

예보가이던스 개발

- cP 기단 확장 시 광주 전남 대설
가이던스 -

소속: 기상청

성명: 박준형

2021. 9. 30

1. 서론

1.1 연구배경

지구대기는 위도가 높아짐에 따라 태양복사에너지와 지구복사에너지의 차이로 적도의 남는 에너지를 극으로 이동시켜 에너지 불균형을 해소하기 위해 편서풍파동이 나타난다. 겨울철은 남북의 기온차가 크게 나타나고 북극 주변에 위치한 제트류의 파동은 남북으로 진폭이 크게 나타나는데, 우리나라는 주기적으로 고기압과 저기압이 지나가며 우리가 잘 아는 삼한사온, 대설, 한파와 같은 기상현상이 나타난다.

광주와 전라남도는 서해안을 끼고 있는 지형학적 위치로 인해 11~1월까지 강설이 많이 발생한다. 광주광역시도 전라남도 중북부에 위치하고 있으며, 2021년 기준 인구는 약 144만명이고 대한민국 제 5의 도시이나 광역시 중 면적은 가장 작아 인구밀도가 높다. 전라남도의 중앙에 위치하고 있어 내륙과 해안의 접이지대의 기후를 가지고 있으며, 광주광역시청에서 황해까지 35km로 의외로 해안과 가깝다. 전라남도는 5개의 시와 17개의 군으로 이루어져 있고 인구는 약 180만 명이다. 동쪽은 지리산 등의 높은 산으로 이루어져 있고 서쪽은 평야가 많아 전형적인 동고서저의 지형형태와 해안선은 대륙이 융기했다가 침강하며 저지대가 침식되어 생기는 리아스식 해안 지형으로 이루어져 있다. 산이 많은 만큼 분지도 많고, 평야지역도 있어 지형의 특성이 복잡하다.

겨울철 광주와 전라남도는 11~1월까지 대설로 인해 많은 재산과 인명의 피해를 받고 있다. 그 중 최근 2020년 12월 29일부터 31일, 3일 동안 장성에 19.8cm, 나주에 18.9cm, 광주광역시에 18.5cm의 많은 눈이 내렸다. 이 3일 동안 대설에 의한 많은 교통사고가 발생하여 차량 피해를 당했고, 그 외에도 1명의 사망사고까지 발생하였다. 그 밖에도 낙상, 출퇴근 교통정체, 비닐하우스 붕괴 등 다수의 국민들이 재산피해 뿐만 아니라 일상생활에 큰 불편을 겪었다. 광주, 전남에 영향을 끼치는 대설형태는 기상청에서 6개의 대설개념모델(한랭중관저기압형, 극저기압형, 발해만저기압형, 서해안형, 온난중관저기압형, 동해안형) 중 서해안형이다. 서해안형은 대륙의 찬 고기압이 서해를 지나면서 발생하는 호수효과(lake effect)의 메커니즘으로 발생한다고 알려져 있다. 이에 따라 대설현상을 발생하는 원리를 이해하고 그에 따라 피해를 최

소화하기 위한 정확한 예보기법이 필요하다.

1.2 서해안형 대설개념모델

겨울철 우리나라는 저기압이 지나고 난 후 시베리아에 위치한 차고 건조한 대륙고기압이 서해상을 지나 남동진하는 경우가 많다. 이때 차고 건조한 큰 공기덩어리인 시베리아 대륙고기압은 상대적으로 따뜻하고 습한 바다인 서해를 지나가게 된다. 고기압이 이동하면서 기온과 밀도차가 생기고, 따뜻한 공기는 밀도가 가벼워 위로 상승하려고 하고 찬 공기는 밀도가 무거워 아래로 내려가려고 하면서 불안정이 발생한다. 불안정에 의해 대류운이 발생하게 되며 해상에서 발달한 대류운은 북서풍을 따라 우리나라 서해안에 도달하고 눈이 내리게 된다.

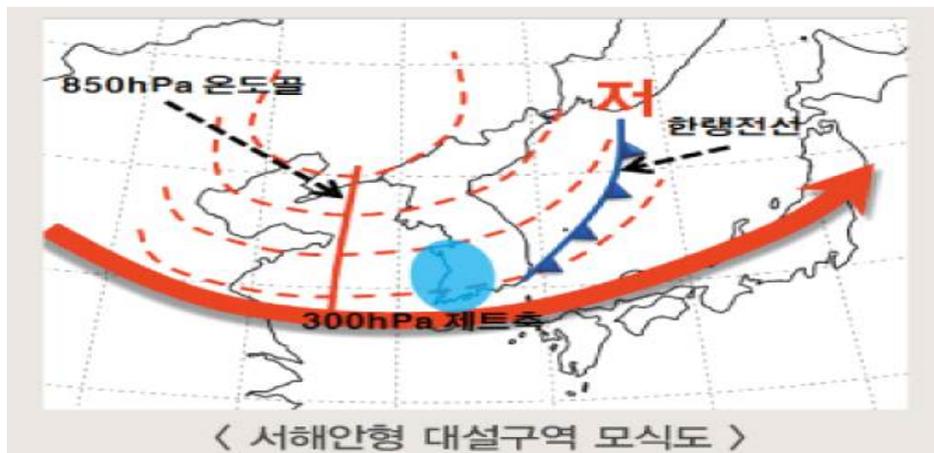


그림 1. 서해안형 대설 개념 모델

1.3 호수효과(lake effect) 매커니즘

미국 오대호에서 겨울철 로키 산맥을 넘어 온 차고 건조한 공기가 상대적으로 따뜻하고 습윤한 호수를 지나면서 많은 눈이 내리는 현상이 나타났고 이를 많은 기상학자와 예보관들이 연구하여 대설이 나타나는 원리를 호수효과(lake effect)라고 명명했다. 우리나라는 호수가 아닌 바다를 지나게 되지만 오대호의 면적을 모두 합하면 한반도의 면적과 비슷한 정도로 크므로, 발생 원인을 한반도에 적용시켜도 무방하다.

겨울철 대륙의 차고 건조한 공기가 상대적으로 따뜻한 해수면을 지나가게 되면 열과 수증기를 공급 받게 된다. 이 때 해수면 위를 긴 시간 이동할수록 해수면 부근의 하층 대기는 더욱 온난 습윤해지고 불안정해진다. 하층에서 대류와 함께 혼합이 일어나고 점차 혼합층이 깊어지면서 대류운이 발생하게

된다. 긴 거리를 이류 하는 동안 계속 열과 수증기가 공급되면서 대류 현상이 더 활발해져 구름을 높게 발달시키게 된다. 해상에서 발달한 대류운은 육지로 유입되면서 마찰에 의해 수렴되어 상승기류가 강화되고 구름은 더욱 발달하여 많은 눈을 내리게 된다. 이때 발달한 구름은 상층으로 갈수록 단열 냉각이 되므로 기온이 낮아져 ‘capping inversion(착모역전)’이라는 기온역전 현상이 나타나게 된다. 이런 이유로 여름철 소나기구름은 대류권 높이까지 높게 대류운이 발달하지만, 호수효과에 따른 대류운은 구름 발달이 하층으로 제한되게 된다.

서해의 수온이 높고 수면 위로 이류 되는 공기가 차가워 온도 차가 크면 클수록 하층 대기로의 열 공급은 더욱 커질 것이며, 서해상을 길게 이동할수록 많은 수증기 공급이 일어난다. 또한 강한 바람은 하층 대기를 혼합시켜 열과 수증기 공급을 더욱 활발하게 하여 불안정한 대기를 형성, 이와 같은 복합적 과정으로 대류운이 발달하여 강설로 이어지게 된다. 이와 같은 서해안형 강설은 넓은 지역에 비를 내리는 저기압에 동반된 전선성 강수와는 달리 해상에서 만들어진 대류운열이 유입되는 한반도의 서쪽에만 강설지역이 한정되는 특징을 보인다.

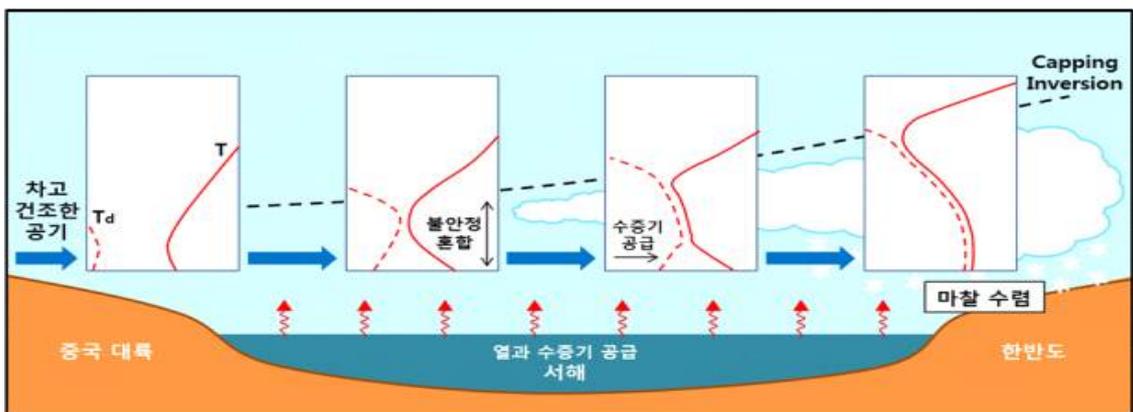


그림 2. 호수 효과(lake effect)에 의한 서해안 강설 발생 과정 모식도

1.4 강설의 조건

1.4.1 해기차

해수면온도와 대기온도의 차를 해기차라고 한다. 이는 서해안 강설을 판단하는 주요 요소 중의 하나이다. 태양으로부터 지구로 도달하는 태양복사에너지는 일부는 구름이나 대기 중의 기체에 의해 흡수되거나 다시 우주로 방출되는 에너지를 제외하고 지구에 도달한다. 지구는 다시 태양으로부터 받은 에너지를 지구복사에너지로 방출하게 되며 에너지 균형을 이루게 된다. 겨울

철 육지는 지구복사에너지를 방출하며 쉽게 기온이 떨어지지만, 물이 같은 온도일 때 다른 물질들에 비해 많은 열량이 필요한 특징 때문에 해상은 상대적으로 따뜻하다. 우리나라 서쪽의 대륙에서 차갑고 건조한 공기덩어리가 상대적으로 따뜻하고 습한 해수면을 지나면, 차가운 대기 하층에서는 열과 수증기를 공급받아 불안정해져 상승하려고 하고, 이때 대류 현상이 나타나며 구름이 생성된다. 이때 대기와 해수면의 온도차가 크면 클수록 열이 빠르게 공급되고 그에 따라 하층 대기가 쉽게 불안정해져서 강설 발생에 유리한 조건이 된다.

호수효과에 대한 미국의 많은 연구 사례에 의하면 오대호에서 850hPa 기온과 수온의 차이가 13°C 이상이 될 때를 강설을 내리는 대류운이 생성되는 조건으로 판단한다. 이는 오대호의 수온과 건조한 공기가 850hPa 높이까지 올라갈 때 기온이 떨어지는 비율인 건조단열감률을 고려한 값으로, 우리나라의 상황에 맞는 기준값을 정의할 필요가 있다. 기존 선행 연구들에 의하면 해기차가 15°C 이상일 때 적설이 발생하는 조건이다. 미국 오대호의 기준 값인 13°C에 비해 높은 것으로 나타났으며, 이는 겨울철 서해의 850hPa 지위고도가 더 높아 대류운이 올라가면서 기온이 더 떨어지는 특징이 잘 반영된 것으로 볼 수 있다. 아래 그림을 통해 보면, 850hPa 기온과의 해기차가 크면 클수록 강설 강도가 강해지는 비례관계라고 보긴 어렵다. 해기차가 강설을 내리는 대류운을 생성하는 것의 기본 조건이긴 하나 강설강도를 결정하는 또 다른 조건이 필요하다는 것을 알 수 있다.

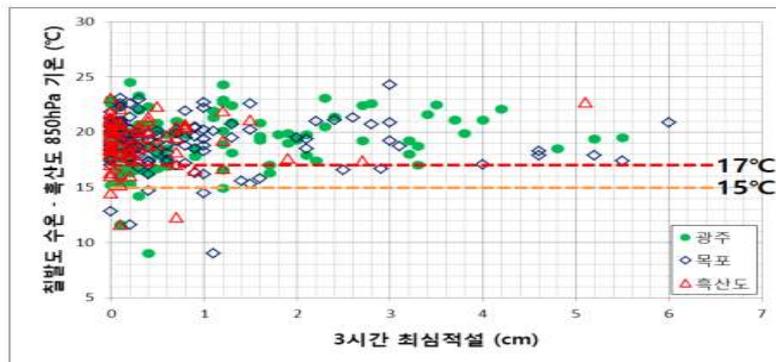


그림 3. 2003~2017년 겨울철 호수 효과에 의한 서해안 강설 사례 중 칠발도-흑산도 850hPa 해기차와 광주, 목포, 흑산도의 3시간 최심적설 분포(출처: 겨울예보 why how)

대류혼합층의 두께가 1km 이상일 경우에 호수 효과에 의한 강설이 발생할 수 있는 것으로 알려져 있기 때문에, 850hPa 고도의 해기차로 강수 발생 여

부를 판단하는 것은 적절하다. 하지만 강수 강도가 강할 때에 대류혼합층의 두께가 3km 이상 발달하는 경우도 있어 해기차만으로 강수 강도 파악이 어렵다. 해기차 분석에 사용했던 서해안 강설 사례들을 850hPa보다 더 높은 표준고도인 700hPa 고도와 해기차로 비교한 자료를 살펴보면 적설이 증가함에 따라 해기차의 하한 값이 선형적으로 비례하는 경향을 보여주고 있다. 700hPa 해기차가 22°C 이상에서 대설 발생 가능성이 커지는 것을 알 수 있다.

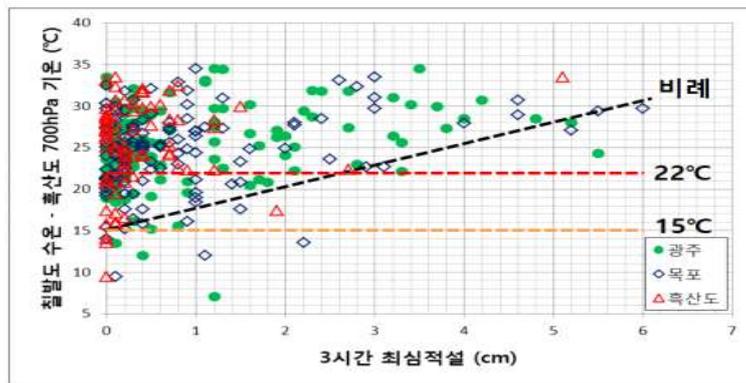


그림 4. 2003~2017년 겨울철 효수 효과에 의한 서해안 강설 사례 중 칠발도-흑산도 700hPa 해기차와 광주, 목포, 흑산도의 3시간 최심적설 분포(출처: 겨울예보 why how)

1.4.2 구름 발생과 온도 조건

해기차에 의한 강설이 발생하기 위해서는 대류운의 연직 두께가 1km 이상으로 발달해야 된다. 대류운이 발달하더라도 역전층이 낮아 구름두께가 낮으면 구름에 포함되어있는 수증기양이 적어 강설 발생이 낮을 것이다. 강설의 발생은 낮은 고도인 925hPa의 해기차 보다는 1km 이상 되는 850hPa 고도의 해기차로 구름발생을 판단하는데 참고한다. 기온이 낮을수록 대기가 가질 수 있는 수증기의 양이 적기 때문에 여름철보다는 겨울철에는 강수량이 적게 된다. 같은 두께로 발달한 구름이라도 혼합비가 높은 쪽이 절대적인 수증기량이 많기 때문에 혼합비가 중요하며 구름 내부에서 기온이 너무 낮을 경우, 얼음에 대한 과냉각 수적에 대한 수증기압의 차이로 얼음입자인 빙정의 성장을 활발하게 일어나기 어렵게 한다. 아래 그림에서 알 수 있듯이 -20°C 이하의 눈 결정체는 부피가 작은 육각기둥이나 나뭇가지 모양으로 나타나므로 미세물리과정을 고려하더라도 강수량이 늘어나기에는 불리한 조건임을 알 수 있다.

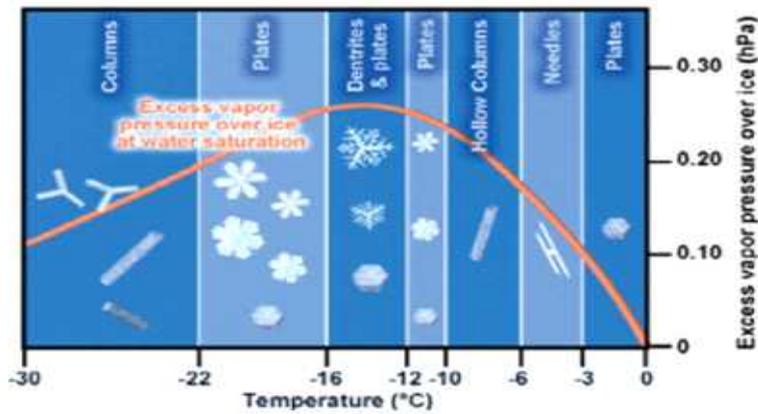


그림 5. 기온에 따른 얼음에 대한 수증기압 초과 값과 눈 결정체 모양 (출처:COMET)

1.4.3 바람과 취주거리

1.4.3.1 풍향과 풍속

강설을 유발하는 대륙에서 불어오는 밀도가 큰 차갑고 건조한 공기가 따뜻한 해수면을 지나면서 강한 바람이 동반된다. 이 강한 바람은 해수면으로부터 공급되는 열과 수증기를 증가시키게 되는데 850hPa 해기차 20°C 이상의 조건을 만족하는 경우, 850hPa 풍속이 20kts 이상, 풍속이 더 강하면 강할수록 많은 적설이 기록되는 경향을 보인다. 섬인 흑산도에서 해안지역인 목포, 내륙지역인 광주에 적설을 기록하기 위해서는 더욱 더 강한 풍속이 필요함을 다음 그림에서 알 수 있다.

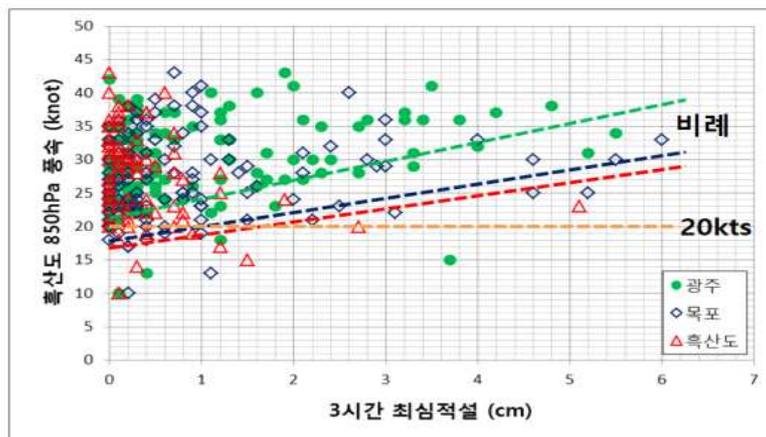


그림 6. 2003~2017년 겨울철 호수효과에 의한 서해안 강설 사례 중 흑산도 850hPa 풍속과 광주, 목포, 흑산도의 3시간 최심적설 분포(출처: 겨울예보 why how)

풍속이 강하더라도 눈구름대가 해안과 육지에 도달하지 못하면 강설을 기

록할 수 없다. 풍향에 따라 눈구름대가 유입되는 지역이 달라지기 때문에 차갑고 건조한 공기덩어리가 어느 방향으로 불어오는지 파악하는 것이 중요하다. 기존 연구 자료들에 의하면 서풍에 가까울수록 해안과 내륙으로 눈구름대 유입이 확실하고, 섬인 흑산도와 해안에 위치한 목포는 850hPa 풍향이 340° 이하일 때, 육지인 광주는 330° 이하일 때 강설이 나타남을 알 수 있었다.

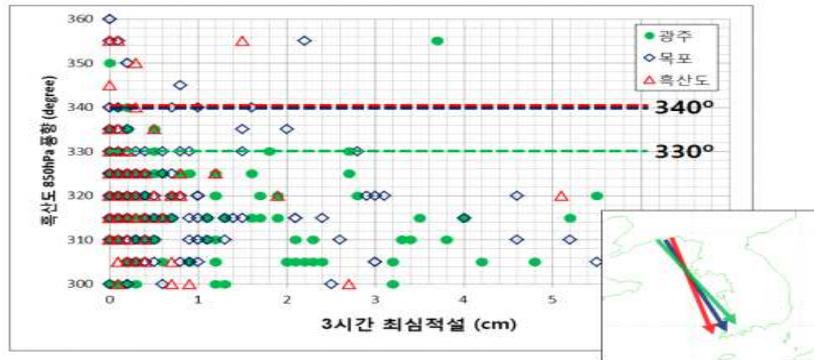


그림 7. 2003~2017년 겨울철 호수 효과에 의한 서해안형 강설 사례 중 흑산도 850hPa 풍향과 광주, 목포, 흑산도의 3시간 최심적설 분포와 풍향에 따른 구름대 유입 경로 예시(출처: 겨울예보 why how)

1.4.3.2 취주거리

따뜻한 서해안을 지나가는 찬 공기는 강한 바람과 풍향도 중요하지만 눈구름을 발달시키기 위해 강한 불안정이 지속되어야 열과 수증기를 지속적으로 공급받게 된다. 즉, 해수면을 이동하는 취주거리가 길면 길수록 적운열을 발달시키게 되나, 상대적으로 취주거리가 짧으면 강설 효과가 적어진다. 강설을 유발할 수 있는 최소 취주거리는 80km로 알려져 있고, 일반적으로는 160km 이상의 거리를 가져야 강설이 발생한다고 알려져 있다. 해안에 위치한 목포는 요동반도에서 약 640km, 산둥반도에서는 약 440km 떨어져 있어 전남서해안은 강설 발생에 필요한 충분한 취주거리를 가지고 있다. 서해상에 호수효과에 의해 생성된 대류운은 받고랑과 같은 모양을 나타내는데 이는 대류에 의해 상승하는 기류가 Capping Inversion(착모역전)에 의해 더 이상 상승하지 못하고 수평으로 회전하는 대류 순환을 이루며 나타나는 현상이다. 기본적으로 공기덩어리는 지상에서 위로 상승하면 점차 기온이 떨어져 대류권이라는 경계층에 도달할 때까지 기온은 하강하게 된다. 이와는 반대로 공기덩어리가 상승할수록 기온이 주변보다 높아진다면 공기덩어리는 더 이상 상승하지 못하고 머무르게 된다. 이를 역전현상이라고 말하며 그 때의 경계층을 역전층이라고 한다. 대류에 의해 생성된 적운들은 하층의 바람방향과

나란하게 생성되므로 구름열의 방향으로 대기 하층의 풍향을 추측할 수 있다. 중국 다렌과 백령도, 흑산도의 고층자료 비교를 통해 취주거리가 길면 길수록 열과 수증기의 공급에 의해 구름열의 깊이와 폭이 증가하여 강설이 발생함을 알 수 있다.

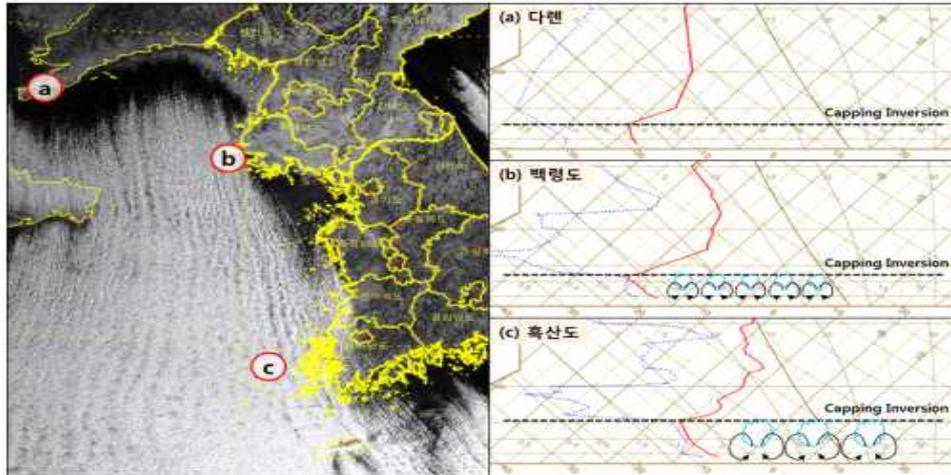


그림 8. (좌) 2018년 1월 26일 09시 천리안위성 가시영상. (우) 다렌(a), 백령도 (b), 흑산도(c)의 GTS 고층자료 실황(출처: 겨울예보 why how)

1.5 서해안형 강설 특성

1.5.1 상층 기압골에 의한 대설

해기차에 의해 해상에서 적운열이 생성될 뿐만 아니라 상층 기압골에 의해 기류가 수렴이 되면 순수 호수효과에 의해 생긴 적운열과는 다르게 짙은 구름대가 발달한 것을 볼 수 있다. 아래 왼쪽의 위성영상은 순수 호수효과에 의한 구름이 발생하나 대류층의 높이가 하층의 일정 고도로 억제되고 바람 시어가 약해 강설 강도는 약하고, 고기압성 기압계의 영향권에서 구름이 발달, 고기압성 회전을 하는 것을 볼 수 있다. 아래 오른쪽 위성영상에서 짙은 구름대는 상층 기압골의 영향으로 기류 수렴대가 나타난 것으로 수렴에 의해 상승운동이 활발해져 폭발적으로 구름대가 발달하고, 풍계가 서풍에 가깝게 내륙으로 누운 형태로 형성되어 해안뿐만 아니라 내륙에도 강한 강설을 내리는 사례이다.

