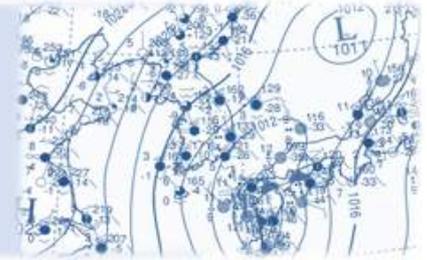


= 겨울방재기상 대비 특집 =
대설 판단 가이드선스

·발행: 예보국 ·문의: 예보기술팀(내선 1656/1657) ·발행일: 2011년 10월 18일(화)



눈이 쌓일 수 있을 정도로 대기과 지면의 기온이 낮은 상황에서 함박눈과 같이 수 상당량비가 높게 형성되는 경우에는 1~3mm의 적은 강수량에서도 대설(5cm 이상)이 발생할 수 있다. 대설 예보를 위해서는 강수형태 즉, 눈, 비 또는 진눈깨비의 구분이 우선되어야 하며, 눈과 진눈깨비가 어떤 조건하에서 지면에 쌓이는지 알아내야 한다. 그리고 적설이 된다면, 함박눈 또는 싸리눈과 같이 눈과 비의 비율인 수 상당량비를 계산해야 적설량을 산출 할 수 있다. 이와 같이, 적설이나 대설예보는 강수량 예보의 정확성, 강수형태 예보의 정확성, 수 상당량비의 정확성이 모두 요구되므로 비나 호우에 측보다 상대적으로 더 어렵고 복잡하다.

적설예보 절차

그림 1은 적설량 산출 방법에 대한 간단한 순서도를 보여준다. 일단, 강수를 예상한다면, 대기분석을 통해 눈·진눈깨비·비 의 강수형태을 판단해야 한다. 다음으로 눈·진눈깨비가 예상된다면 과연 언제부터 지면에 쌓일 것인가를 결정해야 한다. 다음으로 적설이 예상되는 시간에 대기조건을 통해 수 상당량비를 계산해야 하며, 예상강수량과 연산(곱셈)을 통해 최종적으로 적설량을 산출할 수 있다. 이번 호에서는 과거 사례 분석으로도출된 적설예보 절차에 따라 강수형태 판단, 적설유무판단, 수 상당량비 계산방법을 제시하고자 한다,



그림 1 적설 예보 절차

I. 강수형태 판단

기상청에서는 현재 강수형태 판별에 1000-700hPa 층후선도를 활용하고 있다. 1000-700hPa 층후값¹⁾을 이용한 눈, 비 구분법은 전세계적으로 오랜기간 사용해온 방법이나 우리나라와 같이 겨울철에 낮은 고도에서 눈 구름이 형성되는 경우에는 강수형태 판별의 정확성을 보장하기 어렵다. 약 5년(2003~2008, 12~3월)간 고층관측지점의 진눈깨비사례를 이용하여 기준값과 편차를 정리하면 표 1과 같다. 표 1의 1000-850hPa 층후에서 표준편차 간격이 16gpm으로 다른 층후값에 비해 좁은 구간을 나타냈다. 이후 3년(2009~2011)간 검증한 결과 이 범위 내에 모두 포함되었다.

1) Bluestein(1993)은 1000-700hPa 2760m 층후값의 평균온도가 264.23K가 되므로 평균 기온감율을 고려하면 지상 기온이 0°C가 되므로 이런 대기 하층부의 층후구간으로 강수형태를 구분할 수 있음을 보였다.

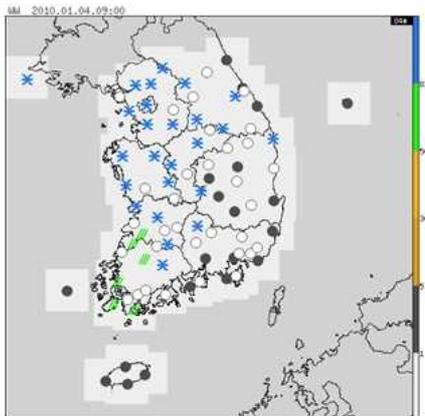
층후	눈	비	gpm간격
	기준gpm		
1000-850hPa	1281	1297	16gpm
850-700hPa	1480	1516	36gpm
850-500hPa	3952	4064	112gpm
1000-700hPa	2762	2810	48gpm
1000-500hPa	5237	5357	120gpm

표 1 고층관측 7개 지점을 대상으로 총 5년 (2003.12.~2008.12)간 겨울철(12~3월) 강수가 발생한 총 730개 사례 중 진눈깨비를 대상으로 각각의 층후를 이용하여 표준편차(유의최대(소)) 범위를 보여 줌. 같은 지점을 대상으로 총 3년 (2009.1.~2011.3.)간 총 482개 사례를 대상으로 검증한 결과 기준 gpm 내(편차 범위 내)에 모두 포함되었음.

