

☐ 예보관 핸드북 시리즈 ④

고층 관측자료 기반의 우박 판단 가이드런스



정의 ::

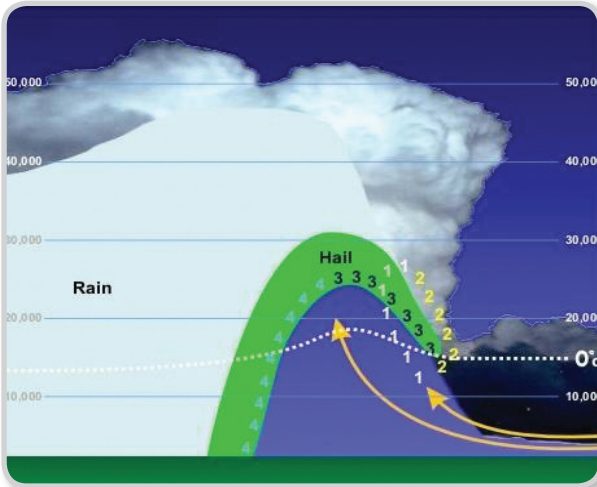
우박은 눈의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 지상에 떨어지는 지름 5mm 이상의 얼음덩어리를 일컫는다. 우리나라에서 우박은 상층과 하층의 기온차이가 크게 나는 봄과 가을에 주로 발생하며, 지상의 기온이 영하로 내려가는 겨울은 거의 발생하지 않는다.

▶ 싹삭우박크기: 지름 2~4mm 미만



> 그림1. 우박 관측 (보령기상대, '10.11.29, 01:05~01:20)

일생 ::



> 그림2. 우박의 일생 (출처 : NOAA 홈페이지(www.shr.noaa.gov))

■ 형성

그림 2의 ①처럼 우박 핵이 상승기류에 의해 상층으로 이동하고, 다른 작은 우박 알갱이와 과냉각 빗방울이 충돌하면서 성장하기 시작하고, 그림 2의 ②와 같이 우박이 상승기류를 벗어나면 땅으로 떨어지기도 함

■ 성장

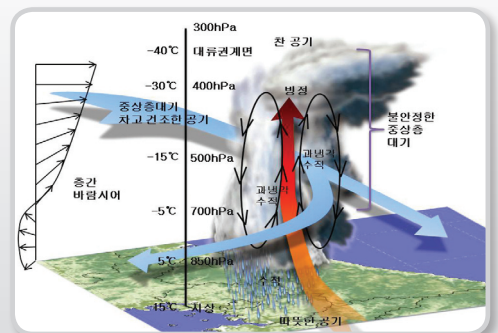
그림2의 ③처럼 상승기류가 매우 강하면 우박은 다시 구름 속으로 들어가 점점 더 크게 성장하게 되고, 그 과정을 몇 번이나 반복함

■ 낙하

그림 2의 ④와 같이 상승기류가 지탱하지 못할 정도로 우박이 커지면 지상으로 떨어지고, 상승기류가 강할 경우 다시 구름속으로 들어가 더 큰 우박으로 성장

생성 조건 ::

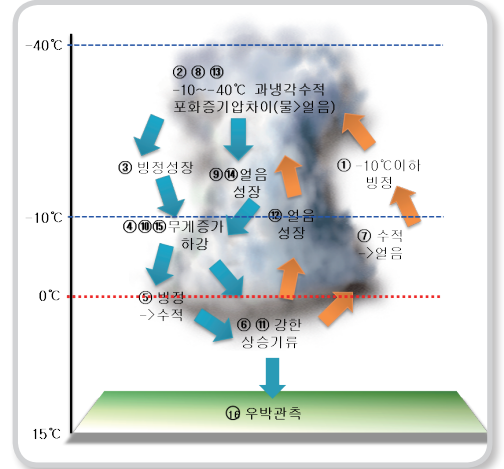
- 중상층 대기에 찬 공기가 위치하고, 하층대기는 일사가열이나 수증기 공급에 의해 불안정해짐
- 강한 중간 바람시어가 나타나면 활발한 대류운동이 일어남.
- 강한 상승기류는 우박이 성장할 수 있도록 촉진시키는 역할을 하고, 빠른 속도로 상승과 하강 운동을 반복하면서 우박이 성장함



