

cP 확장 시 서해안 대설에 관한 연구

2017. 12. 31.

김 기 운

목 차

- 1. 서론
 - 1.1. 연구의 필요성
 - 1.1.1. 대륙고기압이 확장할 때 서해안 대설의 위험성
 - 1.1.2. 경험을 더한 수지에보자료 해석
 - 1.2. 연구방법
 - 1.2.1. 회귀식에 의한 적설예측 방법
 - 1.2.2. 자료조사
- 2. 본론
 - 2.1. 호수효과에 의한 적설 발생 메커니즘
 - 2.2. 호수효과의 메커니즘 및 관측자료 분석
 - 2.2.1. 기압계 패턴
 - 2.2.2. 적설분포도
 - 2.2.3. 연직 모식도
 - 2.2.4. 대기 하층에서 불안정
 - 2.2.5. 수치자료 해석
 - 2.2.6. 영상 관측자료
 - 2.3. 구별되는 메커니즘
 - 2.3.1. 지형효과와 경기만 효과
 - 2.3.2. 육상에서 경압불안정 발생
 - 2.4. 회귀식의 독립변수 및 종속변수 조사 분석
 - 2.4.1. 회귀식의 독립변수
 - 2.4.2. 종속변수와 독립변수들의 상관도 분석
 - 2.5. 사례 적용(2018.1.26.. 목포)
 - 2.5.1. 2018년 1월 26일 cP확장 시 실황 분석
 - 2.5.2. 풍향에 따른 적설 구역
 - 2.5.3. 회귀식 분석

3 결론

- 3.1. cP 확장 시 서해안 대설 메커니즘
- 3.2. 서해안 적설 예측 다중회귀식 도출
 - 3.2.1. 주요 독립변수
 - 3.2.2. 다중회귀식 도출

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

1.1.1. 대륙고기압이 확장할 때 서해안 대설의 위험성

대설은 기압골이 통과할 때와 대륙고기압이 확장할 때 두 경우로 크게 나눌 수 있다. 이 중 서해안 대설은 기압골에 의한 대설과 달리 해기차에 의해서 풍향에 따라 바람이 강하게 부는 동안 해안과 내륙에 지속적으로 강설현상이 나타난다. 이로 인해 피해는 기압골에 의한 대설과 큰 차이가 없으나, 지속적으로 나타난다는데 그 위험성이 있음

1.1.2. 경험을 더한 수치예보자료 해석

대설 예측에 수치예보자료에 대부분 의존하는 경향 있으나, 수치예보자료 해석을 더욱 명확하게 하거나, 수치예보자료 외 연구결과를 보완적으로 활용함으로써 예보관이 위험기상예보(대설예보)에 확신을 갖고 대응

1.2. 연구방법

1.2.1. 회귀식에 의한 적설예측 방법

서해안 대설에서 그 메커니즘을 연구한 예는 많이 있고, 널리 알려져 있으나 현업에서 실제로 유용하게 활용할 수 있는 적설예측에 관한 연구는 많지 않은 실정이다. 이번 보고서에서는 cP(대륙성 고기압)이 확장할 때, 해기차 등 여러 독립변수의 상관도를 고려하여 적설을 종속변수로 하는 회귀방정식을 고안해내는 것이다.

1.2.1.1. 독립변수

해기차, 적설지점의 850hPa풍속, 대련과 54511지점의 건조한 공기가 포화되었을 때 포함할 수 있는 수증기의 양을 나타내는 발해만 북쪽 지점의 포화혼합비, 이 건조한 공기가 따뜻한 해수면을 지나면서 증발이 일어나고 풍속이 강해지면서 이 증발을 더욱더 가속이 된다. 해당 적설지점은 발해만 북쪽의 건조한 지역에 비하여 상대적으로 기온이 높아지면서 포화되었을 때 수증기량이 어느정도인지 단열선도를 분석하여 구한 포화혼합비, 이 두 포화혼합비의 차 등을 구하였다.

한기이류에 의한 솔레노이드 수도 변수로 고려할 수 있으나 이 변수는

정성적 측면이 커서 변수로 선택하지 않았다.

풍향요소도 적설시점, 적설범위, 적설량에 영향을 미치는 중요한 요소이나, 적설 시점을 선택할 때 적설이 최대인 시점을 선택하였으므로 해안으로부터 각 지점으로 불어들어오는 방향은 각 사례별로 거의 동일한 조건으로 보아도 큰 무리는 없다고 본다. 풍향요소는 수치예보자료 해석을 통하여 충분히 예보관이 적설에 미치는 시점을 충분히 인지할 수 있는 점도 고려하였다.

1.2.1.2. 종속변수

서해안에 위치한 지점의 적설을 종속변수로 하였다. 지형에 의해 적설량이 증폭되는 사례를 걸러내기 위하여 가급적 높은 산이나 산맥의 풍상측에 위치하는 지점을 배제하였다.

따라서 지형효과에 의해 700hPa 부근까지 포화되어, 포화층이 깊어진 사례는 가급적 배제하였다.

1.2.1.3. 증발량 추정에 필요한 변수

증발량 추정을 위해서 해수면이 따뜻할수록, 풍속이 강할수록 증발이 강하게 유발된다는 점에 착안하여 풍속과 해기차를 주요 변수로 선택하였다.

1.2.1.4. 회귀식에 의한 적설 추정

독립변수 중 상관도가 높은 변수를 선택하여 각 변수에 계수를 곱하고 y 절편값을 구하여 독립변수인 적설을 구하는 식을 구하여 적설을 산출하였다.

1.2.2. 자료조사

1.2.2.1. 자료조사 기간

2009년 12월 ~ 2018년 1월 : 10년

1.2.2.2. 자료조사 지점

서해(호수0의 북단 지점 : 54511(발해만 북쪽), 대련
서해(호수)의 남동방향 지점 : 서산, 홍성, 광주, 나주, 수원, 군산, 목포

1.2.2.3. 원용 시스템 및 자료

선진예보시스템 중 GTS자료 조회

1.2.2.4. 자료조사 요소

포화혼합비: 54511 지점 850hPa 포화혼합비, 대련 850hPa 포화혼합비, 해당지점의 925hPa 포화혼합비, 850hPa 포화혼합비, 1000hPa의 포화혼합비

포차: 54511 1000hPa 포차, 대련의 1000hPa 포차, 각 지점의 1000hPa 포차, 대련과 54511지점의 포차와 각 지점의 포차의 차

해기차: 적설 pick 시 수온(파고브이 수온자료-십이동파, 외연도, 덕적도, 부안, 가대암, 어청도, 신진도 등, 천리안위성 해수면온도 분포도), 지점 850hPa 기온

적설지점의 수상당량비, 지점의 지상, 925hPa~지상 습구온도, 강수지속시간 등

2 본문

2.1. 호수효과에 의한 적설 발생 메커니즘

차갑고 건조한 공기 덩어리가 따뜻한 호수면 위를 지나면서, 해수면과 그 위를 지나는 기류 사이의 온도차에 의해 주로 호수(해상)에서 눈구름이 형성되어 호수를 중심으로 바람이 불어나가는 육지에 눈이 내리는 현상을 말한다.

일반적으로 호수효과의 변수는 해수면 온도와 해수면 상공을 지나는 공기의 온도와의 차이의 정도, 습기를 증가시키는 원인인 취주거리의 장단, 그리고 풍속의 강약, 그리고 지형에 의한 속도수렴이나 산악효과를 포함한다. 특히 호수면 증발량은 수면온도에 대응하는 포화수증기압과 대기중의 증기압과의 차 그리고 수면위의 풍속에 비례한다.

미국 오대호 주변에 호수효과에 의한 적설현상은 잘 알려진 사실이다. 미국에는 규모가 큰 호수들이 많이 분포하는데, 북쪽으로부터 내려오는 차가운 공기 덩어리가 따뜻한 호수 위를 통과할 때 물과 공기 간의 온도 차이로 인해 눈구름이 형성되어 호수로부터 바람이 불어나가는 방향에 많은 눈이 내린다.

한반도의 경우, 겨울에 북쪽의 시베리아기단으로부터 차가운 공기가 몽골과 중국 북부 지역을 통과하여 남하하면서 차갑고 건조한 성질을 띠게 된다. 이러한 공기가 계속 남하하다가 따뜻하고 습기가 많은 서해 바다에 도달하면, 둘 사이의 온도차에 의해 눈구름이 형성되고 서해안에 많은 눈이 내린다.

2.2. 호수효과와 메커니즘 및 관측자료 분석

2.2.1. 기압계 패턴

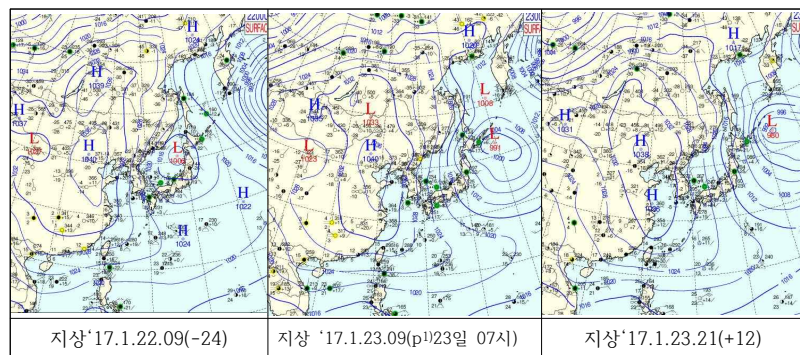
2.2.1.1. 지상기압계 패턴

서고동저형의 기압배치로 지상 저기압이 지나간 후 그 후면에서 대륙고기압이 확장하는 패턴이다. 이 때 회귀식 산출을 위한 기압패턴은 가능한한 전형적인 서고동저형 기압배치 사례를 선별하려고 하였다.

2.2.1.1.1. 전형적인 서고동저형 기압배치

초기에는 500hPa의 장파골의 지원을 받는 지상저기압에 의한 적설이 1차로 지나가고 그 후 서쪽으로부터 찬 성질을 갖는 cP(대륙고기압)가 확장하는 패턴이다.

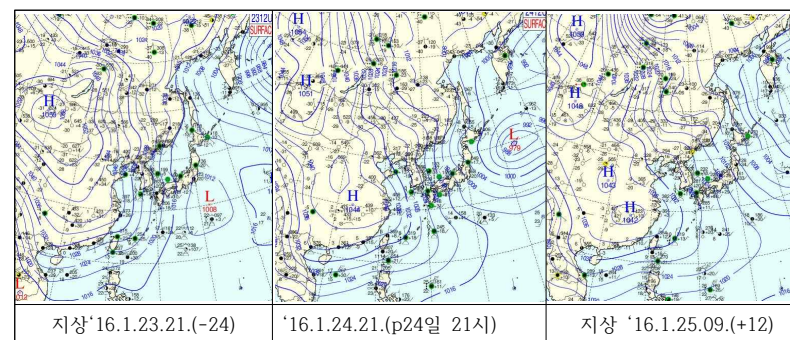
2.2.1.1.1.1 지상 기압계 변화 2017.1.23.09시(pick 23일 07시)



[그림 2-2-1 지상기압계 변화]

2017년 1월 23일 07시에 광주에 6.0cm를 기록하였으며, 23일 09시를 후로 지상일기도는 서고동저의 기압배치를 나타내고 있다. 광주에 적설최심

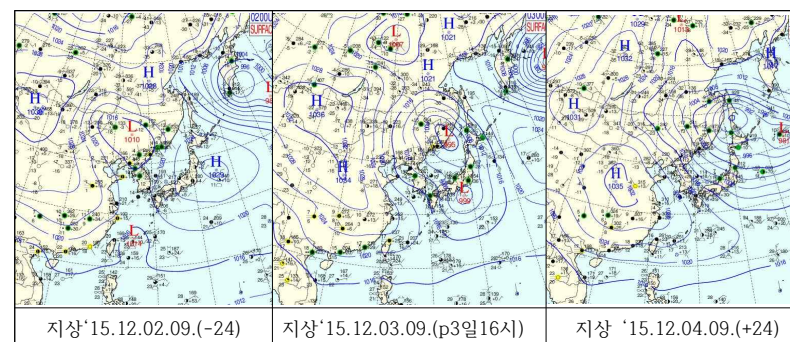
1) 적설 pick 시각



[그림 2-2-2 지상기압계 변화]

이 나타날 시점에 서해안은 동해에서 발달하면서 동북동진하는 저기압으로부터 벗어나 있는 상태에서 cP의 영향을 본격적으로 받고 있다.

cP와 동해상의 저기압 사이 기압경도력이 절정에 이르렀으며 cP의 중심기압은 1038hPa를 기록하였고, 등압선 간격이 가장 조밀하게 나타나고 있다.



[그림 2-2-3 지상기압계 변화]

2016년 1월 24일 21시에 광주에 16.4cm를 기록하였으며, cP는 5일 전인 19일부터 계속 발달하고 있었다. '2017년 1월 23일 07시'년 사례보다 cP가 확장하는 기간이 길었으며 절정에 이르렀을 때, cP의 중심기압은 1051hPa를 기록하였다. '2017년 1월 23일 07시'년 사례보다 등압선이 더욱 조밀하고 중심기압이 13hPa이나 강하게 발달한 사례이다. 이번 사례는 '2016년 1월 24일 21시'사례에 비해 저기압이 북위 20도 부근에서 발생하

여 발달하면서 북동진하는 특징을 보이고 있다.

2015년 12월 3일 16시 사례는 24시간 전 cP가 확장하기 초기단계에서 그 전면에 북쪽 지상저기압과 남쪽 지상저기압이 동진하면서 두 저기압이 하나로 합쳐지면서 발달한 사례이다. 이 사례에서는 저기압이 합쳐지면서 반시계 방향으로 회전하고 한반도 남쪽으로 cP가 장출하면서 하층에서 서풍류를 발달시키는 패턴이다.

2.2.1.1.1.2. cP 확장 전후 강수 패턴

저기압 통과 시 적설이 선행하여 나타나고, 이후 cP가 확장하면서 이른바 호수효과에 의한 적설 발생이 나타나는 것이 일반적이다.

(ㄷ) 단파골에 의한 역학적 상승이 가미되는 경우

서고동저의 기압배치에서 500hPa의 장파골이 한반도 상공에 자리하고 있는 것이 전형적인 패턴이지만 그 장파골을 따라 움직이는 단파골에 의한 시간변화에 따른 와도이류로 역학적 상승이 가미되는 사례도 적지 않다. 이번 연구에서는 단파골이 작용하는 사례를 가능한 배제하여 가능한한 순수하게 cP가 발달할 때 서해상을 지나는 한랭이류에 의한 것만을 대상으로 하여 적설 예측의 표준으로 삼았다.

