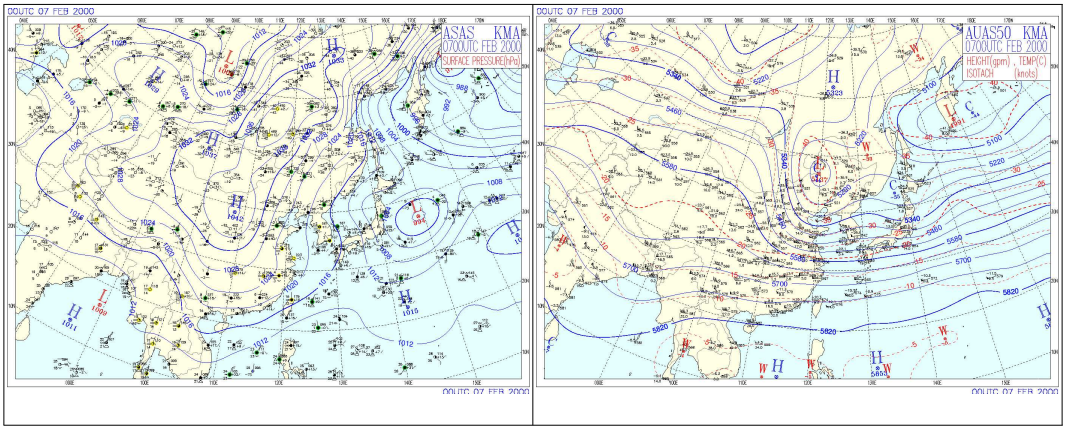

Fig. 21 Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 7th Feb. 2000

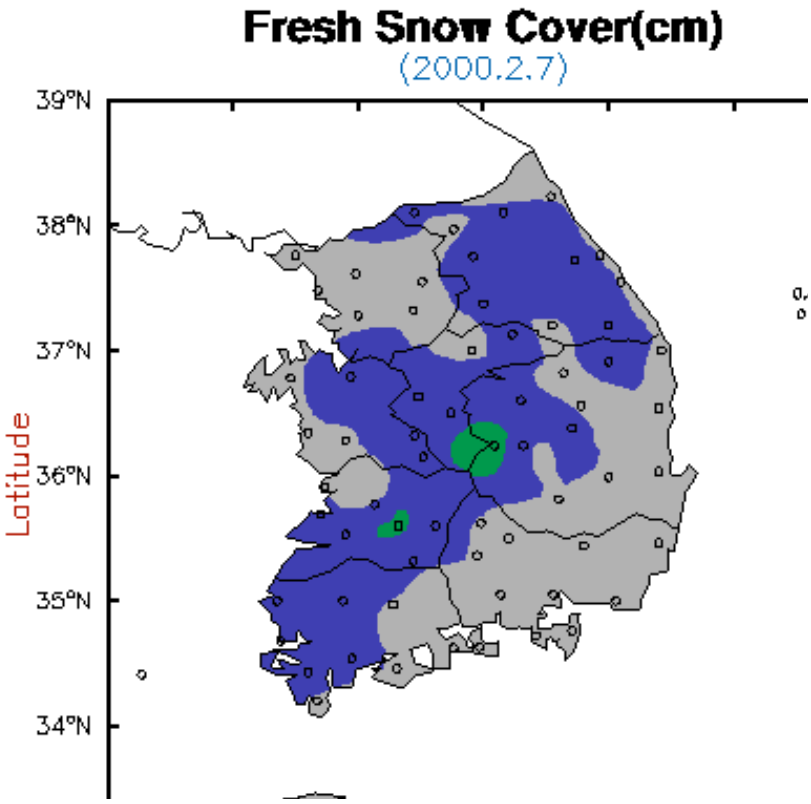

Fig. 22 The distribution of daily snow depth on 7th Feb. 2000

c. 사례 3(2001년 2월 24일)

2001년 2월 23일 12 UTC 지상일기도에서 화북지방에 위치한 1,039 hPa의 대륙고기압은 화중지방으로 확장하고 있으며, 남해상에 위치한 1,006 hPa 저기압은 일본방면으로 동진하면서 우리나라 서해상으로 기압골을 형성시키고 있다.

24일 00 UTC에는 화중지방으로 확장하는 고기압이 약간 북동방향으로 눕긴 하였지만, 남해상으로 확장하면서 일본방면으로 고기압 축을 형성시키고 있다. 12 UTC에는 우리나라 부근의 기압경도력은 조금씩 약화되는 경향을 보인다.

500 hPa 고층일기도에서 23일 12 UTC에 연해주 북쪽에 중심을 둔 한기(-45 ℃)

를 동반한 발달한 저압부는 만주와 화중지방으로 기압골을 형성시키고 있다. 우리나라는 기압능에 들어 있으며 점차 기압골의 영향권에 들것으로 보인다. 24일 00 UTC에는 발달한 기압골이 발해만과 산동반도 남쪽으로 형성되면서 여전히 -45 ℃의 한기를 동반하고 있다. 중부지방의 등온선은 전 시간에 -15 ℃에서 -20 ℃로 더 낮아졌으며, 기압골 연변에서의 바람은 50~80 Kts로 전 시간에 비해 강해졌다. 24일 12 UTC에는 기압골이 동해상으로 이동되면서 북쪽과 남쪽으로 두개의 기압골로 분리되면서 약해지고 있다.

Fig. 24를 보면 강원도지역을 중심으로 많은 눈이 내렸다. 대관령에서 36.0 cm (참고 23일 46.5 cm기록), 강릉 23.6 cm, 속초 22.1 cm를 기록하였으며, 경기도 이천에서도 12.9 cm를 기록하였다. 충청북도 북부지역인 충주에서 4.5 cm, 제천에서 7.0 cm를 기록한 사례이다.

2001년 2월 23일 21시경부터 눈이 내리기 시작하여 24일에 제천에서 7.0 cm의 신적설을 보였으며, 서울, 경기도, 강원도를 중심으로 많은 눈이 내렸다.

