



2007年 8月 博士學位論文

*2007*年

8 月

博士學位論文

韓半島

雨雹

特性에

관 한

研 究

韓半島 雨雹 特性에 관한 硏究

朝鮮大學校 大學院

大氣科學科

李春植

李 春

植

韓半島 雨雹 特性에 관한 硏究

The Characteristics of Hail events in Korean Peninsula

2007年 8月 24日

朝鮮大學校 大學院

大氣科學科

李 春 植

韓半島 雨雹 特性에 관한 硏究

指導教授 柳 贊 洙·李 鍾 浩

이 論文을 理學博士學位申請 論文으로 提出함

2007年 4月 日

朝鮮大學校 大學院

大氣科學科

李 春 植

李春植의 博士學位 論文을 認准함

- 委員長 朝鮮大學校 教授 曺 炷 渙 印
- 委員 朝鮮大學校 教授 柳贊洗 印
- 委員 國立氣象研究所 理學博士 鄭孝相 印
- 委員 氣象産業振興院 理學博士 吳 玩 鐸 印
- 委員氣 象 聽 工學博士 李鍾浩 印

2007 年 6月 日

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Figures vi
List of Tables ix
Abstract
I. 서 론 1
Ⅱ. 자료 및 분석방법 4
1. 자료
가. 한반도 우박 출현 특성 분석에 이용된 자료 4
나. 우박 출현에 연관된 500 hPa 월평균고도 변화도에 이용된 자료· 4
다. 우박 출현 1일전 대기 분석 방법과 자료 4
라. 우박에 연관된 500 hPa 일기도 유형 분류 방법과 자료 5
마. 우박 출현일 대기구조 분석에 이용된 자료 5
2. 한반도 주변의 지형과 해류
가. 한반도 내륙의 지형
나. 한반도 주변의 해류

- i -

Ⅲ. 본 론 ··································
1. 한반도 우박 출현 특성 분석
가. 우박 출현 분포도 분석
나. 월・계절별 우박 출현일수 분석
다. 시간대별 우박 출현 분석
라. 우박 출현 일수의 변동성 분석
마. 우박 크기 분석
바. 우박 지속시간 분석
사. 우박 출현일 천둥・번개 동반 유무 분석
아. El Niño, La Niña 및 평균해의 우박 출현 일수 분석26

– ii –

3. 한반도 우박 관련 500 hPa 일기도 유형 분류와 유형에 따른
우박 출현지역 특성 분석
가. 기상학적 배경
나. 우박 관련 500 hPa 일기도 유형 분류
다. 우박 관련 500 hPa 일기도 유형에 따른 우박 출현 분포 53
(1) 정낭형에서 출현한 우박 분포 분석
(2) 좌경낭형에서 출현한 우박 분포 분석
(3) 우경낭형에서 출현한 우박 분포 분석
(4) 울릉정낭형에서 출현한 우박 분포 분석
(5) 울릉좌경낭형에서 출현한 우박 분포 분석
(6) 울릉우경낭형에서 출현한 우박 분포 분석
라. 우박 출현 전일의 대기 분석60
(1) 300 hPa 아열대 제트기류 위치와 풍속60

– iii –

	700 hPa 습수의 변화	(2)
	850 hPa 풍속	(3)
. 분석63	850 hPa, 700 hPa, 500 hPa 솔레노이드	(4)
	결과 및 토의	마.

4. 우박 출현일(2006년 6월 9일) 우박 모식도 작성65
가. 기상분석 시스템의 개요 및 분석 방법65
나. 기온, 바람, 강수량 분석
다. 지상 수렴도 분석
라. 500 hPa 기온과 지상 최고기온의 차
마. 대기선도 분석
(1) 바람 분석
(2) 총 리차드슨 수(Bulk Richardson Number)
(3) TTs(Total Totals)70
(4) 500 hPa 와도
(5) 최대 연직속도(Maximum Vertical Velocity, MVV)
(6) 대류응결고도
(7) 빙결고도
(8) 평형고도
(9) 상당온위(Equivalent Potential Temperature, EPT)
(10) 발산과 수렴

– iv –

(11) 부력(Buoyancy Force, BF)	76
(12) 근사 운정 고도(Approximate Cloud Top, ACT)	76
(13) 구름영상 분석	77
(14) 레이더 강수에코 분석	78
(15) 수직 측풍장비(Wind Profiler) 자료 분석	80
(16) 2006년 6월 9일 우박 일의 모식도	82

결	론		8	4
	결	결 론	결 론	결 론

참고문헌

감사의 글

부 록

- v -

List of Figures

Fig. 1 The cold current and the warm current of the mountain range which is
located in Korea and the circumferential ocean
Fig. 2 The hail distribution chart which appears in Korea from 1972 to 2000;
The solid line represents the area where the hail falls plentifully14
Fig. 3 Monthly mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000
Fig. 4 Same as in Fig. 3 except for seasonal
Fig. 5 Monthly mean of hail occurrence on Jeju and Ulleung from 1972 to 2000. 17
Fig. 6 Same as in Fig. 5 except for seasonal
Fig. 7 Timely mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000
Fig. 8 Same as in Fig. 7 except for on Jeju and Ulleung
Fig. 9 Yearly mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 200020
Fig. 10 Monthly mean of hail size of occurrence in korea from 1972 to 2000 21
Fig. 11 Same as in Fig. 10 except for seasonal23
Fig. 12 Same as in Fig. 11 except for yearly. 23
Fig. 13 Monthly mean hail occurrence in Korea from 1972 to 200024
Fig. 14 Same as in Fig. 13 except for on Jeju and Ulleung 24
Fig. 15 Frequency of thunder and lightning occurrence over hail event in Korea
from 1972 to 2000. 'Y' indicates the thunder lightning accompanies with the
hail falls, 'N' indicates to not accompanies with the thunder lightning
when the hail falls25
Fig. 16 Frequency of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000 27
Fig. 17 500 hPa height change on a) March, b) April and c) May in 1992 29
Fig. 18 Same as in Fig. 17 except for a) June, b) July and c) August

– vi –

Fig. 19 Same as in Fig. 17 except for a) September, b) October and c) November 33 Fig. 20 Same as in Fig. 17 except for a) January, b) February and c) December. ... 35 Fig. 21 500 hPa height change on a) March, b) April and c) May in 1998. 37 Fig. 23 Same as in Fig. 21 except for a) September, b) October and c) November. 41 Fig. 24 Same as in Fig. 21 except for a) January, b) February and c) December. ... 43 Fig. 25 500 hPa height change on a) May 1981. b) May 1992 and c) April 1993. ·· 45 Fig. 26 Same as in Fig. 25 except for a) June 1979. b) July 1992 and c) August Fig. 27 Same as in Fig. 25 except for a) October 1979. and b) September 1980. 48 Fig. 28 Types of Cut of Low on 500 hPa chart for a) straight pouch, b) left-tilted pouch, c) right-tilted pouch, d) Ulleung-straight pouch, e) Ulleung-left-tilted Fig. 29 Distribution chart where the hail appears from the straight pouch type. 54 Fig. 30 Distribution chart where the hail appears in Korea from the left-tilted pouch type. ------ 55 Fig. 32 Same as in Fig. 30 except for Ulleung-left-tilted pouch type.58 Fig. 34 Location of Polar jet stream and Sub-tropical jet stream axis and isotach of 300 hPa of a day before hail occurrence. 60 Fig. 35 Monthly mean moisture of hail event occurrence of 850 hPa and 700 hPa of Fig. 36 Monthly mean wind speed of hail event occurrence of 850 hPa of the day

– vii –

Fig.	37	Monthly	mean	numbers	of	solenoid	of	hail	event	occurrence	of	the	day
		before fro	om 197	72 to 2000.							•••••		63

Fig. 38 Meteorological element change charts. Osan and Ansan automatic weather
system. 66
Fig. 39 Convergence and divergence chart 0900 UTC 09 June 2006; The aircraft
accident occurred from inside the circle
Fig. 40 Vertical soundings of wind at a) 0300 UTC b) 0600 UTC, c) 0900 UTC and
d) 1200 UTC 09 June 2006; The point is aircraft accident time69
Fig. 41 Vorticity chart upper 500 hPa at 0900 UTC 09 June 2006 in Korea; A is
Osan. B is Chuncheon71
Fig. 42 Cross section chart of potential temperature at Osan from 0000 UTC to 1200
UTC 09 June 2006; Dotted line is aircraft accident time74
Fig. 43 Cross section chart of divergence and convergence at Osan from 0000 UTC
to 1200 UTC 09 June 2006; Dotted line is aircraft accident time75
Fig. 44 Convective cloud of IR image at 0900 UTC 09 June 200678
Fig. 45 Precipitation echo intensity of PPI at 0830 UTC 09 June 2006 on Gwangdeok
Rader Site79
Fig. 46 Same as in Fig. 45 except for cross section chart
Fig. 47 Cross section chart of wind at Munsan from 1100 LST to 1800 LST 09 June
2006; The yellow and green was represent the ascending and the
descending currents, respectively81
Fig. 48 Conceptual model of hail formation at 0900UTC 09 June 2006

– viii –

List of Tables

Table 1. The number of days that the hail event occurs on the observation stations
in Korea from 1972 to 2000
Table 2. Years of El Niño and La Niña from 1972 to 2000
Table 3. Monthly of days hail events on 1992 and 1998
Table 4. The number of types of 500 hPa on hail event
Table 5. Difference of 500 hPa temperature and maximum temperature of Osan AWS
on hail event
Table 6. The meteorological element value of aircraft accident day at Osan region
0600 UTC, 0900 UTC and 1200 UTC 09 June 2006

ABSTRACT

The Characteristics of Hail events in Korean Peninsula

Lee, Chun-sik

Advisor : Pof. Ryu, Chan-su Ph. D Prof. Lee, Jong-ho Ph D Department of Atmospheric Science Graduate School of Chosun University

This study analyzed the characteristics of hail events in Korean peninsula. Observed data for the research was set from the hail reports by 47 weather stations over South Korea. Data were selected for each case when the hail size was over 0.5cm for 29 years(1972~2000).

1992 was the most frequently observed year with 16 reports, while 1999 the rarest year with just 3. The analysis of the dates on the reports showed that the events have 10 year period frequency. The average number of hail days for 1970's was estimated to be 10.6, while 9.5 for 1980s', and 8.0 for 1990s'. Consequently, it is considered that the hail events had slight declining mode. Among twelve months, November showed the most frequent events with 86 times.

Also, It showed some tendency that the events occurred more frequently during El Nino regime, and vise versa (during La Nina regime).

The most probable hour for the events turned out to be 14:00~18:00, afternoon. On the other hand, during the summer season, many cases were reported that the

– x –

hail was made even in the morning hours.

The hail size gradually increased from February when it showed the smallest. In August it grew up to 1.1cm. Although as freezing level appears relatively high in summer, giving bad environment for the hail to comes up, abundant moisture in the air helps it to have big size.

For 7 months from April to October, more cases accompanied lightings with hail events than those of the rest months.

Synoptic fields during the days before hail events showed that upper jet stream appears away, south from the Korea. Meanwhile, low level jet showed up at 850 hPa over the region. Dew-point depression at 850 hPa, 700 hPa was 1.2° and 1.4° for each. It could be thought that the moist air and the strong wind made intensive moisture flux in the system. Particularly, 500 hPa pressure field showed that "right-tilted pouch" pattern had not made any hail event.

According to the hail occurrence conceptual model of the Korean Peninsula, the ground convergence rate is above 10, but the upper level divergence was above 10.

The Buoyancy was 1,757 J/kg, EL with 9,624 m, FL with 3,191 m, CCL with 2,324 m, MVV with 47 m/s and Echo-Top reached to 11 km in the conceptual model which the active hail may be potentially occurred.

Finally, from the sounding analyzed, only 12 hours before the hail event, upper atmosphere looks very dry while lower atmosphere evaporated. And the values told that the tendency diminished at the time of the hail events. Instability was well informed by TTs index. The values at the events showed over 50.

– xi –

I. 서 론

우박은 돌발적이고 단시간에 비교적 좁은 범위에 한정되어 발생되므로 예측하기가 매우 어렵다. 이러한 어려움에도 불고하고 우박을 예측하여 기상재해에 대비하고자 하 는 인류의 노력은 지속되어 왔다. 그러나 아직도 우박에 대한 예측이 어렵고, 이로 인 해 발생하는 재해가 급증하고 있는 실정이다. 최근에 우박으로 인하여 발생된 대표적 피해사례로, 2006년 6월 9일 17시 07분 제주공항을 출발하여 김포공항으로 비행하던 항공기가 경기도 오산 상공에서 우박으로 인해 노즈레이돔이 잘려나가는 사고를 들 수 있다.

대부분의 기상재해가 경보 또는 특보로 예고되는 데 비하여 우박은 주의보나 경보가 없다. 항공기상 분야에서 뇌우주의보와 경보를 발표하면서 동반 기상에 포함시키기도 하나 뇌우경보가 우박을 경계하기 위한 경보는 아니다(변회룡 등, 1995). 우박은 한반 도에서 경보 없이 발생하는 기상재해 중 계량화 된 피해액이 가장 큰 기상현상이다(기 상청, 1993).

현재까지 밝혀진 우박의 mechanism은 최초에는 빙결고도 이상에서 빙정으로 형성되 며, 상승기류와 하강기류의 shear zone의 빙결고도에서 발생되고, 어느 정도 성장된 우 박은 적난운 내의 강한 상승기류가 우박의 무게를 유지하지 못할 만큼 약해지면 지상 으로 떨어진다(정관영, 2000)고 알려져 있다. 또한, 우박의 모양은 수적이 빙결고도까지 상승하였다가 다시 떨어지는 과정을 거듭하면서 성장되므로 양파와 같은 구조를 갖게 된다(이재형, 1995)고 하였다.

대기 상층에서는 우박이 흔하게 발견되지만 대부분 지표면에 도달하기 전에 거의 녹 기 때문에 비교적 크기가 큰 우박만이 지표면에 도달하게 된다. 지표면에 도달하는 우 박의 크기는 우박을 부유시키는 상승류의 강도, 빙결고도에서 지표면까지의 거리에 좌 우되고, 우박의 크기는 0.6 ~ 12.9 cm 또는 그 이상까지 다양하게 분포한다.

국내에서 우박에 관한 연구로, 김성삼, 손형진(1977)은 "한국의 과거 역사에 근거한 거대우박의 기록과 1975년 5월 30일 전국적으로 우박이 관측된 가운데 부산광역시 동

- 1 -

대구 사직동 903번지(서흥화씨 댁)에 떨어진 직경 80 cm, 무게 50~60 kg의 거대우박이 떨어질 당시에 종관규모의 특성은 저기압이 쇠약기에 있었고, 연직으로는 남부지방이 중부지방보다 호우조건을 더 잘 충족하고 있었다"고 분석하였고, 김현숙(1993)은 한반 도의 우박 크기를 분류하는 등 통계적으로 분석하였으며, 이화운 등(1993)은 대류운의 성장과정 중 우박발생을 고려하는 수치실험을 수행하였으나 우박의 성장을 구름물리 과정만으로 취급하고 실측치와는 연계시키지 않았다.

이춘식 등(1993)은 인천지방에서 관측된 우박 에코에 대한 사례연구를 한 바 있고, 전재목(1994)은 경북북부 산간지방의 우박을 분석하였으며, 변희룡 등(1995)은 여름철 우박 재해의 발생과 연관된 대기 순환에 관한 연구에서 최근에 우박은 하층 가열이 가 장 강한 곳에서 발생하는 것이 아니라 인근의 한핵(寒核)과의 사이에서 생긴 강한 기 온경도, 기압경도 및 운량차이가 많은 지점에서 발생한다고 분석하였다.

김정선(1995)은 연직 바람shear가 뇌우 발달에 미치는 영향에 대한 수치적 연구를 하였고, 문병주(1997)는 우박 발생시간대는 일중 불안정이 최대가 되는 오후에 가장 많이 발생하며, 지속시간은 10분 이하가 대부분인 것으로 보고하였다.

엄원근과 정관영(1997)은 우박을 동반한 뇌우의 발생 및 성장과정에 관한 연구에서 한반도의 경우 우박을 초래하는 기상조건을 불안정으로 보고 그 요인을 크게 4가지로 구 분하기도 하였다. 이 외에도 임은하(2000)는 우리나라 우박 발생일의 특성, 이춘식(2004) 은 제주도지방 우박 현상 시 대기 구조분석을, 조진대(2005)는 영남지방 우박 특성과 예측에 관한 연구를 하였고, 이 완(1966)은 1965년 1월 26일 서울지방에서 발생한 뇌우 에 관하여, 정진락(1967)은 경인지역에 대한 뇌우 예보 연구를, 변희룡 등(1981)은 우리 나라 중부지방의 여름철 뇌우 특성 및 예보법에 관하여, 허복행(1993)은 우리나라 중부 지방의 여름철에 발생하는 기단성 뇌우의 종관 및 열역학적 특성을 연구한 바 있다.

홍성길(1983)은 우박이 동반될 수 있는 강한 국지뇌우의 발생조건은 대기 하층으로 따뜻하고 습한 공기의 공급, 두꺼운 불안정 층의 형성, 큰 부력, 고도에 따른 wind shear, 일중 지면가열, 하층수렴 또는 지형적 상승 등을 들었다.

- 2 -

류찬수 등(1999)은 우리나라 강수량과 북반구 수증기 수송과의 관계를, 오완탁(2005) 은 한반도 여름철 강수량 특성을 통하여 수증기 수송과 관련한 불안정성을 보고하였 다.

외국에서는 1990년도 초반을 전후하여 국제사회에서 많은 연구 결과가 발표되었는 데, Miller *et al.*(1990)은 우박입자의 구름 속에서의 궤적을 주로 다루었고, Danielson *et al.*(1972)과 Levi and Lubart(1991) 및 List(1990)는 우박 입자의 성장과 결빙 과정을 조사하였다.

우박의 발생을 초래한 종관적 조건을 다룬 연구로 Chen *et al.*(1990)은 대류권 상하 층에 습윤한랭와도(濕潤寒冷渦度)의 존재와 중하층의 위치불안정의 존재를 중요시 하 였고, Deng *et al.*(1989)은 수렴역의 존재를 중요시 하였으며, Kizmiller and Mcgovern(1990)은 8 km 상공의 풍속과의 연관을 지었고, Muller(1985)는 습기이류, Kallo(1989)는 지형과의 관계, Vivekanandan *et al.*(1993)은 한랭한 돌풍전선, Smith, Yau(1993)는 한랭기류 및 불안정한 기층을 중요시 하였다.

Bao(1985)는 우박을 발생시킨 종관 유형을 분류하기도 하였으며, Nelson and Knight(1987)는 우박의 발생에는 강하고 광범위한 하강기류의 작용이 가장 중요하고, 이 하강류는 미세물리학적 구조라기보다는 폭풍 자체의 운동학적 구조에 의존함을 주 장하여 우박에 관한 연구는 구름물리 과정 만에 국한하지 말아야 한다고 하였다.

본 연구에서는 1972년부터 2000년까지 29년간 한반도에서 출현한 우박을 통계 처리 하여 그 특성을 기상학적 차원에서 규명하고, 먼저 1972년부터 2000년 사이에 우박 출 현이 가장 많았거나 적었던 해, 그리고 직경 2.0 cm 이상의 큰 우박이 출현한 달의 500 hPa 월평균고도장을 분석하고, 1972년부터 2006년까지 34년간 307일의 우박 일에 나타 난 500 hPa 층의 절리저기압(cut of low)의 중심과 한기(cold core) 위치 및 그 모양에 따라 6 개형으로 구분 한 후 각 형에 따른 우박 출현 지역을 분석하였고, 2006년 6월 9일 오산 상공에서 우박에 의해 항공기의 노즈레이돔이 잘려나가는 사고사례에 대하여 이날의 기상요소 값 중 우박과 관련된 기상 요소 값을 FAS(Forecaster's Analyser

- 3 -

System)를 이용하여 분석하고 모식도를 제시하고자 하며, 이를 통하여 우리나라 우박 에 관한 연구의 기초 자료로서 기여하고, 기상예보에 활용되기를 기대한다.

Ⅱ. 자료 및 분석방법

1. 자료

가. 한반도 우박 출현 특성 분석에 이용된 자료

본 연구를 위한 우박과 관련한 자료는 기상청이 1970대 초 관측망 확충의 일환으로 추진한 농업기상관측소가 설치되어 관측을 시작한 1972년부터 2000년까지 29년간의 것 이며, 기상청에서 발간한 우박 관측지침서(기상청, 2005)에서 직경 0.5 cm 이상일 때를 우박으로, 0.5 cm 미만일 때는 싸락우박으로 구분하여 관측하고 있는 바, 본 연구에서 는 직경 0.5 cm 이상의 우박을 조사·분석하였다.

나. 우박 출현에 연관된 500 hPa 월평균고도 변화에 이용된 자료

NCEP(National Centers for Environmental Predictions) 자료를 이용하여 한반도의 우박 출현과 500 hPa 월평균고도변화와의 관련성을 확보하기 위하여 1972년부터 2000 년까지 29년간 우박 출현이 가장 많았던 1992년과 적었던 1998년을 선택하였고, 직경 2.0 cm 이상의 큰 우박이 출현한 달의 500 hPa 월평균고도장을 분석하였다.