> 그림3. 우박의 형성과정

성장과정 ::

- 과냉각수적은 $-10\sim-40^{\circ}\text{C}$ 기온 층에 풍부하게 존재함. 빙정의 포화수증기압이 과냉각수적의 포화수증기압보다 작기 때문에 과냉각수적에서 증발한 수증기가 빙정에 달라붙으면서 빙정이 성장함
- 빙정의 무게가 증가하면서 하강하면서 기온이 영상인 층에서 수적이 되나, 강한 상승류를 만나면서 다시 기온이 영하인 층에 들어가면서 얼음이 됨
- 이런 과정을 되풀이 하면서 얼음은 커지고 중력이 얼음을 지탱하는 상승기류보다 커질 경우 지면에 낙하하여 우박이 관측됨



> 그림4. 우박의 성장과정

판정기준 ::

자료 선정 조건 : 분석

- 대상기간 : 2001 ~ 2010년(최근10년)
- 최근 10년 동안 발생한 우박 사례중에서 아래의 두 개 조건을 만족하는 경우 50사례 선정



• 우박이 관측된 관서를 기준으로 50km이내에 고층관측소가 위치하는 경우

Yes

NO

• 우박 발생 3시간 이내의 고층 관측자료(단열선도) 이용

• 우박 발생 3시간 이내의 RDAPS 12시간 예측모델 자료 이용

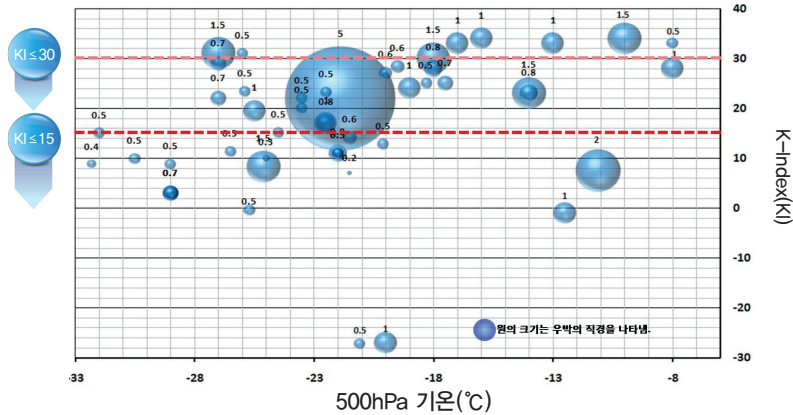
• 500hPa, 400hPa 기온, K-index

RDAPS : Regional Data Analysis Prediction System

자료 선정 조건 : 검증

- 대상기간 : 1981~2000년
- 20년 동안 발생한 우박 사례 중에서 고층관측소가 위치한 곳에서 발생한 우박 사례 22사례 선정

500hPa 기온과 K지수와와의 관계 ::

