

우리 나라 우박 발생일의 특성

Characteristics of Hail Occurred in the Korea Peninsular

임 은 하* / 정 영 선* / 남 제 철**

Lim, Eunha / Jung, Young-Sun / Nam, Jae-Cheol

Abstract

Characteristics of hail occurred during 1989~1998 is studied. Hail is observed mainly at west coast, southwest inland, and Taegwallyong. Average diameter of hailstone is 0.6 cm, and 70% of the occurrence frequency of hail is observed at west coast. During winter and spring, the wet-bulb zero height (WBZ) is low enough to prevent the melting process of hail. But the lack of available low-level moisture (mean mixing ratio in lowest 100 hPa) makes the size of hail small. As a result, smaller size hail is observed frequently over west coast. On the contrary, WBZ is higher during summer, it means that hail is melted before it reaches ground, but the size of hail is bigger. Thus the larger hail is observed mainly Taegwallyong during summer. Hail is observed from 1100 LST to 1500 LST over west coast and around 1800 LST over Taegwallyong. It suggest that thermally driven mesoscale circulations such as land-sea breeze and mountain ridge-valley circulation aid in the formation of hail. Upper and surface air temperature is related to formation of hailstorm. Before formation of hailstorm in November 1998, the upper air temperature decreases. And hails is observed in the spot of strong temperature and dew point temperature gradient coincidently.

Keywords: hail size, spatial distribution, available low-level moisture, wet-bulb zero height

요 지

1989년부터 1998년 우리 나라에서 관측된 우박 발생일의 특성에 대해 분석하였다. 우박은 주로 서해안(약 70%), 남부 내륙 지방, 대관령 부근에서 관측된다. 평균 크기는 약 0.6 cm 이며 계절적 차이를 보인다. 겨울에서 봄 동안은 녹는 고도가 낮아 낙하 경로가 짧지만 대기 하층의 가용 습기도 적어 우박 크기가 작다. 그 결과 이 기간 동안 작은 크기의 우박이 서해안에서 자주 관측된다. 반대로 여름철은 대기 하층의 가용 습기가 많아 우박이 크게 성장하기는 하지만 녹는 고도도 높아 지표에서는 우박이 아닌 강수로 관측되기 쉽다. 따라서 여름철에는 큰 우박 입자들이 대관령 등과 같이 높은 산악에서 주로 관측된다. 우박은 서해안에서는 1100 LST와 1500 LST 사이에 주로 관측되며, 대관령 부근에서는 1800 LST에 관측된다. 그 이유는: 해륙풍과 산곡풍과 같은 중규모 순환이 우박을 동반하는 뇌우의 형성에 영향을 미치기 때문이다. 우박이 발생전의 종관 기상학적 특성을 살펴보기 위해 1998년 11월 우박 사례를 분석한 결과 850 hPa부터 500 hPa 까지의 기온이 모두 하강하였으며, 지상 기온과 이슬점 온도의 경도가 모두 큰 곳에서 우박이 발생하였다.

핵심용어 : 우박의 크기와 공간 분포, 하층의 가용 습기, 녹는 고도

* 기상연구소 수분기상연구실 기상연구사
Researcher, Hydrometeorological Research Lab., METRI, KMA, Seoul 156-720, Korea
(ehlim@metri.re.kr)

** 기상연구소 수분기상연구실 기상연구관
Senior Researcher, Hydrometeorological Research Lab., METRI, KMA, Seoul 156 720, Korea

1. 서론

우리 나라의 우박 발생 빈도는 적지만 농작물 등에 상당한 피해를 초래한다. 이 현상은 매우 좁은 지역에 단시간에 발생하고 관측자의 목측에 의해 보고되기 때문에 정확하게 통계적인 특성을 분석하는데 어려움이 있으며, 집중호우와 같이 큰 피해를 초래하지 않기 때문에 그 동안 활발한 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 국내에서는 이춘식(1993)과 김현숙(1993)이 우박 발생일의 시·공간 분포를 제시하고 변희룡 등(1996)이 관측 값을 이용하여 여름철 우박 발생이 하층기열에 의한 기층 불안정과 대규모 대기순환에 크게 연관되어 있다는 이론적 근거를 제시하기 전까지는 우박에 관한 구체적인 연구 사례가 없었다. 변희룡 등(1996)의 연구도 1992년 여름에 발생한 우박만을 분석하여 전체 우박 발생의 대부분을 차지하는 초봄과 초겨울에 대한 분석이 이루어지지 않았다.