다. 우박 출현 1일전 대기 분석 방법과 자료

우박 출현 전일의 기상 요소 값을 조사하기 위하여 한반도를 중심으로 남·북위 10°, 즉 1,500×1,500 km (30~45°N, 120~135°E)의 범위를 정하고, 그 범위 내의 대기를 기상

- 4 -

청에서 작성된 일기도를 이용하여 분석하였다. 위와 같이 범위를 정한 이유는 한반도 가 위치한 중위도 지방에서 1일 동안 평균적인 대기의 이동거리가 위·경도 10°인 약 1,000 km로 가정한 것이다.

라. 우박에 연관된 500 hPa 일기도 유형 분류 방법과 자료

1972년부터 2005년까지 34년간 한반도에서 직경 0.5㎝ 이상의 우박이 출현한 307일 에 대해서 500 hPa 절리저기압의 모양에 따라 기상청에서 작성한 일기도를 이용하여 유형을 분류하였다.

분류 방법은 한반도를 중심으로 절리저기압이 북서쪽에 위치하고, 그 모양이 한복 에 착용하는 복주머니 모양과 닮아서 낭형(囊型, pouch type)이라 명명 하고, 그 모양 이 남북으로 반듯하면 정낭형(正囊型, straight pouch type), 좌측으로 기울어져 있으면 좌경낭형(左傾囊型, left-tilted pouch type), 우측으로 기울어져 있으면 우경낭형(右傾囊 型, right-tilted pouch type)으로 분류 하되, 한반도 동쪽 울릉도 부근에서 위와 동일한 모양이 형성되었을 때 3개의 유형 즉 울릉정낭형(鬱凌正囊型, Ulleung straight pouch type), 울릉좌경낭형(鬱凌左傾囊型, Ulleung left-tilted pouch type), 울릉우경낭형(鬱凌 右傾囊型, Ulleung right-tilted pouch type)이 나타나 이를 더하여 총 6 개의 유형으로 분류하였다.

마. 우박 출현일 대기구조분석에 이용된 자료

2006년 6월 9일 오산 상공에서 큰 우박에 의해 항공기의 노즈레이돔이 잘려나가는 사고가 발생하였는데, 이 날을 중심으로 기상청에서 작성된 일기도, 수치자료, JMA (Japan Meteorological Agency) 분석자료, 미국에서 재분석한 NCEP 자료, 미국 Wyoming 대학에서 제공하는 고층분석 자료를 활용하였다.

500 hPa 와도를 이용한 이유는 우박은 강한 상승류에 의해 발생되는데, 이 상승류는 대기 중층의 강한 양(+)의 와도가 형성될 때 잘 발생된다. 이는 플래밍의 오른손 법칙

- 5 -

에 의해 대기 중층에 양(+)의 와도가 위치하게 되면, 하층의 힘이 위로 작용한다. 즉 하층대기의 상승을 유도한다. 또한 수증기가 우박 발생과 성장에 중요하므로 중층의 수분 정도를 분석하기 위하여 700 hPa 습수, 하층대기의 수평 수송을 분석하기 위하여 850 hPa 층의 하층 jet, 대기 중층과 하층의 한기이류를 분석하기 위하여 500 hPa 충 의 고도변화와 850 hPa 층의 기온변화를 조사하였고, 대기의 상승과 하강을 분석하기 위하여 700 hPa 연직속도, 지상 대기의 수렴과 발산을 유도하는 상층의 발산과 수렴을 조사하였다.

우박이 출현한 날 지상의 대기 변화를 분석하기 위하여 기상청에서 운영하고 있는 AWS(Automatic Weather System)와 ASOS(Automatic Synoptic Observation System) 자료를 활용하였으며, 기상청에서 최근에 대기를 복합적으로 분석할 수 있는 FAS를 이용하여 지역예측자료인 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 와 전구예측 자료인 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System) 자료를 처리하여 이용하였다.

불안정 지수인 SSI(Showalter Stability Index), KI(Kelvin index), TTs(Total Totals)를 산출하여 이용하였다.

여기서 SSI는 850 hPa 면의 CCL(Convective Condensation Level)을 구한 다음 LCL(Lifting Condensation Level)을 지나는 포화단열선을 따라 올라가 500 hPa 면과 만난점의 온도에서 같은 면의 실제 온도 값을 뺀 값이고, KI는 연직 기온 감률과 대기 하층의 습기의 양과 습기의 연직 분포를 나타내는 지수로서, 연직 기온 감률은 850 hPa과 500 hPa의 기온 차를 이용하고, 850 hPa의 노점온도를 이용하는데, 이는 대기하 층의 수분의 정도를 나타내며, 700 hPa의 Td(Dew-point Temperature) 또한 수증기의 양이므로 이들을 조합하여 KI를 산출하였다.

 KI = (850 h Pa T - 500 h Pa T) + (850 h Pa Td) - (700 h Pa T - Td) - - (1)

 TTs는 VT(Vertical Temperature)와 CT(Cross Temperature)의 두 대류 인자의 합으로

 구성되는데, 그 계산과정은 아래 식과 같다.

- 6 -

 $VT = 850 \ T - 500 \ h Pa \ T - -----(2)$ $CT = 850 \ h Pa \ Td - 500 \ h Pa \ T - -----(3)$

우박과 관련된 경압성을 알아보기 위해 850 hPa의 솔레노이드(Solenoid)를 조사하였다. 솔레노이드는 어떤 단위 폭을 가진 2개의 등압면(等壓面)과 2개의 등밀도면(等密度面)으로 둘러싸인 관을 말하며, 등압면과 등밀도면으로 둘러싸인 폐곡선 영역 내의 솔레노이드 수 N은 다음과 같은 공식으로 산출된다.

 $N = -\int (\nabla a \times \nabla p) \times dS - \dots - (4)$

(4)식에서 a는 비부피이고, p는 기압이며, dS는 면적이다.

순압대기에서는 등압면과 등밀도면이 일치하므로 N = 0 이다. 따라서 N이 0 이상의 값으로 나타나면 경압대기로 해석이 되고, 이 값이 크면 클수록 경압성이 커짐을 나타 낸다. 기압좌표계에서는 구할 수 없으나, 상층 일기도에서 구할 수 있어, 편의상 상층 일기도의 각 층에서 2개의 등고도선과 2개의 등온선으로 둘러싸인 마름모꼴의 수를 이 용하였다(김광식 등, 1992).

우박과 연관된 PVA(Positive Vorticity Advection)나 NVA(Negative Vorticity Advection)는 보통 상층의 발산이나 수렴을 나타내기 때문에 종종 연직운동의 위치를 추정 하는데 사용되고 있으며, 다음과 같이 설명된다.

PVA는 500 hPa 절대와도가 주어진 위치에서 시간에 따라 증가한다면 상층발산이 일어난다. 이는 상승 운동을 유발하여 구름과 강수의 발생 가능성을 높인다.

NVA는 만약 500 hPa 절대와도가 주어진 위치에서 시간에 따라 감소한다면 상층수 렴이 일어난다. 이와 같이 NVA 지역에서는 하강 운동을 야기 시켜 맑은 날이 될 가 능성이 높아진다.

본 연구에서 이용된 최대 연직속도는 sounding의 각 level에서 공기괴(parcel)의 연 직속도를 계산하여 구하였다. 만약 부력이 존재하지 않는다면 연직속도는 0으로 설정 된다. 각 고도에서 속도를 계산하기 위하여, 각 고도의 공기 괴에 대하여 응집된 액체

- 7 -

수(e)의 이론적인 값이 계산되는데, e = (P× 혼합비)/(0.622+혼합비) -----(5) e: 응집된 수적 값, P: 기압

W(i) = LCL 혼합비 - ((0.622×e)÷P÷e)) -----(6)

W(i): 구하고자 하는 층(i)의 수적이다. sounding을 통한 반복은 아래의 변수들에 대해서 인접한 두 고도사이에서 중간 값을 채택함으로써 연직속도를 계산하였다.

 $WM = (1 \div 2) \times (W(i) + W(i-1) - \dots - (7))$

WM: 두 층간의 중간 수적 값, W(i-1): 기본 층의 아래층의 수적 값

$$VT = (1 \div 2) \times (Tv(i) + Tv(i-1) - (9))$$

VT: 가온도, Tv(i): 기본 층의 가온도, Tv(i-1): 기본 층의 아래층의 가온도

 ΔT : 온도의 차, VT: 가온도, ST: 기본 층의 관측 온도

 ΔZ : 고도 차, H(i): 기본 층의 고도 값, H(i-1): 기본 층의 아래층의 고도 값 연직속도(Vertical Velocity)는 아래의 식에 의해서 계산되었다.

- 8 -

 $VV = VV(i-1) \times VV(i-1) + 2 \times 9.8 \times \Delta Z \times (0.67 \times \Delta T \div ST - 0.33 \times WM)$

-----(12)

VV: 연직속도, VV(i): 기본 층의 연직속도, VV(i-1): 기본 층의 아래층의 연직 속도, WM: 두 층간의 중간 수적 값 VV > 0 이면, $VV(i) = \sqrt{VV}$

MVV(Maximum Vertical Velocity)는 sounding에서 기압레벨이 EL(Equilibrium Level)과 같거나 EL보다 크면 VV(i)로 설정된다.

대류응결고도(Convective Condensation Level, CCL)는 만약 sounding 시간이 0600 UTC와 1800 UTC 사이라면, 가장 낮은 50 hPa에서의 평균혼합비가 계산된다. 그렇지 않으면, 혼합비는 sounding에서 지면온도와 이슬점 온도 값으로부터 계산된다. 그 후 에 대류응결고도가 결정된다. 이것은 혼합비선이 주변의 sounding 선을 가로지를 때까 지 sounding을 따라서 위쪽으로 반복계산 함으로써 얻어진다.

CCL은 지표 부근의 공기괴가 지표의 가열로 에너지를 받은 후 단열적으로 상승하여 포화에 이르는 고도를 CCL이라 하며, 이 고도는 보통 지표 가열에 의해 생기는 적운 형 구름의 운저고도가 되기도 한다. 지표 부근의 공기가 이 고도에 이르면 그 후에는 해당 공기가 자동적으로 계속 상승하게 되므로 이때의 CCL은 LFC(Level of Free Convection)와 일치한다. CCL이나 LFC 상부에서 환경온도곡선보다 따뜻해져서 부력을 받아 자유롭게 상승하는 공기덩어리가 다시 주위 환경온도와 같아지면서 부력을 상실 하기 시작하는 고도를 EL이라고 한다.

EL은 sounding의 꼭대기에서 공기괴의 온도(습윤단열)가 주변보다 더 따뜻해질 때까 지 아래쪽으로 반복함으로써 발견되므로, sounding에서 가장 높은 EL이 나타난다. LFC는 sounding 전체를 통하여 EL 탐색의 끝을 정의하기 위해서 사용된다. 만약 LFC 가 정의되지 않는다면, EL은 결정되지 않는다.

CCL이나 LFC 상부에서 환경온도곡선보다 따뜻해져서 부력을 받아 자유롭게 상승하는 공기 괴가 다시 주위 환경온도와 같아지면서 부력을 상실하기 시작하는 고도를 평 형고도라고 한다. 구하는 방법은 지면 가열에 의한 경우는 CCL, 강제 상승하는 경우는

- 9 -

LFC로부터 포화단열선을 따라 올라가 처음으로 환경온도곡선과 만나는 점의 고도가 EL이다.

BRN(Bulk Richardson Number)은 각 고도의 공기밀도 뿐만 아니라 CAPE (Convective Available Positive Energy)와 바람의 u, v 성분을 사용한다. 바람 값이 있 는 각 고도에 대하여 공기밀도를 내삽 한다. 그리고 바람층밀리기는 각 고도에서 바람 의 u, v 성분의 밀도가 계산되어 합해지며, 또한 각 합산된 반복 계산에 대하여 층의 밀도가 계산된다. 그 다음에, u에 대한 6 km의 바람층밀리기 값이 정해진다(6 km에서의 바람층밀리기의 u성분은, 6km 성분에서 주어진 층에서의 밀도 u를 빼줌으로써 정해진 다). 가장 낮은 6 km에서 바람층밀리기 벡터의 1/2 사각형은 다음과 같다.

 $SKE = 0.5 \times (u6 \times u6 + v6 \times v6) - (13)$

SKE: 가장 낮은 6 km 지점에서 바람층밀리기 벡터의 1/2 사각형 값 그 다음에 Richardson Number가 산출된다.

상당온위(θ_o) 란 공기덩이가 자신이 가지고 있는 습기를 응결하여 방출시키고, 그 결 과로 나온 잠열이 대기를 데우는 데 사용(습윤단열과정) 되었을 때 그 공기덩이가 가 지게 되는 온위(θ)를 말한다. 온위는 아래 식을 이용하여 산출하였다.

여기서 L_c : 응결잠열, q_s : 포화혼합비, C_s : 정압비열

기상위성영상의 분석과 이용(기상청, 2000)에 따르면, 적외선영상은 온도의 분포를 나타내며, 낮과 밤을 통해서 균질한 관측이 가능하다. 이 때문에 구름과 지표면의 온도 를 항시 관측하는 것에 적합하다. 즉 적외선영상분석에서 온도가 낮은 곳은 밝게, 온도 가 높은 곳은 어둡게 영상화하고 있다.

적외선영상은 가시영상과 달리 낮과 밤의 차이 없이 같은 조건에서 관측이 가능하 다. 이것은 기상요란을 항시 감시하는 데에 있어 적외선영상이 유리한 점이다. 대류권

- 10 -

에서는 일반적으로 상층일수록 기온이 낮기 때문에 운정 온도가 낮은 구름은 운정 고 도가 높다고 할 수 있다. 또한 운정 온도의 변화로부터 연직방향의 발달 정도를 감시 할 수 있다.

레이더 자료는 강원도 화천군 소재 해발 1,040 m에 위치한 광덕산 도플러 레이더의 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator)와 연직단면 자료를 이용하였다. 광 덕산 레이더의 재원은 주파수 2,887 №, 최대출력 750 ₩, 출력관은 Klystron, 펄스 폭 1.0 µs(short pulse), 4.5 µs(long pulse), PRF 250 ~1200 pps, 안테나 직경 8.5 m의 최 신형 레이더이다.

2. 한반도 주변의 지형과 해류

가. 한반도 내륙의 지형

Fig. 1에서 보는 바와 같이 우리나라 동부에 위치한 태백산맥은 해발고도 1,000 m 이상의 높은 산인 반면 서부는 낮은 구릉성 산지가 대부분이다. 한반도에서 태백산맥 이 주축이 되고, 태백산맥에서 남서 방향으로 뻗은 차령산맥은 중부지방, 소백산맥과 노령산맥은 남부지방에 위치한다. 태백산맥을 중심으로 영동과 영서지방, 소백산맥을 중심으로 호남과 영남지방으로 구분되고, 기후에도 큰 차이를 보이고 있다.

나. 한반도 주변의 해류

Fig. 1에서 보는 바와 같이 한반도의 남쪽 저위도 해상에서 북상하는 Tsushima 난류 는 남해안을 통과하여 동해로 흘러들고, 일부는 황해로 흘러들고 있다. 북한에서 내려 오는 북한 한류는 울릉도 부근에서 남쪽에서 흘러온 Tsushima 난류와 만나 복잡한 수 온 분포를 나타내고 있다.

- 11 -



Fig. 1 The cold current and the warm current of the mountain range which is located in Korea and the circumferential ocean.

Ⅲ. 본 론

1. 한반도 우박 출현 특성 분석

가. 우박 출현 분포도 분석

한반도에서 출현한 우박 일수를 Table 1을 이용한 지역별 분포도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 한글 자음의 '역 ㄱ자' 모양이 나타난다.

우박이 발생하려면 세 가지 조건을 우선적으로 만족해야 하는데, 첫째는 적운이 연 직으로 두껍게 자라서 빙정핵의 성장 mechanism이 작동할 수 있어야하고, 둘째는 구 름 내부에서 공기의 상승구역과 하강구역이 서로 엇갈려 분포하도록 연직 shear 조건

- 12 -

이 지속되어야 한다. 셋째는 우박이 낙하하는 지역의 하층 공기가 습하거나, 지상까지 의 낙하 거리가 짧아, 대기 중에서 증발되는 양이 적어야 한다(이우진, 2006).

Fig. 2와 같은 분포도가 나타나는 것은 우박 발생 3가지 조건 중 하나인 한기 이류 가 남부지방보다 중부지방이 활발하고, 남북으로 길게 뻗은 태백산맥과 남서 방향으로 뻗은 지형의 영향은 남서류가 유입될 때 태백산맥 서쪽지방에서 풍상측이 되어 영서지 방은 산악효과에 의한 우박 출현이 자주 나타나는 것으로 분석된다.

한반도로 서쪽 혹은 남쪽에서 유입되는 대기는 북쪽에서 유입되는 대기보다 상대적 으로 따뜻하고, 해상을 지나오면서 해수면으로부터 증발에 의해 수분을 공급받아 충분 히 습윤해진 수분 이류가 활발할 뿐만 아니라 해상을 통과할 때 증발된 염분이 구름 속에서 빙정핵으로 작용하여 한반도에서 우박이 탁월하게 많이 떨어지는 지역은 '역 기'자 모양으로 나타나는 것으로 분석된다.

- 13 -



Fig. 2 The hail distribution chart which appears in Korea from 1972 to 2000; The solid line represents the area where the hail falls plentifully.

Station	Sokcho	Daegwal	Chuncheor	Gananeuna	Secul	Incheon	Woniu	Suwon	
otation	OUNCITO	-yeong	onuncheor	angheung	oeoui	meneon	vvonju	Guwon	
Days	9	16	14	5	15	11	8	16	
Station	Uljin	Cheongju	Daejeon	Chupung -nyeong	Pohang	Gunsan	Daegu	Jeonju	
Days	7	7	8	8	2	17	5	16	
Ctation	Curanaiu	Ducon	Makaa	Vacau	Wanda	liniu	Canabura	Yang-	
Station	Gwangju	Dusan	мокро	reosu	wando	Jiilju	Gangnwa	pyeong	
Days	19	2	14	6	6	2	11	7	
Station	Hongcheon	Jecheon	Boeun	Boryeong	Buyeo	Geumsan	Imsil	Jeongeup	
Days	18	11	5	10	14	5	15	6	
Station	Haenam	Goheung	Yeongju	Mungyeong	Uiseong	Hapcheon	Miryang	Inje	
Days	11	5	3	2	10	3	4	10	
Station	Seosan	Ulsan	Icheon	Namwon	Jangsu	Ulleung	Jeju		
Days	24	3	8	5	5	21	18		

Table 1. The number of days that the hail event occurs on the observation stations in Korea from 1972 to 2000

나. 월·계절별 우박 출현일수 분석

우박 출현 일수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 11월이 86일로 가장 많았고, 1월과 8월 은 각각 6일로 가장 적었으며, 5월과 11월에 2회의 최고점이 나타났다.

Fig. 4는 계절별 분석결과로, 봄철에 170일로 가장 많았고, 여름철에는 46일로 가장 적게 출현하였다. 봄철과 가을철에 우박이 자주 출현하는 것은 겨울철에 우리나라에 영향을 주었던 한랭·건조한 대륙고기압과 여름철에 영향을 주었던 고온·건조한 북태 평양고기압이 한반도에서 교체되는 환절기로 고기압과 저기압이 주기적으로 통과하는 기압계가 자주나타나 우박 형성에 가장 주요한 한랭기류와 불안정한 기층이 쉽게 형성 되는 것으로 분석된다.

그러나 여름철에는 주로 온난·습윤한 북태평양고기압이 한반도를 지배하고, 겨울철 에는 한랭·건조한 시베리아고기압이 한반도를 지배하게 되어 균질한 대기가 한반도를 덮어 경압불안정이 커지기 어렵고, 또한 적정한 빙결고도가 유지되어야 하는데, 여름철

- 15 -

에는 너무 높고, 겨울철에는 너무 낮아 우박이 자주 형성되지 못하는 것으로 분석된다. 즉 겨울철은 빙결고도가 연중 가장 낮고, 여름철은 연중 가장 높은 계절로서 우박이 자주 출현하기 어려운 것으로 분석 된다.

제주도와 울릉도의 월별분포의 분석은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 제주도는 5월부터 9월까지, 울릉도는 5월부터 8월까지 우박이 발생되지 않는 특징을 보여주고 있으며, 이 는 해상의 영향으로 내륙과는 달리 지면가열에 의한 장파복사가 발생되기 어려워 우박 발생이 없었던 것으로 분석된다.

계절별 분석은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 봄과 가을에는 제주도보다 울릉도가 자주 출현하고, 겨울에는 제주도가 울릉도보다 많이 출현하는데 제주도는 겨울에 서해상을 통과하면서 수증기가 공급되어 불안정이 커지므로 겨울철 우박이 많고, 울릉도는 봄과 가을에 상층 한기에 의한 대기의 상하 불안정이 자주 나타나 우박이 많이 출현하는 것 으로 분석된다.



Fig. 3 Monthly mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000.

- 16 -



Fig. 4 Same as in Fig. 3 except for seasonal.



Fig. 5 Monthly mean of hail occurrence on Jeju and Ulleung from 1072 to 2000.

- 17 -



Fig. 6 Same as in Fig. 5 except for seasonal.

다. 시간대별 우박 출현 분석

지면가열은 태양으로부터 에너지를 받아 지표면이 가열되면 장파복사가 발생되고 이 장파복사에 의해 하부대기가 가열되어 상층과 하층간의 기온차가 커져 대기 불안정이 커지는 14~19시 사이에 가장 많이 출현한다(문병주, 2000).