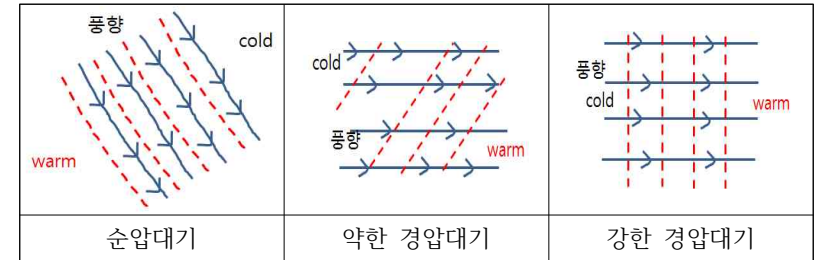
2.2.1.2. 850hPa 분석장

이번 연구에서 850hPa 분석장이 중요한 이유는 cP 확장 시 서해안 적설은 대륙고기압이라는 종관규모 시스템의 지배하에서 중간규모 현상인 호수효과가 대부분 850hPa 이하층에서 발생하기 때문이다.

850hPa의 등온선과 등고도선이 이루는 각이 커질수록 경압불안정은 크다. 850hPa의 기온은 중요한 변수인 해기차의 한 요소이다. 또한 서해상에서 발생하는 증발은 850hPa의 풍속과 매우 밀접한 관계가 있다.

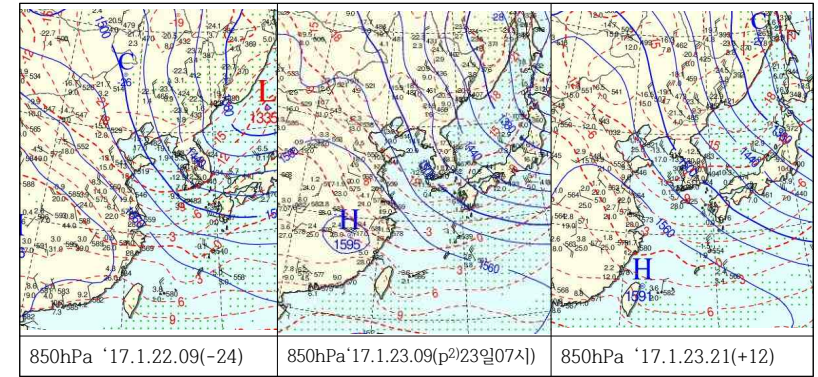
순압대기에서는 850hPa의 등고도선과 등온선이 나란하므로 한기이류가 없는 대기이다. 경압대기에서는 850hPa의 등온선과 등고도선의 각이 크고 등온선이 조밀할수록 한기이류가 강하다.

서해상에 솔레노이드 수와 등고도선과 등온선의 각이 어느정도인지 여부 조밀한 정도 등은 예보관이 정성적으로 판단하여 적설의 강도를 예상하는데 도움이 된다.



[그림 2-2-4 순압대기와 경압대기]

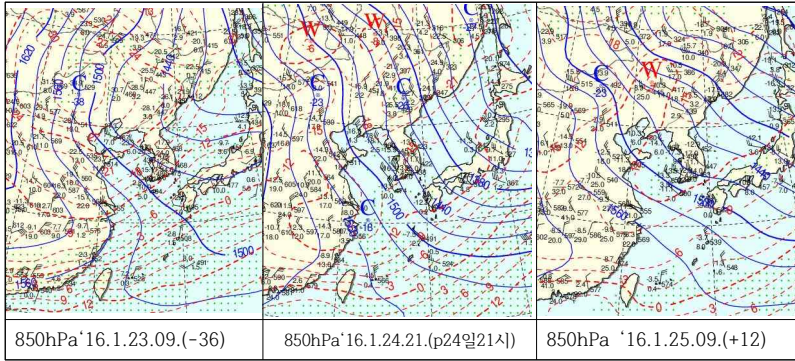
솔레노이드 수가 많을수록 한기이류가 강하고 솔레노이드수는 예보관이 일기도를 정성적으로 해석할 때 사용하며, 경압불안정이 강할 때 가장 많은 적설을 암시하고 있다.



[그림 2-2-5 850hPa 일기도 변화]

2017년 1월 23일 09시에 광주에 신적설이 가장 깊게 나타난 시간대이나 경압불안정이 가장 크게 나타나는 시점은 24시간 전으로 등고도선과 등온선이 만나는 각이 80°가량 된다. 그러나 적설량이 적은 사례로서 서해상의 솔레노이드 수³⁾는 4개에 불과하다.

2) 적설 pick 시각
3) 솔레노이드 수는 남해안 이북의 서해상에 나타나는 등고도선과 등압선이 이루는 마름모 모양의 사각형의 수

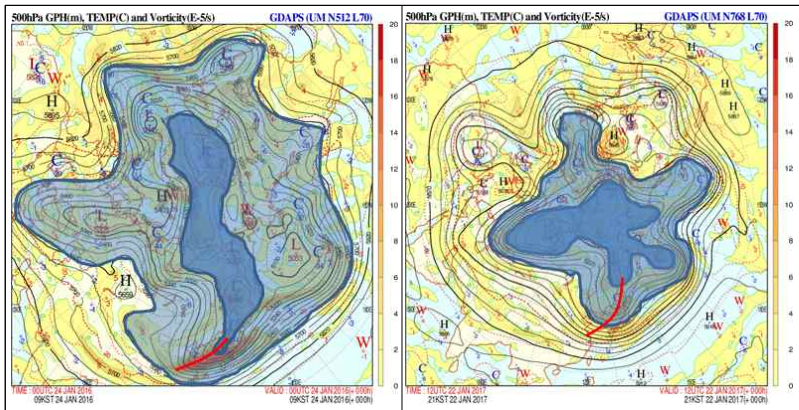


[그림 2-2-6 850hPa 일기도 변화]

2016년 1월 24일 21시에 광주에 16.4cm를 기록한 시점에서의 850hPa의 솔레노이드는 36시간전에 절정을 이루며 그 수는 8개로 증가함을 알 수 있다. 적설의 pick 시각의 12시간 후에는 온난이류 현상이 나타나고 있어 경압불안정으로서의 역할은 소멸단계에 있다.

요컨대 경압불안정은 적설이 깊을수록 그 수가 많아지며, pick 시각의 24~36시간 전에 그 절정을 이룬다는 것을 알 수 있다.

2.2.1.3. 500hPa북반구 파동과 한랭이류

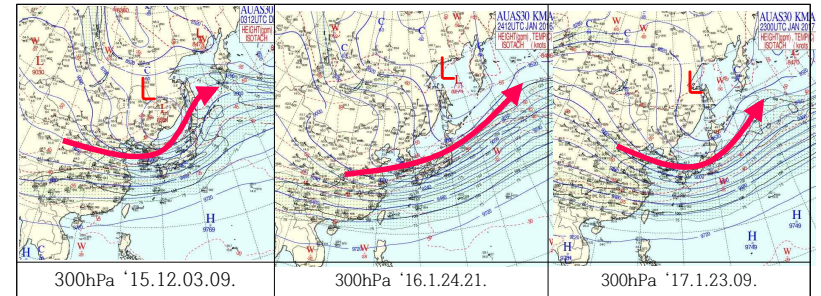


[그림 2-2-7 500hPa 북반구 파동]

북쪽으로부터의 강한 한랭이류의 척도는 500hPa 고도골의 접근이 있을

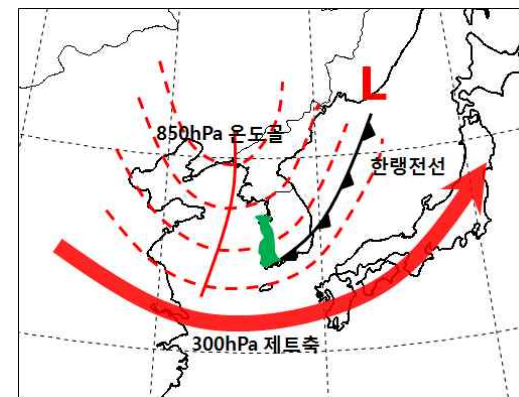
때이다. 북극 파동으로부터 한기골의 남하와 상대적으로 따뜻한 해수가 만나서 눈 형성에 필요한 온도조건을 만족시킨다. cP기단은 키가 작은 기단이고 cP가 확장할 때 지상 저기압과 상관없이 500hPa는 강한 저기압성 와도역이 이류한다.

2.2.1.4. 300hPa 분석장



[그림 2-2-8 300hPa 제트기류 위치와 지상저기압 위치]

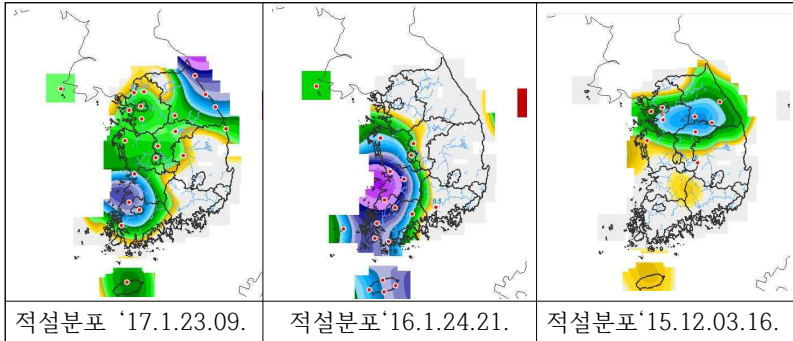
한대제트 북쪽의 차가운 기단 내에서 시베리아 고기압이 확장할 때 해기차에 의해 만들어진 눈구름이 충남서해안과 전라남북도에 대설을 발생시키는 사례로서 가장 빈번하게 대설을 유발하며, 전리저기압과 cP가 확장하는 과정에서 적설 기간이 일주일 이상 지속되는 경우도 적지 않다.



[그림 2-2-9 상하층 일기도 모형]

대설 유형의 하나(서해안형)로 한 대제트 북쪽에 지상저기압이 위치하고, 850hPa 온도골과 그 전면에 한랭전선이 위치한다.

2.2.2. 적설분포도



[그림 2-2-10 적설분포도]

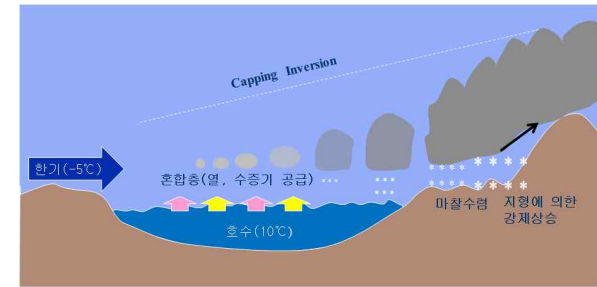
2017년 1월 23일 사례는 2016년 1월 24일 사례보다 cP가 약하게 발달하여 전라남북도 서해안을 중심으로 적설이 깊게 쌓였고, 충남서해안은 상대적으로 적설이 깊지 않았다.

2016년 1월 24일 사례는 cP가 매우 강하게 발달하면서 전라남북도 서해안 뿐만 아니라 충남서해안까지 광범위하게 눈이 쌓인 사례이다.

2015년 기압계가 서고동저에서 남고북저로 바뀌면서 W풍류가 발달하여 적설분포는 서해안보다는 서울 경기와 영서 내륙 깊숙이 침투하는 특징을 나타낸다.

2.2.3. 연직 모식도

2.2.3.1. 연직 모식도 A

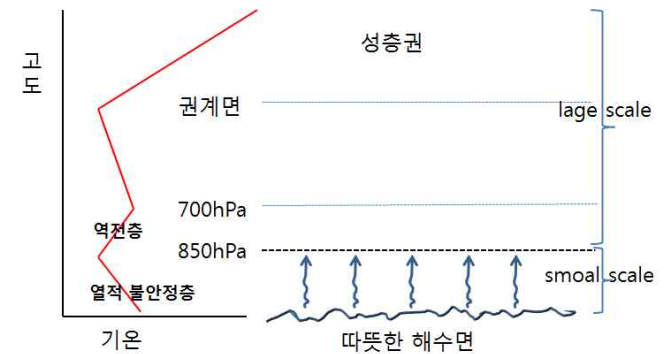


[그림 2-2-11 호수효과의 연직 모식도-1]

상대적으로 탄 대륙에서 호수로 한기가 이류할 때 열과 증발에 의한 수증기를 공급함으로써 눈구름이 형성된다. 육지에서는 마찰수렴과 지형효과에 의한 강제 상승효과로 강설 강도가 증폭된다.

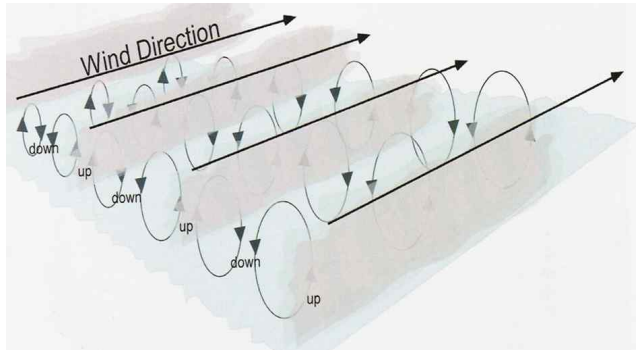
2.2.3.2. 연직모식도 B

[그림2-1] 겨울철에 cP 확장영역에 있는 대기에서 lage scale의 안정된 대기가 smool scale의 대기에서 발행하는 열적 불안정을 지원하지 않고 층 전체를 억누르는 역할을 한다. 이 때 불안정층은 850hPa 층 이하에 머물러 크게 성장하지 못한다. 다만 지형효과에 의해서 700hPa 층까지 포화층이 증폭되는 것은 별도로 논할 문제다.



[그림 2-2-12 호수효과의 연직 모식도-2]

서해상에서 NW풍이 불 때 상승류역에서 성장하고 하강류역에서 소산하는 적은 형태의 구름이 발생하게 된다. 눈구름은 850hPa의 유선장을 따라 육지에 도달하고, 유선장에서 유선의 방향이 매우 중요하다.



[그림 2-2-13 풍향에 나란한 롤 모양의 구름열 발생]

2.2.4. 대기 하층에서 불안정

2.2.4.1. 경압불안정과 솔레노이드⁴⁾

2.2.4.1.1. 솔레노이드 생성

등고도선과 등온선은 불가분의 관계에 있으며 두가지 요소 모두 서로에게 영향을 미친다. 850hPa 풍속이 강해지면서 강한 한기 이류가 발생하고 등온선 변화응게 등고도선 이 변화를 따라갈 수 없는 시간적 여유가 없어 발생한다. 시간이 지날수록 이러한 변화는 일치하게 되어 순압대기로 돌아온다.

2.2.4.1.2. 솔레노이드 강도

기온선과 등고도선의 각이 클수록, 그리고 솔레노이드 수가 많을수록 적설의 강도는 강해진다. 이것은 곧 한기이류가 강해지는 것을 의미하기 때문이다.

2.2.4.2. 지형효과에 의한 불안정 깊이 심화

서해상을 지나오면서 습해진 대기는 해안으로 유입되면서 마찰에 의해

4) solenoid는 어떤 단위 폭을 가진 2개의 등압면과 2개의 등밀도면으로 둘러싸인 영역을 말한다. 순압 대기에서는 등압면과 등밀도면이 일치하므로 솔레노이드는 발생하지 않는다. 또한 기압좌표계에서는 솔레노이드를 표현할 수 없으므로 주의해야 한다.(기상학 사전)

속도수렴이 발생하고, 산악지형에 부딪히면서 강제상승으로 포화층의 깊이는 850hPa에서 700hPa까지 깊어지면서 불안정은 증폭된다. 이번 연구에서는 지형에 의한 불안정 증폭은 사례에 따라 매우 불규칙하므로 최대한 순수하게 증발에 의한 적설 성분을 도출하려고 하였기 때문에 배제하였다.