그 동안 외국에서 수행되어진 우박에 관한 연구는 우박을 발생시키는 뇌우(우박 보라)의 형성에 관한 것과 우박 입자 자체의 생성에 관한 두 가지로 분류될 수 있다. 우선, 우박 입자의 생성 및 크기에 영향을 미치는 변수들로는 빙정핵과 응결핵의 분포, 구름 수함량, 큰 우박 입자의 성장을 지속시켜 줄 수 있는 강한 상승류 등이 있다. 구름 응결핵의 분포는 공간 및 시간에 따라 편차가 커 우박의 예측을 어렵게 하는 요인으로 작용한다 (Danielsen, 1977). 한편 우박 보라는 다양한 규모를 갖는 운동들의 상호 작용에 의해 발생하며, 그 발생 기구가 악성 뇌우와 비슷하다. 따라서 종관 기상, 레이더, 특별 관측 자료 및 수치 모형 결과를 이용하여 우박보라를 형성하는 결정적인 변수들을 찾으려는 연구들이 선행되었다.

우박 보라 형성에 가장 큰 영향을 주는 변수 중의 하나는 대기의 열역학적 불안정도이다. 따라서 대부분

의 우박 예측 기법들이 이 불안정도를 정량화하여 사용하고 있다(Zverev, 1972). 특히, 녹는 고도(습구온도가 0°C인 고도, Wet-Bulb Zero height; WBZ)는 지표로 떨어지는 우박입자의 양을 결정하는데 중요한 변수로서, Foote (1984)는 콜로라도 주에서 발생한 우박의 약 74%, 알베르타 주에서는 42%, 애리조나 주 남부에서는 90%가 녹는 고도를 지나 지표에 도달하기 전에 녹아 강우입자로 변한다는 것을 보였다. 이는 녹는 고도가 우박 발생의 예측 변수로 사용될 수 있음을 시사하는 것이다(Miller, 1972) Morgan (1970)에 따르면, 큰 우박 입자가 관측된 경우의 녹는 고도는 2.1~2.7 km 이며, 1.5 km이하 또는 3.4 km 이상에서 녹는 고도가 형성된 경우에는 작은 우박입자가 관측되었다.

이 연구는 우리 나라에서 최근 10년간(1989~1998년) 지상에서 관측된 우박 발생일의 시·공간적 분포, 우박 발생일의 대기 연직 구조, 및 우박 발생 시각 등을 분석하여 우박 발생의 계절적 특성을 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 1998년 11월 우박 발생시의 기상 상태를 제시하였다.

2. 우박 발생일의 특성

1980년 이후 기상청의 기상대 및 관측소 74개 지점에서 기록된 우박 자료를 이용하여 우박 발생 일 수의 시·공간 분포 특성과 그 원인 그리고 우박 발생 시각과 중규모 순환과의 관계를 분석하였다.

2.1 발생일 수의 시·공간 분포

1980년부터 1998년까지의 연간 우박 발생일 수를 살펴보면 우박 발생일 수가 가장 적은 1981년에는 4일이 관측되고 1992년에는 24일이 관측되어 변동이 큰 것으로 나타났으나 연간 발생일 수에는 뚜렷한 변동 특성이 없는 것으로 보인다(Fig. 1).

