



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](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

한국의 여름과 겨울 기온극점의  
시공간분포



2011년 8월

부경대학교 대학원

환경 대기 과학 과

이 보 라

이 학 석 사 학 위 논 문

한국의 여름과 겨울 기온극점의  
시공간분포

지도교수 변희룡

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함.

2011년 8월

부경대학교 대학원

환경 대기 과학과

이 보 라

이보라의 이학석사 학위논문을 인준함.

2011년 8월 26일



주 심 이학박사 김 재 진 (인)

위 원 이학박사 오 재 호 (인)

위 원 이학박사 변 희 룡 (인)

# CONTENTS

<b>Contents</b> .....	i
<b>List of Figures</b> .....	ii
<b>List of Tables</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	v
<b>1. Introduction</b> .....	1
<b>2. Data and Definitions</b> .....	4
2.1 Temperature Data .....	4
2.2 Definitions of Seasonal Peaks .....	6
<b>3. Spatial Distributions of Seasonal Peaks</b> .....	10
3.1 Seasonal Peaks Day .....	10
3.2 Seasonal Peaks Temperature .....	13
3.3 Characteristics of Spatial Distributions .....	14
<b>4. Variability of Seasonal Peaks</b> .....	16
4.1 Extreme Events of Seasonal Peaks .....	16
4.2 EOF analysis .....	18
<b>5. Long-term Trends in Seasonal Peaks</b> .....	23
5.1 Spatial Distribution of Trends for 35 years (1974–2008) .....	23
5.2 Trends for 56 years (1953–2008) and 100 years (1909–2008) .....	26
<b>6. Conclusions and Discussion</b> .....	30
<b>REFERENCES</b> .....	33

# List of Figures

**Fig. 1.** 61 Weather stations over Korea. Shaded contours denote topography (m). ..... 5

**Fig. 2.** Time series of daily mean temperature (fluctuating) and filtered temperature (smoothed) using the 90-days low-pass FT filter in Seoul from March 1, 2005 to February 28, 2008. Black dots denote summer peaks and white ones, winter peaks. .... 8

**Fig. 3.** Interannual variations in (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT defined by raw temperature time series (black dots and solid line) and filtered temperature time series (white dots and dotted line) in Seoul from 1974 to 2008. .... 9

**Fig. 4.** Spatial distributions of average (1974–2008) (a) SPD and (b) WPD. Unit: day. .... 12

**Fig. 5.** Same as Fig. 4, but for (a) SPT and (b) WPT. Unit: °C. .... 12

**Fig. 6.** Box plots of average (1974–2008) (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT in 61 stations. Box plots show 10%, 25%, median (solid line in the box),

mean (dotted line in the box), 75%, 90% and outliers (extreme value). ..... 15

**Fig. 7.** Interannual variations in box plots of (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT in 61 stations from 1974 to 2008. Box plots show 10%, 25%, median (solid line in the box), mean (dotted line in the box), 75%, 90%, and outliers (extreme value). The solid lines are linear trends in average seasonal peaks for 35 years. .... 17

**Fig. 8.** Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of (a) SPD and (b) WPD during 35 years over Korea. Dashed lines are trends. Gray shaded areas denote negative values and white ones, positive values. .... 21

**Fig. 9.** Same as Fig. 8, but for (a) SPT and (b) WPT. .... 22

**Fig. 10.** Spatial distributions of linear trends in (a) SPD and (b) WPD at 61 stations from 1974 to 2008. Squares indicate stations with trends significant at the 90% confidence level. Unit: days/year. .... 25

**Fig. 11.** Same as Fig. 9, but for (a) SPT and (b) WPT. Unit: °C/year. .... 25

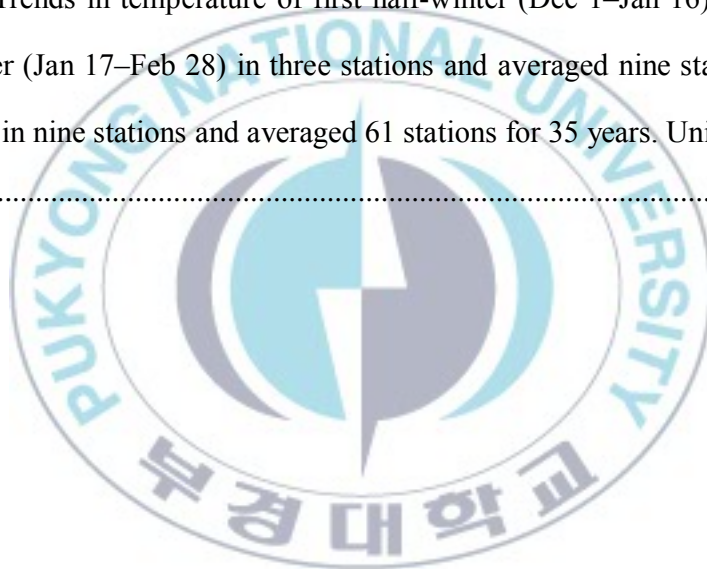
## List of Tables

**Table 1.** Trends in seasonal peaks from 1953 to 2008 at nine stations. .... 28

**Table 2.** Trends in seasonal peaks from 1909 to 2008 at five stations. .... 28

**Table 3.** Trends in temperature of first half-winter (Dec 1–Jan 16) and second half-winter (Jan 17–Feb 28) in three stations and averaged nine stations for 56 years and in nine stations and averaged 61 stations for 35 years. Unit: °C/year.

..... 29





# Spatiotemporal Distributions of Thermal Peaks in Summer and Winter over Korea

Bo-Ra Lee

Department of Environmental Atmospheric Sciences, Graduate School,

Pukyong National University

## Abstract

This study investigated the spatial distributions and long-term trends of the annual highest and lowest temperature points (summer peak temperature, SPT; and winter peak temperature, WPT) and their timings (summer peak day, SPD; and winter peak day, WPD) in Korea.

The two peaks were determined by selecting the highest and lowest points after removing temperature variations under a seasonal scale (90 days) in the time series of daily mean temperatures. For the long-term trend, all the available temperature data of each station were used. We examined data for 100 years (1909–2008) for five stations; data for 56 years (1953–2008) for nine stations; and data for 35 years (1974–2008) for 61 stations.