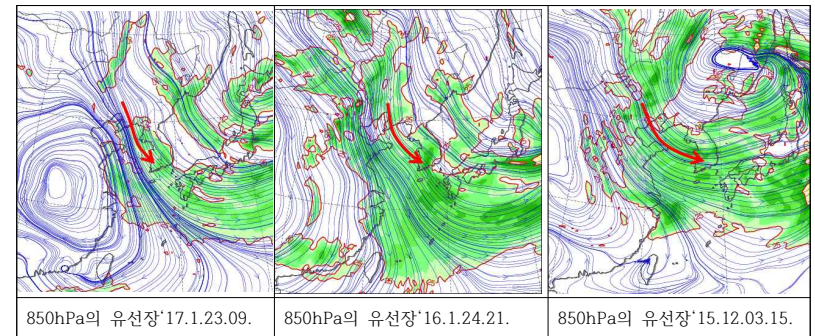
2.2.5. 수치자료 해석

2.2.5.1. 단열선도 분석

대련과 54511지점은 건조하고 기온이 매우 낮은 공기의 발원지로서, 이곳에서 출발하는 대기하층은 수증기를 포함할 수 있는 여력이 매우 적어 포화혼합비는 매우 낮아 1 g/m³ 이하이나 차고 건조한 공기가 서해상을 달리면서 파도가 일고 풍속이 강해지면서 증발이 일어나고 적설지점에서는 위도상 남쪽에 위치하고 있어 수증기를 많이 포함할 수 있는 조건을 갖춘다.

2.2.5.2. 풍향 분석

2.2.5.2.1. 850hPa의 유선장



[그림 2-2-14 850hPa 유선장]

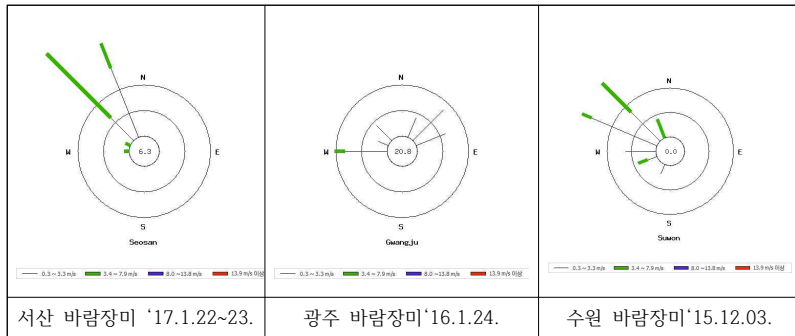
유선장에서 녹색 부분은 25kts 이상인 구역을 나타낸다.

유선장 분석은 서해상에서의 취주거리를 판단할 수 있으며 적설지점을 지나는 유선이 서해상이 아닌 옹진반도와 중국 동해안을 지난다면 취주거리는 짧아진다. 유선이 누워있을수록 적설이 강한 지점은 서해안에서 북상하게 된다. 따라서 유선장에서의 유선의 방향은 적설구역이 서해안 중 어느

구역에 집중될 것인지 예보관이 판단할 수 있는 근거가 된다. 2015년 12월 3일 사례는 적설분포도에서 볼 수 있듯이 서울 경기에 적설이 분포되어 있다. 2016년 1월 24일 사례는 적설구역이 전라도 서해안에 집중되어 있다.

2.2.5.2.2. 지상 바람장미

지상의 풍향은 서산과 수원의 경우 850hPa와 유사한 풍계를 나타내고 있으며, 광주의 경우 850hPa의 풍향보다 누운 W풍이 주풍향을 이루고 있다.



[그림 2-2-15 바람장미]

광주는 노령산맥이 북서쪽에 위치하고 있어 해발고도 500m 내외의 산들이 위치하고 있다. 산맥이 있으나 상대적으로 산의 높이가 높지 않아 육상마찰효과로 분류할 수 있다. 850hPa에서 풍속이 강하더라도 육상마찰에 의해 풍속이 약해질 수 있으며, 바람이 눕는 결과를 보이고 있다.

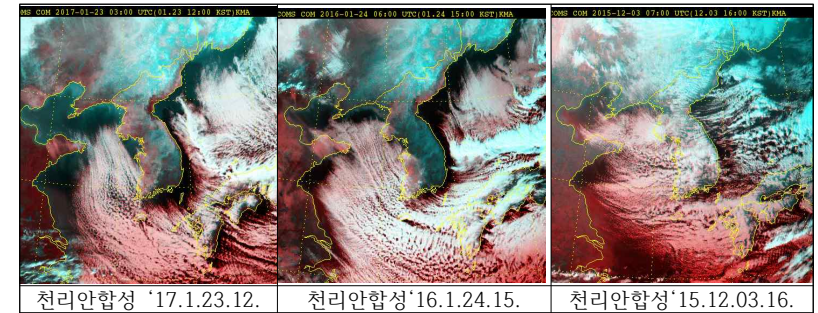
2.2.6. 영상 관측자료

2.2.6.1. 천리안 위성영상

2.2.6.1.1. 운열 영상

한기가 강할수록 오픈셀⁵⁾은 하강구역이고 구름이 있는 영역은 상승구역이다. 한기가 강하지 않을 때에는 이러한 운열이 뚜렷하지 않다.

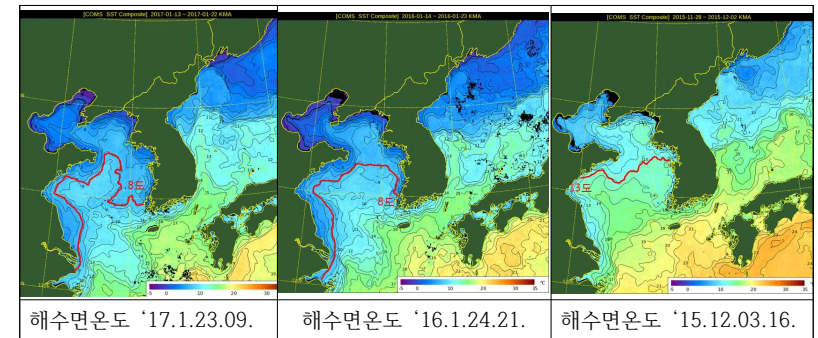
5) 해상에서 눈구름이 없는 영역



[그림 2-2-16 천리안위성영상]

2.2.6.1.2. 5일평균 해수온도 영상

당해연도 11월에서 익년 2월까지 해수온도는 점차 낮아지는데 2월로 갈수록 강력한 한기 이류가 있을 때 해기차에 의한 적설이 발생하게 된다.



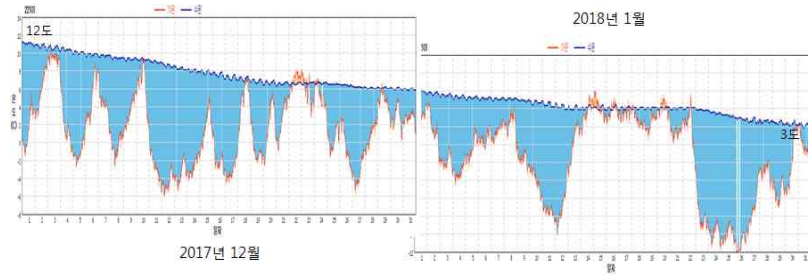
[그림 2-2-17 해수면 온도 분포]

해수면 온도는 급격하게 변하지 않으므로 5~10일 평균 해수면 온도자료를 분석하였으며, 회귀식에서 해기차는 적설 지점 인근 파고브이 수온자료와 위성영상 해수온분포도 자료를 비교하여 구하였다.

2.2.6.1.3. 월별 평균 해수면 온도

서해상의 평균해수면 온도가 12월에는 8~12°C, 1월에는 5~8°C, 2월에는 4~5°C로 지상 또는 상층 대기와의 기온차가 클수록 강설량이 많으며, 대륙고기압에 의한 대설은 해수면 온도와 지상기온의 차가 10°C 이상이 많다.(호남지

방예보분석 지침서_2011년)

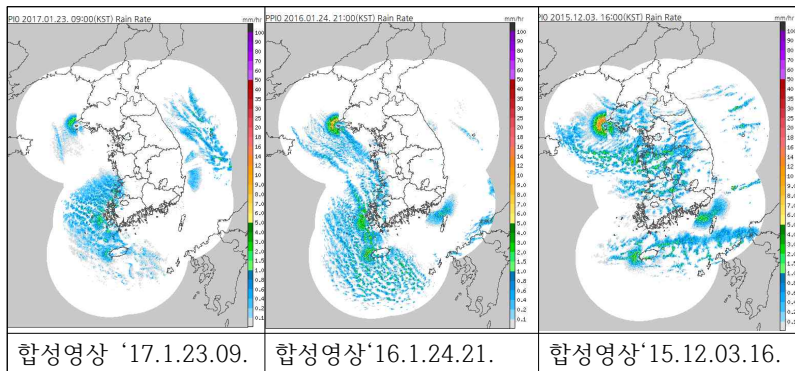


[그림 2-2-18 월별해수면온도변화]

덕적도 해수면온도와 기온(2017년 12월 ~ 2018년 1월)자료를 일별로 나타낸 그래프이다. 11월과 2월은 사례 수가 적고 cP가 확장하는 사례가 있더라도 해기차가 크지 않은 적설이 적고, 12에는 해기차에 의한 적설 사례는 12월에서 1월 사이가 가장 많은 cP확장에 의한 적설사례가 발생한다.

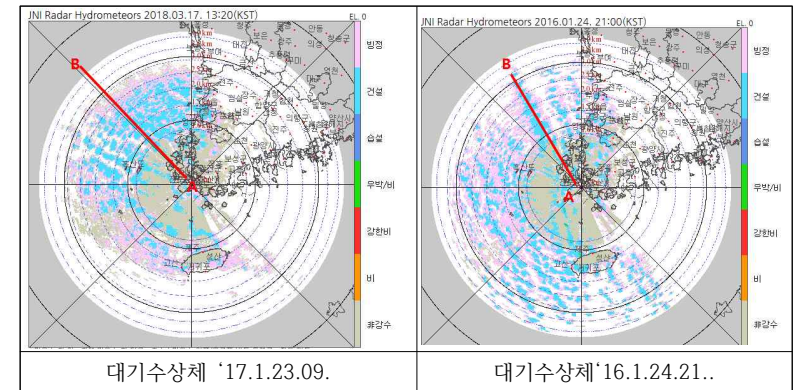
2.2.6.2. 레이더 영상

2.2.6.2.1 합성영상



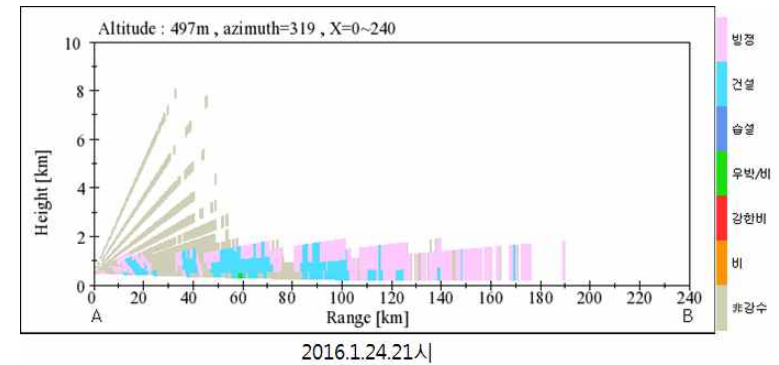
[그림 2-2-19 기상레이더 합성영상]

2.2.6.2.2. 진도 기상레이더 대기수상체

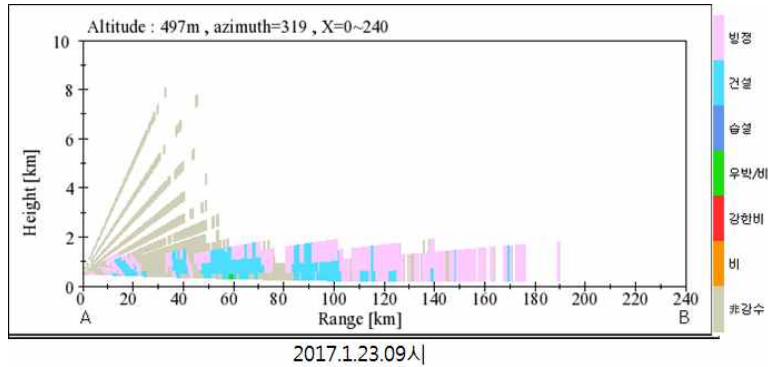


[그림 2-2-20 진도레이더 대기수상체]

2.2.6.2.3. 진도 기상레이더 연직단면도



[그림 2-2-21 진도레이더 연직단면도 2016.1.24..21시]



[그림 2-2-22 진도레이더 연직단면도 2017.1.23.09시]

위 대표 두 사례 모두 시간당 0.5~1.0mm의 강도를 보이고 있고 연직단면도 분석에서는 강수는 주로 연직으로 2Km 이하에 분포하고 있으며 최하층에는 건설이 분포하고 그 위에는 주로 빙정이 분포하고 있다.

2.3. 구별되는 메커니즘

2.3.1. 지형효과와 경기만 효과

cP가 확장할 때 일반적으로 충남 해안, 특히 전라도 해안에 대설이 발생한다. 그러나 어떤 조건이 갖추어졌을 때에 충남 내륙에도 많은 양은 아니지만 적설이 관측된다. 이러한 것을 규명하기 위해 cP가 확장할 때 충남 내륙에 적설이 발생하는 사례와 발생하지 않는 사례를 비교하여 그 메커니즘을 규명한다.

cP가 확장할 때 충남 내륙에 적설이 발생하는 조건은 경기만을 지나는 유선이 내륙에서 해상으로 진출하여야 한다. 해기차는 19도~20도보다 커야 하며, 강한 한기 이류로 서해상에 솔레노이드 발생하면서 한반도 내륙 온도골 강화(850hPa -16도 선)되어야 한다. 강수를 유발하기 위해 850hPa의 풍속은 25kt 이상으로 증가하고, 경기만 앞바다 파고 경도 증가(2~3m)함에 따라 단위체적당 증발면적이 증가해야 한다. 또한 야간에 구름 상부에서는 복사냉각이 구름 하부에서는 복사에 의한 냉각 효과가 매우 적어 구름 상하층 간 기온 경도가 심해져 강수 유발을 더욱 용이하게 한다.

2.3.1.1. 국지적 지형특성 고려한 예보 생산

국지적 지형 특성을 고려하여 기존 예보생산에서 간과한 점을 보완함으로써 보다 정확한 예보 서비스를 생산하기 위한 것이다.