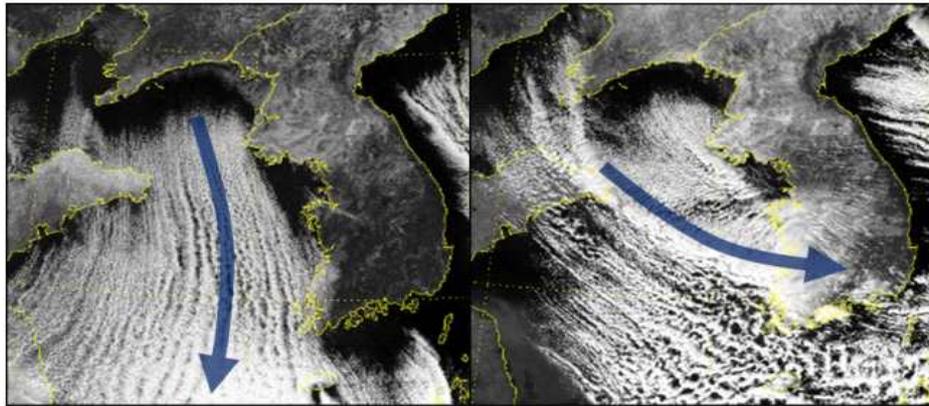


그림 9. 천리안 위성 가시영상 (좌) 2018년 1월 26일, (우) 2018년 1월 10일

겨울철 한반도가 위치한 동아시아지역에서는 고기압이 이동하지 않고 특정한 위치에서 정체되는 블로킹(Blocking) 현상에 의해 강한 한기핵을 가진 상층의 기압골의 영향으로 제자리에서 저기압성 회전을 하면서 기압계가 정체되는 경우가 빈번히 나타난다. 이때 제자리에서 회전하는 저기압을 절리저기압이라고 하는데 후면으로 찬 공기가 주기적으로 남하하게 된다. 2번째 한기가 남하하는 경우 하층과 상층에 바람방향의 변화가 생기면서 서해상에 기류가 수렴되면서 단일 띠 형태가 나타나고, 해안뿐만 아니라 내륙까지도 유입되면서 많은 눈을 내리게 된다. 찬 공기가 연속적으로 유입되기 때문에 눈의 지속시간도 길어지고, 해기차도 커지며, 상층의 강제력까지 유지되면서 대설로 많은 피해를 주는 형태이다.

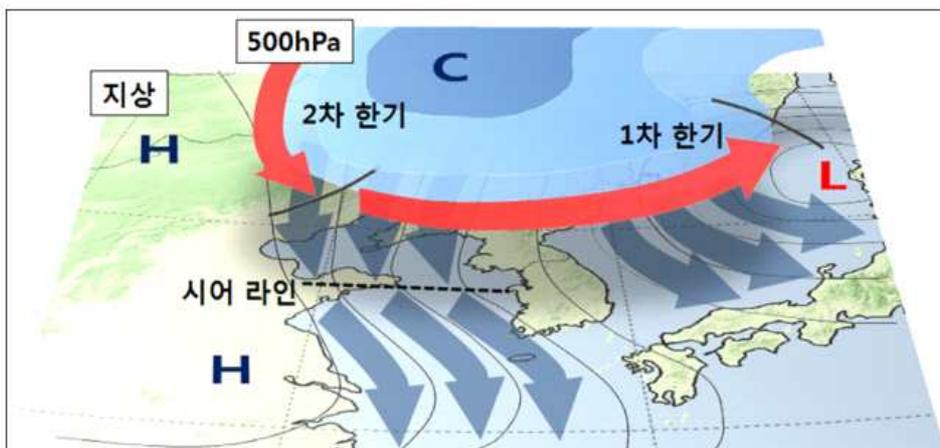


그림 10. 상층 기압골의 영향으로 서해상에 기류 수렴이 형성되는 기압계의 모식도, 1차 한기 통과 후 2차 한기 남하로 해기차와 기압골의 효과가 동시에 나타남(출처: 겨울예보 why how)

1.5.2 수렴형태에 따른 대설 특성

1.5.2.1 지형 수렴에 의한 대설(산맥형)

순수 호수 효과에 의해 발생된 적운열이 강한 북서풍을 따라 높은 산맥에 부딪혀 지형에 의해 강제 상승이 발생하여 대류운이 발달하는 형태이다. 아래 그림에서 전라서해안으로 북서풍이 강하게 유입될 경우 노령산맥에 막혀 풍상층에 해당하는 영광, 고창, 정읍 지역에 강한 수렴이 나타나기 쉽다. 북서풍이 강하게 유입되기 위해서는 850hPa 바람과 기온은 U자형으로 강한 한랭이류의 축이 해안을 중심으로 썸기 형태로 유입되는 구조를 볼 수 있다.

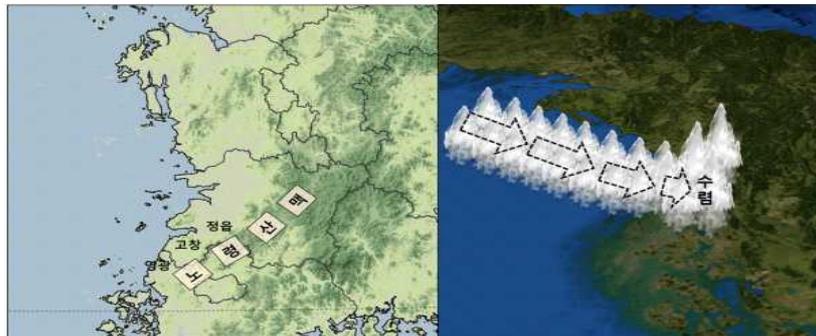


그림 11. 노령산맥 풍상층에 위치한 영광, 고창, 정읍 위치와 지형 수렴에 의한 구름대 발달 모식도

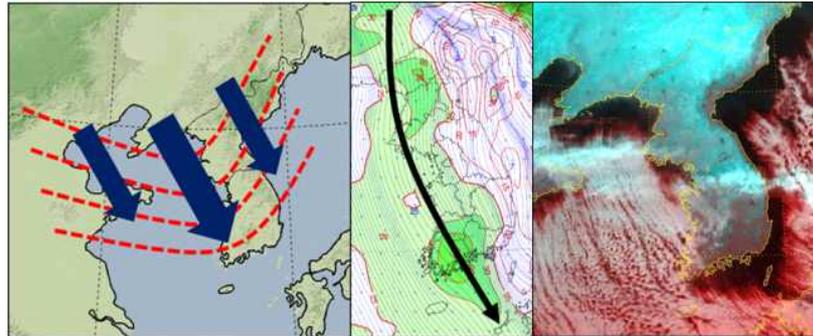


그림 12. 지형 수렴형 대설에 유리한 하층 강풍축과 등온선 모식도 및 위성영상(2018년 12월 28일)

1.5.2.1 육풍 수렴에 의한 대설(해안형)

대륙고기압 확장으로 서해상과 우리나라로 한랭이류가 강하게 유입되면서 지형에 의한 대설이 발생하기 좋은 기상현상이 유지되다가 점차 시간이 지남에 따라 바람이 약해지고 따듯한 서해상은 상대적으로 공기가 빠르게 변질되면서 육지보다 더 온난해진다. 따라서 서해상에 온도능이 발달하면서 해상으로의 한랭이류는 약화되고 반대로 육지에서는 이루어졌던 한기가 축적되고 야간의 경우에는 복사냉각 효과까지 더해져 크게 기온이 하강하여 온도골은 더욱 깊어진다. 이때 육지에서는 기온 하강에 의해 국지고기압이 형

성되고 가장자리로 육풍 성분인 북동풍이 서해안으로 불게되어 종관풍인 북서풍과 수렴대가 형성된다. 이 수렴대의 위치는 대체로 서해안에 위치하는 경우가 빈번해 서해안을 중심으로 강설이 나타나며, 육풍이 강한 경우에는 해안에 위치하지 못하고 해상으로 밀려나 적설을 기록하지 못하는 경우도 있다.

겨울철 비열이 큰 해수보다 육지가 빠르게 열을 빼앗기기 때문에 서해상의 해수면온도보다 내륙의 기온이 낮은 경우가 일반적으로 많다. 따라서 육풍의 발생 가능성을 염두에 두어야 하며, 한랭이류가 약화되는 강설의 후반의 기간과 내륙으로 강한 한기가 남하하고 야간의 복사냉각 효과까지 더해지는 시간대를 주의해야 된다.

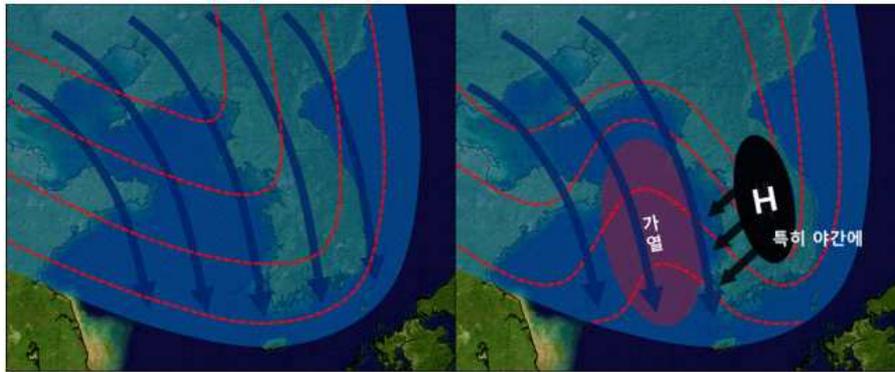


그림 13. 서해안형 강설 발생할 때 전반(왼쪽)과 후반(오른쪽)의 하층의 모식도

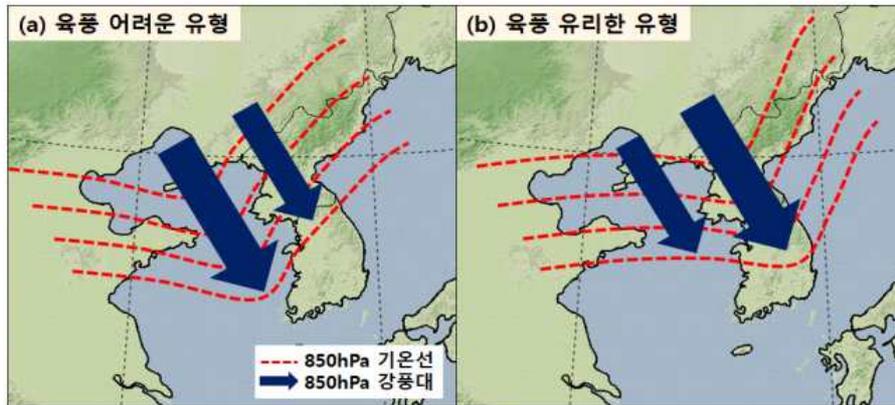


그림 14. 850hPa 등온선분포와 강풍대 위치에 따른 육풍이 어려운 유형 (a)과 유리한 유형(b)

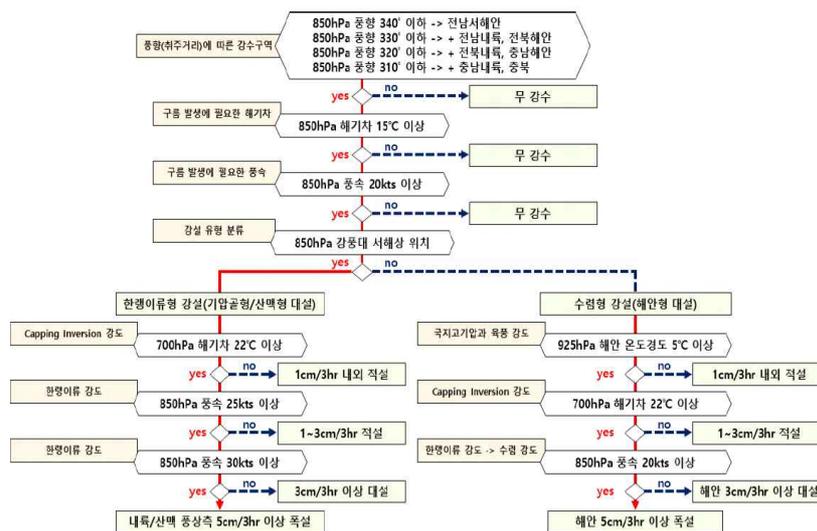


그림 15. 서해안형 강설 판단을 위한 흐름도(출처: 겨울예보 why how)

1.6 광주와 전라남도의 지리적 특성

전라남도의 지질은 한반도의 지체구조상 옥천대 일부를 접하는 영동-광주 함몰대와 영남육괴의 남서부에 해당한다.

영남육괴는 면적의 약 70%가 선캄브리아기의 변성복합체로 이루어져 있고, 지리산 부근의 지리산변성복합체를 제외하면 대부분 소백산변성복합체이며, 노령산맥 서쪽과 소백산맥에 해당하는 지리산 일대를 중심으로 신안군·합평군·무안군·해남군 지역까지 넓게 분포하고 있다. 이 지층은 이 지역에서 가장 오래된 기반암을 이루고 있다. 화순군 일대와 강진군 성전면 지역에는 고생대 석탄기 및 페름기의 암층이 두껍게 쌓여 있어 석탄이 산출되고 있다.

이들 암질은 중생대 쥐라기에 일어난 대보조산운동의 지각변동을 심하게 받아 대보화강암이 관입되었는데, 옥천대 남동부에 침강현상으로 형성된 영동-광주함몰대의 기반암도 대부분 쥐라기의 대보화강암이다. 또한 백악기말 화산활동의 영향으로 화산암류가 관입되었으며, 전라북도 군산에서 완도까지 이어진 서쪽 해안과 다도해의 섬, 그리고 광주에서 해남 부근까지는 유천층군의 안산암과 응회암 등 화산성 물질이 분포하고 있다.

광양시·순천시 주변과 목포시 북쪽 일부에는 신생대 제3기층이 분포하며, 응회암·사암 등으로 이루어져 있다.

장흥군과 섬진강·영산강 일대는 신생대 제4기층이 분포한다.

지형은 북쪽으로 노령산맥, 동쪽으로 소백산맥이 뻗어 있어 북쪽과 동쪽이 높지만 대체로 소백산맥이 노령산맥보다 높다. 동부는 소백산맥의 지리산(智異山 : 1,915m)을 중심으로 토끼봉(1,534m)·노고단(老古檀 : 1,507m)·반야봉(盤倂峰 : 1,732m) 등의 고봉들이 이어져 남한에서는 가장 높은 고산지대를 이루고 있다.

이곳에서 크게 동부지맥·중부지맥·서부지맥으로 갈라지는데 동부지맥은 왕시리봉(1,243m)·백운산(1,218m)·영취산(510m)·호랑산(虎狼山 : 460m) 등으로, 중부지맥은 조계산(曹溪山 : 884m)·팔영산(609m) 등으로 각각 이어진다. 서부지맥은 월출산(月出山 : 809m)·대둔산(大屯山 : 672m)·두륜산(703m)

등으로 이어지고 한반도의 최남단인 해남군 송지면 송호리 토말에서 바다와 연결된다. 노령산맥이 전라남북도와 경계를 이루면서 서쪽으로 뻗어 있으며 노령산맥의 줄기를 따라 추월산(秋月山 : 731m)·병풍산(屏風山 : 822m)·백암산(白巖山 : 722m)·입암산(笠巖山 : 626m)·방장산(方丈山 : 734m) 등이 솟아 있다.

팔공산의 북쪽 1,080m 지점 서쪽 계곡에서 발원한 섬진강은 전라남도에 이르러 동부산지를 흐르면서 오수천·심추천·경천·옥과천 등의 지류와 합류한다.

섬진강 유역에 넓은 평야는 없으나 곳곳에 침식분지가 발달해 있으며, 곡성군·구례군은 침식분지가 발달한 지역이다.

보성강은 보성군 응치면 대산리 제암산 남동쪽 계곡에서 발원해 북동쪽으로 흐른다. 장평천·노동천 등을 합류한 뒤 보성저수지를 이루고 북쪽으로 유로를 바꾼 다음 울어천·동복천을 합류하면서 곡성군 죽곡면과 오곡면 경계에서 섬진강으로 흘러든다.

특히 이 강 유역의 산록은 차나무 재배의 최적지로 한국에서 가장 규모가 큰 다원이 조성되어 있다. 1935, 1990년에 각각 건설된 보성강 댐, 주암 댐은 주요 농업용수원이 되고 있다. 영산강은 담양군 월산면 병풍산 북쪽계곡에서 발원해 장성호를 이룬 뒤 남서쪽으로 흐르면서 극락강·지석천 등의 주요지류와 합류하고 영산호를 지나 서해로 흘러든다. 영산강은 감조하천으로 조수의 영향이 나주에까지 미쳤으나 1976년 담양 댐, 장성 댐, 나주 댐, 1981년 영산강 하구둑이 건설됨으로써 가뭄·홍수·염해가 다소 줄어들었다.

영산강 연안을 따라 곳곳에 나주평야·서석평야·학교평야 등의 충적평야가 발달했다. 그밖에 장흥군과 강진군을 지나 강진만으로 흘러드는 탐진강은 군동평야와 장흥평야의 젖줄이 되고 있다.

해안은 전국에서 가장 심한 지절률(支節率)을 보여 직선거리에 비해 무려 8.5배나 되며 한국의 전형적인 리아스식 해안을 이루고 있다. 또한 유인도 273개, 무인도 1,694개로 총 1,967개(1994) 섬이 분포하고 있어 섬으로 둘러싸인 세계적인 다도해이기도 하다. 여수·고흥·장흥·해남 등의 4대 반도가

남해를 향해 뻗어 있고, 그 사이에 수심이 얇은 광양만·순천만·보성만·강진만 등이 깊숙이 만입되어 있다.

또한 북서부에는 무안반도와 해제반도가 서해로 돌출해 있고, 그 주변에 신안군에 속한 섬들이 흩어져 있다.

광주광역시에는 소백산맥과 노령산맥 사이에 발달해 있는 순창-광주-나주-목포에 이르는 분지상의 동쪽에 자리한다. 지형은 대체로 동쪽이 높고 중앙부와 남서쪽은 낮다. 소백산맥의 여맥이 이어져 내려 동쪽에 광주의 진산인 무등산(無等山 : 1,187m)을 비롯한 많은 산지가 분포하고, 인근 화순군과의 경계지역에는 너릿재·육판재·장북재 등의 고개가 많다.

이와 함께 시가지가 만연산(萬淵山)·소룡봉·분적산(粉積山)·정광산(淨光山 : 354m)·덕봉산(德峰山)·장원봉(壯元峰 : 386m)·월각산(月角山 : 274m) 등에 감싸여 있으며, 분지상을 이룬다. 중앙부로 갈수록 산지는 점점 낮아지며, 높이 100m 내외의 구릉지와 비옥한 충적지가 넓게 펼쳐져 있다. 서부 광산구 일대에는 용진산(聳珍山 : 349m)·망산(望山 : 271m) 등이 서부 경계를 이룬다.

광주광역시 일대의 지역은 선캄브리아대의 화강편마암과 흑운모편마암 및 중생대 백악기의 유문암·안산암과 제4기의 충적층 등으로 구성되어 있다(→편마암). 선캄브리아대의 편마암류는 구릉이나 충적층의 기반암을 이루고 있으며, 충적층은 광주천 등 시내의 주요 하천연안에 분포하고, 안산암과 유문암은 무등산 지역에 집중 분포한다.

주요하천은 영산강의 본류를 형성하는 극락강·황룡강, 시내를 북서방향으로 흐르는 광주천 등이다. 극락강은 시 중앙부를, 황룡강은 광산구 지역을 북에서 남으로 관류하며, 시 남쪽의 서창평야 부근에서 합류한다. 극락강은 영산강 중류지역에 해당하며, 곡류가 심하여 주변지역에 자연제방과 범람원 및 우각호 등이 잘 발달되어 있다. 광주천은 무등산의 샘골에서 발원하여 북서류하며, 도심지를 지나 극락강으로 흘러든다. 이밖에 광주천의 지류로서 용봉천·서방천·동계천·중심사천 등이 있다. 평야는 극락강·황룡강·광주천을 따라 발달했다.

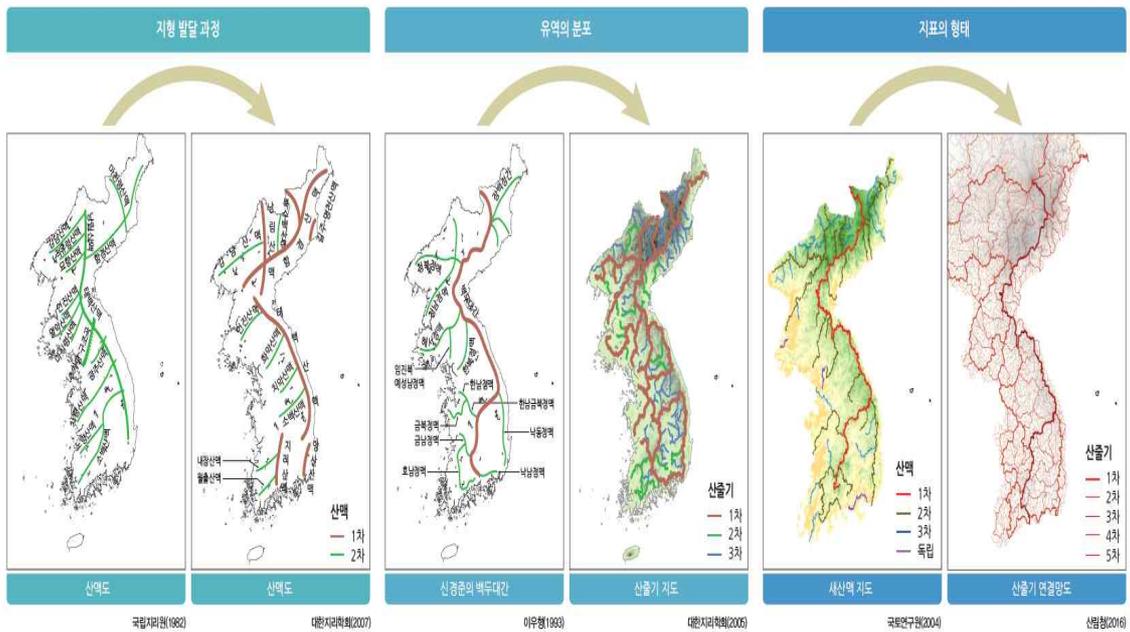


그림 16. 대한민국 국가지도집(20년)에 따른 산지 인식 체계 변화

2.1 연구목적

호수효과의 현상은 종관 규모의 현상보다는 작은 중규모 이하의 대류 현상으로 나타나기 때문에 수치모델의 해상도와 물리과정의 한계로 예측성이 낮다. 따라서 매커니즘에 대한 분석과 지리적 특성에 따른 예보 가이드نس가 필요하다.

2.2 선행연구 소개 및 정리

2.2.1 선행연구 소개

첫 번째 Yellow Sea Effect snow에 기반한 전남서해안 대설 예측(2017)이라는 선행연구에서는 대륙고기압의 확장에 의한 찬 공기가 서해상을 지나며 발생하는 대류운의 역전층의 깊이가 1~2km일 때 적설이 5cm, 2~3km일 때 5~15cm, 3km 이상일 때 15cm 이상이라는 사실을 증명했다. 지형에 따른 마찰 수렴이 일어나는데 풍상 해안에서는 발산, 풍하 해안에서는 수렴이 일어나면서 수렴되는 지역이 대설지역임을 알아냈다. 또한 위성영상 분석을 통해 중국 산둥반도 끝단을 지나는 대류운 구름대의 풍향이 310~320도 일 때는 목포에 대설이 발생하고, 300~310도 일 때와 울진반도 끝단을 지나는 풍향이 330~340도 일 때는 영광에 대설이 발생한다는 것을 밝혀냈다. 또한 기존 연구자료를 활용한 대설점검표를 이번 조사에 맞게 수정하여 광주와 전남지역에 맞는 눈예보를 위해 개선하였다.

