creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265402

2016년 2월
석사학위 논문

# 안정도지수를 이용한 우박 예측법 연구

조선대학교 대학원
대 기 과 학 과
박 경 훈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 안정도지수를 이용한 우박 예측법 연구

A Study of Hail Forecast by using Atmospheric Stability Indices

2016년 2월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

박 경 훈

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 안정도지수를 이용한 우박 예측법 연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 10월

조선대학교 대학원
대 기 과 학 과
박 경 훈

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 박경훈의 석사학위 논문을 인준함

위원장 군장대학교 교 수 정 병 옥 (인)

위 원 조선대학교 교 수 정 효 상 (인)

위 원 조선대학교 교 수 류 찬 수 (인)

2015년 11월

조선대학교 대학원

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 목 차

List of Tables ····· iv
List of Figures ····· v
ABSTRACT ····· vii

1. 서 론 ····· 1

2. 자료 및 연구방법 ····· 4
가. 연구에 이용한 자료 ····· 4
1) 지상관측자료 ····· 4
2) 단열선도 ····· 4
나. 연구방법 ····· 5
1) 우박 통계 분석 ····· 5
2) 안정도지수 분석 ····· 5
가) SSI 분석 ····· 6
나) LI 분석 ····· 7
다) KI 분석 ····· 7
라) TTI 분석 ····· 8
마) CAPE 분석 ····· 9
바) SRH 분석 ····· 9
사) SWEAT 지수 분석 ····· 10
아) BRN 분석 ····· 11



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 수치모델 예상자료 분석 ····· 12
4) 사례 검증 ····· 12

3. 연구결과 ····· 13
가. 우박 발생일의 특성 분석 ····· 13
1) 지역별 우박 발생일수 ····· 19
2) 연도별 우박 발생일수 ····· 21
3) 월별·계절별 우박 발생일수 ····· 22
가) 우박/싸락우박(0.2㎝ 이상) 월별 발생일수 ····· 22
나) 10년간 월별 우박 총 관측횟수 ····· 23
다) 계절별 우박 발생일수 ····· 25
4) 우박/싸락우박의 발생시각 ····· 26
5) 우박의 크기 ····· 27
6) 뇌우의 동반 유무 ····· 28
나. 안정도지수 특성 분석 ····· 30
1) 우박 발생일 주요 안정도지수 특성 ····· 30
2) 우박 발생일 안정도지수별 기준값 도달 수준 및 평균값 ····· 33
3) 안정도지수별 기준값 변경 시 도달 수준 비교 ····· 36
가) SSI 분석 결과 ····· 37
나) LI 분석 결과 ····· 39
다) KI 분석 결과 ····· 40
라) TTI 분석 결과 ····· 42
마) CAPE 분석 결과 ····· 43



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

바) SRH 분석 결과 ····· 45
4) 안정도지수 조합 시 우박 예측 비교 ····· 46
5) 우박 예보 체크리스트 ····· 50
다. 수치모델 자료 이용 ····· 51
라. 사례 검증 ····· 55

4. 요약 및 결론 ····· 61

참고문헌 ····· 63



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# List of Tables

Table 1. Standard Value for Showalter Stability Index and the Possibility to accompany Thunderstorm ····· 6
Table 2. Same as Table 1 except for Lifted-Index and the Possibility ··· 7
Table 3. Same as Table 1 except for K-Index and the Possibility ····· 8
Table 4. Same as Table 1 except for Total Totals Index and the Possibility ···· 8
Table 5. Standard Value for Convective Available Potential Energy and the Intensity of Convection ····· 9
Table 6. Standard Value for Storm Relative Helicity and the Possibility to accompany Supercell Storm ····· 10
Table 7. Same as Table 1 except for Severe Weather Threat Index and the Possibility ····· 11
Table 8. Standard Value for Bulk Richardson Number and the Possibility to accompany Supercell Storm ····· 11
Table 9. Characteristics of Hail in Korea ····· 14
Table 10. Examination of each Stability Index during Hail Occurrence ···· 36
Table 11. Stability Indices Combination(Without Standard Value Modification) ·· 49
Table 12. Stability Indices Combination(With Standard Value Modification) ··· 49
Table 13. Observatory Data vs. Numerical Weather Prediction Data during Hail Occurrence ····· 54
Table 14. 2015 Hail Reports for Seongsan ····· 56
Table 15. Same as Table 14 except for Jeju ····· 57
Table 16. Same as Table 14 except for Pohang ····· 58
Table 17. Same as Table 14 except for Gwangju ····· 59
Table 18. Same as Table 14 except for Chuncheon ····· 60



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# List of Figures

Fig. 1. No. of Hail Observations in the past 10 years (Cities) ····· 20
Fig. 2. Same as Fig. 1 except for (Provinces) ····· 21
Fig. 3. Same as Fig. 1 except for (Yearly) ····· 22
Fig. 4. No. of Hail/Small Hail Observations in the past 10 years (Monthly) ·· 23
Fig. 5. Total No. of Hail Observations in the past 10 years (Monthly) ·· 24
Fig. 6. Total No. of Hail vs. No. of Hail/Small Hail Observations in the past 10 years (Monthly) ····· 25
Fig. 7. No. of Hail Observations in the past 10 years (Seasonal) ····· 26
Fig. 8. Time of Hail/Small Hail Occurrence in the past 10 years ····· 27
Fig. 9. Monthly Hail Size in the past 10 years ····· 28
Fig. 10. No. of Hail Observations with Thunderstorm (Monthly) ····· 29
Fig. 11. Skew T-log P diagram ····· 30
Fig. 12. Examination of 5 Stability Indices ····· 32
Fig. 13. Values of Stability Indices during Hail Occurrence(Monthly) ···· 33
Fig. 14. Investigating Stability Indices during Hail Occurrence ····· 35
Fig. 15. Average Value for Stability Indices during Hail Occurrence ··· 35
Fig. 16. SSI Standard Value Modification ····· 38
Fig. 17. Average SSI Value with a modified Standard Values ····· 38
Fig. 18. Same as Fig. 16 except for LI Standard Value Modification ····· 39
Fig. 19. Same as Fig. 17 except for LI ····· 40
Fig. 20. Same as Fig. 16 except for KI Standard Value Modification ····· 41
Fig. 21. Same as Fig. 17 except for KI ····· 41
Fig. 22. Same as Fig. 16 except for TTI Standard Value Modification ··· 42
Fig. 23. Same as Fig. 17 except for TTI ····· 43
Fig. 24. Same as Fig. 16 except for CAPE Standard Value Modification · 44
Fig. 25. Same as Fig. 17 except for CAPE ····· 44



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 26. Same as Fig. 16 except for SRH Standard Value Modification … 45
Fig. 27. Same as Fig. 17 except for SRH …… 46
Fig. 28. Flow Chart of Hail-Forecast Checklist …… 50
Fig. 29. Skew T-log P diagram (Gwangju) …… 52
Fig. 30. Skew T-log P diagram with the Numerical Weather Prediction Data for Gwangju …… 53



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# ABSTRACT

## A Study of Hail Forecast by using Atmospheric Stability Indices

Park, Kyeong-hun
Advisor : Prof. Ryu, Chan-su, Ph.D
Department of Atmospheric Science
Graduate School of Chosun University

Hail is a form of severe meso-scale meteorological phenomenon, which not only causes extensive damage to property but also results in loss of life, which is required to analyze a vast amount of meteorological data to forecast hail and to provide a relative support, but the time to accomplish the task is always limited. Therefore, this study to investigate the way to employ stability indices is accomplished, to quickly and accurately forecast hail.

Hail was observed 105 times in the past 10 years(2005~2014) in Korea, scrutinized temporal, spatial and statistical characteristics of each hail occurrence. It particularly focuses on Atmospheric stability indices, such as SSI, LI, KI, TTI, CAPE, SRH, SWEAT and BRN, to assess conditions before and after the occurrence of hail events.

In addition, it modifies the standard value of each stability index and creates a new combination of those stability indices, to produce a more accurate hail-forecast checklist. Moreover, it examines the application of the Numerical Weather Prediction data in hail forecast by retrospectively investigating 5 hail occurrences in 2015. As a results, it may demonstrate the accuracy of the hail-forecast checklist using the Numerical Weather



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Prediction data, which is updated every 6-hours, as opposed to the observatory data that is released every 12-hours.

In fact, SSI, TTI and SRH are recognized as the most accurate tools in hail forecast, while SWEAT and BRN seem to be the least. As noted, those stability indices were reexamined using the modified standard value. SSI was derived from both 925~500hPa and 925~700hPa and the standard value is set at less than +3, while LI was set at less than +3. At the same time, KI score of more than 20, TTI score of more than 50, and CAPE and SRH scores of more than 0 were set as the standard value. In fact, this modification increases the accuracy of hail forecast by 15~43%. Additionally, the combination of SSI and TTI scores (SSI-TTI) with the modified standard values is found to produce the most accurate result. Lastly, SRH score of more than 150 is also found to cause hail, especially during January to March and October to December.

Based on above findings, the hail-forecast checklist is finally produced. Then, it is verified that the Numerical Weather Prediction data may also provide accurate hail forecast 6-12 hours prior to the actual occurrence, when the retrospective study of 5 hail occurrences in 2015 was conducted.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 1. 서 론

2015년 9월 5일. 이탈리아 남부의 항구도시인 나폴리 근처 바다와 마을에는 지름 5cm 내외의 우박이 떨어져 부상자가 속출했고, 건물 지붕과 집, 차량의 유리창이 깨지는 등 우박에 의한 피해가 발생하였다. 2015년 8월 7일에는 승객 125명과 승무원 5명을 태우고 보스턴에서 솔트레이크 시티로 향하던 미국 델타 항공 DL-1889편이 우박으로 인해 조종실 유리창이 깨지고 기상레이더가 파손되는 피해를 입고 덴버로 긴급 회항하였다. 또, 2015년 7월 27일에는 중국 베이징에서 미국 댈러스로 향하던 아메리칸 항공의 B787기가 우박으로 기체가 파손 되었다. 우리나라에서는 2015년 6월 13일에 발생한 우박으로 인해 강원도 삼척시의 42개 농가가 수십억의 농작물 피해를 입었고, 과거 국내의 대표적인 항공기 우박 피해 사례로 2006년 6월 9일 제주에서 승객 200명을 태우고 김포로 이동 중이던 아시아나 항공 OZ-8942편이 경기도 일죽 상공에서 우박을 맞아 조종실 방풍창이 깨지고 노즈레이돔이 잘려나간 사고가 있었다. 이처럼 우박의 피해 사례는 국내 뿐 아니라 전 세계적으로도 자주 발생하고 있다.

기상청 지상기상관측 지침(2002)에 의하면 우박(hail)이란 “얼음의 입자나 덩어리로 된 강수로써 직경이 5mm에서 50mm 또는 그 이상 되는 것도 있다. 단독으로 내릴 때도 있고 몇 개가 불규칙하게 붙어서 덩어리로 내릴 때도 있다. 우박은 얼음덩어리만으로 될 수도 있고 투명한 층(보통 1mm 이상)과 반투명한 층이 서로 겹쳐서 되어 있을 수도 있다. 우박은 강한 뇌전을 동반하여 비에 섞여 내리는 수가 많다.” 라고 정의하고 있다.

일반적으로 우박은 연직으로 바람시어가 강한 조건에서 수적이 강한 상승류를 따라 빙결고도 이상으로 상승했다가 다시 하강하는 과정을 반복하면서 성장하게 되고, 그 무게를 이기지 못할 만큼 커지면 지상으로 낙하한다(정관영, 2000)고 알려져 있다.

우박의 크기는 일반적으로 5~50mm 이내지만 때로는 이보다 더 큰 것들로 관측된 사례가 있다. 2010년 7월 23일 미국 사우스다코타 주 비비안에 떨어진 우박은 직경 약 20cm, 무게 약 0.9kg으로 미국에서 가장 큰 우박 기록으로 남아 있다. 우리나라에서의 기록적인 우박은 증보문헌비고(增補文獻備考)에 의하면



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

백제 초부터 조선 말기까지 평균 50년에 한 두 차례 거대한 크기의 우박이 관측된다는 고대 관측기록이 전해지고 있고, 현대 관측기록으로는 1975년 5월 30일에 전국적으로 우박이 관측된 가운데 부산 동래구 사직동 903번지(서홍화씨 집)에 떨어진 직경 80cm, 무게 50~60kg의 우박이 가장 큰 우박으로 알려져 있다(김성삼과 손형진, 1977).

많은 인명과 재산 피해를 야기하는 우박은 중규모의 악기상 현상으로, 짧은 시간에 급격히 발달하여 좁은 지역에 피해를 주고 소멸하기 때문에 기상 예보자가 조기에 탐지하거나 예측하기가 어렵다. 따라서 우박으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 많은 연구와 노력이 필요하다.

국내에서 우박에 관한 연구로 이춘식(1993)은 우리나라 우박 통계 자료를 분석하고 인천지방에서 관측된 우박 에코에 대해 사례연구를 하였고, 김현숙(1993)은 우리나라의 우박현상에 관하여 통계적인 특징과 우박의 형성조건, 대기의 안정도 상태 등 기초적인 특징에 대해 알아보고자 하였으며, 이화운 등(1993)은 우박형성을 고려한 강우 모델을 만들어 대류운으로부터 우박의 형성 및 강우 현상에 대하여 수치모의 하였다. 또한, 변희룡 등(1996)은 관측자료 값을 이용하여 여름철 우박 발생은 기층 불안정과 대규모 대기순환과 연관되어 있어 종관자료를 이용하여 2~4일 전에 우박 발생을 예측할 수 있다는 이론적 근거를 제시하였다. 문병주(1997)는 우박이 발생하는 시간대가 주로 일중 불안정이 최대가 되는 오후에 가장 많이 발생하며, 지속시간은 10분 이하가 대부분인 것으로 분석하였고, 김동호 등(1999)은 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 해륙풍 순환의 영향을 크게 받아 해상에서 육상으로 바람이 부는 오전 11시~오후 7시 사이에 우박이 주로 발생한다고 하였다. 또한, 임은하(2000)는 우리나라 우박 발생일의 특성을 조사하여 녹는 고도와 우박 발생과의 상관성을 분석하였고, 김경하(2004)는 악기상 발생 시 대기선도의 특성분석에서 Miller의 4가지 대기선도 유형을 바탕으로 우박 발생 시에 나타나는 대기선도 특징을 비교하고 분석하였다. 조진대(2005)는 영남지방 우박 특성과 예측에 관한 연구를 통해 우박의 특성을 조사하고, 우박 예측에 필요한 종관적 조건을 제시하였다. 이춘식(2007)은 한반도 우박 특성에 관한 연구에서 29년간 한반도에 출현한 우박을 통계 처리하여 그 특성을 기상학적 차원에서 규명하고자 하였으며, 고혜영 등



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2007)은 우박 발생의 시·공간 특성을 분석하여 안정도지수를 통한 정량적 우박 예측 가능성을 살펴보고자 하였다.

일반적으로 우박은 뇌우와 동반되어 나타난다고 생각하는 경우가 많기 때문에 뇌우가 예상될 때 우박도 함께 고려하게 된다. 뇌우는 대기의 불안정으로 인해 강한 상승기류가 존재할 때 적란운에서 발생하는 기상현상으로 주로 천둥, 번개, 강풍 등이 관측되며 심한 경우 우박과 같은 악기상을 동반한다. 그러나 이춘식(2001)의 남한지역 우박 발생조건에서 보면 서울지방의 우박 관측자료 조사에서 총 발생횟수 37회 중 18회는 천둥이나 번개를 동반하지 않고 우박이 발생하였다. 뇌우의 발생 조건 중 하나인 대기의 불안정도는 고층기상 관측자료를 통하여 얻을 수 있는데 손태성 등(2003)은 고층기상 관측자료를 이용하여 뇌우의 발생과 SSI(Showalter Stability Index), K-Index와의 상관관계를 분석하였고, 전병일(2003)은 부산지방에서 기단성 뇌우가 발생 시 뇌우와 연관된 주요 안정도지수들(SSI, KI, LI, SWEAT)의 특성을 분석하고, 각 지수들의 예측률을 평가하였다. 또한, 이춘식 등(2002)은 불안정도와 관련하여 우박 발생의 선행조건으로 TTI(Total Totals Index)가 46 이상, K-Index가 40 이상, SSI는 +2 이하를 제시하였고, 최승진(2008)은 여름철 악기상(뇌우)발생 시 주요 안정도지수의 특성과 문제점을 분석하고 뇌우 예보를 위한 최적의 지수와 임계치를 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 최근 10년간(2005~2014년) 우리나라에서 발생한 우박 관측 사례를 토대로 실제 현업에서 우박 예측에 필요한 지표들을 찾아 업무 수행에 도움을 주고자 연구하게 되었다. 분석된 자료를 바탕으로 우박 예측에 활용할 수 있는 예보 체크리스트를 만들고, 수치모델 자료에서 제공되는 안정도지수들을 이용해 실제 우박 발생일과 비교·분석하여 우박의 발생을 미리 예측할 수 있는 자료로써 사용할 수 있는지 확인하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 2. 자료 및 연구방법

## 가. 연구에 이용한 자료

### 1) 지상관측자료

2005년 1월 1일 ~ 2014년 12월 31일까지 최근 10년간 전국 93개 관측지점의 지상관측자료를 이용하여 우박이 관측된 사례를 조사하였다. 우박이 관측된 지상관측자료는 기상청 국가기후 데이터센터의 통계자료를 통해서 얻었고, 이 자료에는 우박이 발생한 지점과 날짜, 발생시각 및 종료시각, 우박의 지속시간과 우박의 직경이 표현되어 있다. 10년간 우리나라에 관측된 우박은 모두 226건으로 이 중 울릉도에서 관측된 29건의 사례는 지리적인 위치와 고층자료 분석의 애로로 인하여 제외하였다. 따라서 이번 연구에서 이용된 자료는 모두 197건으로 우박 발생일의 시·공간 특성 분석에 활용하였다. 기상청 관측지침서에 의하면 직경 0.5㎝ 이상은 우박, 0.5㎝ 미만은 싸락우박으로 구분하고 있다. 197건의 사례 중 우박에 해당하는 것은 91건, 싸락우박에 해당하는 것은 14건이 있었다. 더 많은 우박 사례를 연구하기 위해 싸락우박까지 포함하여 총 105건의 관측자료가 실질적인 우박 예측법 자료로 이용하였다.

### 2) 단열선도(Skew T-log P diagram)

현재 우리나라에서는 오산, 광주, 속초, 포항, 백령도, 흑산도 및 고산에서 고층기상관측을 실시하고 있다. 이 중 오산과 광주는 공군 소속의 관측소로 1일 4회(00, 06, 12, 18UTC)의 관측을 하고 있고, 나머지는 기상청에서 1일 2회(00, 12UTC)의 관측을 실시하고 있다. 관측된 고층기상 자료를 통해 단열선도를 생성하는데, 이 선도는 현재 대기의 연직기온 및 바람분포를 잘 표현하고 있고, 한 장의 그림에 층별 기온구조, 수증기량, 불안정도 등 많은 정보를 제공하고 있다. 단열선도를 이용하면 현재의 대기를 3차원 구조로 분석할 수 있고, 수치모델 예상자료와의 비교를 통해 예측오차를 줄일 수 있으며, 가까운 미래에 발생할 날씨 예측에도 매우 유용하게 사용될 수 있다. 분석된 단열선도에는 많은 자료들이 존재하지만, 특히 우박 연구에 있어서 대기의 안정도와 연직 상승류 등



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

은 아주 밀접한 관련이 있다. 따라서 본 연구에서는 우박의 특성 분석과 우박 예측법 연구에 단열선도의 안정도지수 자료를 활용하였다. 지상관측자료를 통해 우박 발생일과 발생시각을 조사하고 우박 발생시각 전·후의 단열선도를 찾아 안정도지수 자료들의 특성을 분석하였다. 고층기상관측소가 전국에 7개 밖에 없기 때문에 지역별로 가장 가까운 고층기상 관측소의 자료값을 비교·분석하였다. 내륙에는 오산, 광주, 속초, 포항에 고층기상 관측소가 위치하고 있어 강원도 지역은 속초 자료를, 경북 및 경남 지역은 포항 자료를, 충청 및 경기도 지역은 오산 자료를, 전라남북도 지역은 광주 자료를 이용하였고, 도서지역은 백령도, 흑산도 및 고산 관측소의 자료를 이용하였다. 일부 사례에 대한 검증 시에는 공군 고층기상관측소의 시간 분해능이 우수하기 때문에 좀 더 정확한 분석을 위해 오산이나 광주의 단열선도 자료를 활용하였다. 한편, 현재 기상청에서 제공되는 단열선도에서 지원되지 않는 안정도지수(SWEAT, BRN) 자료들은 와이오밍대학교의 Sounding 자료를 이용하여 정보를 수집하였다.

## 나. 연구방법

### 1) 우박통계 분석

최근 10년간(2005~2014년) 우리나라의 우박 발생일과 관측기록을 조사하여 발생일에 대한 시·공간 분포를 파악하고, 통계적 특성을 분석하였다. 이를 위해 조사된 197건의 우박 관측기록 중 직경이 관측된 싸락우박은 우박과 동일한 기상현상으로 취급하였으며, 우박과 싸락우박의 구분이 필요한 경우에는 우박의 직경 0.5㎝를 기준으로 분류하였다. 10년간 관측된 우박 자료를 통해 지역별, 연도별, 월별, 계절별 우박 발생빈도, 발생시각, 우박의 크기, 뇌우현상의 동반유무 등을 분석하여 우리나라 우박 발생일의 특성을 파악하였다.

### 2) 안정도지수 분석

우박 발생일의 안정도지수 특성을 파악하기 위하여 우박 발생시각 전·후의 안정도지수들을 분석하고 우박 예측에 활용하고자 여러 지수들과의 상관관계도 조사하였다. 기본적으로 비교·분석한 안정도지수는 SSI(Showalter Stability Index), LI(Lifted Index), KI(K-Index), TTI(Total Totals Index), CAPE



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(Convective Available Potential Energy)이고, 여기에 우박과 연직상승류의 관계를 알아보기 위해 SRH(Storm Relative Helicity)도 조사하였다. 기상청에서 제공되는 단열선도에는 SWEAT(Severe WEAther Threat) 지수와 BRN(Bulk Richardson Number)이 없기에 와이오밍대학교의 sounding 자료를 이용하여 SWEAT와 BRN 값을 분석하였다. 연구에 이용된 안정도지수의 정의와 기준값은 기상청에서 발간한 '손에 잡히는 예보기술' 통합본을 참고하였으며(기상청, 2014), 그 내용은 다음과 같다.