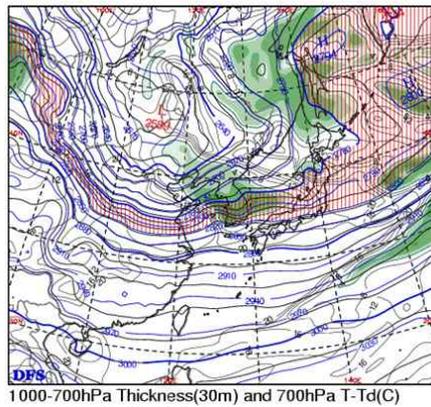
※ 고층관측 지점(7소): 속초, 백령도, 오산, 포항, 광주, 흑산도, 고산

그림 2와 3은 실제 강수가 있었던 2개의 사례에 대해 강수형태 실황분포도와 1000-700hPa 층후, 1000-850hPa 층후에 의한 눈·비 구간을 비교해서 보여준다. 그림 2에서 전라남도 지역에 비가 내리고 있으며, 1000-700hPa 층후도에서는 눈·비 혼재구간에 들고, 1000-850hPa 층후도에서는 비 구간에 들어있다. 그림 3에서 충청남도에서 눈이 내리고 있으며, 1000-700hPa 층후도에서는 비 구간에 들어 있고, 1000-850hPa 층후도에서는 눈·비 혼재구간에 들어있다. 1000-850hPa 층후선도의 1281~1297값은 1000-700hPa 층후값(현재 표출하는 2760~2820)의 폭에 비해 좁은 구역으로 표출되며, 판별하는 정확성도 높다고 할 수 있다.

(a) 강수형태 실황분포도



(b) 1000-700hPa 층후



(c) 1000-850hPa 층후

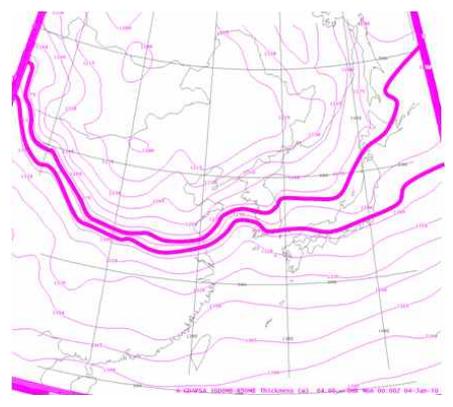
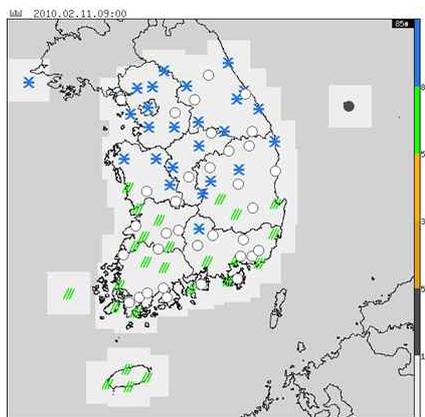
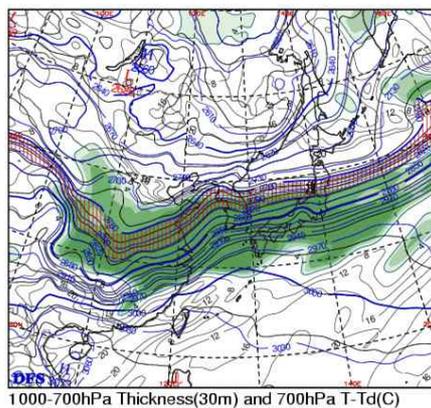


그림 2. 2010년 1월 4일 9시(KST) 강수형태 실황분포도와 눈·비 구분 층후선도

(a) 강수형태 실황분포도



(b) 1000-700hPa 층후



(c) 1000-850hPa 층후

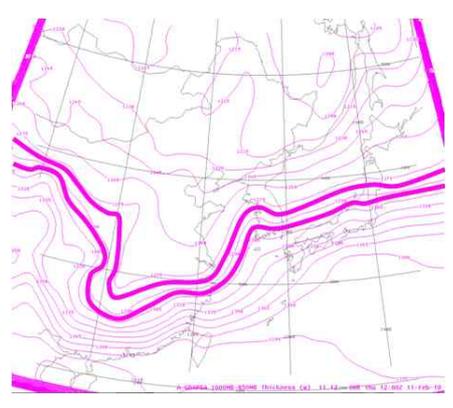


그림 3. 2010년 2월 11일 9시(KST) 강수형태 실황분포도와 눈·비 구분 층후선도

그렇지만 높은 정확도에도 불구하고 고지대에 이 기준을 적용하기에는 한계가 있다. 겨울이 여름에 비해 지표부근의 기압이 높아 1000hPa의 고도값이 관측소 해발고도보다 높은 것이 대부분이나 대관령과 같은 고지대의 경우 지표부근이 아닌 지하고도에 해당하기 때문이다. 강수형태 구분을 위해 1000hPa를 사용하는 층후값에서 모두 같은 문제가 발생한다. 따라서, 해발고도 150m 이하에 위치한 관측소에서 이 값을 적용하기엔 무리가 없지만 이 보다 높은 지점에서는 신뢰도가 떨어진다. 2003년부터 2011년 까지 겨울철(12~3월) 7개 고층관측소에서 강수가 관측된 총 1212개 사례 중 관측소 해발고도보다 1000hPa 고도값이 낮은 사례는 3개 뿐 이었다. 고층관측소 중 해발고도가 가장 높은 백령도가 144.86m이므로, 약 150m 해발고도 이하에 위치한 관측소에서는 1000-850hPa 층후의 1281~1297값은 눈·비 구분을 판단하는데 유용한 자료가 된다.

예측 활용도를 점검하기 위하여 2009년 1월부터 2011년 3월까지 표 2와 같이 주요 10개 지점을 대상으로 진눈깨비 관측 사례와 KLAPS 분석장 1000-850hPa 층후값을 추출하여 평균과 표준편차를 분석하였다. 평균값에서 표준편차를 감한 최소값은 청주에서 1278을 보였으며, 표준편차를 더한 최대값은 대관령에서 1313을 보였다. 대관령을 제외한 최대값은 목포에서 1302를 기록하였다. 10개 지점을 평균하면 표준편차에 의한 최소값은 1282, 최대값은 1302를 보여, 고층관측자료를 이용하여 설정한 1281, 1297과 최대값에서 5의 차이를 보였지만, 대관령을 제외한 전체 9개 지점에서는 최소 1281, 최대 1297로 고층관측자료를 이용한 결과와 일치된 결과를 나타냈다.