• **마찰에 의한 수렴**

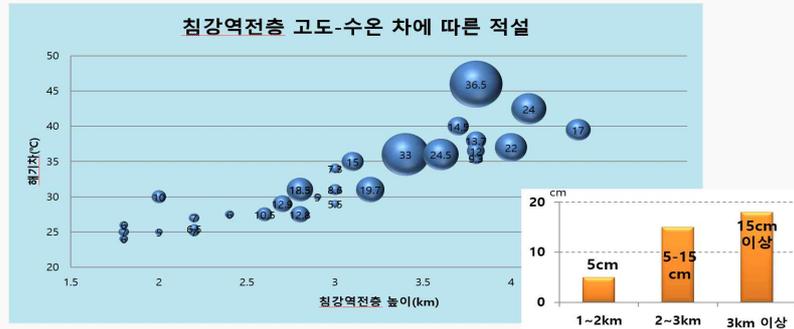
- 호수로 이동하는 바람은 마력 약 → 육상보다 **풍속 강**
- 수면 위로 이동하는 공기는 풍상측에서 발산, **풍하측에서 수렴**
- 육상(수변)의 바람은 부근 **호수로 수렴**



<그림 출처 : COMET 교육자료>

그림 17. 풍하측 수렴 미국(comet) 교육자료 활용 설명자료

- 대상 : 2012~2016(5년) 광주.전라남북도 신적설 5cm 이상 5cm 이상 **30사례**
- **해기차 :**



- 침강역전층 고도가 높을 수록 많은 적설

그림 18. 역전층 고도에 따른 적설 조사 자료

날 짜	지점	적설(cm)	침강역전층 고도(km)	해기차(°C)	위성영상 풍향(°)
2012.12.30~31	목 포	13.5	2.8	31	310
2014.12.16~17	목 포	33.0	3.4	36	315
2014.12.21~22	목 포	13.7	3.8	38	320
2014.12.4~5	목 포	18.3	3.6	36	315
2012.1.23	영 광	6	1.8	26	340*
2012.1.4	영 광	9	2.8	31	295
2012.12.30	영 광	9.5	1.8	24	320
2012.2.17~18	영 광	6	2.4	27.5	290
2012.2.2	영 광	9	2	30	330*
2012.2.7~8	영 광	9	1.8	25	345*
2013.12.29	영 광	10.5	2.6	27.5	320
2014.12.12~13	영 광	8	3	31	310
2015.12.16~17	영 광	12	4	37	290

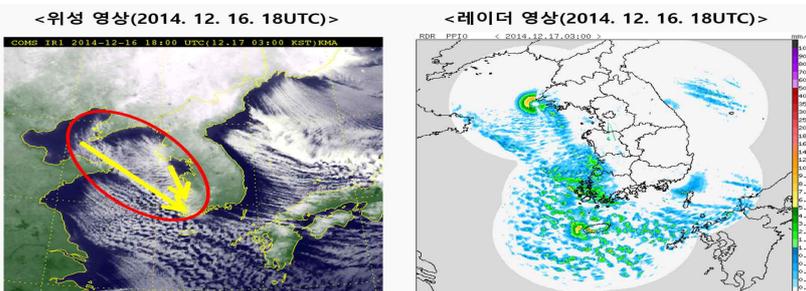


그림 20. 위성영상 풍향에 따른 대설지역 자료 및 예시

2017.2.10										관측하는 곳					가중치				
구분	1. 대설경보 (20cm 이상)	가중치	2. 대설주의보 (5~15cm)	가중치	3. 일반적설 (0.5~3cm)	가중치	9일 21시	10일 09시	10일 21시	9일 09시	10일 09시	10일 21시	9일 21시	10일 09시	10일 21시				
북극 12시간 전 대설 850hPa 기준	≤-17°C	20	-16~-12°C	10	-11°C ≤	5	-15	-18	-14	10	20	10	10	20	10				
북극 30시간 전 대설 850hPa 기준	≤-37°C	20	-36~-33°C	10	-32°C ≤	5	-39	-37	-39	20	20	20	20	20	20				
북극 48시간 전 대설 850hPa 기준	≤-14°C	20	-13~-7°C	10	-7°C ≤	5	-13	-13	-12	10	10	10	10	10	10				
북극시 500hPa 5400gpm 이하	1. 남해-전남 (35~39°N)	10	2. 전북-전남 (35~39°N)	5	3. 충청-경기 지역 (37°N)	3	1	1	1	10	10	10	10	10	10				
북극시 500hPa 40°C 선 남위위차 (120~140°E)	29°C 이상	10	17~19°C	5	19°C 이하	3	19	16	18	5	2	2	2	2					
북극시 500hPa 40°C 선 남위 위차 (120~140°E)	1. 북호-강릉	10	2. 제주도-일본 (33~42°N)	5	3. 한국-일본국경 (34~37°N)	2	1	1	2	10	10	10	10	10	5				
북극시 850hPa 풍속	35kts 이상	10	25~30kts	5	20kts 이하	2	35	35	35	10	10	10	10	10	10				
계	100점		50점		25점					75	82	67							
북풍기							9일 21시	10일 09시	10일 21시										
40cm 이상 : 경보 기준치 (20cm 이상) 해당	일발도	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				
50~80cm : 주의보 기준치 (5~15cm) 해당	지상	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4				
25~50cm : 일반적설 (0.5~3cm) 해당	850hPa	-13	-10	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12				

구분	경보 (20cm 이상)	가중치	주의보 (5~15cm)	가중치	일반적설 (0.5~3cm)	가중치
12시간전 대설 850hPa 기준	≤-17°C	20	-16~-12°C	10	-11°C ≤	5
12시간전 대설 500hPa 기준	≤-37°C	20	-36~-33°C	10	-32°C ≤	5
광주 850hPa 기준	≤-14°C	20	-13~-8°C	10	-7°C ≤	5
500hPa 5400gpm 이하	남해-전남 (35~39°N)	10	전남-전남 (35~39°N)	5	충청-경기 (37°N)	3
원강역전중 고도	3km 이상	10	2~3km	5	2km	3
(해안-광주 용진지점) (수문) 광주 850hPa 대기차	35°C 이상	10	25~30°C	5	25°C	3
500hPa -40°C 선 남위위차 (120~140°E)	속초-강릉 (39~42°N)	10	백두산-일본 (39~42°N)	5	제주-일본국경 (34~37°N)	2
광주 850hPa 풍속	35kts 이상	10	25~30kts	5	20kts 이하	2
계	100점		50점		25점	

그림 21. 기존 대설점검표(좌), 개선 대설점검표(우)

두 번째 cP기단 확장 시 북동 저지에 의한 강설 수렴역 판단(2019)에서는 기존의 조사와 연구 자료에서는 강설유무와 강수강도, 강설지속시간에 대해서는 비교적 높은 정확도를 보이지만 강설구역 예측에는 한계가 존재하고 있다고 밝혔다. 해안에 눈이 올지, 내륙까지 유입되어 눈이 올지에 대해 지면마찰, 풍향, 풍속, 내륙에 복사냉각에 의한 차가운 고기압이 생성되어 눈구름의 내륙 유입을 막는지를 서해안에 위치한 영광, 내륙에 위치한 광주지역의 자료를 조사, 연구하였다. 2008~2014년까지 6년간 조사자료를 통해 전체적으로는 아침(3~9시), 밤(18~24시)에 적설 빈도가 높았고, 새벽(3~9시)사이에는 내륙형이, 낮(12~15시)에는 해안형이 우세한 경향을 보였다. 해안형의 경우 새벽부터 아침까지 최저기온이 형성되며 내륙에 국지고기압이 형성되고 북-북동 바람이 우세하게 된다. 850hPa 이하 고층자료의 풍향과 풍속자료로 구름대 이동을 반영하는게 중요하였고, 영광과 광주의 지상 풍속의 차는 크지 않았으나 북서기류에 의해 대류운이 유입되고, 지상에서는 북동풍이 유입되며 해안에 수렴이 되는 것을 알 수 있었다. 내륙형에서는 대륙고기압의 세력 확장에 의해 영광의 해면기압이 높게 형성되고 북서 계열의 바람이 강해지면서 광주까지 눈구름대가 유입되었다. 500hPa에서 양의와도 또는 상층 온도골 전면에 광주와 전남이 위치하였고, 이런 상층의 지원은 내륙까지 구름대가 유입되는데 큰 영향을 미쳤다.

이를 통해 북동 내륙에 850hPa -12°C 이하 찬공기가 있는지, 이 찬공기에 의한 국지 고기압에 의한 연직적인 온도골이 1~2km 상공에 위치하고 있는지, 850hPa의 풍향이 북동방향일 때 해안형에 가깝다는 것을 판단할 수 있다. 종관적인 흐름과 일변화를 참고하면 해안형은 밤부터 새벽까지 북동내륙이 최저기온으로 떨어지고 국지고기압이 형성된다. 북동풍이 강해져 구름대의 내

륙유입을 저지하면서 해안에 수렴역이 형성되어 눈이 내리게 된다. 15시에 일사에 의해 기온이 상승하면 북동내륙은 상대적으로 낮은 저기압이 생성되고 구름대가 내륙까지 유입되는 조건이 됨을 알 수 있다.

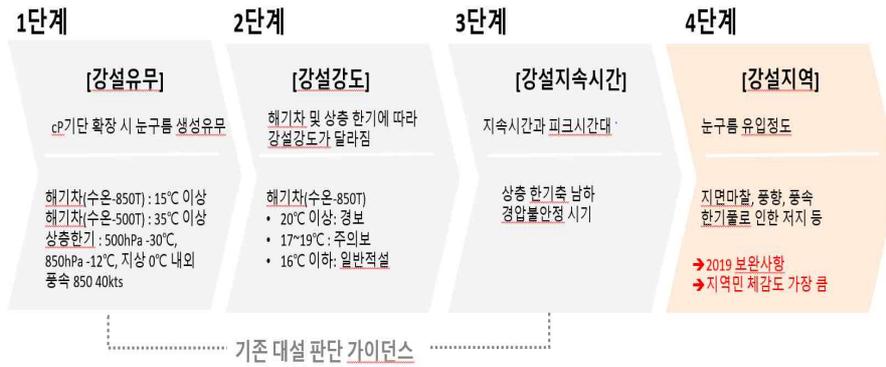


그림 22. 강설 수렴역 판단 이유

분석결과 요약(해안형)

새벽~아침 시그널!!
아침최저기온 분포에 주목!

지상

- 해면기압: 영광 < 광주 = 덕유봉
→ 원인: 새벽~아침 최저기온 형성되면서 국지고기압 형성
- 북-북동 계열 바람 우세, 영광/광주 풍속 차이 크지 않음
→ 강설 수렴역이 해안에 형성

고층

- 850hPa 이하층의 풍향과 풍속은 구름대 이동에 중요한 판단도구!
- 1~2km 고도의 한기층의 이동과 저지에 대한 관측 모니터링 중요!!
→ 고층기상관측자료 또는 레이더 WISSDOM, 대기 3차원 기온 등 활용

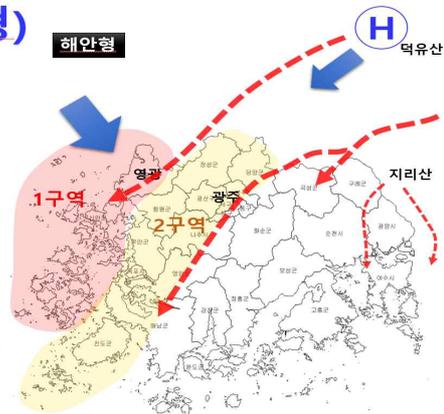


그림 23. 해안형 강설지역 개요

분석결과 요약(내륙형)

지상

- 해면기압: 덕유봉 << 광주 = 영광
→ 원인: 15시 일사에 의해 덕유봉 국지저기압 형성
cP기단 새벽 육상에 의해 영광 해면기압 높게 형성
- 영광 북서 계열 바람 매우 강 (영광 >> 광주)
→ 내륙까지 눈 구름대 유입

고층

- 500hPa의 양의와도 or 상층의 온도골 전면에 위치
→ 상층 지원은 내륙까지 구름대가 유입되는 역할



그림 24. 내륙형 강설지역 개요

결론 (cP기단 확장 시 강설지역 예측 FLOW CHART)

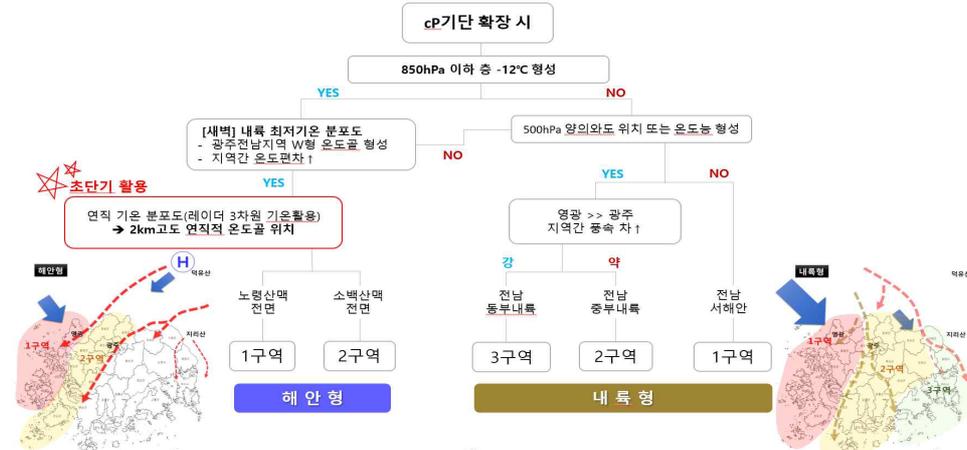


그림 25. CP기단 확장 시 강설지역 예측 flow chart

2.3 연구방법

2.3.1 광주와 전남 지역별 5년간 적설 시 특징 분석

기존의 연구에서는 내륙형에서 구역을 구분하였는데 해안과 내륙의 대표인 영광과 광주와의 풍속차만을 기반으로 나누었다. 또한, 기존 그림 15에서 설명한 서해안형 강설판단을 위한 흐름도에서는 구름발생에 필요한 850hPa 풍속과 풍향에 따라 해안과 내륙 강수구역을 구분하고 있지만, 광주광역시와 전라남도를 포함 23개 시군의 적설 특징을 더 알아보기 위해 일적설량 0.1cm 이상일 때 850hPa 풍향과 풍속, 925hPa 풍향과 풍속, 지상 풍속을 조사해 보았다. 850hPa은 대표적으로 약 1.5km, 925hPa은 약 800m 정도의 높이를 나타낸다. 해기차에 의한 적설 조건은 만족한다는 전제하에 이에 따라 850hPa, 925hPa 풍향과 풍속, 지상 풍속이 어떤 특성이 보이는지 알아보기 위해 선정하였다.

2.3.2 자료선정

기간: 2015.1.1. ~ 2020.12.31.(5년)

고층자료: 850hPa, 925hPa 풍향과 풍속(광주광역시 고층 자료)

일적설량: 하루동안 적설 0.1cm이상 기록

일최심적설: 각 지점별 하루동안 가장 많은 적설을 기록한 높이

지상풍속: 각 지점별 일최심적설 시간의 1시간 평균 AWS 바람풍속

그래프 가로축: 일적설량

2.3.3 각 지점별 분석내용

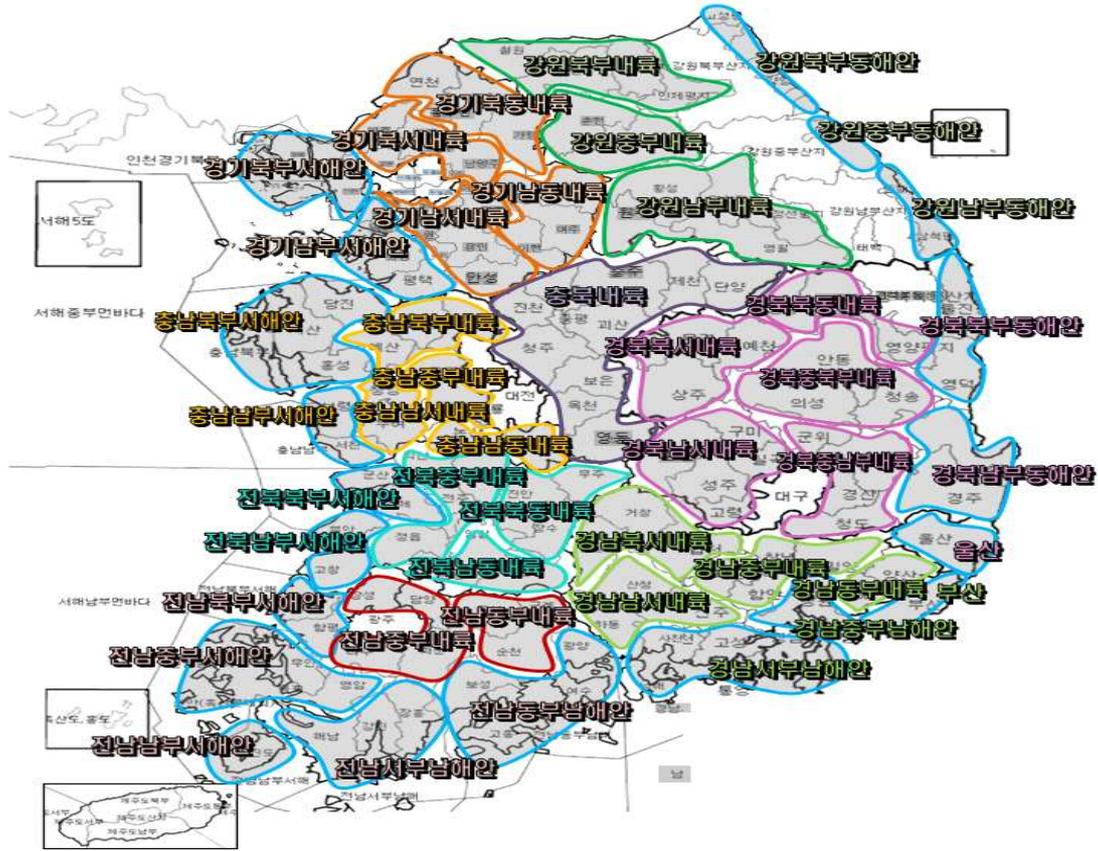


그림 26. 지형 특성에 따른 지역 구분(기상청)

기상청은 지형 특성에 따라 각 지역을 구분하고 있다. 광주광역시와 전라남도를 담당하는 광주지방기상청에서는 서해안과 남해안, 내륙으로 크게 3부분으로 지역을 구분하고 각 지역마다 세부적으로 지역특성에 맞게 구분하여 예보를 하고 있다. 크게 서해안은 영광군, 함평군, 목포시, 영암군, 무안군, 신안군, 무안군, 진도군으로 나누고, 남해안은 장흥군, 강진군, 해남군, 완도군, 여수시, 광양시, 고흥군, 보성군으로 나뉜다. 내륙은 광주광역시, 장성군, 담양군, 나주시, 곡성군, 구례군, 순천시로 나누고 있다. 그 외 서해남부해상에 위치한 신안군의 흑산면을 흑산도·홍도 지점으로 남해서부해상에 위치한 여수시 삼산면 거문도를 거문도 지점으로 포함하여 25개 특보구역으로 담당하고 있다. 전남서해안은 다시 전남북부서해안, 전남중부서해안, 전남남부서해안으로 나눌 수 있으며, 전남남해안은 전남서부남해안, 전남동부남해안으로 나눌 수 있다. 전남내륙도 전남중부내륙과 전남동부내륙으로 더 심화해서 나눌 수 있다. 세부적보다는 서해안, 남해안, 내륙으로 크게 3부분으로 나뉜다.

서 자료를 조사하였다. 특히 광주광역시와 전라남도는 동쪽은 지리산을 비롯하여 높은 산지, 서쪽은 상대적으로 낮은 산지와 평야 지대로 이루어져 있어 동고서저의 위치를 보여 겨울철 서해상에서 유입되는 눈구름이 어디까지 들어오는가에 따라 적설량의 큰 차이가 있다. 이번 연구에서는 크게 해안과 내륙의 특징, 서해안과 남해안과 그 외 내륙의 적설 발생 특징을 알아보기 위해 각 지역별 적설 0.1cm 이상이 관측되었을 때 고층자료의 바람과 풍속, 지상의 풍속과 풍향을 조사하였고 각 지역별 유의미한 특징이 있음을 알게 되었다.



그림 27. 광주 전남 풍향과 풍속에 따른 적설 조건(2015~2020년)

광주, 전남 적설 조건은 지역마다 차이를 보였다. 서해안의 두드러진 특징은 850hPa 풍향과 925hPa 풍향이 대체로 비슷하였다. 850hPa 풍향은 310~320° , 풍속은 16~17m/s, 925hPa 풍향은 305~320° , 풍속은 12~14m/s를 보였다. 영광과 함평, 무안 지역은 925풍향 각도가 850보다 더 작았으나 진도는 반대로 풍향의 각이 더 컸다. 서해안(영광, 함평, 무안, 신안, 목포, 진도, 흑산도)은 바다에서 육지로 바람이 불면서 지형의 영향을 적게 받기 때

문인 것으로 생각된다. 내륙에서 담양, 영암, 곡성, 구례 쪽으로 서에서 동으로 들어갈수록 850hPa 풍향 각도보다 925hPa 풍향 각도가 커지며 북쪽으로 기울어지는 특징을 보였다. 남해안에 위치한 해남, 완도, 강진, 장흥, 보성, 고흥도 같은 특징을 보였다. 동부남해안 여수, 광양은 서해안보다 850hPa 풍향이 서쪽으로 기울어져 각도가 더 작았고, 850hPa과 925hPa 풍향의 각도도 다른 지역에 비해 서쪽으로 기울어져 서풍이 우세할 때 적설이 쌓이는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 장성, 광주, 화순, 보성을 기준으로 925hPa 풍향의 각도가 남서쪽은 시계방향, 북서쪽은 반시계방향을 이루는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 850hPa 풍속은 15~17m/s로 강하게 불어야 적설 조건이 되었고, 925hPa 풍속은 서해안은 12~14m/s 범위, 그 외의 남해안과 내륙은 13~17m/s로 해안보다 풍속이 더 강하게 불어야 되는 조건을 보였다. 지상의 풍향은 각 조건에 따라 풍향의 변동이 크거나 일정한 특징을 보이지 않아 제외하였다. 지상의 풍속은 큰 특징은 보이지 않았으나 대개 2~3m/s 범위를 보이고, 일부 흑산도(8.2m/s), 여수(6m/s), 목포(5.1m/s), 완도(4.1m/s), 광양(3.7m/s), 신안(3.8m/s), 보성(3.2), 무안(3.1m/s)을 제외하고 1~3m/s 범위를 보였다. 다 해안으로 해륙풍의 일변화에 의해 다른 곳에 비해 풍속이 조금 더 강하게 나온 것으로 보인다. 전체적으로 850hPa과 925hPa 풍속이 동쪽에 위치한 시·군까지 적설이 기록되기 위해 강하게 불어야 된다는 것과 내륙으로 들어갈수록 850hPa 풍향각과 925hPa 풍향각의 차이가 나타나며 해안에서 거리에 따라 지형에 따라 지역마다 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

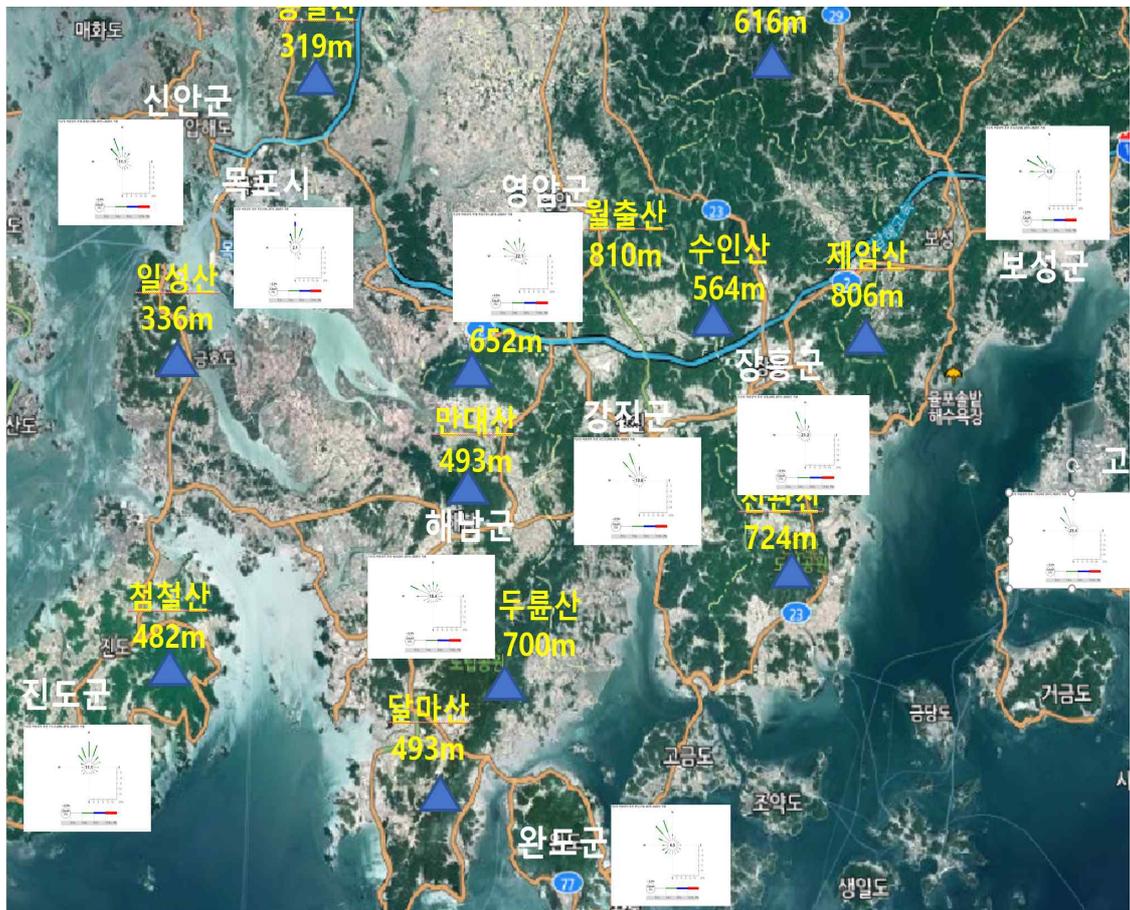


그림 29. 전남서해안과 남해안 지형과 바람장미의 관계

서해안에 위치한 신안군은 서해상에서 바로 바람이 불어오는 지형으로 북서와 서북서풍이 우세하였다. 목포시는 무안에 위치한 승달산(319m)의 영향으로 북풍과 북북동의 바람이 우세하였다. 진도군은 북풍, 북북서풍, 북북동풍이 비슷하게 나타났으며 첨철산(482m)의 영향으로 보인다. 평야지역과 월출산(810m)이 만나는 영암군은 북서, 서북서, 북북서풍이 고르게 나타났다. 해남군은 만대산(493m)과 달마산(493m) 사이에서 부는 서북서풍이 우세하였다. 완도군은 달마산(493m)과 두륜산(700m)의 영향으로 북북서풍과 북서풍이 우세하였다. 강진군과 장흥군은 북서풍이 우세하여 월출산(810m)과 흑석산(652m)의 영향을 받는 것으로 보였다. Boseong-gun과 Gohyeon-gun은 전남동부지역으로 Boseong-gun은 서북서풍이 Gohyeon-gun은 북서와 서북서풍이 우세하였다.