### 가) SSI(Showalter Stability Index)

SSI는 850hPa 등압면의 공기가 단열적으로 500hPa 등압면까지 상승했을 때 해당 공기가 가지는 온도와 500hPa 등압면에서 주변의 기온과의 차를 지수로 나타낸 것이다. 단열선도 상에서 850hPa의 상승응결고도에서 습윤단열선을 따라 올라가 500hPa면과 만나는 점의 온도($T_L$)를 500hPa면의 실제 기온($T_{500}$)에서 뺀 값으로 구할 수 있다. SSI를 구하는 공식은 아래와 같다.

$$SSI = T_{500} - T_L$$

SSI는 850-500hPa에서 전선면이 존재하거나 역전층이 있을 시 유용하지 못하다. SSI 값에 따른 불안정도의 기준은 다음과 같다.

Table 1. Standard Value for Showalter Stability Index and the Possibility to accompany Thunderstorm.

| Value | Condition |
|---|---|
| 1 < SSI ≤ 3 | Showers and a few thunderstorms likely |
| -3 < SSI ≤ 1 | Thunderstorms likely surge |
| -5 < SSI ≤ -3 | Severe thunderstorms likely |
| SSI ≤ -5 | Possibility that tornadoes occur |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나) LI(Lifted Index)

LI는 SSI의 하층 전선면이나 역전층이 있을 경우 이를 보완하기 위해 만들었다. LI 역시 SSI와 마찬가지로 대류권 하부 공기 입자의 불안정도를 평가하는 지수이다. LI는 500hPa에서의 온도($T_{500}$)와 지표(Surface) 공기괴를 단열적으로 500hPa까지 상승시켰을 때 단열상승된 공기괴의 온도($T_L$)의 차로 산출 된다. LI를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$LI = T_{500} - T_L$$

LI 값에 따른 불안정도의 기준은 다음과 같다.

Table 2. Same as Table 1 except for Lifted-Index and the Possibility.

| Value | Condition |
|---|---|
| 0 ~ -2 | Thunderstorms likely weak |
| -3 ~ -5 | Thunderstorms likely usually |
| < -5 | Thunderstorms likely strong |
| < -6 | Tornado |

다) KI(K-Index)

George(1960)에 의해 개발된 K-Index는 연직 기온감률과 대기 중층 이하의 불안정 요소를 진단하는 불안정 지수이다. KI는 850hPa과 500hPa의 기온차가 클수록, 850hPa의 노점온도가 높을수록, 700hPa의 노점편차가 작을수록 그 값이 커진다. KI는 850hPa 기온($T_{850}$)과 500hPa 기온($T_{500}$)차에 850hPa 노점온도($Td_{850}$), 700hPa 노점온도($Td_{700}$)와 700hPa 온도($T_{700}$)차이의 합으로 구할 수 있다. KI를 구하는 공식은 다음과 같다.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

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

KI 값에 따른 불안정도의 기준은 다음과 같다.

Table 3. Same as Table 1 except for K-Index and the Possibility.

| Value | Condition |
|---|---|
| KI > 25 | Thunderstorms likely 40~60% |
| KI > 30 | Thunderstorms likely 60~80% |
| KI > 35 | Thunderstorms likely 80~90% |
| KI > 40 | Thunderstorms likely almost 100% 100% |

라) TTI(Total Totals Index)

TTI는 뇌우의 강도를 평가하기 위한 지수로써 1972년 Miller에 의해 제안되었으며, Vertical Totals(VT)와 Cross Totals(CT)의 합으로 정의된다. VT는 850hPa 등압면의 기온과 500hPa 등압면의 기온 차이고, CT는 850hPa 등압면의 노점온도와 500hPa 등압면의 기온 차이다. TTI를 구하는 공식은 다음과 같으며, TTI 값에 따른 불안정도의 기준은 Table 4와 같다.

$$TTI = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500})$$

Table 4. Same as Table 1 except for Total Totals Index and the Possibility.

| Value | Condition |
|---|---|
| TTI ≥ 50 | Strong thunderstorms likely that some |
| TTI ≥ 52 | Multicellular storms possibility |
| TTI ≥ 56 | Thunderstorm likely plenty |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마) CAPE(Convective Available Potential Energy)

CAPE는 공기덩이가 주위와 섞이지 않고 상승하며 주위 기압에 순간적으로 적응한다고 가정했을 때, 정적으로 불안정한 공기덩이가 얻을 수 있는 운동에너지의 최대 가능값을 말한다. CAPE는 LFC(자유대류고도)에서 EL(평형고도)까지 포화단열선과 환경온도곡선이 이루는 면적을 적분한 값으로 부력에너지라고 불린다. 이는 상승운동의 가능성을 나타내는 것으로 CAPE 값이 클수록 대류가 더 활발하다. CAPE를 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$CAPE(J/kg) = Rd\int_{EL}^{LFC}(T_v^{'} - T_v)dLnp$$

여기서 Rd는 기체상수, $T'_v$는 공기덩이의 가온도, $T_v$는 주변 공기의 가온도를 나타낸다. CAPE가 증가할수록(특히, 2500J/kg 이상) 우박 가능성도 증가한다. 우박이 클수록 CAPE 값도 높다. CAPE 값에 따른 불안정도의 기준은 다음과 같다.

Table 5. Standard Value of Convective Available Potential Energy and the intensity of Convection.

| Value | Condition |
|---|---|
| 300 ~ 1000 J/kg | Weak convection |
| 1000 ~ 2500 J/kg | Medium convection |
| 2500 ~ 5300 J/kg | Strong convection |

바) SRH(Storm Relative Helicity)

SRH는 호도그래프에서 지상부터 상공 3km까지 둘러쌓은 면적으로 연직시어와 풍향시어의 정도를 나타낸다. 바람이 순전하면 양의 값, 바람이 역전하면 음의 값으로 표시한다. 호도그래프란 연직으로 관측된 바람벡터를 한 정점에 모아



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

서 표시한 후 대기 하층점에서 상층점으로 벡터의 끝을 연결하여 얻은 곡선(궤적)으로 연직 Wind Shear를 파악하기 위하여 사용한다. 즉, 호도그래프란 고도에 따른 수평 바람의 속도차를 묘사한 것으로 두 층의 수평바람 벡터 차이다. SRH의 산출식과 기준값(Table 6)은 다음과 같다.

$$SRH = \int_{sfc}^{3km} (v - c) w dz$$

Table 6. Standard Value for Storm Relative Helicity and the Possibility to accompany Supercell Storm.

| Value | Condition |
|---|---|
| ≦150 | Supercell Storm Possible |
| 150 ~ 299 | Weak tornadoes a Supercell Storm Possible |
| 300 ~ 449 | Strong tornadoes a Supercell Storm Possible |
| 450 ≦ | Very strong tornadoes a Supercell Storm Possible |

사) SWEAT(Severe WEAther Threat) 지수

SWEAT 지수는 미 공군이 위험기상을 진단하기 위해 개발한 안정도지수이다. 하층(850hPa)의 습윤역, 대류 불안정(TTI), 하층 제트축의 최대풍속(850, 500hPa Wind Speed) 그리고 난기 이류(850-500hPa 사이의 바람의 순전, Veering)를 가지고 계산한다. SWEAT는 일반적인 대류와 강한 대류를 구분하기 위해 개발되었으며 산맥 동쪽의 평야지대에서 더욱 잘 적용되는 특징이 있다. SWEAT의 기준값은 미국에서 경험적으로 구한 것으로 그 산출식과 기준값(Table 7)은 다음과 같다.

$$SWEAT = 20(TTI - 49) + 12Td_{850} + (V_{500} + 2V_{850} + (125\sin(D_{500} - D_{850}) + 0.2)$$



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 7. Same as Table 1 except for Severe WEAther Threat Index and the Possibility.

| Value | Condition |
|---|---|
| ≦ 300 | No likelihood of thunderstorm |
| 300 ~ 400 | Strong thunderstorm development |
| 400 ~ 500 | Strong thunderstorm & tornado development |

아) BRN(Bulk Richardson Number)

BRN은 대류를 나타내는 부력과 Wind Shear와의 비를 나타내는 무차원 수로써 대류 정도는 CAPE로 나타낼 수 있으며, Wind Shear는 3km까지의 합으로 호도그래프에서 구할 수 있다. BRN의 산출식과 기준값(Table 8)은 다음과 같다.

$$BRN = \frac{CAPE}{0.5 \times U^2}$$

Table 8. Standard Value for Bulk Richardson Number and the Possibility to accompany Supercell Storm.

| Value | Condition |
|---|---|
| ≦10 | Severe weather likely low |
| 15 ~ 35 | Single Supercell Storm likely possible |
| 50≦ | Multiple Storm Possible |

안정도지수 분석은 각 지수별로 우박 발생일의 안정도 값과 비교하여 기준값 해당 여부를 조사하고, 안정도지수별 평균값도 산출하였다. Table에 표시된 기준값들은 외국에서 정한 값으로 우리나라의 지형과 기후에 완벽히 적용되지 않



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 부분이 있다. 그래서 우박 예보 정확률을 높이기 위해 일부 자료는 기준값을 조절하여 적용시켜 보았다. 또한, 안정도지수별 상관관계를 알아보고 우박 예측에 있어서 가장 조합이 잘 맞는 지수를 찾고자 하였다.

### 3) 수치모델 예상자료 분석

우박 발생 시 안정도지수의 특성을 알고 있어도 우박을 정확히 예측하기에는 한계가 있다. 그 이유 중 하나가 바로 고층기상 관측자료가 우리가 원하는 시간에 얻기 힘들기 때문이다. 공군 관측소 자료는 6시간에 한번 지원되고, 기상청 자료는 12시간에 한번 지원된다. 우박 발생 전부터 지속적으로 자료를 모니터링하면 되지만, 급격히 발달하여 짧은 시간 동안 영향을 주고 사라지는 우박의 특성상 예보 지원에 있어 많은 애로가 있다. 이러한 상황을 개선하기 위해 방재기상정보시스템의 위험기상감시 메뉴에서 제공하고 있는 예상 단열선도 자료를 이용할 필요가 있다. 수치모델 자료로써 매 6시간마다 3시간의 시간분해능으로 예상 단열선도 자료를 제공한다. 이 수치모델 자료를 실제 단열선도 자료와 비교·분석하여 모델이 수치들을 잘 모의한다면 실제 우박 발생 6시간, 12시간 전에 우박 예보가 가능할 것이다. 따라서 수치모델의 예상 단열선도 자료를 이용하여 우박이 관측된 날의 우박 발생시각을 기준으로 6시간, 12시간 전에 제공되는 자료가 실제 단열선도 자료와 어느 정도 일치하는지 조사하고, 우박 예보 자료로써 사용 가능한지를 분석하였다.

### 4) 사례 검증

연구된 자료들이 실제로 잘 적용되는지 2015년 발생한 우박 사례와 비교·검증하여 연구자료의 신뢰도를 높이고자 하였다. 비교·검증 방법은 실제 2015년 우박 발생일의 안정도지수 자료를 분석된 우박 예보 체크리스트에 적용해 보는 것과 예상 단열선도 자료를 이용해 우박 발생시각 6시간, 12시간 전의 수치모델 자료가 실제 우박 발생시각의 단열선도 자료를 잘 모의하였는지 살펴보았다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 3. 연구결과

## 가. 우박 발생일의 특성 분석

최근 10년간 울릉도를 제외하고 전국에서 관측된 우박은 총 197건이다. 이 중 직경 0.5㎝ 이상의 우박은 91건이 관측되었고, 0.5㎝ 미만의 싸락우박은 14건이 관측되었다. 나머지 92건은 우박이 발생하였지만 직경이 관측되지 않은 경우이다. 본 연구에서 싸락우박은 더 많은 연구 사례 확보를 위해 우박과 동일한 현상으로 간주하고 우박 예측법 자료로 이용되었다. 2005년부터 2014년까지 발생한 197건의 우박에 대해 관측지점과 날짜, 발생시각, 우박의 크기, 뇌우 동반 유무 등의 정보를 Table 9에 정리하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. Characteristics of Hail in Korea.

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Gangneung | Jul. 6, 2005 | 14:15 | 0.3 | O |
| 〃 | Oct. 11, 2006 | 12:45 | 0.5 | O |
| 〃 | Apr. 21, 2007 | 20:50 | 0.5 | O |
| 〃 | May 14, 2007 | 17:44 | | O |
| Daekwanryeong | Jun. 5, 2006 | 12:30 | 0.5 | O |
| 〃 | May. 28, 2007 | 16:38 | 0.5 | O |
| 〃 | Apr. 21, 2007 | 22:58 | 1.5 | O |
| 〃 | Apr. 27, 2009 | 13:20 | | |
| 〃 | Mar. 20, 2013 | 07:10 | | |
| 〃 | May. 8, 2014 | 05:10 | | |
| Donghae | Nov. 25, 2008 | 15:52 | 0.7 | |
| 〃 | May. 26, 2009 | 15:45 | 1.5 | O |
| 〃 | Jun. 26, 2009 | 13:55 | 1.5 | O |
| Sokcho | Mar. 20, 2014 | 09:25 | 0.6 | |
| 〃 | Apr. 4, 2014 | 02:05 | 0.5 | |
| Youngwol | Jun. 8, 2007 | 17:03 | 1.5 | O |
| Wonju | Apr. 25, 2013 | 16:55 | 0.5 | O |
| Cheolwon | Apr. 21, 2005 | 14:19 | 0.3 | |
| 〃 | May. 17, 2012 | 13:40 | 0.3 | O |
| 〃 | Jun. 10, 2014 | 18:40 | 1.5 | O |
| 〃 | Oct. 16, 2014 | 05:10 | 1.0 | O |
| Chuncheon | Jan. 12, 2006 | 20:30 | | |
| 〃 | Jan. 13, 2006 | 00:15 | | |
| 〃 | Apr. 19, 2006 | 02:50 | 1.2 | O |
| 〃 | Apr. 20, 2006 | 02:40 | | O |
| 〃 | Nov. 5, 2006 | 03:35 | 1.0 | O |
| 〃 | Nov. 15, 2006 | 05:04 | 0.7 | O |
| 〃 | Jun. 12, 2008 | 16:30 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 11, 2010 | 15:55 | 0.5 | O |
| 〃 | May. 27, 2012 | 12:00 | 0.5 | O |
| Dongducheon | Jun. 14, 2005 | 17:07 | 1.0 | O |
| 〃 | Mar. 28, 2007 | 14:20 | 0.5 | O |
| 〃 | May. 19, 2008 | 15:50 | 0.6 | O |
| 〃 | Oct. 17, 2009 | 06:35 | 0.8 | O |
| 〃 | Apr. 27, 2010 | 09:37 | 0.5 | O |
| Suwon | Jan. 12, 2006 | 16:50 | | |
| 〃 | Apr. 19, 2006 | 21:50 | 0.5 | O |
| 〃 | Apr. 20, 2006 | 00:05 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 5, 2006 | 04:28 | 0.5 | O |
| 〃 | Dec. 2, 2010 | 14:10 | | O |
| 〃 | Dec. 19, 2014 | 22:05 | | |
| Icheon | Dec. 25, 2009 | 12:45 | | |
| 〃 | Jan. 27, 2010 | 15:10 | | |
| 〃 | Nov. 27, 2010 | 07:20 | | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. (Cont'd 1)

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Paju | Mar. 28, 2007 | 11:20 | 0.8 | O |
| 〃 | May. 29, 2007 | 07:30 | 1.0 | O |
| 〃 | Oct. 17, 2009 | 06:10 | 1.0 | O |
| 〃 | Apr. 23, 2010 | 14:45 | | |
| Geochang | Feb. 22, 2009 | 08:05 | | |
| 〃 | Mar. 23, 2010 | 01:55 | | |
| 〃 | Apr. 26, 2011 | 08:08 | 0.3 | O |
| 〃 | Feb. 3, 2013 | 18:50 | | |
| 〃 | Dec. 19, 2014 | 22:18 | | |
| 〃 | Dec. 20, 2014 | 02:18 | | |
| Jinju | Dec. 21, 2012 | 07:21 | | |
| 〃 | Dec. 28, 2012 | 02:41 | | |
| 〃 | Dec. 11, 2013 | 08:28 | | |
| 〃 | Jan. 20, 2014 | 06:09 | | |
| 〃 | Dec. 19, 2014 | 20:20 | | |
| 〃 | Dec. 31, 2014 | 09:41 | | |
| Changwon | Jul. 29, 2007 | 15:25 | 1.0 | O |
| 〃 | Dec. 31, 2014 | 09:40 | | |
| Gumi | Feb. 22, 2009 | 08:50 | | |
| Sangju | Jan. 11, 2008 | 05:04 | | |
| 〃 | Dec. 20, 2008 | 06:50 | | |
| 〃 | Jan. 27, 2010 | 16:55 | | |
| Andong | Jul. 29, 2007 | 13:56 | 0.5 | O |
| 〃 | Feb. 4, 2013 | 01:20 | | |
| Pohang | Mar. 19, 2007 | 12:34 | | |
| 〃 | May. 18, 2007 | 16:33 | 0.7 | O |
| 〃 | Jun. 8, 2007 | 17:50 | 1.2 | O |
| Uljin | Mar. 19, 2007 | 07:42 | | |
| 〃 | Jan. 11, 2008 | 04:45 | | |
| 〃 | Mar. 10, 2010 | 05:30 | 1.0 | |
| 〃 | Dec. 7, 2010 | 16:35 | | |
| 〃 | Feb. 27, 2011 | 03:20 | | |
| 〃 | May. 17, 2012 | 14:10 | | |
| Gwangju | Nov. 15, 2005 | 19:45 | 0.5 | |
| 〃 | Nov. 16, 2005 | 06:18 | 0.4 | |
| 〃 | Dec. 5, 2005 | 13:50 | | |
| 〃 | Jan. 16, 2006 | 20:10 | 0.2 | |
| 〃 | Apr. 20, 2006 | 20:10 | | |
| 〃 | Nov. 2, 2006 | 00:20 | 0.8 | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. (Cont'd 2)

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Gwangju | Dec. 16, 2006 | 15:30 | 1.2 | |
| 〃 | Jan. 26, 2007 | 14:50 | 1.0 | |
| 〃 | Jan. 28, 2007 | 16:20 | 0.5 | |
| 〃 | Nov. 30, 2007 | 10:10 | | |
| 〃 | Dec. 8, 2007 | 16:30 | | |
| 〃 | Apr. 26, 2008 | 08:50 | 0.5 | O |
| 〃 | Dec. 3, 2008 | 07:45 | 0.4 | |
| 〃 | Dec. 13, 2008 | 16:40 | 0.8 | |
| 〃 | Mar. 23, 2009 | 21:15 | | |
| 〃 | Mar. 24, 2009 | 01:40 | | |
| 〃 | Dec. 5, 2009 | 04:10 | 1.0 | O |
| 〃 | Dec. 9, 2010 | 10:15 | | |
| 〃 | Feb. 25, 2012 | 08:45 | | |
| 〃 | Oct. 30, 2012 | 09:30 | 0.6 | |
| 〃 | Oct. 31, 2012 | 05:40 | | |
| 〃 | Nov. 1, 2012 | 09:40 | | |
| 〃 | Nov. 6, 2012 | 23:20 | | O |
| 〃 | Nov. 13, 2012 | 07:45 | | |
| 〃 | Apr. 26, 2013 | 08:45 | | |
| 〃 | Nov. 4, 2013 | 01:30 | 1.0 | |
| 〃 | May. 8, 2014 | 12:52 | | |
| 〃 | Jun. 12, 2014 | 14:05 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 17, 2014 | 12:50 | 1.0 | |
| 〃 | Dec. 9, 2014 | 00:40 | 0.5 | |
| Daegu | Mar. 31, 2007 | 07:35 | 2.0 | O |
| 〃 | Feb. 3, 2013 | 20:30 | | |
| 〃 | Feb. 4, 2013 | 00:30 | | |
| Daejeon | Apr. 18, 2005 | 16:35 | 0.5 | O |
| 〃 | Jan. 12, 2006 | 17:21 | | |
| 〃 | Nov. 6, 2006 | 15:06 | | |
| 〃 | Dec. 15, 2007 | 14:35 | | |
| 〃 | May. 13, 2008 | 11:54 | 0.7 | O |
| Daejeon | Dec. 21, 2012 | 08:07 | | |
| 〃 | Nov. 17, 2013 | 00:54 | 0.5 | O |
| 〃 | Jun. 12, 2014 | 15:25 | 1.0 | O |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. (Cont'd 3)

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Pusan | Nov. 5, 2006 | 14:11 | 1.0 | O |
| Seoul | Jan. 12, 2006 | 16:45 | | |
| 〃 | Mar. 28, 2007 | 11:45 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 27, 2010 | 06:10 | | |
| 〃 | Nov. 11, 2012 | 17:10 | | |
| Ulsan | Mar. 31, 2007 | 09:36 | 1.0 | O |
| 〃 | Feb. 11, 2010 | 00:07 | | |
| 〃 | Mar. 8, 2010 | 17:35 | | |
| 〃 | Apr. 18, 2011 | 12:45 | | O |
| Incheon | Dec. 1, 2005 | 08:15 | 0.5 | |
| 〃 | Jan. 12, 2006 | 15:45 | | |
| 〃 | Mar. 28, 2007 | 11:25 | 0.5 | |
| 〃 | Feb. 25, 2009 | 03:05 | | |
| 〃 | Dec. 19, 2014 | 19:45 | | |
| Baengnyeongdo | Nov. 28, 2005 | 11:58 | 0.7 | |
| 〃 | Jan. 12, 2006 | 14:53 | | |
| 〃 | Apr. 18, 2006 | 21:00 | 5.0 | O |
| 〃 | Apr. 19, 2006 | 09:15 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 30, 2006 | 06:42 | | |
| 〃 | Mar. 28, 2007 | 10:15 | 0.2 | O |
| 〃 | May. 12, 2007 | 16:27 | 1.0 | O |
| 〃 | Nov. 26, 2008 | 19:20 | 0.5 | |
| 〃 | Dec. 7, 2008 | 12:40 | 0.7 | |
| 〃 | Oct. 13, 2009 | 15:45 | 2.0 | O |
| 〃 | Apr. 28, 2010 | 07:55 | 0.5 | |
| 〃 | Nov. 11, 2010 | 13:40 | 1.5 | O |
| 〃 | Oct. 15, 2011 | 16:15 | | O |
| 〃 | Oct. 31, 2012 | 12:03 | | |
| 〃 | Dec. 29, 2012 | 08:10 | | |
| Mogpo | Nov. 6, 2006 | 22:30 | 0.5 | O |
| 〃 | Mar. 22, 2012 | 08:26 | | |
| Wando | Nov. 6, 2006 | 10:34 | | |
| 〃 | Jan. 26, 2007 | 11:10 | 0.5 | |
| 〃 | May. 6, 2009 | 17:03 | | O |
| Wando | Mar. 22, 2012 | 10:10 | | |
| Jindo | Oct. 30, 2005 | 10:06 | 0.3 | |
| 〃 | Apr. 19, 2006 | 12:22 | 0.5 | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. (Cont'd 4)