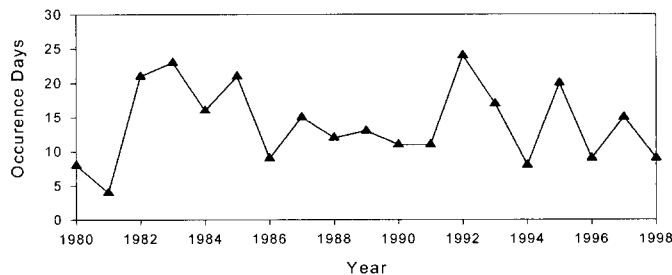


Fig. 1. Accumulated number of days with hail per year

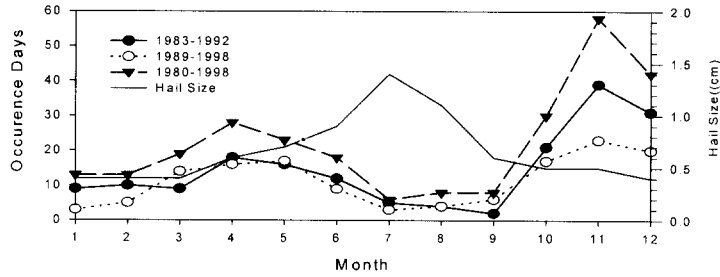


Fig. 2. Accumulated number of days with hail over different periods and averaged hail size per month in 10-year period(1989~1998).

Fig. 2는 우박 발생일 수의 월별 특성을 분석하기 위해서 다양한 기간에 대해 누적한 것이다. 다른 기간 동안 누적시킨 이유는 월별 분포가 사용된 자료 및 누적 기간에 따라 차이가 발생하므로(기상청, 1993), 최근 10년간의 분포 특성이 과거자료의 분포 특성과 일치하면 최근 10년간의 자료를 기준으로 분석하기 위해서이다. 그 결과 누적 기간에 상관없이 7월~9월 및 1월에 우박 발생 횟수가 뚜렷하게 낮고, 초겨울(11월)과 초봄(4월)에 다른 달과는 차별적으로 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 앞으로의 분석에서는 1989~98년 까지 10년간 자료를 사용하였다.

이 기간 동안 우박의 평균 크기는 약 0.6 cm이며, 월별 평균 크기를 Fig. 2에 표시 없는 실선으로 나타내었다. 월별 평균 우박 크기(Fig. 2에서 실선으로 표시됨)는 6월~8월에 가장 크며, 그 외의 경우에는 대부분의 경우 우박의 최소 크기인 0.5 cm이하로 큰 피해를 주지 않는 것들이다. 관측 자료 중 1.0 cm이상의 우박이 발생한 날은 전체 우박 발생일의 약 12%이고 6~8월에 집중하므로 여름철에 우박 피해가 많이 발생하는 이유는 주로 큰 우박 입자에 기인하는 것으로 생각된다.

이 기간 동안 발생한 우박의 공간 분포(Fig. 3(a))를 살펴보면, 중부 서해안 일대, 전라북도, 대관령 부근 순서로 우박 발생일 수가 크다. 또한 월별 공간분포를 살펴보면, 몇 가지 뚜렷한 특징을 발견할 수 있다. 첫째, 제주도 지방에서 우박이 발생하는 것은 11월부터 다음해 3월까지이며, 1월에는 오직 제주도에서만 관측되었다(결과를 제시하지 않았음). 둘째, 서해안 지방에서 우박은 6~8월을 제외한 전 월에 걸쳐 나타나며 특히 10월부터 12월에 걸쳐 주로 발생한다. 한편 5월부터 8월에 걸쳐 발생하는 우박의 대부분은 대관령 부근에서 발생하였다. 따라서 비슷한 공간 분포를 갖는

기간 동안의 우박 발생일을 누적하였다. Fig. 3(b)는 2월부터 4월까지의 총 우박 발생일의 공간 분포로서 서해안과 일부 내륙 지방에, 5월부터 8월 사이에는 강원도 산간 지방과 일부 내륙 지방(Fig. 3(c)), 그리고 10월부터 12월 사이에는 중부 서해안 일대와 경기도 지방(Fig. 3(d))에 우박이 현저히 많이 발생한다. 1월에는 제주도 지역에서만 10년 동안 단 2회 우박만이 관측되어 분석에서 제외하였다. 그 이유는 1월의 평균 기온이 남해안 일대를 제외한 전국이 0°C 이하이므로 우박을 발생시킬 기온 조건을 만족하지 못하기 때문이다.