그림 30. 전남동부 지형과 바람장미의 관계

전남동부지역인 곡성군은 동악산(737m)과 견두산(775m)의 영향을 받아 북북동, 북동풍이 우세하였으나, 구례군은 북서와 서북서풍이 우세하였다. 구례군은 북서로 된 분지형태의 영향으로 보인다. 순천시는 서북서풍과 북북서풍이 우세, 광양시는 백운산(1222m)의 영향으로 서풍 또는 북북서풍이 우세하였다. 여수는 해안에 위치한 낮은 산들의 영향을 받아 북서풍과 북동, 남서풍 등 다른 지역에 비해 영향을 받는 풍향이 다양한 것을 알 수 있었다. 각 지점마다 바람장미를 비교해보니 지형의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었고, 이를 숙지하면 적설 예상에 도움이 될 것으로 생각된다.

2.3.4 5년(2015~2020년) 동안 일최심적설 5cm이상 사례와 광주, 전남 대설 점검표 조사, 기존대설조건과의 비교, 기존 850hPa 풍향과 풍속에 따른 해안형과 내륙형 대설 타입 사례 재조사 및 전남 지형과의 상관성 분석

2.3.4.1 5년동안 일최심적설 5cm이상 사례와 대설조건과의 비교



표 1. 2015~2020년 지역별 일최심적설 5cm 이상 일수

2015~2020년 5년 동안 광주와 전라남도에 일최심적설 5cm 이상인 지역과 일수는 위 그래프와 같았다. 함평군과 장성군이 13일, 광주광역시와 목포시, 영광군이 11일, 신안군 9일, 무안군과 진도군은 7일 등으로 나타났다. 일부 지역의 경우 적설자료가 많이 없어서 조사 되지 않은 곳도 있었지만 주로 대설주의보 기준인 일적설량 5cm 이상의 지역이 서해안과 그 인접한 내륙이 많은 것을 알 수 있었다. 이는 우리가 경험적으로 알고 있는 서해안에 눈이 많이 온다는 사실과 일맥상통했다. 서해안에 속하지만 내륙과 가까운 영암군과 동부내륙에 위치한 곡성군, 남해안에 위치한 강진군과 해남군 등의 지역에서도 5cm 이상의 적설 일수가 예상보다 많다는 것도 알 수 있었다.

850hPa과 925hPa 풍향, 풍속을 조사하면서 기존 조사 내용이었던 해안형과 내륙형을 850hPa 풍향으로 구분할 수 있음을 알 수 있었다. 내륙형은 구례, 곡성 등 전남동부지역까지 적설이 쌓일 수 있는 조건이고 그 밖의 조건은 해안형으로 구분하였다. 850hPa 풍향이 285~310도까지는 전남동부까지 유입되는 내륙형이고, 310~355도까지는 해안을 중심으로 눈이 쌓이는 해안형으로

구분이 되었다. 대체로 해안에 위치한 지점은 내륙형의 850hPa 풍향각도 나타나면서 해안형의 풍향각도 나타나는 특징을 보였다. 또한 선행 연구에서 500hPa 양의와도 또는 온도골의 전면에 내륙이 위치하는지의 조건도 만족하였다. 지상일기도 사례를 조사한 결과 충남서해안 또는 전북서해안 등 서해안에 고기압이 위치하는 경우 지상기압선이 남서에서 북동방향으로 기울어지는 특징을 보였다. 풍속의 강도가 사례마다 차이가 있었으나 바람벡터를 통해 어느 지역까지 유입되는지를 파악할 수 있었다.

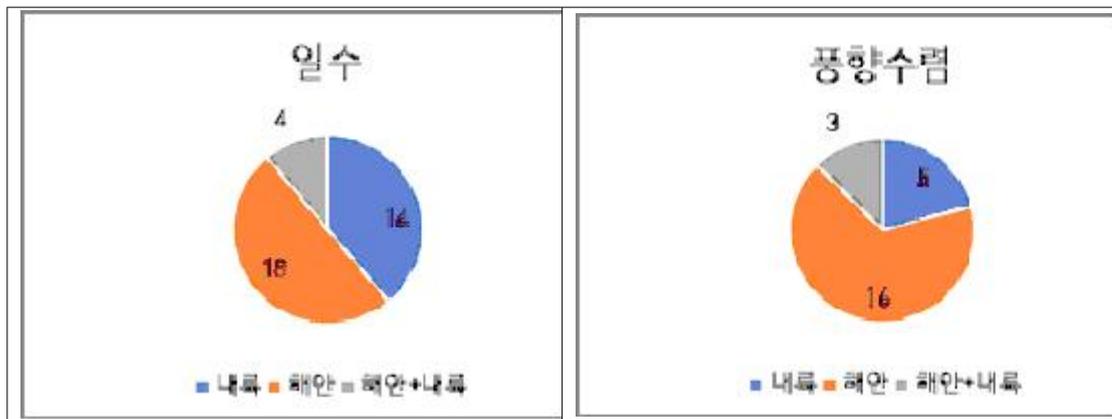


표 2. 내륙형, 해안형, 해안+내륙형 발생일수(좌), 풍향수렴일수(우)

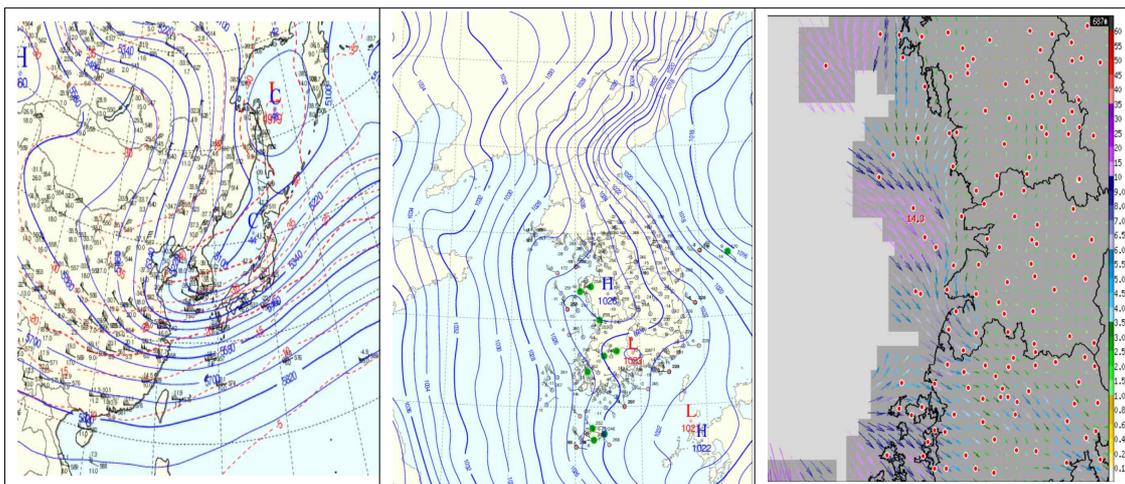


그림 31. 500hPa 온도골 확인, 지상일기도, 바람벡터(2016.1.24.)

일최심적설 5cm 이상 쌓인 사례는 총 37건이었고, 그 중에 14건이 내륙형, 18건이 해안형이었고, 4건은 해안형과 내륙형이 같이 나타난 사례였다. 해안형과 내륙형은 광주 고층자료로 850hPa 풍향이 12시간 만에 변하는 사례로 해안형의 풍향과 내륙형의 풍향이 나타난 사례이다. 해안형과 내륙형 중에

해안형이 조금 많은 48%를 보였고, 내륙형도 전체 사례로 비교해 보아 37%를 차지하고 있어 내륙형도 생각보다 많다는 것을 알 수 있었다. 전체 사례 중에서 지점별로 서해안에는 북서나 서풍계열의 바람이 불어오는 가운데 일최심적설 5cm를 기록한 지점에 북동이나 동풍계열의 바람에 의해 풍향 수렴되는 사례를 조사해 보았다. 24건 중에 내륙형에서는 5건, 해안형에서는 16건, 해안형과 내륙형에서는 3건이 나타났다. 풍향수렴에 의한 일적설 5cm 이상 사례가 해안형에서 많이 나타나는 것이 특징이었다. 물론 해안형에서도 풍향수렴이 일어나지 않은 사례가 있었지만 빈도를 따지면 해안형에서 풍향수렴에 의해 적설 5cm 이상 나타날 확률이 높다는 사실을 알 수 있었다.

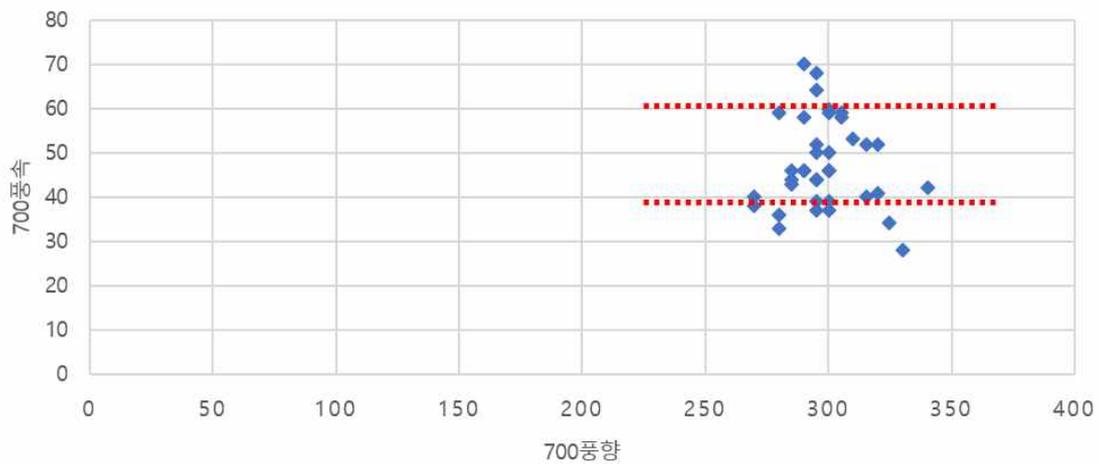


표 3. 일최심적설 5cm 이상 700풍향과 풍속 분포

일최심적설 5cm 이상인 사례들의 700hPa 풍향과 풍속을 조사해 보니 일정한 범위에서 나타났다. 풍향은 280~340도 범위로 주로 300도 내외로 많이 나타났고 풍속의 범위는 28~70knots(14~35m/s)로 범위가 컸으나 주로 40~60knots(20~30m/s)에 집중되어 있었다.

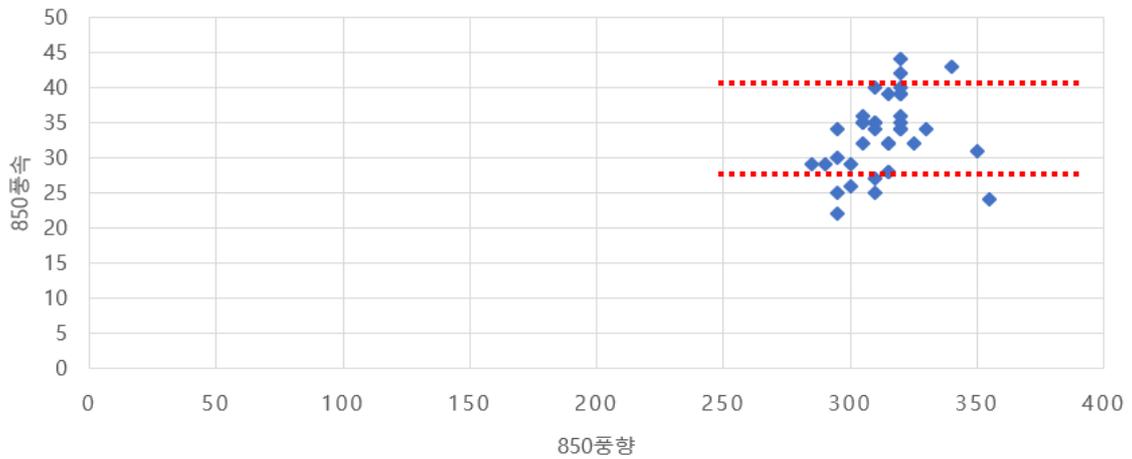


표 4. 일최심적설 5cm 이상 850풍향과 풍속 분포

850hPa 풍향과 풍속의 관계에서는 풍향에 따른 범위가 크게 나타났지만 주된 풍향은 295~320도 범위에서 나타난다는 것을 알 수 있었다. 풍속은 22~44knots(11~22m/s) 범위로 크게 나타났지만 주로 28~40knot(14~20m/s)에서 나타났었다.

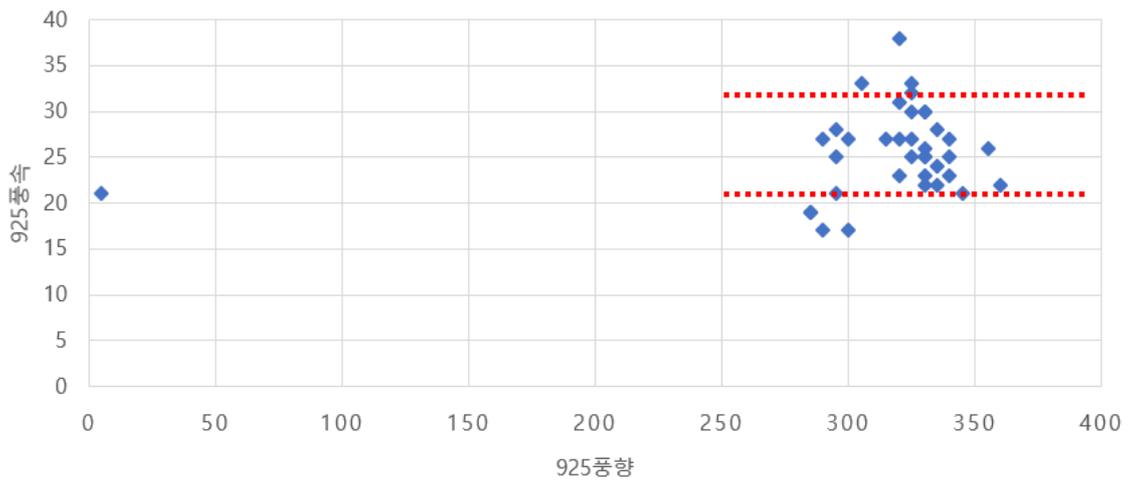


표 5. 일최심적설 5cm 이상 850풍향과 풍속 분포

925hPa 풍향과 풍속의 관계에서는 몇몇 사례를 제외하고 주로 290~340도 범위를 보였다. 풍속의 범위는 17~38knots(9~19m/s)로 700hPa 풍속처럼 범위가 크나 주로 22~30knots(11~15m/s) 범위에 집중되어 있었다.

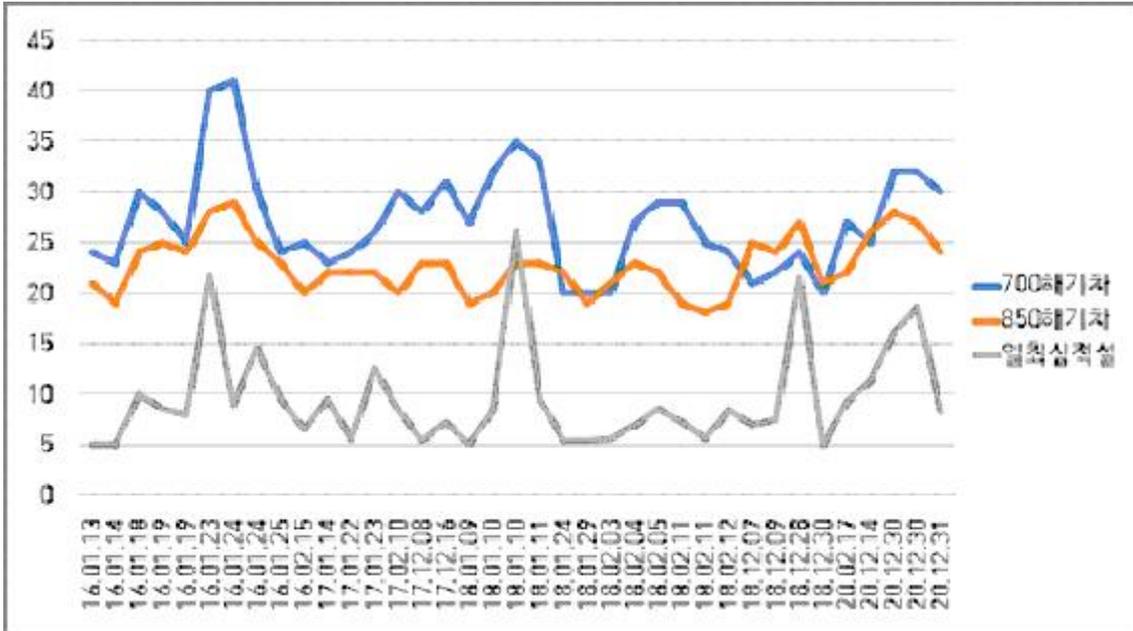


표 6. 일최심적설과 700hPa 해기차, 850hPa 해기차 비교 그래프

37개의 사례에서 700hPa 해기차와 850hPa 해기차, 일최심적설을 표로 나타내어 보았다. 일최심적설은 여러지역 중에서 일 중 가장 많은 적설을 기록한 곳의 적설량을 조사하였다. 일최심적설은 기존 조사와 같이 700hPa 해기차와 크게 관련이 있는 것이 표로 확인되었다. 2016년 1월 23일 700hPa 해기차는 40이었고, 이날 일최심적설은 신안군 21.7cm로 해기차가 큼에 따라 적설량도 많았고 이날 풍향수렴은 나타나지 않았었다. 일최심적설 5cm 이상 나타난 850hPa 해기차는 18~29, 700hPa 해기차는 20~41로 나타났다. 특보기준이 되는 5cm 이상의 일적설이 기록되기 위해서는 850hPa 해기차는 18이상, 700hPa 해기차는 20이상으로 조사되었다.

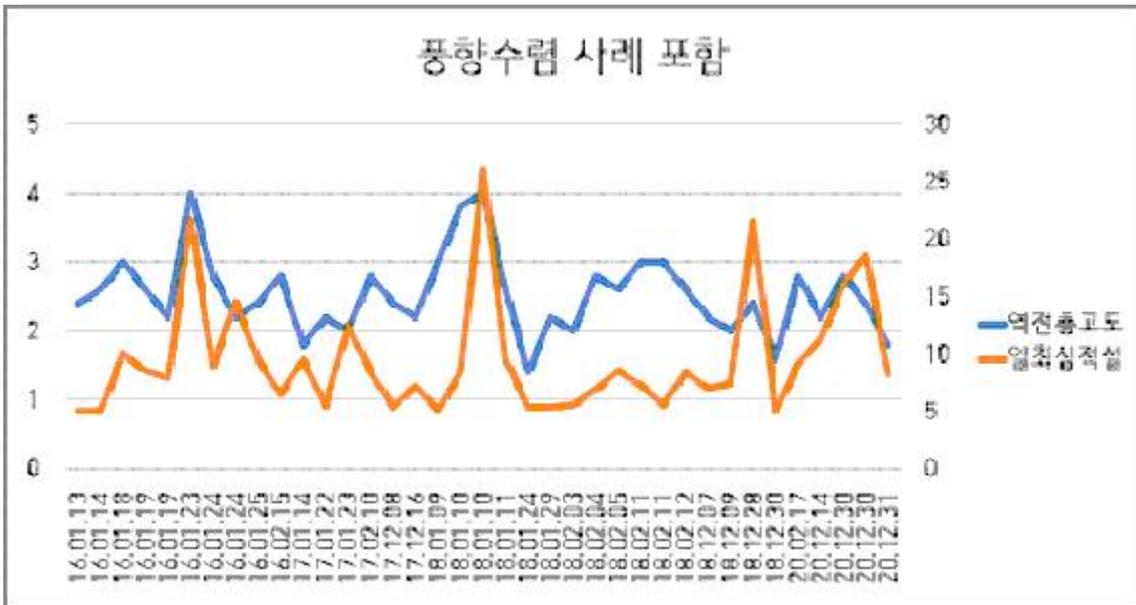


표 7. 일최심적설과 역전층고도 비교 그래프(풍향수렴 사례 포함)

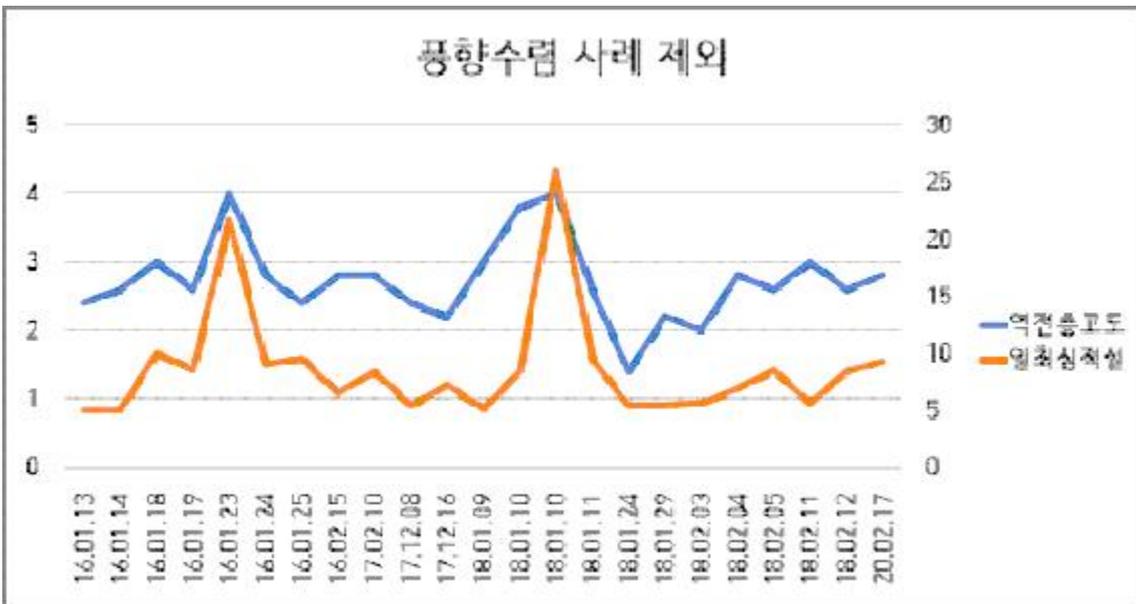


표 8. 일최심적설과 역전층고도 비교 그래프(풍향수렴 사례 제외)

역전층 고도와 일최심적설 간의 관계를 그래프로 나타내어 보았다. 역전층 고도는 광주광역시의 고층 자료를 통해 조사하였고, 일별 최심적설량과 비교해 보았다. 그래프의 좌측 범례는 역전층의 고도, 오른쪽은 적설량이다. 역전층 고도가 높을수록 적설량도 비례해서 나타나는 경우도 있었지만 그렇지 않은 경우도 있었다. 14개 사례에서 풍향수렴이 있었던 것으로 나타났고 그 사례를 제외하고 다시 그래프로 표현해 보았더니 대체로 역전층 고도가 높

을수록 적설량도 많아진다는 것을 알 수 있었다. 5cm 이상의 적설량을 기록하기 위해서는 한 사례를 제외하고 대체로 역전층 고도는 2km 이상으로 대류운이 발달하여야 나타난다는 기존의 연구자료가 타당하다는 것을 다시 조사하면서 알 수 있었다.