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Jindo | Nov. 6, 2006 | 09:57 | 0.4 | O |
| 〃 | Jan. 6, 2007 | 01:23 | | |
| Heuksando | Jun. 27, 2006 | 09:40 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 4, 2006 | 05:41 | 0.6 | O |
| Gochang | Apr. 25, 2009 | 19:02 | | |
| 〃 | Dec. 5, 2009 | 09:59 | | |
| 〃 | Dec. 8, 2010 | 14:30 | | |
| Gunsan | Nov. 6, 2006 | 18:31 | 0.7 | O |
| 〃 | Dec. 2, 2006 | 00:10 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 19, 2007 | 20:23 | | O |
| Namwon | May. 26, 2009 | 18:00 | 1.0 | O |
| Jeonju | Nov. 6, 2006 | 21:57 | 0.3 | O |
| 〃 | Mar. 31, 2007 | 07:04 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 23, 2011 | 15:32 | 0.3 | |
| Gosan | May. 13, 2008 | 17:40 | 0.5 | |
| 〃 | Nov. 18, 2013 | 20:11 | | |
| Seogwipo | Jan. 4, 2010 | 10:30 | 0.3 | |
| Sungsan | Dec. 31, 2014 | 12:09 | | |
| Jeju | Dec. 12, 2005 | 09:10 | 1.0 | O |
| 〃 | Apr. 24, 2011 | 07:27 | | O |
| 〃 | Nov. 18, 2013 | 16:06 | | O |
| Cheonan | Jun. 12, 2012 | 15:15 | 1.5 | O |
| Boryeong | Nov. 29, 2008 | 11:52 | | |
| 〃 | Oct. 13, 2009 | 19:40 | 0.4 | O |
| 〃 | Jan. 2, 2010 | 05:14 | | |
| 〃 | Nov. 29, 2010 | 00:50 | 1.5 | O |
| 〃 | Feb. 3, 2013 | 16:40 | | |
| Seosan | Apr. 18, 2005 | 03:34 | 0.5 | O |
| 〃 | Jun. 10, 2006 | 08:50 | 0.7 | O |
| 〃 | Mar. 31, 2007 | 00:35 | 0.5 | O |
| 〃 | Jan. 11, 2008 | 05:42 | | |
| Cheongju | Nov. 6, 2006 | 14:07 | 0.6 | O |
| “ | Jun. 12, 2012 | 22:05 | 1.5 | O |
| Cheongju | Nov. 13, 2012 | 14:10 | 0.5 | O |
| 〃 | Dec. 20, 2014 | 00:50 | | |
| Chupungnyeong | Jun. 8, 2007 | 17:36 | 1.5 | O |
| 〃 | May. 13, 2008 | 11:55 | 0.8 | O |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. (Cont'd 5)

| Station | Date | Hour (LST) | Size (cm) | Thunderstorm |
|---|---|---|---|---|
| Chupungnyeong | May. 26, 2009 | 15:55 | 0.7 | O |
| 〃 | Mar. 22, 2010 | 18:13 | | |
| Chungju | Nov. 11, 2006 | 11:15 | 0.5 | O |
| 〃 | Nov. 27, 2010 | 08:35 | | |

### 1) 지역별 우박 발생일수

Fig. 1에서 보면 좌측 푸른 막대는 0.2㎝ 이상의 직경을 가진 우박 관측횟수이고, 붉은 막대는 우박의 직경이 없는 관측까지 포함된 해당 지역의 전체 우박 관측횟수이다.

최근 10년간 지역별 우박 총 관측횟수가 가장 많은 곳은 서울·경기와 전남 지역이다. 모두 42회가 관측되었고, 이어서 강원 지역이 30회로 관측되었다. 특히, 광주는 우박 관측횟수가 30회로 최근 10년간 우리나라에서 가장 많은 우박이 관측된 지역으로 나타났다.

0.2㎝ 이상의 우박 관측 또한 전체 관측횟수 분포와 거의 비슷하게 나타났고, 서울·경기 및 전남, 강원도 지역 순으로 많이 관측되었다.

우리나라 각 도별 우박 관측횟수(Fig. 2)는 지난 10년 동안 호남지역에서 가장 많은 우박이 관측되었고, 다음은 경기도 지역으로 나타났다.

우리나라의 최근 10년간 0.2㎝ 이상의 우박 관측 특성을 보면 총 105건의 사례에서 서울·경기, 강원, 전남 지역에서 70회가 관측되어 전체 관측 사례의 66.7%가 우리나라 북부지방과 남서부지방으로 집중되어 있는 것을 볼 수 있다.

이러한 지역별 우박 특성은 이전의 우박에 대한 선행 연구와 비슷한 결과를 보였다. 김주원(2001)의 강원도 지방 우박발생 가능성 연구 자료에서 보면 전북 지역이 가장 많은 우박이 관측되었고, 그 다음은 서울·경기, 충남 서해안, 강원도 순으로 나타났다. 또한, 조진대(2005)의 영남지방 우박발생의 통계 분석에서 1991년부터 2000년까지 가장 많은 우박 발생 지역은 전북 내륙지방이었고, 다음으로는 서울·경기 및 충남 서해안 지방, 강원 영서지방 순으로 조사되었다. 또한, 이춘식(2007)의 한반도 우박 특성에 관한 연구에서 1972년부터 2000



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

년까지 지역별 우박 출현 분포도를 보면 한반도에서 우박이 탁월하게 관측되는 지역은 서울·경기 및 강원 영서 지역, 그리고 서해안 인접 지역으로 '역 ㄱ' 자 모양으로 나타난다고 설명하고 있다. 따라서 우리나라의 지역별 우박 발생 특성은 주로 북부지방과 서부지방에 우박이 집중되어 발생한다는 것으로 이는 우박 발생이 지리적 위치와 기후에 많은 연관이 있음을 시사한다. 산악지형의 영향을 받는 북부지방과 서해상의 많은 수증기가 유입되는 서부지방. 그리고 이들 지역이 북서쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나는 경계부라는 것을 볼 때 오랜 기간 이어온 지리적, 기후적 특성으로 이 지역에 우박이 많이 관측되는 것을 알 수 있다.

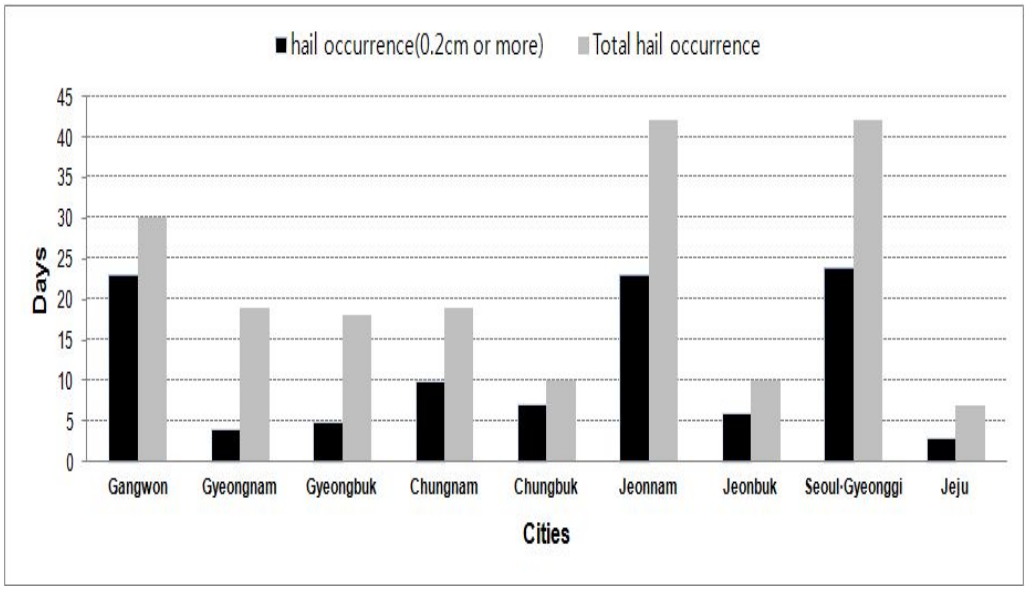


Fig. 1. No. of Hail Observations in the past 10 years (Cities).



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

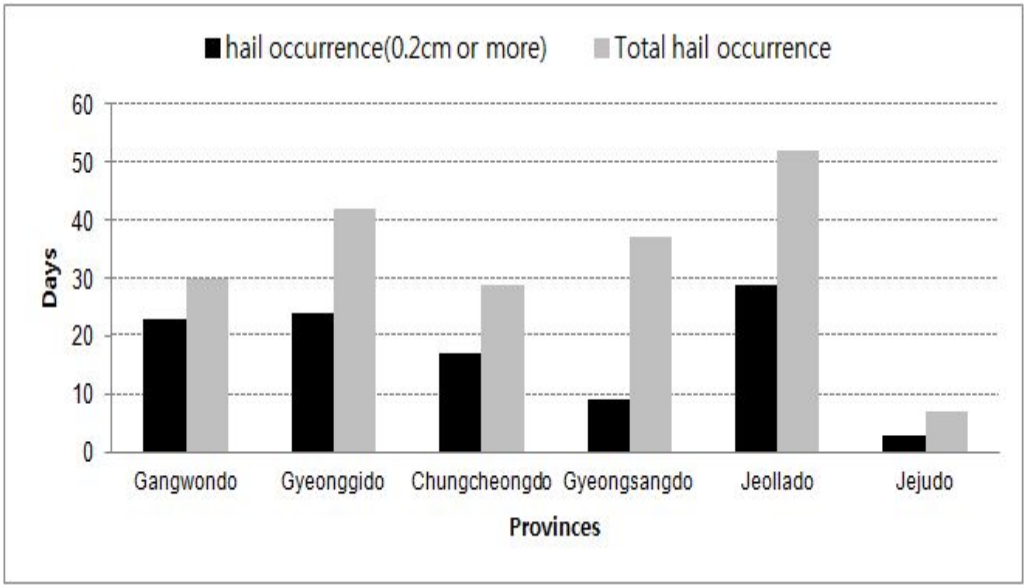


Fig. 2. Same as Fig. 1 except for Provinces.

### 2) 연도별 우박 발생일수

지난 10년간 우리나라에 관측된 우박(울릉도 제외)은 총 197회였으며, 이 중 직경 0.5cm 이상의 우박은 총 91회, 0.5cm 미만의 싸락우박은 14건이었다.

연도별 총 관측횟수를 보면(Fig. 3) 2006년이 37회로 가장 많고, 그 다음은 2007년이 31회로 관측되었다. 반면 2011년은 6회로 가장 적게 관측되었고, 0.5cm 이상의 우박 관측횟수 순위도 동일한 결과를 보였다. 2011년을 제외하고 2005년과 2013년은 12~13회로 다소 적게 관측 되었지만, 그 외에는 대략 연 20회 정도의 우박이 관측되었다. 이는 최근 10년간 연평균 관측횟수인 19.7회와 거의 유사하게 관측되는 것으로 연간 우박 발생일수에는 뚜렷한 변동 특성이 없는 것으로 판단된다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

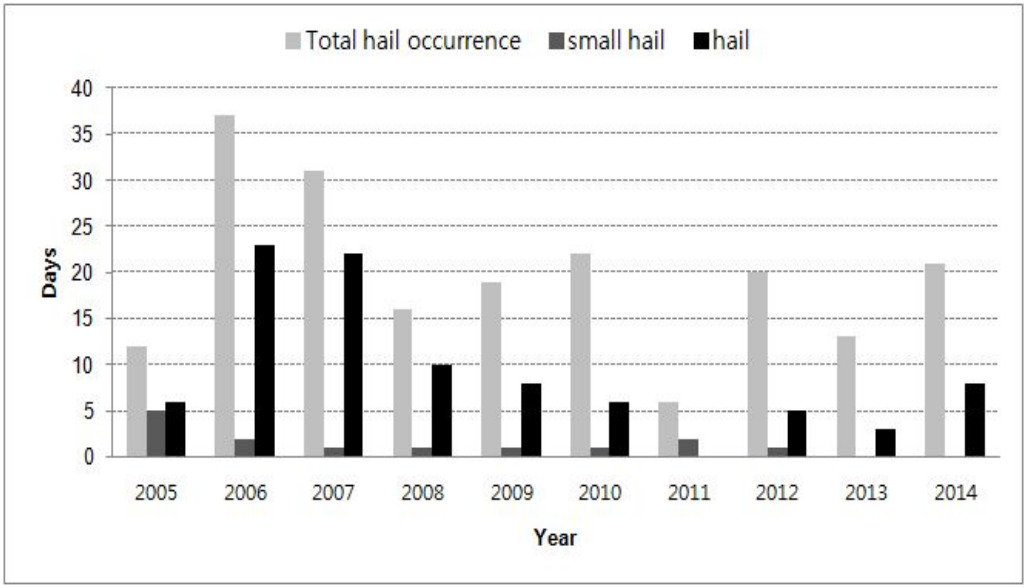


Fig. 3. Same as Fig. 1 except for Yearly.

### 3) 월별・계절별 우박 발생일수

#### 가) 우박/싸락우박(0.2cm 이상) 월별 발생일수

Fig.4의 2005년부터 2014년까지 직경 0.2cm 이상 우박 및 싸락우박의 월별 관측횟수를 보면, 11월이 25회로 가장 많았고, 이어서 4월이 17회로 많이 관측되었다. 또한, 2, 8~9월은 최근 10년간 크기가 측정된 우박의 관측횟수가 없는 것으로 나타났다. 이는 우리나라에서 2, 8~9월에 관측이 전혀 되지 않는 것이 아니라 관측소에서 관측된 결과가 없다는 것으로 관측소 이외의 지역이나 산간 지방에서는 관측되었을 가능성도 있다.

향후 우리나라의 우박 특성을 좀 더 정확히 파악하기 위해서는 지금보다 많은 관측소나 관측 장비의 보강이 필요하다고 생각된다.

자료 분석에서 10년간 우리나라에서는 11월과 4월에 우박이 많이 발생하였는데, 그 이유는 11월과 4월은 찬 기단과 따뜻한 기단이 교체되는 시기로 고・저기압이 주기적으로 통과하면서 대기의 불안정도가 증가되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 최근 10년간(2005~2014년) 우리나라의 우박 발생 특성과 비교해



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

보면 월별 최대 관측횟수는 11월로 동일하고, 두 번째로 많은 달은 4월 또는 5월로 분석되었으며, 가장 적게 관측되는 달은 1~2월과 7~9월로, 과거부터 최근까지 우리나라의 월별 우박 발생의 경향은 거의 유사한 특성을 보였다.

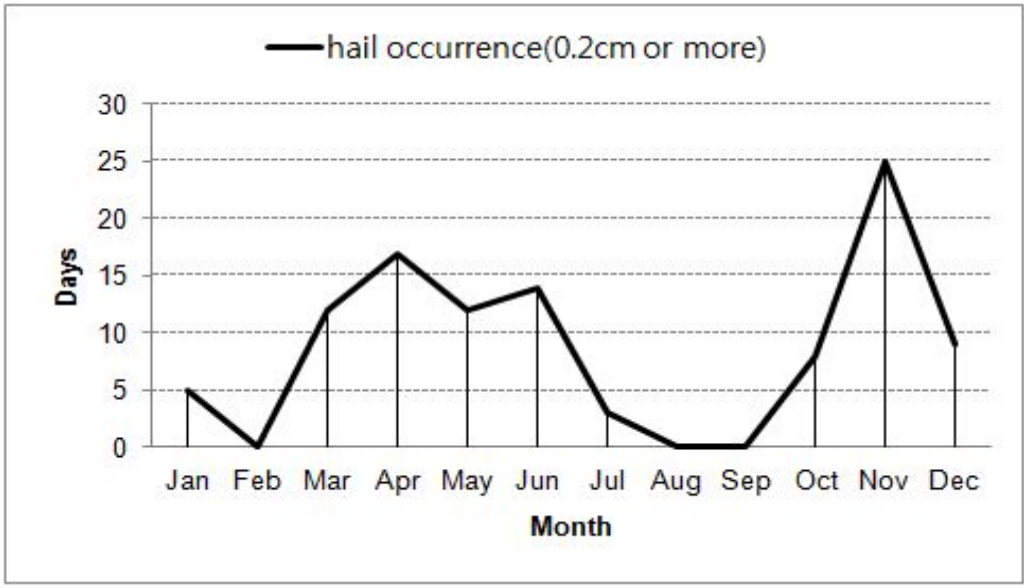


Fig. 4. No. of Hail/Small Hail Observations in the past 10 years (Monthly).

나) 10년간 월별 우박 총 관측횟수

Fig. 5를 보면 최근 10년간 우리나라의 우박 총 관측횟수는 197회이고, 이 중에서 11월이 41회로 가장 많은 우박이 관측되었다. 그리고 12월이 33회, 4월이 25회로 그 뒤를 잇고 있다. 또한, 8월과 9월에는 우박이 관측되지 않았다.

8월과 9월에 우박이 관측되지 않는 이유는 여름철에 높게 발달한 적운 또는 적란운에서 우박이 만들어지더라도 빙결고도 또한 높아 우박이 낙하하는 도중 녹아 지상에서는 우박을 관측하기 어렵기 때문인 것으로 생각된다.

한편, Fig. 6을 보면 12~2월은 전체 관측횟수에 비해 직경 0.2㎝ 이상의 우박이나 싸락우박의 관측횟수가 적은 것을 볼 수 있다. 즉, 크기가 없거나 아주 작은 우박이 상대적으로 자주 관측된다는 것으로 이와 같은 이유도 역시 빙결고도



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

의 영향인 것으로 보인다. 이는 겨울철이라 여름에 비해 기온이 낮고, 하층의 습기가 적어 아주 발달된 적운이나 적란운으로 형성되기 어려우며, 낮은 기온으로 빙결고도 또한 낮게 형성되어 있기 때문이다. 따라서 발달되지 못한 구름에서 우박이 형성되더라도 크기가 작을 것이다. 그러나 우박의 크기가 작은 대신 빙결고도가 낮게 위치하여 낙하 도중 녹는 일 없이 그대로 떨어져 지상에서는 크기가 거의 없거나 아주 작더라도 관측가능성은 높아진다. 이와 같은 사실은 12~2월의 월 전체 관측횟수가 이 기간에 발생한 직경 0.2㎝ 이상의 우박 관측횟수보다 많이 관측된 것을 보면 잘 알 수 있다(Fig. 6).

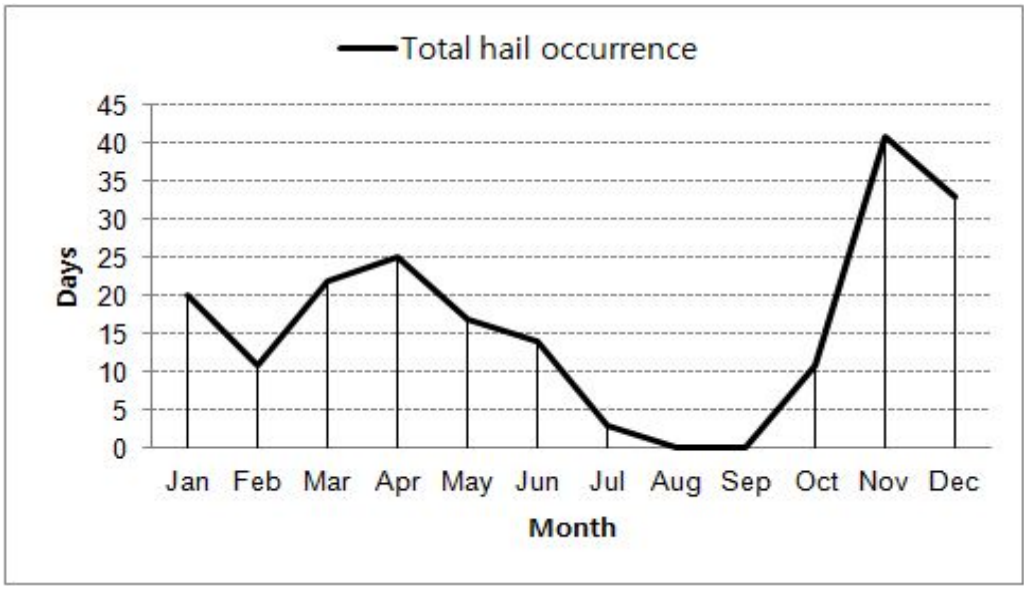


Fig. 5. Total No. of Hail Observations in the past 10 years (Monthly).



