

- 일반적으로 0℃이상의 녹는 층(melting layer)의 두께가 200~600m를 넘을 수 없다고 연구된 바 있다(Weather forecasting handbook 2000, White et al. 2002, White et al. 2010).
- 대기가 불안정한 경우(그림 8(b)) 습윤기온감율을 적용하면 지상의 기온이 0℃일 경우에 850hPa 기온은 약 -8℃가 된다. -10℃이하의 습윤공기내에서 과냉각수적이 다량으로 존재하고, 이 과냉각 수적으로 인하여 함박눈과 같이 눈의 크기가 커진다(Hallet 1965, Edward et al. 1972, Pruppacher 1995).
- 강수가 생성되고 발달하는 구조가 850hPa 이상의 고도라는 점을 고려한다면, 850hPa -8℃는 습설과 건설을 가늠할 수 있는 지표가 될 수 있다.

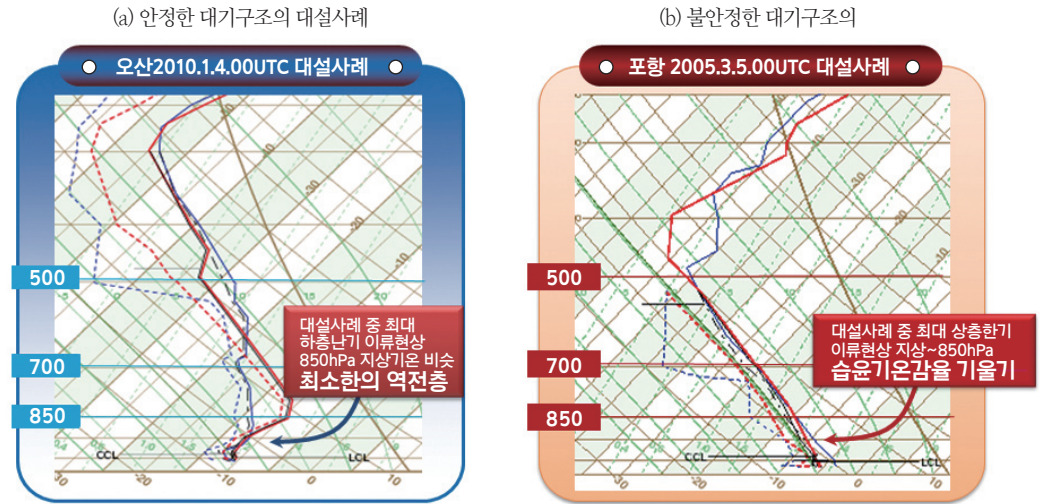


그림 8. 대설사례에서 발생한 극단적 대기구조의 2 사례. 왼쪽은 지상에서 850hPa까지 안정(기온 비슷)한 사례 (2010.1.4.09 KST)이며, 오른쪽은 지상에서 850hPa까지 포화된 상태에서 불안정(습윤기온감율)한 사례(2005.3.5.09KST)임

관계식 도출

- 850hPa -8℃, 지상기온 0℃의 기준값을 이용하여 그림 9와 같이 4개의 조건별 수 상당량비 계산을 한다.
- 그림 10의 가운데 굵은 녹색 선은 전체 사례에 대한 추세 곡선이며, 이 외에 1~4번으로 보여진 곡선은 그림 9의 조건별 추세선이다.

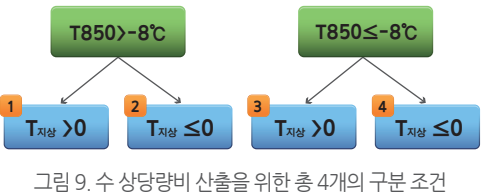


그림 9. 수 상당량비 산출을 위한 총 4개의 구분 조건

적설량 계산

- 앞서 제시한 1차 강수유형구분에서 눈이나, 2차 강수유형구분에서 적설구간으로 예상되면 4개의 조건별 수 상당량비 계산식을 적용하여, 예상강수량과 구해진 수 상당량비를 곱하여 적설량을 산출할 수 있다.