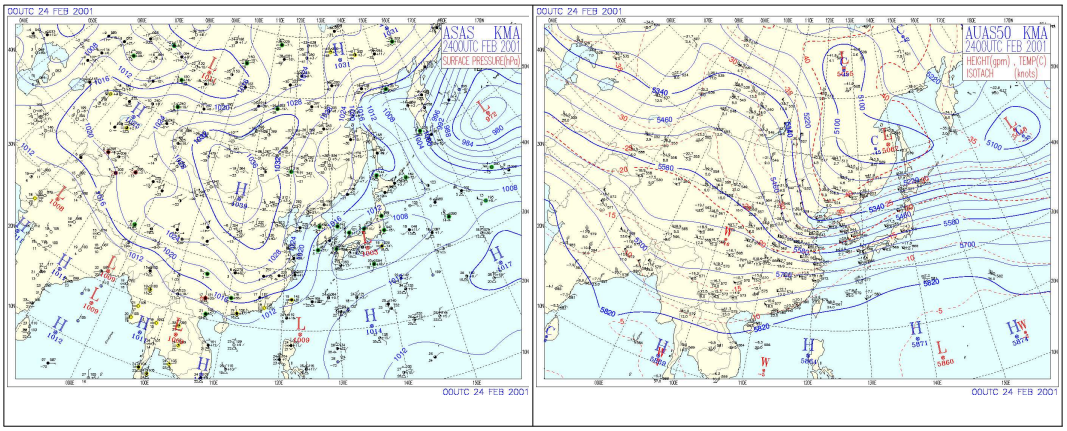

Fig. 23 Surface and 500 hPa upper weather chart on 00 UTC 24th Jan. 2000

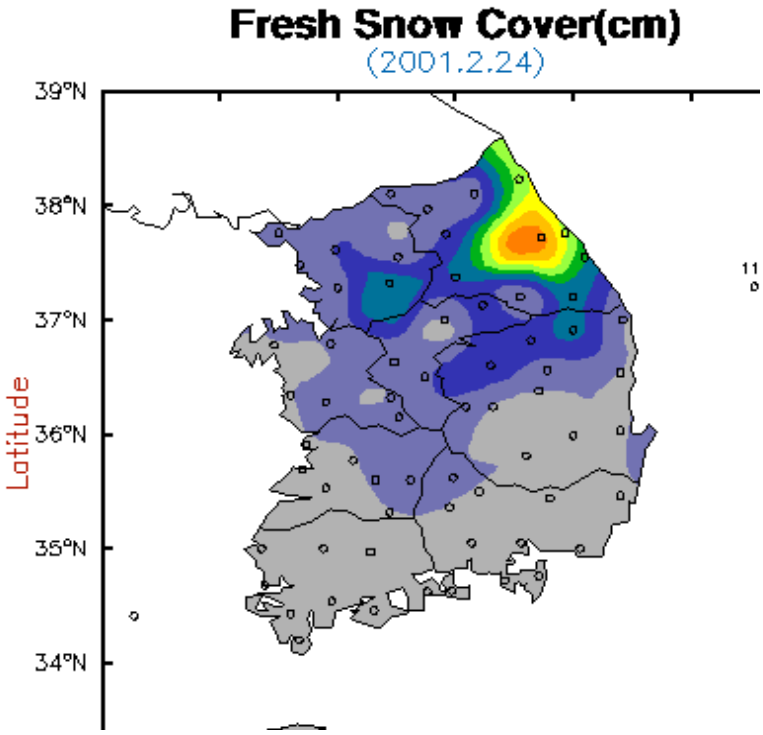

Fig. 24. The distribution of daily snow depth on 24th Feb. 2001

d. 사례 4(2002년 1월 7일)

2002년 1월 6일 12 UTC 지상일기도는 만주지방과 서해북부해상에 각각 1,015와 1,017 hPa의 저기압이 위치 해 있고, 화북지방에 1,038 hPa의 고기압이 있다. 7일 00 UTC에는 원산만에 위치한 1,008 hPa의 저기압과 화북지방의 1,038 hPa의 고기압 사이에서 기압경도력이 강화되고 있다. 12 UTC에 동해상으로 이동된 저기압은 발달하였지만, 화북지방의 고기압은 1,035 hPa로 점차 약화되고 있다.

500 hPa 고층일기도에서 1월 16일 12 UTC에 화북과 만주지방 사이에 위치한 저압부는 -40 ℃의 한핵을 동반하고 120E선을 따라 기압골을 형성시키고 있고, 동해상에서 연해주방면으로 발달한 기압능이 위치해 상대적으로 기압골의 이동을 저지하고 있으며 상대적으로 기압골을 발달시키고 있다. 기압골연변에서의 바람은 70~90 kts로 유입되고 있으며, 중부지방의 등온선은 -22 ℃정도 형성되고 있다. 7일 00

UTC에는 발달한 저압부가 서해상으로 기압골을 형성시키고 있으며, 바람은 70~90 kts, 중부지방에 -30 ℃의 등온선이 지나고 있다. 12 UTC에는 원산만에 발달한 저압부 중심(한핵 -38 ℃)이 자리하면서 기압골을 동해남부해상방면으로 형성시키며 점차 기압골은 약화되고 있다.

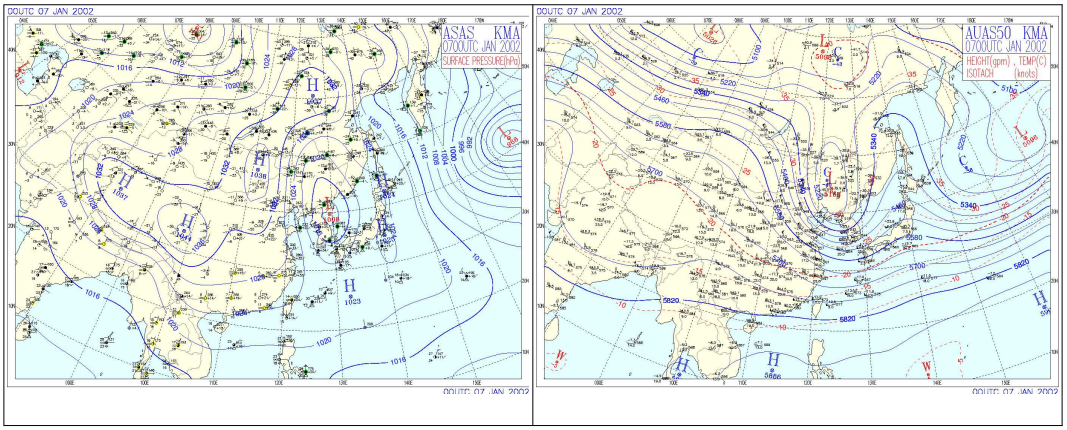

Fig. 25 Surface and 500 hPa upper weather chart on 7th Jan. 2002

2002년 1월 7일 6시경 제천에서 눈이 내리기 시작하여 8.2 cm를 기록하고 낮 12시경에 그쳤으며, 부여에서는 7일 10시경부터 지속적으로 내린 적설은 5.4 cm를 기록하고 8일까지 이어지면서 1.3 cm의 눈이 더 내렸다. 보은에서는 7일 6.3 cm를 기록하였다. 그러나 강원도지역의 대관령에서는 7일 10.3 cm, 인제 9.0 cm, 철원 7.4 cm를 기록하고 당일 대부분 그쳤다. 7일 전국 신적설 분포도는 Fig. 26과 같다.

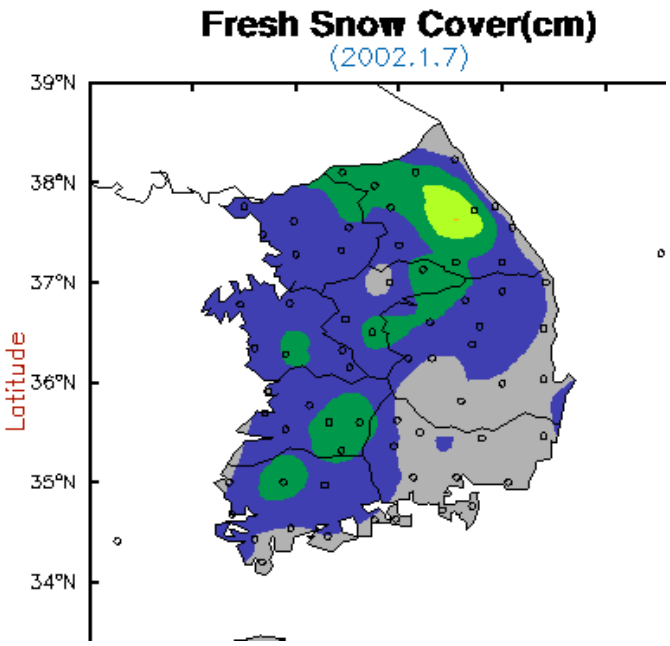

Fig. 26 The distribution of daily snow depth on 7th Jan. 2002

2. 상승응결고도(LCL) 변화

a. 사례 1(2000년 1월 19일)

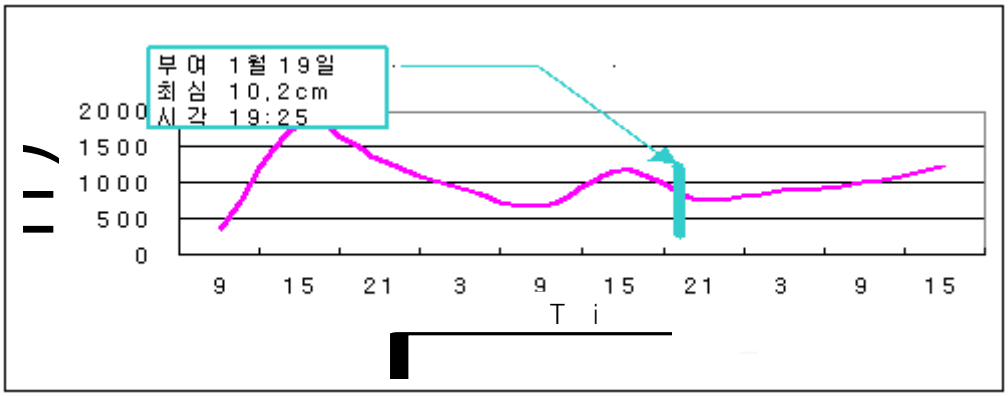

Fig. 27 The variations of LCL in Osan from 18th to 20th Jan. 2000

Fig. 27은 Fig. 11과 같은 방법으로 오산의 상승응결고도 변화과정을 조사하였

다. 막대는 많은 눈이 내린 지역의 최심이 나타난 시점을 표시하였다. 강수시작이 전에 1,500 gpm 이상의 고도에서 700 gpm 고도까지 하강한 후, 파형을 이루며 800 gpm 고도에서 최심적설이 기록 되었다. 19일 12시를 전후하여 800 gpm에서도 많은 눈이 내렸고, 19시 25분에 최심적설을 기록하였다.