2.3.4.2 5년동안 일최심적설 5cm이상 연구 사례

(1) 16.1.23~24 내륙형→해안형 풍향수렴(X)

해당 사례는 23일~24일까지 광주광역시와 전라남도에 일 최심적설 5cm이상 눈이 지속된 사례이다. 눈은 다음날 25일까지도 내렸다. 23일 일최심적설과 시간은 신안군 21.7cm(19시), 영광군 16.5cm(19시), 목포시 16.3cm(21시), 진도군 14.4cm(22시), 무안군 14cm(24시), 함평군 13cm(22시), 장성군 13cm(24시), 영암군 11.6cm(22시), 광주광역시 8.4cm(24시), 해남군 7cm(21시), 완도군 6.5cm(22시), 강진 6.5cm(23시) 이었다. 24일 일최심적설과 시간은 광주광역시 14.5cm(24시), 장성군 14cm(24시), 강진군 9.5cm(22시), 곡성군 9cm(7시), 영암군 7.8cm(24시), 함평군 7.5cm(23시), 진도군 7.4cm(23시), 완도군 6.6cm(18시), 영광군 5.5cm(24시) 이었다.

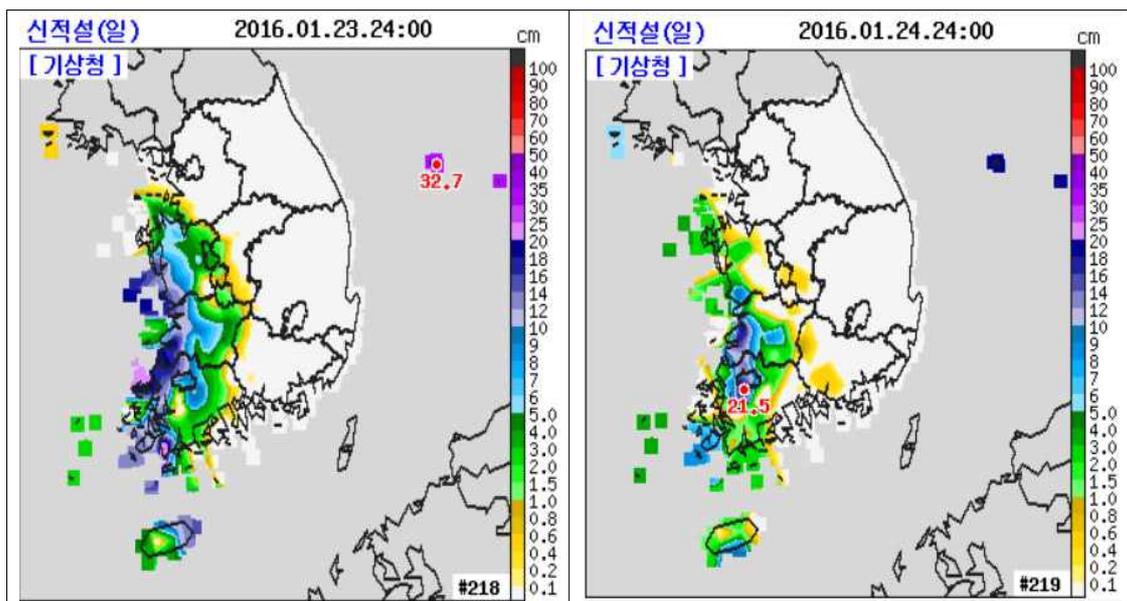


그림 32. 2016.1.23. 일최심적설(좌), 2016.1.24. 일최심적설(우)

1월 23일의 일최심적설 분포도를 보면 충청남도와 전라북도, 광주와 전라남도 까지 서해안에 위치한 지역을 중심으로 적설이 있었음을 알 수 있고, 내륙 깊숙이 눈이 쌓였음을 알 수 있다. 1월 24일의 분포도를 보면 적설지점은 조금 더 남하하여 전라북도와 전라남도를 중심으로 있었으며 충청남도와 전라

남도의 동부내륙쪽은 적설이 거의 없는 특징을 볼 수 있다.

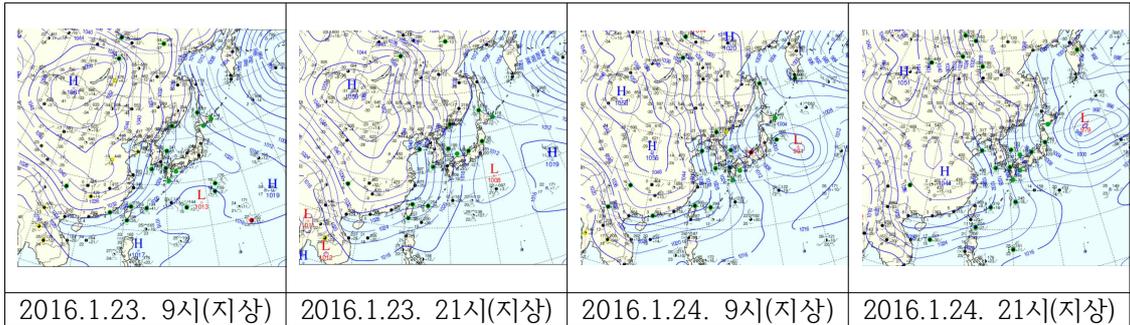
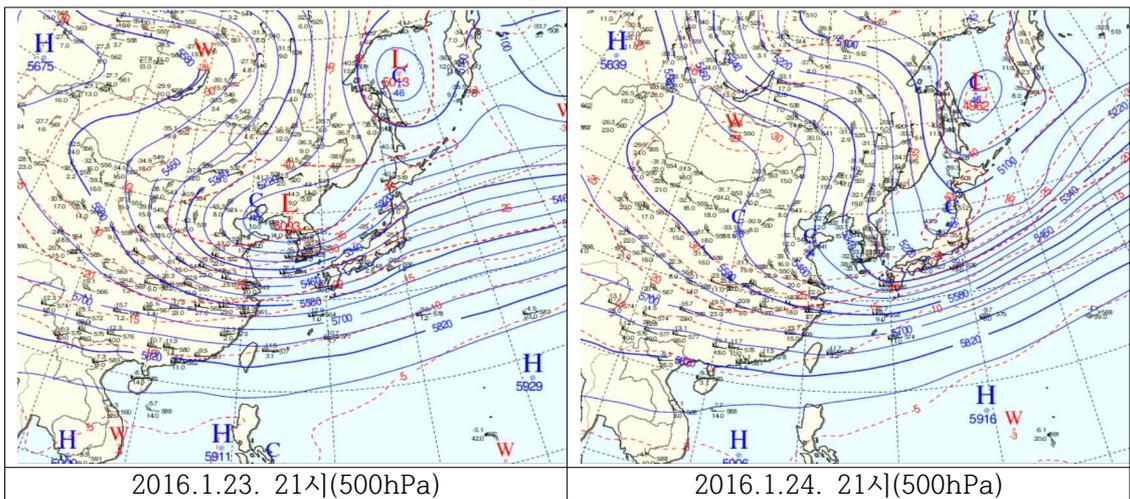


그림 33. 2016.1.23~24. 지상일기도

이날 지상기압계는 서고 동저의 기압배치를 보였다. 몽골에 중심을 둔 대륙고기압이 우리나라로 확장하면서 영향을 주고 있으며 대만 동쪽에 있는 저기압이 발달하면서 일본 동쪽으로 빠져나가고 그 사이 우리나라는 지상의 기압선이 조밀하면서 기압경도력이 강해진 것을 볼 수 있었다. 그 후 24일에 저기압은 북동진하면서 중국중부에 위치한 고기압의 중심은 더 남쪽으로 내려오면서 제주도 남쪽 해상으로 확장하면서 중심이 점점 남동진하는 것을 볼 수 있었다.



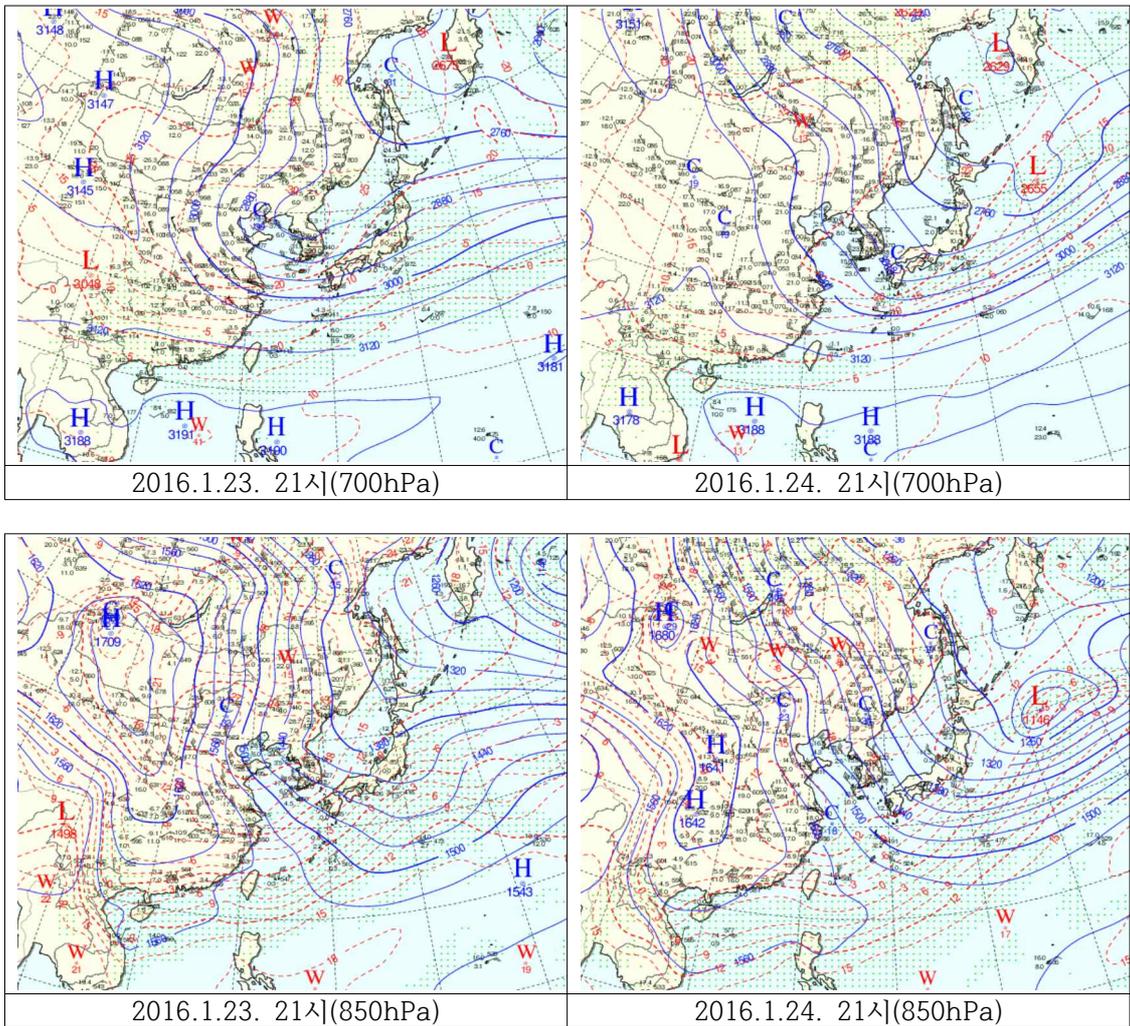


그림 34. 2016.1.23~24. 500/700/850hPa 고층일기도

23일 21시 500hPa 일기도에서 북한에 기압골에 의해 생긴 상층 저기압이 보이며 남부지방에 -30°C 선이 지나가고 다음날 21시에 -30°C 선은 제주도까지 위치하며 기압골은 동진하면서 강하게 찬 공기가 내려왔음을 알 수 있었다. 700hPa 일기도에서 23일 21시에 역시 남부에 -30°C 선이 서북서풍으로 한반도에 불어들어감을 알 수 있었고, 다음날 같은 시간에 기압골은 동진하면서 기온선은 -20°C 선이 지나가면서 이전보다는 찬 공기의 이류가 약해진 것과 풍향이 북북서풍으로 바뀐 것도 알 수 있었다. 850hPa 일기도에서는 -18°C 선이 남해안을 지나가고 등압선과 평행하게 약 310° 선을 이루며 바람이 25~30knts 강도로 불고 있음을 알 수 있다. 24일 21시에서는 남해안으로 -15°C 선으로 온도가 더 높아지고 풍향은 더 북쪽으로 기압배치가 이루어지며 약 320° 선을 이루며 40knts 이상의 강한 바람이 부는 것을 볼 수 있다.

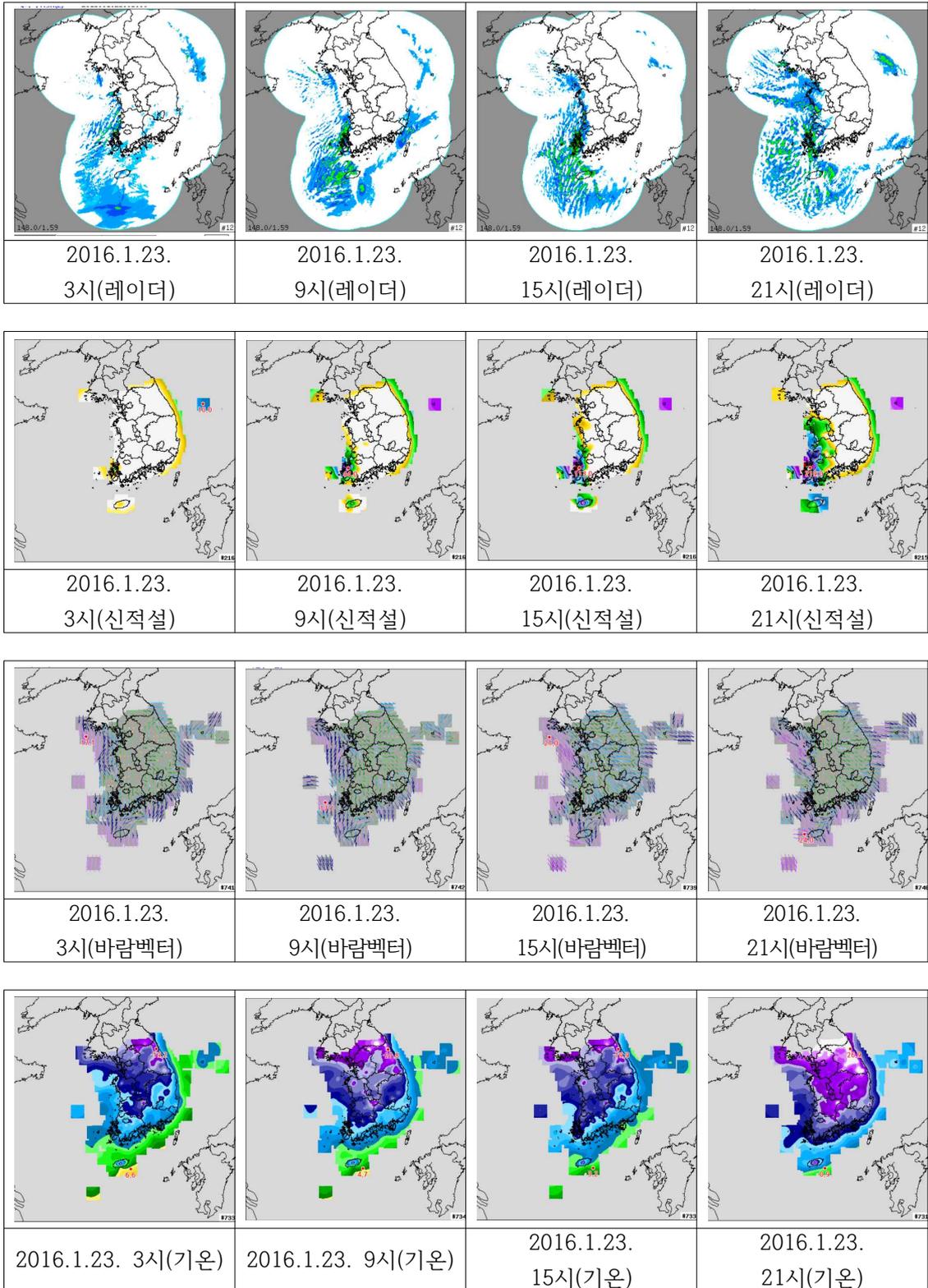
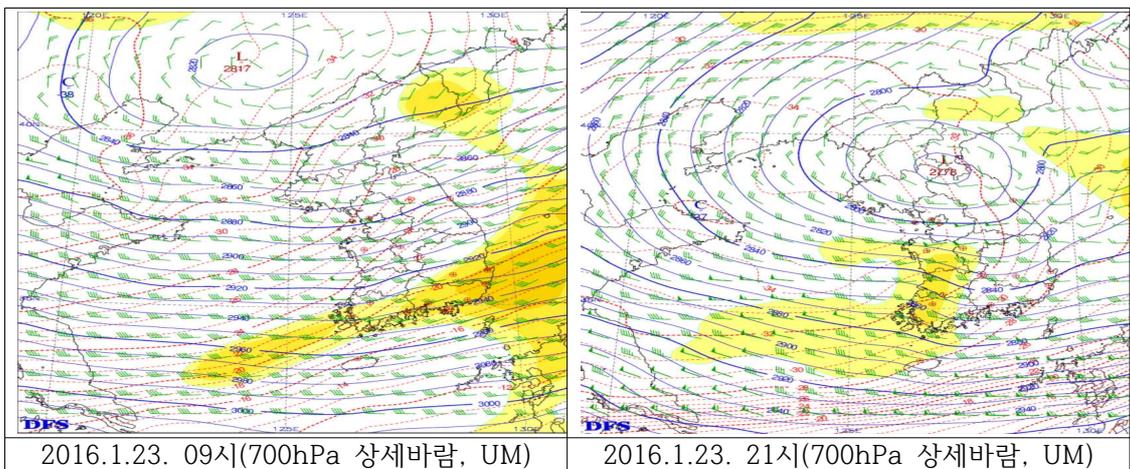


그림 35. 2016.1.23. 레이더영상, 신적설, AWS바람벡터, 기온분포도

16년 1월 23일 6시간 간격으로 레이더 영상과 일신적설, 바람의 풍향과 풍속의 변화를 나타내는 바람벡터, 기온의 변화를 보았다. 새벽 3시부터 서해상에 해기차에 의해 눈구름이 서해안으로 유입되었고, 1 ~ -11℃ 범위를 보이며 내륙에서 해안으로 육풍이 불고 있었다. 기존 적설이 0.4 ~ 4.3cm가 신안, 광주, 영암, 진도에 쌓여있었으나 신적설은 없었다. 9시에는 여전히 육풍으로 인해 북동풍이 부는 가운데 서해안 목포, 영광, 무안, 영암, 진도를 중심으로 적설이 쌓이기 시작하였다. 15시에는 해상에서 서-북서풍이 강하게 유입되면서 점차 눈구름이 해안에 인접한 내륙까지 유입되었다. 바람벡터는 북 또는 북서풍이 불고 있었다. 기온은 -0.1 ~ -13℃ 범위를 기록하였다. 여전히 적설은 서해안 위주로 쌓이고 있었다. 21시에는 산둥반도 서해중부해상에서 레이더 에코상에서 서북서풍이 강화되면서 충남과 전북에서 내륙까지 눈구름이 유입되는 것을 알 수 있고, 광주와 전라남도도 내륙까지 적설이 쌓이는 것을 볼 수 있다. 밤에 서해안을 중심으로 20cm, 내륙에도 5cm 이상 많은 적설이 쌓였다. 바람벡터는 북-북서풍의 바람이 해상에서 강하게 불고 내륙에서도 1~3m/s로 불고 있었다. 기온은 -3 ~ -17℃ 범위를 보였다.



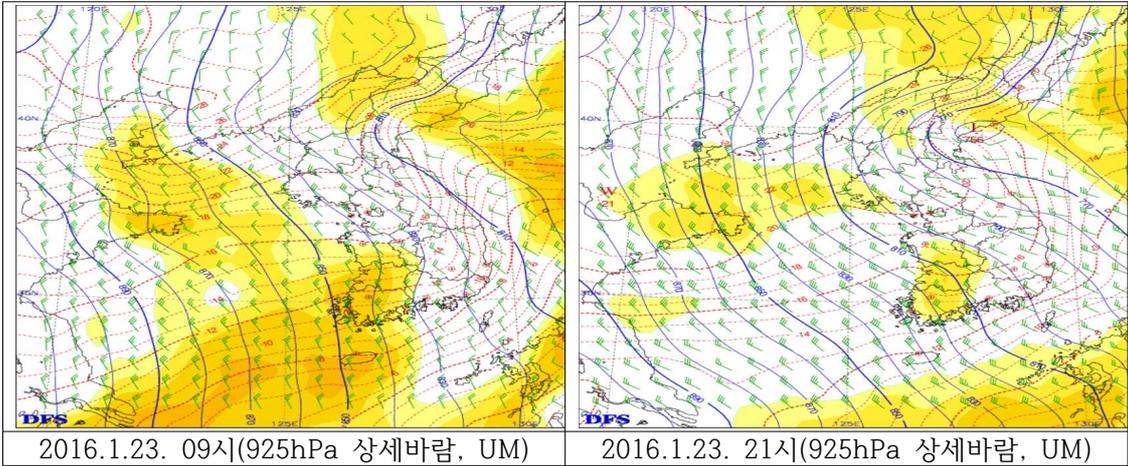
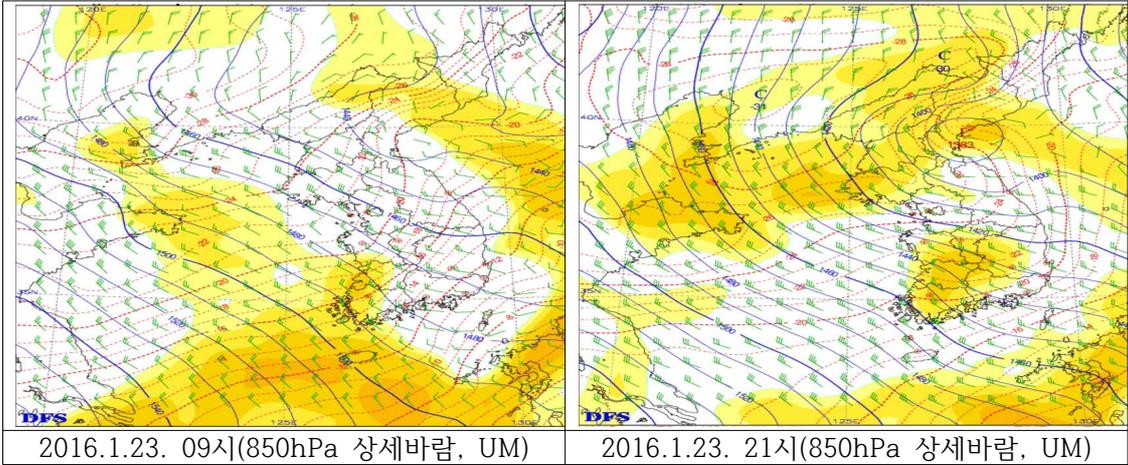
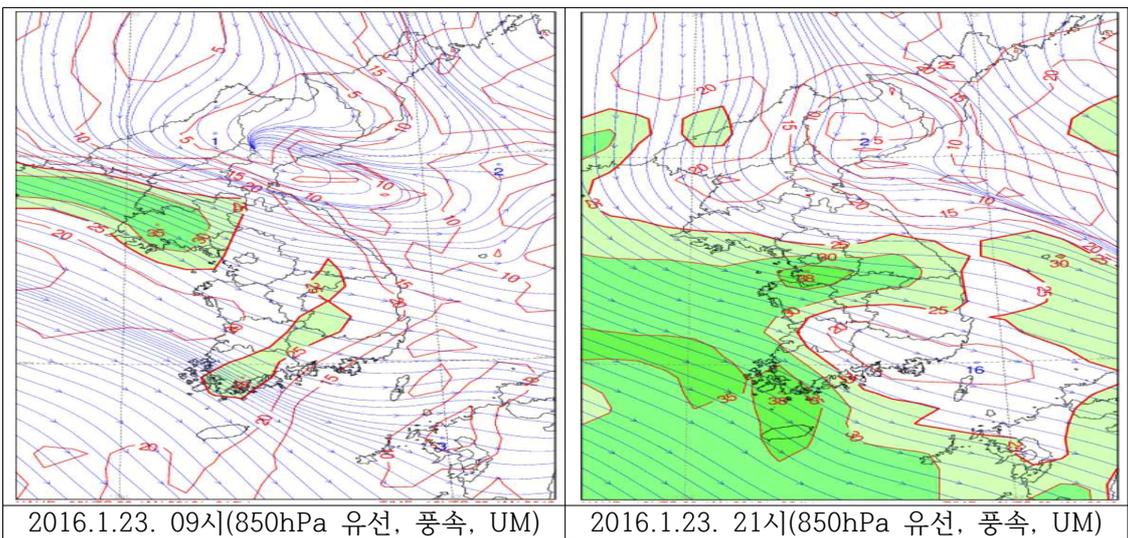