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

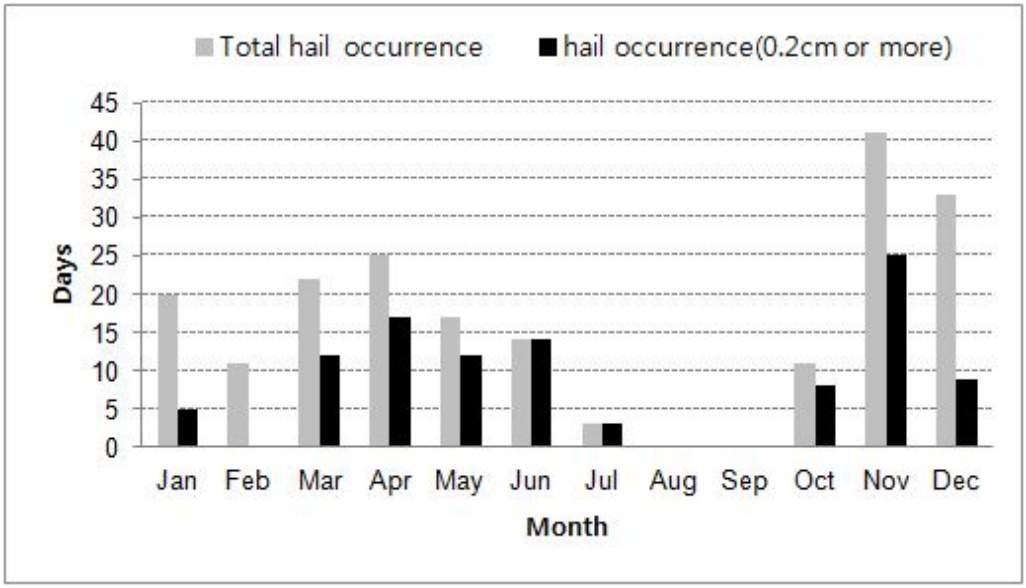


Fig. 6. Total No. of Hail vs. No. of Hail/Small Hail Observations in the past 10 years (Monthly).

### 다) 계절별 우박 발생일수

우리나라의 최근 10년간(2005~2014년) 월별 우박 총 관측횟수를 기준으로 계절별로 우박 발생일수에 어떤 특징이 있는지 조사하였다.

Fig. 7을 보면 전체 우박 관측횟수가 가장 적은 계절은 여름으로 봄, 가을, 겨울은 대체로 비슷하게 관측되었다. 여름철이 우박 관측이 적은 이유는 앞서 설명한 것처럼 여름철의 높은 빙결고도로 인해 발달된 적운 또는 적란운에서 큰 우박이 생성되었더라도 빙결고도 이하로 낙하하는 동안 녹아 증발하거나 강우 형태로 지상에 떨어지기 때문에 우박 관측횟수가 다른 계절에 비해 적게 나타나는 것으로 판단된다.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

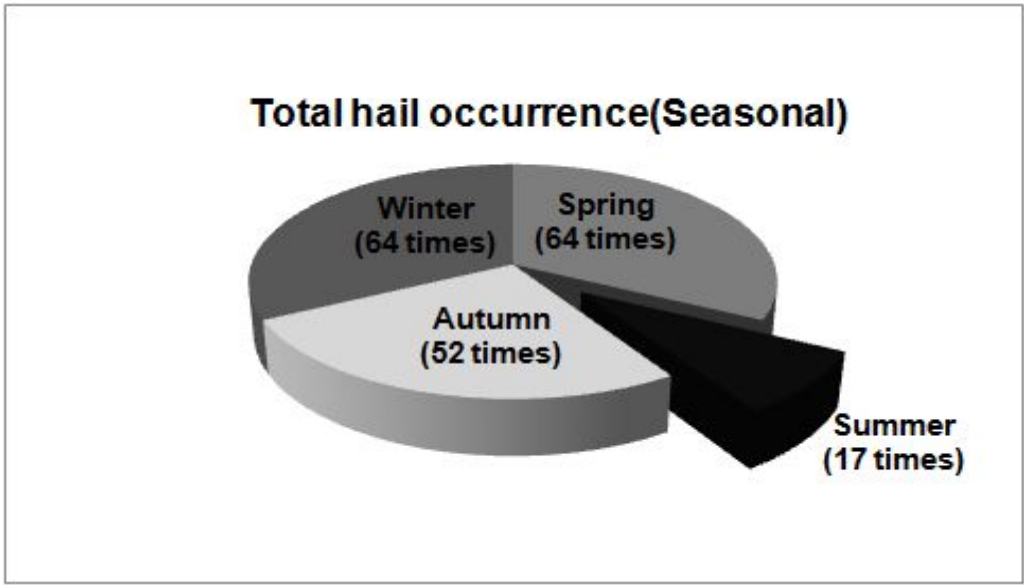


Fig. 7. No. of Hail Observations in the past 10 years (Seasonal).

### 4) 우박/싸락우박의 발생시각

2005년부터 2014년까지 직경 0.2㎝ 이상의 우박 및 싸락우박의 발생시각을 보면 14~16LST에 가장 많이 발생했음을 알 수 있다(Fig. 8).

14~16시는 하루 중 일사에 의한 지표의 가열로 기층이 가장 불안정한 시간대로 상승기류가 활발하여 우박 성장에 좋은 조건이 되므로 우박의 발생이 일사에 의한 기층 불안정에 많은 영향을 받는 것으로 생각된다. 일몰 이후 우박 발생이 점차 줄어들고 다시 일출 이후 오후 중반까지 발생빈도가 점차 증가하는 것으로 보아 우박 발생시각은 24시간의 주기를 가진 것으로 판단된다.

Fig. 8을 보면 일출 이후 오전 중반부터 발생빈도가 점차 증가하여 오후 14~16LST에 발생빈도가 최대치가 되고, 일몰 이후에는 기온이 하강하면서 발생빈도가 점차 감소하는 특성이 잘 나타나고 있다.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

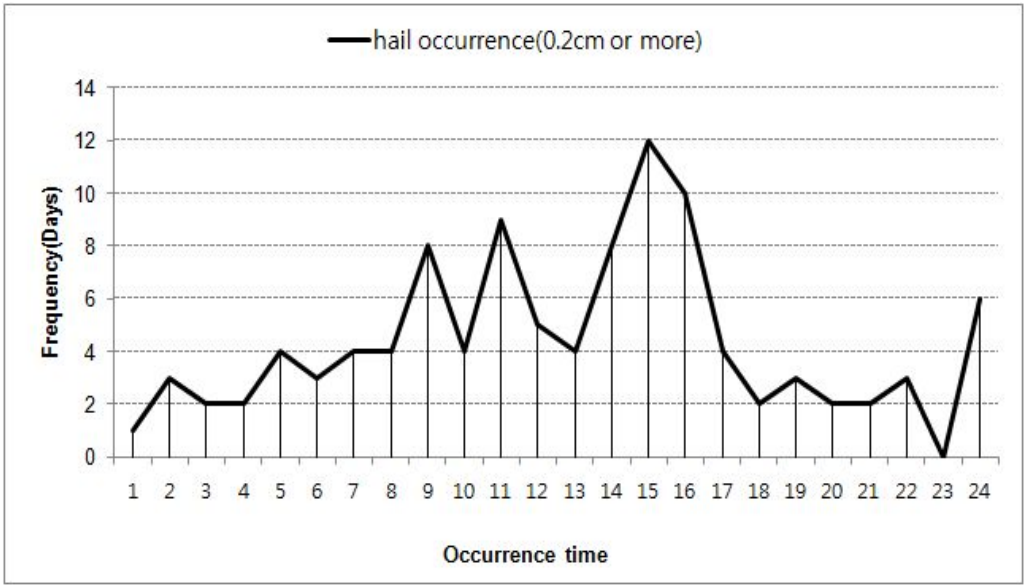


Fig. 8. Time of Hail/Small Hail Occurrence in the past 10 years.

### 5) 우박의 크기

직경 0.5cm 이상의 우박은 총 91회 관측되었고, 평균 우박의 크기는 0.86cm이다. 우박 발생일 중 가장 큰 우박은 2006년 4월 18일 백령도에서 관측된 것으로 직경 5cm가 기록되었다. 그리고 직경 0.5cm 미만의 싸락우박은 총 14회가 관측되었고, 평균 우박의 크기는 0.31cm로 나타났다.

Fig. 9에서 최근 10년간 월별 우박의 평균 크기를 보면 6월이 1cm로 가장 크고 1월이 가장 작은 것으로 분석됐다. 10월 이후 평균기온이 낮아지면서 우박의 크기는 점차 작아지고 다시 3월 이후부터 평균기온이 상승하면서 우박의 크기도 증가한다. 7월은 사례가 적은 상태에서 관측된 값이라 7월의 평균 우박 크기는 좀 더 많은 사례를 살펴봐야 하겠다. 6월이 평균 우박크기가 가장 큰 이유는 우리나라 남쪽 해상에 장마전선이 형성된 가운데 남서쪽에서 풍부한 수증기의 유입이 있고 평균기온도 점차 높아져 기층이 상당히 불안정하다. 이로인해 적운형의 구름이 발달하기 용이하고, 7~9월만큼 빙결고도가 높지 않아 크게 성장한 우박이 낙하 중에 녹는 정도가 적어 우박의 관측 크기가 다른 월(月)보다 큰 것으



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

로 생각된다. 반면 1월은 연중 평균기온이 가장 낮은 달이다. 또한 겨울철은 여름보다 건조하고 대류권계면이 높지 않으며 하층이 냉각되어 적운이 발달하기 쉽지 않다. 이로인해 우박이 크게 성장하지 못해 우박의 평균 크기가 작은 것으로 해석된다.

우박의 지속시간은 별도로 분석하지 않았으나, 우박의 관측 특성을 보면 좁은 지역에 아주 짧은 시간동안 피해를 주고 이동하는 것으로 보아 지속시간이 길지는 않을 것이다. 이춘식(2007)의 한반도 우박 특성에 관한 연구를 보면 우박의 지속시간은 10분 이내가 약 82%를 차지하고, 그 중 2~3분 동안 유지되는 경우가 가장 많이 관측되는 것으로 나타났다.

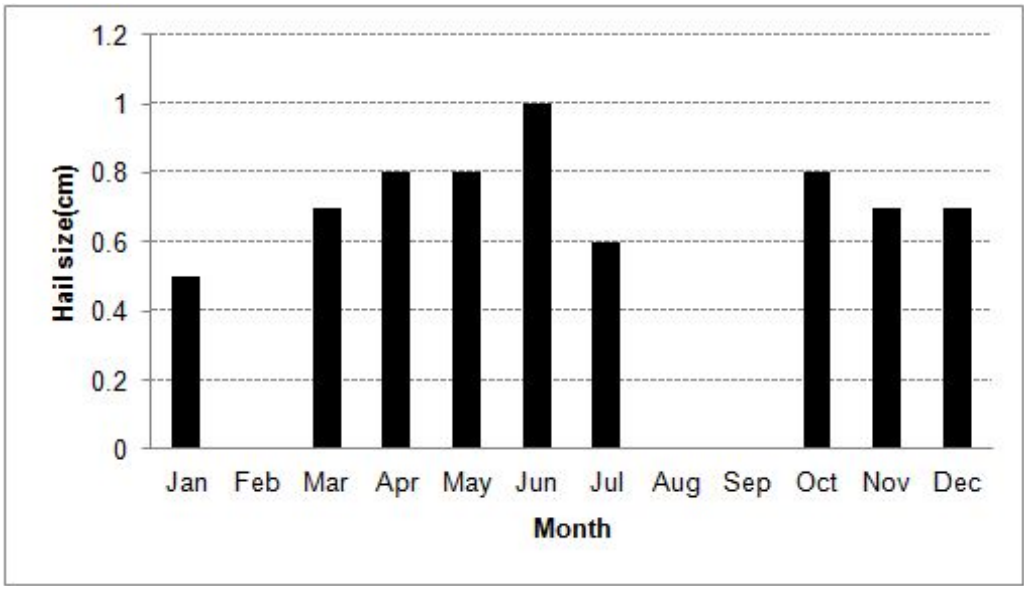


Fig. 9. Hail Size in the past 10 years (Monthly).

### 6) 뇌우의 동반 유무

우박 관측 시 뇌우의 동반 유무를 살펴보면 우박 관측 사례 105회 중 뇌우를 동반한 횟수는 75회로 약 71.4% 정도로 뇌우와 함께 우박이 관측된다.

Fig. 10을 보면 3~7월, 10월에는 대부분 우박 관측 시 뇌우와 함께 동반된 것



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 볼 수 있고, 11월부터 1월로 갈수록 우박 관측 시 뇌우 동반 횟수가 급격히 줄어드는 것으로 나타난다. 뇌우 동반 횟수가 줄어드는 이유는 겨울로 접어들수록 북서쪽의 차고 건조한 안정한 기단이 우리나라에 영향을 주면서 뇌우가 발달할 수 있는 조건이 충족되기가 쉽지 않기 때문인 것으로 보인다. 반면 3월부터 10월까지는 뇌우와 함께 우박이 동반되는 경우가 많은데, 류찬수와 이종호(2009)는 대류성 에코(뇌우 에코)가 잘 발달되면 뇌전을 동반하고 집중호우의 원인이 되기도 하며, 에코의 가장자리가 뚜렷하고 에코 정상이 높으며, 에코 강도가 매우 강한 대류성 에코는 우박을 동반할 가능성이 높다고 하였다. 따라서 3~10월의 비교적 따뜻한 시기에는 기층 불안정으로 인해 대류성 에코의 발달이 용이하여 뇌우가 발달할 수 있는 조건이 충분하다. 그렇기 때문에 발달된 뇌우가 예상된다면 우박도 함께 동반되어 관측될 수 있음을 항상 고려해야 할 것이다.

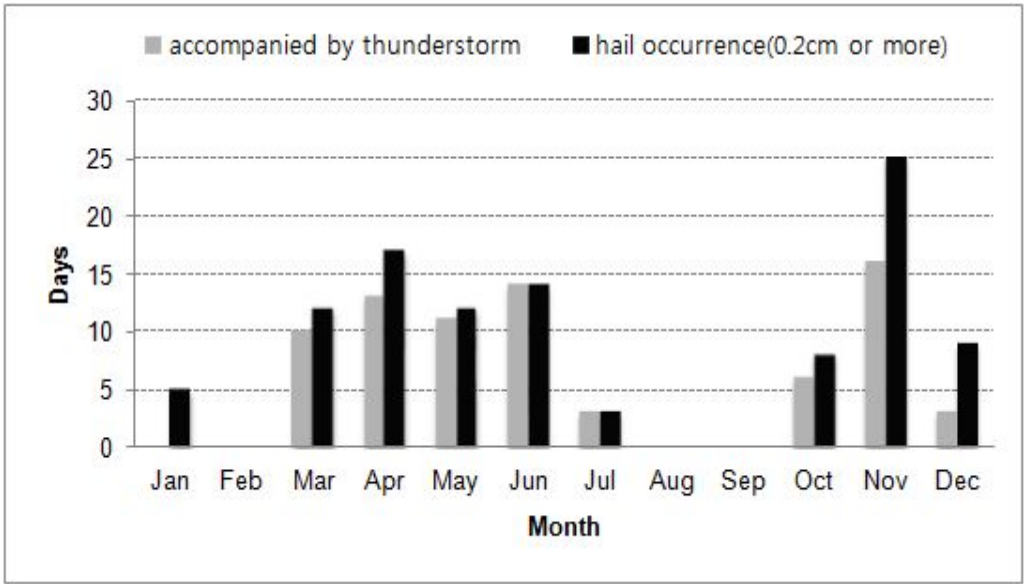


Fig. 10. No. of Hail Observations with Thunderstorm (Monthly).



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 나. 안정도지수 특성 분석

현재 기상청 및 공군에서 사용하고 있는 단열선도는 Skew T-log P diagram(Fig. 11)이다. 단열선도 좌측 데이터 분석란에 있는 안정도지수 중에서 연구에 이용한 지수들은 기본적으로 SSI(850-500, 925-500, 925-700), LI(000-500), K-Index, TT-Index 및 CAPE 등 5종이고, 추가적으로 우박과 연직시어의 상관관계 분석을 위해 SRH도 함께 분석하였다. 이 외에도 단열선도에 분석되어 있지는 않지만, SWEAT과 BRN은 와이오밍대학교의 sounding 자료에서 추가적으로 조사하여 그 특성을 분석하였다.

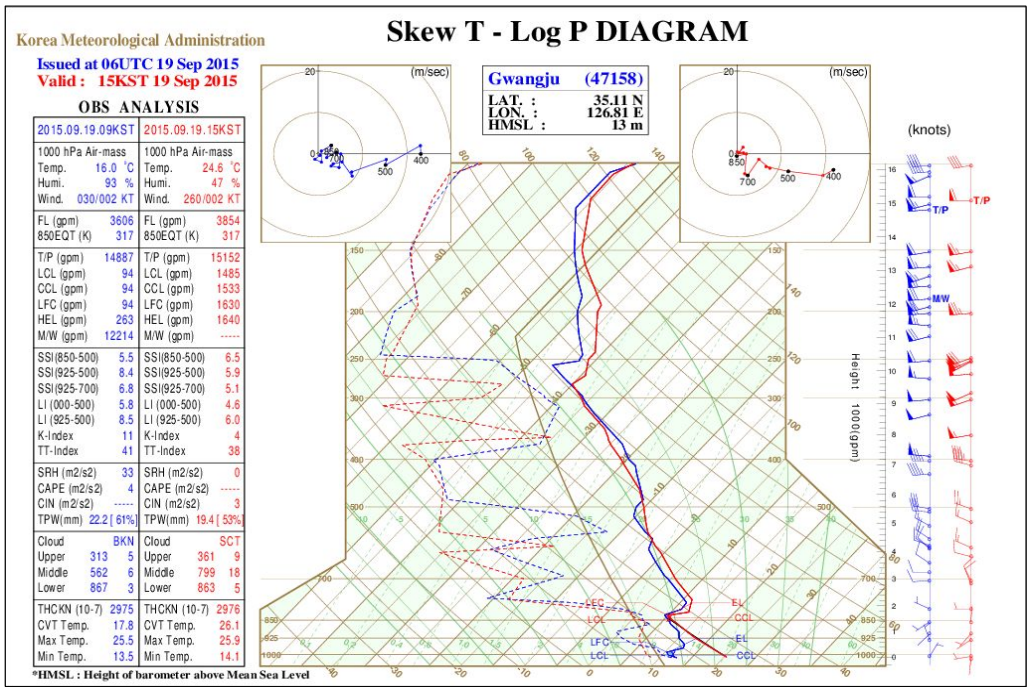


Fig. 11. Skew T-log P diagram at 06UTC Sep. 19, 2015.

### 1) 우박 발생일 주요 안정도지수 특성

최근 10년 동안 직경 0.2cm 이상의 우박 및 싸락우박은 총 105회로 관측되었고, 우박이 관측된 날짜의 발생시각 전·후의 단열선도 안정도지수를 조사하였



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고, 각각의 안정도지수별로 기준값에 얼마나 해당되었는지를 분석하였다. ₩

SSI, LI, K-Index, TT-Index, CAPE 등 5개의 지수 중 몇 개가 기준값에 해당되었는지 분석하였다. 각 안정도지수별 기준값은 SSI의 경우 +3 이하, LI는 0 이하, KI는 26 이상, TTI는 50 이상, CAPE는 300 이상이다.

Fig. 12를 보면 105회의 우박 관측 사례 중 우박 발생일에 5개의 안정도지수가 모두 기준값에 해당된 것은 5회로 전체 관측 사례 중 4.8%에 불과하였다. 4개는 13회, 3개는 16회이며, 하나도 해당되지 않았던 것은 36회로 전체 관측 사례 중 34.3%에 해당된다. 5개의 지수 중 3개 이상 해당되는 것은 모두 34회로 전체 관측 사례의 32.4%이고, 5개 중 2개 이하에 해당되는 것은 모두 71회로 전체의 67.6%에 해당한다.

안정도지수 5개 중 3개 이상이 기준값에 해당된다는 것은 그만큼 대기가 불안정하다는 것이고, 이는 쉽게 우박 발생 가능성을 예측할 수 있다. 반면에 5개 중 1~2개 또는 하나도 해당되지 않은 경우 이것은 상대적으로 대기가 안정하다고 판단할 수 있고, 특히 해당되는 것이 하나도 없는 경우 안정도지수들이 모두 안정하게 나왔기 때문에 우박 발생 가능성을 고려하기란 쉽지 않은데, 그런 경우가 최근 10년간 모두 36회나 발생하였다.

안정도지수가 모두 기준값에 해당되지 않아 대기가 안정하다고 판단되어 우박 예측 가능성이 낮은 상황이었지만, 실제로는 우박이 관측되었기 때문에 우박 예보에 있어서 우리는 더 많은 주의를 기울여야만 한다. 따라서 안정도지수 5개 중 3개 이상이 기준값에 해당되는 경우에는 우박 가능성을 항상 고려해야하고, 반면에 2개 이하로 적게 해당되더라도 무조건 대기가 안정하기 때문에 우박 가능성이 없다고 단정 지어서는 안 될 것이다.

우박이 발생한 날을 월별로 정리하고, 우박 발생일의 안정도지수가 기본 안정도지수 5종(SSI, LI, KI, TTI, CAPE)의 기준값에 얼마나 해당되는지 월별로 조사하였다. 이 때 직경 0.2cm 이상의 우박 및 싸락우박이 관측되지 않았던 2, 8~9월은 그래프에서 제외하였다.

Fig. 13을 보면 1월과 3월, 12월에 관측된 우박은 안정도지수 해당 개수가 2개 이하로만 분석되었다. 이는 6월과 7월이 거의 3개 이상으로 나타나는 것과 대조된다. 4~5월과 10~11월은 안정도지수 해당 개수가 2개 이하와 3개 이상이



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

섞여 있어 0~5개로 다양한 분포를 보였다. 1월과 3월, 12월에는 주로 북서쪽의 한랭건조한 cP기단의 영향을 받아 안정한 상태가 많고, 6월과 7월은 남동쪽의 고온다습한 mT기단의 영향을 주로 받아 충분한 습기와 높은 기온으로 불안정한 상태가 많으며, 4~5월, 10~11월은 cP기단과 mT기단이 바뀌는 시점이라 안정도지수의 기준값 해당 개수가 차이가 나는 것으로 판단된다. 그러나 4월과 5월은 주로 3개 이상 해당되는 비율이 높고, 10월과 11월은 2개 이하로 해당되는 경우가 대부분이다.