The SPD in Korea is August 4 on average. It is the earliest (July 31) in the central inland region (Chuncheon, Hongcheon, and Wonju), the central hilly sections (Daegwallyeong),

and the southern inland region (Gumi), and the latest (August 10) in the southern coastal region (Busan, Tongyeong, and, Yeosu) and Jeju island (Seogwipo). In Korea, the WPD is January 16 on average. It is the earliest (January 13) in the central inland region (Echeon), and the latest (January 24) in Jeju island (Jeju) and Ulleungdo. SPT and WPT are the highest in Jeju island (Seogwipo) (27.3°C and 6.4°C, respectively) and the lowest in the central hilly sections (Daegwallyeong) (20.2°C and -7.9°C, respectively).

The interannual variations of WPD and WPT were greater than those of SPD and SPT. SPD did not exhibit clear change in all the analysis periods and stations except for Wando for 35 years. WPD arrived earlier at seven stations for 35 years and at three stations for 56 years. WPT exhibited warming trend at 56 stations for 35 years and at all stations for 56 years and 100 years. SPT did not exhibit warming trend in all the analysis periods and stations except for Seogwipo for 35 years. There were even stations (Chupungnyeong, Mungyeong) that exhibited a falling trend.

Key words: Summer peak, Winter peak, Peak Temperature

## 1. Introduction

IPCC 4차 보고서에 의하면 전 지구 평균적인 기온은 상승하고 있으며, 최근 50년 간 기온 증가 추세 ( $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ ) 는 지난 100년 간 기온 증가 추세 ( $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ ) 보다 크다. 한국에서도 유사한 온난화 추세가 나타났다는 연구결과가 있었다. 지난 100년 간 한국에서 가장 긴 기온 자료가 존재하는 인천의 기온 증가량은 약  $1.5^{\circ}\text{C}$ 로 추정되었다는 연구 (Youn et al., 2004), 지난 40년 간 12개 관측소의 평균 기온 증가량은 약  $0.6^{\circ}\text{C}$ 로 추정되었다는 연구 (Kim et al., 1999) 등이 이에 해당한다. 이와 같이 한국의 기온 상승에 관하여 쏟아진 관심은 계절의 시작과 종료가 달라지는 문제까지 확장되었다. 이에 따라 여름의 시작은 일러지고 종료는 늦어짐에 따라 여름기간이 증가하고 겨울기간이 감소하였다는 연구 (Choi and Kwon, 2001; Choi et al., 2006; Gu and Kim, 2007; Kwon et al., 2007; Kwon et al., 2008), 겨울철 서울의 기온 상승은 최고기온보다 최저기온에서 더 뚜렷하게 나타나며 겨울에서 봄으로의 전이 시기가 20세기 초에 비해 약 25일정도 일러졌다는 연구 등이 나왔다 (Yoo and Kang, 2002).

한편 온난화가 계속 진행된다면, 계절의 전이가 어떻게 될 것인지에 관한 연구도 있었다. 그 결과에 의하면 2090년에는 봄 시작이 1월 중순 (남부지방), 여름 시작이 4월말 (대구) 이 될 것이며, 가을 시작이 10월

중순 (전국) 이 되고 겨울은 존재하지 않을 것 (남해안과 동해안) 으로 전망했다 (Kwon et al., 2007). 이와 같이 한국에서 기온 변화와 연관되어 계절이 전이되는 시기에 대한 연구는 많이 행해진 바 있다. 그러나 앞선 연구들 못지 않게 중요한 기후요소인 여름과 겨울의 중심 즉, 1년의 기온 최고점과 기온 최저점이 나타나는 시기와 그 때의 기온에 대한 연구는 극히 소수이다.

따라서 본 연구에서는 한국의 각 관측소에서 나타나는 연 중 기온 최고점과 기온 최저점의 발생시기와 그 때의 기온을 조사하고자 한다. 그리고 그 요소들이 가지는 시공간적 특성과 장기 추세를 분석하고자 한다.

국내의 경우, 이 점에 관심을 보인 연구로는 Lee (1969) 의 연구가 있다. 그에 따르면 한국의 summer peak는 북부 산지와 중부 내륙에서 일찍, 남부 지역에서 늦게 나타난다. 구체적으로, 남한만 고려한다면 summer peak는 강원도 양구에서 가장 일찍 (7월 20일), 제주에서 가장 늦게 (8월 2일) 나타난다고 하였다. 그러나, 이 연구에서는 그 peak가 해마다 일러지는지, 혹은 늦어지는지에 대하여 고려하지 않았으며 peak의 기온이 어디가 가장 높고 가장 낮은지에 관하여도 고려하지 않았다.

Summer Peak와 Winter Peak의 연도별 변화에 관한 연구는 외국에서 소수 발견된다 (Thomson, 1995; Mann and Park, 1996; Wallace and Osborn,

2002; Tesouro et al., 2005; Stine et al., 2009). 그들은 일 평균 또는 월 평균된 기온 값을 조화함수로 나타내어 위상의 변화 경향을 살펴보았다. 그 결과 54년 간 (1954–2007) 적도지방을 제외한 전 지구의 summer peak와 winter peak는 육지에서 1.7일 일러졌으며 해양에서 1.0일 늦어졌음이 밝혀졌다 (Stine et al., 2009). 또, Central England 지역의 summer peak와 winter peak는 1950년 이후 늦어지는 추세임도 밝혀졌다 (Thomson, 1995).

Peak가 추세를 가지는 원인에 대한 주장이 상반되고 있다. summer peak와 winter peak의 연도별 변화 추세는 대기 중 온실기체의 농도 증가가 그 원인이라는 주장 (Thomson, 1995) 이 있다. 이에 반하여, 북반구 평균 기온에서는 peak들이 일러지는 추세를 보였지만 이산화탄소 농도 증가 시나리오 실험에서 모의한 기후모델 결과에서는 peak들이 느려지는 추세가 나타나니, 이를 주 원인으로 단정할 수 없다는 주장 (Mann and Park, 1996; Wallace and Osborn, 2002) 도 있다. 한편, 온실효과 외에도 NAO, ENSO와 같은 대기 변동 모드 또한 peak들의 연도별 변화에 상당한 영향을 끼친다는 주장 (Tesouro et al., 2005) 도 있다.