우박의 출현빈도는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 특히 16~18시에 45일로 가장 많았으 며, 최고기온이 나타난 15시로부터 1시간 뒤에 우박 출현이 많은 것은 최고기온이 나 타나는 시점에서 상승기류가 가장 왕성하나 우박이 성장하는데 걸리는 시간이 소요되 기 때문으로 해석된다. 반면에 대기가 냉각되어 가장 안정화되는 4~5시 사이에는 2일 이 출현되어 24시간 중에서 가장 적게 출현되었다. 즉 일사에 의한 장파복사량의 차이 로 24시간의 주기성을 갖는 것으로 분석된다. 그러나 제주나 울릉도는 일사에 의한 장파복 사 효과가 해양에 의해 저지되어 내륙과는 다른 패턴을 보여주는 것으로 해석된다(Fig. 8).

- 18 -



Fig. 7 Timely mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000.



Fig. 8 Same as in Fig. 7 except for on Jeju and Ulleung.

- 19 -

라. 우박 출현 일수의 변동성 분석

내륙에서 우박이 출현된 일수를 10년 단위의 시계열로 살펴보면(Fig. 9), 1970년대는 8년간 85일로 연 평균 10.6일이고, 1980년대는 10년간 95일로 연평균 9.5일, 1990년대는 10년간 80일로 연 평균 8.0일로서 1980년대는 1970년대 보다 매년 평균 1.1일이 줄었으 나, 1990년대는 1980년대 보다 매년 평균 1.5일이 줄어 우박 일수는 해가 갈수록 감소 폭이 커졌다. 이는 화석연료 사용량의 증가에 따른 기온 상승이 빙결고도를 높게 만들 어 우박 입자가 낙하 도중 녹아 0.5㎝ 이상의 우박 입자의 지상 출현빈도를 감소시키 는 것으로 추정된다.



Fig. 9 Yearly mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000.

- 20 -
마. 우박 크기 분석

Fig. 10에서 보는 바와 같이 우박의 크기는 내륙지방은 가장 작은 2월을 고비로 3 월부터 점차 커지기 시작하여 일사량과 수분이 많은 8월의 우박은 평균 직경이 1.1 cm 로 가장 컸으며, 2월은 0.5 cm로 가장 작았다.



Fig. 10 Monthly mean hail size of occurrence in Korea from 1972 to 2000.

계절별로 우박의 크기를 살펴보면, 여름철에는 직경 0.9 cm로 가장 컸다. 겨울철에는 0.6 cm로 가장 작았으며, 봄철과 가을철은 각각 0.8 cm와 0.7 cm로 봄철이 가을철보다 큰 것으로 분석되었다(Fig. 11).

여름철에 우박이 큰 이유는 고온 다습한 북태평양고기압이 한반도에 영향을 주고 있 어 대류권계면이 연중 가장 높고, 일사에 의한 장파복사가 더해져 대기하부의 가열이 용이하고, 또한 여름철에는 남쪽에서 수송되는 온난 다습한 대기에 의해 수증기가 풍 부하여 온위가 증가함에 따라 잠재 불안정이 커져 우박이 크게 성장할 수 있는 환경이

- 21 -

형성되는 것으로 해석된다.

우박의 크기는 8월이 가장 큰데 비해 우박 출현일수는 가장 적은데, 이는 FL이 4계 절 중 가장 높아 우박 출현이 용이하지 못한 것으로 분석된다.

반면에 겨울철에는 공급되는 수증기량이 적고 대류권계면이 낮으며, 하부대기가 냉 각되어 두꺼운 응대 적운이 형성되기 어려워 우박이 크게 성장하지 못하는 것으로 해 석된다.

제주도와 울릉도는 5월부터 8월 사이에는 우박이 출현되지 않았으며, 제주도는 연중 출현된 우박 크기가 직경 0.5~0.6 cm인 반면 울릉도는 내륙과 제주도와는 달리 크기의 변화가 심하여 내륙에서는 8월에 출현하는 우박이 가장 큰데 비하여 울릉도는 9월에 가장 크고, 2월에 가장 작았다.

5월부터 8월 사이에는 섬 지방에서 우박이 내리지 않은 것은 내륙과는 달리 해상에 위치한 섬 지방은 지면 가열에 의한 기온 상승이 해양에 의해 저지되어 대기 상·하층 간의 기온 차에 의한 불안정이 적었기 때문으로 유추된다.

제주도에서 출현한 우박은 겨울철에 집중되고 있어 우박 크기가 0.5~0.6 때로 작았 다. 그 원인은 겨울철에는 수증기의 공급량이 적고, FL이 낮아 우박 입자가 크게 성장 하지 못하였다. 그러나 울릉도는 내륙과 제주도에 비해 큰 우박이 내렸는데 이는 수증 기 공급이 용이하여 불안정이 증대되고, 해상에서 상승하는 대기 속에 해염입자가 포 함되어 우박 성장을 촉진시켰기 때문이다.

우박 크기의 연대별 분포는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 내륙은 일정한 값이 유지하 고 있으나, 제주도는 1970년대보다 1980년대에 약간 작아졌다가 1990년대에 다시 커졌 으며, 울릉도는 1970년부터 1980년까지는 급격히 작아졌으나 1980년대에서 1990년까지 는 크기의 감소 폭이 작아졌다. 내륙지방은 우박 크기의 변화가 거의 없는 반면에 해 상에 위치한 제주도와 울릉도는 크기의 변화폭이 컸던 것으로 분석된다.

- 22 -



Fig. 11 Same as in Fig. 10 except for seasonal.



Fig. 12 Same as in Fig. 11 except for yearly.

- 23 -

바. 우박 지속시간 분석

우박 최초로 출현된 시각부터 끝나는 시각까지의 지속시간은 2분과 3분 동안 유지 된 횟수가 각각 61회로 가장 많고, 5분이 60회, 1분이 31회의 순으로 출현되었으며, 20 분 이상도 28회가 출현되는데, 이때는 단속적으로 여러 차례 출현된 날이다(Fig. 13).

한반도에서 우박 지속시간은 10분 이내가 약 82%를 차지하여 대부분의 우박은 시작 된 후 10분 이내에 끝나는 것으로 분석되었다.

Fig. 14에서 보는 바와 같이 제주도는 우박 지속시간이 울릉도보다 짧은 7분 이내에 끝나는 반면 울릉도는 제주도보다 우박 출현 시간이 더 긴 것으로 분석되었다.



Fig. 13 Minutely mean of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000.



Fig. 14 Same as in Fig. 13 except for on Jeju and Ulleung.

- 24 -

사. 우박 출현일 천둥·번개 동반 유무 분석

우박이 출현할 때 천둥·번개를 동반하는 지에 대해서 분석해 보면, Fig. 15에서 보 는 바와 같이 내륙지방은 4월부터 10월까지는 천둥·번개를 동반하고 우박이 출현한 일수가 더 많았으며, 11월부터 익년 3월까지는 천둥·번개를 동반하지 않은 우박의 출 현 일수가 더 많았다.





Fig. 15 Frequency of thunder and lightning occurrence over hail event in Korea from 1972 to 2000. 'Y' indicates the thunder lightning accompanies with the hail falls, 'N' indicates to not accompanies with the thunder lightning when the hail falls.

- 25 -

제주도와 울릉도는 11월부터 익년 4월까지 천둥·번개를 동반하지 않고 우박이 sofls 일수가 더 많았다. 그 원인은 늦은 가을철부터 이른 봄철까지는 운층이 낮아 구름 상 부의 ⊕ 전하와 하부의 ⊖ 전하가 천둥·번개를 동반할 만큼 충분하게 전하 분리가 어 렵게 되어 공중 방전이 적었던 것으로 판단된다.

특히 제주도는 겨울철에 우박이 많이 출현하므로 운층이 낮아 천둥·번개를 발생시 킬 만큼 충분한 전하 분리가 이루어지지 않기 때문에 천둥·번개를 동반하지 않고 우 박이 출현된 것으로 추정할 수 있으며, 상·하층 간에 전하 분리가 충분한 8월에 우박 이 출현할 때는 100% 천둥·번개를 동반하였다.

아. El Niño, La Niña 및 평균해의 우박 출현 일수 분석

Table 2는 El Niño와 La Niña가 나타난 해이며, El Niño와 La Niña를 제외한 해는 평균해로 간주하였다.

Fig. 16은 1972년부터 2000년까지 29년간 내륙지방의 El Niño, La Niña 및 평균해의 우박 일수이다.

El Niño 해는 12년간 120일이 출현하여 연평균 10일이었고, La Niña해에는 11년간 87일이 출현되어 연평균 7.9일이었으며, 평균해에는 9년간 81일이 출현되어 연평균 9.0 일이 나타나, El Niño 해에 가장 빈도가 높았고, La Niña해는 가장 적었으며, 평균 해는 중간으로 나타났다.

제주도와 울릉도도 내륙과 동일하게 El Niño 해에 우박이 자주 출현한 반면, 제주도 는 La Niña해와 평균해에 동일하게 우박이 출현하였으며, 울릉도는 La Niña 해가 평 균해보다 더 자주 출현하였다.

El Niño 해에 우박 출현이 많은 이유는 서태평양의 따뜻한 수면이 동태평양으로 이 동하여 동태평양에서 수온이 높아져 동태평양 상공에는 증발되는 수증기가 서태평양보 다 많아 동태평양 상에 접해있는 대기의 하부는 쉽게 승온 되어 상승기류가 활성화 되 는 반면에 서태평양상은 따뜻한 해수면이 동태평양으로 이동함에 따라 용승에 의해 수

- 26 -

온이 낮아 대기 하부를 냉각시키기 때문인 것으로 추정된다.

따라서 워커순환(Walker Circulation)이 활발해지면서 동태평양 상에서 상승한 기류 는 다시 서태평양 상공으로 이동하여 하강하게 되므로 동서 순환이 활발해져 서태평양 상에는 고기압이 형성된다. 이 고기압은 시계 방향으로 회전하므로 저위도의 온난·다 습한 대기를 중위도에 위치한 한반도로 수송시키는 엔진 역할을 하는 것으로 분석된 다. 따라서 한반도에는 La Niña 해보다 El Niño 해가 저위도의 온난 다습한 기류가 강하여 수증기가 풍부하게 유입되어 우박 발생을 용이하도록 작용한 것으로 분석된다.

Table 2. Years of El Niño and La Niña from 1972 to 2000

El Niño	'72/'73	'76/'77	'82/'83	'87/'88	'91/'92	'97/'98
La Niña	<i>'70/'7</i> 1	′73/′74	'84/'85	'88/'89	<i>'</i> 95/'96	′98/′ 00



Fig. 16 Frequency of hail occurrence in Korea from 1972 to 2000.

- 27 -

2. 한반도 우박과 관련된 종관대기 분석

가. 우박 출현이 많은 해의 500 hPa 월평균고도장 변화 분석

1972년부터 2000년까지 29년간 우박 출현 일수가 많은 해와 적은 해를 추출하여 월 별로 그 분포를 조사하였다(Table 5).

Table 3. Monthly of days hail events on 1992 and 1998

Month Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tot.
1992	0	1	0	3	3	2	1	0	0	4	1	1	16
1998	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	5

(1) 우박 출현이 많은 해 봄철의 월평균고도장 변화

1992년의 경우 Table 3에서 보는 바와 같이 3월에는 우박 출현이 없었지만 4월과 5 월에 각각 3일씩 출현하였다.

500 hPa 월평균고도장은 Fig. 17의 a)에서와 같이 3월에는 만주와 한반도 일본 전역에서 상승하였으며, 일본 전역을 중심으로 한 달에 60 m 이상이 상승하였다.

b)에서, 우박이 자주 출현한 4월은 3월과는 다르게 티베트 고원 북쪽에서 한반도를 거쳐 일본 동쪽 해상까지 고도가 30 m 이상 하강 하였으며, 특히 티베트 고원 북쪽과 일본 동쪽해상에서 40~50 m 낮아진 반면 오호츠크 해와 티베트 고원에서 상승하였고, 오호츠크 해에서 캄차카 반도까지는 60 m 이상 상승하였다.

c)에서, 5월에는 티베트 고원에서 양자강을 거쳐 일본 동쪽 먼 해상까지 고도가 하강 하였으며, 특히 일본 동쪽 먼 해상에는 40 m 이상 하강하였다. 즉 500 hPa 층의 고도 하강은 한기이류가 활발하였음을 나타내고 이 한기 이류에 의해 한반도에서 대기 불안 정이 커져 우박이 출현된 것으로 분석된다.

- 28 -



Fig. 17 500 hPa height change a) March, b) April and c) May in 1992.

120E

10N

9ÔE

100E

110E

- 29 -

130E

140E

150E

180E

170E

180

(2) 우박 출현이 많은 해 여름철의 월평균고도장 변화

한반도의 여름철은 저위도에서 북동진하는 저기압 가족의 영향으로 여름철 몬순이 시작된다. 이때는 저위도에서 유입되는 고온다습한 대기로 인해 무더운 날씨가 이어진 다.

Table 3에서 보는 바와 같이 다른 달과는 달리 8월에는 우박이 출현하지 않았지만 6 월에는 2일, 7월에는 1일이 출현하였다. 500 hPa 층의 고도장의 하강은 북쪽 한기의 유입에 의해 하강하므로 대기 하층에서 남쪽에서 한반도로 유입되는 대기와 마찬가지 로 대기를 불안정하게 하는 한 원인으로 볼 수 있다. 즉 상층에서 북쪽으로부터 한반도 로 유입되는 차가운 대기는 온난한 하층대기와 만나면서 불안정이 증가될 것이다. 그러 나 상층에서 남쪽에서 한반도로 유입되는 대기는 500 hPa 층의 고도장을 높이고 한반도 에서 대기는 안정될 것이다.

이런 관점에서 여름철의 500 hPa 월평균고도장을 조사해 보면, Fig. 18 a)에서 보는 바와 같이, 6월에는 일본 홋카이도 남쪽에서 대만을 포함한 중국 남부지방과 일본 남쪽 태평양까지 고도 하강구역이 나타났다. 500 hPa 월평균고도장은 동해에서 40 m, 캄차 카 반도에서 60 m 이상 하강하였다. 그러나 연해주에서는 40 m 이상 상승하여 한반도 에서 500 hPa 월평균고도장이 낮아진 것과는 대조를 보였다.

b)에서, 7월에는 500 hPa 월평균고도장 하강구역이 캄차카 반도 동쪽 해상에서 바이 칼호 동쪽지방까지, 또한 만주 동쪽에 위치한 블라디보스톡과 일본 중부지방에서 하강 구역이 나타났으며, 특히 일본 동쪽 태평양지역은 50 m 이상 가장 많이 하강하였다.

한반도에서 우박이 출현하지 않은 8월은 c)에서 보는 바와 같이 6월, 7월과는 달리 일본 동쪽 해상에서 고도장이 30 m 이상 상승한 지역이 있고, 한반도와 그 주변지역 에는 평년과 비슷한 값을 보였다.

그러나 6월은 7월보다도 500 hPa 층의 월평균고도장이 한반도 주변에서 30 m 이상 큰 값으로 하강하여 한반도 상공으로 북쪽의 한기이류가 탁월하게 유입되어 불안정이 매우 커져 큰 우박이 출현한 것으로 분석된다.

- 30 -







Fig. 18 Same as in Fig. 17 except for a) June, b) July and c) August.

- 31 -

(3) 우박 출현이 많은 해 가을철의 월평균고도장 변화

한반도는 태양복사량에 의해 4계절이 뚜렷하게 나타나는데, 태양 고도가 가장 높은 6월 하순인 하지에는 태양이 북반구에서 가장 북쪽에 위치하여 단위 면적당 태양열이 가장 많아 지면복사량도 가장 많아진다. 따라서 한반도 여름철은 무더운 날씨가 이어 지면서 지면 장파복사가 최대가 되어 연중 최고기온이 나타난다. 그러나 가을철로 접 어들면서 여름철에 한반도의 날씨를 지배하였던 북태평양고기압이 수축할 때 북쪽의 차가운 대기는 중국 북쪽에서 양자강 방면으로 팽창되면서 중국 대륙의 건조지대를 통 과하여 대기하부에서 온난, 건조한 대기로 변질되어 양자강 부근에 도착한다. 이 이동 성고기압이 동진할 때 한반도에는 맑은 날이 나타나기도 하지만 때때로 대륙의 차고 건조한 대기가 한반도로 이동하여 대기 불안정이 커져 적난운이 발생된다.

Table 3에서 보는 바와 같이 9월에는 우박이 내리지 않았지만 10월에는 4일, 11월에는 1일이 출현하였다.

즉 500 hPa 평균고도장의 변화는 Fig. 19 a)에서 보는 바와 같이 우박이 내리지 않 은 9월에는 한반도를 포함하여 중국 산둥반도까지 고도가 상승하였으나, 바이칼호 서 쪽에서 일본 동쪽 해상까지 하강하였다.

b)에서, 이 1992년도의 10월은 우박이 가장 많이 내린 달로서, 이때 500 hPa 월평균 고도장은 티베트고원 동쪽에서 한반도를 포함하여 일본 동쪽 해상까지 고도가 하강하 였으며, 특히 우리나라 서해상에서 30 m 이상 하강하였다.

c)에서, 1일이 출현한 11월에는 500 hPa 월평균고도장이 중국 화남지방에서 필리핀 동 쪽 해상까지 고도가 하강하였으나, 일본 동쪽해상에서 바이칼호 남서쪽까지 고도가 상승 하였다.

즉 500 hPa 층의 고도장 하강은 한기이류가 활발하였음을 나타내고 있으며, 이 때 한반도에서 한기이류가 활발하여 불안정이 커져 우박이 내린 것으로 분석된다.

- 32 -







Fig. 19 Same as in Fig. 17 except for a) September, b) October and c) November.

- 33 -

(4) 우박 출현이 많은 해 겨울철의 월평균고도장 변화

한반도 겨울철은 태양의 고도가 적도를 지나면서 일사량이 줄어들기 시작하여 12월 하순 동지에는 23.5°N에 위치하여 한반도에서 단위면적당 일사량은 연중 최저가 된다. 그러나 지면이 냉각되는 기간이 있어 연 최저기온은 1월에 나타난다.

Table 3에서 보는 바와 같이 1월에는 우박이 출현하지 않았고, 2월과 12월에는 각각 1일이 출현하였는데, 우박이 출현하지 않은 1월은 높은 고도장이 Fig. 20 a)에서와 같 이 히말라야 산맥에서 일본 동쪽 해상까지 폭넓게 형성되었고, 낮은 고도장은 중국 양 자강 하류에서 중국 남쪽 통킹만까지 나타났다.

b)에서, 우박이 1일이 출현한 2월은 500 hPa 월평균고도장이 1월과는 달리 고도 하 강구역이 바이칼호 서쪽에서 일본 북부지방인 홋카이도를 지나 캄차카 반도까지 길게 위치하고 있으며 그 중에서 바이칼호 남서쪽에서 60 m 이상 하강하였다.

c)에서, 우박이 1일 출현한 12월에는 낮은 고도장이 서해상에서 캄차카 반도까지 폭 넓게 나타났으며, 고도 상승구역은 중국 화남지방에서 베트남까지 나타났다.

위에서 밝혀진 바와 같이 겨울철에도 우박이 출현하지 않은 달은 한반도를 포함하여 그 주변지역에서 월평균고도장이 상승하였으나, 우박이 출현한 달에는 한반도를 포함 한 주변지역에서 고도장 하강이 뚜렷하였다.

이는 우박이 출현한 달에는 한기이류가 활발하였음을 나타내고 있다. 즉 한반도는 다른 달과 마찬가지로 겨울철에 500 hPa 월평균고도장이 낮을 때는 우박이 내리고, 높 을 때는 우박이 내리지 않았다. 즉 겨울철에도 월평균고도장이 낮을 때 한기이류가 탁 월하고, 이 때 대기 불안정이 커져 우박이 내린 것으로 분석된다.

- 34 -







Fig. 20 Same as in Fig. 17 except for a) January, b) February and c) December.

- 35 -

나. 우박 출현이 적은 해의 500 hPa 월평균고도장 변화 분석

(1) 우박 출현이 적은 해 봄철의 월평균고도장 변화

1972부터 2000년까지 29년간 우박이 내린 일수는 1998년은 5일로 1992년에 비하여 11일이 적게 출현하였다(Table 3).

우박이 1일 내린 3월의 500 hPa 월평균고도장은 Fig. 21 a)에서 보는 바와 같이 바이칼호에서 한반도를 거쳐 필리핀 북쪽까지와, 대화퇴에서 하와이까지 상승 하였으며, 고도가 가장 많이 상승한 지역은 60 m 이상이었다.

b)에서, 우박이 1일 출현한 4월은 3월과 마찬가지로 중국 화남지방과 바이칼호 북서쪽 일부지방을 제외한 동아시아 전역에서 고도가 상승하였으며, 특히 한반도 부근에서 가장 많이 상승하였다. 그러나 캄차카 반도 북쪽에는 고도 하강지역이 뚜렷하게 나타나고 있다.

c)에서, 우박이 출현되지 않은 5월에는 티베트 서쪽에서 중국 전역과 베트남과 필리핀 그리고 한반도를 포함하여 일본 동쪽 먼 해상까지 고도 상승구역이 나타나고 있으며, 특 히 우리나라 동해에서 가장 높은 고도장이 나타났다. 그러나 캄차카 반도를 포함한 바 이칼호 북쪽에는 고도장이 하강하였다.