b. 사례 2(2000년 2월 7일)

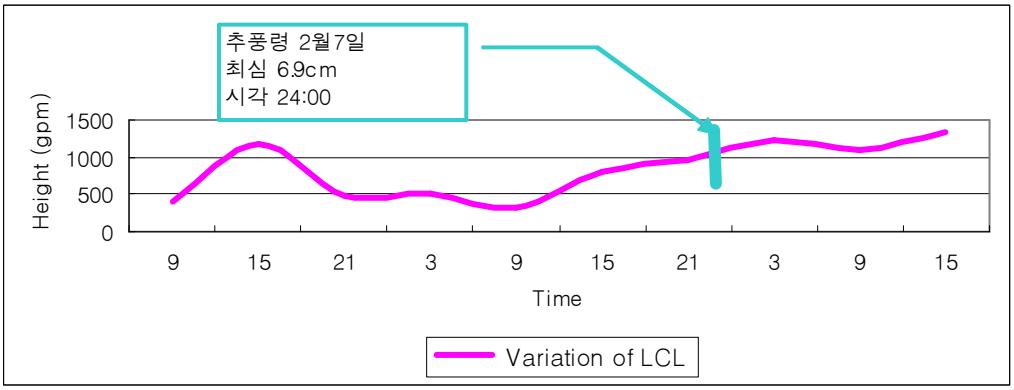

Fig. 28 The variations of LCL in Osan from 6th to 8th Feb. 2000

Fig. 28은 Fig. 11과 같은 방법으로 오산의 상승응결고도 변화과정을 조사하였다. 강수(눈)가 없었을 시에는 1,000 gpm 이상의 고도에서 서서히 낮아져 500 gpm 이하의 고도에서 파동현상을 보이며 서서히 300 gpm 고도까지 낮아진 후, 고도는 상승되어 약 1,000 gpm정도의 고도에서 최심적설을 기록하였다. 그 후 1,200 gpm 이상으로 완만한 상승을 보이며 적설현상은 끝났다. 따라서 저고도에서 파동현상이 나타난 후에는 고도가 상승되면서 1,000 gpm 이내에서 적설량은 늘어남을 알 수 있다.

c. 사례 3(2001년 2월 24일)

Fig. 29는 Fig. 11과 같은 방법으로 조사하였다.

서울, 경기도를 중심으로 2월 23일부터 많은 눈이 내린 후 충청북도 북부지역에서의 주 강수는 24일이다.

충청도지역에서 2월 23일 밤늦게 눈이 내렸지만, 서울, 경기도 강원도지역에서는 23일 새벽부터 내렸다. 따라서 23일 LCL의 변화는 1,000 gpm 이상의 고도에서 점차 낮아져 23일 9시경에 400 gpm정도였고, 파동현상을 보이며 서서히 40 gpm 고도까지 낮아져 진 후, 파동을 보이며 최심적설을 보였으며, 완만한 고도상승을 계속하여 800 gpm 이상으로 높아지면서 대설은 약해졌다.

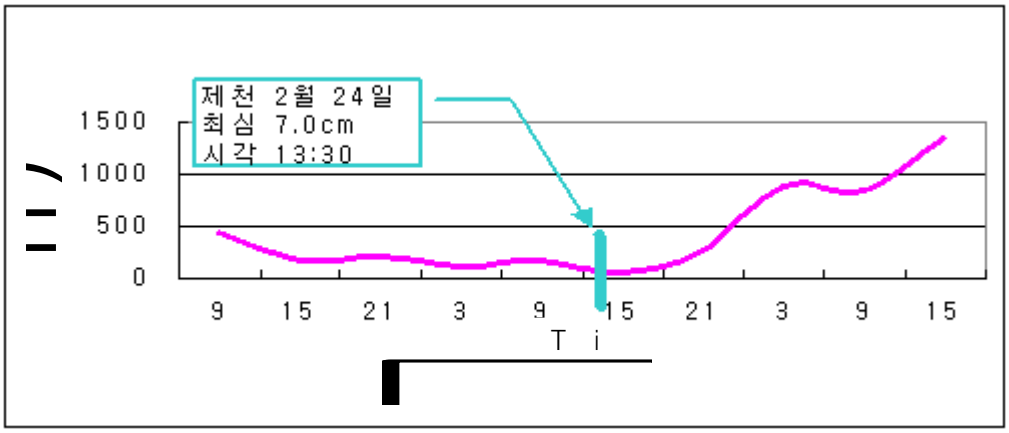

Fig. 29 The variations of LCL in Osan from 23th to 25th Feb. 2001

d. 사례 4(2002년 1월 7일)

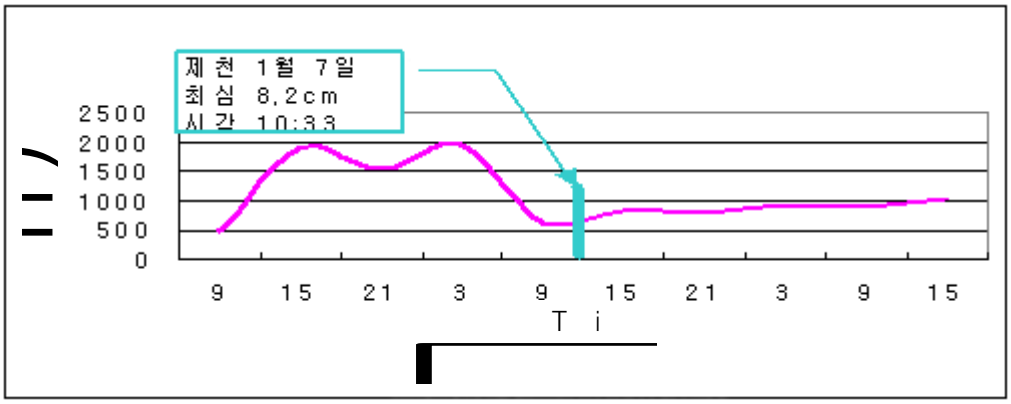

Fig. 30 The variations of LCL in Osan from 6th to 8th Jan. 2002

Fig. 30은 Fig. 11과 같은 방법으로 조사하였다. 이와 같이 2002년 1월 6일부터 8일까지 LCL의 변화는 적설이 없었던 6일에는 1,000 gpm 이상에서 파동을 보였는데, 눈이 내리기 시작한 7일에는 500 gpm으로 낮아진 후, 조금 높아진 600 gpm부근에서 최심적설을 보였다. 그 후1,000 gpm 이상으로 완만한 상승을 하면서 적설현상은 약해지고 있다.

LCL의 변화는 적설이 없을 때 1,000 gpm 이상에서 파동을 보이고, 적설이 있을 경우 점차 낮아져 300~700 gpm 부근에 최저점을 보인 후, 600~1,000 gpm 사이에서 최심적설을 보인다.