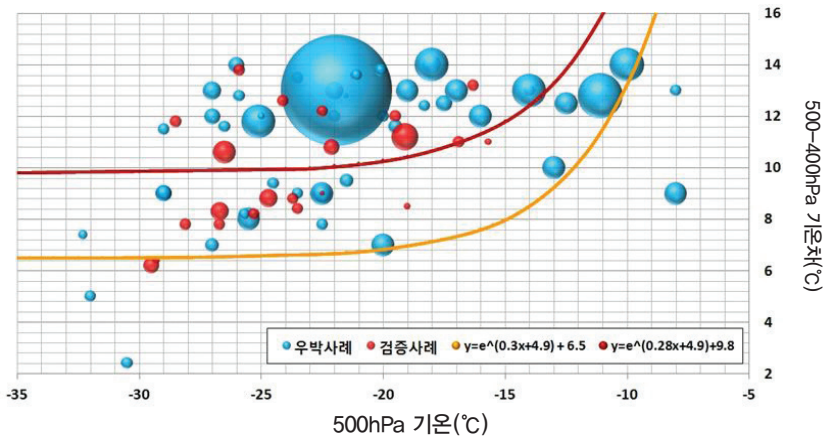


$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} + (T_{d700} - T_{700})$$

여기서, T₈₅₀: 850hPa 기온,
 T₅₀₀: 500hPa 기온,
 T_{d850}: 850hPa 노점온도,
 T_{d700}: 700hPa 노점온도,
 T₇₀₀: 700hPa 온도

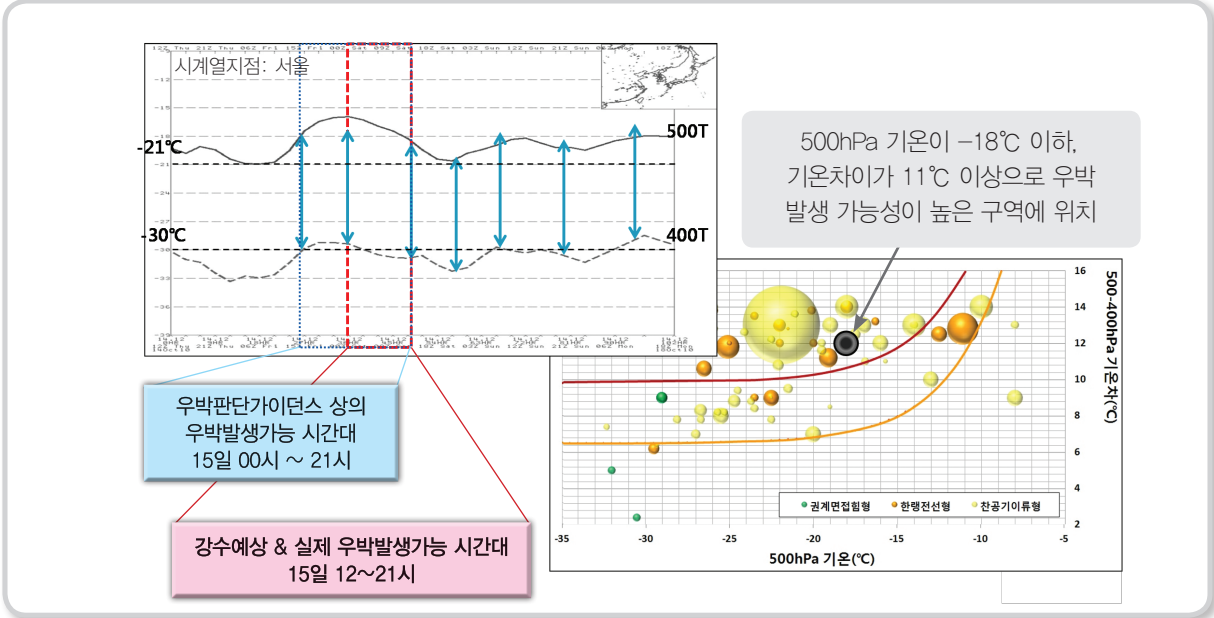
- KI 15이하는 뇌우가능성이 0%(미국기준)임에도 우리나라에서는 우박이 다수 발생, 30이하의 비교적 안정한 대기에서도 많은 우박 발생 → 즉, 우박은 중하층 대기불안정과 관련이 적음

500hPa 기온과 중상층 기온차이(500hPa - 400hPa 기온)의 관계 ::