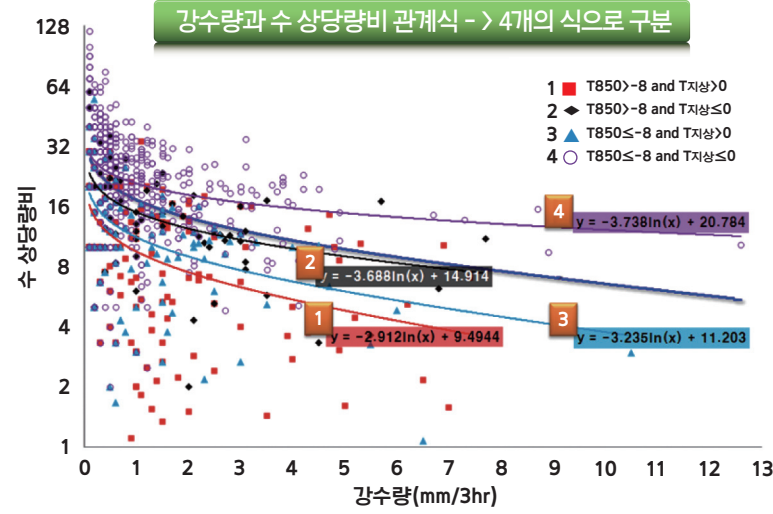


그림 10. 30년(1981~2010)간 발생된 3시간 신적설 0.1cm 이상 총 1081개 사례에 대해 그림 8의 4개 조건에 대한 추세선

관측값 비교

표 3. 그림 10에서 구분한 4개의 추세선에 대한 실제 적설량과의 검증결과임. 상관은 99% 유의수준임.

		T850>-8, T지상>0	T850>-8, T지상<=0	T850<=-8, T지상>0	T850<=-8, T지상<=0	전체 사례
실제 적설량과 예상 적설량	RMSE	1.2	1.0	0.6	0.8	0.8
	상관 계수	0.57	0.82	0.81	0.90	0.86
	사례수(개)	133	80	122	746	1081

>> 참고문헌

서영경, 이현진, 최준태, 2008 : 기온 MOS 모델 개발 및 강수형태 MOS 개선. 수치모델관리관실 기술 보고서.

전종갑, 이동규, 이현아, 1994 : 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지, 30-1, 97-117.

한눈에 보는 대설개념모델, 2011 : 예보관핸드북 시리즈 1. 기상청 예보기술팀.

Bluestein, H. B., 1993 : Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Vol. 2 : Observations and Theory of Weather Systems, Oxford University Press, 594.

Byun, K. -Y., J. Yang., and T. -Y. Lee, 2008 : A snow-ratio equation and its application to numerical snowfall prediction. Wea. Forecasting, 23, 644-658.

Edward E., Hindman II., and D. B. Johnson, 1972 : Numerical simulation of ice particle growth in a cloud of supercooled water droplets. J. Atmos. Sci., 29, 1313-1321.

Hallet, J., 1965 : Field and laboratory observations of ice crystal growth from the vapor. J. Atmos. Sci., 22, 64-69.

Matsuo, T., Y. Sasyo., and Y. Sato, 1981 : Relationship between types of precipitation on the ground and surface meteorological elements. J. Meteor. Soc. Japan, 59-4, 462-476.

Pruppacher, H. R., 1995 : A new look at homogeneous ice nucleation in supercooled water drops. J. Atmos. Sci., 52, 1924-1933.

Stewart, R. E., 19992 : Precipitation types in the transition region of winter storms. Bull. Am met. Soc., 73, 287-296.

Weather forecasting handbook, 2002 : Precipitation type of winter forecasting, pp144.

White, A. B., D. J. Gottas., A. F. Henkel., P. J. Neiman, F. M. Ralph., and S. I. Gutman, 2010 : Developing a performance measure for snow-level forecasts. J. Hydrometeorology, 11, 739-753.

발행연월 : 2011년 12월, 발행처 : 기상청 예보기술팀(02-2181-0657) —, —, E. T. Strem, F. M. Ralph, and P. J. Neiman, 2002 : An automated brightband height detection algorithm for use with Doppler radar spectral moments. J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 687-697.

알기쉬운 대설판단 가이드

강수형태 구분 및 적설량 계산

대설 판단 가이드스 개략도

대설 판단 가이드스의 최종 목적은 적설량의 계산이며, 강수유무의 판단은 지역예상모델(UM-RDAPS) 강수예상도를 사용한다.