시간대별 우박 발생일 수를 살펴보면 1100 LST부터 1900 LST 사이에 가장 많이 발생한 것을 볼 수 있다(Fig. 4). 5월~8월은 1800 LST에, 9월~12월은 1100 LST부터 1400 LST 사이에 발생 횟수가 높다. 이와 같이 시간대별 특성이 나타나는 이유는 서해안에서 1200 LST를 전후로 해풍 순환이 발달하여 내륙 쪽으로 진입하고 늦은 오후에는 동쪽에 편중된 산악에 의해 발생한 곡풍 순환과 결합하여 하나의 큰 순환을 형성하며(신동빈과 이태영, 1989), 이 순환에 의해 발생 혹은 강화된 강수시스템에 의해 우박이 형성되기 때문이다. 따라서 우박 현상은 해륙풍 순환과 산곡풍 순환과 같은 중규모 기상 현상과 결합하여 주로 나타난다 (Stout and Changnon, 1968)는 결과와 일치한다.

2.2 녹는 고도와 우박 발생

얼음 입자인 우박은 녹는 고도를 통과하면서 녹기 시작하므로 녹는 고도가 높으면 지표에 도달하는 우박은 크기가 작거나 혹은 강수 입자가 된다. 따라서 우박 관측 지점 및 크기를 설명할 수 있는 변수로서 대기 하층의 가용 습기와 상관 관계를 갖는 강수 시스템

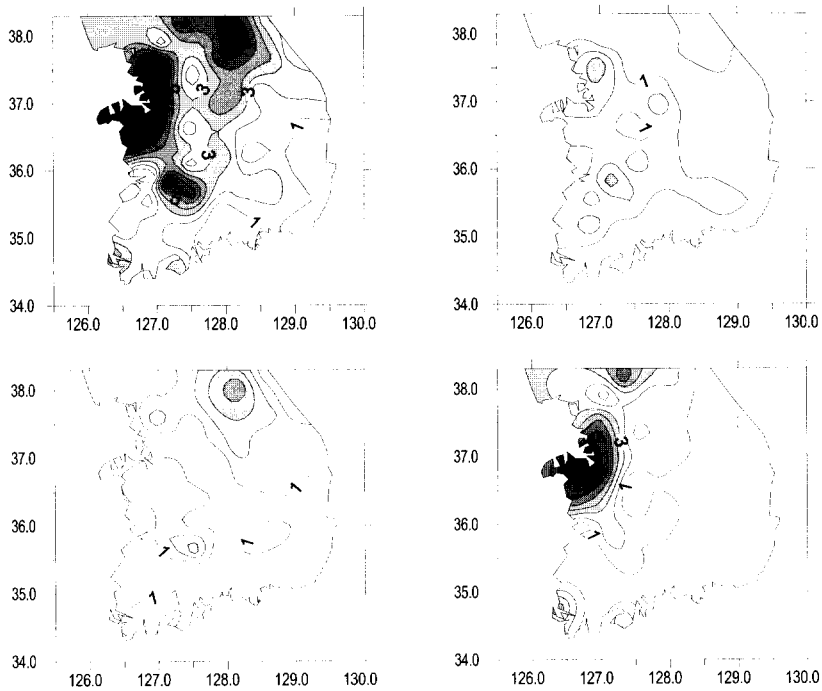


Fig. 3. Accumulated number of days with hail for all months (a); from February to April (b); from May to August (c); from September to December (d) during 10-year