표 2. 적설관측 10개 지점을 대상으로 3년(2009.1.~2011.3.)동안 진눈깨비가 관측된 사례를 대상으로 KLAPS 분석장 1000-850hPa 층후값의 평균과 표준편차

지점명	해발고도 (m)	진눈깨비 사례	진눈깨비 사례	눈 구분 기준값	비 구분 기준값
		1000-850hPa층후 평균값(gpm)	1000-850hPa층후 표준편차	평균값-표준편차 (gpm)	평균값+표준편차 (gpm)
문산	29.4	1292	8	1284	1300
대관령	772.6	1306	7	1299	1313
동해	39.9	1285	6	1279	1291
서울	85.8	1289	6	1283	1295
청주	57.2	1285	7	1278	1292
대전	68.9	1286	7	1279	1293
군산	25.6	1291	7	1284	1298
대구	64.1	1293	7	1286	1300
부산	69.6	1289	5	1284	1294
목포	38.0	1293	9	1284	1302

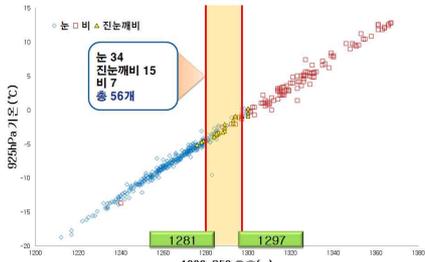
대관령을 제외한 전체지점의 gpm 신뢰구간은 1281~1297

대관령을 포함한 전체지점의 gpm 신뢰구간은 1282~1302

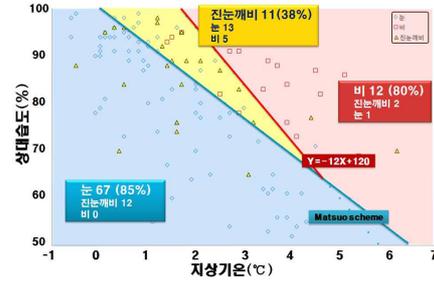
2. 적설 유무 판단

그림 4는 1000-850hPa 층후의 진눈깨비 구간인 1281~1297내에 포함된 강수사례를 지상기온과 상대습도의 분포로 보여준다. Matsuo(1981), Stewart(1992), 서영경 등(2008)은 지상기온과 상대 습도만을 이용해 눈·비 혼재구간 내에서 선형식을 이용해 강수형태를 구분했는데, 그림 4(b)와 같이 이 방법을 각 사례에 적용하였더니 이 선형식의 왼쪽부분(파란색 실선)에서는 비가 나타나지 않았으나 오른쪽 구역에서는 눈과 진눈깨비, 비가 공존하였다.

(a) 1000-850hPa 층후와 강수분포



(b) 지상기온과 상대습도 관계



(c) 지상기온과 상대습도 관계 검증

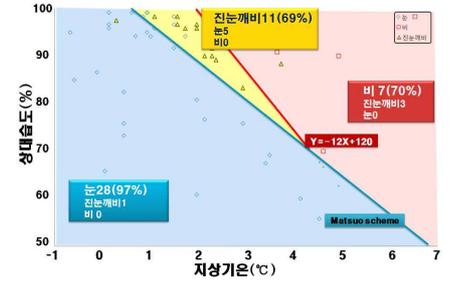


그림 4. 고층관측 7개 지점을 대상으로 총 5년(2003.12.~2008.12)간 겨울철(12~3월) 강수가 발생한 총 730개 사례를 대상으로 1000-850hPa 층후와 925hPa 기온과의 강수형태 분포(a)와 (a)의 혼재된 구간(1281~1297)을 대상으로 지상기온과 상대습도 분포(b), (c)는 같은 지점을 대상으로 총 3년(2009.1.~2011.3.)간 검증한 자료임

Matsuo 선형식(파란색 실선)의 오른쪽 구역에서 눈과 진눈깨비가 주로 분포된 곳과 비가 대부분인 지역을 구분하는 선(붉은색 실선: $y = -12x + 120$)을 만들었다. 따라서, Matsuo식의 왼쪽은 눈 구역, 새로 만든 직선의 오른쪽은 비 구역, 가운데는 눈·비·진눈깨비가 혼재된 구역으로 구분이 가능하다. 이 구분방법을 이용해 검증한 결과 그림 4(c)와 같이 나타났다. 새로 만든 식의 오른쪽에 눈은 전혀 나타나지 않았으며, Matsuo식의 왼쪽에서 비도 전혀 나타나지 않았다. 이 두식의 가운데 구역에서 진눈깨비가 가장 많은(69%) 강수형태로 나타났다.