3. 대류권계면(T/P) 고도변화

a. 사례 1(2000년 1월 19일)

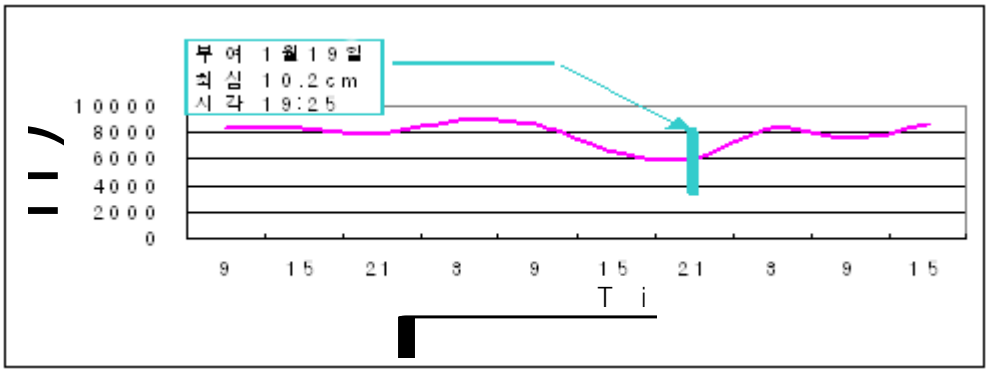

Fig. 31 The variations of tropopause in Osan from 18th to 20th Jan. 2000

Fig. 31은 Fig. 12와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 8,000 gpm 이상 고도에서 작은 파동을 보이다가, 6,000 gpm 고도로 낮아지면서 적설최심이 기록(10 cm미만)되었고, 그 후 8,000 gpm 이상으로 고도로 높아지면서 강수는 끝이 났다.

b. 사례 2(2000년 2월 7일)

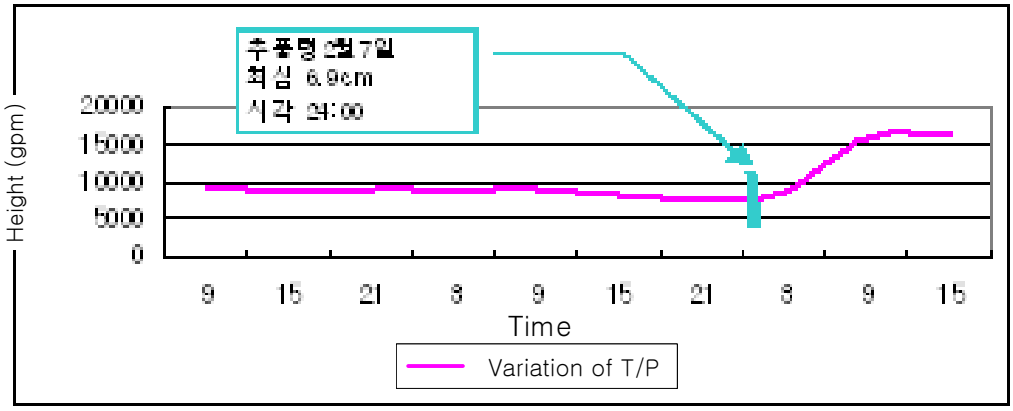

Fig. 32 The variations of tropopause in Osan from 6th to 8th Feb. 2000

Fig. 32는 Fig. 12와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 9,000 gpm 이상 고도에서 작은 파동을 보이며 점차 낮아져 6,000 gpm 고도에서 최심(10 cm 이상)을 기록하고, 8,000 gpm 이상으로 고도가 높아지면서 눈은 그쳤다.

c. 사례 3(2001년 2월 24일)

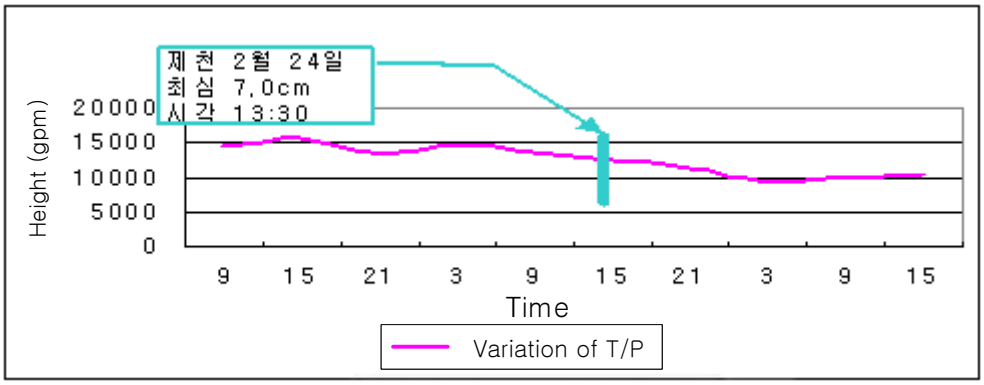

Fig. 33 The variations of tropopause in Osan from 23rd to 25th Feb. 2001

Fig. 33은 Fig. 12와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 10,000

gpm에서 15,000 gpm 이상의 고도로 높아진 후, 완만한 파동을 보이고, 13,000 gpm 고도에서 최심을 기록(10 cm미만)하였다. 9,500 gpm 고도까지 낮아진 후 강수가 약해지면서 10,000 gpm 이상으로 높아지기 시작하였다.

d. 사례 4(2002년 1월 7일)

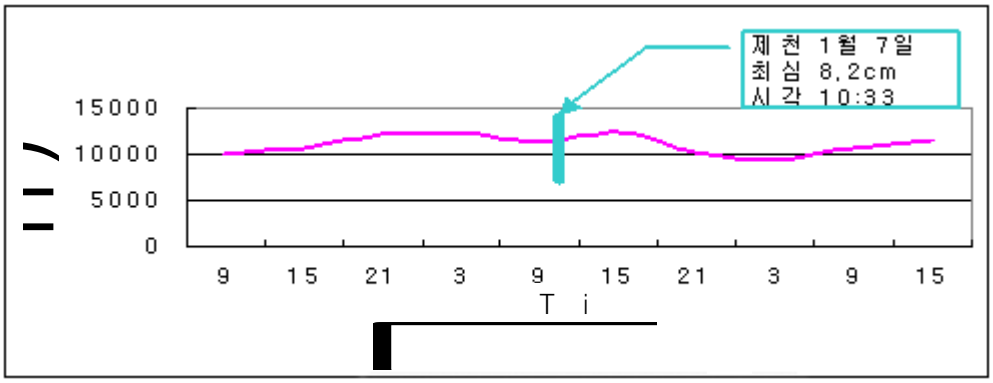

Fig. 34 The variations of tropopause in Osan from 6th to 8th Feb. 2002

Fig. 34는 Fig. 12와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 10,000 gpm에서 12,000 gpm 이상으로 높아진 후, 완만한 파동을 보이며 11,200 gpm에서 저점을 보인다. 11,500 gpm 고도에서 최심을 기록(10cm미만)하고, 9,400 gpm으로 낮아졌다가 10,000 gpm 이상으로 높아지면서 적설은 약해졌다.

대류권계면은 6,000~7,000 gpm에서 10 cm이상, 그 이상의 고도에서는 10 cm 미만을 보인다.

4. 1,000/700 Thickness의 변화

a. 사례 1(2000년 1월 19일)

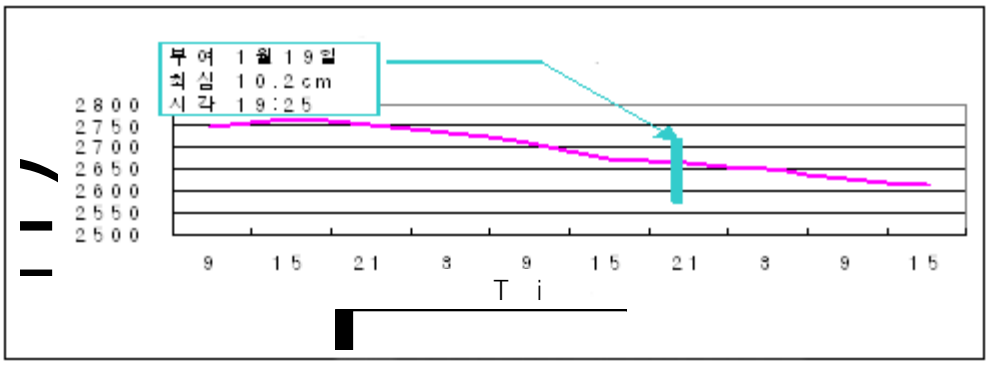

Fig. 35 The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 18th to 20th Jan. 2000

Fig. 35는 Fig. 13과 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 2,750 gpm이상에서 작은 파동을 보이며 2,650 gpm로 낮아지면서 최심적설을 보이고, 10~20 gpm정도 더 낮아진 후 높아지면서 눈은 약해졌다.

b. 사례 2(2000년 2월 7일)