## 2. Data and Definitions

### 2.1 Temperature Data

한국 내 여러 기상관측소 중에서 1909년 1월부터 2009년 2월까지는 5개 지점, 1953년 1월부터 2009년 2월까지는 9개 지점, 1974년 1월부터 2009년 2월까지는 61개 지점의 일 평균 기온 자료가 가용하다 (Fig. 1). 이 중 한국전쟁으로 인해, 서울에서는 1950년 9월부터 1953년 11월까지, 인천에서는 1950년 6월부터 1951년 9월까지의 기온 자료가 결측되었다.



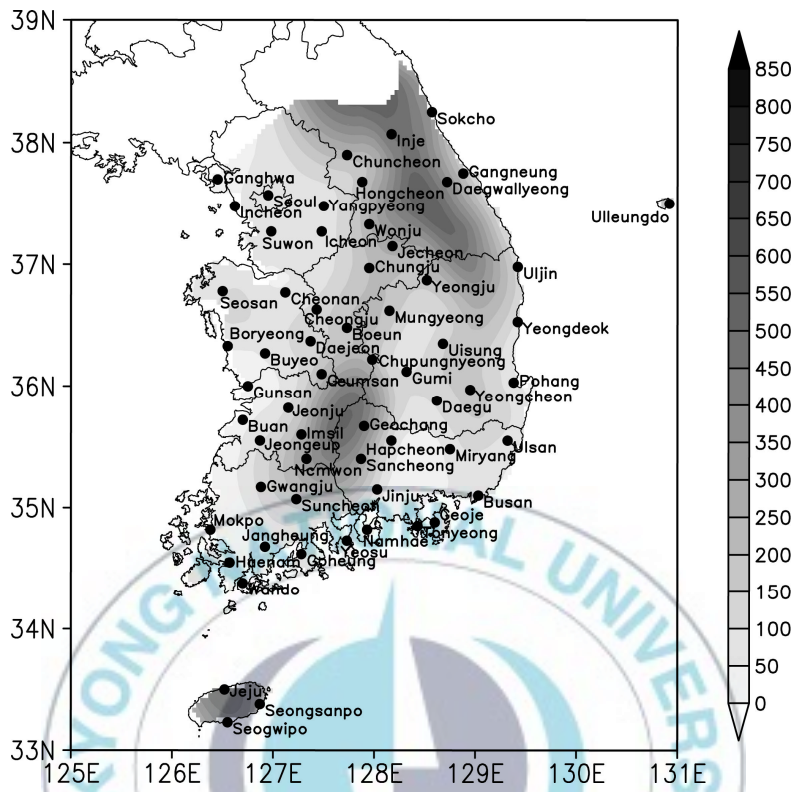


Fig. 1. 61 Weather stations over Korea. Shaded contours denote topography (m).

## 2.2 Definitions of Seasonal Peaks

Summer peak와 winter peak는 일 평균 기온시계열에 Fourier Transform (FT) low-pass filter를 적용하여 정의되었다. 한국에서 기온 변동은 1년 주기의 성분이 가장 뚜렷하나, 그 외에도 여러 주기의 성분이 존재한다. 본 연구는 여름과 겨울의 중심에 초점을 맞춘 연구이므로 계절 규모 (90일) 이하의 기온 변동 성분을 제거한 후 연중 기온 최고점과 기온 최저점을 결정하였다. low-pass filtering 방법은 기온 최고점과 기온 최저점이 특정일의 열파나 한파에 의한 일시적 기온 상승, 하강으로 인해 오염되는 것을 최대한 방지한다. 따라서 이 방법은 기온의 주기 분석이나 일시적 경향을 무시하고 장기 변화만을 분석하기 위해 기상학 논문에서 많이 사용되어 왔다 (e.g., Trenberth, 1990; Luterbacher et al., 2004; Cook et al., 2004; Büntgen et al., 2006; Kwon et al., 2007).

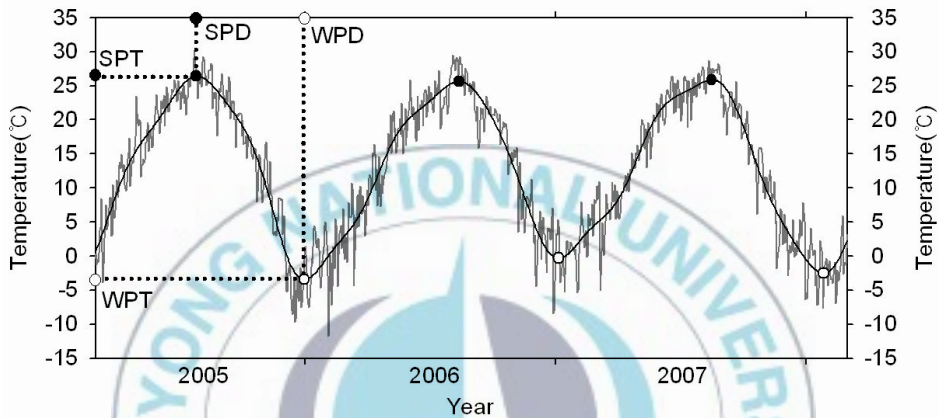
필터된 시계열을 이용하여 seasonal peaks를 정의하는 예시를 Fig. 2에 제시하였다. 필터된 시계열에서 연중 최고점이 나타난 날을 Summer Peak Day (hereafter, SPD) 라 칭하고 연중 최저점이 나타난 날을 Winter Peak Day (hereafter, WPD) 라 칭한다. SPD의 기온을 Summer Peak Temperature (hereafter, SPT), WPD의 기온을 Winter Peak Temperature (hereafter, WPT) 라 칭한다. SPD와 WPD를 seasonal peaks day, SPT와 WPT를 seasonal peaks temperature라 칭한다. 그리고 이 모두를 seasonal peaks라 칭한다. 예시에서 나타난 SPD (SPT) 는 2005년 7월 26일 (26.4°C), 2006년 8월