- 1차 강수형태의 구분은 1000-850hPa 층후를 이용하여 눈, 비, 혼재구간으로 보다 세밀하게 나눔 (기존 1000-700 hPa 층후에 비해 개선)
- 2차 강수형태의 구분은 1차 강수형태의 구분에서 지상 기온, 습도로 구성된 식(기존 Matsuo식을 개선)을 이용하여 혼재구간(진눈깨비)의 강수형태를 구분하며 적설구간을 결정
- 1차와 2차에서 강수형태가 눈으로 구분되고 적설구간에 들것으로 판단되면 수 상당량비 계산식(4종의 대기 조건별 수 상당량비 계산식)을 이용하여 적설량 계산



그림 1. 적설량 산출 알고리즘

1차 강수형태 구분 (층후이용)

강수형태 구분을 위해 여러 층후 가운데 1000-850hPa 층후를 선정한 배경

- 2003~2008년, 12~3월간 고층관측지점의 강수형태 별로 구간을 나누어 각 층후별 기준값에 따른 표준편차를 정리하면 표 1과 같다.
- 표 1의 1000-850hPa 층후 기준값 간격이 16gpm으로 다른 층후값을 사용하는 것에 비하여 강수형태 구간을 보다 세밀하게 구분할 수 있다.

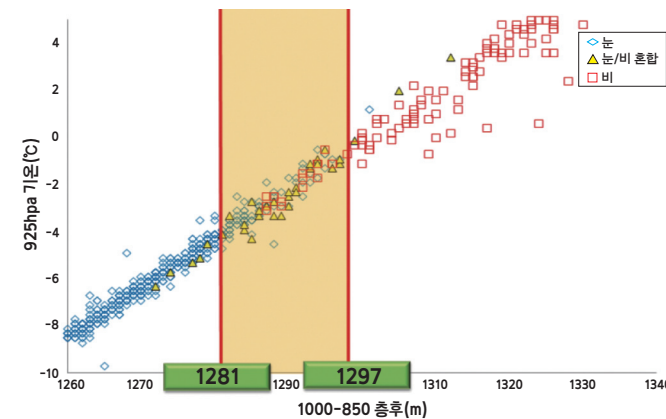


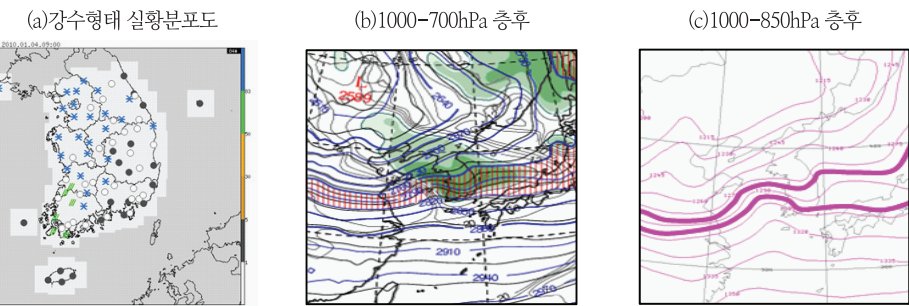
그림 1. 고층관측소 7개지점을 대상으로 2003~2008년 겨울철(12~3월)강수형태에 대한 1000-850hPa 층후와 925hPa 기온과의 그래프

종후	기준gpm	비	gpm간격
1000 - 850hPa	1281	1297	16gpm
850 - 750hPa	1480	1516	36gpm
850 - 500hPa	3952	4064	112gpm
1000 - 700hPa	2762	2810	48gpm
1000 - 500hPa	5237	5357	120gpm

표 1. 고층관측 7개 지점(광주, 속초, 수원(오산 데이터사용) 고산, 백령도, 흑산도, 포항)을 대상으로 총 5년(2003.12~2008.12)간 겨울철(12~3월)강수가 발생한 총 730개 사례 중 진눈깨비만을 대상으로 각각의 종후를 이용하여 기준gpm의 범위를 보여 줌. 같은 지점을 대상으로 총 3년(2009.1~2011.3)간 총 482개 사례를 대상으로 검증한 결과 기준gpm 내(편차 범위 내)에 모두 포함되었음.