이상을 정리하면 우박 발생일의 안정도지수가 기본 안정도지수인 SSI, LI, KI, TTI, CAPE 등 5개 중에서 기준값이 3개 이상 해당된다면 대기의 불안정한 요소가 많기 때문에 연중 어느 때라도 우박 발생 가능성이 높다. 특히, 6월과 7월은 안정도지수가 기준값에 해당하는 것이 3개 이상인 경우 거의 대부분 우박이 발생한다. 또한, 1월과 3월, 10~12월은 안정도지수가 2개 이하로 해당되는 경우라도 우박이 관측될 수 있는 가능성이 있다는 것을 알고 우박 예측에 참고하여야 한다.

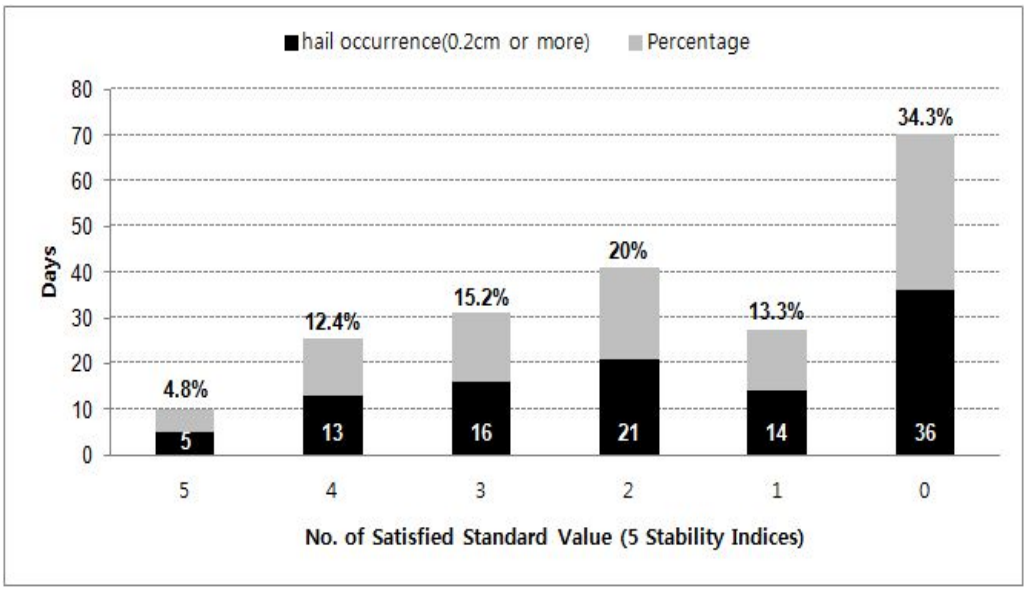


Fig. 12. Examination of 5 Stability Indices.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

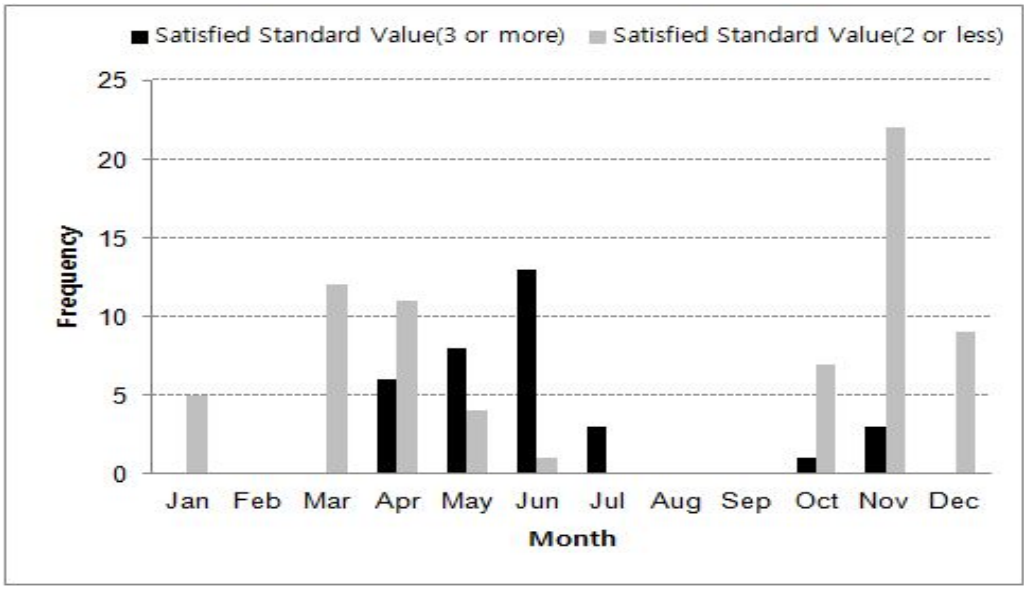


Fig. 13. Values of Stability Indices during Hail Occurrence (Monthly).

### 2) 우박 발생일 안정도지수별 기준값 도달 수준 및 평균값

최근 10년간 직경 0.2cm 이상의 우박이 발생한 날의 안정도지수들을 조사하여 각각의 안정도지수별로 기준값에 어느 정도 해당되었고, 충족률이 얼마인지 알아보았다(Fig. 14).

우박 관측횟수 총 105회 중에서 SSI는 850-500hPa 사이의 값이며, 기준값 +3 이하에 해당되는 날이 모두 51회로 48.6%의 충족률을 보였다. 그리고 LI는 1000-500hPa 사이의 값이며, 기준값 0 이하에 해당되는 날이 모두 24회로 22.9%의 충족률을 보였다. KI는 기준값 26 이상에 해당되는 날이 모두 36회(34.3%)로 나타났으며, TTI는 기준값 50 이상에 해당되는 날이 모두 55회로 52.4%의 충족률을 보였고, CAPE는 기준값 300 이상에 해당되는 날이 모두 15회에 불과했다(14.3%). 그리고 SRH는 기준값 150 이상에 해당되는 날이 모두 72회로 68.6%의 충족률을 보여 안정도지수들 중에서 가장 좋은 값을 나타내어 우박 예측에 있어



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

서 중요한 지표로 분석되었다. SSI와 TTI 또한 50% 내외의 충족률을 보여 우박을 예측할 때 SRH와 함께 활용한다면 좋은 결과를 얻을 것으로 판단되었다. 그러나 SWEAT와 BRN 지수는 충족률이 10% 미만으로 상당히 적고, 우박 발생일에 관측된 수치가 일별 편차와 변동성이 커서 상관관계를 찾기 어려워서 우박 예측에 이용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되었다. 특히, BRN지수는 안정도지수와 관한 선행 연구에서도 자료 분석과 예보 적용에 문제가 있음을 지적하기도 하였다(최승진, 2008). 그리고 KI와 CAPE는 여러 연구에서 뇌우 및 우박 예보에 있어서 상당히 좋은 지표로 판단된 경우가 많았으나, 최근 10년간 관측자료에서는 다른 안정도지수에 비해 기준값 충족률이 만족스럽지 못하였다.

Fig. 15는 2005년부터 2014년까지 직경 0.2cm 이상의 우박 발생일에 관측된 안정도지수의 평균값(SWEAT와 BRN 제외)을 나타내고 있다.

최근 10년간 SSI의 평균값은 +0.25이고, LI의 평균값은 -2.63이다. KI와 TTI의 평균값은 각각 29.1, 53.3으로 조사되었다. 그리고 CAPE와 SRH는 기준값에 해당되는 날짜 간 지수의 편차가 커서 평균값이 각각 983.7, 661.9로 다소 높게 나타났다.

대기의 안정도지수별 기준값은 모두 외국에서 적용되는 값을 그대로 적용하였으나, 앞으로 우리나라의 지형과 기후에 맞는 한국형 안정도지수의 개발이 시급할 것으로 판단된다.

적절한 기준값을 찾아 적용할 수 있다면 안정도지수를 이용한 우박 및 뇌우 등의 예보 정확률이 상당히 향상될 수 있을 것이다.

Fig. 14와 Fig. 15의 내용을 한눈에 볼 수 있도록 Table 10에 정리하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

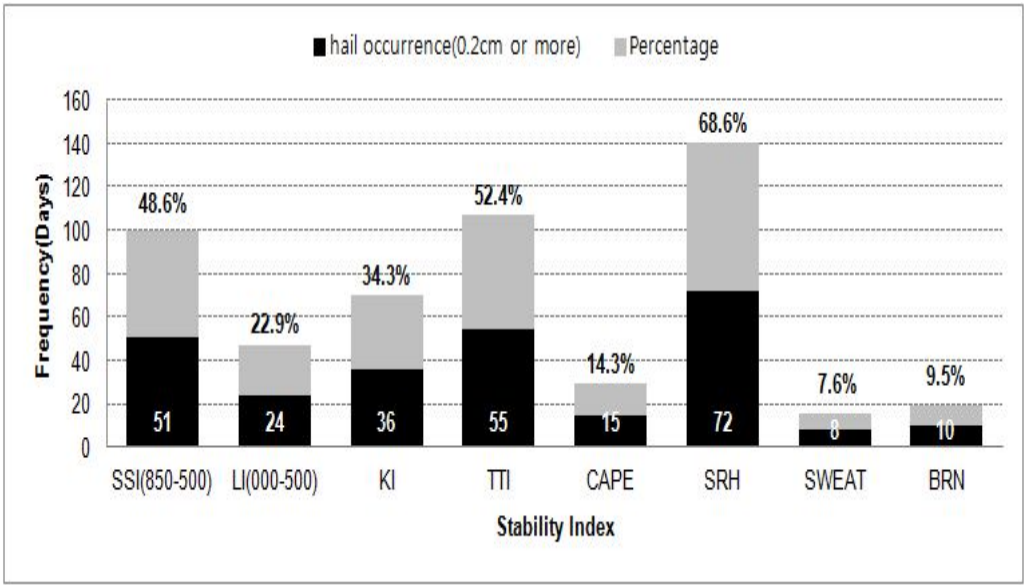


Fig. 14. Investigating Stability Indices during Hail Occurrence.

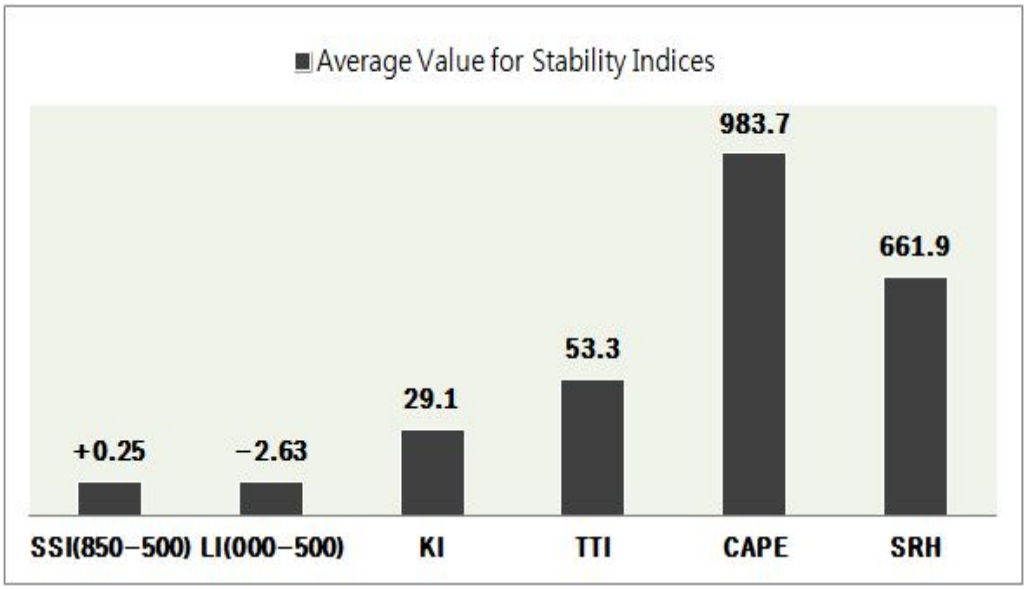


Fig. 15. Average Value for Stability Indices during Hail Occurrence.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 10. Examination of each Stability Index during Hail Occurrence.

| Index \ Division | Reference | Reached number | Fill rates | Average |
|---|---|---|---|---|
| SSI(850-500) | ≦+3 | 51/105 | 48.6% | +0.25 |
| LI(000-500) | ≦ 0 | 24/105 | 22.9% | -2.63 |
| KI | 26 ≦ | 36/105 | 34.3% | 29.1 |
| TTI | 50 ≦ | 55/105 | 52.4% | 53.3 |
| CAPE | 300 ≦ | 15/105 | 14.3% | 983.7 |
| SRH | 150≦ | 72/105 | 68.6% | 661.9 |
| SWEAT | 300 ≦ | 8/105 | 7.6% | The fill rate is less than 10% |
| BRN | 15 ≦ | 10/105 | 9.5% | |

### 3) 안정도지수별 기준값 변경 시 도달 수준 비교

각 안정도지수의 기준값을 그대로 적용하였을 때 SRH가 우박 발생일의 68.4%에서 기준값 150 이상이 관측되었다. 그리고 TTI는 우박 발생일의 52.4%에서 기준값 50 이상이 관측되었으며, SSI 또한 850-500hPa의 SSI 값이 +3 이하일 경우 전체 우박 발생일의 48.6%에서 기준값에 해당되는 우박이 관측되었다. 다른 안정도지수에 비해 SRH, TTI, SSI가 조금 더 높은 충족률을 보였지만 뭔가 아쉬운 점이 남았다. 연구에 이용한 안정도지수들의 기준값은 모두 해외에서 정해진 값으로 우리나라에 그대로 적용시켜 사용하기에는 무리가 따른다. 그래서 우리나라에 맞는 기준값을 재정립하려는 노력이 필요하다. 여기에 발맞추어 노경숙(2004)은 Sounding 자료를 이용한 뇌우의 발달 및 이동 분석에서 우리나라에 적합한 악기상 지수에 대한 연구를 하였다. 연구에 의하면 TTI의 경우에는 44 이상 지역은 뇌우에 대한 주의가 필요하고, KI의 경우 31 이상 지역에서 뇌우 가능성이 60% 이상 나타나며, LI의 경우에는 +1 이하로 값을 설정하여 뇌우 가능성을 살펴보았다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

임영미(2005)는 우박 예보에서 각각의 안정도지수에 대한 특징과 검증을 통해 각 지수의 유용성을 살펴보고 우리 지역에 맞는 안정도지수 기준값의 필요성을 제기하였다.

따라서 본 연구에서도 최근 10년간 우리나라에서 관측된 우박 자료를 통해 향후 우박 예측에 있어서 정확률을 높이고 우리나라 지형 및 기후에 맞는 한국형 안정도지수 개발에 도움을 주고자 우박 발생일 안정도지수별 기준값을 조정하여 기준값 도달 수준과 평균값을 다시 분석하였다.

### 가) SSI 분석 결과

먼저, SSI는 기준값을 +3 이하로 그대로 적용하되 단열선도에서 제공되는 850-500hPa, 925-500hPa, 925-700hPa의 안정도지수 중 어느 것에라도 +3 이하에 해당되면 충족한 것으로 보고, 전체 우박 발생일 105회 중에서 얼마나 해당되는지 조사하였다.

Fig. 16을 보면 기존에 850~500hPa의 기준값만 적용하였을 때 전체 105회 중 51회에서 기준값을 충족하여 48.6%의 충족률을 보였으나, 기준값 적용을 추가해서 단열선도에서 제공되는 3가지 SSI 값 중 어느 것에서라도 +3 이하로 관측되면 충족된 것으로 변경하자 전체 관측횟수 105회에서 90회가 해당되어 85.7%의 충족률을 보이며, 기존 방식보다 37.1% 가량 충족률이 높아졌다. 기준값을 변경하여 적용하였을 경우 SSI의 평균값은 기존 +0.25에서 +1.11로 나타났다(Fig. 17).



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

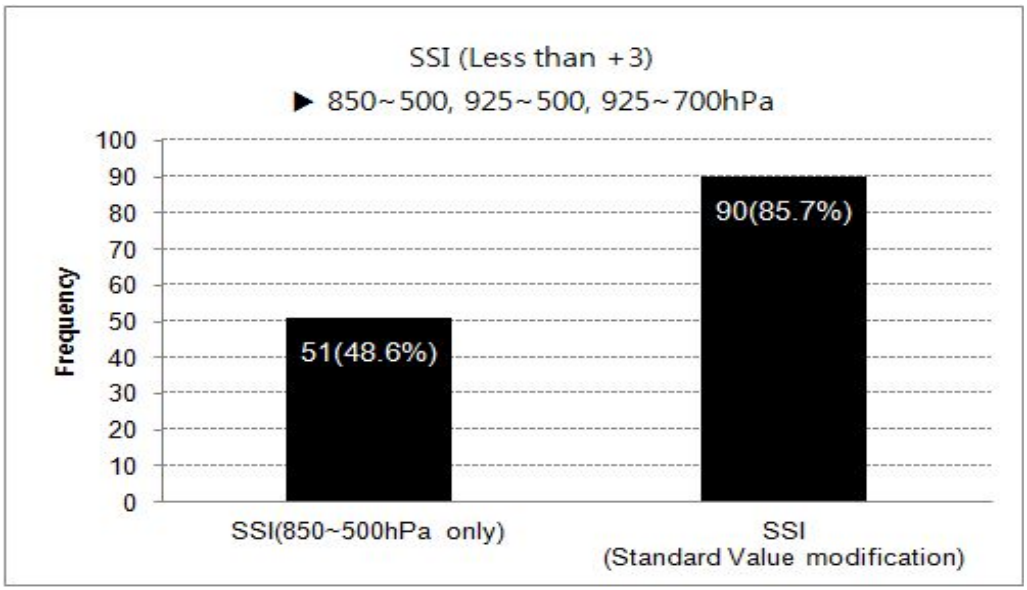


Fig. 16. SSI Standard Value Modification.

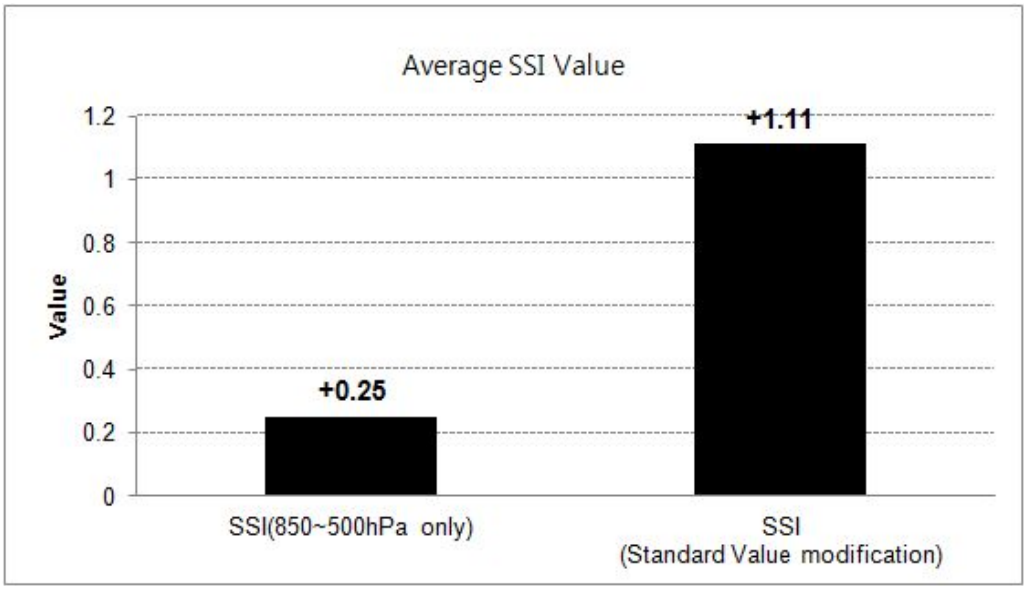


Fig. 17. Average SSI Value with a modified Standard Values.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나) LI 분석 결과

Fig. 18에서 LI(000~500hPa)의 경우 기존에 기준값 0 이하를 적용 시 전체 우박 관측횟수 105회 중 24회가 관측되어 22.9%의 충족률을 보였다. 그러나 기준값을 +3 이하로 적용(000-500hPa)시키면 전체 105회 중 45회가 해당되어 42.9%의 충족률을 보여 기존보다 20% 가량 높아진 충족률을 보였다. 기준값을 변경하여 적용 시 LI의 평균값은 기존 -2.63에서 +1.63으로 나타났다(Fig. 19).