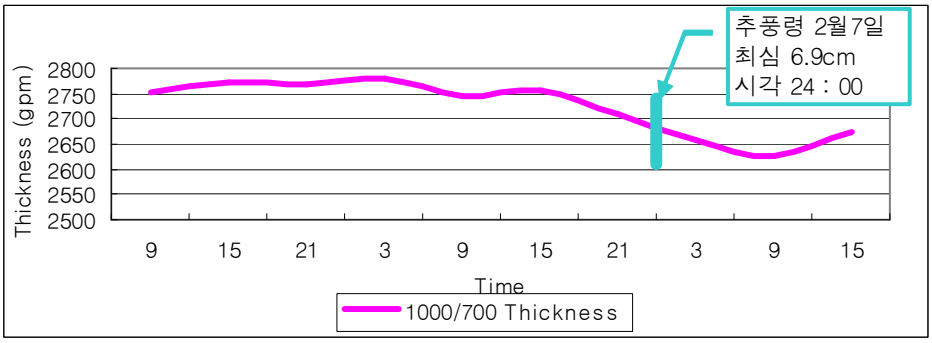

Fig. 36 The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 6th to 8th Feb. 2000

Fig. 36은 Fig. 13과 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 2,750 gpm 이상에서 작은 파동을 보이며 2,700 gpm에서 저점을 형성시킨 후 적설최심이 나타났고, 완만한 파동 후 층후는 커지고 있다.

c. 사례 3(2001년 2월 24일)

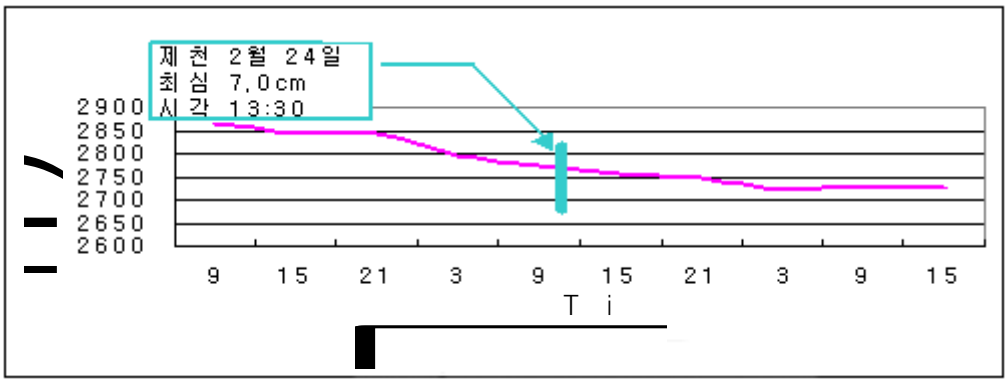

Fig. 37 The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 23rd to 25th Feb. 2001

Fig. 37은 Fig. 13과 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 2,800 gpm 이상에서 완만한 파동을 보이며 2,750 gpm 부근에서 적설최심을 보이고 있다. 그 후 20~30 gpm정도 낮아진 다음 완만한 상승을 하면서 눈은 약해졌다.

d. 사례 4(2002년 1월 7일)

Fig. 38은 Fig. 13과 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 2,800 gpm 이상에서 파동을 보이며 2,700 gpm로 낮아진 고도에서 적설최심을 보이고, 약 20 gpm정도의 파동을 거쳐 그 이상으로 높아지고 있다.

2,800 gpm의 고도에서 약 90~160 gpm정도 낮아진 고도에서 적설최심이 나타나는 경향이고, 2,640~2,660 gpm 정도에서 10 cm 이상, 그 이상에서는 10 cm 미만을 보이고 있다.

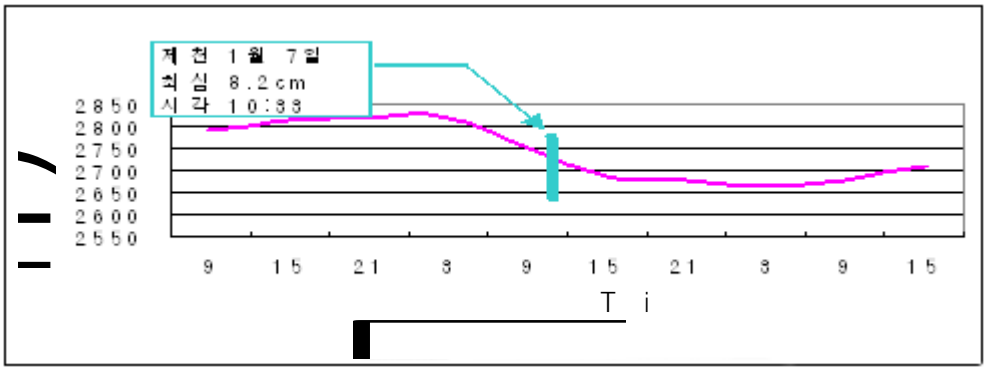

Fig. 38 The variations of thickness between 1,000 hPa and 700 hPa in Osan from 6th to 8th Jan. 2001

5. 솔레노이드(Solenoid)수 변화(850 hPa, 30～45 N, 115～130 E)

a. 사례 1(2000년 1월 19일)

Fig. 39는 Fig. 14와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 솔레노이드 수가 5개에서 25개로 점차 증가하였으며, 부여에서는 20개 정도에서 최심을 보인 후 솔레노이드 수는 급속히 낮아지고 있다. 솔레노이드수가 25개 정도로 증가되었다면 대설의 가능성은 높은 것으로 이해된다.

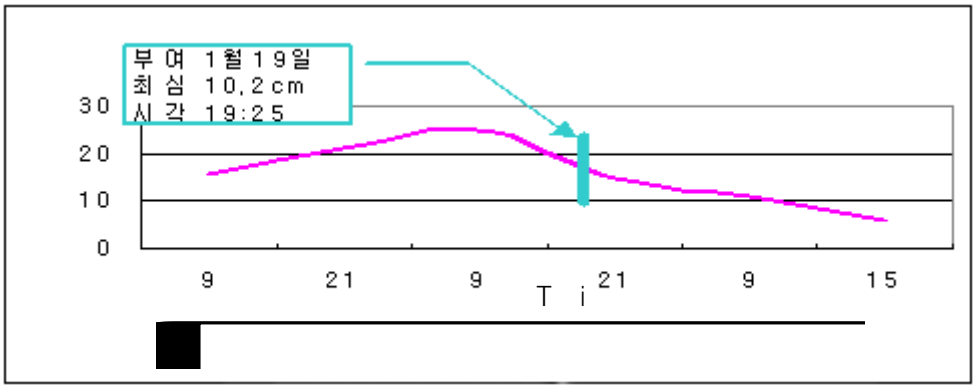

Fig. 39 The variations of solenoid from 18th to 20th Jan. 2001 in Osan(850 hPa, 30～45 N, 115～130 E)

b. 사례 2(2000년 2월 7일)

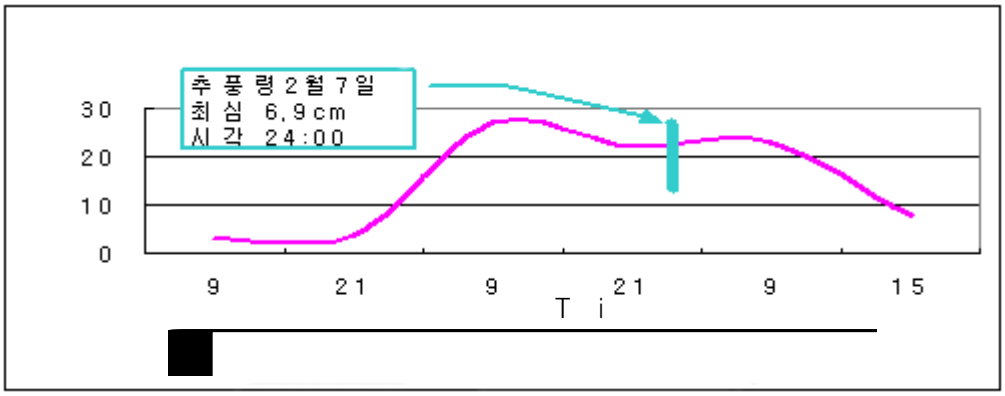

Fig. 40 The variations of solenoid from 6th to 8th Feb. 2000 in Osan(850 hPa, 30～45 N, 115～130 E)

Fig. 40은 Fig. 14와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 솔레노이드 수는 5개에서 점차 증가하여 27개로 되었으며, 23개정도에서 최심을 보이고 강수가 약해지면서 급속히 낮아지고 있다.

c. 사례 3(2001년 2월 24일)