한반도에서 500 hPa 월평균고도장의 상승은 북쪽의 한기이류보다 남쪽의 난기이류 가 증가되어 대기 상·하층간의 기온차가 작아져 대기가 안정화되어 우박 출현이 적었 던 것으로 분석된다.







Fig. 21 500 hPa height change on a) March, b) April and c) May in 1998.

- 37 -

(2) 우박 출현이 적은 해 여름철의 월평균고도장 변화

Table 3에서 보는 바와 같이 6월과 7월에는 우박이 출현하지 않았으나, 8월에는 1일 이 출현하였다. 우박이 출현하지 않은 6월의 500 hPa 월평균고도장은 Fig. 22 a)에서 보는 바와 같이 고도장 상승은 만주 동쪽에서 대화퇴, 그리고 일본 남부지방에서 중국 남쪽 해상까지이며, 특히 캄차카 반도 서쪽과 일본 남동쪽 먼 해상에서 고도가 상승했 다. 그러나 바이칼호 부근 지역은 고도가 하강하였다.

b)에서, 우박이 출현하지 않은 7월에는 고도 상승이 히말라야 산맥 동쪽에서 캄차카 반도 남쪽 해상까지, 그리고 중국 남부지방에서 인도양, 필리핀 동쪽 먼 해상에서 나타 났다. 그러나 일본 남부지방은 하강하였으며, 한반도를 포함한 중국 내륙지방은 월평균 고도장의 평균지역에 위치하고 있다.

c)에서, 우박이 1일 출현한 8월에는 북한에서 일본 홋카이도까지 고도장 하강구역이 나타나고 있으나, 남한은 평균지역에 위치하고 있다. 고도 상승구역은 바이칼호 서쪽에 서 캄차카 반도 남동쪽 해상까지 나타나고 있다.

여름철은 다른 계절과는 달리 500 hPa 층의 고도가 평균값일 때 우박이 출현하는 것으로 보아 난기의 유입과 일사에 의한 지면가열이 합쳐져 큰 대기 불안정을 초래하 여 우박이 내리는 것으로 분석된다.







Fig. 22 Same as in Fig. 21 except for a) Jun, b) July and c) August.

- 39 -

(3) 우박 출현이 적은 해 가을철의 월평균고도장 변화

Table 3에서 보는 바와 같이 9월과 10월에는 우박이 출현하지 않았지만 11월에는 2 일 출현하였다.

우박이 출현하지 않은 9월의 500 hPa 월평균고도장은 Fig. 23 a)에서 보는 바와 같 이 남한은 평년과 비슷하였으나, 바이칼호 남쪽에서 캄차카 반도 남쪽까지 고도장 상 승구역이 나타나고 있다. 그러나 바이칼호 북쪽에는 하강구역이 나타나고 있다.

b)에서, 우박이 출현하지 않은 10월에는 500 hPa 월평균고도장이 바이칼호 북쪽을 제외한 동아시아 전역에서 고도상승구역이 나타났고, 특히 우리나라 동해와 일본 중부 지방에서 상승이 뚜렷하였다.

c)에서, 우박이 2일 출현한 11월에는 티베트 고원을 중심으로 동서로 상승구역이 나타 나고, 한반도는 평균고도장에 위치하고 있으나, 만주를 포함한 바이칼호와 캄차카 반도 동쪽 먼 해상까지 하강구역이 나타나고 있으며, 특히 바이칼호 서쪽과 만주 그리고 캄차 카 반도 동쪽 해상에서 하강 구역이 뚜렷하였다.

9월과 10월은 500 hPa 층의 고도가 상승하여 난기이류가 활발하여 우박이 내리지 않 았으나, 11월에는 고도가 크게 하강하여 대기 불안정이 커져 우박이 내린 것으로 분석 된다

- 40 -







Fig. 23 Same as in Fig. 21 except for a) September, b) October and c) November.

- 41 -

(4) 우박 출현이 적은 해 겨울철의 월평균고도장 변화

Table 3에서 보는 바와 같이 겨울철에는 우박이 출현하지 않았다. 우박이 출현하지 않은 1월에는 500 hPa 월평균고도장이 Fig. 24 a)에서 보는 바와 같이 한반도에서 월 평균고도장은 평년과 비슷하였으며, 바이칼호 남쪽에서 일본 동쪽 해상까지는 하강구 역이 나타났고, 특히 캄차카 반도 남동쪽 해상에서 하강구역이 뚜렷하게 나타났다. 그 러나 고도 상승구역은 인도양에서 일본 남쪽 해상에서 나타났다.

b)에서, 우박이 출현하지 않은 2월의 500 hPa 월평균고도장의 상승구역은 티베트와 바이칼호를 포함하는 지역과 중국, 한국, 일본 등 동아시아 지역에서 나타났다. 반면 매우 큰 고도장 하강 구역은 캄차카 반도 동쪽에서 타나났다.

c)에서, 우박이 출현하지 않은 12월에도 500 hPa 월평균고도장은 티베트와 중국 전 역 그리고 한반도 및 일본과 일본 동쪽 해상에서 고도가 상승하였으나, 오호츠크해와 캄차카 반도에서는 하강하였다.

즉 500 hPa 층의 고도 상승과 평균고도 지역은 난기이류가 활발하여 상·하층간의 기온차가 적어 불안정이 증가하지 못하여 우박이 내린 일수가 적었던 것으로 분석된 다.

- 42 -







Fig. 24 Same as in Fig. 21 except for a) January, b) February and c) December.

- 43 -

다. 큰 우박현상과 500 hPa 월평균고도장 변화 분석

(1) 큰 우박 출현과 봄철의 월평균고도장 변화

1972년부터 2000년까지 29년간 우박이 내린 일수는, Table 3에서 보는 바와 같이 1998년은 5일로 1992년에 비하면 11일 적게 출현하였다.

500 hPa 월평균고도장은 Fig. 25의 a)에서 보는 바와 같이 1981년 5월 30일 춘천에 서 직경 3.5 cm의 우박이 출현된 달의 평균 고도는 발해만과 만주 일부지방을 포함한 한반도 전역이 고도 하강구역에 위치하고 있으며, 특히 발해만 부근에서 고도가 40 m 이상 낮아졌다. 이는 발해만 부근에 절리저기압이 발생되어 한반도 상공으로 한기이류 를 탁월하게 형성하는 조건이 된 것으로 분석되며, 바이칼호 남서쪽에서 일본 북쪽 사 할린을 거쳐 캄차카 반도 서쪽까지는 고도 상승구역이 나타났다.

b)에서, 1992년 5월 23일 동해시에서 직경 2.5 cm의 우박이 출현한 달은 티베트와 중 국 화중지방에서 화남지방까지, 그리고 한반도를 포함한 동해와 남해 및 일본 전역과 일본 동쪽 해상까지 대상으로 고도 하강구역이 나타나고 있으며, 특히 우리나라 동해 에서 50 m 이상 하강하였다.

c)에서, 1993년 4월 24일 서울에서 직경 2.0 cm의 우박이 출현된 달은 티베트에서 중 국 황하강까지 고도 하강이 적었으나, 한반도를 포함한 일본 전역과 일본 동쪽 해상에 서 고도 하강이 뚜렷하였다. 특히 발해만에서 일본 동쪽 먼 해상과 캄차카 반도 남쪽 해상에서 60 m 이상 고도가 크게 하강하였다.

즉 500 hPa 층의 고도가 하강할 때 한반도로 한기이류가 활발하여 큰 우박이 내린 것으로 분석된다.

- 44 -







Fig. 25 500 hPa height change on a) May 1981. b)May 1992. and c)April 1993.

- 45 -

(2) 큰 우박 출현과 여름철의 월평균고도장 변화

Fig. 26 a)는 1979년 6월 25일 춘천에서 직경 2.0 때의 우박이 출현된 달의 고도장으 로, 우리나라 동해에서 일본 동쪽해상까지 30 m 이상 상승하였고, 특히 바이칼호 부근 에서도 60 m 이상 상승하였다. 그러나 발해만 부근에서는 10 m 정도의 하강 구역이 나타났다.

b)는 1992년 7월 2일 제천시에서 직경 2.5 cm의 우박이 출현한 달의 500 hPa 월평균 고도장으로, 우리나라 전역에서 평균값으로 나타났으나, 고도장 하강구역이 만주 북부 에서 캄차카 반도까지 나타났으며, 특히 캄차카 반도에서 50 m 이상 하강하였다.

c)는 1995년 8월 15일 경상북도 문경시에서 직경 2.0 cm 의 우박이 출현하였는데 이
때의 500 hPa 월평균고도장으로, 일본 남부지방인 규슈부근과 바이칼호 북쪽에서 40
m 이상의 고도 상승이 있었다. 즉 8월은 다른 달과는 달리 500 hPa 층의 고도가 평균
장보다 상승할 때 우박이 내리는 것으로 보아 난기이류가 활발할 때 지면가열로 대기
불안정이 커져 우박이 내리는 것으로 분석 된다.



- 46 -



Fig. 26 Same as in Fig. 25 except for a) June 1979. b) July 1992. and c) August 1995.

(3) 큰 우박 출현과 가을철의 월평균고도장 변화

1979년 10월 11일 대전시에서 직경 2.0 cm의 우박이 출현된 달의 500 hPa 월평균고 도장(Fig. 27 a))에서 보는 바와 같이 중국 화중지방과 우리나라 남해안까지 고도가 하 강하였으며, 특히 중국 동안에서 30 m 이상 하강하였고, 바이칼호 북쪽에서 캄차카 반 도 동쪽 해상까지는 고도장이 크게 하강하였다. 그러나 고도장 상승구역은 티베트고원 에서 일본 동쪽해상까지 광범위하게 나타났다.

- 47 -

b)는 1980년 9월 2일 춘천시에서 2.8 cm의 우박이 출현한 달의 500 hPa 월평균고도 장으로, 한반도에서 일본 북쪽지방까지 최고 40 m 이상 고도가 하강하였다. 그러나 바 이칼호 부근과 일본 남동쪽 해상에서는 20 m 이상 상승하였다.





Fig. 27 Same as in Fig. 25 except for a) October 1979. and b) September 1980.

라. 결과 및 토의

NCEP 자료를 이용하여 한반도의 우박 출현과 500 hPa 월평균고도장 변화도와의 관 련성을 조사하기 위하여 1972년부터 2000년까지 29년간 우박 출현이 가장 많았던 1992

- 48 -

년과 적었던 1998년을 선택하여 한반도를 포함한 한반도 주변의 월평균고도장 변화를 파악하는 한편 직경 2.0 cm 이상의 큰 우박이 출현한 달의 500 hPa 월평균고도장의 변 화를 월별로 구분하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

 북반구에서 비발산고도인 500 hPa 층에서 시계 방향으로 회전하는 대기에서는 음(-) 의 와도가 나타나 하층 대기에 비해 상대적으로 수분이 부족한 상층대기가 하층으 로 하강하여 단열 승온 된다. 또한 한반도 남쪽에서 시계방향으로 회전하는 대기는 남쪽의 난기를 한반도로 유입시킬 때는 한반도에서 상층과 하층간의 기온차가 적운 안정된 대기가 형성되어 우박 발생이 어렵다.

8월에는 다른 달과는 달리 500 hPa 층의 고도장이 상승하였다. 이때는 낮 동안에 일사에 의한 지면가열에 의한 장파복사가 왕성하기 때문에 하층 대기가 데워져 대 기 불안정이 매우 커져서 큰 우박이 출현한 것으로 분석된다.

2. 큰 우박이 출현한 달에는 500 hPa 월평균고도장이 한반도 상공에서 하강하였을 때 이다. 즉 우박이 자주 출현한 1992년도는 월평균고도장 하강이 뚜렷하였고, 우박이 적게 출현된 1998년은 고도장 하강은 적고, 고도장 상승이 뚜렷하였다. 이는 고도장 하강은 북쪽의 한기이류가 활발하였다는 것을 나타내며, 고도장 상승은 남쪽의 난기이류가 활발하였다는 것을 잘 나타내는 것으로 판단된다. 즉 고도장 하 강이 뚜렷할 때는 대기 상층으로 한기이류가 활발하여 대기 불안정이 매우 커져 큰 우박이 출현한 것으로 분석 된다.

- 49 -

3. 한반도 우박 관련 500 hPa 일기도 유형 분류와 유형에 따른

우박 출현지역 특성 분석

가. 기상학적 배경

대기 중층에서 한기 이류가 중층대기를 냉각시켜 주변보다 층후를 얇게 만들어 중규 모적인 절리저기압이 발생된다(엄원근, 정관영, 1997). 북반구에서 절리저기압은 한기이 류에 의한 냉각의 크기에 비례하여 고도가 낮아지게 된다. 고도가 낮아진 절리저기압 은 북반구에서 반시계 방향으로 회전하는 대기가 만들어지는데, 대기 중층에서 대기 냉각이 더욱 심하게 되면, 층후가 더욱 낮아져 반시계 방향의 회전속도는 더욱 증가하 여 중규모적인 절리저기압은 더욱 발달하게 된다. 이렇게 발달된 절리저기압은 반시계 방향의 회전속도의 증가에 의해 하부 대기가 위로 늘어나는 작용(stretching)이 일어나 면서 하부대기가 상공으로 빠르게 이동하게 된다.

절리저기압이 발달하면 발달 할수록 하부 대기가 상공으로 솟아오르는 힘이 커져 대 기 상층에서 발산이 증가하고, 또한 지상에는 수렴이 증가하여 지상 저기압은 더욱 발 달하게 되어 온난전선과 한랭전선을 동반하게 된다.

또한 대기 중층에서 한기 이류가 증가하고 하층에서 난기 유입이 활발하면 대기 상 층과 하층간의 기온 차가 커져 불안정이 증가하여 하층 대기와 상층 대기의 상하 순환 이 활발해지면서 수증기가 풍부한 하층 대기가 상공으로 수송되면서 CCL에서 응결된 다. 하층의 난기는 상층의 대기보다 수증기를 많이 포함하는데, 이 수증기가 상공으로 수송되면서 응결될 때는 1g의 수증기는 597 cal의 열을 발산하게 되므로 이 열에 의해 상승하는 공기 괴는 더욱 팽창해져 부력이 증가하여 빠른 속도로 상승하게 된다.

대기의 상승 속도를 증가시키는 요인은 상하층간의 바람층밀리기인데 이 바람층밀리 기가 크면 클수록 상승속도도 증가하게 된다. 우박 알갱이는 상승하는 온난대기와 상 층에서 하강하는 건조대기 사이의 바람층밀리기 구역에서 상하 운동을 계속하게 하는 데, 시작단계에서는 작은 우박 알갱이가 과냉각 수적 층을 통과할 때 우박 표면에 수

- 50 -

적이 달라붙은 후 상승기류를 만나 다시 상승할 때 FL 이상 층에서 얼어붙어 우박 알 갱이는 더욱 커진다.

지구의 자전축이 23.5° 기울어진 상태로 태양에 대해 공전과 자전을 하기 때문에 태 양은 적도를 중심으로 남·북위 23.5° 사이에 위치하게 된다. 따라서 적도지방과 극지 방은 태양으로부터 받는 단위 면적당 열량의 차이가 나타나기 때문에 기온의 불균형이 나타나 남·북반구의 대기 대순환이 나타난다.

따라서 중규모적인 한기이류가 탁월할 때 상층 저기압이 형성되고, 이 상층 저기압 의 동진을 저지하는 저지고기압이 한반도 동쪽에 위치할 때 상층 골의 이동이 느려져 지속적인 상승기류와 하강기류를 초래하여 우박 성장을 돕는 좋은 조건이 만들어 진 다. 중위도 편서풍대에는 지구 자전의 영향으로 대기 파동이 발생되는데, 이를 로스비 파(Rossby wave)라고 하며 한반도 우박이 발생되는 mechanism에 영향을 준다. 즉 로 스비파는 파장이 임계 파장과 같게 되면 정체하나 파장이 커서 임계 파장보다 크면 서 진한다.

만약 절리저기압이 한반도 또는 그 부근에 위치할 때 160~170 °E 부근에 저지고기 압이 형성되면 한반도 북서쪽의 절리저기압의 남동진이 저지되어, 한반도 상공으로 한 기이류가 지속되어 대기 불안정이 커지는데, 이는 우박 형성을 촉진하는 원인으로 작 용하는 것으로 분석된다.

나. 우박 관련 500 hPa 일기도 유형 분류

Fig. 28과 같이 우박 관련 500 hPa 일기도를 6개의 유형으로 분류하여 조사한 결과 Table 4에서 보는 바와 같이 정낭형은 34년간 91일, 좌경낭형은 76일, 우경낭형은 3일, 울릉정낭형은 42일, 울릉좌경낭형은 70일, 울릉우경낭형은 21일, 북태평양고기압권에서 4일이 출현하였다.

- 51 -



Fig. 28 Types of Cut of Low on 500 hPa chart for a) straight pouch, b) left-tilted pouch, c) right-tilted pouch, d) Ulleung-straight pouch, e) Ulleung-left-tilted pouch and f) Ulleung-right-tilted pouch.

Table 4. The number of types of 500 hPa on hail event

Туре	Straight pouch	Left -tilted pouch	Right-tilted pouch	Others.
Days	91	76	3	4
Туре	Ulleung -straight pouch	Ulleung-left-tilted	Ulleung-right -tilted pouch	
Days	42	70	21	307

- 52 -

다. 우박 관련 500 hPa 일기도 유형에 따른 우박 출현 분포

(1) 정낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 a)와 같은 정낭형은 1972년부터 2005년까지 34년간 Table 4에서 보는 바와 같이 총 307일 중 91일이 나타나 6개 유형 중에서 우박 출현 일수가 가장 많았다.

정낭형일 때 한반도에서 우박이 나타난 일수 분포는 Fig. 29와 같다.

정낭형의 이동은 6개의 유형 중에서 가장 느리게 동진하였는데, 이는 동쪽에 저 지 현상이 있었고, 또한 발달된 상층 저기압은 역회전하는 속도가 커져 동진하는 속도가 느려졌다.

이 유형은 한반도에서 나타난 6개 유형 중에서 가장 넓은 지역에 우박이 출현하 였으며, 우박 출현 분포는 Fig. 29와 같다. 그 이유는 한반도가 중위도에 위치해 편 서풍이 탁월하여 태백산맥의 서쪽에서 풍상측이 형성됨에 따라 강원도 영서지방에 서 우박이 자주 출현하는 결과를 초래하였고, 또한 충청남도 태안반도를 중심한 서해안지방에서 자주 나타나는데, 이는 서해상에서 공급된 수증기가 서풍에 의해 내륙지방으로 수송되어 서해안지방에 우박이 자주 출현하는 원인이 되었고, 서해 상에서 공급된 수증기는 해상에서 공급될 때 해염 입자가 섞여 있어 이 해염입자 가 응결핵으로 작용하여 해상에 가까운 해안지방에서 우박 출현 일수가 늘어난 것 으로 분석된다.

그 외 우박 다발지역으로는 지리산 서쪽에 위치한 호남지방을 들 수 있다. 이 지 역도 앞서 언급한 바와 같이 지리산의 서쪽은 풍상측이 되어 우박이 자주 출현하 는 것으로 분석되고 있다. 이는 서서히 이동하는 절리 저기압이 동진 할 때 남해 상에서 서풍 또는 남서풍이 불 때 한반도로 풍부한 수증기가 수송될 때 주로 풍상 측인 지리산의 서쪽지방인 호남지방에서 자주 우박이 출현하는 것으로 분석된다.

- 53 -



Fig. 29 Distribution chart where the hail appears from the straight pouch type.

(2) 좌경낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 b)는 좌경낭형으로서 총 307일 중 76일이 출현하여 정낭형 다음으로 우 박이 자주 출현하는 유형이다(Table 4).

Fig. 30의 좌경낭형도 정낭형과 크게 다른 우박 출현 분포를 보이는 것은 아니나 인천 부근의 서해안과 태백산맥의 서쪽인 강원도 영서지방, 그리고 노령산맥 서쪽

- 54 -

에 위치한 전주 부근과 지리산의 서쪽에 위치한 목포 부근에서 자주 출현하는 것 으로 분석된다.

좌경낭형은 정낭형에서 설명한 바와 같으며, 다만 좌경낭형은 정낭형보다 이동 속도가 빨라 우박 출현지역은 정낭형에서 출현하는 지역보다 좁은 것으로 분석되 었다.



Fig. 30 Distribution chart where the hail appears in Korea from the left -tilted pouch type.

- 55 -

(3) 우경낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 c)와 같은 우경낭형은 1976년 10월 18일, 1988년 4월 19일, 1996년 5월 8 일에 출현하였으며, 타 유형에 비해 우박 출현 일수가 너무 적어 분포도를 작성하 기 어려웠다. 우경낭형에서 우박이 떨어진 지역은 서울을 포함한 중부지방과 전라 북도 임실, 경상북도 울진에서 각각 1일이 관측되어 지역적 특성이 나타나지 않았다.

우경낭형은 모양이 우측으로 기울어져 바람층밀리기가 한반도에 형성되지만 한 난의 차가 큰 바람층밀리기는 나타나지 않고, 큰 바람층밀리기는 한반도 동쪽에 형성되어 난기 유입보다 한기 유입이 활발하여 큰 우박이 형성될 정도의 상하층간 의 온도차가 나타나지 않아 대기 불안정이 나타나기 어려웠고, 또한 큰 우박이 형 성되기 위해서 지속적인 바람층밀리기가 유지되어야 하는데 그 시간이 짧아 큰 우 박으로 성장하기 어려웠던 것으로 판단된다.