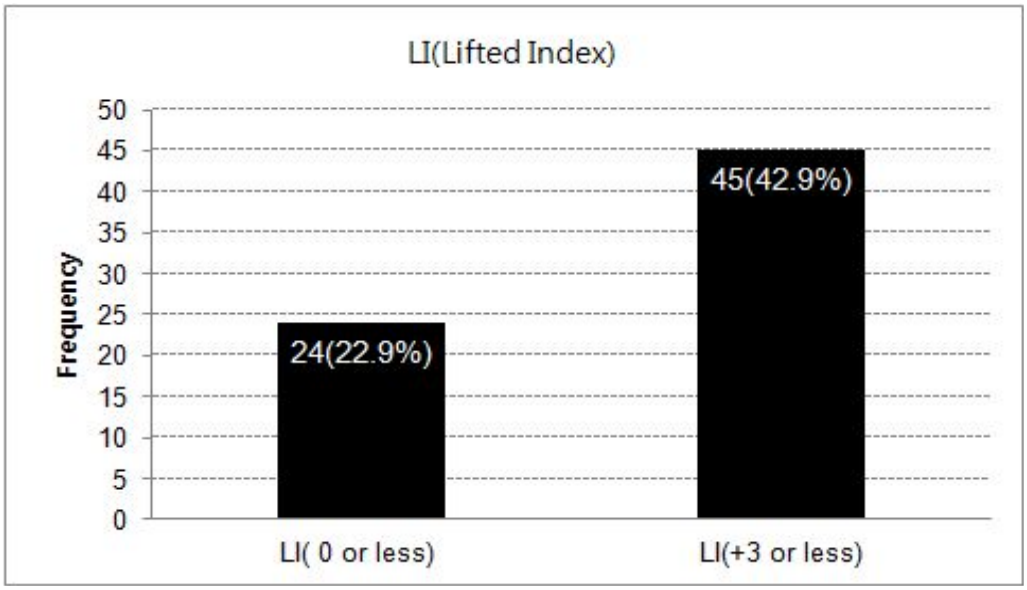


Fig. 18. Same as Fig. 16 except for LI Standard Value Modification.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

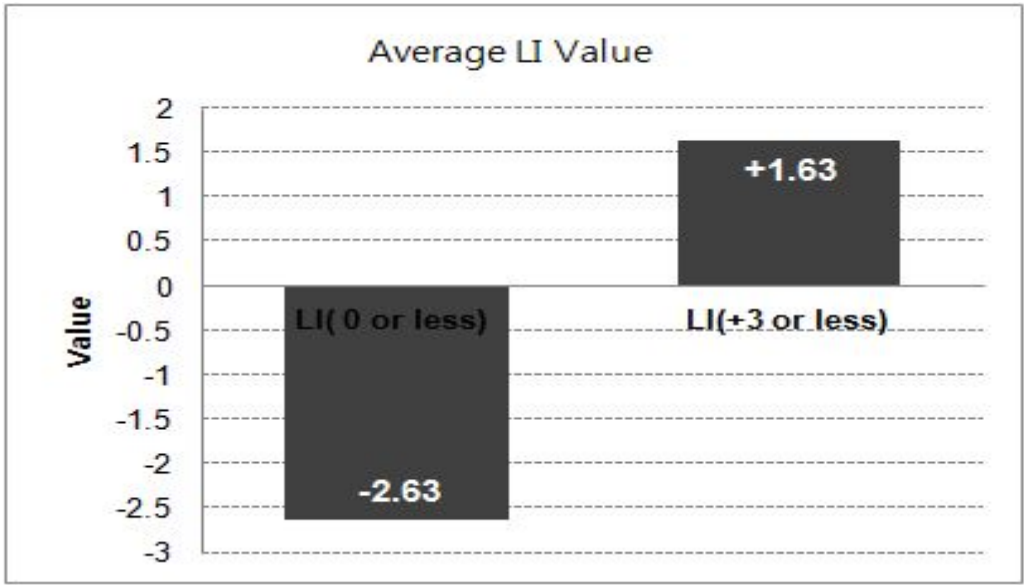


Fig. 19. Same as Fig. 17 except for LI.

다) KI 분석 결과

Fig. 20을 보면 KI의 경우 기준값 26 이상을 적용 시 전체 우박 관측횟수 105회 중 36회가 관측되어 34.3%의 충족률을 보였다. 그러나 기준값을 20 이상으로 적용시키면 전체 105회 중 52회가 해당되어 49.5%의 충족률을 보이면서 기존보다 15.2% 가량 높아진 충족률을 볼 수 있다. 기준값을 변경하여 적용 시 KI의 평균값은 기존 29.1에서 22.7로 나타났다(Fig. 21).



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

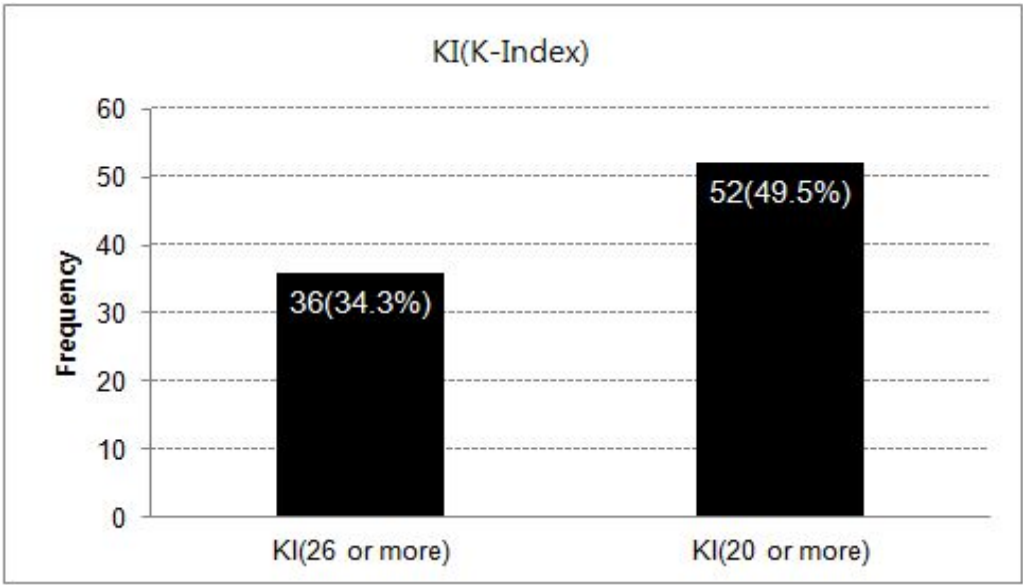


Fig. 20. Same as Fig. 16 except for KI Standard Value Modification.

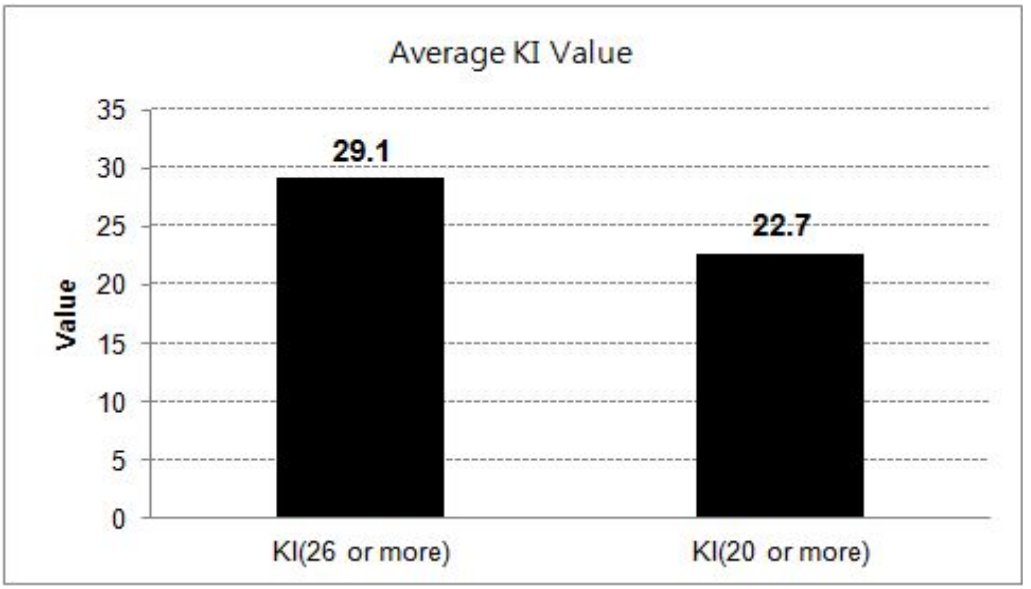


Fig. 21. Same as Fig. 17 except for KI.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라) TTI 분석 결과

Fig. 22에서 TTI의 경우 기존에 기준값 50 이상을 적용 시 전체 우박 관측 횟수 105회 중 55회가 관측되어 52.4%의 충족률을 보였다. 그러나 기준값을 40 이상으로 적용시키면 전체 105회 중 91회가 해당되어 86.7%의 충족률을 보이면서 기존보다 34.3% 가량 높아진 충족률을 보였다. 기준값을 변경하여 적용 시 TTI의 평균값은 기존 53.3에서 45.6으로 나타났다(Fig. 23).

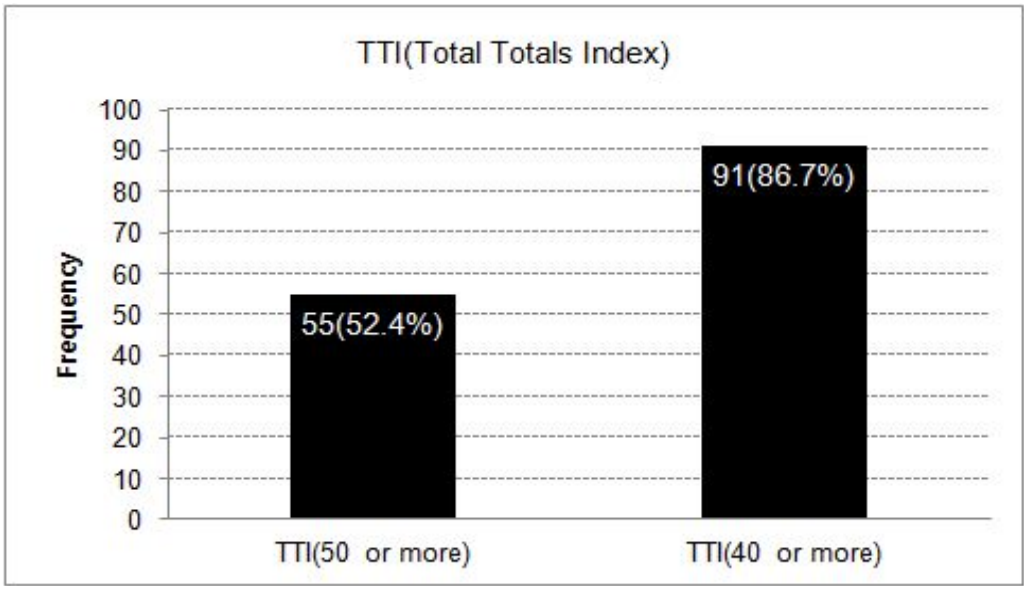


Fig. 22. Same as Fig. 16 except for TTI Standard Value Modification.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

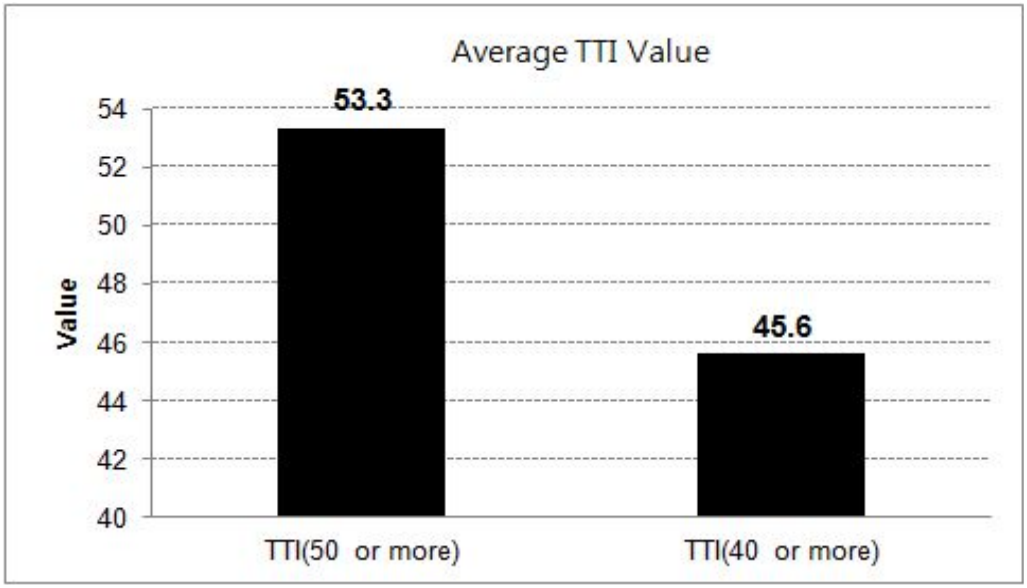


Fig. 23. Same as Fig. 17 except for TTI.

### 마) CAPE 분석 결과

CAPE는 값이 증가할수록 우박 가능성도 증가하고, 우박이 클수록 CAPE 값도 높아지는 특성이 있어서 우박 예측에 아주 중요한 지표로 사용될 수 있다. 그러나 기대와는 달리 최근 10년간 우박 관측자료에서 보면 만족할 만한 결과가 나오지 않았다. 자료 조사과정에서 보면 기준값 300 이상에는 해당되는 경우는 전체 관측자료 105회 중에서 15회 밖에 없고, 충족률도 14.3%로 상당히 낮았다. 그러나 기준값에 충족되진 않지만 우박이 발생한 날 CAPE 값이 작은 수치지만 관측되는 경우가 종종 있었다. 이 부분에 대해서는 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

CAPE는 기준값 300 이상에서 0 이상으로 자료값이 나타났을 경우로 기준을 변경해 보았다. Fig. 24를 보면 CAPE 기준값을 0 이상으로 변경하여 적용 시 전체 우박 관측횟수 105회 중 60회가 해당되어 충족률이 57.1%까지 높아져 기존보다 42.8% 가량 향상된 것을 볼 수 있다. 그리고 기준값을 변경하여 적용 시 CAPE의 평균값은 기존 983.7에서 61.2로 나타났다(Fig. 25).



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

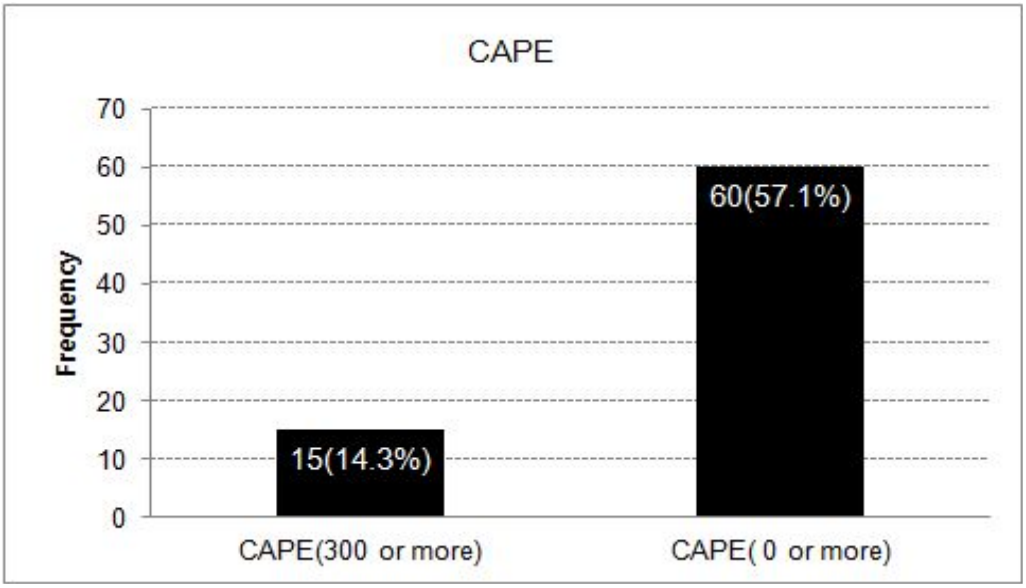


Fig. 24. Same as Fig. 16 except for CAPE Standard Value Modification.

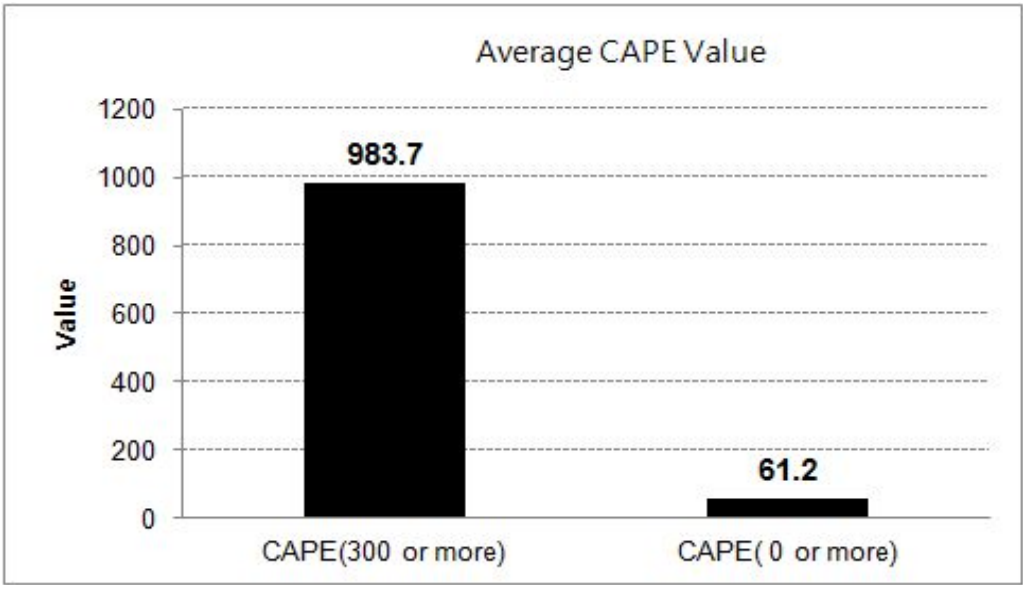


Fig. 25. Same as Fig. 17 except for CAPE.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 바) SRH 분석 결과

우박은 연직 상승류와 많은 연관이 있다. 우박과 연직 상승류와의 관계를 알아보기 위하여 SRH를 분석한 결과 전체 우박 관측횟수 105회 중에서 72회가 기준값에 해당되면서 안정도지수들 가운데 가장 좋은 충족률을 보여 우박 예측에 있어서 아주 중요한 지표로 분석되었다. 특히, 기층이 상당히 안정하다고 판단되어지는 날 다른 안정도지수로는 우박 가능성을 낮게 봐야하는데 SRH 값이 기준값 이상으로 관측되는 경우가 많아 대기의 기층이 안정한 추운 겨울에 아주 유용하게 우박 예측에 사용할 수 있을 것으로 생각되었다. Fig. 26을 보면 기준값 150 이상에서 전체 우박 관측횟수 105회 중 72회가 관측되어 충족률 68.6%를 기록하였는데, 여기에 기준값을 0 이상으로 변경하면 전체 105회에서 100회가 관측되어 충족률 95.2%로 향상된 것을 볼 수 있다. 그리고 우박 발생일 대부분이 연직 상승류와 관계가 있음을 다시 한 번 확인할 수 있다. 기준값을 변경하여 적용 시 SRH의 평균값은 기존 661.9에서 73.5로 나타났다(Fig. 27).

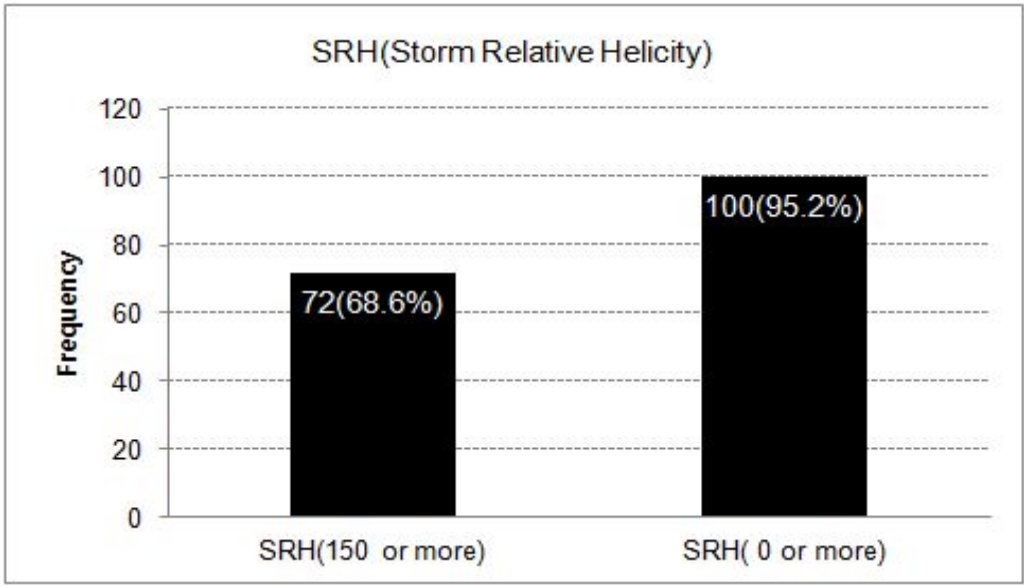


Fig. 26. Same as Fig. 16 except for SRH Standard Value Modification.



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

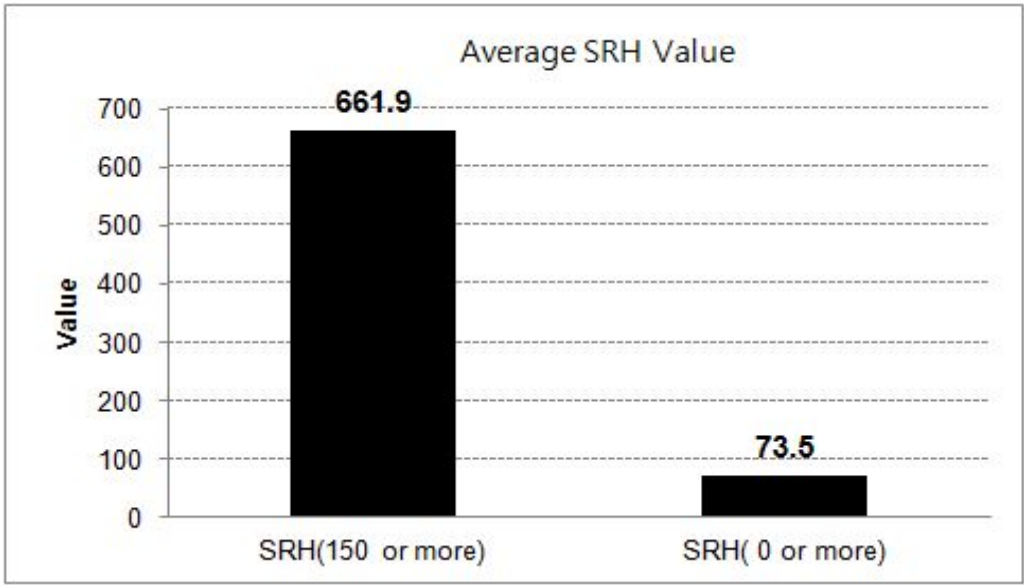


Fig. 27. Same as Fig. 17 except for SRH.