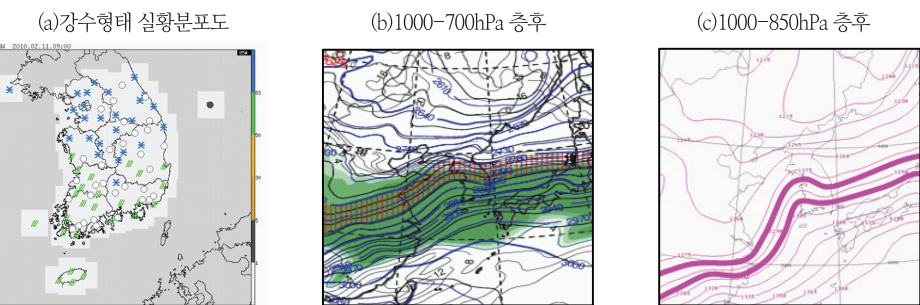
사례비교

그림 2에서 전라남도 지역에 비가 내리고 있으며, 1000-700hPa 종후도에서는 눈-비 혼재구간에 들고, 1000-850hPa 종후도에서는 비 구간에 들어있어 보다 세밀하고 유의미하게 구분하고 있다.



[그림 2. 2010년 1월 4일 9시(KST) 강수형태 실태분포도와 눈-비 구분 종후선도]

그림 3에서 충청남도에 눈이 내리고 있으며, 1000-700hPa 종후도에서는 비 구간에 들어 있고, 1000-850hPa 종후도에서는 눈-비 혼재구간에 들어있어 보다 세밀하고 유의미하게 구분하고 있다.



[그림 3. 2010년 2월 11일 9시(KST) 강수형태 실태분포도와 눈-비 구분 종후선도]

- 고층관측을 하지 않는 다른 지점들에 대해서 적용하기 위해 적설 관측 10개 지점(문산, 대관령, 동해, 서울, 청주, 대전, 군산, 대구, 부산, 목포)에 3년(2009.1~2011.3)동안 진눈깨비가 관측된 사례를 대상으로 KLAPS 분석장 1000-850hPa 종후값의 평균과 표준편차를 계산하였다. 그 결과 대관령을 제외한 전체지점의 1000-850hPa 종후(gpm) 신뢰구간은 1281~1297gpm이었고, 대관령을 포함한 전체지점의 1000-850hPa 종후 신뢰구간은 1282~1302gpm이었다.

종후 사용의 문제점

2003년부터 2011년 까지 겨울철(12~3월) 7개 고층관측소에서 강수가 관측된 총 1212개 사례 중 관측소 해발고도 보다 1000hPa 고도값이 낮은 사례는 백령도 3개 뿐이었음
백령도의 해발고도가 144.86m 이므로, 약 150m 해발고도 이하에 위치한 관측소에서는 1000-850hPa 종후의 1281~1297값은 눈-비 구분을 판단하는데 유용함. 즉 대관령의 경우는 1281~1297값 사용이 곤란함.

2차 혼재구간의 강수형태 구분

지상의 기온과 습도를 이용한 강수형태 구분

- 그림 4는 고층관측소 7개 지점의 1000-850hPa 종후의 비/눈 혼재구간인 1281~1297내에서 지상기온과 상대습도의 구간별 강수형태의 분포를 보여준다.
- Matsuo(1981), Stewart(1992), 서영경 등(2008)은 지상기온과 상대습도만을 이용해 눈-비 혼재구간 내에서 선형식을 이용해 강수형태를 구분했는데, 이 방법을 각 사례에 적용하면 그림 4(b)와 같다. 이 선형식의 왼쪽부분(청색구간)에서는 비가 나타나지 않았으나 오른쪽부분(적색구간)에서는 눈과 진눈깨비, 비가 공존하였다. 이를 개선하기 위해 Matsuo 선형식(파란색 실선)의 오른쪽 구역에서 눈과 진눈깨비가 주로 분포된 곳과 비가 대부분인 지역을 구분하는 선(붉은색 실선: $y = -12x + 120$)을 만들었다.
- Matsuo식의 왼쪽은 눈 구간, 새로 만든 적선의 오른쪽은 비 구간, 가운데는 눈-비-진눈깨비가 혼재된 구간으로 구분이 가능하다. 이 구분방법을 이용해 검증한 결과 그림 4(c)와 같이 나타났다. 새로 만든 식의 오른쪽(적색구간)에 눈은 전혀 나타나지 않았으며, Matsuo식의 왼쪽(청색구간)에서 비도 전혀 나타나지 않았다. 이 두식의 가운데 구역에서 진눈깨비가 가장 많은(69%) 강수형태로 나타났다.