(4) 울릉정낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 d)와 같은 울릉정낭형은 총 307일 중 42일이 출현하여 14%를 차지하였으며, 이 유형 일 때 한반도에서 출현된 우박 분포는 Fig. 31과 같다.

이 그림에서와 같이 한반도 전역에서 산발적으로 우박이 출현하였고, 특히 우박
 이 자주 출현된 지역은 지리산과 그 주변지역이었다. 울릉정낭형의 기압패턴에서
 는 지리산 부근에서 우박이 자주 출현한 것으로 분석되었다.

- 56 -


Fig. 31 Same as in Fig. 30 except for Ulleung-straight pouch type.

(5) 울릉좌경낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 e)와 같은 유형은 총 307일 중 70일로 23%를 차지하고 있으며, 이 유형에서 우박이 자주 출현된 지역은 Fig. 32와 같다.

이 그림에서처럼 주로 지리산 부근과 충청남도 서해안과 경기도 서해안, 대백산 맥 서쪽지방인 영서지방에서 우박이 자주 출현하였다. 이는 상층 골이 한반도 상 공에서 남서방향으로 형성됨에 따라 남쪽의 습윤한 대기가 한반도로 수송이 원활

- 57 -

하게 되었으며, 따라서 울릉정낭형 보다 대기 불안정이 자주 발생한 것으로 분석 된다.





(6) 울릉우경낭형에서 출현한 우박 분포 분석

Fig. 28 f)와 같은 유형에서 출현한 우박 일수는 21일로 307일 중 7%를 차지하고 있다. Fig. 33과 같이 울릉좌경낭형에서는 경기도와 태백산맥의 동쪽인 영동지 방과 제주지방에서 산발적으로 출현되었으며, 특히 이 유형은 겨울철에 서해상을

- 58 -

거쳐 제주지방으로 한기를 유입시켜, 서해상에서 해기 차에 의해 형성되는 불안정 으로 제주지방에 우박을 초래하는 것으로 분석된다.



Fig. 33 Same as in Fig. 30 except for Ulleung-right-tilted pouch type.

- 59 -

라. 우박 출현 전일의 대기 분석

(1) 300 hPa 아열대 제트기류 위치와 풍속

Fig. 34는 한반도에서 우박이 출현한 날을 1972년부터 2000년까지 29년간 300 hPa의 아열대제트 평균위치와 평균풍속을 모델화한 자료이다.

상층에서 한기가 남쪽으로 이동함에 따라 대기 하부에서는 지면의 장파복사에 의해 기온이 상승하여 위치불안정은 더욱 증가하게 되면서 상·하층간의 대류가 활성을 띠 게 된다. 또한 제트 축을 중심으로 북쪽은 한기, 남쪽은 난기가 위치하게 되어 한난의 기온차가 크면 클수록 풍속이 증가하게 되어 요란이 일어난다. 제트기류의 북쪽에는 상층에서 발산하는 대기를 형성하여 대기 중층인 500 hPa 층에서 반시계 방향으로 작 용하는 대기를 유도하여 절리저기압의 발생을 유도하고, 그에 따라 양(+)의 와도 값을 증가시키는 역할을 하게 된다. 이에 따라 하부대기의 수렴을 유도하고 연직 상승류를 증가시키는 지표가 된다. 따라서 아열대 제트기류는 우리나라 남해상에 위치하고, 풍속 이 100 kts 이상 강해야 한다. 이는 지상저기압을 발달시켜 반시계 방향으로 작용하면 서 저위도의 온난 습윤한 대기를 한반도로 수송시키는 작용을 한 것으로 밝혀졌다.



Fig. 34 Location of Polar jet stream and Sub-tropical jet stream axis and isotach of 300 hPa of a day before hail occurrence.

- 60 -

(2) 700 hPa 습수의 변화

하층의 수증기가 하층의 대기와 함께 상층으로 상승할 때 수증기는 응결되면서 잠열 을 방출한다. 따라서 대기는 가열되어 상승류가 더욱 증가한다.

1975년 동래에 거대우박이 떨어진 날에도 습수 4 ℃ 이하의 값이 한반도를 남북으로 덮고 있었다(김성삼, 손형진, 1977).

Fig. 35에서 보는 바와 같이 우박현상 전날에 850 hPa 층에서 습수가 평균 1.2 ℃이 고, 700 hPa 층은 평균 1.4 ℃로 대기의 습윤도가 높았음을 알 수 있다.



Fig. 35 Monthly mean moisture of hail event occurrence of 850 hPa and 700 hPa of the day before from 1972 to 2000.

- 61 -

(3) 850 hPa 풍속

하층의 강풍은 단위 면적당 통과하는 공기의 양을 크게 하므로 남풍 계열일 경우에 는 많은 수증기를 한반도로 수송하는 역할을 한다. 이는 한반도에 우박이 출현되는데 필요한 수분을 공급하는 좋은 조건이 된다.

Fig. 36에서 보는 바와 같이 우박 현상 전날의 850 hPa 층의 풍속은 2월에 28 kts 의 풍속이 나타나고, 여름철인 8월에는 가장 약한 25 kts의 풍속이 나타났으며, 그 이 외의 모든 달에도 평균 28 kts 이상의 강풍이 불었다. 즉 우박 현상이 나타나기 전날 부터 한반도 주변에는 하층 제트기류가 형성되는 것을 알 수 있다.



Fig. 36 Monthly mean wind speed of hail event occurrence of 850 hPa of the day before from 1972 to 2000.

- 62 -

(4) 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa 솔레노이드 분석

불안정의 척도가 되는 솔레노이드 수는 2개의 등압선과 2개의 등온선이 교차할 때 만들어진 마름모꼴을 솔레노이드로 정의하고, 우박 현상 전날의 일기도에서 조사해 보 면 Fig. 37에서처럼 여름철과 겨울철은 2~7개로 나타났으나, 봄철과 가을철에는 5~13 개로 많이 형성되어 여름철이나 겨울철보다는 봄철과 가을철에는 경압불안정이 더 큰 가운데 우박이 출현하는 것으로 분석된다.



Fig. 37 Monthly mean numbers of solenoid of hail event occurrence of the day before from 1972 to 2000.

- 63 -

마. 결과 및 토의

한반도를 중심으로 남·북위 10°, 즉 1,500 ×1,500 km (30~45°N, 120~135°E)의 범위를 정하고 그 범위 내의 대기를 기상청에서 작성된 일기도를 이용하여 분석하였다.

1972년부터 2005년까지 34년간 한반도에서 직경 0.5cm 이상의 우박이 출현된 307일 에 대해서 500 hPa 절리저기압의 모양에 따라 기상청에서 작성한 일기도를 이용하여 유형을 분류하여 총 6 개의 유형을 조사한 결과는 아래와 같다.

- 비발산 고도인 500 hPa 층의 절리저기압의 모양에 따라 유형을, 정낭형, 좌경낭형, 우경낭형, 울릉정낭형, 울릉좌경낭형, 울릉우경낭형 등 6개의 낭형으로 분류하였다.
- 바람층밀리기의 크기를 증가시키는 500 hPa 절리저기압이 한반도 부근에 형성될 때 한기이류가 탁월하여 상·하층 간에 대기 불안정이 커져 우박 출현이 증가되는 것 으로 해석된다.
- 유형별 우박 분포 특성에서 정낭형은 바람층밀리기의 이동속도가 좌경낭형에 비해
 느려 우박 출현지역이 넓은 것으로 분석된다.
- 4. 우경낭형은 큰 바람층밀리기가 한반도 동쪽에 형성되어 난기 유입보다 한기 유입이 우세하여 대기 상·하층 간에 한난의 기온 차에 의한 우박이 형성될 정도로 매우 큰 대기 불안정이 나타나기 어렵고, 또한 지속적인 바람층밀리기가 유지되는 시간이 짧아 큰 우박으로 성장하기 어려운 것으로 분석된다.
- 5. 우박 출현 1일전에는 대기 상태가 호우 조건과 비슷하지만, 우박 일의 대기는 호우 때와는 달리 적정한 CCL(약 2,320 m), FL(약 3,200 m)과 큰 바람층밀리기가 지속적 으로 유지되어야 할 필요가 있는 것으로 분석된다.

- 64 -

4. 우박 출현일(2006년 6월 9일) 우박 모식도 작성

가. 기상분석 시스템의 개요 및 분석 방법

FAS란 방대한 기상관측자료와 수치모델자료를 종합분석·표출 할 수 있는 예보지원 시스템으로 각종 기상자료의 다양한 분석·표출이 가능하도록 구성되어 있다. 이 시스 템은 기본 자료를 이용한 새로운 자료 생산과 대화형 자료 분석의 장점이 있으며, 사 용자 요구에 맞는 환경설정이 즉 개인 프로시저 생산이 가능하다.

이 시스템을 이용하여 분석·표출할 수 있는 자료 종류는 종관기상관측자료, 각종 원격 탐측자료와 수치모델자료에서 생산된 자료를 중첩해서 분석할 수 있다.

본 자료는 기상분석시스템을 이용하여 2006년 6월 9일 오산 상공에서 우박에 의해 항공기의 노즈레이돔이 잘려나간 날의 우박 관련 기상요소 값을 분석하고, 이를 이용 하여 우박 모식도를 작성하였다.

나. 기온, 바람, 강수량 분석

항공기 사고는 오산 상공에서 발생했으며, 오산 동쪽에 위치한 안성시에서 18시경에 직경 1.7 cm의 우박이 출현했다. 오산 AWS의 최고기온은 28.4 ℃(15시 40분), 최대 순 간풍속은 11.9 m/s(16시 47분), 강수량은 0.5 mm 가 관측되었다.

Fig. 38에서 보는 바와 같이 안성 AWS의 최고기온은 오산과 비슷한 28.5 ℃(15시 32 분), 최대 순간풍속은 우박이 출현한 시각인 18시 02분에 11.5 m/s, 강수량은 22.5 mm 를 기록하였다.

안성보다 서쪽에 위치하고 있는 오산에서 관측된 기록 값을 보면, 안성보다 기온의 하강 폭이 적었으며, 강수량도 오산이 안성보다 적었다. 오산이 안성보다 기상 요소 값 이 약하게 나타났지만 안성은 우박이 지상에 관측되는 시간이었기 때문에 기상 요소 값이 오산보다 변화 폭이 큰 것으로 분석된다.



Fig. 38 Meteorological element change charts. Osan and Ansan automatic weather system.

- 66 -

다. 지상 수렴도 분석

Fig. 39는 10분간 지상수렴도와 발산도를 나타낸 자료로서, 항공기 사고 발생 시간대 에는 오산을 중심으로 동서(東西) 대상으로 5 이상의 수렴도가 나타나고, 가장 수렴이 왕성한 곳은 10 이상으로 나타났다.

오산 서남서쪽에 위치한 태안반도에서 5 이상의 발산이 나타나고, 그 중심은 10 이 상이 나타났으며 오산의 서쪽과 서북서쪽에 15 이상의 수렴도가 나타났다.

오산을 중심으로 동서로 지상 수렴이 형성되고, 특히 오산지방에서 가장 수렴도가 크게 나타나 강한 상승기류가 일어났으며, 서남서쪽과 북동쪽에서 발산이 나타나고 있 어 오산 상공에서 강한 상승기류가 발생되고 있는 증거가 된다.

또한 지표부근의 풍부한 수분이 대기 상부로 수송되면서 응결될 때 방출되는 잠열에 의해 공기괴가 더욱 불안정하게 된 것으로 분석된다.



Fig. 39 Convergence and divergence chart 0900 UTC 09 June 2006 in Korea; The aircraft accident occurred from inside the circle.

- 67 -

라. 500 hPa 기온과 지상 최고기온의 차

지상과 상층의 기온차가 크면 클수록 불안정은 더욱 커지게 된다. 즉 지상과 상층의 기온이 크게 차가 나타 날 때는 대기 중층의 한기이류가 활발할 때 나타나는데, 항공 기 사고 일인 2006년 6월 9일 오산 AWS에서 관측된 지상 최고기온과 오산 고층관측 소에서 관측된 500 hPa 층의 기온은, 오산 일최고기온은 28.4 ℃ 이며, 오산 고층관측 소에서 관측된 15시 500 hPa 층의 기온이 -18.3 ℃로서 지상과 500 hPa 층의 기온은 46.7 ℃의 기온 차를 보여 상층과 하층 간에 불안정이 더욱 커진 것으로 분석된다 (Table 5).

Table 5. Difference of 500 hPa temperature and maximum temperature of Osan AWS on hail event

Date	Tempera	6 T	
	500 hPa	maximum Temp. in SFC	range of Temp.
9 June 2006	- 18.3	28.4	46.7

마. 대기선도 분석

(1) 바람 분석

Fig. 40은 오산 상공의 수직 바람 자료로서 2006년 6월 9일 0000 UTC의 관측 자료를 초기 값으로 이용하여 지역 모델에서 계산된 바람자료로서 3시간 간격으로 나타냈다. 사고 발생 6시간 전인 0300 UTC에는 500 hPa 이하 층에서 순전(veering)이 나타나고, 그 이상 층에서 반전(backing)이 나타났다.

0600 UTC에는 400 hPa 층까지 순전이 나타나고, 그 이상 층에서 반전이 나타났으

- 68 -

며, 강한 풍속의 층이 점차 하층으로 이행되었다.

항공기 사고 시간인 0900 UTC에는 0300 UTC와 같이 400 hPa 층까지 순전이 나타 나고, 그 이상 층에서 반전이 나타났으나, 풍속은 지상까지 점차 강화되었다.

사고 발생 3시간 후인 1200 UTC에는 사고 발생시간인 0900 UTC와 같이 400 hPa 층까지 순전이 나타나고, 그 이상 층에서 반전이 나타났으나, 강풍대의 고도는 점차 높 아져 불안정이 커 질수 있는 조건은 점차 해소된 것으로 분석된다.

오산 상공에서 항공기 사고 발생 6시간 전부터 사고 시간까지 하층에서는 남서류가, 상층에는 북서류가 유입되어 바람층밀리기가 커져 우박이 발생할 수 있는 좋은 조건이 형성되면서 우박 성장이 빠르게 진행된 것으로 분석된다.



Fig. 40 Vertical sounding of wind at a) 0300 UTC b) 0600 UTC, c) 0900 UTC and d) 1200 UTC 09 June 2006; The point is aircraft accident time

- 69 -

(2) 총 리차드슨 수(Bulk Richardson Number, BRN)

미국 기상청 현업에서 이용되고 있는 BRN을 보면, 10 이하에서는 뇌우 가능성이 거 의 없으며, 11~49는 뇌우 가능성이 보통이고, super cell이 나타난다. 그리고 50 이상 일 때는 multi cell이 자주 나타난다.

총 리차드슨 수를 2006년 6월 9일 오산 상공에서 항공기 사고가 발생된 날에 계산된 BRN 값은, 6시간 전인 0300 UTC에는 108.5, 3시간 전인 0600 UTC에는 113.2 로 증가 하였으며, 사고 발생 시간인 0900 UTC에는 122.8 로서 가장 높은 값을 보여 이때는 대기가 극도로 불안정하여 다중 셀이 형성되어 우박이 형성된 것으로 분석된다.

그러나 3시간 후인 1200 UTC에는 14.2로 급격히 낮아진 것으로 보아 대기가 빠른 속도로 안정된 것으로 분석된다.

(3) TTs(Total Totals)

TTs는 VT와 CT를 합산하여 산출한 것과 같은 결과를 타나낸다. 즉, 기온감률과 하 층 수증기를 결합한 것으로 강한 대류의 가능성을 평가한다. TTs가 50을 초과하면 몇 개의 뇌우가 발생할 수 있는 가능성을 나타낸다. 52 이상은 많은 뇌우가 산발적으로 발생하고 56이상은 토네이도를 동반한 많은 뇌우가 발생할 것으로 예상할 수 있다(정 관영, 2000).

오산 상공에서 항공기 사고가 발생 일에 위의 계산식에 의해 계산된 TTs는 6시간 전에는 54 였으며, 3시간 전에는 55 로 증가하였고, 사고 발생 시간에는 50으로 대기가 매우 불안정했던 것으로 분석된다.

(4) 500 hPa 와도

지구대기 질량의 반이 그 아래에 있고, 또 다른 반이 그 위에 있는 층이 500 hPa이 다. 와도는 바람장의 방향 변화나 속도변화 또는 둘 모두에 의해 발생하는 회전 운동 으로 값에 따라 그 세기를 알 수 있다. 보통 기압골에는 반시계 방향으로 회전하는 저 기압성 와도가 위치하며 기압능에는 시계 방향으로의 회전이 있다.

500 hPa 와도 (10⁻⁵ s⁻¹)에서 기압골과 기압능 부근에서는 각각 회전에 의한 양(+)의

- 70 -

와도구역과 음(-)의 와도 구역을 볼 수 있다.

와도는 고도장보다 그 특성 규모가 작기 때문에 대기 패턴의 세부 분석과 상층 공기 덩어리의 추적에 유용하게 이용되고 있다. 상층 기류는 동서성분이 강하므로 고도장이 나 유선에서 회전성분은 뚜렷이 드러나지 않고 골의 형태를 취하거나 층밀림의 형태를 취한다. 그러나 와도장에서는 회전성분이 지상과 마찬가지로 분명히 나타나므로 상층 에서 구름대와 저압부를 찾는데 효과적으로 이용되고 있다.

2006년 6월 9일 0900 UTC, 500 hPa 층의 와도는 Fig. 41에서 보는 바와 같이 항공 기 사고 발생시간에는 AWS 오산 관측소(37°08'N, 127°01'E) 동쪽에는 양(+)의 와도 값 이 나타나고 있는 반면 서쪽에는 음(-)의 와도 값을 보이고 있다.

이날 500 hPa 절리저기압은 한반도 북서쪽 발해만을 통과하여 남동진하는 도중 한 반도 상공으로 북쪽의 한기를 유입시켜 경압대기가 형성되어 불안정이 커진 것으로 분 석되었다. 따라서 오산의 남동쪽에는 PVA(Positive Vorticity Advection)가 있어 강한 상승기류가 발생되고 북서쪽에는 NVA(Negative Vorticity Advection)가 형성된 것으로 분석된다.

우박이 지상에 관측되는 시점에는 음(-)의 와도 구역에서 하장기류가 왕성할 때 우박 이 지상으로 낙하한 것으로 분석된다.



Fig. 41 Vorticity chart upper 500 hPa at 0900 UTC 9 June 2006 in Korea; A is Osan. B is Chuncheon.

- 71 -

(5) 최대 연직속도(Maximum Vertical Velocity, MVV)

오산 상공에서 항공기 사고 발생 일에 최대연직속도 계산식에 의해 산출된 MVV는 6시간 전에는 49 %, 3시간 전에는 45 %, 사고 발생 시간인 0900 UTC에는 47 %로 우박 발생 6시간 전부터 오산 상공에는 지속적인 상승류가 형성되면서 항공기 사고시 간까지 계속해서 우박이 성장한 것으로 분석된다.

사고 발생 3시간 후에는 MVV는 2 까s로 급격히 약화 되었다. 즉 큰 우박이 발생되는 supper cell에서 강한 상승류는 우박의 성장에 크게 영향을 주는 것으로 분석된다.

(6) 대류응결고도

오산 상공에서 항공기 사고가 발생된 날 계산된 CCL의 고도 변화를 살펴보면, 9일 0600 UTC에는 2,312 m, 0900 UTC 에는 2,324 m로 고도가 높아졌으며, 사고 발생 3시 간 후인 1200 UTC 에는 2,287 m로 낮아졌다.

사고 시간에 나타난 FL과 CCL 간의 층의 두께는 약 900 m로 나타나, FL과 CCL 간 에 과냉각 수적이 풍부하면 풍부할수록 큰 우박으로 성장하는 것으로 분석된다.

(7) 빙결고도

대기의 온도가 0℃에 달하는 고도를 빙결고도라 하는데, 원칙적으로는 대기 중의 수 적이 빙결고도 이상의 고도에서는 빙결되어야 하지만, 실제로 0 ~ -20℃에서는 대부분 의 경우 작은 수적이 얼지 않은 채로 떠 있고, 심지어는 -40℃ 부근에서까지 얼지 않 은 수적이 있음이 보고 되고 있다. 빙결고도를 구하는 법은 환경온도 곡선이 단열선도 에 그려진 0℃ 등온선과 만나는 점의 지상고도를 취한다.

우박은 상승류와 하강류의 바람층밀리기 지역의 빙결고도에서 형성된다. 빙결고도가 너무 높게 되면 우박이 떨어지면서 녹으므로 큰 우박이 땅에 떨어지기 어렵다. 그러므 로 우박은 적정한 빙결고도가 유지되어야 한다(정관영, 2000).

- 72 -

오산 상공에서 항공기 사고 발생 일의 FL은 사고 3시간 전인 0600 UTC 에는 3,123 m, 사고 발생 시간인 0900 UTC 에는 3,191 m 였으며, 사고 발생 3시간 후인 1200 UTC 에는 3,215로 고도가 높아졌다. 즉 큰 우박이 생성되기 위한 평균 FL은 약 3,200 m이고, CCL은 약 2,320 m 인 것으로 분석된다. FL이 너무 높으면 지면으로 우박이 떨어지기 전에 녹고, 너무 낮으면 과냉각 수적이 부족하여 큰 우박으로 성장하기 어려 운 것으로 분석된다.