- 500hPa와 400hPa의 기온차이와 500hPa의 기온을 이용하여 총 50개 분석사례중 46개(92%)의 사례를 포함하는 우박 발생 가능구역(주황색)과 28개(56%)의 사례를 포함하는 우박발생 확률이 높은 구역(붉은색)으로 나누는 로그함수를 도출함
- 500hPa 기온이 -10°C 이하에서 우박이 발생함(여름철 2개 사례 제외)
- 지름 1cm 이상의 우박은 500hPa와 400hPa의 기온차이가 11도 이상에서 주로 발생함
- 1981년부터 2001년간 고층관측소의 22개 우박 관측(붉은색 원)사례는 대부분 판단표의 우박발생 구역에 위치함
- 늦가을부터 봄까지 500hPa-400hPa 기온차이가 10°C 이상 벌어지는 날이 많으나 강수 시에는 드문 경우 임
- 우박판단그래프는 반드시 강수 시에만 적용해야 함

중부지방 우박 발생 예측 (2011년 10월 15일) **



2011년 10월 14일 17시 예보문 내일 [15일(토)]

중부지방을 지나는 기압골의 영향을 점차 받겠습니다.

전국이 차차 흐려져 오전에 경기서해안지방부터 비(강수확률 60%)가 시작되어, 오후에 중부지방으로 확대되었으며, 밤에는 남부지방에서도 한때 비(강수확률 60%)가 오는 곳이 있겠습니다.

상층에 찬 공기가 우리나라로 접근하면서 대기가 매우 불안정해져 오후부터 밤 사이에 전국적으로 강한 돌풍과 함께 천둥, 번개치는 곳이 많겠고, **중부지방과 경북북부, 전라남북도내륙지방을 중심으로 우박이 떨어질 가능성이 매우 높겠으니**, 농작물과 시설물관리, 그리고 주말 행락객들의 안전관리를 철저히 하시기 바라며, 앞으로 발표되는 기상정보에 각별히 유의하시기 바랍니다.

중부지방, 경북북부, 전라남북도 내륙지방

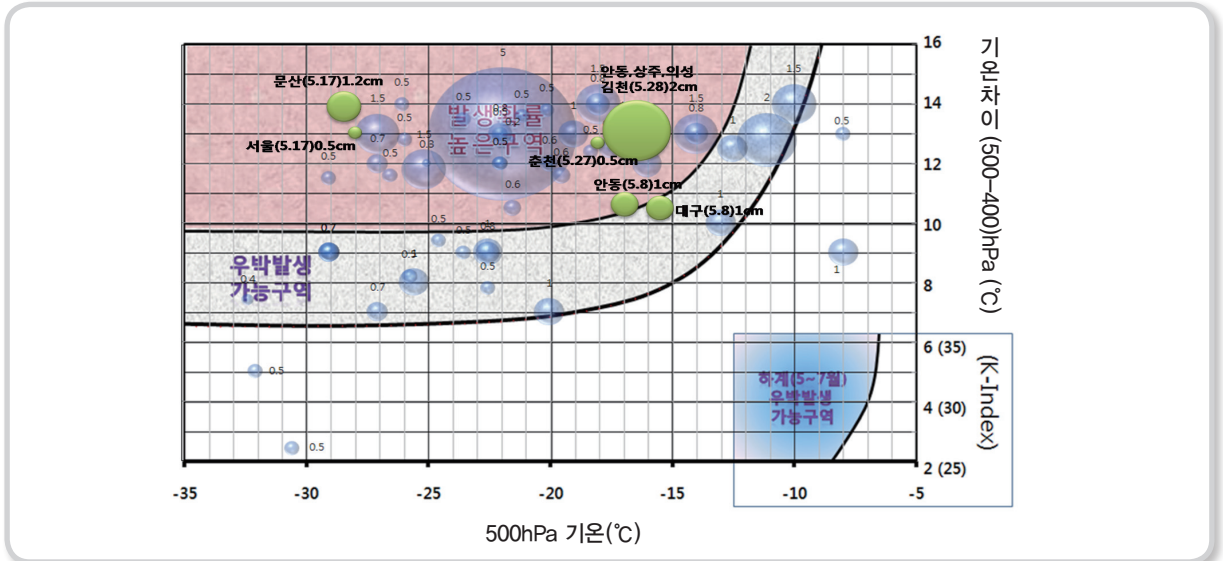
서울, 인천, 원주, 충주, 전주에서 우박 관측보고됨.