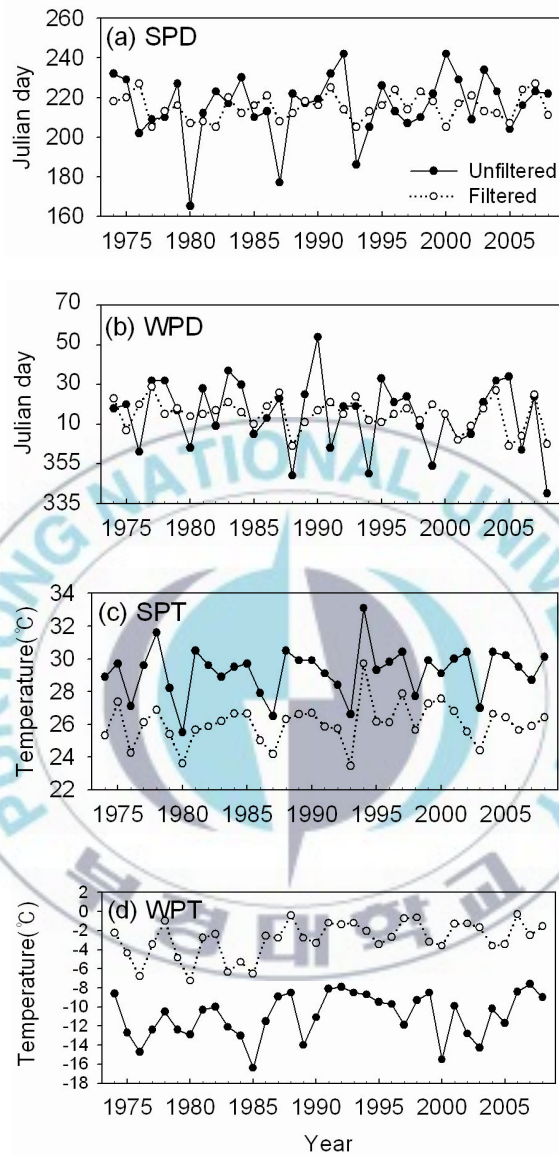
12일 (25.6°C), 2007년 8월 15일 (25.9°C) 이며 WPD (WPT) 는 2005년 12월 30일 (-3.4°C), 2007년 1월 4일 (-0.3°C), 2008년 1월 25일 (-2.5°C) 이다 (Fig. 2). 겨울의 경우 peak가 12월 또는 다음 해인 1월, 2월에 나타나는데, 같은 계절이라도 연도가 달라지므로 약간의 주의를 요한다.

Figure 3에서 우리는 서울지역의 raw temperature time series와 filtered temperature time series를 이용하여 정의한 seasonal peaks를 연도별로 비교하였다. 두 종류의 seasonal peaks day는 여름과 겨울 모두에서 서로 유사한 경년 변동을 보이거나, unfiltered seasonal peaks day에서는 매우 이례적인 값들이 자주 나타난다 (Fig. 3a and b). 두 종류의 day의 차가 30일 이상이 나는 사례도 있었다. 여름에서는 1982년 (-42일), 1987년 (-31일), 2000년 (+37일), 겨울에서는 1990년 (+37일), 1999년 (-31일), 2005년 (+35일) 이 이에 해당되는 사례이다. 여기서, (-)는 unfiltered seasonal peaks day가 filtered seasonal peaks day보다 일찍 나타난 것을 뜻한다. unfiltered seasonal peaks day는 다음과 같은 경우에 이례적인 값들을 가진다: 1) 여름철 동안 비이상적으로 기온이 상승하지 않아 기온의 피크가 뚜렷하지 않는 경우. 2) 초겨울 또는 늦겨울에 발생한 한파로 인해 일시적으로 기온이 급격히 하강하는 경우. 하지만 Filtering 기법을 적용하면, 불분명한 피크를 찾을 수 있을 뿐만 아니라 일시적 기온 상승, 하강의 영향을 배제시킬 수 있다. Seasonal peaks temperature도 filter의 적용 여부에 따라 큰 차이를 보인다 (Fig. 3c and d). filtered SPT의 35년

평균이 unfiltered SPT의 그것보다  $3.1^{\circ}\text{C}$  낮고, filtered WPT의 35년 평균은 unfiltered WPT의 그것보다  $8.0^{\circ}\text{C}$  높다.



**Fig. 2.** Time series of daily mean temperature (fluctuating) and filtered temperature (smoothed) using the 90-days low-pass FT filter in Seoul from March 1, 2005 to February 28, 2008. Black dots denote summer peaks and white ones, winter peaks.



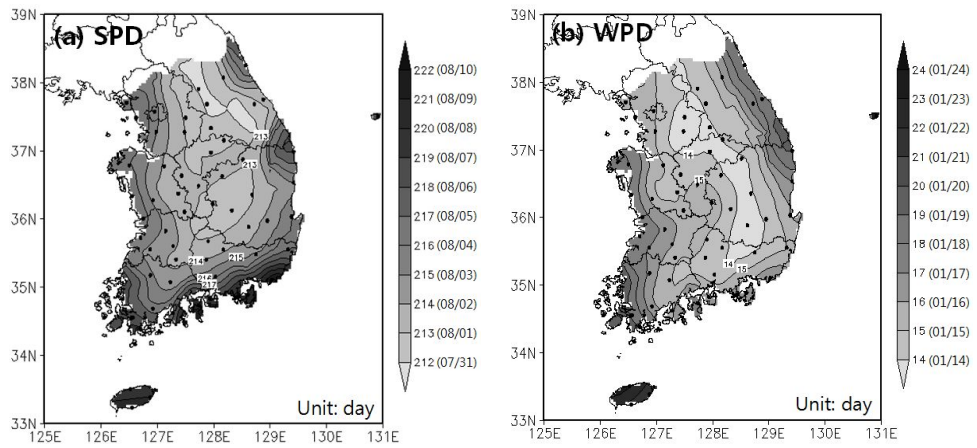
**Fig. 3.** Interannual variations in (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT defined by raw temperature time series (black dots and solid line) and filtered temperature time series (white dots and dotted line) in Seoul from 1974 to 2008.