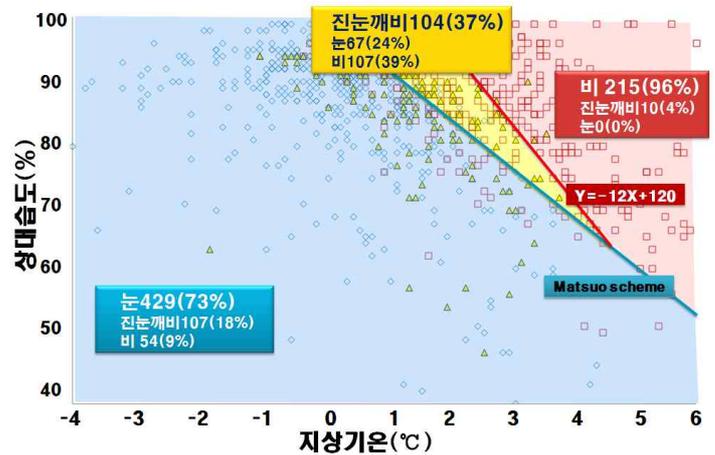


그림 5. 표 2의 10개 지점을 대상으로 정의된 1000-850hPa 강수형태 혼재구간의 사례에 대한 지상기온과 상대습도의 분포도

고층관측을 하지 않는 다른 지점들에 대해서도 적용가능성을 검증해 보기 위해 KLAPS 분석장을 이용하여 주요 10개 지점의 3년간(2009.1.~2011.3) 1000-850hPa 층후의 진눈깨비 구간(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 영역인 비 구역에서는 대부분이 비(95%)로 관측되었고, 눈은 전혀 기록되지 않았다. 그러나 파란색 실선의 왼쪽 영역인 눈 구역에서 진눈깨비와 비가 상당량(27%)을 차지한다. 그림 6과 같이 Matsuo 식(파란색 실선)을 1°C 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%에 불과하였다.

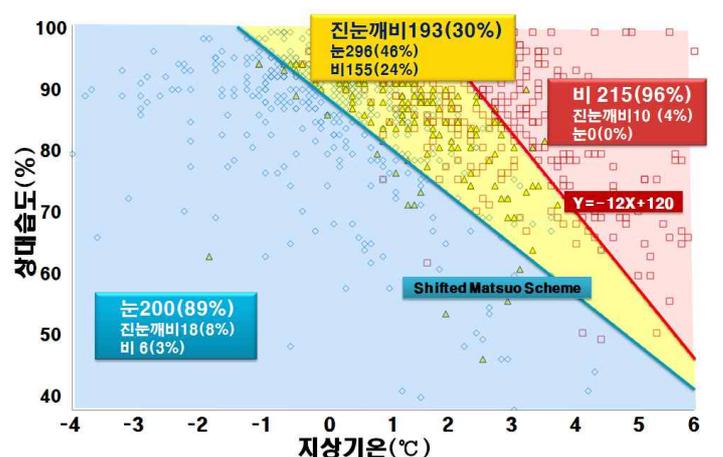
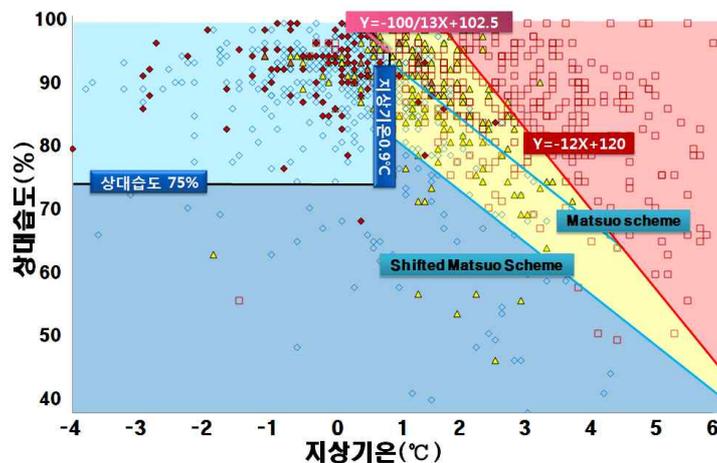


그림 6. 그림 4와 같으나 눈과 진눈깨비를 구분하는 Matsuo scheme을 1°C 왼쪽으로 이동

개선된 Matsuo 그래프를 이용한 적설구역 판단

눈과 비, 진눈깨비가 혼재된 구간을 대상으로 적설구역을 추려내기 위해 그림 7(a)와 같이 기준을 설정하여 구분하였다. 이것을 요약한 그림 7(b)의 1 구역(적설구역)은 상대습도 75% 이상, 기온 0.9°C 이하 구역이며, 전체 적설사례 중 88%가 해당하는 구역이다. 1, 2구역은 모두 눈 구역으로서, 눈이 관측된 사례가 각각 83%, 77%로 가장 높으며, 진눈깨비를 눈으로 포함하면, 각각 97%, 92%를 나타낸다. 3, 4구역(강수형태 혼재구역)에서 3구역은 눈(41%)이 가장 많이 분포하며, 4구역은 비(43%)가 가장 많이 분포한다. 5구역은 비 구역으로서 96% 비가 나타났다. 따라서, 강수유형, 적설 판단표를 이용해 지상기온과 상대습도만으로 간단하게 눈, 비, 진눈깨비, 적설 판단이 가능하다. 1, 2구역은 눈 예보를, 3구역은 눈이 우세한 눈/비 예보를 4구역은 비가 우세한 비/눈 예보를, 5구역은 비 예보를 하면 된다. 따라서 강수 예상추이가 4구역에서 5구역으로 이동할 것으로 판단한 경우 굳이 눈 예보 보다 비 예보를 하는 것이 좋으며, 3구역에서 1, 2구역으로 이동할 것으로 판단한 경우 눈, 적설 예보를 고려해야 한다.