2.3.1.2. 호수효과로서 경기만효과

미국 오대호 주변에 호수효과에 의한 적설현상은 잘 알려진 사실이다. 서해를 하나의 거대한 호수로 간주하고 호수의 풍하측인 서해안 중에 전라남북도 서해안 충남 남부해안을 중심으로 대설현상이 있다. 그런데 충남 내륙에도 적설량은 많지 않으나 호수효과에 의한 적설현상이 있는데 이 현상은 일반적인 호수효과 외에 예보에서 놓치기 쉬운 부분이다. 지금까지는 대부분 강수량이 많은 날을 선택하여 그 메커니즘이 무엇인지 밝히는 형식이었으나, 강수량(적설량)이 적더라도 그 뒤에 숨어있는 메커니즘도 규명할 필요가 있다.



[그림 2-3-1 경기만효과 모식도]

2.3.1.3. 호수효과의 요인

일반적으로 호수효과의 변수는 해수면 온도와 해수면 상공을 지나는 공기의 온도와의 차이의 정도, 습기를 증가시키는 원인인 취주거리의 장단, 그리고 풍속의 강약, 그리고 지형에 의한 속도수렴이나 산악효과를 포함한다. 특히 경기만 풍하측에 나타나는 적설현상은 경기만의 폭과 길이 풍상측의 취주거리의 변화, 경기만 상공의 하층 온도골 형성의 변수가 추가된다.

2.3.1.4. cP확장 사례 비교

cP가 확장하여 경기만효과에 의한 충남내륙에 적설을 기록한 사례(2017. 2. 9~10)와 cP가 확장하였으나 서해안을 포함한 충남내륙에 적설을 기록하지 않은 사

례(2016.12.15.~16)을 비교하여 적설을 기록했을 때 그 특징을 분석한다.

2.3.1.5. 실황, 수치자료, 영상자료 분석

2.3.1.5.1. 적설실황 [cP 확장 시 충남 내륙 적설 사례 2017.2.9.~10.]

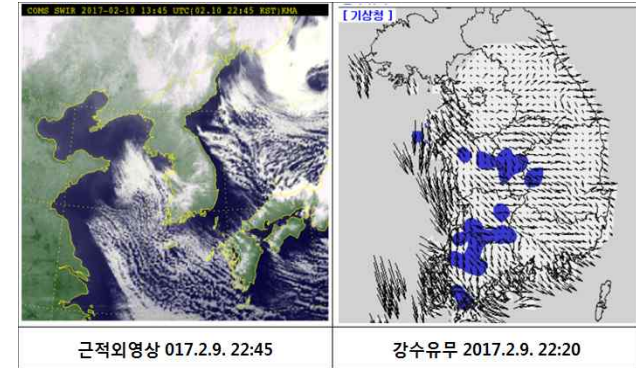
2017.2.9~10	09일														10일				
	21시	22시	23시	24시	01시	02시	03시	04시	05시	06시	07시	08시	09시	10시	11시	12시	13시	14시	15시
새종금남(C)									0.0										
대전										1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4				
계룡(L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4				
금산(관C)										0.5									
부여(관C)									0.0		0.0								
서산(L)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4
서산									0.0	0.0	0.0	0.0							
서천(C)									0.0	1.5	1.5								
천안									0.0	0.5	0.5			0.0					
청양(C)									1.0	2.0	2.0	2.0							
홍성(C)									0.0	0.0	0.5								

[표 2.1]은 2017. 2. 9.~10에 cP 확장할 때 적설실황이며, 천안 지점은 10일 새벽 03시에 1.0cm를 기록하였으며, 충남남부해안인 서천은 03시에 1.5cm, 청양은 내륙에 포함되나 충남남부해안의 연장으로 볼 수 있으며 적설은 02시에 1.0cm, 03시에 2.0cm를 기록하였다. 포

2.3.1.5.2. 경기만 효과 [cP 확장 시 충남 내륙 적설 사례 2017.2.9.~10.]

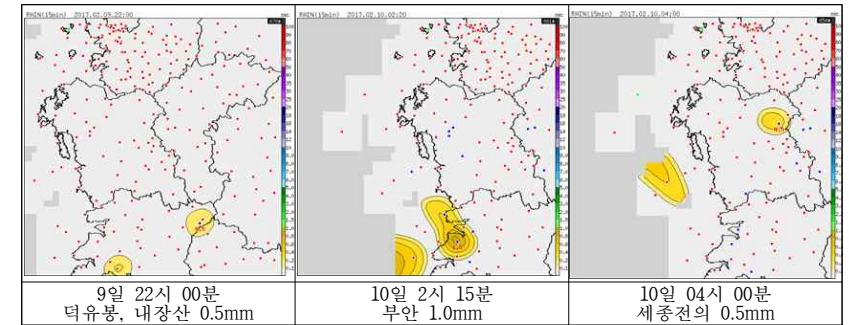
경기만 효과는 cP가 확장할 때, 경기만(경기만 포함)의 국지적인 지형효과에 의해 해기차에 의해서 풍하측에 적설이 나타나는 것을 말한다. 풍하측에 나타나는 적설의 양은 만의 규모가 상대적으로 크지 않고 적설을 유발하는 조건이 형성된 시간대가 짧으므로 그 양은 많지 않다.

2.3.1.5.3. 15분 강수분포 [cP 확장 시 충남 내륙 적설 사례 2017.2.9.~10.]



[그림 2-3-2 천리안근적외영상과 강우감지 분포]

[그림 2-3-2]에서 2017년 2월 10일 22시 45분 천리안위성영상에서 풍하측에 부채형태로 적어도 구름이 형성되어 있는 것을 볼 수 있고, 강우감지 분포도에서도 풍하측에 강수구역이 있음을 확인할 수 있다.

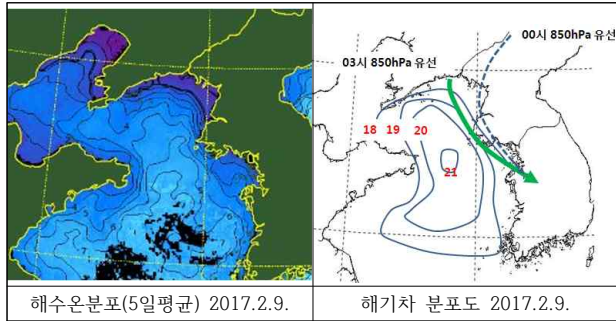


[그림 2-3-3 경기만효과에 따른 강수분포]

[그림 2-3-31]에서 아산만 풍하측 덕유봉에서 9일 22일 00분에 최초 강수를 기록하였으며, 10일 다시 경기만 풍하측인 세종 전의에 15분 강수 0.5mm를 기록하였다. 그 사이 시간이 2시 15분에는 전북북부해안인 부안에 15분 강수 1.0mm를 기록하였다. 즉 경기만효과에 의한 강수는 9일 22시부터 10일 04시까지 간헐적으로 강수현상이 있다는 것을 확인할 수 있다.

2.3.1.5.4. 서해의 해수면 온도분포 및 해기차 분포

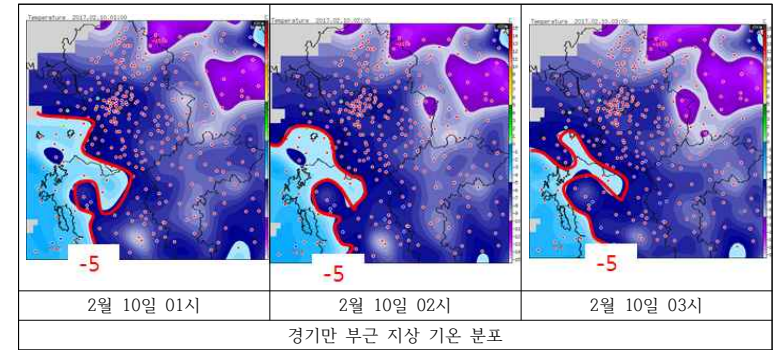
[그림 2-3-4]에서 경기만 풍하측에 구름이 발생하기 시작할 때 경기만을 지나는 유선이 통과하는 경로는 경기만을 통과하는데, 이 때 경기만의 수온은 약 3~4도이며, 해기차 분포도에서 해기차는 19도 선을 통과한다. 한편 해기차가 가장 큰 수역은 산동반도와 경기만 사이 중간에 해기차 21도 수역이 위치하고 있다.



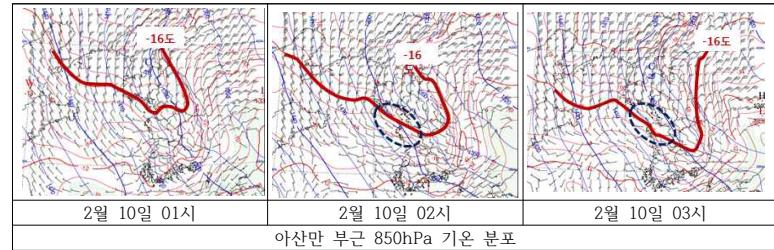
[그림 2-3-41 서해안 해수면온도분포와 해기차분포]

2.3.1.6. 경기만 상공의 기온경도 심화

[그림 2-3-5]에서 경기만 풍하측에 구름이 형성되면서 850hPa 이하층은 복사 에 의한 냉각이 적은 반면 구름 상단에서는 복사에 의한 냉각에 의해 기온하강이 더하여짐으로써 상하층간 기온경도는 더욱 심해진다.

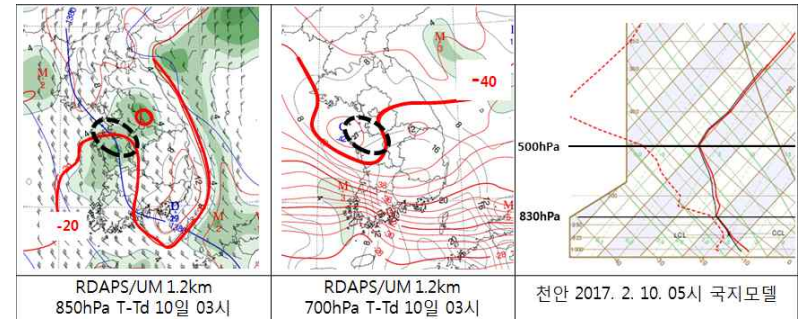


[그림 2-3-5 아산만 부근 지상 온도 분포]



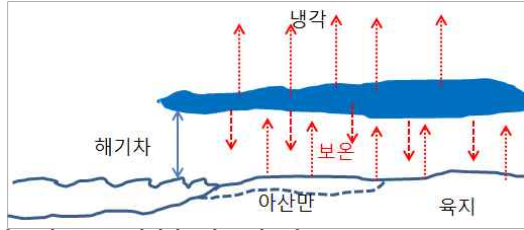
[그림 2-3-6 아산만 부근 850hPa 온도 분포]

[그림 2-3-6]에서 한반도를 포함한 서해상으로 cP확장에 따른 강한 한기 이류와 한반도 내륙의 복사냉각으로 온도골이 깊게 파이고 경기만으로는 -16도선이 지나고 있다. 충남서해안과 서해 앞바다는 상대적으로 온도능이 형성되고 있다.



[그림 2-3-7 850hPa온도능, 700hPa온도골, 기온의 연직구조]

[그림 2-3-7]에서 850hPa에서 충남서해안에 온도능이 형성되고 700hPa에 온도골이 형성되어 850hPa와 700hPa층 사이에 불안정이 있고, 850hPa층 이하에서는



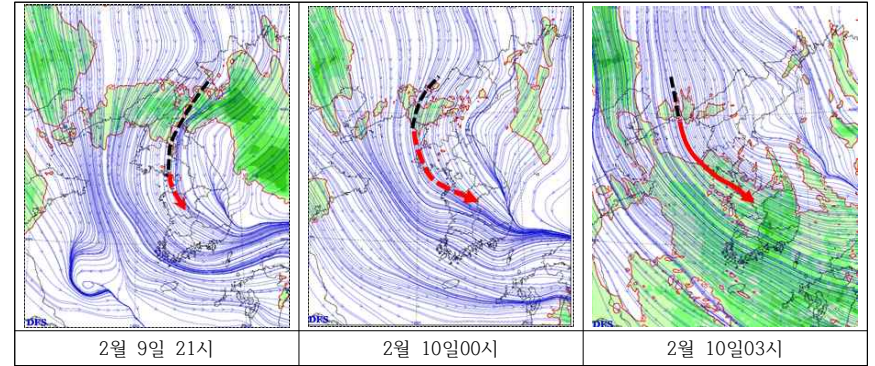
[그림 2-3-8 경기만효과 모식도]

[그림 2-3-8]에서 구름 하부는 복사에 의한 열 손실이 매우 적고 구름 상부에서는 복사냉각에 의해 기온 경도가 더욱 심화된다. [그림 3-5-4]의 단열선도에서 불안정의 정도는 지상~830hPa층이 가장 크고, 830hPa~500hPa층이 그 다음으로 크다. 500hPa층 이상에서는 안정된 모습을 볼 수 있다.

습윤역의 상단인 850hPa의 온도골이 강화되고 새벽에 복사에 의한 냉각각이 더 하여졌으며, 습윤역 하부는 비교적 따뜻한 만의 수면온도와 복사냉각 차단에 의한 기온 하강 저지로 상하층간의 기온 경도는 더욱 커지는 경향이 있다. 10일 03시에 850hPa와 지상기온 차는 13.2도까지 벌어졌다. 아산 03시 기온이 -4.1도로 만 부근의 지상기온 차는 14.4도이다.

2.3.1.7. 850hPa의 유선장과 취주거리변화

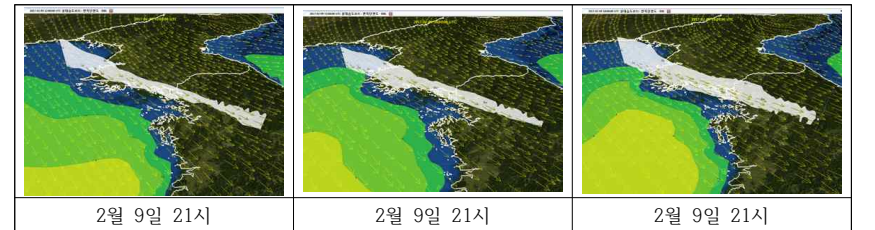
[그림 2-3-9]에서 9일 21시는 경기만을 통과하는 유선이 대부분 내륙에 있고, 경기만 중 일부만 해상을 통과하고 있어 구름만 형성되고 있다. 9일 24시는 경기만을 통과하는 유선이 백령도를 지나고 취주거리는 백령도 북쪽해상까지 이어져 길어지고 있다. 10일 03시까지는 경기만과 경기만을 지나는 유선이 길어졌으며, 해기차가 19도~20도로 큰 구역에 가까워지고 풍속이 강화되어 강수를 유발할 수 있는 수준에 이르렀다.