안정도지수 기준값 변경을 통해서 모두 주목할 만한 충족률 향상을 보였다. 특히, SRH는 95.2%로 가장 높은 충족률이 나타났고, 다음은 TTI(86.7%)와 SSI(85.7%)가 높은 충족률을 보였다. 그리고 새로 적용된 값을 기준으로 한 평균값을 살펴보면 SSI는 +1.11 이하, LI는 +1.63 이하, KI는 22.7 이상, TTI는 45.6 이상, CAPE는 61.2 이상, SRH는 73.5 이상으로 나타났다. 선행연구에서 이춘식 등(2002)은 우박 발생의 선행조건으로 TTI 46 이상, KI가 40 이상, SSI는 +2 이하를 제시하였는데, 기준값 변경 시 KI를 제외하고 TTI와 SSI는 거의 비슷한 결과값이 나타났다. 향후 지속적인 자료 분석과 연구를 통해 우리나라 실정에 맞는 안정도지수를 개발하거나 가장 적절한 값을 찾을 경우 여기 분석된 수치들이 많은 도움이 될 수 있기를 기대해 본다.

### 4) 안정도지수 조합 시 우박 예측 비교

안정도지수는 다른 주관적, 객관적 자료와 포괄적인 비교·검토가 이루어져야



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하고, 특정지역 및 특정시기에 안정도지수를 적용 시 맞지 않는 경우가 있으므로 여러 자료를 이용하여 상세히 검토해야 한다(홍성길, 2013).

안정도지수별 기준값 변경 시 우박 발생일의 안정도지수 기준값 충족률이 상당히 향상된 것을 확인하였다. 그 중에서 SSI, TTI, SRH의 기준값 충족률이 좋은 결과를 나타내어 우박 예측에 있어서 많은 활용이 기대된다. 특히, SSI는 현업에서 가장 많이 활용되는 안정도지수로써 맑은 날씨에 바람이 거의 불지 않는 안정된 기단의 영향을 받고 있을 때 지면의 급격한 기온 상승 예측을 통해 대류가 발생하여 뇌우발생(소나기) 가능성을 진단하는데 유용하다. 따라서 뇌우 가능성이 높다면 우박이 동반될 가능성도 높기 때문에 SSI를 잘 활용해야하겠다. 물론, 저기압에 의한 강수나 하층수렴, 상층발산의 대류운동이 잘 발달된 연직대기 상태에 적용하는 것은 적합하지 않다는 단점이 있다. 그러나 우리나라가 안정된 기단의 영향을 받고 있는 경우가 많고, SSI의 단점을 보완하기 위해 만들어진 LI를 참고하거나 다른 안정도지수를 함께 비교·검토한다면 신뢰도가 훨씬 좋아질 수 있다는 이점이 있다. 때문에 SSI를 이용하여 다른 안정도지수(LI, KI, TTI, CAPE, SRH)와 조합할 경우 최근 10년간 우박 관측 확률이 얼마인지 분석하여 보았다. 분석방법은 SSI와 다른 안정도지수 하나를 조합하여 우박 발생일에 두 개의 안정도지수가 동시에 얼마나 기준값에 해당되는지 그 비율을 살펴보았다.

Table 11을 보면 SSI는 850-500hPa, 925-500hPa, 925-700hPa의 3개층 중 어느 하나라도 기준값 +3 이하면 적용되는 것으로 하고, 나머지 안정도지수는 기준값 변경 없이 그대로 사용하였다. 먼저, SSI-LI 조합은 전체 우박 관측횟수 105회 중에서 26회가 관측되었고, 24.8%의 우박 관측 확률을 보였다. SSI-KI 조합은 36회가 관측되었고, 34.3%의 확률을 보였다. 그리고 SSI-TTI 조합은 전체 105회 중에서 57회가 관측되면서 54.3%의 관측 확률을 보였고, SSI-CAPE 조합은 17회가 관측되면서 우박 관측 확률 16.2%로 가장 저조한 결과가 나왔다. 마지막으로 SSI-SRH 조합은 전체 105회 중에서 59회가 관측되었고, 우박 관측 확률 56.2%로 SSI와의 조합에서 가장 좋은 결과값이 나왔다.

좀 더 정확한 우박 예측법 연구를 위하여 각 안정도지수별로 기준값 변경 시 우박 발생일에 기준값 도달 수준이 향상되었던 분석을 바탕으로 SSI와의 조합에



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

서도 안정도지수별 기준값을 변경하여 분석하여 보았다.

Table 12를 보면 SSI는 기준값을 그대로 적용하였고, SSI-LI 조합에서 LI의 기준값은 +3 이하로 변경하여 적용하였다. 기준값 적용 후 SSI-LI 조합은 전체 우박 관측횟수 105회 중에서 47회가 관측되면서 기준값 적용 전보다 20% 향상된 44.8%의 우박 관측 확률을 보였다.

SSI-KI 조합에서는 KI의 기준값을 20 이상으로 변경하여 적용했고, 기준값 적용 후 SSI-KI 조합은 전체 105회 중 50회가 관측되어 전보다 13.3% 향상된 47.6%의 우박 관측 확률을 보였다. 그리고 SSI-TTI 조합은 TTI 기준값을 40 이상으로 적용했고, 적용 이후 총 87회가 관측되어 전보다 28.6% 향상된 82.9%의 가장 높은 우박 관측 확률을 보였다.

또한, SSI-CAPE 조합에서는 CAPE 기준값을 0 이상으로 변경하여 적용했고, 적용 이후 전체 우박 관측횟수 105회 중 58회가 관측되어 전보다 무려 39% 향상된 55.2%의 우박 관측 확률을 보였다. 마지막으로 SSI-SRH 조합에서는 SRH 기준값을 0 이상으로 변경 했고, 변경된 값 적용 이후 총 84회의 우박이 관측되어 전보다 23.8% 향상된 80%의 우박 관측 확률을 보였다.

이번 분석에서도 SSI와 TTI, SRH 조합이 가장 좋은 결과값을 나타냈다. 특히, 가장 좋은 결과값이 나타난 SSI-TTI 조합에서는 총 105회의 우박 관측 사례 중 87회가 이 조합에 해당되었는데, 여기에 해당되지 않은 사례 18건은 모두 1월과 3월, 10월과 11, 12월에만 나타났다. 그리고 해당되지 않은 사례 18건 중 광주에서 관측된 우박 4건을 제외한 14건은 우박 관측일의 SRH 값이 모두 150 이상 해당되었다. 따라서, SSI-TTI 조합에 해당되거나, SSI-TTI 조합에 해당되지 않더라도 1월과 3월, 10~12월인 경우 SRH 값이 150 이상 관측되면 우박이 발생한다고 정리할 수 있다. 이렇게 적용하면 전체 우박 관측횟수 105회 중에서 87회의 SSI-TTI 적용 사례와 14건의 SRH 값 적용 사례를 합하면 총 101건이 해당되고, 약 96.2%의 아주 높은 우박 관측 확률로 나타난다.

이처럼 보다 정확하고 신속하게 우박 발생을 예측하기 위해서 단열선도 상의 여러 안정도지수들을 이용하여 신뢰도 높은 안정도지수와 기준값들을 분석하여 보았다. 특히, SSI와 TTI, SRH는 앞에서 분석된 좋은 결과를 바탕으로 향후 예보에 지속적으로 적용하면서 더 많은 사례와 연구를 통하여 우리나라 지형과 기



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

후에 맞는 안정도지수로 발전시켜 나가면 좋을 것이라 생각된다.

Table 11. Stability Indices Combination (Without Standard Value Modification).

| Division / Stable Index | Frequency of Hail event (0.2cm≦) | Rate (%) | Reference (SSI : More than one third of the layer below +3) |
|---|---|---|---|
| SSI-LI | 26/105 | 24.8 | - LI : 0 ≧ |
| SSI-KI | 36/105 | 34.3 | - KI : 26 ≦ |
| SSI-TTI | 57/105 | 54.3 | - TTI : 50 ≦ |
| SSI-CAPE | 17/105 | 16.2 | - CAPE : 300 ≦ |
| SSI-SRH | 59/105 | 56.2 | - SRH : 150 ≦ |

Table 12. Stability Indices Combination (With Standard Value Modification).

| Division / Stable Index | Frequency of Hail event (0.2cm≦) | Rate (%) | Reference (SSI 1 layer below +3) | Remark |
|---|---|---|---|---|
| SSI-LI | 47/105 | 44.8 | - LI : +3 ≧ | 20.0% ▲ |
| SSI-KI | 50/105 | 47.6 | - KI : 20 ≦ | 13.3% ▲ |
| SSI-TTI | 87/105 | 82.9 | - TTI : 40 ≦ | 28.6% ▲ |
| SSI-CAPE | 58/105 | 55.2 | - CAPE : 0 ≦ | 39.0% ▲ |
| SSI-SRH | 84/105 | 80.0 | - SRH : 0 ≦ | 23.8% ▲ |



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 5) 우박 예보 체크리스트

지금까지 분석된 자료를 이용하여 최근 10년간 우리나라에 관측된 직경 0.2㎝ 이상의 우박 105건의 사례에 적용할 수 있는 우박 예보 체크리스트를 작성하였다(Fig.28).

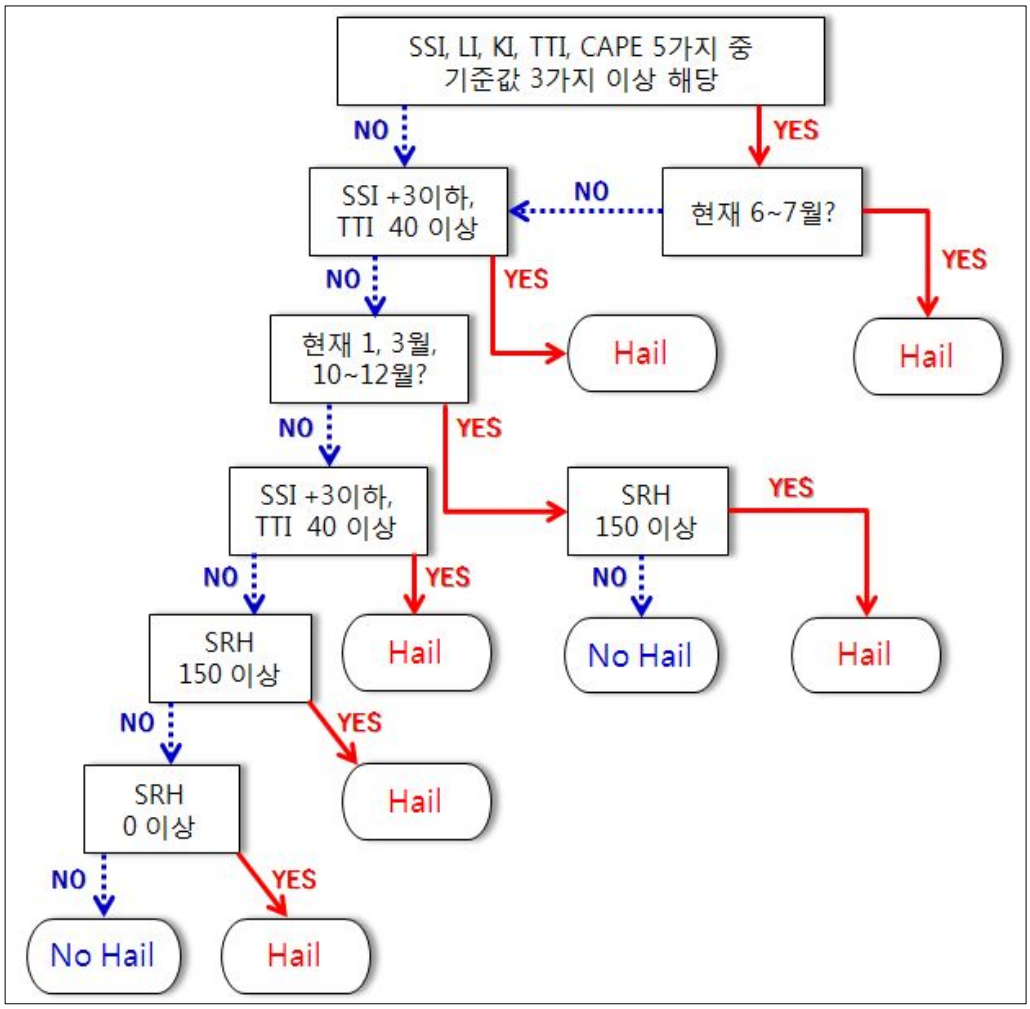


Fig. 28. Flow Chart of Hail-Forecast Checklist.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 다. 수치모델 자료 이용

최근 10년간 우리나라에서 발생한 우박 관측자료를 조사하고, 우박 발생일의 안정도지수 특성 분석을 통하여 우박 예측에 활용할 수 있는 예보 체크리스트를 만들었다. 그러나 고층기상 관측소에서 제공하는 관측자료(단열선도, Fig. 29)는 시간분해능이 좋지 않아 우박 예측에 필요한 안정도지수들을 우리가 원하는 시간에 얻기가 쉽지 않고, 짧은 시간에 급격히 발달하여 영향을 주고 사라지는 우박의 특성으로 조기에 우박의 발생을 판단하기에는 많은 어려움이 있다.

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 수치모델 자료를 이용할 필요가 있다. 방재기상정보시스템에서 제공하는 예상 단열선도 자료(Fig. 30)를 활용하면 6시간마다 3시간 단위로 최장 87시간까지 안정도지수를 얻을 수 있다.

고층기상 관측소에서 제공된 단열선도 자료와 예상 단열선도 자료와의 데이터 검증을 통해 실제 안정도지수와 예상값이 거의 유사하다면 우박 발생을 미리 예보할 수 있을 것이다.

실제 우박 발생일의 발생시각을 기준으로 6시간, 12시간 전에 제공되는 예상 단열선도 자료가 우박 발생시점 전·후의 단열선도 자료값과 얼마만큼 유사한지 조사하여 수치모델 자료를 이용할 수 있는지 판단하여 보았다.

자료는 방재기상정보시스템의 위험기상감시 메뉴에 있는 UM 지역모델(RDAPS) 예상 단열선도 자료를 이용하였고, 과거 자료가 2011년 6월부터 제공되고 있어 실제 우박 발생일과의 비교는 그 이후의 우박 관측자료와 실시하였다. 사례는 총 18건이 있었고, 우박 발생시각 기준 6시간과 12시간 전의 수치모델 자료에서 실제 우박 발생시각의 안정도지수 자료와 각각 비교하였다.

Table 13을 보면 전체 사례 18건 중 14건의 자료가 우박 예측에 필요한 조건들을 만족하고 있다. 그 조건에는 안정도지수 SSI, LI, KI, TTI, CAPE 중 기준값에 해당되는 것이 3개 이상인지, 2개 이하일 경우 SSI +3 이하, TTI 40 이상의 SSI-TTI 조합에 해당하는지, 그리고 SSI-TTI 조합에 해당되지 않고 1, 3월, 10~12월인 경우 SRH 값이 150 이상인지 등이다. 이 조건에 해당하지 않는 4건의 사례는 모두 광주에서 관측된 우박 사례로 기준이 되는 조건에는 해당되지 않았지만, 실제 단열선도 자료값이 예상 단열선도와 거의 동일하게 나타난 것을 확인하였다. 따라서 18건의 사례 비교에서 수치모델의 예상 단열선도를 통해 실제



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

안정도지수 자료값이나 패턴 등을 수치모델이 거의 유사하게 모의하고 있어 현업에서 수치모델 자료를 이용하여 미리 우박 예측이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

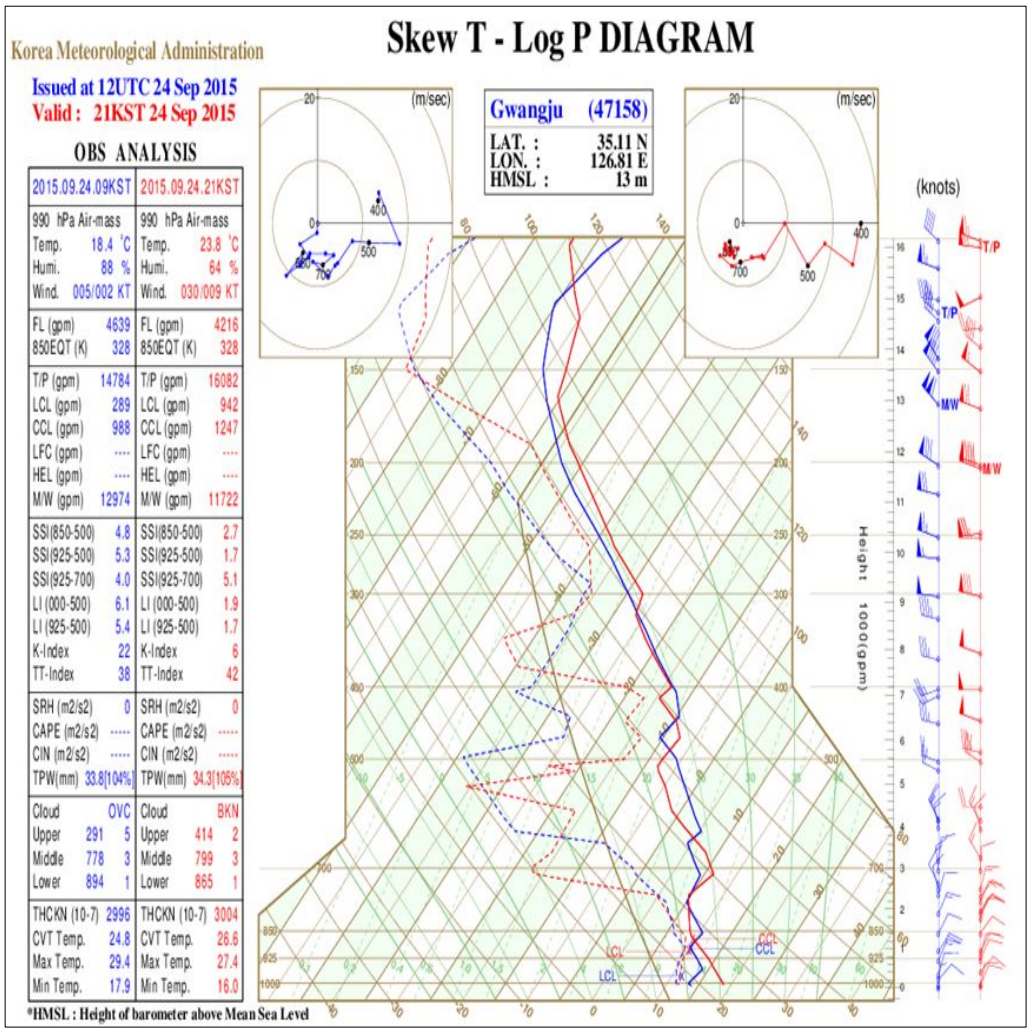


Fig. 29. Skew T-log P diagram (Gwangju).



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

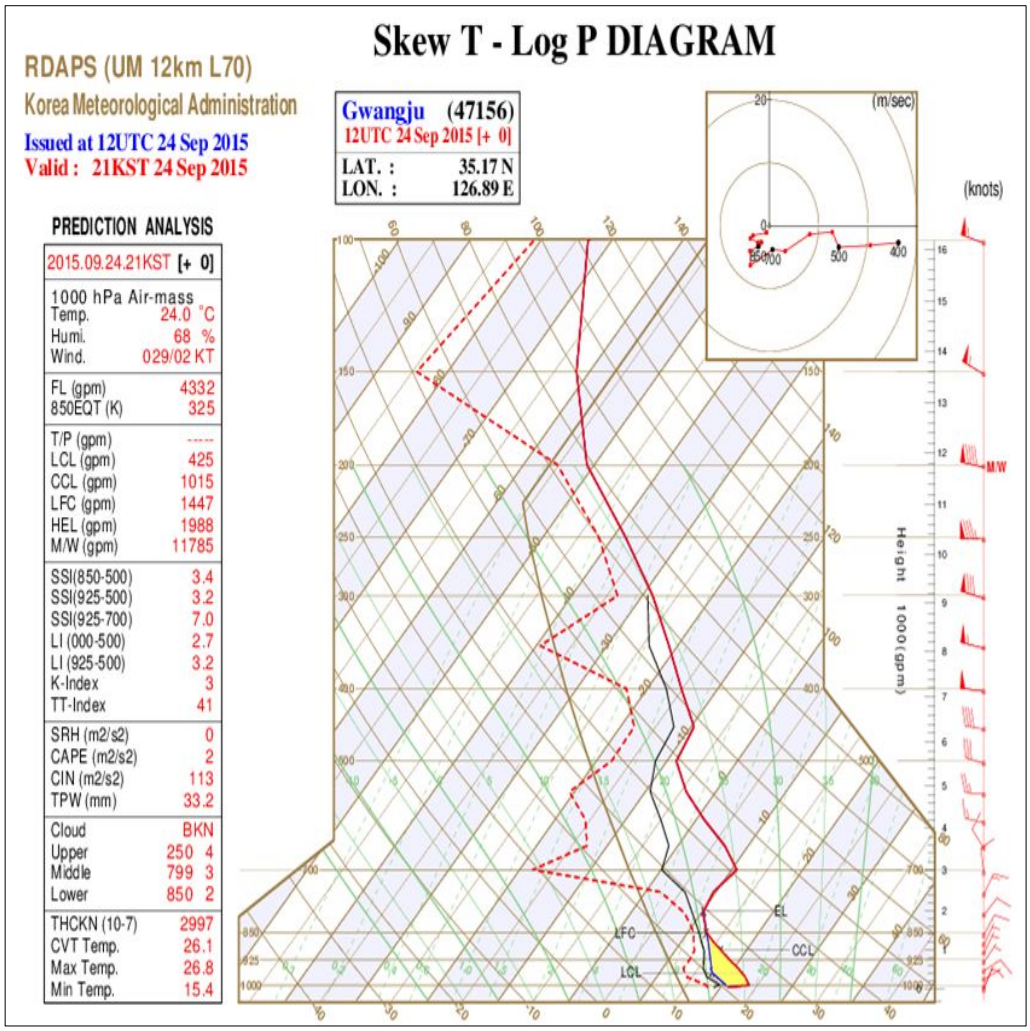


Fig. 30. Skew T-log P diagram with the Numerical Weather Prediction Data (Gwangju).