(8) 평형고도

EL은 지상으로부터 상공으로 수적의 다과의 정도를 파악하는데 유용하게 이용되고 있는데, 오산 상공에서 항공기 사고가 발생된 날 계산식에 의해 계산된 EL은 사고 발 생 3시간 전인 0600 UTC에는 9,424 m, 사고 발생 시간인 0900 UTC에는 9,624 m로 높아져 최고 값을 보인 후 사고 발생 3시간 후인 1200 UTC에는 5,588 m로 급격히 낮 아졌다.

즉 큰 우박으로 성장하기 위해서는 풍부한 수적이 필요한데, 이날 평형고도는 9,624 m로 매우 높아 수적이 풍부했던 것으로 판단된다. 즉 높은 EL이 오래 지속될 때 우박 입자가 충분히 성장할 수 있는 조건이 충족되는 것으로 해석된다.

(9) 상당 온위(Equivalent Potential Temperature, EPT)

공기덩이에 포함된 습기가 응결될 때 열이 방출되는데, 이를 잠열이라 부르고, 이 잠 열은 대기를 데우는 데 사용(습윤단열과정)된다. 잠열에 의해 데워진 공기덩이가 가지 게 되는 온위(θ)를 상당온위라 한다. EPT는 구름의 발달과 관련된 습윤단열 과정에서 보존성이 크므로, 여름철 기단을 추적하는 데 효과적으로 이용되기도 한다.

항공기 사고가 발생된 2006년 6월 9일 0000 UTC부터 1200 UTC 까지 1시간 간격의 연직 상당 온위는, Fig. 42에서 보는 바와 같이 0300 UTC 까지는 하층에서 320 °K가 나타났으며, 그 이후에는 지상에서 800 hPa 층까지 320 °K가 확대되었다.

- 73 -

사고 발생 3시간 전인 0600 UTC 에는 850 hPa 이하 층에서 330 °K 이상의 온위가 나타났는데, 이때부터 대기가 매우 불안정하기 시작한 것으로 판단된다.

0600 UTC 이후에는 남쪽의 온난 다습한 대기가 이류 될 때 북서쪽에서 유입된 한기 가 오산상공에서 만나면서 불안정이 커진 것으로 분석된다.



Fig. 42 Cross section chart of potential temperature at Osan from 0000 UTC to 1200 UTC 09 June 2006; Dotted line is aircraft accident time

(10) 발산과 수렴

대기는 연속적이므로 하층에서 수렴된 공기는 상층에서 발산된다. 지상 부근에서 수 렴이 있거나 상층에서 발산기류가 있는 곳에서는, 연직 상승류가 생겨 대기가 불안정 해져 비구름이 발달하기 쉽다. 그러므로 발산역의 위치와 강도, 제트기류의 위치를 파 악하는 것이 날씨 예측에 중요하다. 제트기류의 입구와 출구의 비지균 흐름은 몇 가지

- 74 -

중요한 대기의 효과를 발생시킨다. 즉 제트기류를 중심으로 수렴과 발산이 일어나는 데 상층 수렴은 하층에서 발산, 상층 발산은 하층 수렴을 유발한다.

Fig. 43에서 보는 바와 같이 2006년 6월 9일 0000 UTC부터 0300 UTC까지 700 hPa 아래층에서 발산이 있고, 그 위층에서 발산이 나타났으며, 0500 UTC부터 0800 UTC까 지 500 hPa 층에서부터 200 hPa 층까지 12 이상의 발산값이 나타나고 있다. 바로 이 때 강한 상층 발산이 지상 수렴을 강화시켜 대기가 매우 불안정하여 큰 우박이 형성된 것으로 분석된다.



Fig. 43 Cross section chart of divergence and convergence at Osan from 0000 UTC to 1200 UTC 9 June 2006; Dotted line is aircraft accident time.

- 75 -

(11) 부력(Buoyancy Force, BF)

중력장에 있어서 유체 내에 있는 물체가 그 표면에 작용하는 유체압력의 총합에 의 하여 중력과 반대방향으로 받게 되는 압력을 말한다. 물체 이외에도 일정 밀도 ρ를 가 진 유체 중에 다른 밀도 ρ'의 유체덩이가 존재할 때 아르키메데스(Archimedes)의 원리 에 따라 그 유체덩이는 그것이 배제하고 있는 주위의 유체의 무게만큼 가벼워지고 단 위질량마다 위로 향하는 $(\rho - \rho')g/\rho$ 만큼의 부력을 받게 된다. 이때 유체덩이의 밀도 가 주위 유체의 밀도보다 작은 경우 $(\rho' < \rho)$ 에는 부력이 위쪽으로 작용하여 유체덩이 는 상승하고, 반대의 경우 $(\rho' > \rho)$ 에는 유체덩이는 하강한다.

2006년 6월 9일 오산지방에서 PBF(Positive *Buoyancy Force)*는 0600 UTC에 1,668 // *kg*, 사고 당시인 0900 UTC에 1,757 //*kg* 이었고, 3시간 후에는 급격히 낮아져 243 //*kg* 이었다.

반면 NBF(Negative *Buoyancy Force*)는 0600 UTC와 0900 UTC에 0 이였고, 항공기 사고 3시간 후인 1200 UTC에는 - 437 *J/kg* 이었다.

즉 항공기 사고 발생 전부터 PBF는 높은 값을 보였고, 사고 이후에는 PBF는 낮아졌으나, 반대로 NBF는 증가하였다. 즉 항공기 사고 3시간 전부터 상승기류가 활발하여 큰 우박이 형성된 것으로 분석된다.

(12) 근사 운정고도(Approximate Cloud Top, ACT)

EL 위쪽에서 연직속도가 0으로 떨어지는 고도가 운정으로 추정한다. 즉 공기괴의 연 직속도가 0이 되는 고도가 운정고도이다.

오산 상공에서 항공기 사고가 발생된 날의 ACT는 사고 3시간 전인 0600 UTC에 12,450 m, 0900 UTC에는 12,900 m로 가장 높은 값을 보인 후 사고 발생 3시간 후인 1200 UTC에는 6,150 m로 급격히 낮아졌다. 높은 ACT는 강한 상승기류에 의해 하층 의 수분이 빠른 속도로 상공으로 수송되고 있을 때이다. 이때 강한 상승류에 의해 overshooting이 발생되었고, overshooting이 있는 곳에서 우박 입자가 크게 성장한 것

- 76 -

으로 분석된다.

(13) 구름영상 분석

Fig. 44에서 보는 바와 같이 풍상 측을 향해서 점차로 가늘어지는 모양의 운역을 'V' 형 구름이라고 부르고 있으며, 이 구름은 특히 예리한 끝 부분에서 호우, 돌풍, 벼 락, 강한 우박 등의 현상을 동반하는 경우가 많다.

Fig. 44의 영상은 하얀 구름 속에 흑색이 나타나고 있는데, 위성 영상 자료 처리에서 운정온도가 낮으면 낮을수록 더욱 희게 자료를 처리하여 구름 해석에 편리하게 하였다.

Fig. 44에서 보는 바와 같이 구름의 발달을 쉽게 구분하기 위하여 구름 온도가 낮은 값을 가진 구름을 희게 처리하다가 일정 값을 초과하는 온도에 대해서는 흑색으로 처리하였다.

이번 항공기 사고가 발생할 당시에 'V' 형 구름이 발달하면서 북서쪽에서 남동진하 는 도중 0900 UTC에 관측·분석된 자료이다.

오산 북쪽에서 상층 한기가 남동진하면서 남쪽과 북쪽의 한기가 오산부근에서 만나 면서 하층의 온난 다습한 대기가 상공으로 수송되면서 'V' 형 구름이 형성된 것으로 분석된다. 이 구름은 오산과 안성부근에서 수평과 연직의 바람층밀리기가 커지면서 불 안정이 더욱 증가하여 운역은 더욱 발달하고, 모양은 악기상을 초래하는 전형적인 'V' 형 구름으로 발달된 것으로 분석된다.

'V' 형 구름의 예리한 끝자락 속으로 통과할 때 강한 상승류에 의해 빠르게 수송되는는 우박에 의해 항공기의 노즈레이돔이 잘려나간 것으로 분석된다.

- 77 -



Fig. 44 Convective cloud of IR image at 0900 UTC 09 June 2006.

(14) 레이더 강수에코 분석

 Fig. 45의 자료는 2006년 6월 9일 0830 UTC에 광덕산 레이더로 관측된 PPI(Plan

 Position Indicator) 0° 관측자료이다.

광덕산 레이더 관측소를 중심으로 남쪽 240 km 떨어진 거리에 남북으로 약 50 km 동 서로 40 km의 에코강도는 34 dBZ(5mm/h) 이상 이었고, 160 km 남쪽에 있는 강수에코는 남서~북동 방향으로 약 100 km로 길고, 북서~남동 방향으로 약 25 km의 좁은 대상의 선형에코가 관측되었다. 이 선형 에코에서 가장 발달된 중심의 에코강도는 50 dBZ(50 mm/h) 이상이었다.

선형에코는 한기와 난기가 만나 기온경도가 큰 한랭전선상에서 발생되는 에코로, 이

- 78 -

선형에코가 이동하는 남동쪽에는 온난다습한 대기가 존재하고, 그 후면에는 한랭건조 한 대기가 존재하여 불안정이 매우 크다.

Fig. 46은 오산을 중심으로 북서쪽에서 남동쪽으로 강한 에코 영역을 연직으로 분석 한 자료로서, 매우 강한 강수에코가 지상에서 8 km 이상 상공까지 발달하였으며, 에코 top은 overshooting 되는 지역에서 10 km 이상으로 발달하였다.

2006년 6월 9일 0830 UTC에 에코 top이 10 km 이상 발달된 곳에서 큰 우박이 발생 된 것으로 분석되며, 항공기가 이 발달된 에코 영역을 통과할 때 강한 상승류에 포함 된 큰 우박과 충돌하여 항공기의 노즈레이돔이 잘려나간 것으로 분석된다.



Fig. 45 Precipitation echo intensity of PPI at 0830 UTC 9 June 2006 on Gwangdeok Rader Site.

- 79 -



Fig. 46 Same as in Fig. 45 except for cross section chart.

(15) 수직 측풍장비(Wind Profiler) 자료 분석

수직 측풍장비는 바람장의 연직 구조를 관측 할 수 있는 도플러 레이더의 일종으로, 시간 및 연직 고해상도의 바람 장을 지속적으로 관측할 수 있다.

이 징비는 연속관측이 가능하여 단시간에 작은 규모에서 발생하는 악기상의 변화를 연속적으로 감시하는데 매우 유용하며 관측 지점의 상층 수평바람뿐만 아니라 연직속 도도 분석이 가능하다.

수직 측풍장비는 극초단파나 초단파의 전파 빔을 상층대기로 송신하고 바람과 함께 이동하는 난류에서 산란되어오는 전파 신호를 수신하여 바람을 관측한다. 연직방향에 서 일정한 각(θ)만큼 기울어진 동. 서. 남. 북쪽 방향으로 발사된 빔은 각 방향의 대기 운동에 따라 도플러 편이가 된 전파신호로 수신된다.

측정된 5개 빔의 시선속도 즉, Vz(연직방향), Vz(동쪽방향), Vw(서쪽방향도), Vs(남쪽 방향), V_M(북쪽방향)은 식에 대입하여, 각 고도별 동서성분(u), 남북성분(v), 연직성분(w) 바람을 측정하고, 동서성분과 남북성분을 합성하여 수평바람을 산출한다.

Fig. 47에서j 2006년 6월 9일 문산 수직 측풍장비의 수평과 연직바람을 분석해 보면, 지상에서 1100 KST에 남풍에서 1200 KST에는 남서풍으로 바뀌고, 0.8 ~1.0 km 사이에

- 80 -

서도 남풍에서 남서풍으로 급변하였으며, 1700 KST 이후에는 상승역이 존재하였다.

또한 1200~1700 KST에는 0.5~1.0 km 사이에서 20 *cm/s* 이상의 낙하속도 층이 나타나고, 1600~1750 KST에는 4.0~6.0 km고도에서 120 *cm/s* 이상의 낙하속도 층이 25 kts 이상 서 풍류의 강풍역이 나타나고 있다.

항공기 사고가 발생한 시간에는 오산 북쪽에 위치한 문산에서 강한 하강류가 관측되고 있어 문산 남쪽지방인 오산지방에서는 강한 상승류에 의한 매우 큰 불안정이 나타 난 것으로 분석된다.



Fig. 47 Cross section chart of wind at Munsan from 1100 KST to 1800 KST 9 June 2006; The yellow and the green was represent the ascending and the descending currents, respectively.

- 81 -

(16) 2006년 6월 9일 우박 일의 모식도

2006년 6월 9일 17시 07분 제주도를 출발해서 김포공항으로 향하는 항공기가 오산 상공에서 큰 우박에 의해 노즈레이돔이 잘려나가는 사고가 발생하였는데, 이날 오산을 중심으로 우박과 관련된 대기를 분석하고, 이들 자료를 바탕으로 Fig. 48과 같은 모식 도를 작성하였다.

Table 6에서 보는 바와 같이 이날 오산을 중심으로 대기의 중층이며 비 발산고도인 500 hPa 층에서 양(+)의 와(渦)가 먼저 발생하여 상층에 비해 수증기가 풍부한 지상의 대기를 상층으로 수송할 수 있는 조건이 형성되었다.

CCL에서 수증기가 응결될 때 잠열이 발생되고, 발생된 잠열에 의해 상공으로 상승 하는 공기괴는 더욱 팽창하여 부력이 증가해 빠른 속도로 상승하게 되었다.

0900 UTC에 오산지방을 중심으로 수렴도가 10 이상으로 왕성하였고, 상층에서는 발 산도가 10 이상이며, 양(+)의 부력은 0600 UTC에 1,668 //kg에서 0900 UTC에는 1,757 //kg으로 증가하여, 0900 UTC에는 최대상승속도가 47 %로 강력한 상승기류가 형성되 었다.

오산지방은 지상 최고기온과 500 hPa의 기온과의 차가 46.7 ℃로 컸으며, KI는 21, TTs 는 55, BRN은 122.8, 상당온위는 332°K로 불안정이 매우 컸고, 상승하는 대기는 EL 층 에서 상승을 멈추지만 이날은 강한 상승류에 의해 overshooting이 나타나 운정고도가 12,900 m로 높아졌고, Echo Top이 약 11 ㎞에 이르렀다.

수증기는 -20 ℃에서도 과포화 된 수적으로 존재하여 상공으로 수송되는 빙정은 과 포화 수적 층을 통과할 때 성장한다. 그러나 대부분 FL 이상 층에서는 빙정 상태로서 우박이 성장에는 크게 작용하지 못하지만, 상공으로 수송된 우박 알갱이는 안정 층인 EL에서 다시 하강하면서 FL과 CCL 사이의 수적 층에서 접착에 의해 빠르게 성장한 것으로 분석된다.

- 82 -



Fig. 48 Conceptual model of hail formation at 0900 UTC 9 June 2006.

Table 6. The meteorological element value of aircraft accident day at Osan region 0600 UTC, 0900 UTC, and 1200 UTC 09 June 2006

Weather Elements	0600 UTC	0900 UTC	1200 UTC	
Vorticity	Positive	Positive	Negative	
K-index	27	21	26	
TTs-index	54	55	51	
FL(m)	3,123	3,191	3,215	
BRN	113.2	122.8	14.2	
MVV(^m /s)	45	47	2	
CCL(m)	2,312	2,324	2,287	
EL(m)	9,424	9,624	5,584	
ACT(m)	12,450	,450 12,900		
PBE(J/kg)	1,668	1,757	243	
NBE(J/kg)	None	None	-437	
EPT(°K)	320	332	320	

- 83 -

Ⅳ. 결 론

한반도에서 나타난 우박의 특성을 규명하기 위하여 1972년부터 2000년까지 29년간 기상청 산하 47개 관측소에서 관측한 우박 자료를 분석하였으며, 한반도에서 우박에 연관된 500 hPa 층의 절리저기압 모양에 따라 6개의 형으로 분류하고, 각 형에 따라 한반도 우박 분포도를 작성·분석하였다.

또한, 한반도 우박과 관련하여 500 hPa 월평균고도장을 분석하였고, 특히 2006년 6 월 9일 오산 상공에서 항공기의 노즈레이돔이 잘려나간 사고 일에 우박과 관련된 기상 요소 값을 조사하고 그 값을 이용하여 당일의 우박 모식도를 작성한 결과는 다음과 같다.

한반도 우박의 통계적 분석 결과;

- 한반도의 우박 출현 지역 분포에서 서해안과 영서지방에 많이 나타나는 특징은 서 해와 동쪽의 남북 방향으로 길게 형성된 태백산맥의 영향이 큰 것으로 분석 된다.
- 2. 한반도의 우박의 출현 빈도는 70년대는 연평균 10.6일에서 80년대는 연평균 9.5일 로 1.1일이 감소하였고, 90년대는 연평균 8.0일로서 70년대보다 2.6일이 감소하여 시 간이 지남에 따라 우박 출현 빈도의 감소 폭이 커지고 있다. 이는 지구대기의 승온 으로 큰 우박 형성의 조건이 되는 FL 층의 높이가 증가한 것이 원인이 되는 것으로 판단된다.
- 한반도에서의 우박은 El Niño 해에는 연평균 10일이 출현하였고, La Niña 해에는 연평균 7.9 일, 그 밖의 해를 평균한 평균해에는 9.0일 출현한 것으로 나타나 El Niño 현상이 한반도의 우박 출현 증가에 간접적으로 영향을 미치는 것으로 분석된다.
- 4. 한반도의 우박 출현 주기성은 일중 시간 주기성에는 태양복사에너지의 영향을 받고,
 월·계절의 우박 출현 주기성은 FL의 높이에 따른 영향이 큰 것으로 분석된다.
- 5. 제주도는 늦은 가을철과 겨울철에 주로 우박이 출현하며 운층이 낮은 우박의 크기가 연 평균 0.6 cm 인데 비하여, 울릉도는 봄철과 가을철에 주로 나타나 연평균 크

- 84 -

기가 0.8 cm로 우리나라 최남단에 위치한 제주도보다 큰 우박이 출현하였다.

6. 한반도에서 직경 0.8 cm 이상은 5월과 11월, 직경 1.5 cm 이상의 우박은 5월에 탁월 하였는데 이는 한반도에서 계절이 바뀌는 시점에서 북쪽의 한기와 남쪽의 난기가 서로 대치하면서 불안정이 매우 커져 큰 우박이 출현한 것으로 분석된다.

우박과 관련한 500 hPa 월평균고도장 변화와 일기도 유형 분류;

- 1. 1972년부터 2000년까지 29년간 가장 자주 출현했던 1992년과 적었던 1998년에 나타 난 500 hPa 월평균고도장을 분석한 결과 월평균고장이 낮을 때 한반도에서 우박이 빈번하게 출현하였고, 월평균고도장이 높을 때는 출현되지 않은 것으로 분석되었다.
- 2. 8월에는 500 hPa 월평균고도장이 높을 때 큰 우박이 출현하였는데 이는 난기이류가 탁월한 가운데 지면 장파복사의 영향으로 대기가 매우 불안정해져 큰 우박이 출현 한 것으로 분석된다.
- 3. 8월을 제외한 연중 모든 달에 출현하는 우박은 한기이류가 탁월한 가운데 출현하여 한반도에서 우박 출현에 가장 영향을 크게 미치는 기상요소는 한기이류인 것으로 나타났다.
- 4. 500 hPa 절리저기압이 한반도 북서쪽에 형성될 때 한기이류가 탁월하고, 상·하층 간에 바람층밀리기가 커져 대기 불안정이 증가되어 큰 우박 출현이 자주 나타나는 것으로 분석된다.
- 정낭형은 좌경낭형보다 절리저기압의 동진 속도가 느려 우박 출현지역이 넓게 나타 나는 것으로 분석된다.
- 6. 우경낭형은 바람층밀리기가 한반도 동쪽에 형성되어 남쪽의 난기 유입보다 북쪽
 의 한기 유입이 우세하여 상·하층 간의 기온 차가 적어 대기 불안정이 증가하
 기 어렵고, 또한 바람층밀리기가 유지되는 시간이 짧아 큰 우박으로 성장하기
 어려운 것으로 분석된다.

- 85 -

2006년 6월 9일 우박일의 대기 분석과 모식도분석 결과;

- 2006년 6월 9알 0900 UTC 오산지방의 KI는 21, TTs는 55, BRN은 122.8, 상당온위는 332°K, 지상기온과 500 hPa의 기온과의 차가 46.7 ℃로 나타나 큰 대기 불안정이 큰 우박 형성의 원인인 것으로 분석된다.
- 사고 발생 6시간 전부터 500 hPa 이하 층에서 풍향의 순전이 나타나고, 그 이상 층 에서 반전이 나타났으며, 풍속의 증가가 하층으로 이행되었다.
 하층에서는 남서류가 유입되고 상층에는 북서류가 유입되어 바람층밀리기가 커져 우박 성장이 빠르게 진행된 것으로 분석된다.
- 3. 우박이 출현된 시간에 지상 수렴도는 10 이상, 상층 발산도도 10 이상으로 왕성하였고, 양(+)의 부력은 1,757 //kg, MVV는 47 %로 큰 우박으로 성장하는데 좋은 조건이 형성된 것으로 분석된다.
- 4. 상승하는 대기는 EL 층에서 상승을 멈추지만 이날은 강한 상승류에 의해 운정 고도 가 12,900 m에 달하였고, echo Top도 약 11 km에 이르렀다. 상공으로 수송된 우박 알갱이는 EL에서 다시 하강하는 도중에 FL과 CCL 사이의 수적 층에서 접착에 의 해 빠르게 성장한 것으로 분석된다.
- 5. 오산 북쪽에서 상층 한기가 남동진하면서 남쪽과 북쪽의 한기가 오산부근에서 만나 면서 하층의 온난 다습한 대기가 상공으로 수송되면서 'V' 형 구름이 형성된 것으 로 분석되며, 사고 항공기가 'V' 형 구름의 끝자락으로 통과함에 따라 강한 상승류 속에 포함된 우박에 의해 사고가 발생된 것으로 분석된다.