(a) 적설구역을 포함한 강수유형 판단 기준값



(b) 강수유형, 적설 판단표

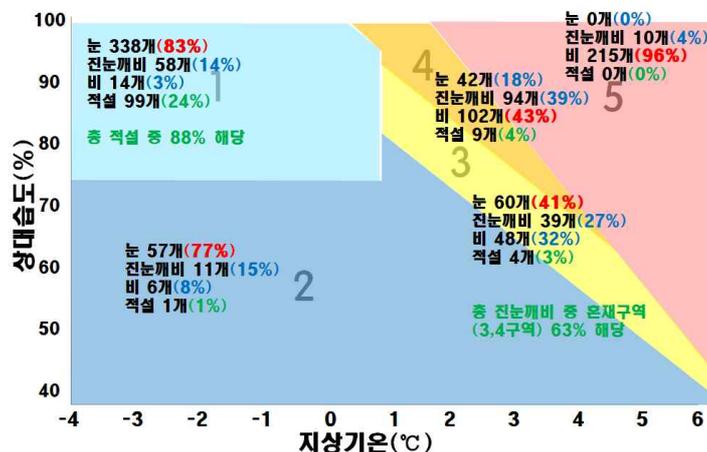
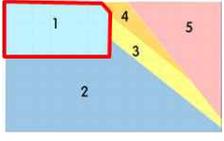
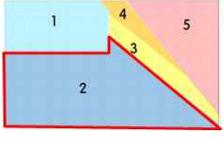
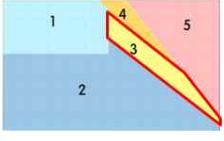
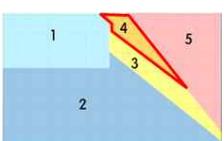
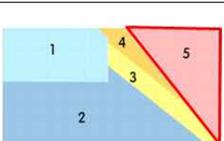


그림 7. 그림4(c)와 같으나 (a)각 구역별 계산식과 (b)적설구역(1구역)을 포함한 눈(2), 진눈깨비(3,4), 비(5) 구역 판단표. 붉은색으로 채색된 심볼은 적설(0.1cm 이상)을 의미함

표 3. 각 강수유형 구분별 정의와 산출 식

구분	영역	산출 식	권장예보
적설구역		<ul style="list-style-type: none"> · 상대습도 $\geq 75\%$, 지상기온 $\leq 0.9^\circ\text{C}$, · 상대습도 $< -100/13 \times \text{지상기온} + 102.5$ 	눈, 적설량
눈 구역		<ul style="list-style-type: none"> · 지상기온 > 0.9, · 상대습도 $< -100/13 \times \text{지상기온} + 89.5$ · 지상기온 ≤ 0.9, 상대습도 < 75 	눈
진눈깨비 (눈 우세)구역		<ul style="list-style-type: none"> · 상대습도 $\geq -100/13 \times \text{지상기온} + 89.5$, · 상대습도 $< -100/13 \times \text{지상기온} + 100$, · 상대습도 $< -12 \times \text{지상기온} + 120$, · 지상기온 > 0.9 	눈/비
진눈깨비 (비 우세)구역		<ul style="list-style-type: none"> · 지상기온 > 0.9, · 상대습도 $\geq -100/13 \times \text{지상기온} + 100$, · 상대습도 $< -12 \times \text{지상기온} + 120$ · 지상기온 ≤ 0.9, · 상대습도 $\geq -100/13 \times \text{지상기온} + 102.5$ 	비/눈
비 구역		<ul style="list-style-type: none"> · 상대습도 $\geq -12 \times \text{지상기온} + 120$ 	비

3. 수 상당량비 계산

대기조건이 적설가능 구역에 들 것으로 예상되면 강수량을 눈으로 환산해야 적설량을 예측해야한다. 이 때, 대기조건별 눈과 비의 비율인 수 상당량비 계산이 필요하다. 그림 8은 극단적인 대기구조의 두 사례로서, 안정한 대기상태에서 지상부터 850hPa까지 기온의 변화가 거의 없는 역전층 대기상태와 포화된 상태에서 습윤기온감율로 고도에 따라 기온이 감소하는 불안정한 대기상태를 보여준다. 일반적으로 지상의 기온이 영하라면 눈은 쌓이게 되므로, 안정한 대기상태일 경우(그림 8(a)) 지상과 850hPa 기온이 비슷한 상태라고 볼 수 있다. 만약, 지상의 기온이 0°C 이상이라면, 850hPa 기온이 0°C보다 낮지 않다면, 눈이 내릴 수 있는 조건을 만족하지 못한다. 일반적으로 0°C 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°C일 경우 850hPa 기온은 약 -8°C가 된다. -10°C이하의 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, 850hPa의 -8°C는 습설과 건설을 가능할 수 있는 지표가 될 수 있다.



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

850hPa의 -8°C , 지상기온 0°C 의 기준값을 이용하여 그림 9와 같이 4개의 조건별 수 상당량비 계산을 한다. 그림 10은 30년(1981~2010)간 12~3월 고층관측 7개 지점을 대상으로 3시간 신적설이 0.1cm 이상인 1081개 사례에 대해 강수량과 수 상당량비의 관계를 4개의 추세식으로 보여준다. 가운데 굵은 파란색 선은 전체 사례에 대한 추세곡선이며, 이 외에 1~4번으로 보여진 곡선은 그림 9의 조건별 추세선이다. 1~4번의 추세선은 각각 수 상당량비 값이 다르다. 표 4는 각 4개의 수 상당량비 계산식으로 얻어진 적설량 값과 실제적설량과의 RMSE와 상관계수를 보여준다. 전체 RMSE는 0.8, 상관계수는 0.86을 보였다. 그림 10에서 보면, 적은 강수량에서 수 상당량비의 차이가 다소 발생하지만 적설량으로 산출시 그 값의 차이는 많은 강수량에 비해 작다. Byun et al.(2008)은 누적 강수량과 수 상당량비 계산과의 관련성을 각 강수량(1mm 단위) 단위별로 계산하여 제시하였는데, 단순한 누적강수량 대비 수 상당량비 계산법보다 개선된 결과를 보였다.