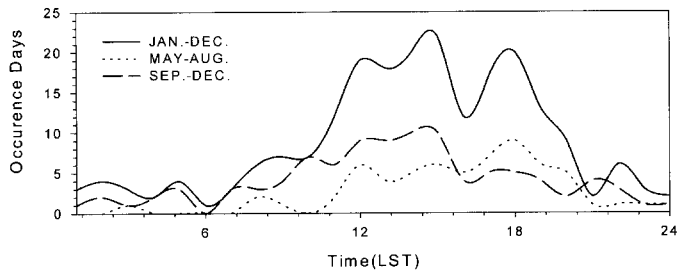


Fig. 4. Total frequency of hail occurrence for ten years by time

의 녹는 고도를 선정하였다. 이를 위해 10년 동안 관측된 우박일 중 중부 지방에서 오산 고층 자료가 관측되는 주변 시각(00, 06, 12, 18 UTC)의 일 수만 선정하여 최하층 100 hPa 두께에 담긴 비습(건조공기 1kg 속에 들어있는 수증기의 g 수)과 녹는 고도를 계산하였다(Fig. 5). 오산 관측 자료를 사용한 이유는 1일 4회 관측(다른 지점은 2회)을 수행하여 더 많은 자료를 확보할 수 있기 때문이다. 그림에서 보는 바와 같이 녹는 고도와 비습은 뚜렷한 양의 상관 관계를 갖는다.

하층의 습기가 충분하지 않으면 깊은 적운으로 발달하지 못해 녹는 고도가 낮은 경향이 있다. 그 결과 크기가 작은 우박이 생성되는 반면 지표에서 관측될 확률이 높다. 따라서 녹는 고도가 1~2 km 부근인 (Table 1) 초봄과 초겨울에 우박이 관측될 확률이 높다. 이와 반대로 하층의 습기가 많아 불안정도가 증가하면 적운 발달이 활발하여 녹는 고도가 높고 큰 우박 입자를 형성하지만 지표에 도달하기 전에 강우 입자로 변한다. 평균 비습이 8월에 가장 높아 우박 입자가 클 수 있지만 녹는 고도(해발 고도) 또한 높아 지표에서

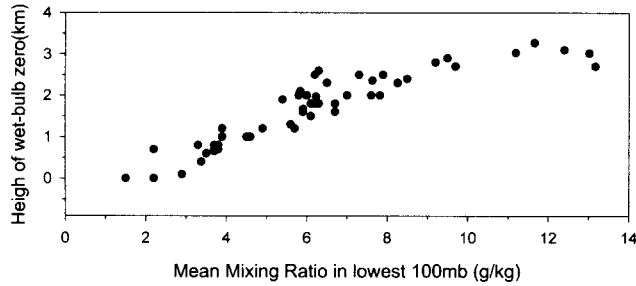


Fig. 5. Height of wet-bulb zero versus mean mixing ratio in the lowest 100mb for the hail case over middle part of Korea

Table 1. Monthly average of wet-bulb zero and mixing ratio in the lowest 100 hPa

Month	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
WBZ (km)	1.2	1.8	1.9	2.6	3.1	3.2	2.1	1.2	1.1	0.8
q(g/kg)	3.8	5.9	6.6	8.5	10.5	12.9	7.0	5.1	4.7	3.2

관측되기 어렵다. 따라서 여름에는 높은 고도 이하의 낙하 경로가 짧은 대관령 부근에서 우박이 관측될 확률이 높으며 입자의 크기도 크다.

3. 11월 우박 발생 일의 종관 특성

3.1 대기 상층의 기온 변화

1998년 11월에는 3차례의 우박이 관측되었다. 11월 2일에 강화 보은 금산, 11월 17일에 목포, 11월 18일에는 무안에 우박 현상이 있었다. 11월 2일에는 연해주에 중심을 둔 저기압에 동반된 한랭전선이 우리 나라를 통과함에 따라 전국적인 강수 현상이 있었으며,

11월 17일과 18일은 쿠릴열도 부근에 중심을 둔 저기압의 가장 자리에 위치하여 강수는 많지 않았다. 우박 보라 형성에 영향을 미치는 상층에서의 한기 남하를 살펴보기 위해 122.5°E ~ 127.5°E 와 37.5°N ~ 42.5°N 에서 2.5° 간격의 기온을 평균하여 11월 1일부터 11월 28일까지 각 고도별 기온변화를 살펴보면(Fig. 6) 15일 2100 LST부터 17일 0900 LST까지 850, 700, 500 hPa 세 층에서 기온의 급격히 하강하였다. 11월 2일 우박이 발생하기 이전에도 약한 기온 하강이 있었으나 크기는 작았다. 다른 날들도 기온 하강 현상이 있기는 하지만 세 층 모두에서 기온이 하강한 날은 없었다.