- 86 -

참 고 문 헌

- 기상청, 1991: 한국 기후표1, 2권(1991~1990). 진명 출판사, pp. 446, pp.418.
- 기상청, 1993: 기상재해자료. pp. 139.
- 기상청, 2000: 기상위성영상의 분석과 이용. pp. 156.
- 기상청, 2003: 레이더 영상분석. pp. 111.
- 기상청, 2005: 관측지침. pp. 123.
- 김광식, 1992: 기상학사전. pp. 735.
- 김성삼, 손형진, 1977: 거대 우박의 기록과 1975년의 동래 거대우박. 한국기상학회지, 제13권, 제 1호, pp. 13~22.
- 김정선, 1995: 연직 바람shear가 뇌우 발달에 미치는 영향에 대한 수치적 연구. 연세대 학교, 석사학위 논문, pp. 101.
- 김현숙, 1993: 우리나라의 우박현상에 관하여. 이화대학교, 석사학위 논문. pp. 47
- 류찬수, 류승란, 김경식, 1999: 우리나라 강수량과 북반구 수증기 수송과의 관계. 한국 환경과학회 가을 학술발표회 초록집, pp. 52~54.
- 문병주, 2000: 호남지방에서 출현하는 우박 현상의 특성, 호남지방예보분석 지침서. 광주지 방기상청, pp. 190.
- 변희룡, 임장호, 임미현, 1995: 여름철 우박재해의 발생과 연관된 대기순환. 한국기상학 회지, 제 32권 제2호, pp. 189~208.
- 변희룡, 조석준, 1981: 우리나라 중부지방의 여름철뇌우특성 및 예보법에 관하여. 한국 기 상학회지, 제2권 제1호, pp. 28~34.
- 엄원근, 정관영, 1997: 우박을 동반한 뇌우의 발생 및 성장과정에 관한 연구(I). 기상 연구소, pp.67.
- 오완탁, 2005: 한반도 여름철 강수량 특성. 조선대학교, 박사학위 논문, pp. 132.
- 이 완, 1966: 1965년 1월 26일 서울지방에서 발생한 뇌우에 관하여. 한국기상학회지,

제2권 제1호, pp. 24~42.

- 87 -

- 이우진, 2006: 일기도와 날씨해석. pp. 185.
- 이재형, 1995, 구름물리학. 새론 출판사, pp. 217.
- 이춘식, 1993: 우박에코 사례연구, 기상연구소 논문집, pp. 23~32.
- 이춘식, 2004: 제주도지방 우박 현상 시 대기 구조 분석. 조선대학교 환경연구 논문집, pp. 31~44.
- 이태영, 2000: 중규모 기상학. 기상청 연수교재, p. 97
- 이화운, 김유근, 전병일, 1993: 우박형성을 고려한 강수현상의 수치모의. 한국기상학회지, 제29권 3호, pp. 239~251.
- 임은하, 2000: 우리나라 우박 발생일의 특성. 한국수자원학회지, 제33권 2호, pp. 229~235.
- 전재목, 1994: 경북북부 산간지방의 우박현상. 영남기상기술집, 제 6집, pp. 7~17.
- 정관영, 2000: 초단기 예보론. 기상청연수교재, pp. 16~61
- 정진락, 1967: 경인지역에 대한 뇌우예보연구. 한국기상학회지, 제3권 제1호, pp. 11~17.
- 조진대, 2005: 영남지방 우박 특성과 예측에 관한 연구. 부경대학교, 석사학위논문, pp. 102.
- 허복행, 1993: 우리나라 중부지방에 여름철에 발생하는 기단성 뇌우의 종관 및

열역학적 특성. 경북대학교, 석사학위 논문, pp. 58.

- 홍성길, 1983: 기상분석과 일기예보. 교학사, pp. 425~426.
- 홍성길, 1998: 기상분석과 일기예보. 교학연구사. pp. 451.
- Bao, G.L., 1985: Synoptic Meteorology in China. China Ocean Press, Beijing, pp. 269
- Chen, G., T.J. Chen & L.F. Chou, 1990: A study on the Upper-tropospheric cold vortices-cases accompanying thunderstorms. Meteorological Bulletin, Taiwon, Republic of China. 36(1), pp. 1-21.
- Danielsen,E.F., R.Bleck and D.A. Morris, 1972: Hail growth by stochastic collection in a cumulus model. J. Atmos. Sci., 29, pp. 135-155.
- Deng, Z., M. Yang, L. Jiang, H. Zou and Z. Cheng, 1989: Preliminary study of a mesosynoptic case in early spring. Meteorological Monthly, Beijing, China, 15(10), pp. 43-48.

- Jone M. Wallace Peter V. Hobbs, 1977: Atmospheric Science an introductory survey. University of Washington, Severe Storms, pp. 241-389.
- Kallo, N.A., 1989: Synoptic conditions leading to intense hailfall in southern and southeastern Kazakhstan. Trudy Ordena LeNiña Gidro meteorologi cheskogo Nauchno Issledovarel' skogo Tsentra SSSR, Leningrad, USSR, 302, pp. 89-100.
- Kitzmiller, D.H. and W.E. McGovern, 1990: Wind Profiler observations preceding outbreaks of large hail over northeastern Colorado. Weather and Forecasting, 5(1), pp. 78-88.
- Levi, L. and L. Lubart, 1991: Analysis of hailstones from a severe and their simulated evolution. Atmospheric Research, New York, NY, 26(3), pp. 191-211.
- List, R., 1990: Physics of supercooling of thin water skins covering gyrating hailstones. J. Atmos. Sci., 47(15), pp. 1919-1925.
- Miller,L.J., J.D. Tuttle and G.B.Foote, 1990: Precipitation production in a large Montana hailstorm: airflow and particle growth trajectories. J. Atmos. Sci., 47(13), pp. 1619-1646.
- Muller, W., 1985: Stormy weather in southerm Germany on July 12, 1984: why did it hail on July 12, 1984, in Munich, but not in Stuttgart, Wetter and leven, Vienna, 37(2), pp. 100-103.
- Nelson, S.P. and N.C. Knight, 1987: Hydrid multicellular-supercellular storm: an efficient hail producer, Pt. 1, Archetypal example. J. Atmos. Sci., 44(15), pp. 2042-2059.

- 89 -

- Smith S.B. and M.K. Yau, 1993: The Episodic Occurrence of hail in Central Alberta. 17th conference on severe local storms/conference on atmospheric electricity, St. Louce, Missouri. pp. 36-39.
- Vivekanandan J., J.D. Tuttle and E. A. Brandes, 1993: Observational and modeling considerations for multiparameter radar detection of hail. 26th international conference on radar meteorology, Norman, Oklanhoma, pp. 525-527.

- 90 -

감사의 글

엊그제 배움의 길에 들어선 것 같은데 벌써 오랜 시간이 흘러서 연구를 시작하면서 마련한 붉은 색의 노트는 빛이 바래고, 귀퉁이는 낡아서 허물어진 모습을 보고 있노라 니 그 동안 저에게 도움을 주신 분들이 주마등처럼 뇌리를 스치고 지나가 저도 모르게 머리가 숙여집니다.

늦깍기 한 학도의 숙원이었던 배움의 터전을 마련해 주시고, 학문의 길로 인도해 주 셨을 뿐만 아니라 학문의 깊이를 가일층 심화시켜 주시기 위해 부단한 노력으로 지도 해주신 류 찬수 교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다.

미숙한 학문을 완성토록 지도해 주신 조주환 교수님, 정효상 교수님, 오완탁 교수님, 이종호 교수님께 심심한 감사를 드립니다.

오래 전부터 마음속에 간직되어온 배워야 한다는 잠재의식을 일깨우고, 다시 학문을 시작토록 독려해 주신 직장 선배 김재호 예보관님과 중단 없는 학문을 할 수 있도록 배려해주시고 용기를 주신 조영순 과장님, 허 은 과장님께 감사를 드립니다.

본 논문에 대한 견해를 정립할 수 있도록 많은 의견을 준 강남영씨와 아이디어를 정 립하는데 도움을 준 박승민씨, 그리고 FAS 시스템을 활용할 수 있도록 도와준 심안섭, 김은영씨와 아낌없는 성원을 보내주신 모든 동료 직원들에게 감사를 드립니다.

지금은 고인이 되신 부모님과 길러주신 어머니, 항상 따뜻한 마음으로 감싸주신 장 인, 장모님과 동생이 잘 되기만을 학수고대 하신 누님, 형님, 형수님 그리고 여러 동생 들과 이 영광을 나누고 싶습니다..

뒤 늦게 배움의 길에 들어선 남편을 돕기 위해 모든 희생을 감내한 사랑하는 아내
 이복희와 언제나 밝은 모습으로 웃음을 잃지 않은 아들 동현, 준원이에게 고마운 마음
 을 전합니다.

2007년 8월

이 춘 식

- 91 -

부 록

Appendix 1. 지점별 우박 자료 분석

지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)
서울	1972	12.24	06:30	0.4	0	20		1978	3.2	19:48	0.1	0	12
	1978	12.1	14:39	0.5	С	5		1982	12.22	20:50	0.9	0	2
	1981	11.3	13:12	0.5	0	3		1982	12.1	14:19	0.2	0	1
	1983	5.24	19:51	1.3	C	17		1982	12.28	22:54	0.5	0	2
	1987	11.4	16:57	0.5	С	11		1983	5.24	20:50	0.9	0	16
	1987	11.7	10:12	0.5	0	2		1985	9.30	11:02	0.3	0	2
	1987	12.10	15.54	0.4	0	5		1985	11.9	20.53	0.6	0	6 10
	1987	12.12	05.34	0.3	0	8		1980	1.3	12.02	0.2	0	13
	1988	4.19 5 7	14.30	0.0	0	- 15		1900	4.19	10.02	0.5	0	6
	1990	5.24	14.10	1.7	0	10		1909	4.17	12.03	0.0	0	14
	1990	11 19	22.55	0.5	0	11		1992	4.15	13.20	0.5	0	14
	1992	4 18	01:50	1.0	0	3		1996	11.10	21:03	1.2	0	5
	1993	4.24	01:32	2.0	C	3		2000	5.19	18:53	0.7	0	3
	1993	12.27	14:30	0.2	0	2	원주	1979	5016	12:59	0.3	Õ	2
	1995	3.10	11:23	0.6	C	6		1979	5.24	17:54	0.6	Ō	2
	1995	3.31	15:33	0.7	0	6		1980	10.25	17:02	0.7	0	5
	1995	10.31	17:16	0.4	С	4		1981	11.3	15:21	0.3	0	2
	1996	11.23	13:07	0.2	\bigcirc	29		1984	6.3	18:03	0.8	\bigcirc	5
	2000	5.19	19:24	1.0	С	10		1984	10.20	10:20	0.2	0	2
	2000	12.14	22:40	0.5	\bigcirc	3		1984	11.1	13:01	0.3	\bigcirc	1
수원	1972	11.20	15:20	0.5	С	5		1988	4.19	08:40	0.5	0	5
	1973	11.10	19:30	0.5	0	15		1989	7.5	16:55	0.8	0	10
	1973	11.15	13:45	1.2	С	10		1991	11.3	12:35	0.5	0	15
	1973	11.16	22:42	1.2	С	9		1992	7.2	10:35	1.0	0	5
	1974	5.25	16:47	0.7	С	3		1995	3.31	17:35	0.2	0	1
	1987	11.9	07:46	0.5	С	6		1999	1.27	17:20	0.2	\bigcirc	5
	1988	4.19	07:02	0.7	С	8		2000	7.24	16:21	0.6	0	9
	1990	12.1	15:02	0.5	С	8	강화	1975	5.30	11:58	0.6	\bigcirc	4
	1991	11.19	10:03	1.0	С	5		1976	9.20	15:26	1.1	\bigcirc	3
	1992	4.18	00:51	0.5	С	2		1978	12.1	12:15	0.5	\bigcirc	25
	1992	4.28	12:35	0.5	С	2		1978	12.2	11:20	0.3	0	4
	1992	10.17	16:03	0.7	С	14		1981	5.30	19:51	2.0	0	2
	1992	10.29	18:38	0.5	С	2		1982	12.2	13:52	0.2	\bigcirc	2
	1993	3.31	17:42	0.5	0	3		1983	10.1	07:44	1.0	\bigcirc	3
	1993	3.30	17:20	0.5	С	5		1984	7.15	17:25	0.7	0	1
	1995	10.31	18:15	0.5	С	4		1988	4.19	05:50	0.5	0	5
인천	1973	11.5	13:11	1.0	С	7		1992	10.24	16:25	0.5	0	5
	1977	11.18	10:51	0.6	С	2		1993	10.22	12:41	0.5	0	4

- 92 -
| 지점 | 년도 | 월일 | 시각 | 크기(
cm) | 뇌전
유 무 | 지속
시간
(분) | 지점 | 년도 | 월일 | 시각 | 크기
(cm) | 뇌전
유 무 | 지속
시간
(분) |
|-------|------|--------------|----------------|------------|-----------|-----------------|--------|------|-------------|-------|------------|------------|-----------------|
| | 1998 | 11.2 | 10:10 | 1.2 | С | 3 | | 2000 | 5.19 | 20:45 | 0.8 | 0 | 9 |
| +1 =1 | 1999 | 12.12 | 19:30 | 0.5 | 0 | 10 | 홍전 | 1972 | 9.28 | 11:37 | 0.8 | 0 | 5 |
| 이전 | 1972 | 11,20 | 11:41 | 0.5 | 0 | 4 | | 1974 | 5.25 | 17:35 | 0.3 | 0 | 4 |
| | 1972 | 12.7 | 17.13 | 0.4 | 0 | 9 | | 1974 | 3.20 | 16:01 | 1.1 | 0 | 4 |
| | 1973 | 11.10 | 13.00
14:34 | 0.5 | 0 | 2 | | 1975 | 5.30 | 17:15 | 0.5 | 0 | 4 |
| | 1973 | 12.21 | 07:08 | 0.4 | Õ | 11 | | 1976 | 5.5 | 13:03 | 1.1 | Õ | 5 |
| | 1974 | 5.25 | 18:16 | 1.4 | С | 4 | | 1977 | 11.21 | 11:52 | 0.4 | 0 | 5 |
| | 1975 | 5.19 | 17:35 | 0.4 | С | 2 | | 1977 | 12.29 | 08:25 | 0.2 | \bigcirc | 5 |
| | 1975 | 5.30 | 15:16 | 0.8 | С | 2 | | 1979 | 5.24 | 17:17 | 0.5 | \bigcirc | 7 |
| | 1975 | 5.31 | 13:30 | 0.5 | С | 2 | | 1979 | 10.11 | 16:41 | 0.3 | 0 | 6 |
| | 1988 | 4.19 | 07:57 | 0.3 | 0 | 18 | | 1980 | 9.7 | 11:15 | 0.6 | 0 | 2 |
| | 1989 | 3.27 | 16:42 | 0.5 | 0 | 3 | | 1981 | 5.30 | 21:44 | 0.5 | 0 | 4 |
| | 1002 | 12.22 | 12:05 | 0.4 | C | -
0 | | 1983 | 6.15
7 5 | 17.49 | 1.0 | 0 | 14
0 |
| | 1993 | 4.28 | 13.05
18:25 | 0.5 | C | 5 | | 1983 | 11 11 | 22:36 | 0.3 | 0 | 4 |
| 춘천 | 1972 | 10.4 | 08:35 | 0.2 | C | 2 | | 1984 | 5.28 | 20:15 | 0.8 | 0 | 6 |
| | 1973 | 6.1 | 13:25 | 0.4 | Ċ | 3 | | 1990 | 5.14 | 18:20 | 1.0 | 0 | 8 |
| | 1973 | 11.15 | 14:21 | 0.3 | С | 7 | | 1991 | 5.15 | 17:43 | 0.5 | \bigcirc | 5 |
| | 1974 | 5.25 | 18:11 | 0.3 | С | 5 | | 1992 | 4.15 | 14:22 | 0.3 | \bigcirc | 3 |
| | 1975 | 11.21 | 15:57 | 0.5 | 0 | 2 | | 1992 | 5.24 | 14:03 | 0.3 | 0 | 4 |
| | 1976 | 5.5 | 14:30 | 0.5 | 0 | 5 | | 1994 | 10.5 | 14:05 | 0.5 | 0 | 5 |
| | 1978 | 12.10 | 16:02 | 0.5 | 0 | 3 | | 1995 | 11.10 | 09:16 | 0.5 | 0 | 3 |
| | 1979 | 5.10
6.25 | 12.30 | 2.0 | 0 | 8 | | 2000 | 4.0 | 18:42 | 0.5 | 0 | 10 |
| | 1975 | 0.20 | 10.33 | 2.0 | C | 13 | | 2000 | 5.20 | 17:16 | 1.5 | 0 | 3 |
| | 1981 | 5 30 | 16:48 | 2.0 | C | 10 | 이제 | 1972 | 10.10 | 14:03 | 0.4 | 0 | - |
| | 1081 | 5.30 | 13.34 | 0.7 | C | 4
8 | [긴^] | 1972 | 5.5 | 18.18 | 1.5 | 0 | 18 |
| | 1001 | 2 20 | 14.20 | 0.7 | C | 4 | | 1000 | 6.0 | 16:07 | 0.4 | 0 | 6 |
| | 1904 | 4.00 | 14.20 | 0.7 | 0 | 4 | | 1902 | 0.0 | 10.07 | 0.4 | 0 | 15 |
| | 1984 | 4.22 | 14.20 | 0.7 | 0 | 4 | | 1984 | 5.30 | 20.02 | 1.1 | 0 | 10 |
| | 1991 | 5.15 | 17.31 | 1.0 | 0 | 4 | | 1992 | 5.23 | 15.10 | 0.5 | 0 | 5 |
| | 1992 | 6.9 | 12.30 | 1.8 | 0 | 5 | | 1992 | 6.9 | 23.08 | 1.5 | 0 | 1 |
| | 1995 | 11.22 | 20.38 | 0.5 | 0 | 2 | | 1992 | 7.2 | 12:08 | 0.5 | 0 | 4 |
| ০৮জ | 2000 | 5.19 | 19.22 | 0.5 | 0 | 6 | | 1993 | 8.27 | 20:03 | 0.5 | 0 | 10 |
| 상원 | 1973 | 6.1 | 19.05 | 0.2 | 0 | 1 | | 1994 | 4.30 | 17.10 | 0.5 | 0 | 3 |
| | 1973 | 11.15 | 14:17 | 1.5 | C | 11 | | 1995 | 9.26 | 2345 | 0.3 | 0 | 2 |
| | 1973 | 11.16 | 16:47 | 0.5 | С | 4 | | 1995 | 10.31 | 09:42 | 0.3 | 0 | 4 |
| | 1974 | 5.25 | 16:20 | 1.2 | С | 3 | | 1996 | 5.11 | 12:54 | 0.5 | 0 | 3 |
| | 1975 | 5.19 | 15:04 | 0.2 | С | 15 | | 2000 | 5.19 | 15:37 | 0.8 | \bigcirc | 2 |
| | 1975 | 5.30 | 15:52 | 2.0 | С | 7 | 제천 | 1973 | 11.16 | 22:20 | 0.2 | 0 | 10 |
| | 1975 | 11.21 | 19:57 | 0.2 | С | - | | 1978 | 6.11 | 15:40 | 0.8 | \bigcirc | - |
| | 1976 | 5.5 | 10:12 | 0.1 | 0 | 1 | | 1979 | 6.10 | 07:40 | 0.5 | 0 | 2 |
| | 1981 | 5.31 | 16:10 | 0.8 | С | 2 | | 1980 | 4.19 | 21:35 | 0.6 | 0 | 5 |
| | 1986 | 6.1 | 18:03 | 0.5 | С | 17 | | 1984 | 6.2 | 17:15 | 0.5 | 0 | 2 |
| | 1988 | 4.19 | 08:15 | 0.2 | 0 | 3 | | 1985 | 4.22 | 17:15 | 0.6 | 0 | 5 |
| | | | | | | | - 93 - | _ | | | | | |