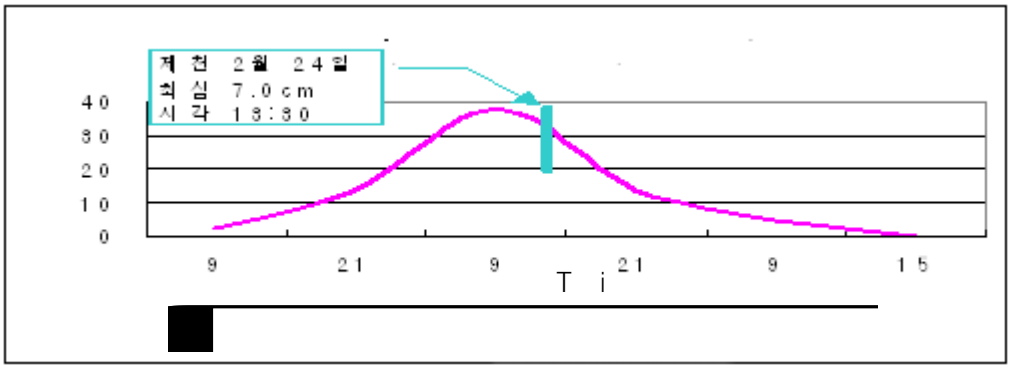

Fig. 41 The variations of solenoid from 23rd to 25th Feb. 2000 in Osan(850 hPa, 30～45 N, 115～130 E)

Fig. 41은 Fig. 14와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전에 솔레노이

드 수가 5개에서 점차 증가하여 38개로 되었으며, 35정도에서 최심을 보이며 그 후 급속히 낮아지고 있다.

d. 사례 4(2002년 1월 7일)

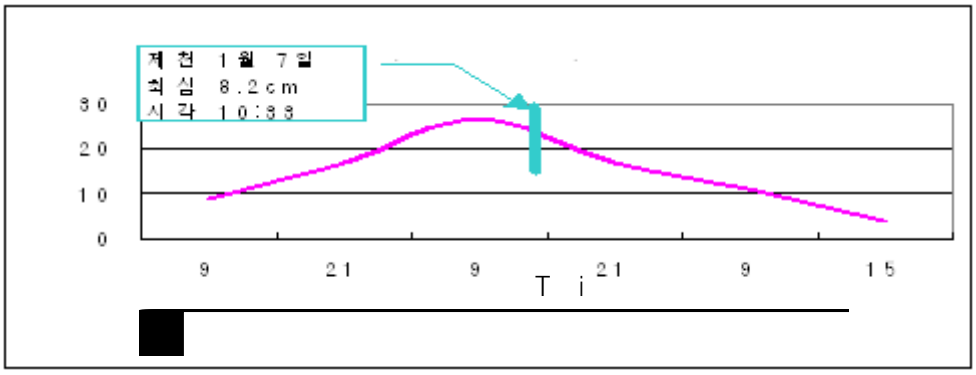

Fig. 42 The variations of solenoid from 23rd to 25th Feb. 2001 in Osan(850 hPa, 30～45 N, 115～130 E)

Fig. 42는 Fig. 14와 같은 방법으로 조사하였다. 강수시작 24시간 전의 솔레노이드 수는 10개 정도에서 점차 증가하여 27개로 되었으며, 25개 정도에서 최심을 보이고. 그 후 급속히 낮아지고 있음을 알 수 있다.

cP확장 시 솔레노이드 수가 점차 증가하여 25～40개의 분포를 보였으며, 20～25개에서 10 cm미만, 그 이상에서 10 cm이상의 적설을 보이고 있으며, 35개 이상에서 15 cm이상을 보일 것으로 이해된다.

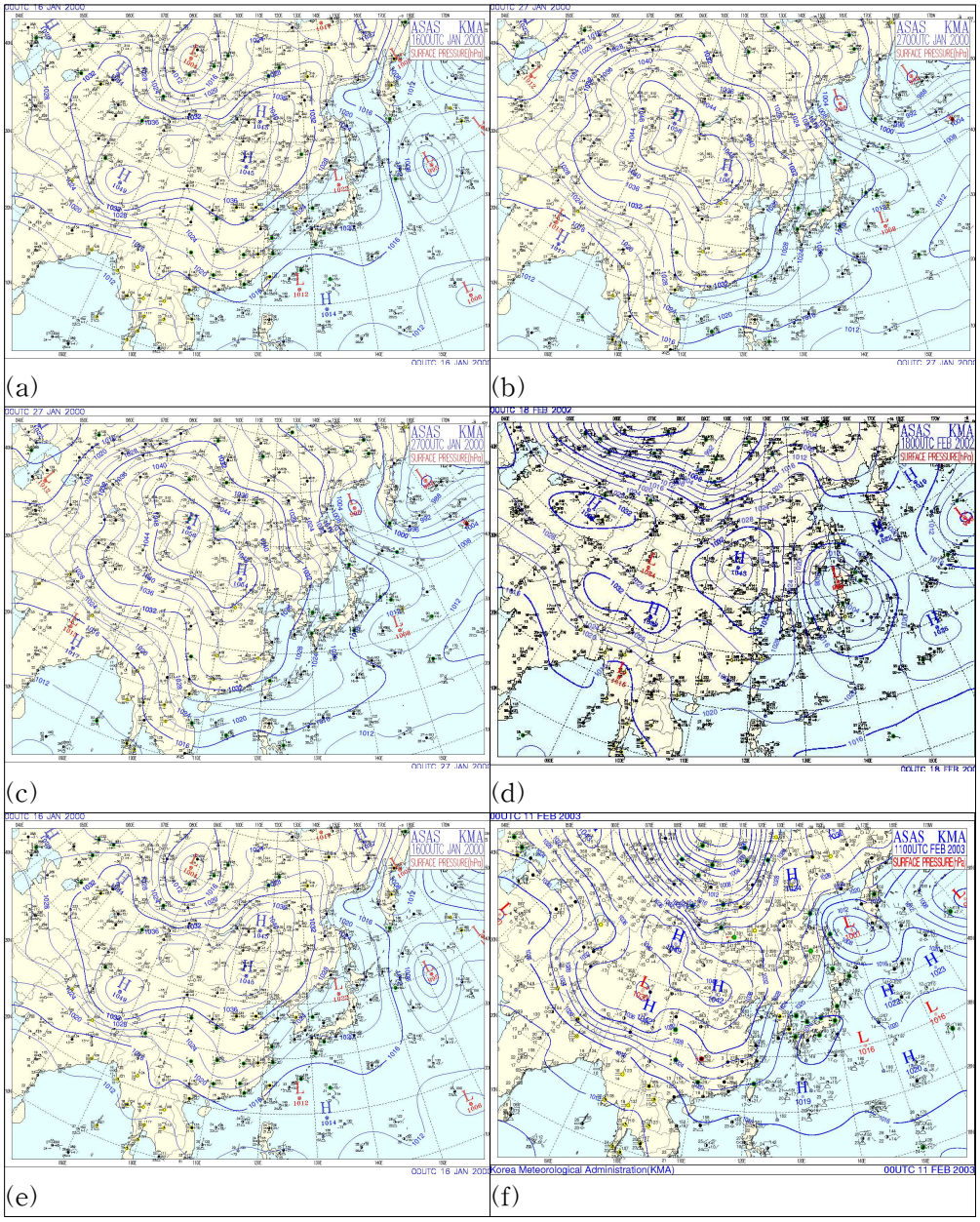

Fig. 43 Surface weather chart in case of no snow(00 UTC)

(a) 2000. 1. 16, (b) 2000. 1. 27, (c) 2000. 2. 20, (d) 2000. 2. 18, (e) 2003. 1. 14, (f) 2003. 2. 11.

cP는 확장했으나 무강수를 기록한 6개의 사례를 중심으로 대기파동의 변화를 조사해 보고자 한다. 사례 일은 2000년 1월 16일, 2000년 1월 27일, 2000년 2월 20일, 2002년 2월 18일, 2003년 1월 14일, 2003년 2월 11일이다. 자료로는 당일 00UTC의 지상일기도와 오산 고층자료를 토대로 LCL 변화, 대류권계면 고도변화, 1,000/700 Thickness 변화와 Solenoid 수의 변화를 살펴보았다.

A. 상승응결고도*(LCL)*의 변화

사례분석은 Fig. 11과 같은 방법으로 조사하였다.