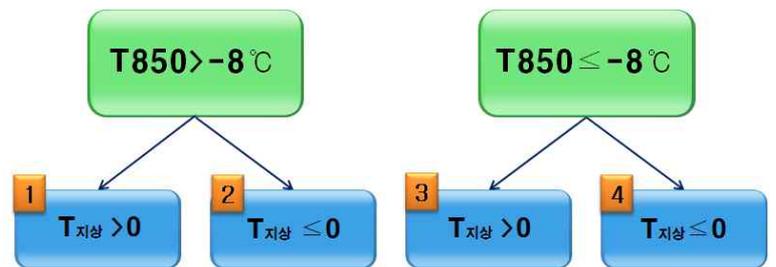


그림 9. 수 상당량비 산출을 위한 총 4개의 구분 조건

결론적으로, 앞서 제시한 강수형태 판단과 적설유무 판별방법을 이용해 적설이 예상되는 경우, 4개의 조건별 수 상당량비 계산식을 적용하여, 예상강수량과 구해진 수 상당량비를 곱하여 적설량을 산출할 수 있다.

표 4. 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

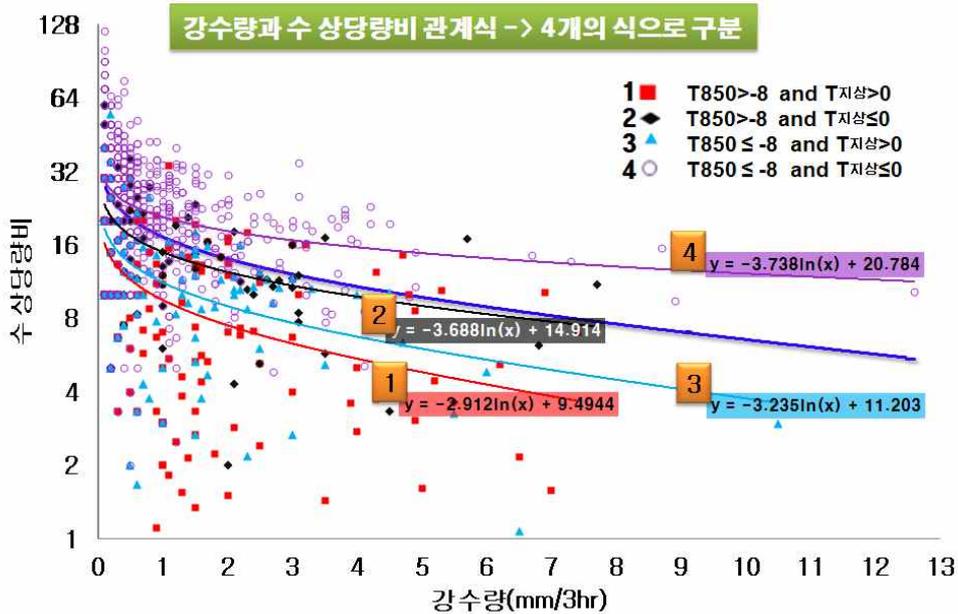


그림 10. 30년(1981~2010)간 발생된 3시간 신적설 0.1cm 이상 총 1081개 사례에 대해 그림 8의 4개 조건에 대한 추세선

"손에 잡히는 예보기술" 과월호 열람안내

손에 잡히는 예보기술 과월호는 예보관 온라인 가이드에서 보실 수 있습니다.

- 종합기상정보시스템 - 예보 - 예보관 가이드의 "손에 잡히는 예보기술" 메뉴



< 다시보기 - 예보관핸드북: 한눈에 보는 대설개념모델 >

대설 개념모델 6종

우리나라에서 발생한 10년(2001~2010)간 총 50개 대설사례(대설경보 기준)를 시스템별로 구분하였다. 가장 기본적으로 상층 한대제트축(Polar Jet Streak)을 기준으로 북쪽과 남쪽에서 영향을 받는 시스템별로 구분하였다. 그림 11과 같이 상층 한대제트 북쪽은 극 기단 혹은 한랭기단 영향에서 발생되므로 비 보다 눈이 발생하기 쉬우며, 제트축의 남쪽은 하층대기에서 한랭한 공기의 영향을 받을 때에 눈이 내릴 수 있다.

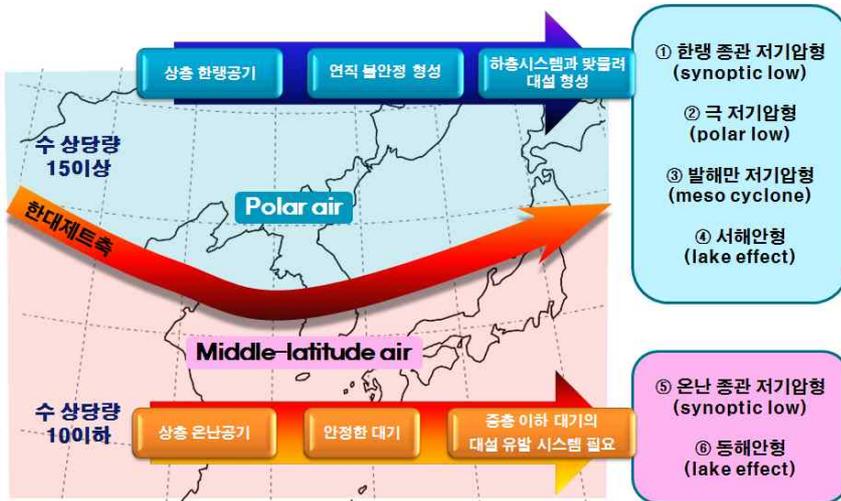


그림 11. 10년(2001~2010)간 발생한 대설사례를 대상으로 한대제트 축(streak)을 기준으로 대설시스템 구분 모식도

1. 한랭 종관 저기압형

한대제트 북쪽의 차가운 기단 안에서 중국 중부 내륙에서 발생한 저기압이 서해상을 지나 우리나라 내륙으로 통과하는 사례로서, 저기압 발달 단계에 해당하며 동중국해와 서해상에서 습윤한 공기를 공급받아 내륙으로 이동하면서 대설이 발생한다. 종관일기도에서 발달한 저기압 중심이 보이며, 주 강설 구역은 저기압 중심 진로의 동쪽과 북쪽에 형성된다. 지상의 기온이 0℃ 이하라면, 수 상당량 비는 15이상의 높은 값으로 적설을 산출할 수 있다. 대표적인 사례는 2001.2.15, 2004.3.5, 2010.1.4 등이 있다.