지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)
	1985	10.31	14:43	0.3	С	5		1985	4.17	13:48	0.3	0	4
	1987	11.9	09:55	0.3	\bigcirc	2		1988	4.30	04:15	0.5	\bigcirc	4
	1987	11.27	13:43	0.4	\bigcirc	12		1989	5.14	08:33	0.3	\bigcirc	4
	1988	4.19	09:35	0.7	С	20		1991	3.8	21:34	0.3	0	4
	1989	10.12	14:19	0.5	С	3		1993	4.23	00:10	0.7	0	3
	1990	5.14	18:20	1.5	C	-	청주	1978	1.8	18:25	2.5	0	7
	1992	7.2	17:15	2.5	C	18		1979	11.28	16:15	0.5	0	3
	1995	11.7	18.28	0.2	0	8		1980	4.19	21.42	0.3	0	14 6
	2000	7.1 5.10	23.25	1.0	0	0 5		1901	4.29	13.22	1.0	0	7
소ネ	1976	24	16:52	0.5	0	1		1984	5 28	15.52 17:43	1.5	0	5
7-12-	1976	2.20	01:23	0.8	0	25		1987	8.9	12:09	0.8	0	6
	1976	3.27	08:11	0.5	Õ	2		1992	6.19	15:07	1.3	Õ	8
	1976	12.22	21:41	0.5	Ō	32		1999	3.24	15:07	0.1	0	30
	1977	11.2	06:22	0.5	\bigcirc	1	보은	1972	11.20	13:06	0.7	\bigcirc	4
	1978	7.8	16:43	0.8	С	2		1975	5.30	14:43	0.5	0	2
	1979	12.11	14:00	0.7	\bigcirc	1		1978	1.26	14:35	0.3	\bigcirc	5
	1992	4.15	17:10	0.5	0	-		1978	3.22	12:50	0.5	0	8
	1996	4.20	00:40	0.5	С	_		1981	4.19	12:56	0.3	0	2
	1999	1.28	14:40	0.4	0	5		1984	12.1	13:13	0.8	0	2
기르	2000	11.30	11:54	0.1	0	3		1992	4.15	12:07	0.3	0	8
22	1975	5.3U 3.27	10.00	0.8	0	2		1992	5.20	15.20	0.3	0	3
	1979	5.24	18:23	0.2	0	1	서산	1972	11.2 10.4	09:39	0.5	0	1
	1979	10.11	12:53	0.3	C	6	10	1972	11.20	06:50	0.7	0	3
	1984	3.30	18:16	0.3	C	10		1972	12.7	16:32	0.5	0	5
	1985	7.26	12:56	1.7	C	15		1973	10.21	16:16	1.2	0	9
	1987	3.23	08:14	0.5	\bigcirc	-		1973	11.20	13:36	0.4	0	5
	1988	10.29	07:45	0.2	\bigcirc	3		1974	11.20	16:39	0.5	0	3
	1988	11.28	14:04	0.2	С	11		1976	11.25	23:30	0.5	0	6
	1999	4.6	15:27	0.5	0	1		1977	11.18	08:57	0.5	\bigcirc	13
울진	1981	5.31	13:37	2.5	С	3		1977	11.21	21:06	0.5	\bigcirc	4
	1983	7.5	18:16	0.5	С	1		1977	11.22	06:29	0.5	\bigcirc	8
	1983	10.29	08:03	0.7	\bigcirc	2		1978	1.20	15:32	0.5	\bigcirc	5
	1985	4.17	11:16	0.6	С	4		1978	4.5	18:48	1.0	\bigcirc	2
	1992	7.2	13:04	0.8	С	3		1978	10.29	04:05	0.5	0	4
	1996	5.8	18:50	0.5	С	15		1979	5.17	01:03	0.5	\bigcirc	9
	2000	5.19	19:23	0.5	С	5		1979	12.26	13:40	0.5	\bigcirc	9
대전	1972	5.16	06:50	0.5	С	8		1980	10.25	14:30	0.5	\bigcirc	5
	1973	11.10	16:35	0.5	С	5		1980	12.11	10:50	0.2	0	5
	1977	4.18	10:40	0.5	\bigcirc	4		1981	10.23	08:07	0.5	\bigcirc	3
	1978	1.26	14:02	0.3	0	2		1984	6.11	04:52	1.5	0	2
	1982	5.4	00:12	0.5	С	7		1987	9.26	09:32	0.5	0	12
	1983	11.16	14:55	0.7	0	5		1990	11.6	13:30	1.0	\bigcirc	5
	1984	6.11	07:13	1.2	С	6		1990	12.25	16:32	0.3	0	2

- 94 -

지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)
	1992	4.18	03:25	0.5	С	26		1988	4.30	01:59	0.5	0	3
	1992	11.10	04:10	0.3	0	3		1989	5.14	09:12	0.3	0	2
	1994	10.6	05:15	0.3	C	10		1990	12.1	11:50	0.5	0	7
	1995	10.31	20:42	0.7	0	4		1991	10.22	07:55	0.3	0	4
	1995	5.23	23.48	0.8	0	8		1991	2 15	09.40	0.3	0	10
	1998	3.19	19:50	0.5	0	13		1992	6.19	15:36	0.5	0	6
보령	1972	9.17	11:19	0.6	С	7		1994	9.24	12:03	0.7	Õ	4
0	1972	11.20	07:39	0.7	0	13	추풍령	1972	5.16	07:36	0.2	Ō	9
	1972	11.30	14:52	0.5	\bigcirc	16		1974	4.22	16:10	0.4	\bigcirc	2
	1980	10.25	15:00	0.5	\bigcirc	3		1975	5.30	14:18	1.5	0	17
	1982	8.11	19:01	0.3	С	2		1980	9.2	13:15	0.8	0	5
	1982	10.19	07:25	0.4	C	1		1982	1202	15:06	1.0	0	4
	1983	1.7	17:05	0.2	0	5		1983	11.16	11:55	0.3	0	2
	1983	11.11	19:15	0.3	0	2		1992	5.26	17:03	0.5	0	2
	1965	11.10	08:46	0.4	0	2 99		1993	4.20	13.13	0.5	0	1
	1985	12.1	20:57	0.0	0	7		1994	12.7	07:28	0.5	0	2
	1986	10.29	14:20	0.5	Õ	12		1998	4.17	15:44	0.5	0	1
	1987	12.15	08:31	0.3	Ō	2		2000	3.28	13:43	0.5	Ō	7
	1988	2.1	22:32	0.3	С	5	전주	1972	5.16	06:05	0.5	0	5
	1989	3.2	10:34	0.2	0	14		1975	5.30	14:07	0.8	0	8
	1989	5.14	07:35	0.5	\bigcirc	1		1979	10.11	16:18	0.7	\bigcirc	8
	1992	10.30	07:35	0.4	0	3		1979	11.28	12:52	0.3	0	28
	1992	11.9	11:35	0.4	0	10		1984	12.1	12:45	0.5	0	7
	1992	11.10	14:41	0.3	0	3		1985	11.14	17:20	0.5	0	2
	1993	9.24	15:39	1.2	С	26		1985	11.17	11:49	0.5	0	3
	1993	10.30	12:10	0.7	С	4		1985	11.19	18:40	0.5	0	2
	1994	9.24	11:15	0.3	С	7		1985	12.2	04:38	0.5	\bigcirc	16
부여	1973	11.16	15:52	0.5	0	8		1987	4.22	13:50	0.3	\bigcirc	1
	1973	11.17	09:10	0.5	0	30		1989	4.17	14:40	0.5	\bigcirc	1
	1979	4.26	15:51	0.2	С	4		1991	2.11	13:50	0.5	0	5
	1979	10.2	21:24	0.5	С	3		1992	6.19	19:14	0.5	0	2
	1979	11.28	14:46	0.5	C	8		1992	10.17	15:50	0.4	0	3
	1980	4 1 9	22:21	0.3	0	13		1993	10.30	13:33	0.5	0	3
	1080	10.25	15.20	0.5	0	7		1000	2.8	10.30	0.6	0	3
	1000	10.20	00.40	1.5	~ 0	' 11		1004	6.10	15.00	0.0	0	2
	1982	10.19	10.00	1.0	0	-		1994	0.15	10.44	0.5	0	о С
	1982	12.2	13.32	1.1		D C		1997	9.26	13.05	0.5	0	0
	1982	12.22	09:33	0.5	C	3		1998	3.19	21:07	0.3	0	13
	1983	6.15	16:32	0.5	С	2		2000	12.23	07:10	0.5	0	3
	1984	12.1	10:33	0.5	0	9	정읍	1972	5.16	06:00	0.5	\bigcirc	1
	1988	4.19	07:49	0.3	С	1		1972	11.20	14:45	0.6	0	5

- 95 -

지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)
	1973	11.17	11:40	0.5	0	5		1998	4.17	14:53	0.7	0	9
	1974	11.23	11:55	0.5	0	3		2000	3.28	11:45	0.8	0	7
	1975	4.1	17:30	0.5	0	9	그사	2000	6.12 10.4	14.15	0.8	0	12
이시	1975	0.00 11.20	10.17	0.5	0	2	고깐	1972	10.4	07.20	1.0	0	24 7
다.드	1972	8 1 4	10.17 16:47	1.0	0	11		1972	11.20 11.23	15:36	0.0	0	5
	1973	11.17	13:22	0.4	0	2		1973	1.26	05:05	0.5	Õ	30
	1974	11.23	15:21	0.5	С	1		1974	11.25	16:45	0.7	0	35
	1975	2.28	20:22	0.5	0	2		1977	11.21	23:55	0.5	0	5
	1976	10.28	13:42	0.5	\bigcirc	5		1977	11.22	03:33	0.5	\bigcirc	7
	1977	4.18	09:23	1.3	\bigcirc	17		1977	12.20	16:43	0.5	\bigcirc	5
	1977	12.1	15:45	1.0	0	8		1979	11.28	14:20	0.3	0	10
	1977	12.18	16:25	1.0	0	2		1979	12.21	09:18	0.3	0	7
	1980	10.25	16:14	1.0	0	12		1981	10.23	09:50	0.5	0	3
	1982	11.24	02.45	0.5	0	19		1982	10.19	10.20	0.7	0	6 2
	1984	10.10	12.10	1.5	0	8		1982	12.10	14.22	0.5	0	39 39
	1989	11.18	09:34	0.2	0	5		1982	12.11 12.22	09:20	0.8	0	6
	1991	2.11	16:06	0.2	Õ	6		1983	11.16	09:04	1.1	0	5
	1992	12.10	14:21	0.5	Ō	4		1984	1.3	05:45	1.2	0	-
	1997	5.4	17:20	0.5	С	7		1984	10.20	17:28	0.6	0	2
	1997	6.14	15:34	0.7	С	3		2000	12.23	06:43	0.5	\bigcirc	23
	1998	4.17	14:25	0.2	С	2	광주	1972	10.14	09:15	0.5	0	2
금산	1972	12.7	18:50	0.3	0	3		1972	11.26	15:30	0.4	0	3
	1973	10.21	19:14	1.1	C	6		1974	4.22	13:25	0.8	0	3
	1973	11.6	17:10	1.2	С	2		1974	11.21	07:30	0.6	0	8
	1976	11.22	18:22	0.5	0	5		1974	11.23	12:28	0.5	0	3
	1998	11.2	15:59	0.5	0	1		1975	3.29	14:03	0.5	0	3
	2000	7.4	19:15	0.6	С	9		1975	4.1	14:20	0.8	\bigcirc	3
남원	1975	5.31	10:59	0.7	\bigcirc	3		1976	10.30	18:28	0.7	\bigcirc	5
	1984	12.1	14:20	0.2	\bigcirc	1		1977	12.18	07:35	0.5	\bigcirc	6
	1991	2.11	15:11	0.5	\bigcirc	2		1978	1.18	09:35	0.5	\bigcirc	6
	1993	10.21	13:39	0.5	С	8		1978	4.12	17:05	0.7	0	2
	1997	9.26	13:38	0.5	С	2		1979	5.17	02:53	0.5	0	3
	1998	4.17	17:54	1.0	0	2		1982	12.22	13:33	0.5	0	7
장수	1988	6.20	17:44	0.5	0	5		1983	11.16	11:11	0.5	\overline{O}	2
01	1989	5 29	14.11	0.6	0	q		1985	4.17	13.11	0.5	0	7
	1005	3.25	10.04	0.0	0	12		1086	10.10	10.11	0.5	0	1
	1005	0.20 11.10	11.004	0.0	0	12 6		1007	0.10	12.04	0.5	0	1 0
	1995	11.10	11.30	0.3	0	0		1987	2.11	00.25	0.0	0	2
	1997	5.21	12:14	0.3	C	3		1988	4.23	16:41	0.8	0	8
	1997	6.5	11:48	0.3	C	4		1995	2.28	05:52	0.2	\bigcirc	7
	1997	6.14	15:11	0.5	С	3		1996	4.17	11:24	1.2	0	5

- 96 -

지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	뇌전 유 무	지속 시간 (분)
	1998	4.17	13:06	0.5	С	1		1992	5.25	18:54	0.5	0	2
목포	1974	11.23	15:30	0.5	0	5 F	서스	1997	6.5 E 1 <i>6</i>	14:43	0.5	0	5
	1977	11.29	11.20	10	C	5 5	여구	1972	5.10 2.16	15:02	0.5	0	3
	1970	4.12	21.15	10.	C	0 22		1973	2.10	10.00	0.5	0	9 26
	1978	10.20	02:53	0.5	C	4		1974	11.23	13:05	0.5	0	3
	1979	5.17	00:37	0.5	Č	3		1976	5.7	09:56	0.5	0	10
	1980	4.16	12:50	0.2	0	3		1978	4.12	17:54	0.5	0	3
	1982	11.11	11:41	0.5	\bigcirc	1	의성	1972	9.17	15:18	0.5	0	6
	1982	12.22	10:21	1.0	\bigcirc	2		1973	3.16	17:56	3.0	\bigcirc	2
	1983	2.14	21:53	0.6	С	2		1974	50.6	17:13	0.5	0	4
	1983	11.25	23:38	0.5	0	4		1978	6.11	18:23	0.8	0	1
	1985	11.11	22:04	0.5	0	10		1980	4.16	15:37	0.5	0	2
	1989	2.15	13.07	0.3	0	18		1982	4.14	12.20	0.2	0	3
	1992	2.15 9.6	15:32	0.5	0	3		1982	3.1	13.32	0.8	0	-
	1998	11.17	20:30	0.5	0	8		1983	7.5	16:59	0.7	Õ	5
완도	1972	5.16	07:08	0.3	Õ	3		1989	10.12	16:27	0.5	Õ	1
	1975	4.1	15:30	0.8	С	8		1999	4.6	06:20	0.6	\bigcirc	3
	1978	4.12	17:28	4.0	С	5		2000	6.13	18:15	0.7	\bigcirc	2
	1980	12.22	20:21	0.8	С	1	문경	1984	5.13	16:05	0.3	\bigcirc	5
	1981	1.1	11:25	0.5	С	6		1992	4.28	15:10	0.8	0	1
	1981	10.23	12:08	0.2	0	6	M 3	1995	8.15	15:35	2.0	0	10
	1983	11.10	21.52	0.4	0	9	영구	1986	6.4 5.14	19.39	0.5	0	2
	1904	1.12	21.00	1.0	0	5		1990	5.14	19.44	1.0	0	3 5
75	1965	4.20	12.47	1.2	0	0	-11-7	1997	5.19	10.41	1.0	0	0
꼬충	1975	5.31 4.19	10.44	0.5	0	2	내ㅜ	1971	0.7 10.10	14.38	0.7	0	9
	1978	4.12	17.50	1.7	C	0		1962	10.19 E 7	10.00	0.5	0	4 10
	1992	10.17	10.50	1.7	0	12		1990	ə.7	18.23	1.2	0	12
	1992	10.19	14.15	0.9	C	11		1991	3.7	17.50	0.5	0	(
-21- 1	1993	11.23	13:42	0.5	0	15	-2 -2	1997	5.19	17:04	0.5	0	3
해남	1974	11.23	11:10	0.4	0	2	합전	1972	4.8	19:50	0.3	0	10
	1975	4.1	20:20	0.4	0	10		1981	10.23	14:14	0.5	0	10
	1977	11.29	13:52	0.5	\bigcirc	4		1984	5.28	15:02	0.5	0	3
	1978	4.12	17:15	0.8	С	3		1991	3.10	20:38	0.3	0	12
	1978	10.28	20:40	0.5	\bigcirc	5		1997	5.21	11:20	0.7	0	4
	1978	10.29	06:23	0.5	\bigcirc	21	밀양	1975	3.5	15:27	0.3	\bigcirc	2
	1985	4.23	12:34	0.5	\bigcirc	11		1979	5.18	15:25	0.7	\bigcirc	5
	1985	11.16	10:09	0.5	С	14		1982	10.19	13:28	0.4	0	4
	1985	12.1	21:54	0.6	0	6		1983	11.30	13:18	0.3	\bigcirc	3
	1989	11.28	08:50	0.5	0	5		1986	8.3	17:50	0.5	0	10
	1991	12.27	20:45	0.5	0	23		1996	4.17	13:41	0.6	0	4

- 97 -

					ן אן	키스						1-] -]	키스
지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	퍼선 유 무	시녹 시간 (분)	지점	년도	월일	시각	크기 (cm)	퍼선 유 무	시눅 시간 (분)
	1998	4.1	17:35	0.4	0	20		1986	6.4	15:37	0.5	0	1
	1999	3.19	16:32	0.2	0	13		1989	4.27	09:55	0.5	0	10
	1999	3.24	08:57	0.2	0	3		1990	2.22	12:15	0.5	0	25
	2000	3.28	14:48	0.5	С	2		1992	5.23	12:07	0.8	0	6
포항	1974	6.3	15:35	0.5	С	1		1997	5.4	13:45	0.8	0	5
	1975	4.1	15:35	0.7	0	5		2000	5.19	14:10	1.0	0	7
	1987	2.19	13:48	0.2	0	2	제주	1975	4.1	00:02	0.5	\bigcirc	8
울산	1972	10.30	14:32	1.4	С	18		1978	11.28	08:25	0.7	0	5
	1991	3.7	18:50	0.5	0	-		1982	4.9	08:16	0.6	0	2
	2000	3.28	14:35	1.6	С	40		1992	1.13	22:14	0.8	\bigcirc	4
부산	1973	1.25	22:35	0.3	0	3		1993	11.23	16:53	0.7	\bigcirc	4
	1975	5.31	14:13	0.5	С	5		1995	12.5	18:18	0.5	\bigcirc	20
	1979	2.17	00:46	0.5	С	2		1995	12.6	10:20	0.3	0	16
진주	1975	5.30	17:48	1.0	С	4		1995	12.8	01:53	0.8	\bigcirc	23
	1986	10.10	14:45	0.3	С	3		1995	12.24	17:48	0.3	0	14
	1999	4.28	16:55	0.6	С	7		1996	1.8	15:25	0.3	\bigcirc	12
대관령	1972	5.19	15:15	0.5	С	3	서귀포	1982	10.19	13:43	0.7	0	2
	1973	6.1	17:28	0.5	С	6		1984	1.20	03:50	0.5	0	7
	1973	10.13	18:27	0.3	0	2		1984	1.31	13:40	0.5	0	4
	1975	5.19	12:47	0.5	0	2		1985	1.11	11:45	0.4	0	2
	1975	5.30	15:11	2.5	С	23		1986	1.3	20:54	0.5	0	3
	1976	6.13	14:52	0.7	С	1		1998	3.20	11:22	0.2	0	28
	1976	5.5	14:31	0.4	0	4	성산포	1978	10.29	07:37	0.5	0	2
	1977	3.22	11:22	0.2	0	-		1978	11.28	08:44	0.8	0	4
	1977	4.28	15:20	0.2	0	6		1983	11.17	07:24	0.5	0	14
	1979	5.1	19:32	0.3	0	3		1983	12.11	14:49	0.5	\bigcirc	9
	1979	5.24	18:30	0.8	С	1		1983	12.17	07:09	0.5	\bigcirc	23
	1980	4.30	23:22	0.4	0	3		1983	12.30	16:36	0.5	\bigcirc	15
	1980	10.30	16:47	0.3	0	17		1985	2.10	06:20	0.5	\bigcirc	-
	1981	5.30	13:04	0.5	С	13		1985	11.12	16:40	0.3	\bigcirc	2
	1982	6.8	16:22	0.8	С	2		1986	11.29	11:20	0.3	\bigcirc	9
	1983	4.29	11:15	0.3	0	5		1988	11.24	08:43	0.4	\bigcirc	1
	1983	3.1	15:55	0.2	0	-		1995	11.13	21:20	0.3	0	25
	1983	12.10	19:50	0.9	С	30		1995	11.23	20:30	0.3	\bigcirc	10
	1984	5.1	11:30	0.2	0	15		1995	11.24	01:03	0.3	\cap	3
	1985	4.17	11:35	0.5	С	15		1990	11.24	01.00	0.0		0

- 98 -

저작물 이용 허락서													
학 과	대기과학과	학 번	103	41178	과 정	박사							
성명	한글 : 이춘식	한문	로 : 李翔	春植 🛛 🗧	명문 : Lee	, Chun-Sik							
주 소	주 소 경기도 부천시 소사구 송래동 433-5												
연락처 E-MAIL : cslee@kma.go.kr													
논문제목 한글 : 한반도 우박 특성에 관한 연구 영어 : The Characteristics of Hail events in Korean Peninsula													
본인이 저 이용할 수 있	본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.												
 저작물의 기억장치 위의 목적 저작물의 배포 · 전 저작물에 없을 경우 해당 저적 1개월 이 조선대학 권리 침하 소속대학 전송·출 	 - 다 음 - 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집 · 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포 · 전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 저작물의 처락하 												
	동의여부 : 동의(0) 반대()												
	2007년 8월 일												
	저작자: 이 춘 식 (서명 또는 인)												
	조식	신대학	교총	장귀	하								

- 99 -