그림 36. 2016.1.23. 700/850/925hPa 상세바람장(UM)



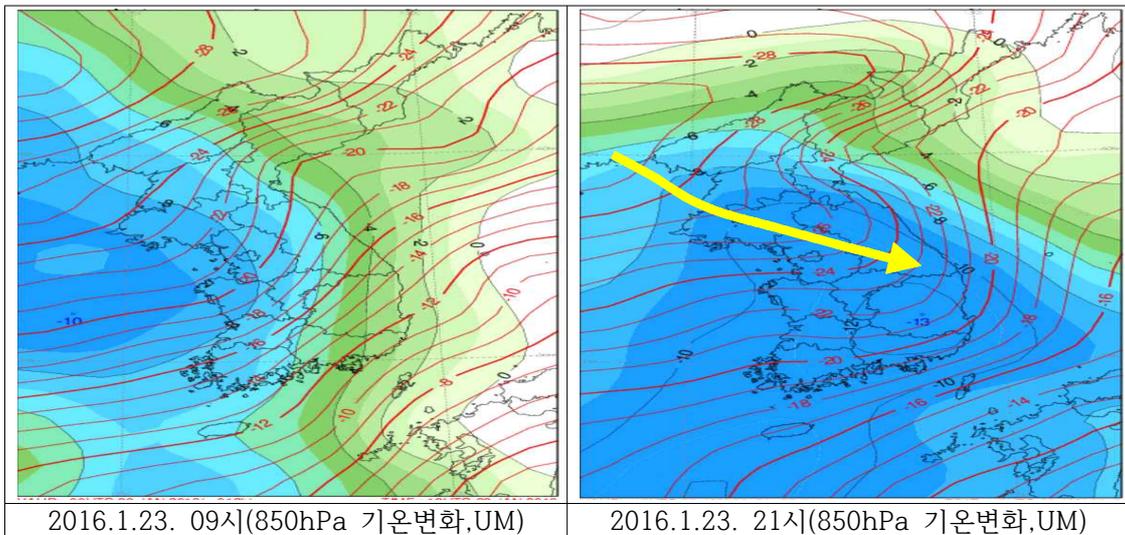


그림 37. 2016.1.23. 850hPa 유선, 풍속 및 기온변화(UM)

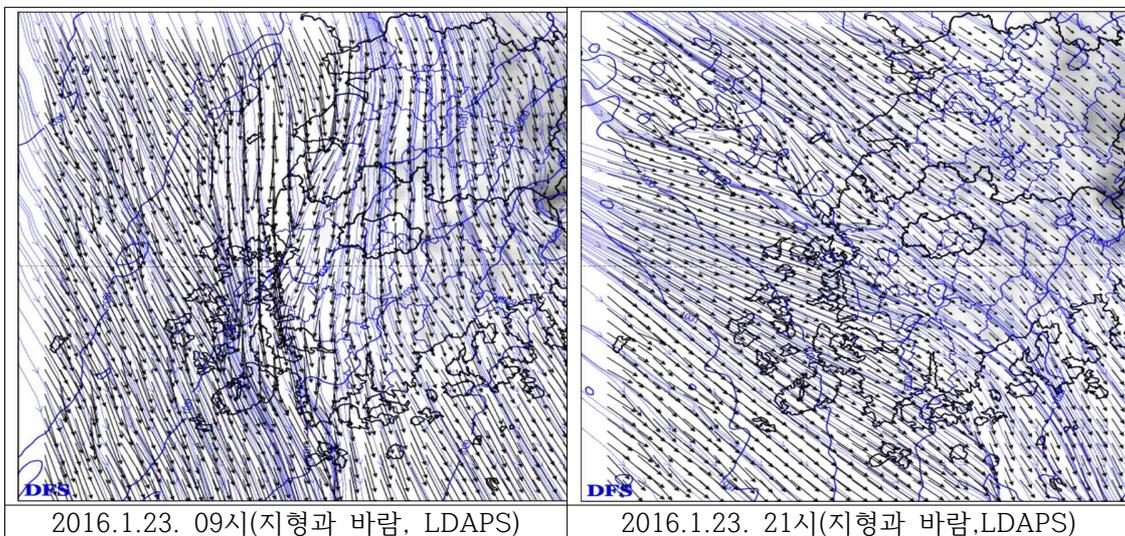


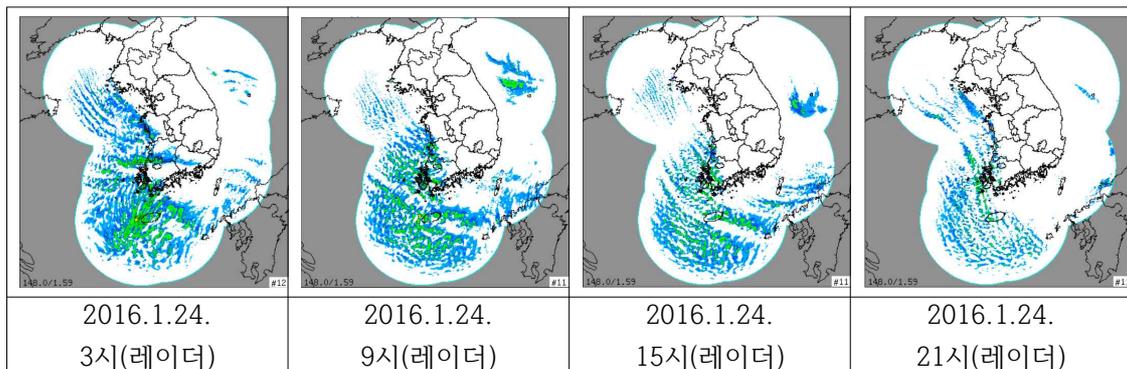
그림 38. 2016.1.23. 지형과 바람(LDAPS)

위 그림은 기상청에서 예보에 쓰이는 UM 수치모델과, 지역모델인 LDAPS 자료이다. 700h~925Pa 상층바람장에서 기압골에 동반된 저기압의 이동 경로와 풍향과 풍속, 광주와 전라남도에 위치하는 기온선, 습수역 등을 예측할 수 있다. 상층 저기압이 중국북동지역에서 북한으로 남동진하면서 중국북부 내륙에 위치한 대륙고기압이 찬 공기와 함께 서해상에서 한반도로 유입됨을 알 수 있다. 또한 850hPa 풍속도 강해지고 23일 21시에 온도골이 내륙으로 들어오면서 서해상에서 해기차에 의해 생성된 눈구름이 내륙으로 유입됨을 예측할 수 있다. 실제 AWS 자동기상관측장비에서 관측된 바람의 풍향과 풍

속은 지역모델인 LDAPS의 지형을 고려하여 9시에 내륙에서는 육풍에 의해 북동풍이 불고, 21시에는 찬공기의 남하로 인해 북서풍이 내륙까지 유입됨을 예상 할 수 있었다. 700hPa의 풍향이 260에서 280° 로, 850풍향이 330에서 310° 로, 풍속은 25knots에서 30knts로 강해질 것으로, 925풍향이 350에서 330으로 풍속은 25knots에서 30knots로 변할 것으로 예상이 됨에 따라 내륙형의 조건에 해당되어 통계 분석한 결과와 일치함을 볼 수 있었다. 3일 21시 기준으로 이 사례의 700해기차는 40, 850해기차는 28, 850hPa 풍속은 27knots(13.5m/s), 역전층 고도는 4km로 나타났다. 광주지방청에서 사용하는 대설판단 가이던스에 UM 수치모델 예측자료를 입력한 결과 21시 기준으로 20cm이상의 많은 눈을 예상하였고, 실제 신안군에 21.7cm의 많은 눈이 내려 가이던스의 값과 일치하였다.

대설 판단 가이던스(서해안형)											
구분	모델예상일 : 2016.01.22.21UTC (UM)						입력하는 곳		결과 (가중치 적용)		
	1. 대설경보 (20cm이상)	가중치	2. 대설주의보 (5~15cm)	가중치	3. 일반적설 (0.5~3cm)	가중치	23일 09시	23일 21시	23일 09시	23일 21시	
피크 12시간 전 대한 850hPa 기온	≤-17°C	20	-16~-12°C	10	-11°C≤	5	-24	-28	20	20	
피크 12시간 전 대한 500hPa 기온	≤-37°C	20	-36~-33°C	10	-32°C≤	5	-37	-43	20	20	
피크시 광주 850hPa 기온	≤-14°C	20	-13~-7°C	10	-7°C≤	5	-16	-20	20	20	
피크시 광주 850hPa 풍속	35kts이상	10	25~30kts	5	20kts이하	2	25	30	2	5	
침강역전층 고도	3km이상	10	2~3km	5	2km	3	1.4	3	3	5	
(발해만~광주중간지점)수온	35°C이상	10	25~30°C	5	25°C이하	3	24	28	3	5	
피크시 500hPa -40°C선 남하 위치(120~140°E)	1. 속초~강릉	10	2. 백두산~원산만 (39~42°N)	5	3. 만주~함안국경분단 (43°N±)	2	10	10	10	10	
※ 평가							23일 09시	23일 21시	23일 09시	23일 21시	
- 80점 이상 : 20cm 이상 (경보 기준치)											
- 73~83점 : 15~20cm											
- 62~72점 : 10~15cm											
- 51~61점 : 5~10cm (주의보 기준치)											
- 25~50점 : 0.5~3cm											
							발해만~광주 중간지점 수온	8	8	78	85
							850hPa 광주 기온	-16	-20	15~20cm	20cm이상

그림 39. 광주청 대설판단가이던스(2016.1.23.)



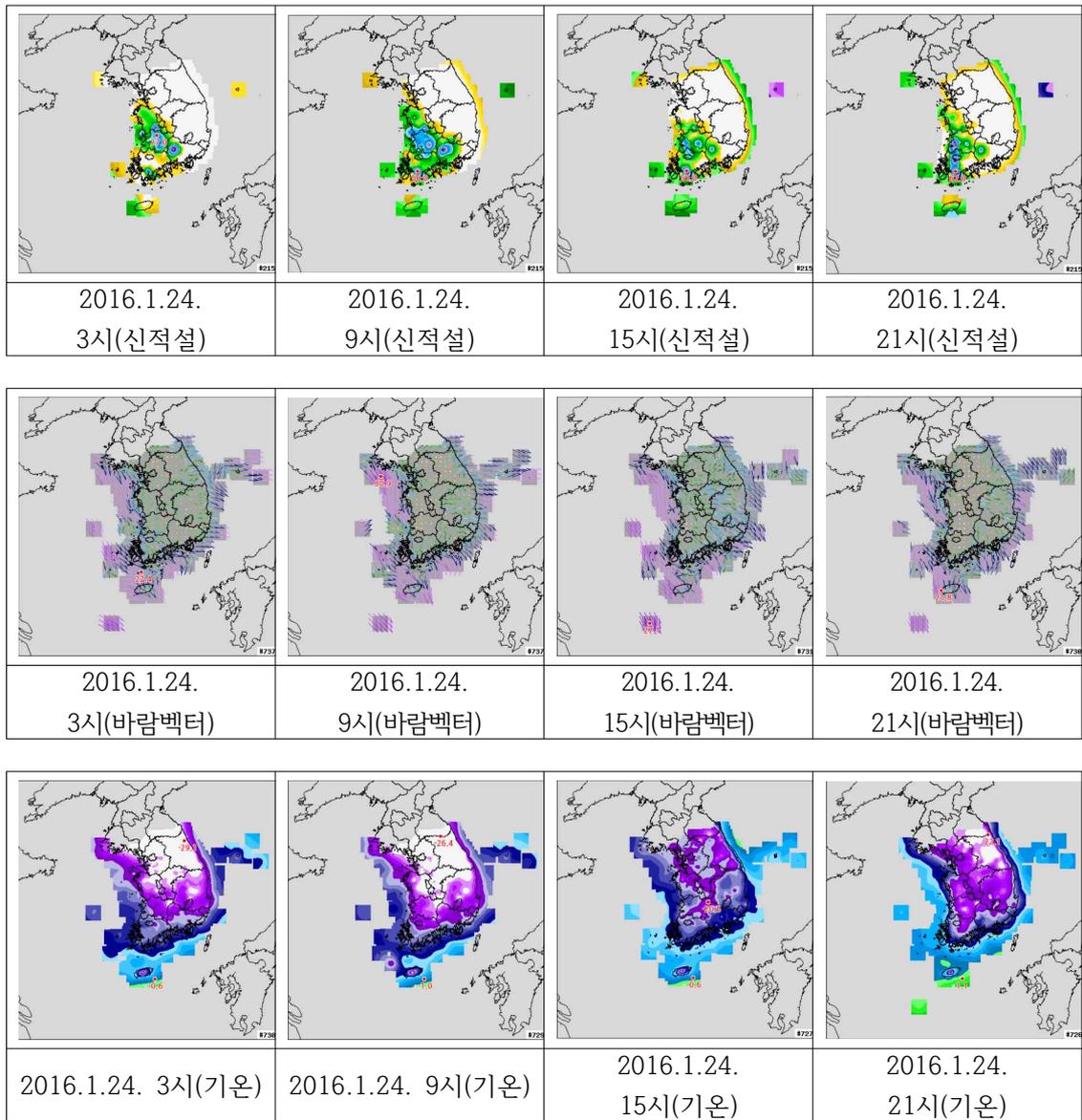
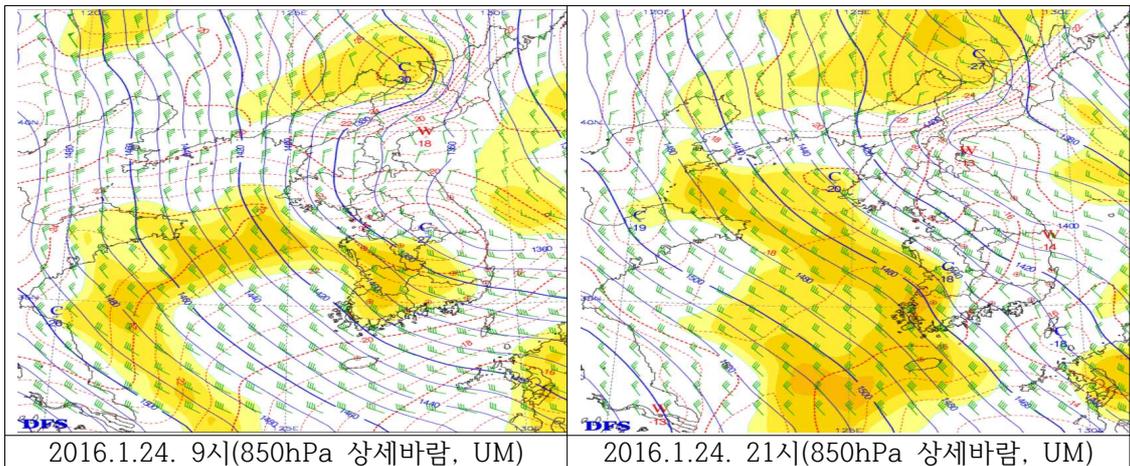
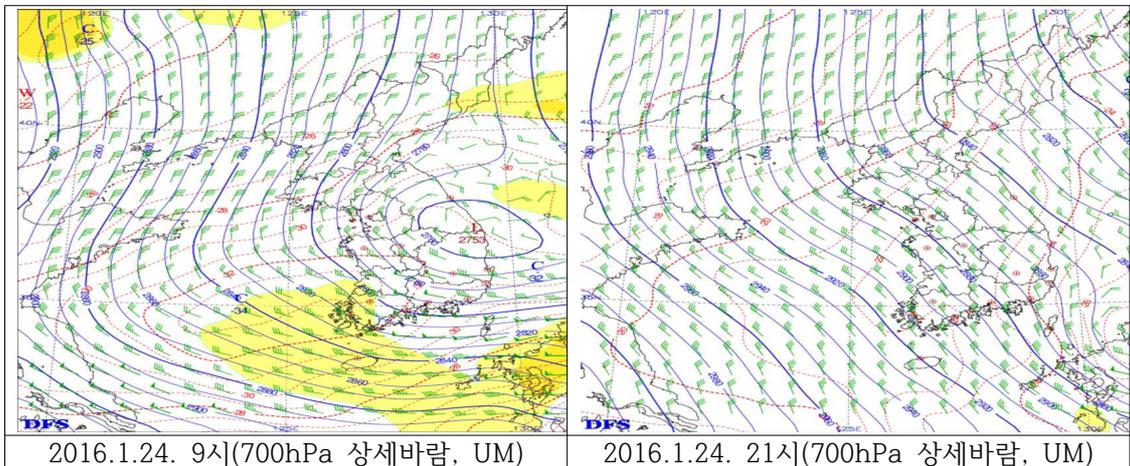


그림 40. 2016.1.23. 레이더영상, 신적설, AWS바람벡터, 기온분포도

16년 1월 24일 6시간 간격으로 레이더 영상과 일신적설, 바람의 풍향과 풍속의 변화를 나타내는 바람벡터, 기온의 변화를 보았다. 24일 3시에는 서해안에는 바람이 10분 평균 5~13m/s 분포로 강하게 불었고, 전북과 전남 경계 부분에 북서와 서풍의 바람 변곡점에서 강한 대류운이 발달하여 위치하였다. 기온은 $-4^{\circ}\text{C} \sim -16^{\circ}\text{C}$ 범위를 보이며, 구례와 고흥에 0.5cm의 적설이 쌓이기 시작하였다. 9시에 바람벡터를 보면 내륙까지 강하게 서북서풍이 유입되다가 북서풍으로 풍향이 바뀌며 내륙의 풍속도 약해지면서 풍향도 같이 바뀌었다. 기온은 $-5^{\circ}\text{C} \sim -19^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 보였으며, 구례군 3cm, 순천시 1.2cm, 고흥군 2.2cm, 광양시 0.5cm, 여수 0.3cm 등 전남동부지역까지 서북서풍향에 강한바

람이 동반되어 내륙형으로 적설이 쌓이는 것을 볼 수 있었다. 15시에는 레이더영상에도 전남동부까지 레이더에코가 들어가지 못하고 서해안, 일부남해안과 일부내륙까지만 유입되는 것을 볼 수 있다. 이 때 광주 8.4cm, 장성 6cm, 영암 5.5cm, 강진 5.5cm, 진도 3.4cm, 흑산도 3.3cm 등 해안과 내륙의 경계 부분에 적설이 많았다. 백령도 부근 레이더 에코에서 이전보다 풍향각이 북쪽으로 서서 약 330° 를 이루면서 유입되기 시작하는 것을 볼 수 있었다. 21시에는 바람벡터에서 풍향은 북북서풍, 풍속은 점차 더 약화되어 해안에만 2~8m/s 풍속을 보였다. 기온은 -1 ~ -15℃ 분포를 보였고, 광주는 9cm, 장성 9cm, 영암 7.5cm, 강진 6.2cm, 진도 6.1cm, 함평 3.5cm, 영광 2cm 등 적설강도도 점차 줄어들면서 서해안을 중심으로 적설이 있었다.



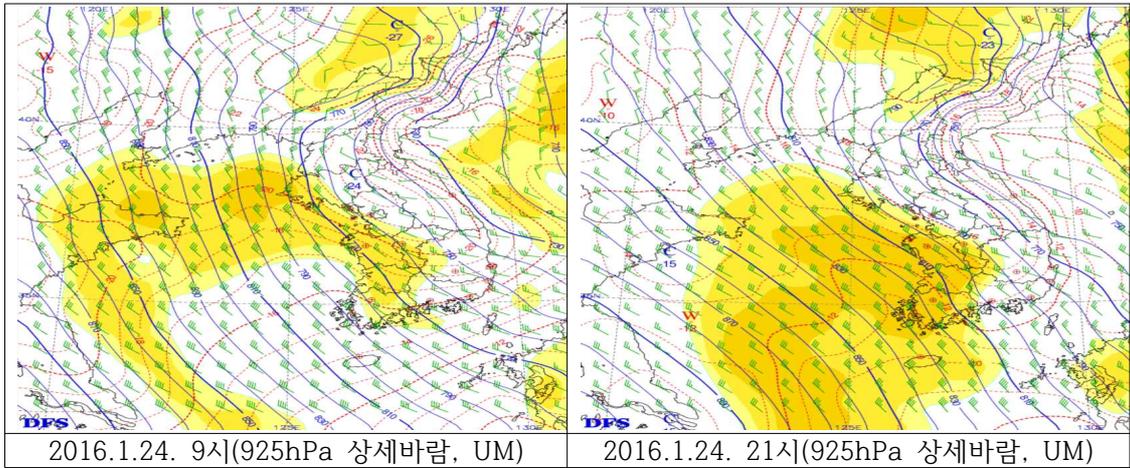


그림 41. 2016.1.24. 700/850/925hPa 상세바람장(UM)

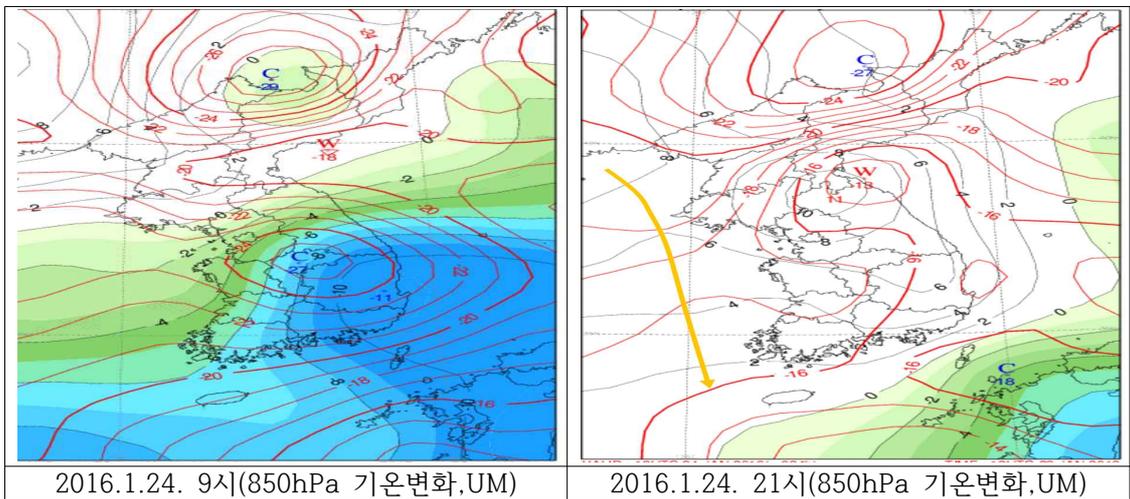
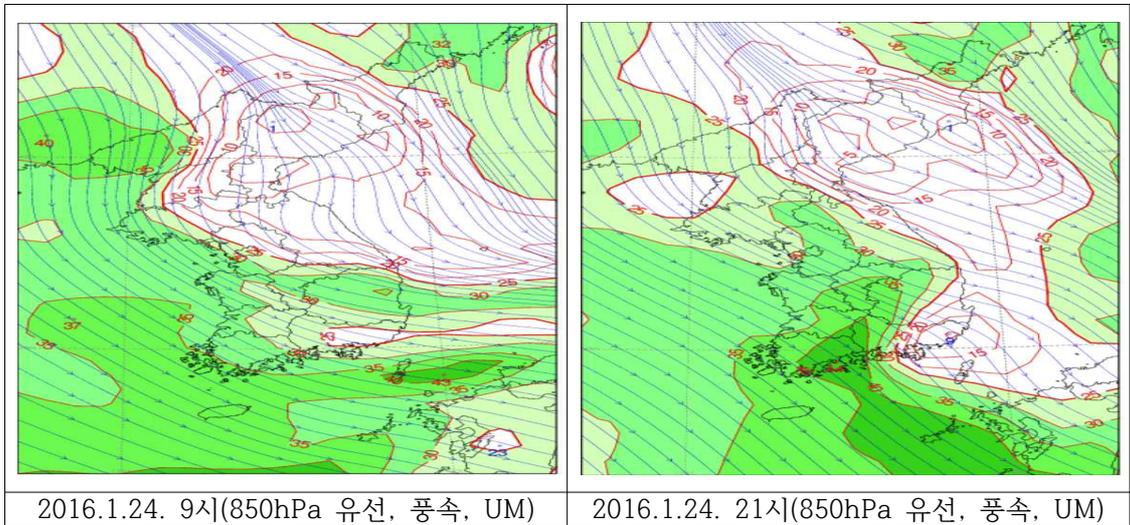