[그림 2-3-9 850hPa 유선장의 경로]

2.3.1.8.. 풍속의 증가에 따른 아산만 상공 수증기 증가

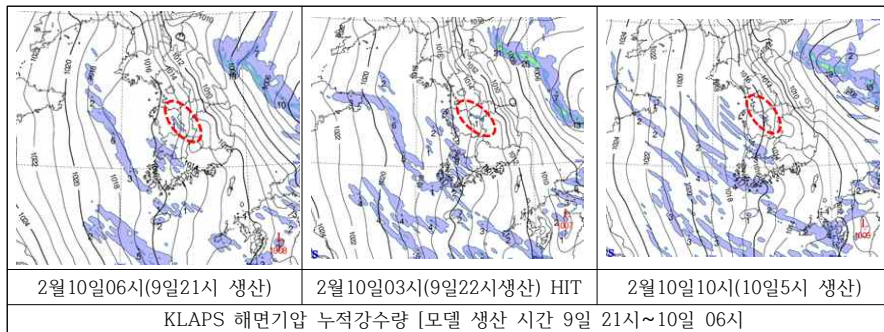
[그림 2-3-10] 에서 850hPa의 풍속의 증가와 경기만 파고(2~3m) 증가에 따라 경기만의 파고 경도가 10일 03에 강해져 단위체적당 증발할 수 있는 면적이 증가함에 따라 해수면 위에 80% 이상의 연직 습윤역도 강화되었다.



[그림 2-3-10 풍속증가에 따른 아산만 상공 수증기 증가]

2.3.1.9. 강수 예상장

2.3.1.9.1. KLAPS 모의 여부

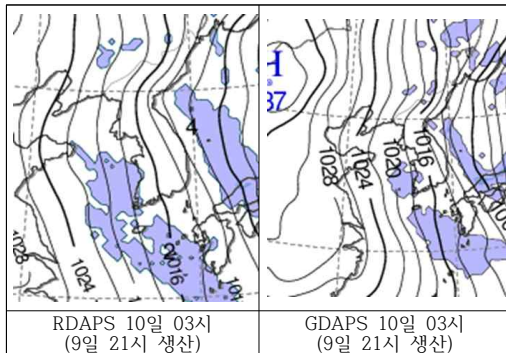


[그림 2-3-11 KLAPS 강수 모의]

[그림 2-3-11]에서 경기만의 규모는 길이 40km, 폭5km이고 KLAPS의 해상도는 5km이므로 경기만의 국지적인 현상을 모의하기 어려운 조건이다. 국지모델인 KLAPS에서 각 생산 시각별 모의한 프레임은 3장이었으며 이 중 강수 시점까지 적중한 프레임(10일 03시)은 단 한 건에 불과하다.

2.3.1.9.2. GDAPS와 RDAPS 모의 여부

[그림 3-8-2]에서 RDAPS는 격자규모가 12km이고 GDAPS는 격자규모가 25km로 경기만을 포함하는 소규모 지형효과를 반영하지 못하여 강수모의를 할 수 없다.



[그림 2-3-12 RDAPS와 GDAPS의 강수모의]

2.3.1.10. 충남내륙에 적설을 기록한 사례 해기차 분석

수치모델 초기장에서 10일 03시 천안단열선도에서는 850hPa-1000hPa의 기온 경도는 -11도로 오산 관측값과 -11.8도와 거의 유사하다.

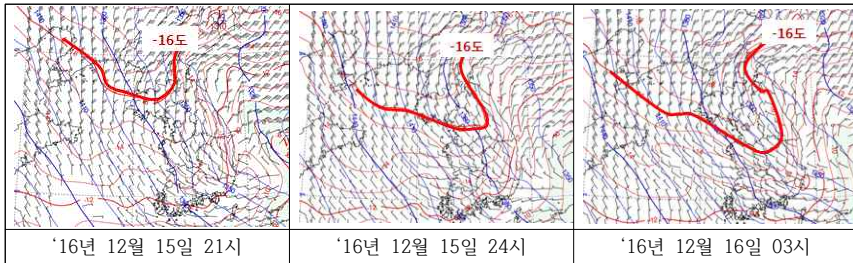
고도별 기온 (경기만풍허측 적설 유) '17.2.10.	9일 21시	10일 03시	10일 09시	해기차 (경기만풍허측 적설 유) '17.2.10.	9일 21시	10일 03시	10일 09시
오산 850hPa	-16.7	-18.5	-18.5	850T-지상T	-11.6	-13.2	-10.8
오산 925hPa	-11.5	-12.5	-13.9	850해기차	-18.7	-20.5	-20.5
오산1000hPa	-5.9	-6.7	-13.9	925해기차	-13.5	-14.5	-15.9
지상	-5.1	-5.3 아산-4.1	-7.7	850T-1000T	-10.8	-11.8	-4.6
해수면	2	2	2	925풍향/풍속(KT)	305/2 0	305/2 2	315/2 3

오산과 경기만의 위치보정하기 전은 -20.5도, 위치보정(등온선 1도, 거리 30km) 후 해기차는 -19.5도이다. 925 hPa의 풍향은 305도(WNW풍) 22kt이다.

고도별 기온 (cP확장 서해안 무강수) '16.1.23	23일 15시	23일 21시	24일 03시	해기차 (cP확장 서해안 무강수) '16.12.15'	15일 15시	15일 21시	16일 03시
오산 850hPa	-21.9	-23.9	-24.5	850-지상	-13.4	-13.0	-9.4
오산 925hPa	-16.9	-18.7	-21.1	850해기차	-24.9	-26.9	-27.5
오산1000hPa	-11.5	-13.3	-16.9	925해기차	-19.9	-21.7	-24.1
지상	-8.5	-10.9	-15.1	850-1000hPa	-10.4	-10.6	-7.6
해수면	3	3	3	925풍향/풍속(KT)	295/2 7	300/3 0	285/3 3

2.3.1.11. cP확장하였으나 충남 내륙에 적설을 유발하지 않은 사례비교

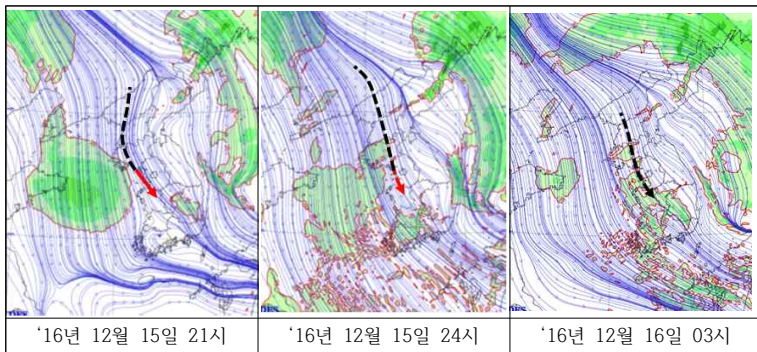
2.3.1.11.1. 적설을 유발하지 않은 경우의 850hPa 등온선 특징



[그림 2-3-13 850hPa 온도골]

[그림 2-3-12]'16년 12월 15일~16일 사례는 충남 내륙에 적설을 유발한 사례와 유사하게 한기 이류와 한반도 내륙으로 온도골이 형성되었으나, 강수를 유발한 사례보다 그 정도가 약하고 서해안과 서해 앞바다에 형성된 상대적인 온도능도 뚜렷하지 않다.

2.3.1.11.2. 강수(적설)을 유발하지 않은 경우의 850hPa 유선장

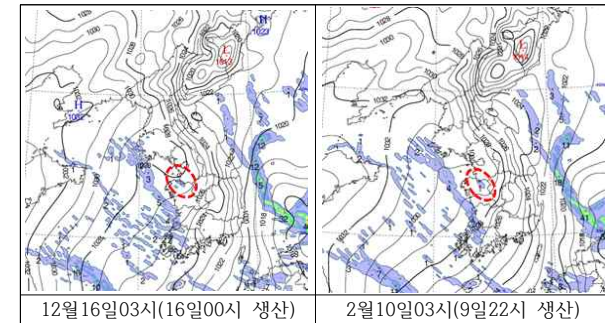


[그림 2-3-14 850hPa 유선 경로]

[그림 2-3-14]에서 해상에는 15일 21시와 24시에 25kt 이상의 바람이 불었으나, 경기만을 지나는 유선은 해상으로 진출하지 못하고 내륙을 지나옴으로써 강수를 유발하지 못하는 결정적인 요인이 되었다.

2.3.1.11.3. KLAPS 예상장의 모의 여부

[그림 3-10-3] KLAPS 강수 예상장에서는 반대로 강수를 모의하고 있으나, 실황은 강수가 관측되지 않았다. 따라서 cP가 확장할 때 충남 내륙의 강수 유발 여부는 국지모델 강수예상장보다는 모델의 850hPa유선장 등 다른 수치모델을 해석하여 강수 유발 메커니즘을 찾아 강수유발메커니즘을 찾아야할 것이다.



[그림 2-3-15 KLAPS 강수 모의]

고도별 기온 (cP확장 서해안 무강수) '16.12.15	15일 15시	15일 21시	16일 03시	해기차 (cP확장 서해안 무강수) '16.12.15'	15일 15시	15일 21시	16일 03시
오산 850hPa	-6.3	-11.5	-10.7	850-지상	-4.6	-7.4	-8.1
오산 925hPa	0.4	-10.5	-11.3	850해기차	-12.3	-17.5	-16.7
오산1000hPa	-	-4.9	-7.7	925해기차	-5.6	-4.5	-5.3
지상	-1.7	-4.1	-2.6	850-1000hPa	-	-6.6	-3.0
해수면	6	6	6	925풍향/풍속(KT)	310/4	315/15	340/15

2.3.1.12. 소결론

2.3.1.12.1. 경기만(경기만 포함) 효과의 조건

- ① 해기차 > 19도~20도
- ② 강한 한기 이류로 서해상에 솔레노이드 발생, 한반도 내륙 온도골 강화 (850hPa -16도 선)

- ③ 경기만을 지나는 유선장이 해상에 진출하여 취주거리의 증가
- ④ 강수를 유발하기 위해 850hPa의 풍속은 25kt 이상으로 증가하고, 경기만 앞 바다 파고 경도 증가(2~3m)함에 따라 단위체적당 증발면적이 증가

2.3.1.12.2. 야간에 경기만 풍하층의 830hPa 이하 층 불안정 가속

야간(늦은밤~새벽)에 경기만 풍하층에 형성된 830hPa 증 이하의 구름 발생으로 상단에는 복사냉각으로 기온 하강하고, 구름 하부는 복사에 의한 손실이 없어 보온이 되어 구름 상하층 간 기온 경도 증가하여 불안정이 심화된다.

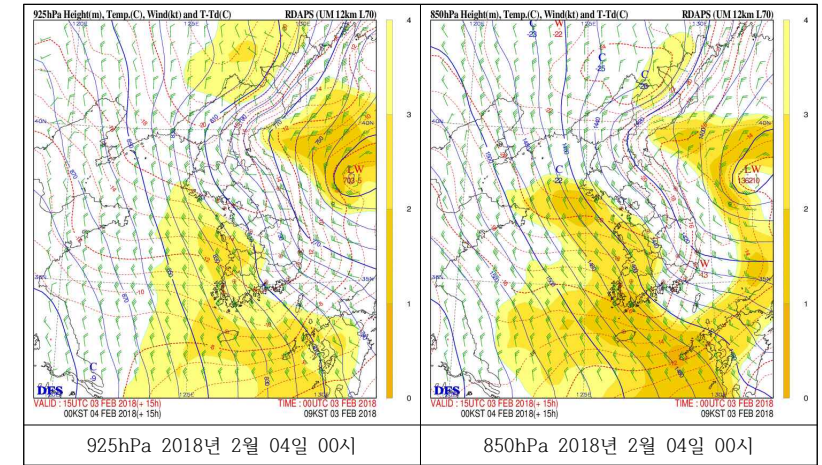
위와 같은 조건들이 사슬의 연결고리로 만날 때, cP가 확장하는 경우 충남 내륙에도 적설이 유발된다.

2.3.2 육상에서 경압불안정 발생

2018년 2월 6일 22시 전후로 대전 천안에 1cm 내외의 적설이 발생하였는데 이것은 해기차에 의한 적설로 오인하여 적설예보를 놓치기 쉬운데, 다른 메커니즘을 갖고 있다.

2월 3일과 6일에 발표된 wintemp자료에서 925hPa의기온이 영하 12도 이하이다.

주간에서 야간으로 전환되면서 육상에 냉기가 강화되고 상대적으로 서해안을 따라 온도능이 발달하고 있다. 결국 내륙에 경압불안정이 형성되고 눈구름이 만들어진다.



[그림 2-3-17 850hPa 상세바람기온장]

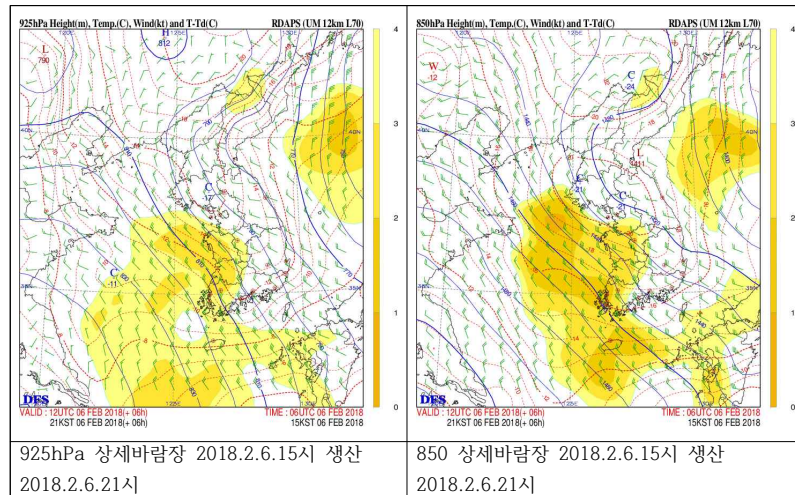
이때 태안반도의 차단과 무관하게 적설이 발생며, 장산곶에서 발달해서 경기만을 넘어 내륙으로 진출한다. 925hPa와 850hPa에서 야간 시간대에 경압불안정(θ)이 있는 영역에 습수역이 있으면 적설이 발생하는 메커니즘이다. 즉 경압불안정 발생 장소가 해상이 아닌 육지에서 발생했다는 점이 큰 차이점이다.

2.4. 회귀식의 독립변수 및 종속변수 조사 분석

2.4.1. 회귀식의 독립변수

2.4.1.1. 포화혼합비

대련과 54511지점의 포화혼합비(기)와 서해안 적설지점(광주, 서산, 홍성



[그림 2-3-16 850hPa 상세바람기온장]

- 6) 기온선과 기압선이 서로 각을 이루면서 교차하는 것
- 7) 어떤 공기가 포화상태에 있을 때의 대기에 포함된 단위 질량의 건조공기와 공존해 있을 수 있을 수증기의 질량을 포화혼합비라 한다. 단위는 g/kg이고, 구하고자 하는 기층의 온도 값을 지나는 포화혼합

등)의 포화혼합비 차는 적설예측의 중요한 요소 중 하나이다.

대륙의 건조공기가 따뜻한 해수면을 지나면서 강한 풍속 요인이 더해지면서 증발을 발생시키는 결과를 정량적으로 조사하여 회귀분석의 한 독립변수로 하여 증속변수인 적설을 예측할 수 있다. 이러한 회귀식 도출은 이번 연구의 핵심 부분이다.