### 3. Spatial Distributions of Seasonal Peaks

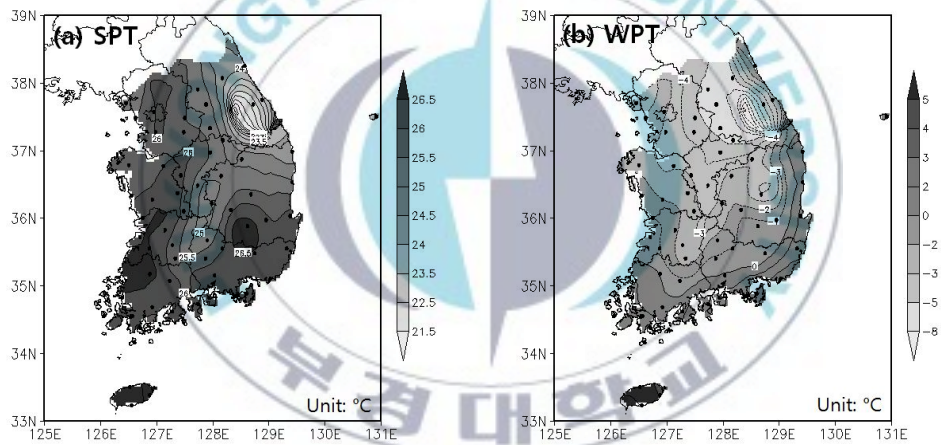
#### 3.1 Seasonal Peaks Day

Figure 4는 35년 (1974–2008) 평균 Seasonal peaks day의 공간분포 (61개 지점) 를 보여준다. SPD는 내륙에서 이르고 해안으로 갈수록 늦다 (Fig. 4a). 이는 내륙과 해양의 비열 차로 인해 내륙이 해양보다 더 빨리 더워지기 때문이다. 가장 빠른 SPD (7월 31일) 는 중부 내륙에 위치한 춘천, 홍천, 원주, 중부 고지대인 대관령, 남부 내륙에 위치한 구미에서 나타난다. 즉, 중부와 남부내륙을 중심으로 SPD가 이른 지점이 나타난다. 한편, 가장 늦은 SPD (8월 10일) 는 남해안에 위치한 부산, 통영, 여수와 제주도에 위치한 서귀포에서 나타난다. 해안에서는, 서해안보다 동해안 일부와 남해안에 위치한 지점의 SPD가 조금 더 느리다. 이는 서해안보다 동해안과 남해안이 한국의 북서쪽에 위치한 아시아 대륙의 영향을 덜 받기 때문으로 추측된다. WPD도 내륙에서 이르고 해안으로 갈수록 늦으나 여름과는 다소 차이가 있다 (Fig. 4b). Peak가 빨리 나타나는 내륙의 중심이 여름에는 중부와 남부 내륙에서 나타나지만 겨울에는 중부와 남부 내륙을 포함하여 남부 해안에 근접한 지역에서 나타난다. 다시 말해서, 동해안과 서해안을 제외하고 중부내륙에 위치한 지점에서부터 남해안에 근접한 지점까지 WPD가 이른다. 가장 빠른

WPD (1월 13일) 는 중부 내륙에 위치한 이천이다. 그 다음으로 빠른 WPD (1월 14일) 는 춘천, 홍천, 양평, 원주, 제천, 충주, 영주, 문경, 의성, 구미, 영천, 대구, 합천, 밀양, 진주에서 나타난다. 남해안과 가까운 진주가 특이하게도 WPD가 이른다. 진주의 WPD는 비슷한 위도 대에 있지만 서해안에 위치한 목포의 WPD보다 6일 빠르다. 겨울의 주 풍향은 북서풍과 북동풍 사이이다. 겨울의 주 풍향의 바람받이인 동해안과 서해안에 위치한 지점은 해양을 통과하는 바람의 영향을 많이 받기 때문에 WPD가 느린 것으로 보인다. 이에 반해, 남해안에 근접한 지점은 한반도 내륙을 통과하는 북풍 계열의 바람의 영향을 많이 받기 때문에 WPD가 빠른 것으로 보인다. 반면, 가장 늦은 WPD (1월 24일) 는 도서지역인 제주와 울릉도이다.



**Fig. 4.** Spatial distributions of average (1974–2008) (a) SPD and (b) WPD. Unit: day.



**Fig. 5.** Same as Fig. 4, but for (a) SPT and (b) WPT. Unit: °C.

### 3.2 Seasonal Peaks Temperature

Figure 5는 35년 (1974–2008) 평균 seasonal peaks temperature의 공간분포 (61개 지점) 를 보여준다. seasonal peaks temperature의 공간분포 특성은 다음과 같이 네 가지로 요약된다. 첫째, SPT와 WPT는 해발고도가 높을수록 낮다. Seasonal peaks temperature는 태백산맥 고지대를 중심으로, 그리고 태백산맥에서 갈라져 남서방향으로 뻗어 내려오는 소백산맥을 중심으로 낮은 값을 보인다. 61개의 AWS 관측 지점 중 가장 높은 곳에 위치한 대관령 (해발 772m) 은 SPT ( $20.2^{\circ}\text{C}$ ) 와 WPT ( $-7.9^{\circ}\text{C}$ ) 가 가장 낮다. 둘째, SPT와 WPT는 저위도 일수록 높다. 이러한 특징은 SPT보다 WPT의 공간분포에서 더 뚜렷하다. 61개의 AWS 관측 지점 중 위도상 가장 남쪽 ( $33^{\circ}23'$ ) 에 위치한 서귀포는 SPT ( $27.3^{\circ}\text{C}$ ) 와 WPT ( $6.4^{\circ}\text{C}$ ) 가 가장 높다. 셋째, SPT는 저위도 내륙에 위치한 대구와 광주를 중심으로 높은 값을 보인다. 넷째, WPT는 바다에 가까울수록 높다. 이러한 특징은 남해안과 동해안 일부에서 두드러진다. 동해안에 위치한 해안지역이 비슷한 위도 대에 위치한 내륙지역보다 높은 WPT를 보인다.