그림 42. 2016.1.24. 850hPa 유선, 풍속 및 기온변화(UM)

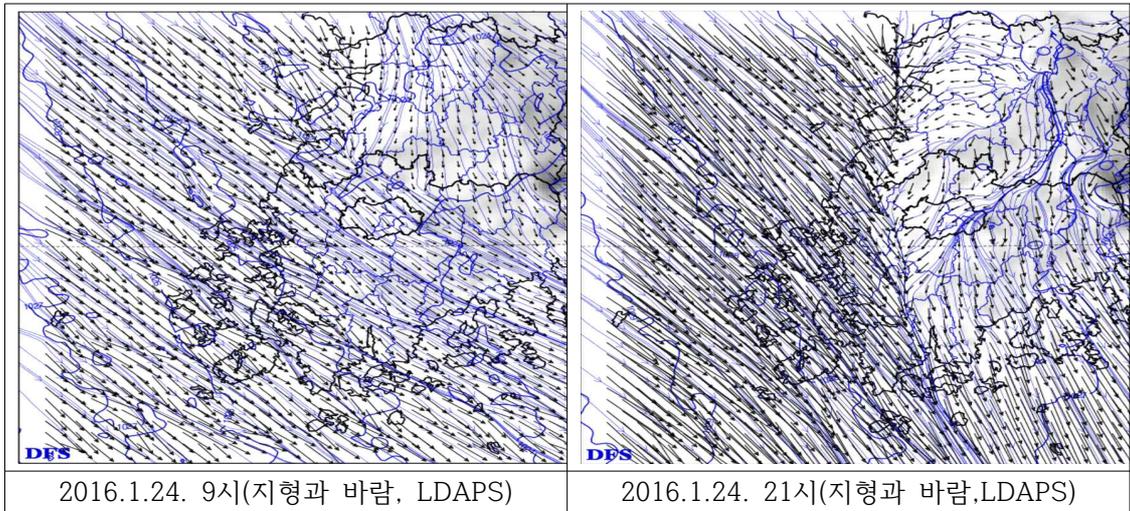


그림 43. 2016.1.24. 지형과 바람(LDAPS)

700h~925Pa 상세바람장에서 상층저기압은 점차 동해상으로 빠져나가게 되며, 온도 조밀역도 점차 빠져나가게 되는 것을 볼 수 있다. 850hPa 상세바람장에서 9시에 비해 21시에는 서해상에 온도 조밀역은 보이지 않으며 온도능이 위치하고 있다. 925hPa 상세바람장에서도 서해상에 온도능이 위치하는 것을 볼 수 있다. 850hPa의 강풍역은 내륙이 해상보다 더 강하며 기온변화를 보면 9시와 21시를 비교했을 때 점점 찬 공기의 남하가 약해지는 게 확실히 보인다. 실제 AWS 자동기상관측장비에서 관측된 바람벡터와 지역모델인 LDAPS를 비교해 보았을 때 9시에 북서풍이 내륙까지 유입될 것을 예상하였으나, 풍속이 약해지면서 서해안까지 유입되었고, 21시에는 찬공기의 남하도 약하고 풍속이 12시간 전보다 더 약해지면서 서해상과 서해안의 경계까지만 강한 바람이 유입되었다. 700hPa의 풍향이 285에서 340° 로, 850hPa의 풍향이 310에서 320° 로, 풍속은 35knots에서 40knots로 강해질 것으로, 925hPa의 풍향이 285에서 325° 로 풍속은 30knots에서 35knots로 변할 것으로 예상이 됨에 따라 해안형의 조건에 해당되어 통계 분석한 결과와 일치함을 볼 수 있었다. 4일 21시 기준으로 이 사례의 700hPa 기차는 30, 850hPa 기차는 25, 850hPa 풍속은 42knots(21m/s), 역전층 고도는 2.2km로 나타났다. 광주지방청에서 사용하는 대설판단 가이드스에 UM 수치모델 예측자료를 입력한 결과 21시 기준으로 15~20cm의 많은 눈을 예상하였고, 실제 광주광역시에 14.5cm, 장성 14cm의 많은 눈이 내려 가이드스의 값과 비슷하거나 적었다.

대설 판단 가이드스(서해안형)											
모델예상일 : 2016.01.23.21UTC (UM)											
구분	1. 대설경보 (20cm이상)		2. 대설주의보 (5~15cm)		3. 일반적설 (0.5~3cm)		입력하는 곳		결과 (가중치 적용)		
	가중치	가중치	가중치	가중치	24일 09시	24일 21시	24일 09시	24일 21시	24일 09시	24일 21시	
피크 12시간 전 대현 850hPa 기준	≤-17°C	20	-16~-12°C	10	-11°C≤	5	-29	-20	20	20	
피크 12시간 전 대현 500hPa 기준	≤-37°C	20	-36~-33°C	10	-32°C≤	5	-44	-39	20	20	
피크시 광주 850hPa 기준	≤-14°C	20	-13~-7°C	10	-7°C≤	5	-21	-17	20	20	
피크시 광주 850hPa 풍속	35kts이상	10	25~30kts	5	20kts이하	2	35	40	10	10	
집강역전중 고도	3km이상	10	2~3km	5	2km	3	3	1.4	5	3	
(발해만~광주중간지점)수온 - 광주850hPa 해기차	35°C이상	10	25~30°C	5	25°C이하	3	29	25	5	3	
피크시 500hPa -40°C선 남하 위치(120~140°E)	1. 속초~강릉	10	2. 백두산~원산만 (39~42°N)	5	3. 만주~한반국경분단 (43°N±)	2	10	2	10	2	
※ 평가 - 80점 이상 : 20cm 이상 (경보 기준치) - 73~83점 : 15~20cm - 62~72점 : 10~15cm - 51~61점 : 5~10cm (주의보 기준치) - 25~50점 : 0.5~3cm							24일 09시	24일 21시	24일 09시	24일 21시	
							발해만~광주 중간지점 수온	8	8	90	78
							850hPa 광주 기준	-21	-17	20cm이상	15~20cm

그림 44. 광주청 대설판단가이드스(2016.1.24.)

(2) 18.12.28 해안형 수렴

해당 사례는 17일~18일까지 전남서해안에 일 최심적설 5cm이상 눈이 지속된 사례이다. 18일 일최심적설과 시간은 영광군 21.5cm(7시), 함평군 6.8cm(10시), 목포시 5.1cm(7시), 무안군 3.8cm(11시), 장성군 3cm(8시) 등이었다. 대표지점 이외에 광주광역시 광산구에 12.5cm(10시), 영광군 염산면 3.6cm(14시)에도 많은 적설이 관측되었다. 특히, 전남북부서해안인 영광에 적설이 집중되어 20cm 이상의 많은 눈이 내렸다. 또한, 광주광역시에서도 서쪽에 위치한 광산구에만 눈이 많이 내리고 그 외의 지역에는 적설이 쌓이지 않아 지역적 편차가 아주 큰 사례이다.

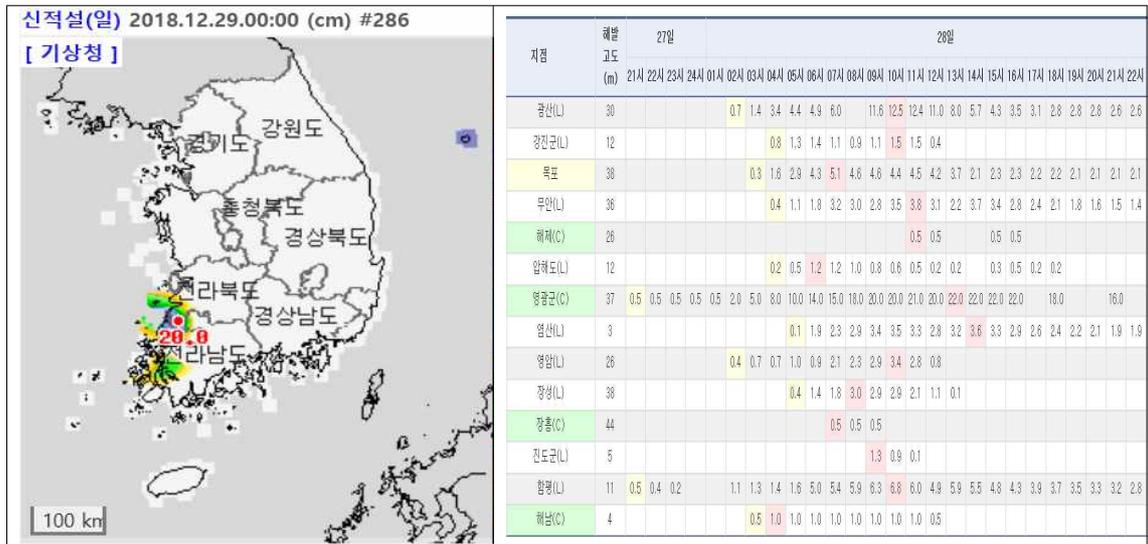


그림 45. 2018.12.28. 일신적설(좌), 시간별 일적설(우)

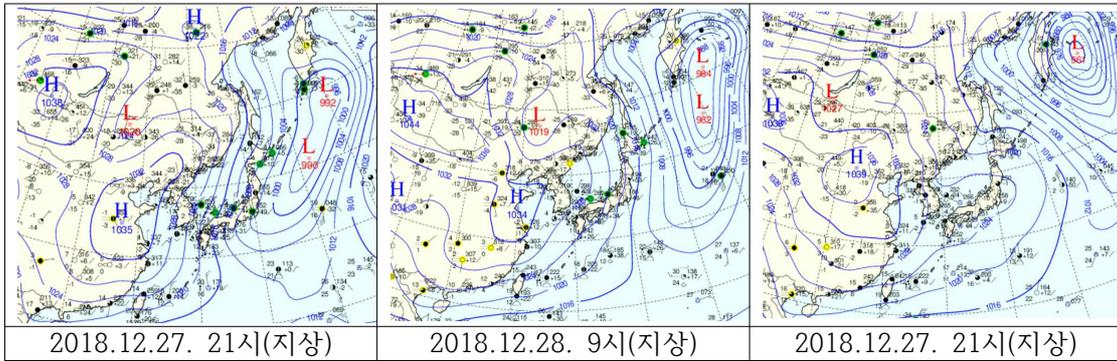
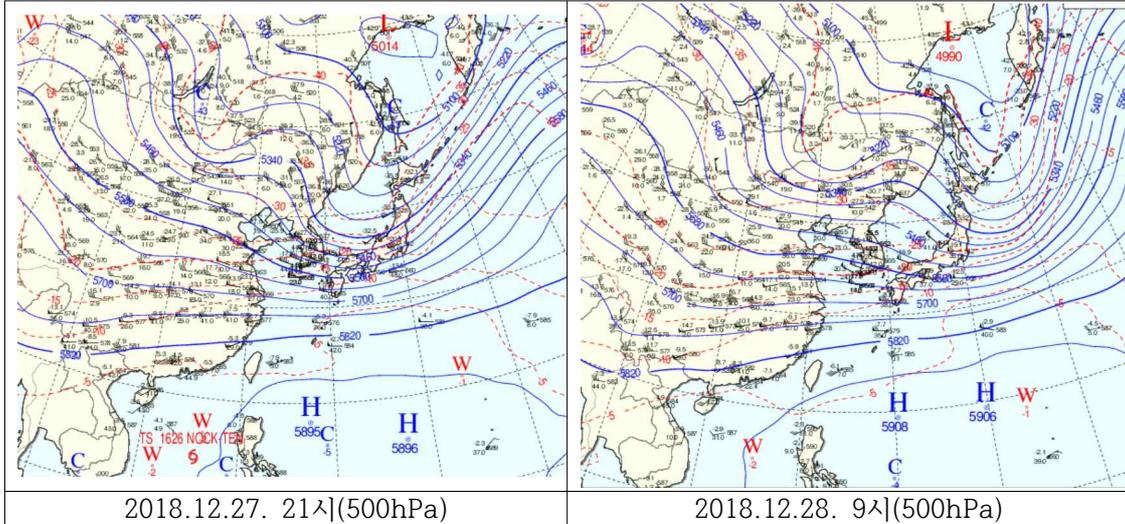


그림 46. 2018.12.27~28. 지상일기도

지상기압계는 서고 동저의 대륙고기압이 동쪽으로 확장하는 기압배치를 보였다. 27일 21시에는 중국 남부에 중심을 둔 대륙고기압이 우리나라로 확장하면서 영향을 주고 있으며 고기압과 저기압의 경계는 동해상에 위치, 기압경도력이 강하지 않다는 것을 알 수 있다. 점차 28일에 캄차카 반도에 위치한 저기압은 북북동진하면서 몽골에 위치한 고기압의 중심은 더 남동쪽으로 내려오면서 동해상으로 확장하는 경향을 보이며 일본까지 고기압의 영향을 받는 것을 볼 수 있다.



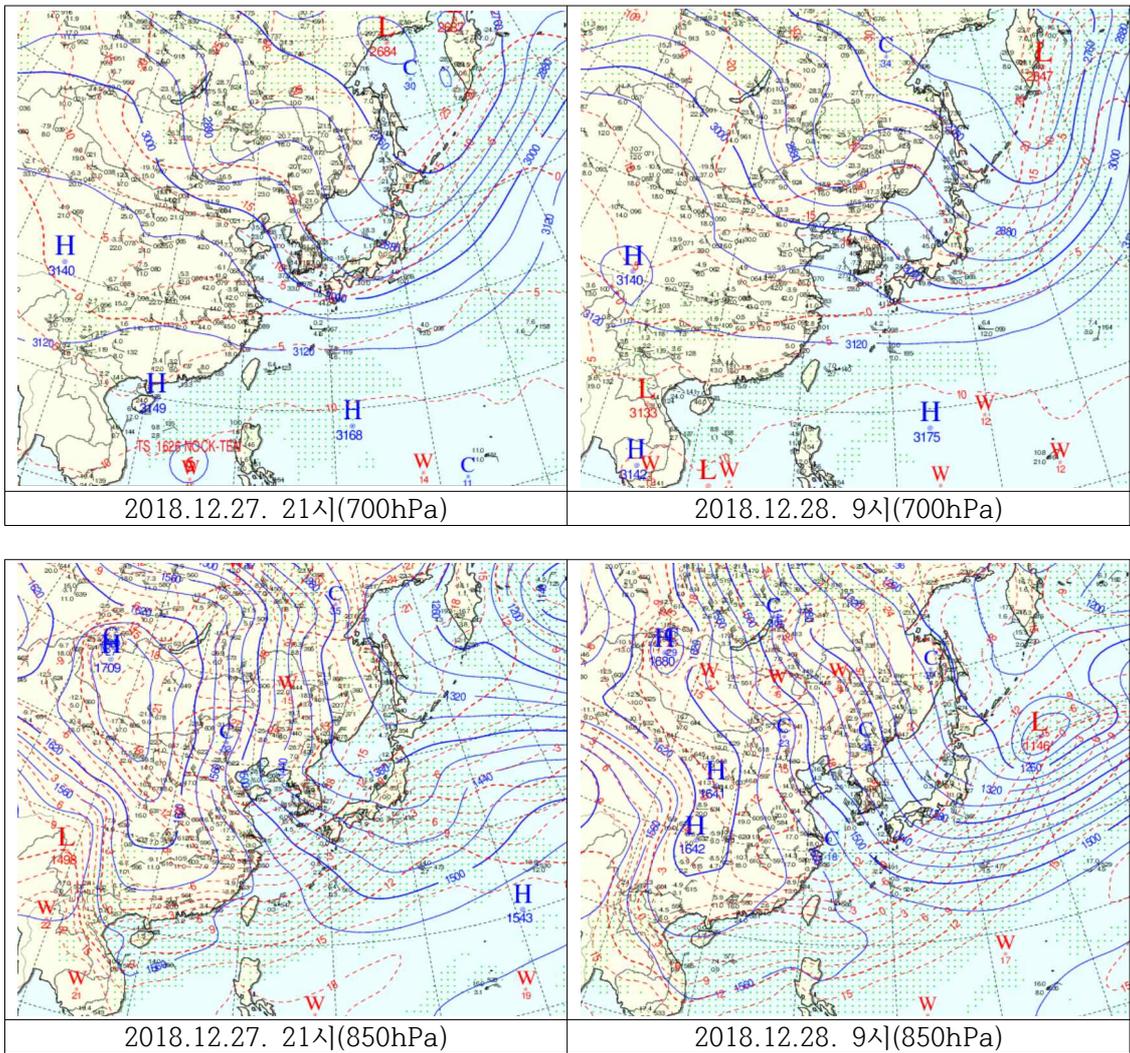


그림 47. 2018.1.27~28. 500/700/850hPa 고층일기도

27일 21시 500hPa 일기도에서 동해상에 위치한 기압골은 28일 9시에 일본 동쪽 태평양으로 동진한 가운데 남해안은 -17°C 선에서 -20°C 선을 지나며 기온이 떨어지며 찬공기가 이류함을 알 수 있었다. 700hPa 일기도에서는 온도골을 이루던 -10°C 선이 다음날 9시에는 중부지방까지 올라가면 온도능의 형태를 이루며 한기이류가 약함을 알 수 있었지만 풍향은 북북서풍으로 거의 비슷하였고, 이전보다 풍속도 약해졌음을 일기도에서 알 수 있었다. 850hPa 일기도에서 27일 21시에 서해남부해상으로 -9°C 도 선이 지나며 북북서에 35knots 이상의 강풍이 불었으나 28일 9시에는 -6°C 선이 지나며 내륙으로 온도능이 위치하는 것을 볼 수 있었다. 서해상으로 온도골이 위치하며 찬공기의 이동이 해상에만 있음을 알 수 있었다. 또한 내륙은 바람이 10knots에 북동풍이 불고 있는 것도 파악되었다.

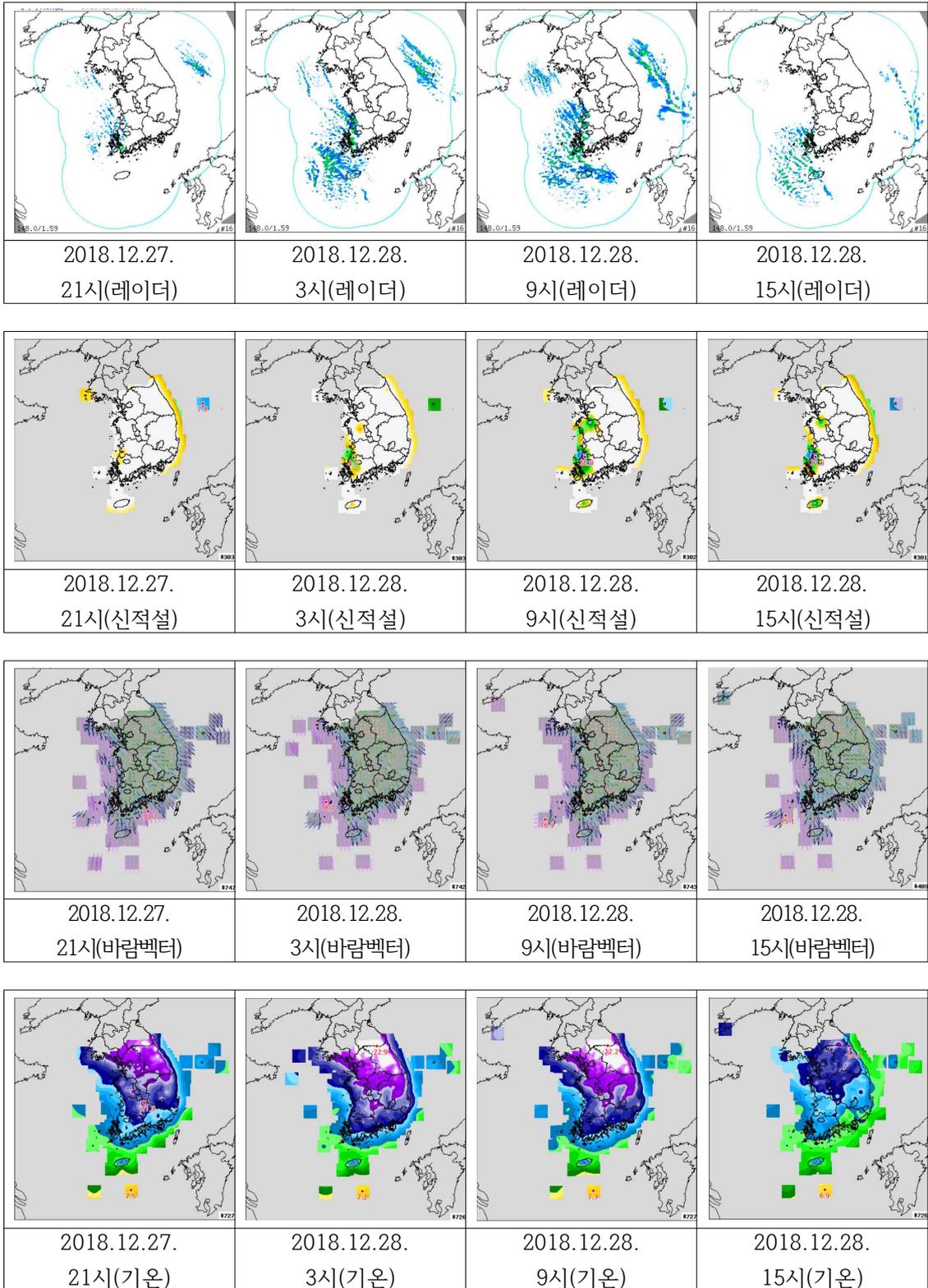


그림 48. 2018.12.27.~28. 레이더영상, 신적설, AWS바람벡터, 기온분포도

18년 12월 27일 18시부터 영광과 함평에 적설 0.5cm가 쌓였고 북서풍을 따라 서해상에서 만들어진 눈구름이 21시에도 유입되었으나 더 이상 적설은 쌓이지 않았다. 이 때 기온은 0.3~-14℃ 분포를 보였다. 바람벡터는 서해안을 중심으로 4~15m/s 분포의 강한 바람이 불었다. 다음날 새벽 3시에는 신적설이 영광군에 4.5cm, 광주광역시 광산 1.4cm, 함평군 1.3cm, 영암군 0.7cm, 해남 0.5cm, 목포 0.3cm 쌓이기 시작했다. 서해상에서 관측되는 레이더 강수 에코의 강도도 더 강하게 관측되었다. 기온은 0~-15℃로 이전 6시간 동안 큰 변화는 없었다. 바람벡터는 전날 21시보다 조금 줄어들어 2~13m/s의 분포를 보였다. 특히 전남북부 서해안의 영광군은 21시에는 북풍이 5.8m/s, 함평군은 북북서 4.5m/s로 강하게 불었지만 다음날 새벽 3시에는 영광군 동남동 2.3m/s, 함평군 북풍 1.8m/s로 풍속이 줄어들었고 풍향도 바뀌었다. 목포, 영암, 무안은 북동 내지 북동풍이, 진도, 신안은 북북서풍이 불고 있었다. 이 때 또 다른 특징은 기온의 하강이었다. 풍향이 바뀐 영광군은 21시에서 새벽 3시에 -3.4에서 -8.8℃로, 함평군은 -2.2에서 -6.4℃, 목포시는 -1.8에서 -4.3℃, 영암군은 -4.6에서 -6.1℃, 무안군은 -2.1에서 -5.3℃로 기온이 1.5에서 5.4℃ 범위로 하강하였다. 9시에 신적설은 영광군 20cm, 광주광역시 광산구 11.6cm, 함평군 6.3cm, 목포시는 7시에 5.6cm 기록하였으나, 눈이 다져지면서 4.6cm, 영암 2.9cm, 장성군 2.9cm, 무안 2.8cm 등 신적설을 기록하였다. 특히 영광군은 6시간 동안 17.5cm로 많은 눈이 쌓였다. 기온범위는 0~-15℃ 범위로 새벽3시와 범위는 같았다. 바람벡터는 이전에 풍향이 바뀐 영광, 함평, 목포, 무안, 영암은 기존대로 동풍 내지 북동풍 계열의 바람이 불었고 풍속은 2m/s 내외로 약하게 불었다. 진도군은 풍향과 풍속이 북북동에서 동북동으로, 6.3에서 2.6m/s으로 바뀌었지만 신안군은 북풍에 풍속도 7.1m/s로 여전히 강하게 불었다. 15시에는 점차 해상에서 눈구름에 의한 레이더 강수 에코도 약화 되었고, 서해안으로 불어들어오지 못하고 해상과 해안의 경계까지만 유입되면서 적설도 쌓이지 않았다. 바람벡터는 북 또는 북동풍이 해상과 육상 모두 5~8m/s 범위로 강하게 불었다. 기온은 1 ~ -10℃ 범위를 보이며 기온이 상승하였다.