연	월	일	시각 (시)	적설 지점	PICK 시각	5451 1 850 포화 혼합 비	대륙 850 포화 혼합 비	지점 925 포화 혼합 비	지점 850 포화 혼합 비	지점 1000 포화 혼합 비	혼합 비차 925- 850	
2009	12	18	22	광주	19	9	0.35	0.20	1.75	1.45	1.9	1.55
2009	12	31	1	광주	31	10	0.30	0.65	1.55	1.2	1.85	1.25
2010	1	5	6	광주	6	3	0.00	0.15	1.73	1.4	1.95	1.58
2012	2	2	21	나주	2	10	0.20	0.20	1.2	0.9	1.3	1
2015	1	1	21	광주	1	10	0.37	0.90	1.3	1	1.75	0.93
2015	12	3	22	수원	3	16	0.80	1.50	1.9	1.75	2	1.1
2016	1	23	0	광주	24	21	0.18	0.80	1.5	1	1.65	1.32
2017	1	23	5	광주	23	7	0.60	0.30	1.65	1.2	1.65	1.35
2017	1	23		서산	22	1	0.18	0.75	1.8	1.6	1.85	1.62
2017	11	24	0	천안	24	7	0.70	11.00	1.9	1.75	3.6	1.2
2017	12	11	21	군산	24	23	0.40	0.40	1.5	0.9	1.75	1.1
2018	1	23	21	서산	23	22	0.25	0.65	1.1	0.85	1.4	0.9
2018	1	26	8	목포	26	8	0.70	0.15	1.3	0	1.8	1.2
2018	1	29	5	홍성	29	5	0.60	0.35	1.6	1.1	1.5	1.0

2.4.1.2. 포차

적설 pick 시 포차는 포화혼합비와 유사한 개념으로 상관도 분석을 통하여 포화혼합비와 포차 중 하나의 독립변수를 선택하여 상관도가 높은 독립변수를 취사선택하기 위하여 조사한 내용이다.

비선의 값을 읽어 쓴다.

연	월	일	시각 (시)	적설 지점	pick 대륙/ 5451 1000 기온	pick 대륙 1000 눈점	pick 지점 1000 기온	pick 지점 1000 눈점	대륙 포차 - 지점 포차
2009	12	18	22	광주	-9.1	-17.1	-5.1	-6.8	6.3
2009	12	31	1	광주	-10.7	-17.7	-6.7	-8.0	5.7
2010	1	5	6	광주	-16.3	-23.1	-5.9	-6.0	6.7
2012	2	2	21	나주	-16.1	-29.1	-11.3	-13.5	10.8
2015	1	1	21	광주	-4.7	-23.7	-6.3	-8.5	16.8
2015	12	3	22	수원	0.0	-14.0	2.4	-3.6	8.0
2016	1	23	0	광주	-7.7	-16.7	-10.1	-14.0	5.1
2017	1	23	5	광주	-9.3	-13.8	-6.7	-8.8	2.4
2017	1	23		서산	-7.7	-21.2	0.0	-6.0	7.5
2017	11	24	0	천안	-12.1	-18.1	-1.0	-1.8	5.2
2017	12	11	21	군산	-10.5	-20.5	-5.5	-7.5	8.0
2018	1	23	21	서산	-8.3	-27.3	-10.0	-14.0	15.0
2018	1	26	8	목포	-12.2	-27.7	-9.0	-13.0	11.5
2018	1	29	5	홍성	-10.5	-24.5	-5.0	-9.0	10.0

2.4.1.3. 850hPa 해기차

경계층 깊이에 해당하는 850hPa의 기온과 해수면온도 포화혼합비와 850hPa의 풍속과 상관도 정도를 조사하기 위한 자료이다. 해수면 온도는 위성자료와 해양기상브이의 해수면온도 자료와 위성에서 관측한 해수면 온도자료를 비교 조사하여 정확성을 기하고자 하였다.

연	월	일	시각 (시)	적설 지점	pick 수온	위성관측 수온	지점 850hPa 기온	PICK 시각의 해기차	
2009	12	18	22	광주	십이 등파	9.9	결측	-13.5	23.4
2009	12	31	1	광주	외연도	9.2	결측	-16.3	25.5
2010	1	5	6	광주	외연도	8.6	결측	-15.1	23.7
2012	2	2	21	나주	외연도	5.0	7.0	-19.9	24.9

2015	1	1	21	광주	외연도	8.0	9.5	-14.7	22.7
2015	12	3	22	수원	덕적도	13.2	13.5	-10.4	23.6
2016	1	23	0	광주	부안	8.5	8.5	-20.3	28.8
2017	1	23	5	광주	부안	7.9	8.0	-14.5	22.4
2017	1	23		서산	가대암	5.6	7.0	-10.0	15.6
2017	11	24	0	천안	덕적도	12.2	12.0	-9.0	21.2
2017	12	11	21	군산	외연도	6.0	10.0	-15.5	21.5
2018	1	23	21	서산	덕적도	3.9	5.0	-20.5	24.4
2018	1	26	8	목포	어청도	4.1	7.0	-13.0	17.1
2018	1	29	5	홍성	신진도	3.0	7.0	-16.0	19

2.4.1.4. 지점 자료

지점의 습구온도는 지점의 포화혼합비를 구하기 위한 자료이다. 습구온도는 지상의 습구온도와 925hPa의 CCL에서 습윤단열선을 따라 지상까지 내려왔을 때의 온도를 구하였으며, 이번 조사에서는 후자를 선택하였다.

지점 자료(PICK 시)												일기도/수치자료				
연	월	일	850hPa 습속 m/s	지점 습구온도	925-지상 습구온도	적설 (C m)	적설 시작시각	적설 PICK 시각	지속 시간	(적 설/ 시간) ×1 2시간	기준 시각	850 유선장				
2009	12	18	17.5	광주	-3.5	-6.0	10.0	18	17	19	9	16	7.5	19일 09시	단열선도 수치예보	
2009	12	31	17.5	광주	-4.0	-6.5	14.8	30	18	31	10	16	11.1	31일 09시	단열선도 수치예보	
2010	1	5	14.4	광주	-4.0	-6.0	12.5	4	22	6	3	29	5.17	5일 21시	단열선도 수치예보	
2012	2	2	19.5	나주	-12.0	-16.0	9.2	1	20	2	10	14	7.89	2일 9시	나주=광 주부근	
2015	1	1	24.7	광주	-6.5	-12.0	8.4	0	21	1	10	13	7.75	1일 9시		
2015	12	3	12.5	수원	-1.0	-1.5	8.0	3	5	3	16	11	8.73	3일0 9시/ 3일 15시	유선장-광 대령-주	단열선도 수치예보
2016	1	23	21.6	광주	-10.0	-10.5	16.4	23	18	24	21	27	7.29	24일 21시	유선장 대령-주 실측	단열선도
2017	1	23	16.5	광주	-5.0	-7.0	6.0	21	21	23	7	34	2.12	23일 06시	유선장 백령-광	

															주	
2017	1	23	12.5	서산	-2.5	-2.5	3.0	21	20	22	1	5	7.2	21일 21시	유선장-서 백령-서산	간수시간 중의/서 쪽팔봉산 364m
2017	11	24	7.0	천안	-1.0	-1.6	9.5	23	24	24	7	7	16.3	24일 09시		경기만 700이상 포함
2017	12	11	17.5	군산	-7.5	-11.5	8.0	11	6	11	23	17	5.65	11일 21시		
2018	1	23	12.5	서산	-12.5	-15.0	1.8	23	18	23	22	4	5.4	23일 21시		
2018	1	26	20.0	목포	-7.0	-9.5	3.1	26	2	26	8	6	6.2	26일 09시		
2018	1	29	20.0	홍성	-7.0	-7.0	1.1	29	3	29	5	2	6.6	29일 09시 /29일 06시		

2.4.2. 종속변수와 독립변수들의 상관도 분석

각각의 종속변수와 독립변수인 적설의 상관도와 단일회귀식을 분석한 후 종속변수들을 조합한 후 다중회귀식을 분석하여 최적의 다중회귀식을 도출한다.

2017년 11월 24일 천안 사례는 지형효과가 크게 작용한 사례로서 회귀 분석을 위한 사례일 조사에서 제외하였다.

2.4.2.1. 통계데이터 분석 방법

2.4.2.1.1. 다중 상관계수

상관계수는 주어진 변수들 간의 밀접한 정도를 측정하며, -1~1 사이의 값이다. 분석결과가 0.9라면 매우 큰 상관이 있다는 의미이다.

2.4.2.1.2. 결정계수

회귀방정식이 표본들을 얼마나 잘 설명하고 있는가를 나타내며, 0~1까지의 값이며, 0.5(50%) 이상을 의미 있는 것으로 본다.

2.4.2.1.3. 조정된 결정계수

독립변수 개수가 증가할수록 결정계수 값이 증가하는데, 이를 보완하기 위한 것이 조정된 결정계수이다. 조정된 결정계수는 결정계수를 표본크기를 감안한 자유도로 저장한 값이다.

2.4.2.1.4. F검정

모델 전체의 모든 회귀계수들을 한번에 검정하기 위해 F 검정을 실시한다. 'F비>유의한 F'일 경우(귀무가설이 기각되어) 독립변수 X₁, X₂, Y₁ 사이

에는 유의적인 회귀관계가 있다.

2.4.2.1.5. 표준잔차

종속변수와 독립변수와의 관계를 밝히는 통계모형에서 모형에 의하여 추정된 종속변수의 값과 실제 관찰된 종속변수 값과의 차이이다. 이 차이는 오차(error)로도 해석되며, 통계모형이 설명하지 못하는 불확실성 정보이다. 잔차는 무선흐과를 갖는 확률변수이므로 통계모형이 가정하는 분포의 적절성을 검정하는 데 유용하다. 또한 불확실성 또는 오차 정보이므로, 종속변수 값의 예측 및 회귀계수의 추정이 어느 정도 정확한지 추정의 정밀도 정보를 얻는 데 사용된다.

잔차가 2.5~3 이상이면 시계열이 맞지 않는 이상값이므로 삭제처리 한다.

2.4.2.2. 단일상관분석 및 단일회귀분석

P값이 0.05미만이면 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 유의하다고 할 수 있다.

2.4.2.2.1. 혼합비차-적설

2.4.2.2.1.1. 포화혼합비 차

포화혼합비 차는 서해상을 지나기 전의 대륙의 건조한 공기가 포함하고 있는 수증기 량과 서해상을 지난 후 적설지점에 도달했을 때 포함하고 있는 수증기량의 차를 구하여 서해상에서 어느정도로 증발이 일어났는지를 측정하기 위한 것이다.

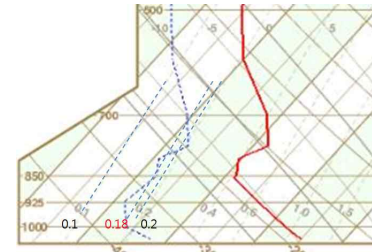


[그림 2-4-1 포화혼합비 차 모식도]

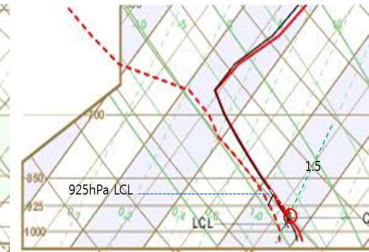
2016년 1월 23일 21시 54511 지점과 광주의 포화혼합비를 비교하였다. 54511지점의 850hPa의 포화혼합비는 850hPa의 이슬점온도가 포화혼합비

선과 교차할 때의 값인데 0.18g/kg으로 매우 작은 값이다.

광주의 925hPa의 LCL에서 습윤단열선을 따라 지상까지 내려온 온도는 습구온도와 같으며 이 때의 혼합비는 1.5g/kg이다. 이번 사례에서는 환경 곡선과 습윤단열선의 기울기가 거의 같은 사례이다.



[그림 2-4-2 2016.1.23.21시 54511]



[그림 2-4-3 2016.1.23.21시 광주]

2.4.2.2.1.2. 포화혼합비 상관도 분석

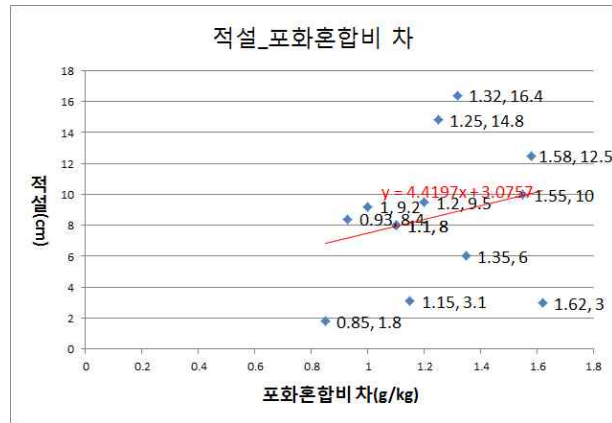
회귀분석 통계량	회귀분석 통계량
다중 상관계수	0.247153
결정계수	0.061084
조정된 결정계수	-0.02427
표준 오차	4.458603
관측수	13

포화혼합비차와 적설의 상관도는 0.247로 상관도가 낮으며, 단일 변수로 적설을 예측하기에는 불충분하다. 즉 적설은 포화혼합비 차에 크게 좌우되지 않고, 다른 요인을 고려해야 한다. 포화혼합비의 구간 값이 093에서 1.58로 그 차이는 0.65로 매우 적은 구간이다. 풍속에 의해 육상의 마찰에 의한 속도수렴요인과 해기차 요인이 더 분석되어야 한다.

포화혼합비 차가 1 이하일 때 2cm이고, 1.3~1.7일 때 적설은 13~15cm로 차가 클수록 적설이 커지는 추세를 나타내고 있다.

2.4.2.2.1.3. 잔차 분석

관측수	Y 예측치	잔차
1	9.926294	0.073705613
2	8.600379	6.19962082
3	10.05889	2.441114092
4	7.49545	1.704550159
5	7.18607	1.213930375
6	7.937422	0.062578424
7	8.909759	7.490240605
8	9.042351	-3.042350916
9	10.23567	-7.235674602
10	8.379393	1.120606688
11	7.937422	0.062578424
12	6.832492	-5.032492237
13	8.158407	-5.058407444



[그림 2-4-4 적설. 포화혼합비차의 상관도]

관측사례 수는 13개이고 잔차 ±3 이상 벗어나는 관측사례는 7cm이 벗어나는 사례가 두 사례이다.

2.4.2.2.1.4. 회귀분석

	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
Y 절편	3.075732	6.547997435	0.469721088	0.647728	-11.3363	17.48778	-11.3363	17.48778
X 1	4.419717	5.224514365	0.845957547	0.4156	-7.07936	15.9188	-7.07936	15.9188

P값은 X1이 4.419717로 독립변수 회귀식은 「적설=포화혼합비·4.419717+3.075732」이다. 식을 적용하여 실측값과 계산값을 비교하여 표로 나타내면 다음과 같다.

	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	9.5	8	1.8	3.1
적설실측	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	9.5	8	1.8	3.1
적설 계산값	9.9	8.6	10.1	7.5	7.2	7.9	8.9	9.0	10.2	8.4	7.9	6.8	8.2

포화혼합비만을 독립변수로 하는 회귀식을 적용한 예측값과 적설 실측치는 0.1cm에서 최대 7.5cm까지 편차를 보였으며, 표준오차는 4.4cm이다.