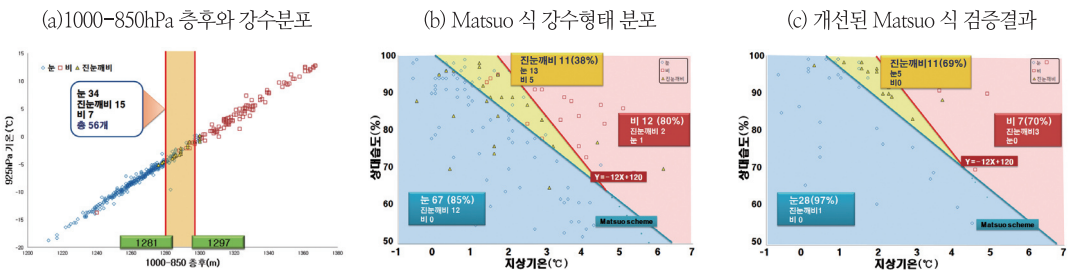


그림 4. 고층관측 7개 지점을 대상으로 총 5년(2003.12~2008.12)간 겨울철(12~3월) 강수가 발생한 총 730개 사례를 대상으로 1000-850hPa 종후와 925hPa 기온과의 강수형태 분포(a)와 (a)의 혼재된 구간(1281~1297)을 대상으로Matsuo식을 적용하여 지상기온과 상대습도 분포(b), (c)는 개선된 Matsuo같은 지점에 대해 총 3년(2009.1~2011.3)간 검증한 자료임

- 고층관측을 하지 않는 다른 지점들에 대해서도 적용가능성을 검증해 보기 위해 KLAPS 분석장을 이용하여 주요 10개 지점의 3년간(2009.1~2011.3) 1000-850hPa 종후의 눈/비 혼재구간(표 2와 같이 각 지점별 평균과 편차에 의한 설정된 범위의 사례)의 강수자료를 대상으로 지상기온과 상대습도로 강수형태 분포도를 작성하였다(그림 5).
- 붉은색 실선($y = -12x + 120$)의 오른쪽 비 구간(적색구간)에서는 대부분이 비(95%)로 관측되었고, 눈은 전혀 기록되지 않았다. 그러나 파란색 실선의 왼쪽 눈 구간(청색구간)에서 진눈깨비와 비가 상당량(27%)을 차지한다. 그림 6과 같이 Matsuo식(파란색 실선)을 약1℃ 왼쪽으로 이동시켰더니, 강수형태가 혼재된 구역에서 눈(46%), 진눈깨비(30%), 비(24%)의 비율이 비교적 고르게 분포하고 눈 구역에서 눈의 비율이 89%로 상승했으며, 비는 3%로 개선되었다.