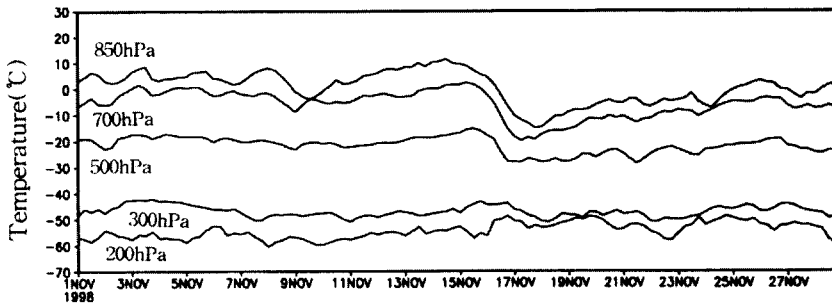


Fig. 6. Daily variation of temperature over the area of 122.5 °E~127.5 °E, 37.5 °N~42.5 °N at 850, 700, 500 300, 200 hPa during November 1998

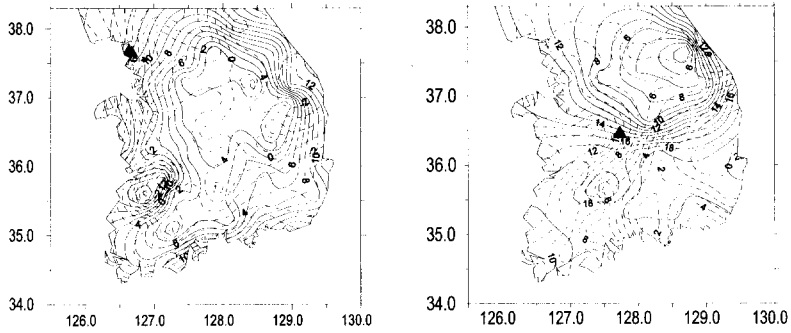


Fig. 7. Spatial distribution of temperature and dew point temperature at 0900 LST (a) and 1500 LST (b) 2 November 1998

3.2 지표 기온 및 이슬점온도 분포

11월 2일 강화 지방의 우박 발생시각은 1010 LST, 보은은 1510 LST, 금산은 1559 LST이었다. 오산에서 0900 LST에 관측된 고층 자료 분석 결과 하층 100 hPa 두께에 담긴 수증기의 양은 약 4.8 g/kg로서 Table 1에 제시한 평균값과 유사하지만 습구 온도가 0°C인 고도는 약 1.8 km 로서 평균값 보다 높다. 그 이유는 지상부터 구름이 생성되는 고도까지의 평균 유입류의 속도가 커(약 5.3 m/s) 구름을 높이 발달시켰기 때문이다.

일반적으로 11월 우리 나라에 뇌우가 발생하는 지역은 이슬점온도 경도가 강한 곳이며, 다시말하면 전선이 위치한 곳으로, 이 지점에 우박 발생 가능성이 높기 때문에 우박 발생 전 시각의 기온 및 이슬점 온도 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 ▲으로 표시된 곳은 우박이 발생한 위치를 나타낸다. 0900 LST(Fig. 7(a))에서 등온선은 해안에서 온도가 높고 내륙으로 차가운 동심원의 분포를 보이고, 1500 LST(Fig. 7(b))에 영동 산간 지방에는 차가운 핵이 위치고 대전을 중심으로 남북으로 기온경도가 강하다. 반면 이슬점 온도는 대전 부근을 중심으로 동서로 경도가 심하다. 이 두 등치선의 경도가 강하고 한랭 전선이 위치한 곳에서 우박이 관측되었다.