[그림 2-4-5 적설. 포화혼합비차의 실측값과 계산값]

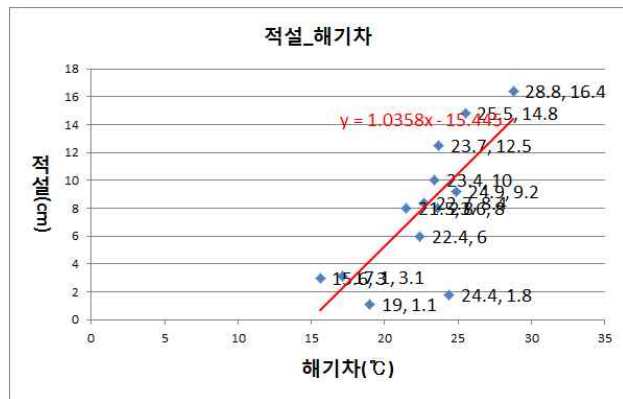
2.4.2.2.2. 해기차-적설

2.4.2.2.1.1. 해기차 상관도 분석

회귀분석 통계량	회귀분석 통계량
상관계수	0.760151
결정계수	0.577829
조정된 결정계수	0.53945
표준 오차	3.286833
관측수	13

해기차와 적설의 상관계수는 0.76이며, 포화혼합비와 적설의 상관도보다 향상된 값을 보이고 있다. 해기차의 상관도는 상당한 의미가 있는 정도로 측정된다. 해기차의 구간 값이 15.6에서 28.8이고, 그 차이는 13.2로 구간 값이 충분한 정도로 사례가 선별되었다.

해기차가 20도 이하일 때 적설은 1~3cm이고, 27도 이상일 때 15cm 이상 기록하였다. 추세선은 우상향이고 X 1의 계수가 거의 1에 가까워 일차 함수 직선의 기울기는 45°에 가까운 정도여서 상관도는 매우 높다.



[그림 2-4-7 적설, 해기차의 상관도]

2.4.2.2.1.2. 잔차분석

관측수	Y 예측치	잔차
1	8.793524	1.206476
2	10.9688	3.8312
3	9.104278	3.395722
4	10.34729	-1.14729
5	8.068432	0.331568
6	9.000693	-1.00069
7	14.38709	2.012908
8	7.757678	-1.75768
9	0.713926	2.286074
10	6.825417	1.174583
11	9.82937	-8.02937
12	2.267695	0.832305
13	4.235802	-3.1358

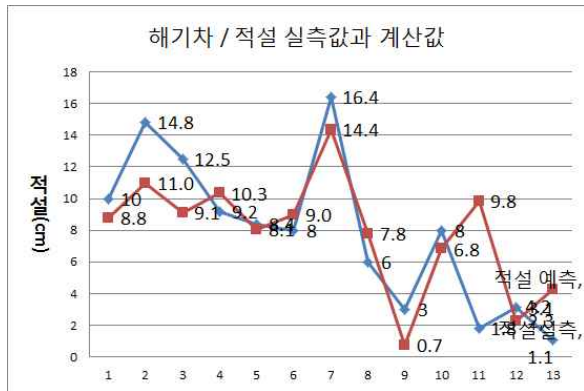
관측횟수는 13이며, 잔차 3을 벗어나 이상값을 보이는 것은 관측사례는 3번과 11번이다.

2.4.2.2.1.3. 회귀분석

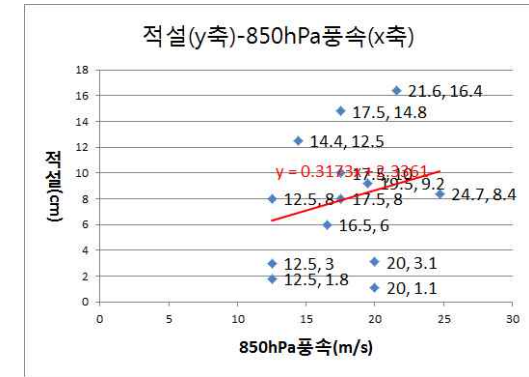
	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
Y 절편	-15.4453	6.077375	-2.54144	0.02741	-28.8215	-2.06906	-28.8215	-2.06906
X 1	1.035846	0.266958	3.880178	0.002563	0.448275	1.623417	0.448275	1.623417

P값은 X1이 0.002563이고, Y절편은 0.02741로 나타났다. P값이 0.05미만으로 독립변수(해기차)가 종속변수(적설)에 미치는 영향은 매우 유의미하다고 할 수 있다. 회귀식은 「적설=해기차·1.035846-15.4453」이다. 식을 적용하여 실측값과 계산값을 비교하여 표로 나타내면 다음과 같다.

적설실측	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	8	1.8	3.1	1.1
Y 예측치	8.8	11.0	9.1	10.3	8.1	9.0	14.4	7.8	0.7	6.8	9.8	2.3	4.2



[그림 2-4-8 적설, 적설, 해기차의 실측값과 계산값]



[그림 2-4-9 적설, 풍속 상관도]

해기차를 독립변수로하는 회귀식을 적용한 예측값과 적설 실측치는 0.8cm에서 최대 3.8cm까지 편차를 보였으며, 표준오차는 3.2cm이다.

2.4.2.2.3. 풍속 -적설

2.4.2.2.3.1. 850hPa 풍속과 적설의 상관도 분석

회귀분석 통계량	회귀분석 통계량
상관계수	0.770729
결정계수	0.594023
조정된 결정계수	0.512828
표준 오차	3.380494
관측수	13

850hPa풍속과 적설의 상관도는 0.77이며, 해기차와 적설의 상관도와 유사하며 의미 있는 값으로 볼 수 있다. 850hPa 풍속의 구간 값이 12.5m/s에서 24.7m/s로 그 구간 값은 12.2m/s이다.

2.4.2.2.3.2. 잔차 분석

관측수	Y 예측치	잔차
1	7.888757	2.111243
2	7.888757	6.911243
3	6.905147	5.594853
4	8.523343	0.676657
5	10.17327	-1.77327
6	6.30229	1.69771
7	9.189659	7.210341
8	7.571463	-1.57146
9	6.30229	-3.30229
10	7.888757	0.111243
11	6.30229	-4.50229
12	8.68199	-5.58199
13	8.68199	-7.58199

관측횟수는 13이며, 잔차 3을 벗어나 이상값을 보이는 것은 관측사례는 2,3,7,9,11,12,13번으로 대부분 이다.

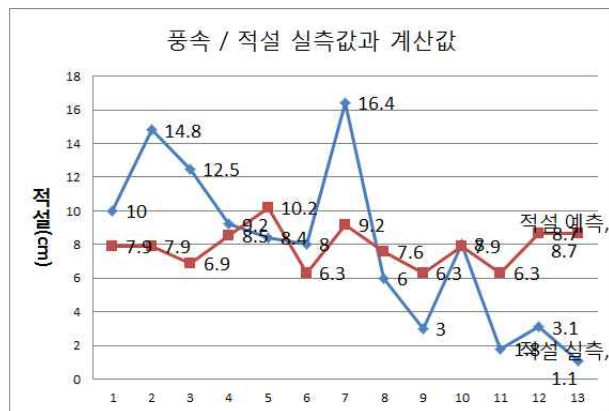
2.4.2.2.3.3. 회귀분석

	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
Y 절편	2.336124	6.682071	0.349611	0.733232	-12.371	17.04326	-12.371	17.04326
X 1	0.317293	0.375166	0.845742	0.415715	-0.50844	1.143027	-0.50844	1.143027

P값은 X1이 0.415715이고, Y절편은 0.733232로 나타났다. P값이 0.05미만으로 독립변수(850hPa 풍속)가 종속변수(적설)에 미치는 영향은 유의미하다고 할 수 있다. 해기차의 경우보다는 유의성이 떨어진다.

회귀식은 「적설=850hPa*0.317293+2.336124」이다. 식을 적용하여 실측값과 계산값을 비교하여 표로 나타내면 다음과 같다.

적설 실측	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	8	1.8	3.1	1.1
적설 예측	7.9	7.9	6.9	8.5	10.2	6.3	9.2	7.6	6.3	7.9	6.3	8.7	8.7



[그림 2-4-10 적설, 적설, 풍속의 실측값과 계산값]

850hPa풍속을 독립변수로하는 회귀식을 적용한 예측값과 적설 실측치는 0.1cm에서 최대 7.6cm까지 편차를 보였으며, 표준오차는 4.9cm이다.

2.4.2.2.4. 단일상관분석 및 단일회귀분석 소결

2.4.2.2.3.1. 상관도 비교

포화혼합비차와 적설의 상관도는 0.51이며, 해기차와 적설의 상관도는 0.76이다. 850hPa풍속과 적설의 상관도는 0.77이다. 해기차와 풍속이 포화 혼합비의 상관도보다 높게나타나서 적설량을 결정하는데 매우 중요한 요인으로 볼 수 있다.

2.4.2.2.3.2. 실측값과 계산값 비교

포화혼합비에 의한 예측값과 적설 실측치는 1.2cm에서 최대 6.5cm까지 편차를 보이고, 해기차에 의한 예측값과 적설 실측치는 0.8cm에서 최대 3.8cm까지 편차를 보였다. 850hPa풍속의 경우는 예측값과 적설 실측치는 0.1cm에서 최대 7.6cm까지이다.

2.4.2.2.3.3. 가장 유효한 독립변수

해기차는 상관계수가 076이고 선형 회귀식의 X1의 계수가 1에 가까워 상관도는 매우 높다. 실측 오차도 최대 3.8cm로 세 독립변수 중 적설을 결정하는 가장 강력한 변수로 분석된다.

2.4.2.3. 다중상관분석 및 다중회귀분석

2.4.2.3.1. 포화혼합비차, 해기차, 풍속

위에서 분석한 주요 독립변수 3개를 사용하여 다중회귀분석을 할 경우이다.

2.4.2.3.1.1. 다중상관도 분석

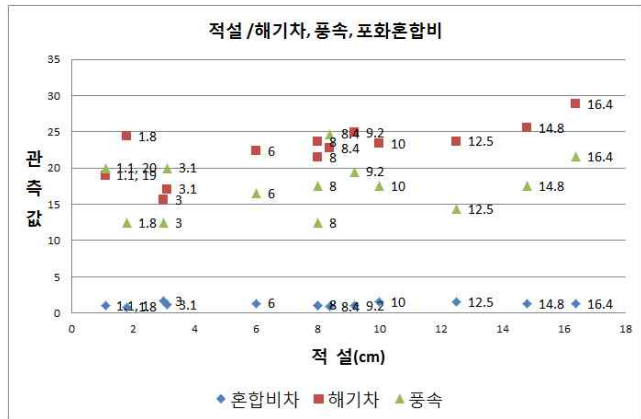
회귀분석 통계량	회귀분석 통계량
다중 상관계수	0.917793
결정계수	0.842344
조정된 결정계수	0.789791
표준 오차	2.220569
관측수	13

다중 상관계수는 0.91로 매우 유의미하고, 독립변수 중 가장 상관도가 높은 해기차 0.76, 풍속 0.77보다 높은 상관도를 보이고 있다. 표준 오차도 각각의 독립변수보다 적은 값으로 나타났다.

2.4.2.3.1.2. 잔차 분석

관측수	Y 예측치	잔차
1	12.36056	-2.36056
2	11.59394	3.206062
3	11.79533	0.704669
4	9.146715	0.053285
5	8.027107	0.372893
6	6.026544	1.973456
7	16.81374	-0.41374

8	8.822173	-2.82217
9	2.560588	0.439412
10	5.657052	2.342948
11	4.34296	-2.54296
12	2.300923	0.799077
13	2.852372	-1.75237



[그림 2-4-11 적설과 다중상관도]

관측횟수는 13이며, 잔차 3을 벗어나 이상값을 보이는 것은 관측사례는 2번이 나타났다.

2.4.2.3.1.3. 회귀분석

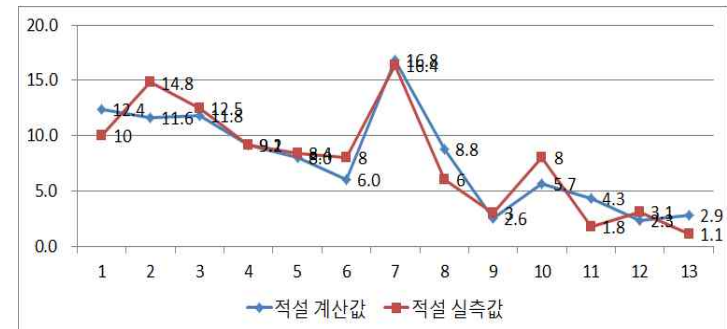
	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
Y 절편	-36.0554	6.791535	-5.30887	0.000488	-51.4189	-20.6918	-51.4189	-20.6918
X 1	10.25343	2.723316	3.765054	0.00445	4.092863	16.414	4.092863	16.414
X 2	1.099718	0.184328	5.966078	0.000211	0.682738	1.516698	0.682738	1.516698
X 3	0.387983	0.182022	2.131511	0.061869	-0.02378	0.799746	-0.02378	0.799746

P값은 X1이 0.00445, X2는 0.000211, X3는 0.061869이고, Y절편은 0.000488이다. P값이 0.05미만으로 다중 독립변수(포화혼합비, 해기차, 850hPa 풍속)가 종속변수(적설)에 미치는 영향은 단일 독립변수를 사용했

을 훨씬 유의미하다.

회귀식은 「적설=혼합비차•10.25343+해기차•1.099718+850hPa풍속•0.387983+습구온도•(-36.0554)」이다. 식을 적용하여 실측값과 계산값을 비교하여 표로 나타내면 다음과 같다.

적설 실측값	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	8	1.8	3.1	1.1
적설 계산값	12.4	11.6	11.8	9.1	8.0	6.0	16.8	8.8	2.6	5.7	4.3	2.3	2.9



[그림 2-4-12 적설의 실측값과 계산값]

다중 독립변수로 하였을 때 적설의 예측값과 적설의 실측값은 2번을 제외하면 0.1cm에서 2.8cm의 오차를 보였다. 단일 독립변수를 사용하였을 때보다 훨씬 우수한 성능을 보이고 있다.

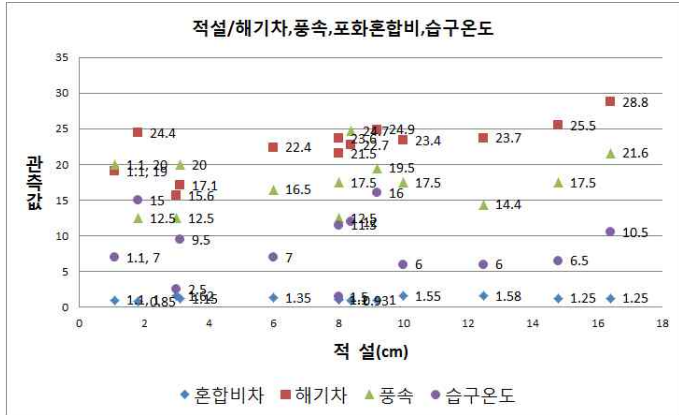
2.4.2.3.2. 포화혼합비차, 해기차, 풍속, 습구온도

위에서 분석한 주요 독립변수 3개 외에 적설 지점의 기온에서 포화되었을 때의 온도인 습구온도를 추가로 사용하여 다중회귀분석을 할 경우이다.