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 13. Observatory Data vs. Numerical Weather Prediction Data during Hail Occurrence.

| Date | Hour (LST) | Area | Content analysis (Stability index corresponding reference No., SSI-TTI Combine, SRH value) |
|---|---|---|---|
| Nov. 23, 2011 | 15~18 | Jeonju | -12Hour : 2개 이하. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 2개 이하. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| May. 17, 2012 | 13~15 | Cheolwon | -12Hour : 안정도지수 기준값 3~5개 해당. |
| | | | -6Hour : 기준값 3~5개 해당. SSI-TTI 조합 충족. |
| May. 27, 2012 | 12~14 | Chuncheon | -12Hour : 3개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 기준값 4개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 208. |
| Jun. 12, 2012 | 15~16 | Cheonan | -12Hour : 5개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| | | | -6Hour : 4개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| Jun. 12, 2012 | 22~23 | Cheongju | -12Hour : 4개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 없음. |
| | | | -6Hour : 5개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| Oct. 30, 2012 | 09~14 | Gwangju | -12Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| | | | -6Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| Nov. 13, 2012 | 14~15 | Cheongju | -12Hour : 1개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| Apr. 25, 2013 | 16~18 | Wonju | -12Hour : 2개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 2개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| Nov. 4, 2013 | 01~10 | Gwangju | -12Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| | | | -6Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| Nov. 17, 2013 | 00~02 | Daejeon | -12Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 1개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| Mar. 20, 2014 | 09~13 | Sokcho | -12Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 2개 해당. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| Apr. 4, 2014 | 02~07 | Sokcho | -12Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| | | | -6Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하. |
| Jun. 10, 2014 | 18~21 | Cheolwon | -12Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| | | | -6Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| Jun. 12, 2014 | 14~16 | Gwangju | -12Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| | | | -6Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| Jun. 12, 2014 | 15~18 | Daejeon | -12Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| | | | -6Hour : 5개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이하(CAPE 높음). |
| Oct. 16, 2014 | 05~07 | Cheolwon | -12Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| | | | -6Hour : 0개. SSI-TTI 조합 충족. SRH 150 이상. |
| Nov. 17, 2014 | 12~24 | Gwangju | -12Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| | | | -6Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| Dec. 9, 2014 | 00~08 | Gwangju | -12Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |
| | | | -6Hour : 모든 특성 나타나지 않음. 실제 단열선도와 동일. |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 라. 사례 검증

앞서 분석된 자료들이 우리나라에서 관측된 최근 10년간의 우박 특성이 잘 분석되었는지, 실제 우박 예측에 잘 활용될 수 있는지 알아보고자 2015년 우리나라에 발생한 우박 사례와 비교·검증해 보았다.

2015년 1월부터 8월까지 우리나라 기상관측소에서 관측된 우박은 모두 5건이다. 이 중 3건은 직경 0.2㎝ 이상의 우박 및 싸락우박이고, 나머지 2건은 크기가 관측되지 않은 사례이다. 더 많은 검증 사례 확보를 위해 5건 모두를 이용하였다.

검증 방법은 2015년 우박 발생일의 우박 발생시각을 기준으로 안정도지수를 조사한 다음, 앞서 연구·분석한 것처럼 기본 안정도지수 5가지 중 기준값에 해당되는 것은 몇 개이며, 2개 이하로 해당될 시 SSI의 3개층 중 1개층이라도 +3 이하이고, TTI의 값이 40 이상인 SSI-TTI 조합에는 해당되는지, 그렇지 않은 경우 1, 3월, 10~12월이면 SRH 값이 150 이상 나타나는지 등 우박 예보 체크리스트를 토대로 우박 예측이 가능한지 비교하는 것이다. 그리고 수치모델 자료를 이용하여 2015년에 관측된 우박의 발생시각 6시간, 12시간 전의 예상 단열선도 자료를 이용하여 실제 우박이 발생한 시각에 수치모델의 예상 자료가 잘 모의하고 있는지를 검증하여 우박 예보에 활용가능한지 살펴보는 것이다.

Table 14~18은 2015년 우박 발생 사례일 5건에 대한 검증자료이다. 결과는 5건의 자료 모두 우박 예보 체크리스트에 의한 우박 예측이 가능하였고, 수치모델 자료 또한 실제 단열선도 자료값과 거의 유사하게 모의되어 충분히 우박 예보에 활용 가능한 것을 확인하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 14. 2015 Hail Reports Seongsan.

| Date | Hour (LST) | Area | Diameter(cm) |
|---|---|---|---|
| Jan. 1, 2015 | 0325~0405 | Seongsan | 0 |

| Adiabatic chart for hail event day | | | Estimates adiabatic chart by numerical models | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | before 6 hours | | before 12 hours | |
| | 21LST 31 | 03LST 1 | 03LST 1 | 06LST 1 | 03LST 1 | 06LST 1 |
| SSI (85-50) | 20.0 | **19.8** | **18.7** | 17.6 | **18.2** | 19.0 |
| SSI (92-50) | 19.8 | **19.6** | **18.3** | 17.4 | **17.9** | 18.7 |
| SSI (92-70) | 4.6 | **3.1** | **8.2** | 8.6 | **7.2** | 7.0 |
| LI (00-50) | 19.6 | **19.4** | **18.0** | 17.2 | **17.6** | 18.6 |
| KI | -31 | **-8** | **-21** | -25 | **-21** | -23 |
| TTI | 24 | **25** | **28** | 30 | **29** | 27 |
| CAPE | 27 | **34** | **23** | 13 | **16** | 5 |
| SRH | 259 | **643** | **451** | 437 | **495** | 451 |
| Verific-ation results | - 기본 안정도지수 해당 0개. SSI-TTI 조합 해당 없음. 1월. SRH 값 150 이상 해당.<br>- 예상 단열선도에서 실제 03시 자료값과 거의 유사. 안정한 상태에서 SRH 값이 기준값 이상 모의되어 우박 발생시각 상황과 거의 유사함. | | | | | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 15. Same as Table 14 except for Jeju.

| Date | Hour (LST) | Area | Diameter(cm) |
|---|---|---|---|
| Jan. 22, 2015 | 0211~0309 | Jeju | 0 |

| Adiabatic chart for hail event day | | | Estimates adiabatic chart by numerical models | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | before 6 hours | | before 12 hours | |
| | 21LST 21 | 03LST 22 | 03LST 22 | 06LST 22 | 03LST 22 | 06LST 22 |
| SSI (85-50) | 6.5 | **4.7** | **7.7** | 5.2 | **7.0** | 5.7 |
| SSI (92-50) | 6.9 | **5.7** | **6.6** | 5.1 | **5.9** | 5.4 |
| SSI (92-70) | 2.6 | **2.8** | **0.5** | 1.0 | **0.9** | 1.1 |
| LI (00-50) | 8.1 | **6.0** | **6.7** | 5.2 | **6.2** | 5.3 |
| KI | 11 | **17** | **12** | 20 | **11** | 20 |
| TTI | 48 | **52** | **46** | 51 | **47** | 50 |
| CAPE | 0 | **4** | **0** | 0 | **0** | 0 |
| SRH | 73 | **26** | **114** | 87 | **136** | 95 |
| Verific -ation results | - SSI-TTI 조합에 해당됨.<br>- 예상 단열선도에서도 SSI-TTI 조합이 확인되며, 실제 단열선도와 대체로 유사하게 모의됨. | | | | | |



dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 16. Same as Table 14 except for Pohang.

| Date | Hour (LST) | Area | Diameter(cm) |
|---|---|---|---|
| Apr. 14, 2015 | 1313~1422 | Pohang | 0.5 |

| Adiabatic chart for hail event day | | | Estimates adiabatic chart by numerical models | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | before 6 hours | | before 12 hours | |
| | 09LST 14 | 21LST 14 | 12LST 14 | 15LST 14 | 12LST 14 | 15LST 14 |
| SSI (85-50) | 5.0 | **-0.1** | 4.1 | **3.3** | 0.8 | **1.1** |
| SSI (92-50) | 7.7 | **0.5** | 5.3 | **2.0** | 2.4 | **0.6** |
| SSI (92-70) | 4.0 | **0.8** | 1.5 | **-0.7** | 1.5 | **0.5** |
| LI (00-50) | 7.5 | **0.6** | 5.1 | **1.9** | 2.6 | **0.7** |
| KI | 21 | **20** | 21 | **21** | 12 | **24** |
| TTI | 49 | **59** | 50 | **53** | 56 | **57** |
| CAPE | 3 | **0** | 66 | **197** | 6 | **0** |
| SRH | 463 | **0** | 33 | **0** | 150 | **24** |
| Verific-ation results | - 기본 안정도지수 기준값 2개 이하. SSI-TTI 조합에 해당됨.<br>- 예상 단열선도에서도 실제값과 동일하게 SSI-TTI 조합이 확인됨.<br>SSI와 CAPE 값이 실제 보다 조금 높게 모의되나 나머지 지수들은 실제값과 거의 비슷함. | | | | | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 17. Same as Table 14 except for Gwangju.

| Date | Hour (LST) | Area | Diameter(cm) |
|---|---|---|---|
| Apr. 14, 2015 | 1423~1647 | Gwangju | 0.3 |

| Adiabatic chart for hail event day | | | Estimates adiabatic chart by numerical models | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | before 6 hours | | before 12 hours | |
| | 09LST 14 | 15LST 14 | 12LST 14 | 15LST 14 | 12LST 14 | 15LST 14 |
| SSI (85-50) | 7.9 | **3.3** | 7.2 | **3.3** | 6.9 | **2.2** |
| SSI (92-50) | 6.3 | **2.7** | 5.2 | **3.2** | 5.0 | **1.8** |
| SSI (92-70) | 3.5 | **1.3** | 0.9 | **1.6** | 0.9 | **0.6** |
| LI (00-50) | 6.4 | **2.5** | 5.2 | **3.3** | 5.1 | **1.7** |
| KI | -2 | **23** | 9 | **10** | 11 | **20** |
| TTI | 45 | **54** | 45 | **53** | 46 | **55** |
| CAPE | 89 | **235** | 92 | **98** | 152 | **233** |
| SRH | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** |
| Verific-ation results | - SSI-TTI 조합에 해당됨.<br>- 예상 단열선도에서도 SSI-TTI 조합이 확인되며, 실제 단열선도 자료값과 거의 유사하게 모의됨. | | | | | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 18. Same as Table 14 except for Chuncheon.

| Date | Hour (LST) | Area | Diameter(cm) |
|---|---|---|---|
| Jun. 13, 2015 | 1555~1720 | Chuncheon | 1.0 |

| Adiabatic chart for hail event day | | | Estimates adiabatic chart by numerical models | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | before 6 hours | | before 12 hours | |
| | 15LST 13 | 21LST 13 | 15LST 13 | 18LST 13 | 15LST 13 | 18LST 13 |
| SSI (85-50) | **0.1** | 2.5 | **-4.7** | -4.2 | **-4.6** | -3.4 |
| SSI (92-50) | **-4.6** | 0.1 | **-5.3** | -5.3 | **-5.5** | -5.6 |
| SSI (92-70) | **-0.7** | 0.4 | **-1.1** | -2.0 | **-2.0** | -1.4 |
| LI (00-50) | **-5.0** | -0.7 | **-5.4** | -5.3 | **-6.0** | -5.6 |
| KI | **30** | 27 | **35** | 38 | **37** | 36 |
| TTI | **50** | 46 | **56** | 56 | **57** | 56 |
| CAPE | **1172** | 758 | **1075** | 922 | **1451** | 935 |
| SRH | **282** | 175 | **232** | 93 | **158** | 147 |
| Verific-ation results | - 오산 단열선도 자료값 이용. 기본 안정도지수 5개 모두 해당됨.<br>- 예상 단열선도에서도 기본 안정도지수 5개 모두 기준값 해당됨.<br>SSI 850~500hPa 값을 제외한 나머지 자료값은 실제와 거의 유사하게 모의됨. | | | | | |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 4. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라에서 관측된 우박 사례를 분석하여 좀 더 빠르고 정확하게 우박을 예측할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 이를 위해 2005년부터 2014년까지 최근 10년간 기상관측소에서 관측된 직경 0.2㎝ 이상의 우박 사례 105건을 중심으로 시·공간적, 통계적 분석을 통해 우리나라의 우박 발생 특성에 대해 살펴보았고, 우박 발생일의 안정도지수를 이용하여 우박을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다.

우박을 정확히 예측하기 위해서는 먼저 우박이 발생하는 환경에 대한 분석이 중요하기 때문에 지난 10년간의 우박 관측자료에 대해 분석하였다. 분석 결과를 보면 우박의 발생은 지리적, 기후적 특징을 보이는 가운데 주로 우리나라 북부지역과 서부지역에 집중되어 관측되는 것으로 나타났다. 그리고 기단의 교체에 따라 대기의 불안정도가 높아지는 11월과 4월에 가장 많은 우박이 관측되었고, 하루 중 일사에 의한 지표 가열로 기층이 가장 불안정한 14~16시에 우박이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 월별 우박의 평균 크기는 6월이 가장 크고, 1월이 가장 작았다. 6월은 장마전선의 영향으로 많은 수증기가 내륙으로 유입되어 적운형 구름의 발달이 용이하여 우박이 크게 성장할 수 있는 반면, 1월은 연중 평균기온이 가장 낮고, 여름보다 건조하며 대류권계면이 낮아 적운형의 구름이 발달하기 쉽지 않아 우박이 크게 성장하지 못해 우박의 평균 크기가 작은 것으로 생각된다. 그리고 3월부터 10월까지는 뇌우가 발생할 경우 우박이 동반되어 관측되는 경우가 대부분이었고, 11월에서 1월로 갈수록 뇌우와 우박이 함께 나타나는 횟수가 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 이는 겨울로 접어들수록 북서쪽의 차고 건조한 기단의 영향을 받으면서 대기가 안정해져 뇌우 발달이 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

우박 관측자료에 대한 분석을 토대로 신속·정확하게 우박을 예측하기 위한 방법을 만들고자 대기의 안정도지수를 이용하였다. 우박 발생일의 안정도지수 분석을 통해 기존의 안정도지수 기준값을 변경하여 적용해 보고, 각 안정도지수별로 우박 예측에 정확도가 높은 조합들을 찾아보는 방식으로 연구를 진행하였다. 이를 통해 우리나라의 지리적, 기후적 특성에 맞는 안정도지수의 기준값 변



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

경을 제시하였고, 안정도지수의 변경된 기준값과 안정도지수별 다양한 조합을 바탕으로 우박을 조기에 예측하고 예보의 정확도를 향상시키기 위해 우박 예보 체크리스트를 만들었다. 또한 우박 예보 체크리스트를 수치모델 자료에 적용시켜 우박 발생 6~12시간 전에 미리 우박을 예측할 수 있는지 비교·검증하였고, 이 체크리스트를 우박의 예측에 충분히 사용가능한 것을 확인하였다.

우박을 정확하게 예측하기 위해서는 어느 특정자료의 분석만으로는 한계가 있다. 종관분석 뿐만 아니라 종합적이고 입체적인 분석이 필요하다. 하지만, 예보 업무를 하다보면 좁은 지역에 짧은 지속시간을 가지고 피해를 주는 우박을 미리 판단하기 위해 많고 다양한 자료를 충분치 않은 시간에 분석하여 우박을 결정하기란 쉽지 않다. 그렇기에 신속하게 우박의 발생을 예측하고 거기에 정확률까지 향상시킬 수 있는 여러 방법들을 모색하던 중 안정도지수를 이용한 우박 예측법을 연구하게 되었다. 연구를 진행하면서 외국에서 만들어진 안정도지수의 기준값을 조금만 변경하더라도 우박을 좀 더 쉽게 예측할 수 있다는 것과 현업에서 손쉽게 우박을 예측할 수 있는 방법을 제시할 수 있었다는 것이 이번 연구의 가장 큰 성과라고 생각된다.

향후 안정도지수를 이용한 우박 예측의 정확도를 높이기 위해서는 좀 더 많은 우박 사례에 대한 분석이 필요할 것이다. 이를 위해서 더 많은 관측소와 관측장비를 확보해야 하겠고, 또한 우박에 대한 지속적인 관심과 연구가 요구된다. 이번 연구에서는 기상청의 관측자료만 가지고 사례를 분석하였지만 농업진흥청이나 기타 유관기관의 관측자료까지 확보하여 분석했다면 더 좋은 연구 내용들을 얻을 수 있었을 것이라 생각한다. 앞으로도 우박에 대한 연구가 계속 진행되어 다양하고 풍부한 사례의 검증을 통해 우리나라 지형과 기후에 꼭 맞는 안정도지수를 개발한다면 보다 향상된 우박 예측법을 이용하여 점차 증가하는 우박의 피해를 최소화할 수 있으리라 기대해 본다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 참고문헌

고혜영, 정성화, 김경익, 2007 : 우박의 시·공간 특성 분석(2000~2006년), 2007년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, pp. 152~153.

기상청, 2014 : 손에 잡히는 예보기술(통합본), 기상청, pp.24~29, pp.92~97.

기상청 관측관실, 2002 : 지상기상관측지침, 기상청, 123 pp.

김경하, 2004 : 악기상 발생시 대기선도 특성분석, 석사학위논문, 전남대학교, pp. 1~57.

김동호, 임은하, 권원태, 1999 : 우리나라 우박 발생의 시공간 구조, 한국기상학회 1999년 봄 초청강연 및 학술발표회, 제4권, pp. 259~262.

김성삼, 손형진, 1977 : 거대우박의 기록과 1975년의 동래 거대우박, 한국기상학회지, 13-1, pp. 13~22.

김주원, 2001 : 강원도지방 우박 발생 가능성 고찰, 한국기상학회지, 11-3 pp. 460~462.

김현숙, 1993 : 우리나라의 우박현상에 관하여, 석사학위논문, 이화여자대학교, pp. 1~47.

노경숙, 2004 : Sounding 자료를 이용한 뇌우의 발달 및 이동분석, FAS 활용 경진대회, 김포공항 기상대, pp. 1~13.

류찬수, 이종호, 2009 : 레이더기상학, (주)시그마프레스, pp. 118.

문병주, 1997 : 호남지방에서 발생하는 우박현상의 특성, 호남지방예보분석 지침서, 광주지방기상청, 190 pp.

변희룡, 임장호, 임미현, 1996 : 여름철 우박재해의 발생과 연관된 대기순환, 한국기상학회지, 32-2, pp. 189~210.

손태성, 허철운, 이재용, 박정현, 박상미, 2003 : 불안정지수를 이용한 악기상 예보, 대기, 13-3, pp. 276~277.

이춘식, 1993 : 우리나라 우박 통계 자료 및 사례분석, 예보기술, 4-1, pp. 15~23.

이춘식, 2001 : 남한지역의 우박 발생조건, 제1기 예보관 과정 수료논문, 기상청, pp. 123~125.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이춘식, 최운, 박정민, 2002 : 서울지방의 우박발생 선행조건, 한국기상학회지, 12-1, pp. 1~3.

이춘식, 2007 : 한반도 우박 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 조선대학교, 1~90 pp.

이화운, 김유근, 전병일, 1993 : 우박 형성을 고려한 강수 현상의 수치 모의, 한국기상학회지, 29-3, pp. 239~251.

임영미, 2005 : 우박 예보에서의 안정도지수, FAS 분석 세션, 대전지방기상청, pp. 1~34.

임은하, 2000 : 우리나라 우박 발생일의 특성, 한국수자원학회지, 33-2, pp. 229~235.

전병일, 2003 : 부산지역 기단성 뇌우 발생일의 대기안정도지수 특성, 한국환경과학회, 2003년도 봄 학술발표회 발표논문집, 제12권, pp. 170~172.

정관영, 2000 : 초단기 예보론, 기상청 연수교재, pp. 16~61.

조진대, 2005 : 영남지방 우박 특성과 발생 예측에 관한 연구, 석사학위논문, 부경대학교, pp. 1~101.

최승진, 2008 : 악기상(뇌우) 발생 시 악기상 지수 분석, 석사학위논문, 공주대학교, pp. 1~34.

홍성길, 2013 : 기상분석과 일기예보, 교학연구사, pp. 151.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 감사의 글

기상이라는 낯선 분야에 처음 발을 들여 놓기 시작한 이래 벌써 수많은 세월이 흘렀다. 이제 제법 친해질 법도 한데 아직도 기상은 낯선 존재다. 매일 새롭게 다가오는 존재를 조금이나마 알아가고 친숙해지기 위해서 나 또한 매일 변해가며 그 존재를 맞이하고 있다.

빠르게 발전하는 기술의 혜택으로 세계는 점점 가까워지고 있고, 우리가 삶을 영위해 가고 있는 이 땅과 바다에 대해서도 자세히 들여다 볼 수 있게 됐다. 점차 멍들어 가고 피폐해져 가는 지구의 환경은 더 이상 남의 일이 아니다. 환경의 변화로 발생할 수 있는 자연 재해, 물 부족, 식량 부족 등의 문제는 우리의 삶을 뒤흔들 정도로 바짝 다가와 있다.

자신의 행복과 남의 유익을 위해서 살아가는 삶은 분명 헛된 삶이라고 할 수 없을 것이다. 기상을 하는 사람으로 변화하는 환경에 누구보다 더 관심을 가지고 다른 사람들의 행복까지 지켜줄 수 있도록 노력하며 살아간다면 무척이나 의미 있는 삶이 될 것이다.

기상에 대한 커다란 깨우침과 더 넓은 세상으로 길을 열어주신 문태수 선배님. 2년 전 저에게 따뜻한 손을 내밀어 주시지 않으셨다면 오늘의 이 큰 영광은 맞이할 수 없었을 겁니다. 너무나 감사드립니다. 그리고 류찬수 지도교수님. 제가 많은 세월을 살진 않았지만 지금까지 살아오면서 이토록 존경스럽고 올바른 인품을 배우고 싶었던 분은 아마 처음일 겁니다. 마지막까지 부족한 저희를 위해 아낌없이 도와주셔서 정말 감사드립니다. 또 항상 열정적으로 강의를 해주시고 훌륭한 매너로 늘 감동주시는 정효상 교수님과 언제나 밝은 웃음과 너그러움으로 저희를 대해주시는 정병옥 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

멀리 떨어져 생활하는 동안에도 늘 변함없이 내조와 직장일, 가사까지 완벽히 소화해 내는 사랑스런 아내와 개구쟁이지만 속 깊고 늘 가슴 짠하게 만드는 세상 하나뿐인 우리 아들 하율이에게도 너무나 고맙고 미안하고 또 하늘만큼 땅만큼 사랑한다는 말을 하고 싶습니다. 그리고 이 모든 영광은 늘 함께하시며 우리를 지켜주시고 구원해 주시는 하나님께 드립니다.



Collection @ chosun