4. 결론 및 요약

최근 10년 동안 관측된 우박의 평균 크기는 약 0.6 cm이며, 7월과 8월을 제외한 전 월에 걸쳐 서해안과 일부 내륙 지방에 집중적으로 발생한다. 여름철에는 주로 대관령 부근에 편중되어 있다. 우박은 전 지역에서

1100 LST부터 오후 1900 LST 사이에 가장 많이 발생한다. 특히 서해안 일대에서는 해륙풍 순환이 활성화되는 초기 시각인 1100 LST부터 1500 LST에 가장 자주 발생하며, 대관령 부근에서는 해륙풍이 내륙 쪽으로 깊이 발달하고 불안정도가 높은 오후(1800 LST)에 주로 발생하는 것으로 미루어 우박 발생이 중 규모 국지 순환과 연계하여 나타난다고 추론된다. 또한 초봄과 초겨울에 작은 크기의 우박들이 빈번하게 관측되는 이유는 낮은 고도의 높이와 최하층 100 hPa 두께 기층에 포함된 습기의 양으로 설명된다. 지표에서 우박이 관측되기 위해서는 낮은 고도가 낮아 우박 입자가 강우 입자로 변하지 않을 만큼 낙하거리(낮은 고도 이하)가 짧아야 한다. 이 때는 대기 하층의 습기량도 적어 작은 입자가 생성된다. 반면 최하층의 습기량이 많은 여름철에는 대기가 불안정하여 깊은 적운으로 발달하고 우박입자도 크지만 낮은 고도 아래에서 낙하거리가 길어 지표에서 관측되기 어려워 해발 고도가 높은 대관령 부근에서 주로 관측된다.

11월 우박이 발생할 때의 중관 기상 상태를 분석하기 위하여 1998년 11월에 우박이 관측된 2일, 17일~18일 두 사례에 대한 상층의 기온 변화를 분석하였다. 두 번째 사례 발생 전인 15일부터 850, 700, 그리고 500 hPa에서 기온이 뚜렷하게 급격히 하강하였으나, 첫 번째 사례 발생 전인 11월 1일에는 약하게 하강하였다. 한편 우박이 관측되기 1시간전의 지상 기온 및 이슬점온도 분포를 살펴 본 결과, 두 값이 경도가 모두 큰 지역에서 우박이 관측되었다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발

발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업과 기상연구소 “우박을 동반한 뇌우의 발생 및 성장 과정에 관한 연구”로 수행된 것입니다. 자료 이용에 도움을 주신 기상청 수치예보과와 기후자료과 직원들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

기상청 (1993). 기상재해자료. 기상청, pp. 62-133.
 김현숙 (1993). 우리 나라 우박 현상에 관하여. 석사 학위논문, 이화여자대학교, pp. 1-47.
 변희룡, 임장호, 임미현 (1996). “여름철 우박 재해의 발생과 연관된 대기 순환.” 한국기상학회지, 제32권, 제2호, pp. 189-210.
 신동빈, 이태영 (1989). “남한 지역에서 여름철 지상풍의 평균적 구조.” 한국기상학회지, 제25권, 제1호, pp. 30-42.
 이춘식 (1993). “우리 나라 우박 통계 자료 및 사례 분석.” 예보기술, 제4권, 제1호, pp.15-23.
 Danielson, E.F. (1977). “Inherent difficulties in hail probability prediction.” *Meteorological Monographs*, Vol. 38, pp. 135-143.
 Foote, G.B. (1984). “A study of hail growth

utilizing observed storm condition.” *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 23, pp. 84-101.
 Morgan, G.M., Jr. (1970). “An examination of the wet-bulb zero as a hail forecasting parameter in the Po Valley, Italy.” *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 9, pp. 537-540.
 Miller, R.C. (1972). *Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central*. Air Weather Serv. Tech. Rep. No. 200, Scott AFB, Illinois.
 Stout, G.E., and S.A. Changnon, Jr. (1968). *Climatology of hail in the central United States*. CHIAA Res. Rep. No. 38.
 Zverev, A.S., ed., (1972). *Practical Work in Synoptic Meteorology*. Hydrometeorol. Publ. House, Leningrad, pp. 225-252.

(논문번호:99-090/접수:1999.11.22/심사완료:2000.01.28)