2.4.2.3.2.1. 다중상관도 분석

다중 상관계수는 0.92로 주요 3개의 변수(포화혼합비차, 해기차, 풍속)를 사용한 경우보다 상관도가 높아서, 위에선 분석한 경우 중 가장 유의미하다.

회귀분석 통계량	회귀분석 통계량
다중 상관계수	0.924537
결정계수	0.854769
조정된 결정계수	0.782154
표준 오차	2.260551
관측수	13



[그림 2-4-13 적설, 해기차, 풍속, 포화혼합비, 습구온도의 실측값과 계산값]

습구온도는 분산형 그래프 작성을 위하여 음의 값을 모두 양의 값으로 전환하였다.

2.4.2.3.2.2. 잔차 분석

관측수	Y 예측치	잔차
1	12.29594	-2.29594
2	12.02813	2.771868
3	11.54643	0.953572
4	8.372624	0.827376
5	8.228757	0.171243
6	7.270544	0.729456
7	16.88228	-0.48228
8	8.815628	-2.81563
9	2.411911	0.588089
10	5.269191	2.730809
11	3.635228	-1.83523
12	2.107788	0.992212
13	3.435544	-2.33554

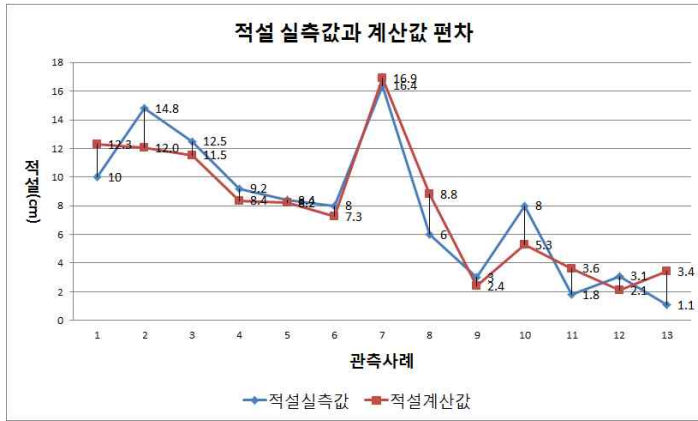
잔차는 3.0cm을 넘는 사례는 없으며 2.0cm 이상 3.0cm 미만으로 나타나는 사례는 3개이다.

2.4.2.3.2.3. 회귀분석

	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
Y 절편	-34.3989	7.197889	-4.77903	0.001392	-50.9973	-17.8006	-50.9973	-17.8006
X 1	8.609942	3.410604	2.524463	0.035561	0.745075	16.47481	0.745075	16.47481
X 2	1.144766	0.195388	5.858942	0.000379	0.694201	1.595331	0.694201	1.595331
X 3	0.435886	0.194135	2.245266	0.054972	-0.01179	0.883563	-0.01179	0.883563
X 4	-0.17768	0.214763	-0.82732	0.432041	-0.67292	0.317567	-0.67292	0.317567

Y절편은 -34.3989이고, 회귀식은「적설=혼합비차•8.609942+해기차•1.144766+850hPa풍속•0.435886+습구온도•(-0.17768)」-34.3989이다. 식을 적용하여 실측값과 계산값을 비교하여 표로 나타내면 다음과 같다.

적설 실측값	10	14.8	12.5	9.2	8.4	8	16.4	6	3	8	1.8	3.1	1.1
적설 계산값	12.3	12.0	11.5	8.4	8.2	7.3	16.9	8.8	2.4	5.3	3.6	2.1	3.4



[그림 2-4-14 적설, 실측값과 계산값]

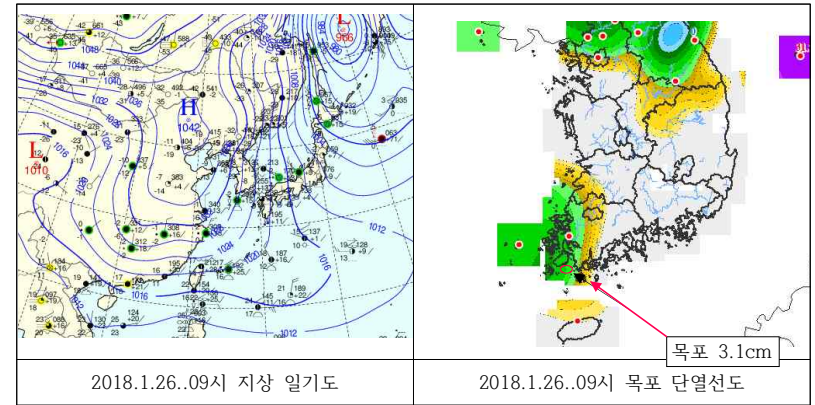
적설의 실측값과 계산값의 차이는 최대 2.7cm로 위에서 습구온도를 독립변수에 포함하지 않았을 때와 거의 유사하나 1cm 미만의 잔차의 관측수는 위의 5개보다 2개가 많은 7개로 나타나서, 잔차에서도 가장 우수한 성능을 나타내고 있다.

2.5. 사례 적용(2018.1.26.. 목포)

2.5.1. 2018년 1월 26일 cP확장 시 실황 분석

지점	25일				26일										
	21	2시	23	24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
목포					0.0	0.7	2.5	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	2.7	2.4	
해제			3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.0	1.0	
압해도	-	-	-	-	0.7	0.8	1.1	1.4	2.2	2.7	2.7	2.5	2.2	1.9	1.7
흑산도	3.5	3.2	3.0	3.0	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.6	2.7	2.6	
영광군							1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	3.5			
합평	-	-	-	0.9	1.5	2.0	2.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	3.0	3.1	2.6

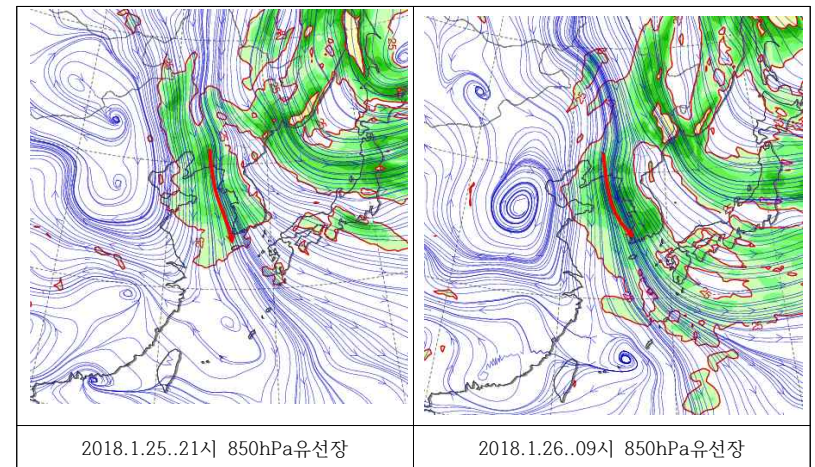
2018년 1월 26일 전라남도 서해안의 적설지점의 적설최심은 2.7cm~3.5cm의 분포를 나타내고 있다. 회귀식 적용 대상지점인 목포는 3.1cm를 기록하였다.



[그림 2-5-1 지상기압계와 폭포 부근 적설분포도]

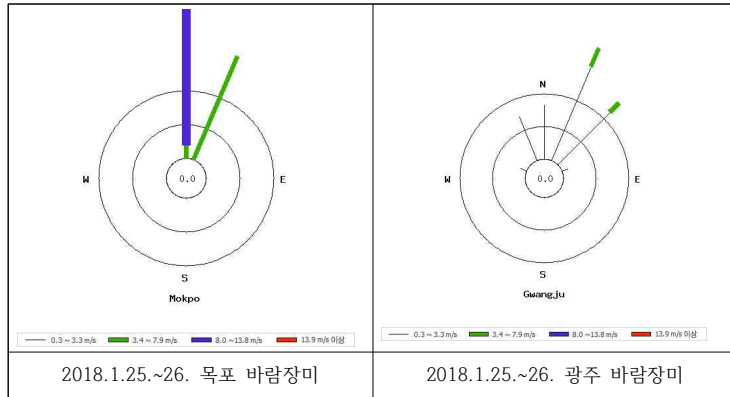
2018년 1월 22일 한반도 남쪽으로 저기압이 북동진하면서 지나고 26일 감차가 반도 북동쪽에 위치하고 한반도 서쪽에서는 cP가 확장하고 있다. 한반도와 서해상에 등압선 간격이 조밀해지면서 북서기류는 강화되고 있다. 26일 08시 적설분포도에서는 전라북도 서해안 일부와 전라북도 서해안에 해기차에 의한 눈이 내렸다.

2.5.2. 풍향에 따른 적설 구역



[그림 2-5-2 850hPa 유선장과 유선 경로]

풍향은 적설 구역을 정하는데 매우 중요한데, 850hPa 유선장에서 서해상을 지나는 풍계는 25일과 26일 북풍이 불어들어왔고, 25일은 서해를 지나는 유선장은 충남서해안과 전라서해안에 도달하지 못하였고, 26일 09시에 서해장을 지나는 유선장이 전라남도 서해안에 도달하였으나, 충청서해안과 광주시에는 유선이 지나지 못하고 있다.

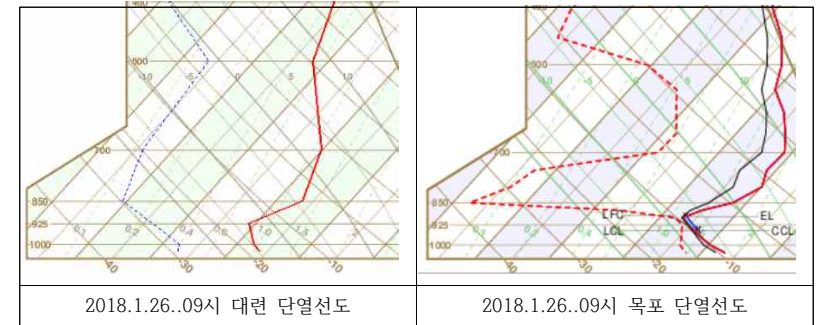


[그림 2-5-3 목포와 광주의 지상 바람장미]

목포 지점의 바람장미는 25일부터 26일까지 북풍계열의 바람이 강하게 불었고, 광주 지점은 북동풍 계열의 바람이 강하게 불었다. 광주 지점보다 목포 지점이 해안에 가까워 목포지점은 적설을 기록하였으나, 광주 지점은 적설을 기록하지 못하였다.

2.5.3. 회귀식 분석

2.5.3.1.포화혼합비 차(단열선도 자료 분석)



[그림 2-5-4 2018.1.26..09시 대련, 광주 단열선도]

기류의 출발점인 대련 포화혼합비는 0.14g/kg로 매우 건조한 것을 알 수 있다. 이 기류가 목포에 도달했을 때의 포화혼합비는 1.3g/kg인데, 두 지점 간의 차는 1.16g/kg이었고, 목포의 925hPa에서 포화된 공기가 지상에 도달했을 때의 온도 즉 습구온도는 -16°C로 분석된다.

2.5.3.2 .회귀식 적용

목포지점의 적설은 8시에 3.1츠를 기록하였으며, 계산식을 적용할 때 변수는 대련(0.14g/kg)과 목포(1.3g/kg)의 포화혼합비 차는 1.16g/kg, 영광 브이자료 해수온도가 8시에 4.1°C 목포 850hPa 기온은 -14.3°C(광주 고층 관측자료)로 해기차는 18.1°C이고, 850 hPa풍속은 20m/s, 목포지점의 925hPa의 습구온도는 -16°C이다.

위 변수를 적용하면 적설은 $3.097 = 1.16 * 8.609942 + 14.1 * 1.1144766 + 20 * 0.435886 + (-18.1 * -0.17) - 34.3989$ 로 산출되어 0.097cm의 오차를 보였으며, 전라남도 서해안의 적설지점들의 적설최심은 2.7cm~3.5cm의 중간 값과도 일치한다고 볼 수 있다. 변수의 오차를 감안한 변화를 주어 계산하더라도 2.7cm이 산출되는 경우도 있는데, 이것은 회귀식 성능이 서해안 적설을 예측하는데 부족함이 없다고 본다.

3 결론

3.1. cP 확장 시 서해안 대설 메커니즘

한반도의 서쪽해상을 하나의 거대한 호수로 보았을 때, 겨울철에 지상저기압이 발달하면서 한반도를 통과한 후 대륙에서 고기압이 발달하여 한반도로 NW풍이 불어올 경우에 서해상에 대설이 발생하게 된다.

경기만효과에 의한 적설은 취주거리가 길어지고 매우 국지적인 적설이 나타난다. 산맥 등과 같은 지형효과에 의한 포화층의 깊이가 증폭되는 경우는 예보관이 추가로 고려해야할 사항이다.

3.2. 서해안 적설 예측 다중회귀식 도출

3.2.1. 주요 독립변수

적설에 관계되는 독립변수는 해기차, 850hPa의 풍속, 발해만 북쪽 지점의 포화혼합비와 적설지점의 포화혼합비 차, 적설지점의 925hPa 습구온도 이도 이 중 주요 독립변수는 해기차와 850hPa의 풍속이다.

한기이류(서해상에 솔레노이드 형성)와 불가분의 관계가 있는 해기차는 서해안 대설의 불안정을 발생시키는 주요 원인이며, 850hPa의 풍속이 강해 질수록 파도가 높게 일게 되어 증발할 수 있는 해상의 표면적이 증가하고, 눈구름이 육상에 도달했을 때 지형마찰에 의한 속도수렴이 증가하여 적설이 증가되는 효과가 있다.

3.2.2. 다중회귀식 도출

연구 초기에는 대륙의 차고 건조한 공기가 서해상을 통과하면서 증발에 의해 포화되고 적설지점에서 기온도 상승하면서 수증기를 포함할 수 있는 능력이 증가하여 수증기량이 증가한다는 점에 착안하여, 포화혼합비가 회귀식에서 주요 변수가 될 것으로 생각하였으나, 연구 결과 주요 변수는 해기차와 850hPa풍속이었다.

각각의 단일 독립변수 중 상관도가 가장 큰 것은 해기차(0.76)와 풍속(0.77)이나 해기차의 경우 13개 사례 중 최대 오차는 3.2cm이고, 풍속은 6.9cm이다. 해기차의 표준오차는 3.2cm이고, 풍속의 표준오차는 3.3cm이다.

각각의 변수에 적설에 대한 개별상관도는 상대적으로 낮으나 포화혼합비차, 850hPa풍속, 해기차, 적설지점의 습구온도를 독립변수로 하는 다중상관도는 0.92로 높게 나타났다. 이번 연구에서 cP확장 시 13개 사례로부터 적설예측 통계모델은 「적설=혼합비차 \cdot 8.609942+해기차 \cdot 1.144766+850hPa풍속 \cdot 0.435886+습구온도 \cdot (-0.17768)」-34.3989로 도출되었다.

※ 참고문헌 및 참고자료

예보실무과정제3차과정교재

호남지방예보분석지침서

지경노⁸⁾ 발표자료

손에잡히는예보기술

일반기상학

기상통계론

공주대강의노트

기상학사전

8) 지식 경험 노하우