### 3.3 Characteristics of Spatial Distributions

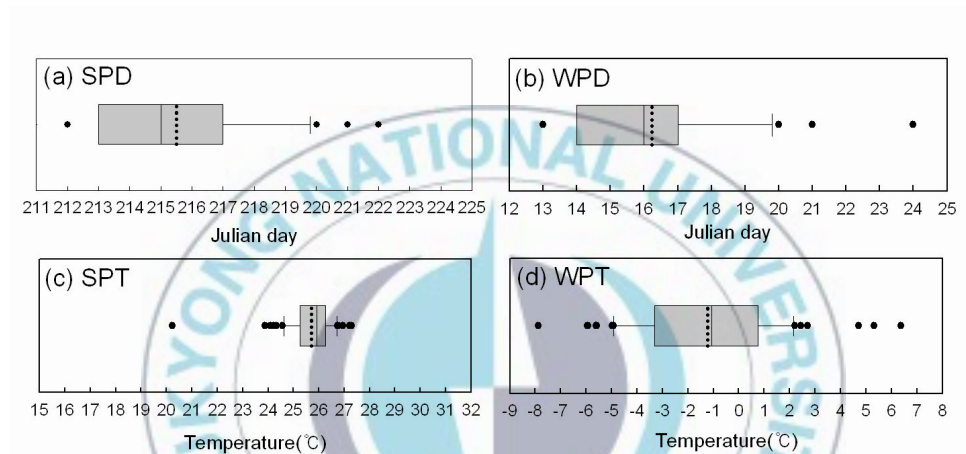
Figure 6은 61개 지점의 35년 평균 seasonal peaks를 박스플롯으로 나타낸 것이다. 박스플롯에서 상자의 왼쪽 경계는 61개 값의 25th percentile (first quartile), 오른쪽 경계는 75th percentile (third quartile) 을 의미한다. 상자 내의 실선은 중앙값 (second quartile) 을, 점선은 평균값을 의미한다. 상자로부터 나온 수직선의 왼쪽 경계는 61개 값의 10th percentile, 오른쪽의 경계는 90th percentile을 의미한다. 상자 외에 분포한 점들은 outlier를 의미한다. third quartile와 first quartile의 차를 InterQuartile Range (IQR) 라고 한다. IQR은 61개 값 중 가운데 부분에 위치한 50%의 범위로, 자료의 산포 정도를 측정한다.

한국의 summer peak가 평균적으로 나타나는 시기는 8월 4일이고 winter peak가 평균적으로 나타나는 시기는 1월 16일이다 (Fig. 6a and b). 35년 평균 SPD의 범위는 10일 (최소 7월 31일에서 최대 8월 10일까지) 이고 35년 평균 WPD의 범위는 11일 (최소 1월 13일에서 최대 1월 24일까지) 로 winter peak에서 더 크다. 하지만 35년 평균 SPD의 IQR은 4일 (8월 1일에서 8월 5일) 이고 35년 평균 WPD의 IQR은 3일 (1월 14일에서 1월 17일) 로 summer peak에서 더 크다. 즉, 35년 평균 SPD는 WPD보다 범위는 작으나 IQR은 더 크다.

한국의 summer peak의 평균 기온은 25.7°C이고 winter peak의 평균 기온은 -1.2°C이다 (Fig. 6c and d). 35년 평균 SPT의 범위는 7.1°C (최소



20.2°C에서 최대 27.3°C까지) 이고 35년 평균 WPT의 범위는 14.3°C (최소 -7.9°C에서 최대 6.4°C까지) 로 winter peak에서 현저히 더 크다. 35년 평균 WPT의 IQR (4.1°C) 은 SPT의 IQR (1.1°C) 보다 더 크다. 즉, 35년 평균 WPT는 SPT보다 범위도 크고 IQR도 크다.



**Fig. 6.** Box plots of average (1974–2008) (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT in 61 stations. Box plots show 10%, 25%, median (solid line in the box), mean (dotted line in the box), 75%, 90% and outliers (extreme value).

## 4. Variability of Seasonal Peaks

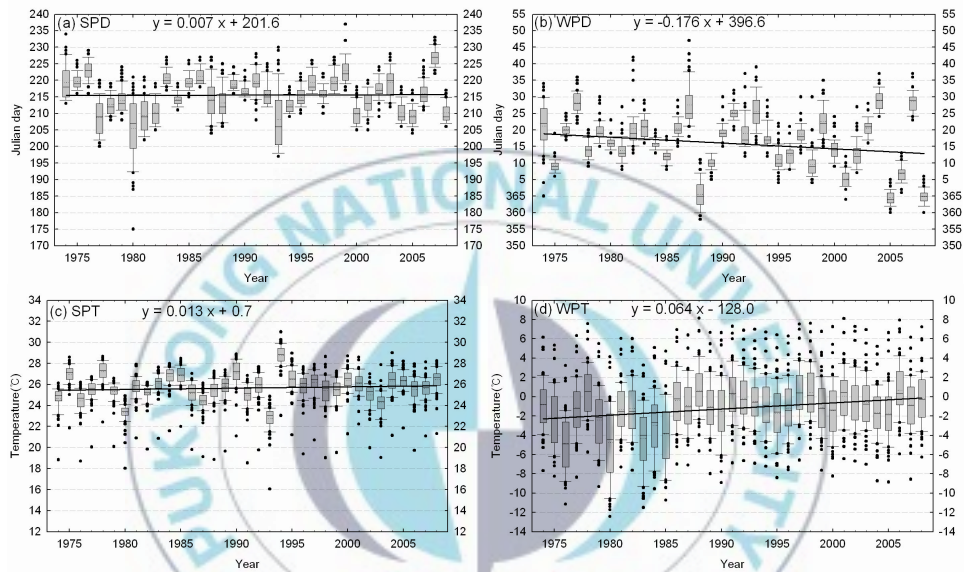
### 4.1 Extreme Events of Seasonal Peaks

61개 지점의 seasonal peaks의 박스플롯을 연도별로 나타내었다 (Fig. 7). 61개 지점 평균된 seasonal peaks의 표준편차는 SPD가 5.0일, WPD가 8.0일이며 SPT가 1.1°C, WPT가 1.5°C이다. 즉, WPD와 WPT의 경년 변동성은 SPD와 SPT의 경년 변동성보다 크게 나타났다. 겨울철 한국은 시베리아 고기압의 영향을 받고 이 고기압의 주기적인 확장에 의해 한파가 발생한다. 이 때문에 겨울철 한국은 기온 변동이 심하고 남북 온도 경도 또한 크다 (Zhang et al., 1996).