1. 사례 1(2000. 1. 16)

1,300 gpm 이상의 고도에서 점차 하강하여 600 gpm 부근에서 저점을 형성한 후, 1,000 gpm 이상으로 상승하였다.

2. 사례 2(2000. 1. 27)

1,500 gpm 이상의 고도에서 하강하여 700 gpm 부근에서 저점을 형성한 후, 1,500 gpm 이상으로 상승하였으며, 그 후에도 700 gpm 고도까지 하강 한 후 그 이상으로 상승하였다.

3. 사례 3(2000. 2. 20)

2,500 gpm 이상의 고도에서 700 gpm 부근에서 저점을 형성한 후, 1,000 gpm 이상으로 상승 후, 그 고도를 유지하였다.

4. 사례 4(2002. 2. 18)

900 gpm 이상의 고도에서 870 gpm 부근에 저점을 형성한 후 1,000 gpm으로 급상승 후 그 고도를 유지하였다.

5. 사례 5(2003. 1. 14)

700 gpm 이상의 고도에서 200 gpm 부근에 저점을 형성한 후 급속도로 상승하여 1,000 gpm 고도를 유지하였다.

6. 사례 6(2003. 2. 11)

900 gpm 이상에서 하강하여 약 150 gpm 지점에서 저점을 형성한 후, 급속히 상승하였다. 700 gpm 고도 이상에서 서서히 하강하여 약 600 gpm 부근에서 저점을 형성 한 후, 1,000 gpm 이상의 고도로 급상승하는 경우가 많다

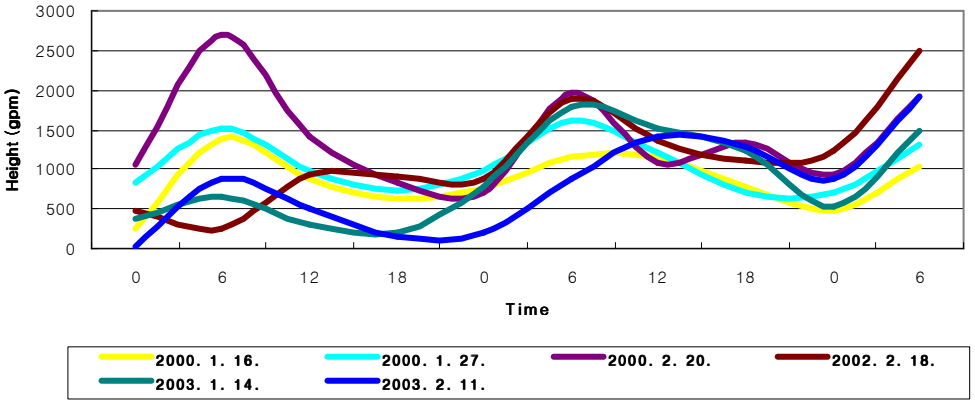

Fig. 44 The variations of LCL in case of no snow

B. 대류권계면*(T/P)*고도변화

사례분석은 Fig. 12와 같은 방법으로 조사하였다.

1. 사례 1

10.000 gpm 이상에서 하강하여 8,300 gpm 정도에서 저점을 보인 후, 완만한 상승을 지속하여 9,000 gpm 이상으로 높아졌다.

2. 사례 2

8,000 gpm 이상에서 하강하여 7,500 gpm 부근에서 저점을 보인 후, 9,000 gpm 이상으로 급속히 상승하였다.

3. 사례 3

10,000 gpm 이상에서 하강하여 8,300 gpm 정도에서 저점을 보인 후, 완만히 상승하였다.

4. 사례 4

9,000 gpm 이상에서 7,300 gpm 고도까지 하강한 후 파동을 보이며 8,500 gpm 이상으로 완만한 상승을 하였다.

5. 사례 5

10,000 gpm에서 하강하여 8,800 gpm에서 저점을 보인 후, 9,000 gpm 이상으로 고도는 높아졌다.

6. 사례 6

10,000 gpm 이상에서 9,000 gpm까지 낮아진 후, 10,000 gpm 이상으로 높아졌다.

8,000～10,000 gpm 이상에서 7,000～9,000 gpm에 저점을 형성 한 후, 그 이상으로 높아지거나 유지하는 경우가 많다.

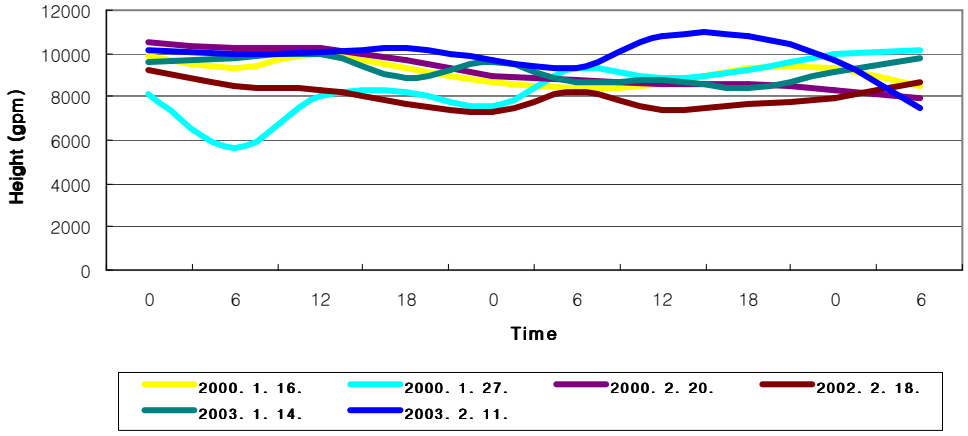

Fig. 45 The variations of tropopause in case of no snow

*C. 1,000/700 Thickness*의 고도변화

사례분석은 Fig. 13과 같은 방법으로 조사하였다.

1. 사례 1

2,800 gpm를 중심으로 약간의 파동을 보인 후, 2,780 gpm으로 낮아진 다음 그 이상으로 상승하였다.

2. 사례 2

2,700 gpm를 유지하다가 2,650 gpm으로 낮아진 후, 2,700 gpm 이상으로 상승하였다.

3. 사례 3

2,800 gpm 이상에서 2,730 gpm으로 낮아진 후, 그 상태를 유지하였다.

4. 사례 4

2,800 gpm 이상에서 2,700 gpm으로 낮아진 후, 그 상태를 유지하였다.

5. 사례 5

2,800 gpm 이상에서 2,700 gpm으로 낮아진 후, 그 상태를 유지하였다.

6. 사례 6

2,800 gpm 이상에서 2,730 gpm으로 낮아진 후 그 상태를 유지하였다.

2,800 gpm 이상에서 2,700 gpm정도로 약간 낮아진 후, 층후 값이 커지거나, 그 상태를 유지하였다.

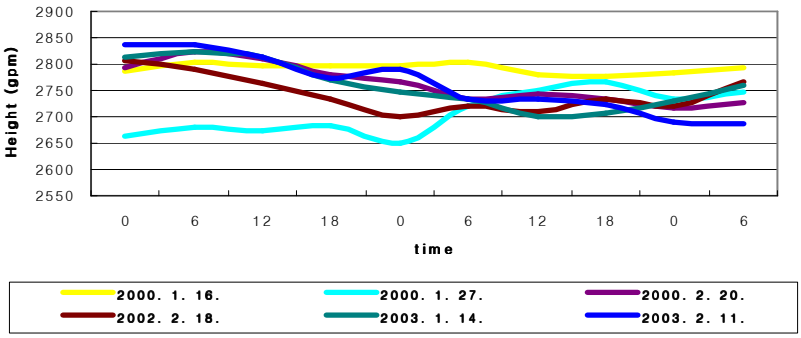

Fig. 46 The variations of thickness between 1,000 and 700 hPa in case of no snow

D. 솔레노이드*(Solenoid)*수 변화

사례분석은 Fig. 14와 같은 방법으로 조사하였다.

1. 사례 1

10정도에서 5이하로 점차 감소되고 있다.

2. 사례 2

8정도에서 1이하로 급격히 감소되고 있다.

3. 사례 3

5~8에서 10이상으로 증가 후, 감소하고 있다.

4. 사례 4

12~16에서 약간 증가 후, 10이하로 감소되고 있다.

5. 사례 5

cP 확장 전에 1정도에서 cP확장 후 20이상으로 일시 증가 후, 급격한 감소 하고 있다.