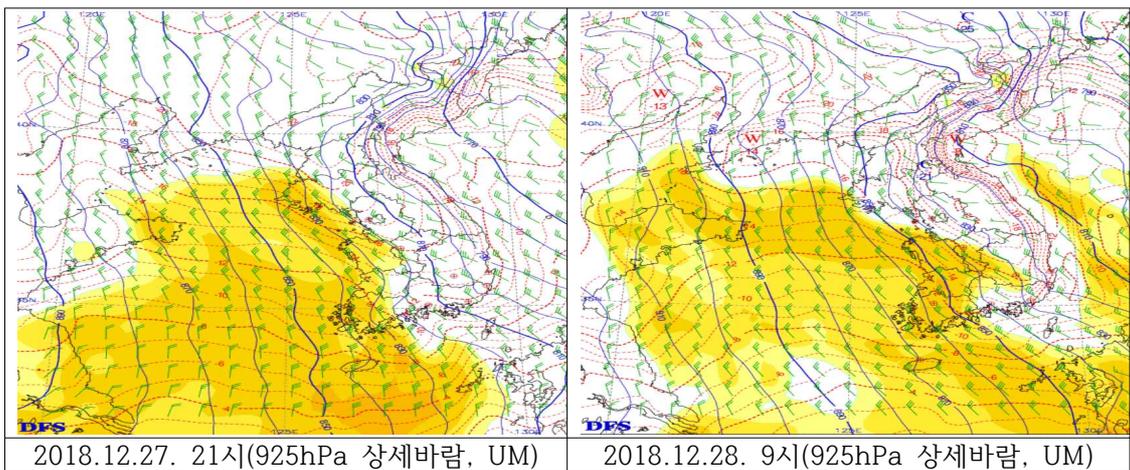
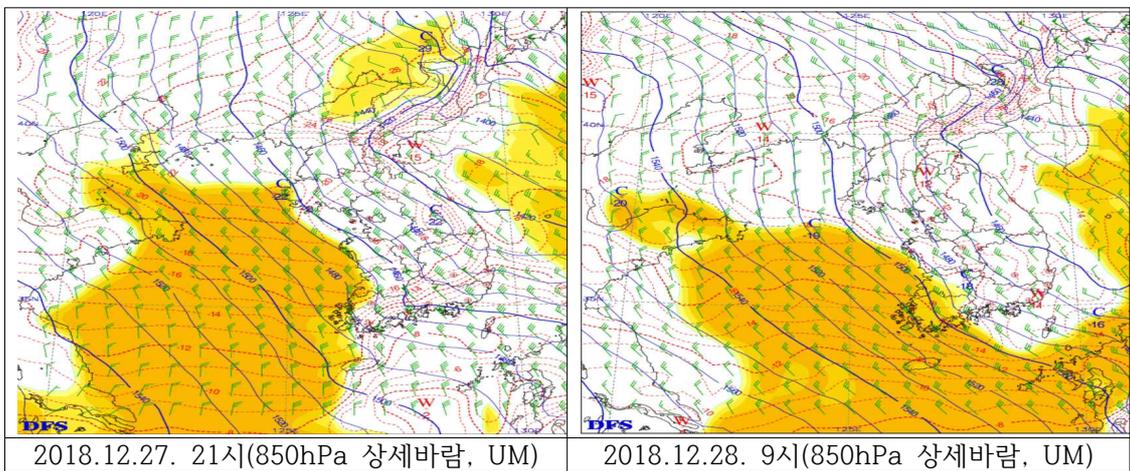
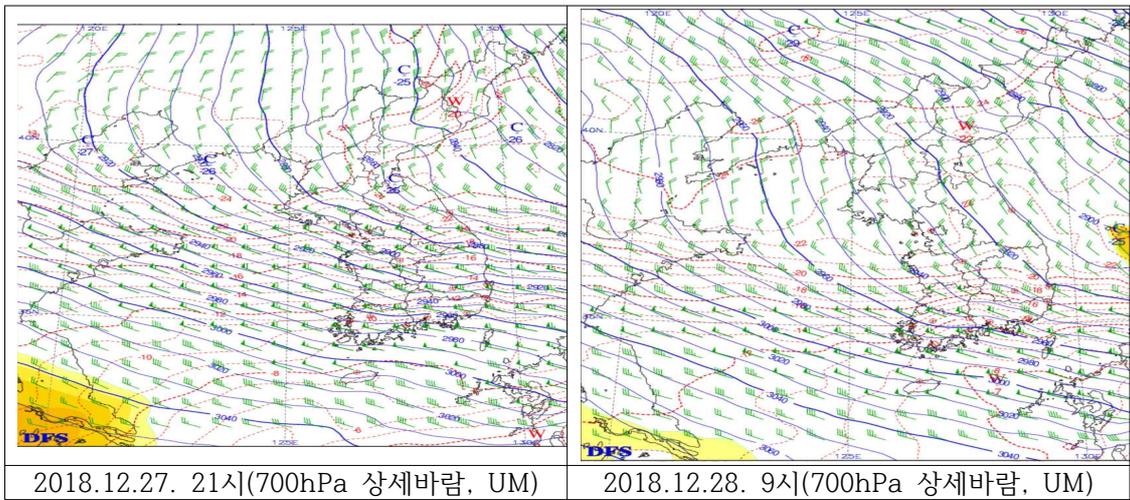


그림 49. 2018.12.27~28. 700/850/925hPa 상세바람장(UM)

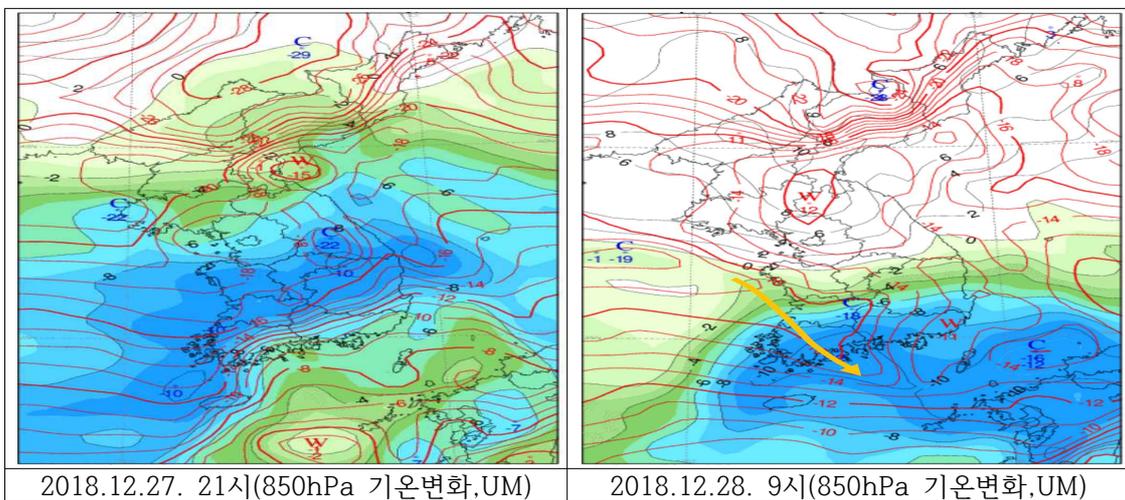
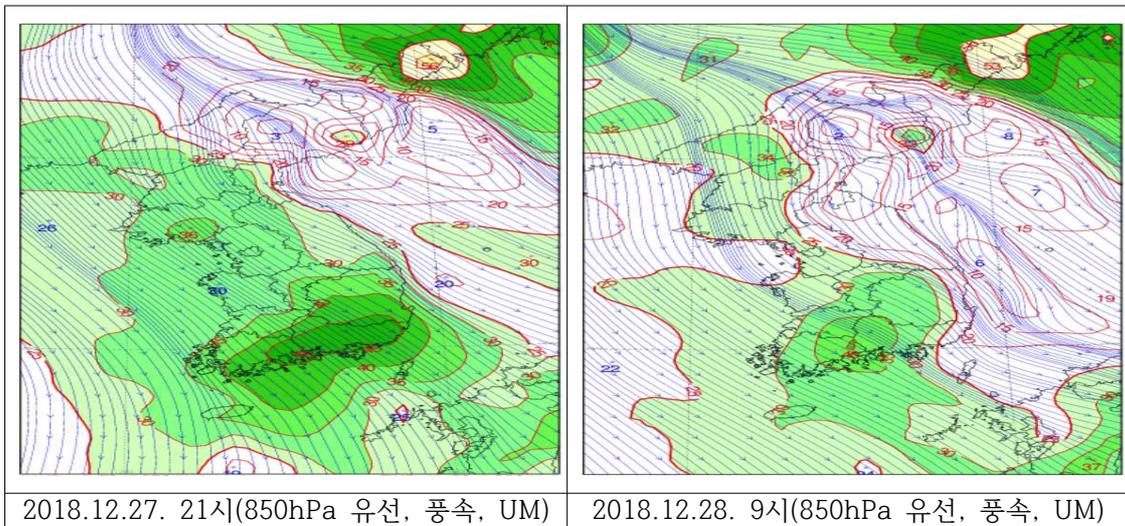


그림 50. 2018.12.27~28. 850hPa 유선, 풍속 및 기온변화(UM)

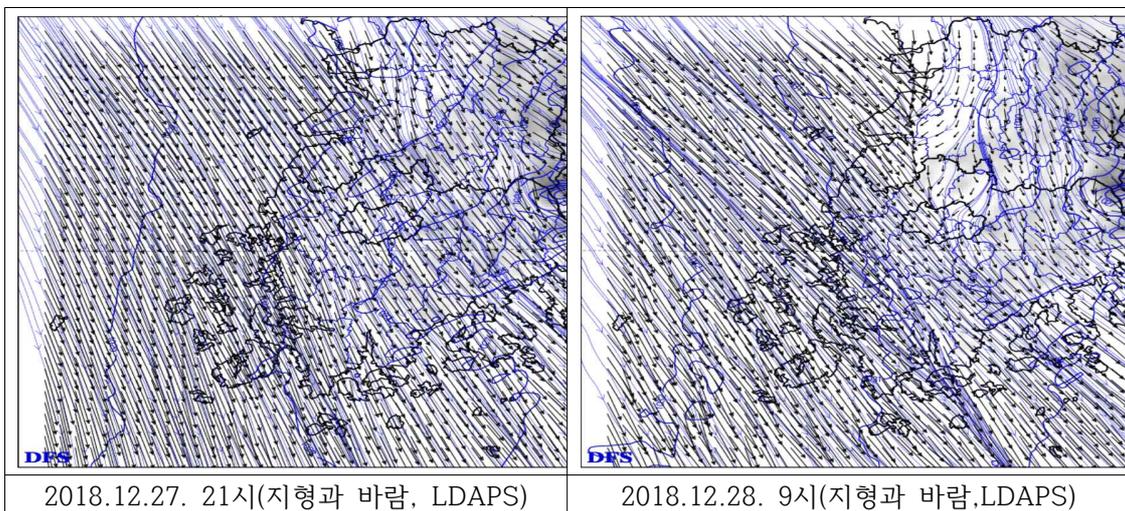


그림 51. 2018.12.27~28. 지형과 바람(LDAPS)

700h~925Pa 상세바람장에서 700hPa 온도조밀역과 30knots 이상의 강풍역은 점차 남동진할 것을 예상할수 있고, 850hPa 예상장에서는 27일 21시 서해안에 약한 온도골이 위치하고 광주와 전남내륙에 온도조밀역이 위치하면서 습수역이 들어오지 못하다가 다음날 9시에는 온도골이 조금 더 서해안에서 내륙으로 들어오면서 습수역도 내륙으로 들어올 것으로 예상하고 있었다. 925hPa 예상장에서는 전북서해안 고창과 전남북부서해안에 위치한 영광에 온도 조밀역을 예상하고 있었다. 850hPa 풍속과 기온변화 예상장에서는 해상에서 유입되는 풍속은 점차 감소하고, 기온변화에 따른 찬공기의 남하가 약해지는 것을 알 수 있었다. 특히 850hPa 기온변화 온도조밀역이 27일 21시 광주와 전라남도에 위치하다가 다음날 9시에 점차 남동진하면서 약화됨을 예상하였다. 지역모델 지형과 바람 예상장은 28일 새벽사이 전북 고창에서 북동풍의 유입을 예상하였으나 서해상에서 강하게 불어오는 바람에 의해 장성군까지 유입될것으로 예상하여 실제 나타난 현상과는 맞지 않았다. 700hPa의 풍향이 295에서 290° 로, 850풍향이 325에서 320° 로, 풍속은 40knots에서 35knots로 약해질 것으로, 925풍향이 335에서 340° 로 풍속은 35knots에서 30knots로 변할 것으로 예상이 됨에 따라 해안형의 조건에 해당되어 통계 분석한 결과와 일치함을 볼 수 있었다. 28일 9시 기준으로 이 사례의 700해기차는 24, 850해기차는 27, 850hPa 풍속은 36knots(18m/s), 역전층 고도는 2.4km로 나타났다. 광주지방청에서 사용하는 대설판단 가이드스에 UM 수치모델 예측자료를 입력한 결과 9시 기준으로 10~15cm의 많은 눈을 예상하였고, 실제 영광군에 21.5cm, 광주광역시 광산구 12.5cm의 많은 눈이 내려 가이드스의 값과 비슷하였으나 지역적인 편차가 컸다. 편차가 크게 나타난 이유는 기온하강, 지형에 따른 북동풍의 유입, 풍향변화에 따른 수렴이 일어나 영광군과 광주광역시 광산구에 일적설량의 편차가 크게 나타난 사례였으며, 수치예보 모델에서도 이런 지역적인 변화를 예상하지 못한 사례였다.

대설 판단 가이드스(서해안형)												
구분	1. 대설경보 (20cm이상)		2. 대설주의보 (5~15cm)		3. 일반적설 (0.5~3cm)		입력하는 곳		결과 (가중치 적용)		입력자료 설명	
	가중치	가중치	가중치	가중치	27일 21시	28일 09시	27일 21시	28일 09시	27일 21시	28일 09시		
피크 12시간 전 태안 850hPa 기온	≤-17°C	20	-16~-12°C	10	-11°C≤	5	-21	-21	20	20	상세 바람 기온 활용 상세기온 값을 쓰기	
피크 12시간 전 태안 500hPa 기온	≤-37°C	20	-36~-33°C	10	-32°C≤	5	-32	-26	5	5		
피크시 광주 850hPa 기온	≤-14°C	20	-13~-7°C	10	-7°C≤	5	-14	-16	10	20		
피크시 광주 850hPa 풍속	35kts이상	10	25~30kts	5	20kts이하	2	40	35	10	10	상세 바람 기온 활용 상세풍속 값을 쓰기 광주 예상단열선도 침강역전층 고도 기입	
침강역전층 고도	3km이상	10	2~3km	5	2km	3	1.4	2.2	3	5		
(발해만~광주중간지점)수온 - 광주 850hPa 해기차	35°C이상	10	25~30°C	5	25°C이하	3	25	27	3	5		
피크시 500hPa -40°C선 남하 위치(120~140°E)	1. 속초~강릉	10	2. 백두산~원산반 (39~42°N)	5	3. 만주~한반국경분단 (43°N±)	2	5	5	5	5	상세바람 기온 활용 해당번호 쓰기	
※ 평가							27일 21시	28일 09시	27일 21시	28일 09시		
- 80점 이상 : 20cm 이상 (경보 기준치)												
- 73~83점 : 15~20cm												
- 62~72점 : 10~15cm							발해만~광주 중간지점 수온	11	11	56	70	해양-수치모델-해수면 온도 기입
- 51~61점 : 5~10cm (주의보 기준치)							850hPa 광주 기온	-14	-16	5~10cm	10~15cm	
- 25~50점 : 0.5~3cm												

그림 52. 광주청 대설판단가이드스(2018.12.28.)

3. 결론

3.1 광주, 전남 지역에 따른 적설 조건

서해안 적설 조건은 850hPa 풍향과 925hPa 풍향이 대체로 비슷하였다. 850hPa 풍향은 310~320°, 풍속은 16~17m/s, 925hPa 풍향은 305~320°, 풍속은 12~14m/s를 보였다. 영광과 함평, 무안 지역은 925풍향 각도가 850보다 더 작았으나 진도는 반대로 풍향의 각이 더 컸다. 서해안(영광, 함평, 무안, 신안, 목포, 진도, 흑산도)은 서해상에서 찬 공기의 남하로 육지로 바람이 불면서 서해안은 높은 산지가 위치한 동쪽에 비해 낮은 구릉지형의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 해안에서 담양, 영암, 곡성, 구례 등 동쪽으로 들어갈수록 850hPa 풍향 각도보다 925hPa 풍향 각도가 커지며 북쪽으로 기울어지는 특징을 보였다. 내륙으로 들어갈수록 높은 산지의 영향을 받으며 남남서-북북동 방향으로 향해 있는 산맥과 산의 영향으로 보인다. 남해안에 위치하고 있는 해남, 완도, 강진, 장흥, 보성, 고흥도 같은 특징을 보였다. 동부남해안에 위치한 여수, 광양은 서해안보다 850hPa 풍향이 서쪽으로 기울어져 각도가 더 작았고, 850hPa과 925hPa 풍향의 각도도 다른 지역에 비해 더 서쪽으로 기울어져 서풍이 강하게 유입될 때 적설이 쌓이는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 장성, 광주, 화순, 보성을 기준으로 925hPa 풍향의 각도가 전남서해안과 전남남해안은 시계방향, 전남동부내륙과 전남동부남해안은 반시계방향을 이루는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 850hPa 풍속은 15~17m/s로 강하게, 925hPa 풍속은 서해안은 12~14m/s 범위, 그 외의 남해안과 내륙은 13~17m/s로 해안보다 풍속이 더 강하게 불어야 적설 조건이 만족하였다.

3.2 해안형과 내륙형의 구분

2015~2020년 일신적설 조건을 비교해 본 결과, 850hPa 풍향으로 해안형과 내륙형으로 구분할 수 있음을 알 수 있었다. 내륙형은 구례, 곡성 등 전남동부지역까지 적설이 쌓일 수 있는 조건이고 그 밖의 조건은 해안형으로 구분하였다. 850hPa 풍향이 285~310도까지는 전남동부까지 유입되는 내륙형이고, 310~355도까지는 해안을 중심으로 눈이 쌓이는 해안형으로 구분이 되었다. 서해안에 위치한 지점은 내륙형의 850hPa 풍향각과 해안형의 풍향각이 일부 중복되며 동시에 나타나는 특징을 보였다. 500hPa 양의 와도 또는 온도골의 전면에 내륙이 위치하는지의 조건을 만족하면 내륙형으로 구분할 수 있다. 지상일기도에서 충남서해안 또는 전북서해안 등 서해안에 고기압이 위치하는 경우 지상 기압선이 남서에서 북동방향으로 기울어지는 특징을 보였다.

풍속의 강도가 사례마다 차이가 있었으나 바람벡터를 통해 어느 지역까지 유입되는지를 파악할 수 있었다.

3.3 신적설 5cm 이상 대설 조건

일최심적설 5cm 이상인 사례들의 700hPa 풍향과 풍속을 조사해 보니 일정한 범위에서 나타났다. 풍향은 280~340도 범위로 주로 300도 내외로 많이 나타났고 풍속의 범위는 28~70knots(14~35m/s)로 범위가 컸으나 주로 40~60knots(20~30m/s)에 집중되어 있었다.

850hPa 풍향과 풍속의 관계에서는 풍향에 따른 범위가 크게 나타났지만 주된 풍향은 295~320도 범위에서 나타난다는 것을 알 수 있었다. 풍속은 22~44knots(11~22m/s) 범위로 크게 나타났지만 주로 28~40knot(14~20m/s)에서 나타났었다.

925hPa 풍향과 풍속의 관계에서는 몇몇 사례를 제외하고 주로 290~340도 범위를 보였다. 풍속의 범위는 17~38knots(9~19m/s)로 700hPa 풍속처럼 범위가 크나 주로 22~30knots(11~15m/s) 범위에 집중되어 있었다.

700hPa 해기차와 850hPa 해기차, 대류운고도, 일적설과의 상관관계도 알 수 있었다. 일최심적설은 기존 조사와 같이 700hPa 해기차와 크게 관련이 있는 것이 확인되었다. 2016년 1월 23일 700hPa 해기차는 40이었고, 이날 일최심적설은 신안군 21.7cm로 해기차가 큼에 따라 적설량도 많았고 이날 풍향수렴은 나타나지 않았었다. 대류운 고도는 4km로 매우 발달한 것을 알 수 있었다. 일최심적설 5cm 이상 나타난 850hPa 해기차는 18~29, 700hPa 해기차는 20~41로 나타났다. 대류운 고도는 1.4~4km로 조사되었다. 특보기준이 되는 5cm 이상의 일적설이 기록되기 위해서는 850hPa 해기차는 18이상, 700hPa 해기차는 20이상으로 대류운고도는 2km 이상으로 나타났다. 700hPa 해기차와 대류운 고도, 일최심적설의 평균을 구했을 때, 해기차 28, 대류운 고도는 2.7km, 일최심적설은 8.7cm라는 결과가 나왔고 선형의 비례관계를 볼 수 있었다.

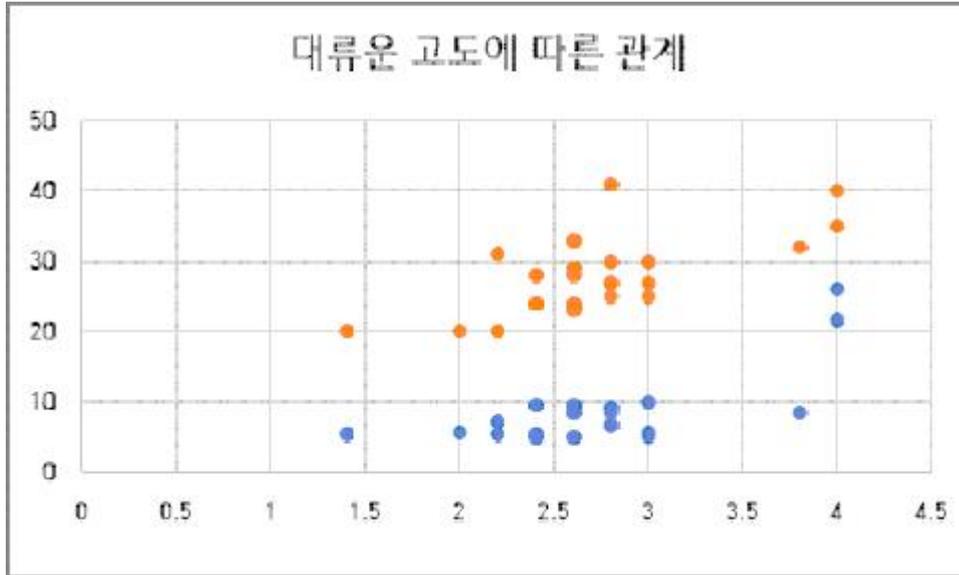


그림 53. 대류운 고도에 따른 일최심적설과 700해기차(2015~2020)

4. 참고문헌

기상청, 2014: 손에 잡히는 예보기술 통합본. 235pp.

기상청, 2020: Why? How! 겨울 예보, 156pp.

광주광역시, 2020: 제60회 광주통계연보.

<https://www.gwangju.go.kr/contentsView.do?pageId=www138>

대한민국 국가지도집 2020

<http://nationalatlas.ngii.go.kr/>

박정은 2019: cP기단 확장 시 북동 저지에 의한 강설 수렴역 판단

원효성, 정호성, 류찬수 2009: 호남지방 대설 패턴 분석 및 KLAPS를 통한 내륙형 대설 사례연구.

이강휴, 정관영, 원효성, 류찬수, 2006: 겨울철 대륙고기압 확장시 호남지방 대설특.

전남도청: 지형 및 기후.

<https://www.jeonnam.go.kr/contentsView.do?menuId=jeonnam0602050000>

조갑환, 송효실, 문석훈 2017: Yellow Sea Effect snow에 기반한 전남서해안 대설 예측.

후루키와 다케히고, 오키 하야토, 2020: 기상구조교과서, 신찬 옮김, 보누스, 271pp. (2. 비와 눈의 구조, P61~67)

Lutgens, F. K., and E. J. Tarbuck, and D. G. Tasa, 2015: The Atmosphere,

- An Introduction to Meteorology. 13th Edition, 528pp. (8. 기단, 8.4 북미 기단의 성격 P225~229)
- Markowski, P. and Richardson, Y. 2010: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. Wiley-Blackwell, 407pp. (Part II 4 The boundary Layer, 4.5 Lake-Effect Convection P93~102)
- Niziol, T A., 1987: Operational forecasting of lake effect snowfall in Western and Central New York. Weather and Forecasting, 2, 4, 310-321.