2. 극 저기압형

대설 사례 중 가장 차가운 극 공기를 수반한 중규모 저기압에 의해 발생하며, 주로 동해안 대설 사례가 많고, 전체적인 발생 빈도는 낮다. 중상층 대기의 매우 차가운 공기와 해양의 따뜻한 수온 사이에 큰 온도차로 인한 연직 불안정 대기가 대설 발생을 유발하는 가장 큰 원인이다. 중심 최저기온이 영하 35℃ 이하인

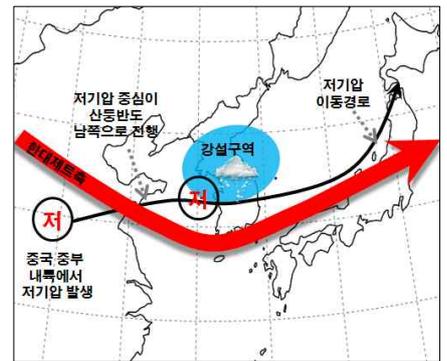


그림 12. 한랭 종관 저기압형 대설 구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도 (아래)

500hPa 절리저기압에서 콤팩트형 구름대, 혹은 나선형 구름대가 나타나므로 위성영상에서 중심을 찾아낼 수 있지만 규모가 200km 내외이므로 종관규모 일기도에서 중심을 찾아내기가 쉽지 않다. 500hPa 와도축 내부에서 강설은 -30°C 이하 구역으로 한정되고 500hPa 부근에 대류권계면 접힘 현상이 나타난다. 극저기압은 항상 바다에서만 형성되고 육지에 들어오면, 세력이 급격히 약화된다. 또한, 500hPa 절리저기압과 함께 극저기압을 감싸던 와도축이 극저기압 중심 상공을 빠져 나가면 소멸한다. 강설 구역은 500hPa 절리저기압 내부에 $10e^{-5}/\text{s}$ 이상의 와도 축 내부로 한정된다. 관측지점의 500hPa 기온이 -35°C 이하이면, 평균적으로 시간당 1.5~2cm 적설이 되고, 500hPa 기온이 $-30 \sim -35^{\circ}\text{C}$ 의 구역에 든다면, 강설 시작 후 평균 3시간 이후 적설이 나타나며, 평균적으로 총 강설시간 동안 시간당 1cm 이하 적설이 나타난다. 대표적인 사례는 2005.1.16, 2005.3.5, 2008.2.9 등이 있다.

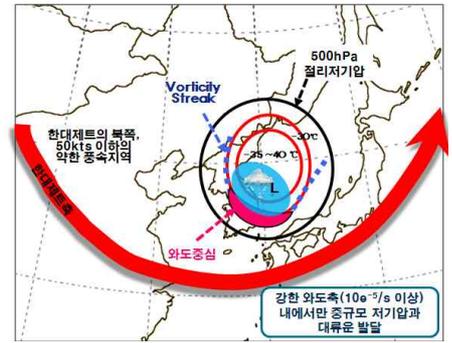


그림 13. 극저기압형 대설구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도(아래)

3. 발해만 저기압형

차가운 기단 내에서 더 차가운 공기의 파동에 의해 발생하는 중규모 저기압이 중부이북지방을 지나면서 대설이 나타나는 유형이다. 주로, 서울-경기도에서 발생하는 대설 유형이며 평균적으로 1~3cm, 최대 10cm 미만의 적설이 나타난다. 저기압 발달초기 단계로써 대류 발달이 약하며, 종관일기도에서 저기압의 중심을 찾기가 난해하다. 지상은 시베리아 고기압에서 변질된 이동성 고기압이 중국 남동부지역에 위치하고, 중상층 대기의 한랭한 공기를 동반한 단파 골(trough) 접근시에 발생한다. 서해상에 해기차로 생성된 눈구름의 유입으로 강설이 시작한다. 강설 구역은 저기압 중심에서 남쪽과 동쪽에만 분포하고, 700hPa 이하 하층 대기에서 서풍형의 풍계에서 나타난다. 지상의 기온이 0°C 이하라면, 수 상당량 비는 15이상의 값으로 적설을 산출할 수 있다.

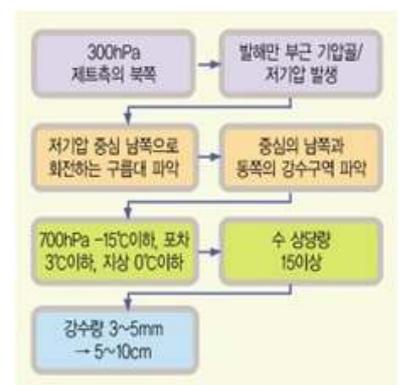


그림 14. 발해만 저기압형 대설구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도(아래)

4. 서해안형

한대제트 북쪽의 차가운 기단 내에서 시베리아 고기압이 확장할 때 해기차에 의해 만들어진 눈구름이 충남서해안 및 전라남 북도에 대설을 발생시키는 사례로서, 가장 빈번하게 대설을 유발하는 유형이다. 850hPa의 풍속이 40kts 이상이고, 850hPa 기온과 해수면 온도와의 차가 15°C (주의보), 20°C (경보) 이상일 때 대설이 나타난다.