35년 간 SPD가 가장 빨리 발생한 날은 1980년 6월 24일 (강릉) 로 평균 발생일 보다 41일 이르고, 가장 늦게 발생한 날은 1999년 8월 25일 (서귀포와 성산포) 로 평균 발생일 보다 21일 늦다 (Fig. 7a). 한편, 35년 간 WPD가 가장 빨리 발생한 날은 1988년 12월 24일 (밀양, 진주) 로 평균 발생일 보다 24일 이르고, 가장 늦게 발생한 날은 1988년 2월 16일 (울릉도) 로 평균 발생일 보다 30일 늦다 (Fig. 7b).

35년 간 SPT가 최대값은 31.0°C로 1994년 7월 31일 (대구) 에 나타나 평균 기온보다 5.4°C 높고, 최소값은 16.1°C로 1993년 7월 20일 (대관령) 에 나타나 평균 기온보다 9.5°C 낮다 (Fig. 7c). 한편, 35년 간

WPT가 최대값은 8.1°C로 1989년 1월 5일 (서귀포) 에 나타나 평균 기온보다 9.2°C 높고, 최소값은 -11.7°C로 1981년 1월 15일 (대관령) 에 나타나 평균 기온보다 10.6°C 낮다 (Fig. 7d).



**Fig. 7.** Interannual variations in box plots of (a) SPD, (b) WPD, (c) SPT, and (d) WPT in 61 stations from 1974 to 2008. Box plots show 10%, 25%, median (solid line in the box), mean (dotted line in the box), 75%, 90%, and outliers (extreme value). The solid lines are linear trends in average seasonal peaks for 35 years.

## 4.2 EOF analysis

35년 간 (1974–2008) 61개 지점의 Seasonal peaks에 대한 경험적 직교함수 (Empirical orthogonal function, 이후, EOF라 함) 분석을 실행함으로써 시공간변동성을 좀 더 자세히 살펴보았다 (Fig. 8a, 8b, 9a and 9b). 지역적 차이를 더욱 뚜렷하게 보기 위해 한반도 전체가 같은 양상으로 변동하는 모드는 분석에서 제외되었다.

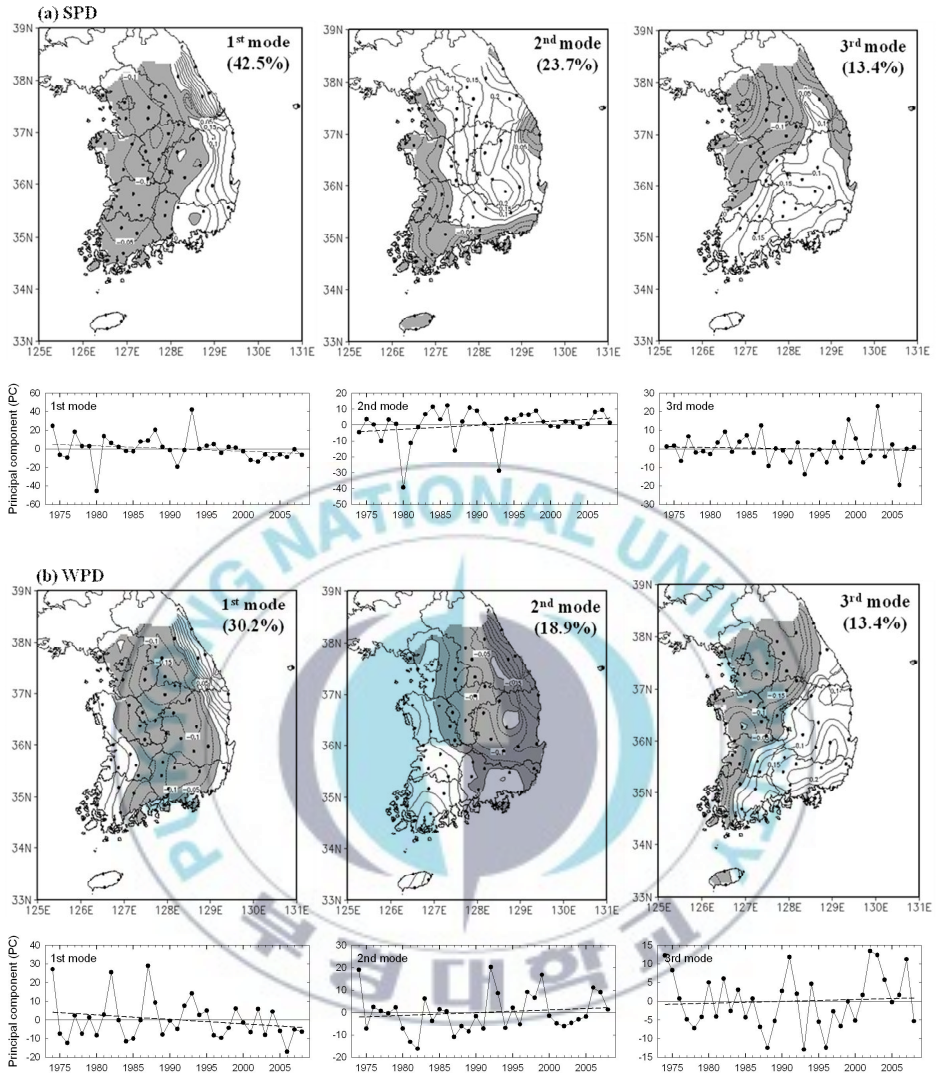
Figure 8a는 SPD의 EOF 분석 결과이다. 제 1모드 (42.5%)의 공간변동성은 태백산맥을 경계로 동서 변동 모드이다. 이 모드는 동서류에 의한 편현상과 관계될 것으로 추측된다. 여름철 한반도에 동풍 또는 서풍이 불게 되면 편현상이 나타나 영동과 영서지방 간의 기온 차를 크게 함으로써 (Lee, 2003), SPD의 공간변동성이 동서 형태로 나타날 가능성이 있다. 제 2모드의 (23.7%) 공간변동성은 내륙지역과 해안지역이 서로 다른 부호를 나타내는데, 이는 SPD의 평균 공간분포와 유사하다. 앞서 설명했듯이 여름철에 내륙이 빨리 더워지고 해안이 늦게 더워지기 때문이다. 제 3모드의 (23.7%) 공간변동성은 태백산맥의 고지대를 일부 포함한 남부지방은 양의 값, 그 외 지역은 음의 값을 보인다. 이는 여름철 탁월풍인 남풍과 관계될 것으로 추측된다. 시간 변동성에서는 주성분의 감소나 증가 추세가 나타내지 않는다. Figure 8b는 WPD의 EOF 분석 결과이다. 제 1모드 (30.2%)의 공간변동성은 동해안과 서해안을 제외한 모든 지역에서는 음의 값을 보인다. 이 모드는 WPD의 평균