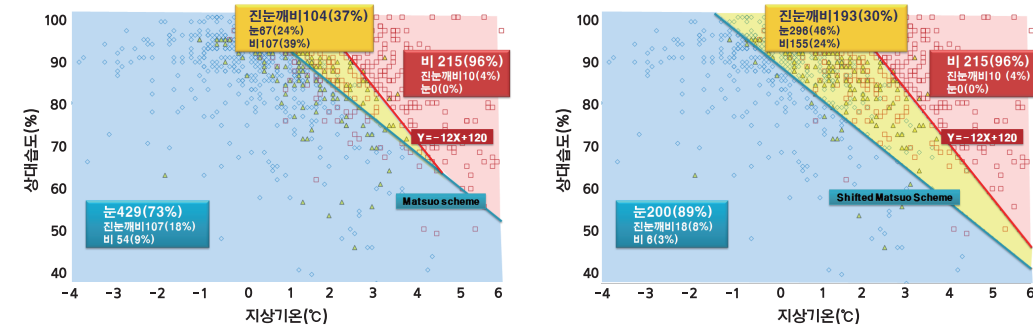


그림 5. 표 2의 10개 지점을 대상으로 정의된 1000-850hPa 강수형태 혼재구간의 사례에 대한 지상기온과 상대습도의 분포도

그림 6. 그림 4와 같은 눈과 혼재구간을 구분하는 Matsuo scheme을 약1℃ 왼쪽으로 이동

혼재구간 내 적설구간 판단

- 눈과 비, 진눈깨비가 혼재된 구간을 대상으로 적설구간을 추려내기 위해 그림 7(a)와 같이 기준을 설정하여 구분하였다. 이것을 요약한 그림 7(b)의 1 구역(적설구간)은 상대습도 75%이상, 기온 0.9℃이하 구역이며, 전체 적설사례 중 88%가 해당하는 구역이다.

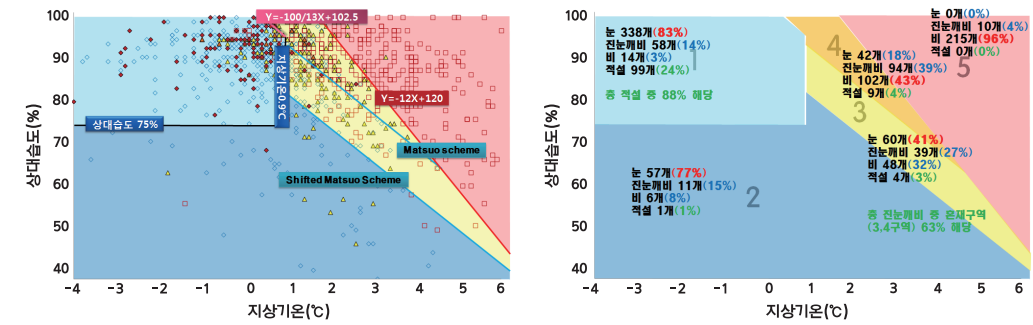


그림 7. (a)적설구간을 포함한 강수유형 판단 기준값, (b) 강수유형, 적설 판단표
그림4(c)와 같은 (a)각 구역별 계산식과 (b)적설구간(1구역)을 포함한 눈(2), 진눈깨비(3,4), 비(5) 구간 판단표. 붉은색으로 채색된 심볼은 적설(0.1cm 이상)을 의미함

구간별 강수유형의 정의와 산출식

표 2. 각 강수유형 구간별 정의와 산출식

구분	영역	산출식	권장예보
적설구간		상대습도≥75% 지상기온≤0.9℃ 상대습도<-100/13×지상기온+102.5	눈, 적설
눈 구간		지상기온>0.9, 상대습도<-100/13×지상기온+89.5 또는 지상기온≤0.9, 상대습도<75	눈
진눈깨비 (눈 우세)구간		상대습도≥-100/13×지상기온+89.5 상대습도<-100/13×지상기온+100 상대습도<-12×지상기온+120 지상기온>0.9	눈/비
진눈깨비 (비 우세)구간		지상기온>0.9 상대습도≥-100/13×지상기온+100 상대습도<-12×지상기온+120 또는 지상기온≤0.9 상대습도≥-100/13×지상기온+102.5	비/눈
비 구간		상대습도≥-12×지상기온+120	비

수 상당량비 계산

강설 대기안정도를 고려

- 그림 8은 일 적설 20cm 이상 발생한 사례 중 극단적인 대기구조의 두 사례로서, 안정한 대기상태에서 지상부터 850hPa까지 기온의 변화가 거의 없는 역전층 대기상태와 포화된 상태에서 습윤기온감율로 고도에 따라 기온이 감소하는 불안정한 대기상태를 보여준다.
- 지상의 기온이 영하라면 눈은 쌓이게 되는 것이 일반적이므로, 안정한 대기상태일 경우(그림 8(a)) 지상과 850hPa 기온이 비슷한 상태라고 볼 수 있다.
- 만약, 지상의 기온이 0℃이상이라면, 850hPa 기온이 0℃보다 낮지 않을 경우 눈이 내릴 수 있는 조건을 만족하지 못한다.