850hPa 한랭전선 통과시부터 온도골이 지나가기까지의 구간을 강설 구역으로 설정할 수 있으며, 925hPa 풍향이 중국 동해안에서 관측지점으로 유입 가능한 형태이어야 하며, 수 상당량비는 15~20

으로 적설량을 산출 할 수 있다.

5. 온난 종관저기압형

한대제트 남쪽의 따뜻한 기단 내에서 중국 내륙에서 발생한 저기압이 남해상으로 지날 때 저기압 중심의 북쪽에서 강설이 나타나는 유형으로서, 지상 및 하층대기에 차가운 공기가 빠져나가지 못하고 상층의 온난한 공기가 유입되어 매우 안정한 연직 층 구조를 보인다. 종관일기도에서 발달한 저기압 중심이 보이며, 한대제트축의 남쪽에 저기압 중심이 위치한다. 저기압 중심이 남해상으로 진출하면서 저기압 중심 북쪽에 강설현상이 나타나며, 지상에서 동풍기류가 유입되면서 강설이 있다가 북서풍 기류로 바뀌면서 강설이 종료된다. 저기압 이동로의 북쪽과 한대제트축 남쪽으로 강설구역이 제한된다. 중·상층 대기의 기온이 온난하므로 850hPa이하의 지표부근 대기기온과 지상의 기온이 절대적으로 중요하다. 수 상당량 비는 10이하이다.

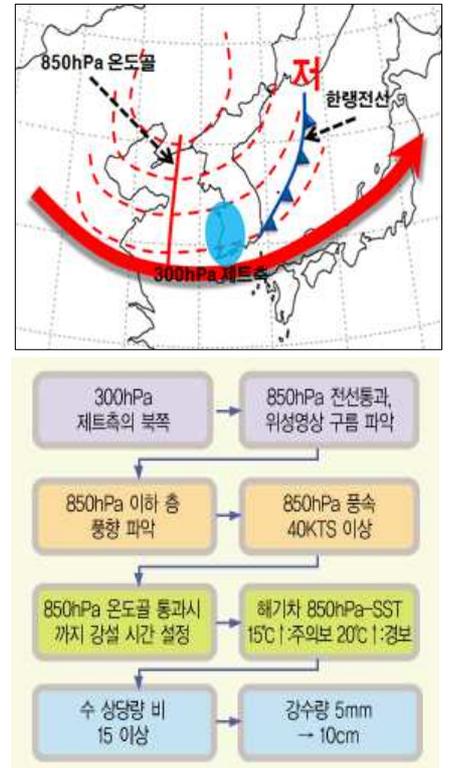


그림 15. 서해안형 대설구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도(아래)

6. 동해안형

연해주 부근에 500hPa 저기압이 정체되어 있을 때, 그 후면에서 침강현상이 대규모로 일어나 지상에 중국 북동부 지역의 고기압이 발달되어 동풍류가 동해안으로 유입되는 강설 유형이다. 낮은 수 상당량 비를 보이거나 정체된 일기배치에서 나타나는 강설형태이므로 지속시간 1일 이상 나타나기도 한다. 영동산악 지방을 중심으로 대설이 나타나며, 대관령이 가장 빈도가 높다. 지상에서 700hPa 부근까지 습윤층이 분포하며, 동해안은 지상의 동풍에서 500hPa 서풍으로 뚜렷한 바람이 반전(backing)하는 현상이 나타난다. 주 강설 구역은 영동지방이며, 해상에서 대류성 눈구름이 만들어진 후 유입된다. 해상을 거쳐 들어오는 바람의 영향을 받지 않을 때까지 강설이 지속되며, 수 상당량 비는 적은 강수량에서는 10 내외이나 지속시간이 길어지면 10 이하를 보인다.

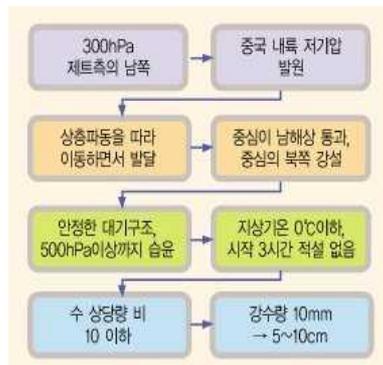
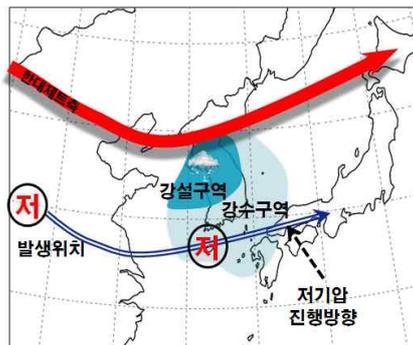


그림 16. 온난 종관저기압형 대설구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도(아래)

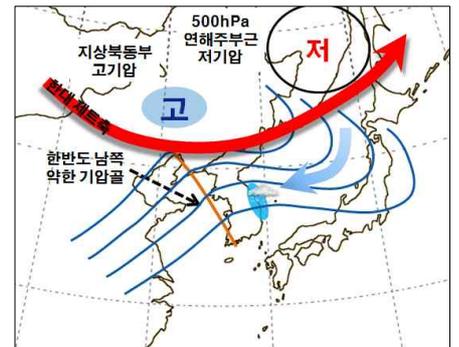


그림 17. 동해안형 대설구역 모식도(위)와 적설 산출 순서도(아래)

<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 I. 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., 1999: 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. Gattas., 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.
- , -----, 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.