> 2011. 10. 15 우박이 내린 모습(블로그 등재 사진)

검증(2012년) ::

(녹색의 원은 2012년 5월에 발생한 우박사례 임)



> 500hPa 기온과 중상층 기온차이(500hPa - 400hPa 기온)의 관계를 이용한 우박판단 그래프

종관일기도에 따른 유형분류 ::

- 분석사례(2001~2010년, 50사례)와 검증사례(1981~2000년, 고층관측소에서 발생한 22사례)를 합친 총 72개 사례 활용

전선성 우박



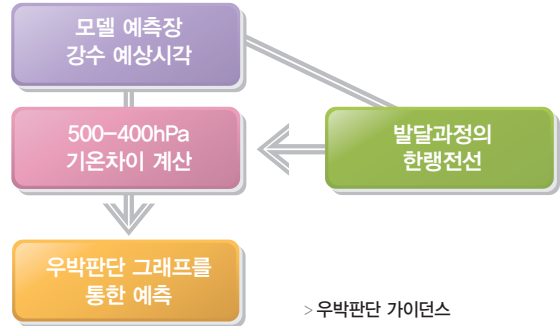
기단성 우박



- 중·상층 대기의 찬공기 이류형이 44건으로 가장 많은 61%를 차지함
- 한랭전선형과 중상층 찬공기 이류형은 발생하는 메커니즘은 달라도 같은 판단그래프로 우박 발생 예측이 가능함
- 대류권계면 접힘형은 500hPa의 기온은 낮으나, 400hPa 기온이 높아 500hPa-400hPa 두 기층간의 기온차이가 적으며, 대류권계면 접힘형은 6건에 불과하며 모두 직경 0.5cm의 우박만 관측됨

판단 가이드선스

- 모델 예측장에 강수가 있을 경우 500hPa과 400hPa의 기온 차이를 계산함
- 단, 500hPa~400hPa 구간에 노점편차가 6°C 보다 작은 값이 있어야 함(강수가능성 고려)
- 한랭전선에서 우박이 발생하는 경우 대부분 전선에서 나타남. 따라서 일기도 분석이 반드시 필요함



우박의 특징

발생 조건

- 강한 상승기류와 연직 바람시어
- 상층에 차가운 공기가 동반된 불안정 기층
- 대류권 상하층간의 습도차이
 - Danielsen 1977, Kizmiller et al. 1995, Smith and Yau 1987, 1993, Deng et al. 1989, Chen et al. 1990
- 한랭전선 통과시 급격한 바람변화가 지형효과와 맞물림
- 산악 및 고지대의 풍상측에 열적 가열과 강한 상승기류
 - Vivekanandan et al. 1993, Kallo 1989,
- 바다에서 육지로 습윤한 바람이 부는(해풍) 오전 11시에서 오후 7시 사이에 주로 발생
 - 김동호 등 1999

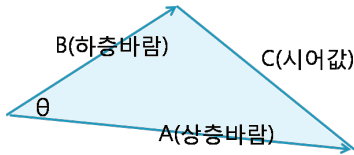
예보 및 분석요점

- 하층대기의 불안정도 중요하지만, 중상층대기의 불안정이 반드시 필요
- 우박이 공중에 오랜 시간 떠 있기 위해서는 중상층 대기에도 강한 상승류 필요
 - Byun et al. 1996, Deese et al. 1999