6. 사례 6

cP확장 전에 5이하에서, cP확장 후 20가까이 증가한 후, 10이하로 감소하고 있다. 솔레노이드 수는 크게 증가하지 못하고 10정도 증가한 후, 그 이하로 급격히 감소하고 있다.

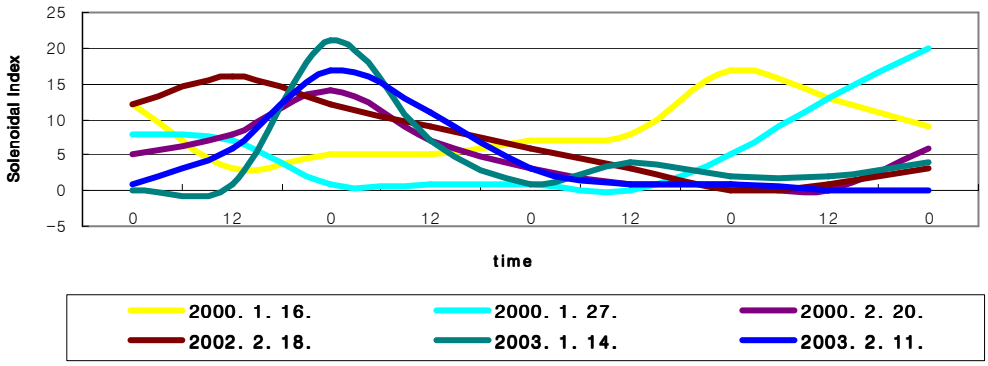

Fig. 47 The variations of solenoid in case of no snow

Ⅵ. 요약 및 결론

(1) cP 확장의 전형으로2003년 1월 4일의 사례를 대표로 살펴보았고, 유사사례를 조사하여 유사점을 발견하였다. 또한 cP 확장시 무강수일 때의 사례도 아울러 조사하였다.

현재 예상단열선도는 수치예보자료로 생산되고 있는데, 여기에서 대설업무에 유효하게 쓰여 질 몇 개 요소의 자료들이 시계열로 제공된다면 유효적절하게 대설예보업무에 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 단열선도를 분석하면서 소홀히 다루어지는 요소 중에서 상승응결고도변화, 권계면(T/P)고도변화, 1,000/700 Thickness 변화, Solenoid수 변화, 최대풍 고도변화, 지상기압 차(850 hPa, 36.5 N, 115-130 E), 쇼웰터지수(SSI)와 K지수 등의 시간적 변화과정을 통하여 충청도지방의 대설형태가 어떻게 나타나는지를 조사 하였는데, 어느 정도의 관련성이 있음을 발견하였다.

(3) 최대풍 고도변화와 여름철 뇌우예보에 활용하는 SSI 및 KI는 겨울철 대설에 적용해 본 결과 큰 특징을 발견하지 못하여 유사사례에서 제외하였다. 강수나 무강수시 cP가 확장하기까지의 변화과정은 비슷하였으나, 강수가 있었던 날의 고도변화나 층의 두께, 솔레노이드 수 변화는 어느 정도 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

LCL의 변화는 강수가 있었던 날 300～700 gpm에서 저점을 보인 후 600～1,000 gpm사이에서 최심을 보였지만, 무강수 시에는 600～900 gpm의 다소 높은 저점을 보인 후, 1000 gpm 이상으로 급상승하는 결과를 나타냈다.

T/P고도변화는 6,000～12,000 gpm 부근에서 최심을 기록하였고, 저점 이전에 적설최심이 나타나고 있으며 대체적으로 6,000～7,000 gpm으로 낮아지는 경우 많은 눈이 내렸고(10 cm이상), 10,000 gpm 이상 시에는 10 cm 미만을 기록하고 있다.

1,000/700 hPa thickness 변화에 있어서 저점형성지점인 2,650～2,700 gpm 사이에서 최심이 나타났고, 무강수 시에는 2,700 gpm 이상에서 저점이 형성되고 있다.

솔레노이드 수 변화에 있어서 20～25개에서는 10 cm 미만의 적설을 보이고 그 이상에서는 15cm 이상의 적설을 보인 것으로 조사되었다.

상층 한기는 500 hPa에 있어 -40 ℃이하일 때 많은 눈을 보이고 있다. 이상의 내용을 Table 1에 정리하였다.

기상예보를 생산함에 있어 단열선도에서 구해지는 여러 가지 자료들을 활용할 필요가 있으나 활용도면에서 규명되지 않은 문제가 많은 것으로 파악되고 발굴해야할 과제가 많을 것으로 판단된다.

본 연구조사를 통하여 앞으로는 단열선도의 여러 가지 요소들을 보다 적절하게 활용하여 기상예보업무에 적용할 것을 제안하고자 한다.

요 소	24 시간 전		cP 확장 시	
	강 수	무강수	강 수	무강수
LCL	750 gpm	790 gpm	300～700 gpm, 저점 형성, 700～1,000 gpm 고도에서 적설	600～900 gpm 저점 형성 후 1,000 gpm 이상으로 급상승
T/P	9,250 gpm	9,230 gpm	6,000～7,000 gpm (10 cm이상) 10000gpm이상 (10 cm미만)	7,000～9,000 gpm 또는 그 이상
1,000/700 TCKN	2,800 gpm	2,800 gpm	2,600～2,700 gpm에서 적설, 2,640～2,660 gpm(10 cm이상)	2,700 gpm 이상
Solenoid 수	12	8	20～35 35이상(15 cm이상)	12
SSI	16	15	16	17
KI	-8	-10	-10	-24
지상 등압선주향			N-S 서쪽편향	NE-SW 동쪽 편향

Table 1. The variation of atmosphere wave each element for snow or no snow

참 고 문 헌

이홍란, 김경익, 유정문, 이우진, 2002,“급격히 발달하는 저기압과 관련된 대류권계면 파상운동”『한국기상학회지』38, 5, pp.431～463.

김성삼, 1979,“남한의 10cm이상 강설의 기상조건”『한국기상학회지』15, 1, pp. 1～10.

이 훈, 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.

서은경, 전종갑, 1991, “1990년 1월 29일-2월1일 한반도에서 발생한 대설에 관한 연구”, 한국기상학회지 27, 2. pp.165～179.

류찬수, 손건태, 이정형, 2005, “호남지역 순서형 대설예보를 위한 신경회로망 모형개발”『Proceeding of the Data Analysis Society, 추계』, pp.97～102.

류찬수, 이정형, 손건태, 2005, “다등급 로지스틱 회귀모형을 이용한 호남지역 대설발생 예측”『2005년도 한국기상학회 가을학술대회 논문집』, pp.56～57.

류찬수, 손건태, 이정형, 2005, “Statistcal Prodiction of Occurrence of Heavy Snow in Honam Area, Korea”『ISAM5 Proceeding』, pp.53～65.

류찬수, 황영하, 2004, “cP확장시 광주, 전남지방의 5cm이상 강설 분석”『Proceeding of the Data Analysis Society, 추계』, pp.61～66.

이인성, 1991, “겨울철 서산지방의 강설시간조사”『대전지방기상연구』4, pp.53～58.

기원도, 이강휴, 1991,“1990년 12월 25일～27일 폭풍대설(충청남북도지방)” 『대전지방기상연구』 pp.200～205.

양승만, 2001, “경남서부내륙지방의 대설분석”『제2기 예보관과정수료 연구논문집』 pp.255～269.

강릉지방기상청, 1993, “영동지방의 대설”『예보사례분석집』pp.191～206.

예보국 예보관실, 1994,“ 중서부지방의 국지성 대설(‘94. 3. 24.)” 『예보사례분석

집』 pp.205～225.

유혁기, 1997, “호남지방 대설” 『대설사례분석집』 pp.83～104.

대전지방기상청, 2001, 충청지방 국지예보지침서 pp.1～2.

강성규, 2002, “지리산 동서지방의 대설고찰”『제3기 예보관과정수료 연구논문집』 pp.203～222.

안기창, 2005“중규모 저기압에 의한 중서부지방의 강설특성연구”『제7기 예보관과정수료 연구논문집』pp.361～381.

기상청, 지상 및 고층일기도, 오산고층관측자료.

기상청, 기후자료 그래픽시스템.