예측성

- 지형조건, 대기의 역학·열역학구조 등이 모두 고려되어야 함
- 뇌우의 크기가 작고, 수명이 짧아 예측이 어려움
- 일반적인 연직운동의 크기 규모가 수평운동의 1/100 정도여서 모델에서 발달하는 뇌우의 연직 속도 예측은 수십 cm/s 정도이나, 실제 뇌우는 수십~수백m/s 임
- 레이더를 이용하여 우박의 발생 가능성을 판단할 수 있지만, 발생지역과 발생시간, 지속시간 등을 예측하기 어려움 (단, 대기수상(눈, 비, 우박)의 구분이 가능한 이중편파레이더의 도입 후에는 일정부분 개선될 것으로 보임).
- WSR-88D를 이용한 우박 탐지 결과를 지상에서의 우박 관측과 비교한 결과 29%의 오차 발생 (Brandes et al. 1993, Vivekanadan et al. 1993, Witt 1993)

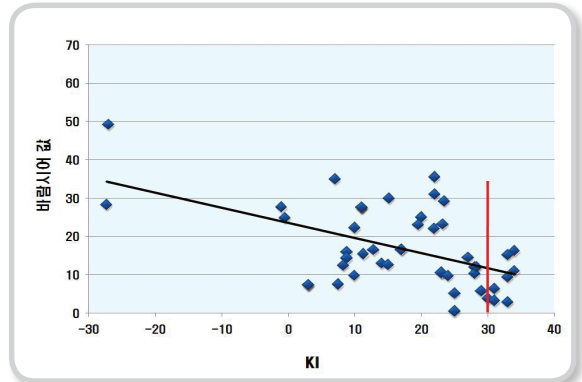
층간 바람시어와 우박의 상관관계



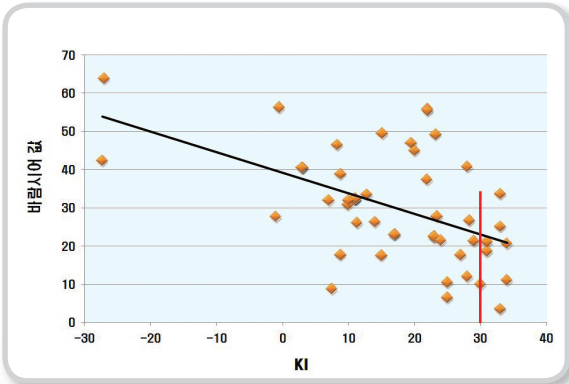
$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(\theta)$$

θ = 두 층의 풍향 차이
 A, B 풍속
 시어값 = C

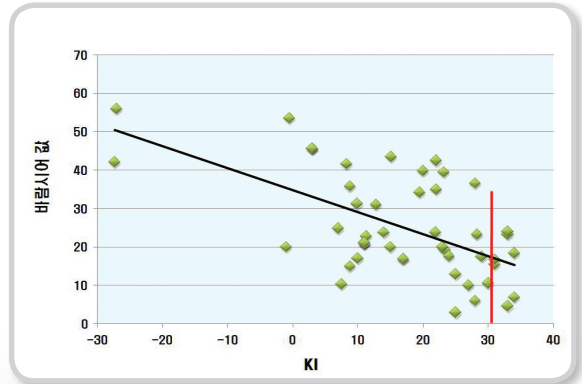
- 우박 발생시 대기구조는 상·하층 기온차이에 의한 열적 불안정 뿐만 아니라, 층간 바람시어에 의한 역학적 불안정도 나타남



(a) 850hPa과 500hPa의 층간 바람시어와 KI의 관계



(b) 850hPa과 300hPa의 층간 바람시어와 KI의 관계



(c) 700hPa과 300hPa의 층간 바람시어와 KI의 관계

정리



- 층간 바람시어와 우박발생은 전반적으로 역상관의 경향이 있으나, 편차가 큼
- KI가 높으면(불안정, $KI \geq 30$), 층간바람시어가 작아도 우박 발생
- KI가 낮으면(안정이면), 평균적으로 층간바람시어가 매우 큰 경우에 우박 발생