공간분포와 일치한다. 제 2 모드 (18.9%) 의 공간변동성은 서해안과 전라도를 제외한 모든 지역에서 음의 값을, 제 3 모드 (13.4%) 의 공간변동성은 태백산맥과 소맥산맥을 기준으로 하여 북서쪽에서 음의 값을 보인다. 제 1모드는 북풍의 영향을, 제 2모드는 북동풍의 영향을, 제 3모드는 북서풍의 영향을 받는 것으로 추측되나 이에 대해서는 추가 분석이 필요하다. 시간 변동에서는 제 1모드의 주성분이 감소하는 추세를 보인다.

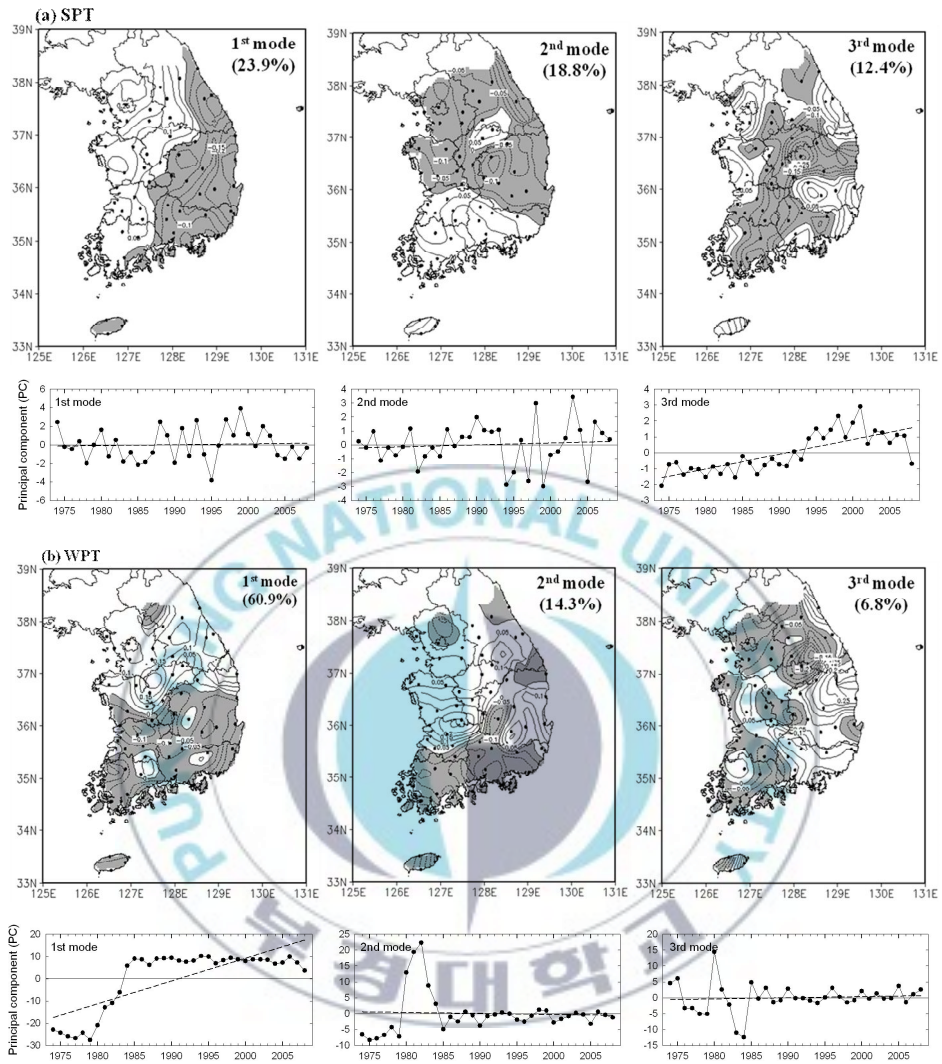
figure 9a는 SPT의 EOF 분석 결과이다. 제 1모드 (23.9%) 의 공간변동성은 태백산맥과 소맥산맥을 경계로 하여 북서쪽은 양의 값을, 남동쪽은 음의 값을 보인다. 제 2모드 (18.8%) 공간변동성은 남북 변동 모드이다. 제 3모드 (12.4%) 의 공간변동성은 태백산맥과 소맥산맥을 따라 음의 값을 보이고 나머지 지역에서는 양의 값을 보인다. 이와 같은 모드는 도시화와 관련된 것으로 보인다. 이는 양을 값을 보인 대부분의 지역 (서울, 동해, 보령, 대구, 포항, 울산, 목포 등) 이 도시화가 많이 진행된 지역이기 때문이다. 제 3모드의 시간변동성에서 주성분이 증가하는 추세를 보인다. 1990년대 중반을 기준으로 이전에는 음의 값을, 이후에는 양의 값을 보였다 (2008년 제외). 이러한 추세는 1990년대 이후 도시화가 빠르게 진행된 것과 일치한다 (Oh et al., 2004). figure 9b는 WPT의 EOF 분석 결과이다. 제 1모드 (60.9%) 의 공간변동성은 남북 변동 모드이다. 이 모드는 SPT의 남북 변동모드보다 훨씬 뚜렷하게

나타났고 변동을 설명하는 비율 또한 높다. 제 1모드의 시간변동성은 특이하게 나타난다. 1979년부터 1984년까지 주성분이 급격히 증가한 후 양의 값을 유지하였다.





**Fig. 8.** Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of (a) SPD and (b) WPD during 35 years over Korea. Dashed lines are trends. Gray shaded areas denote negative value and white ones, positive value.



**Fig. 9.** Same as Fig. 8, but for (a) SPT and (b) WPT.



## 5. Long-term Trends in Seasonal Peaks

### 5.1 Spatial Distribution of Trends for 35 years (1974–2008)

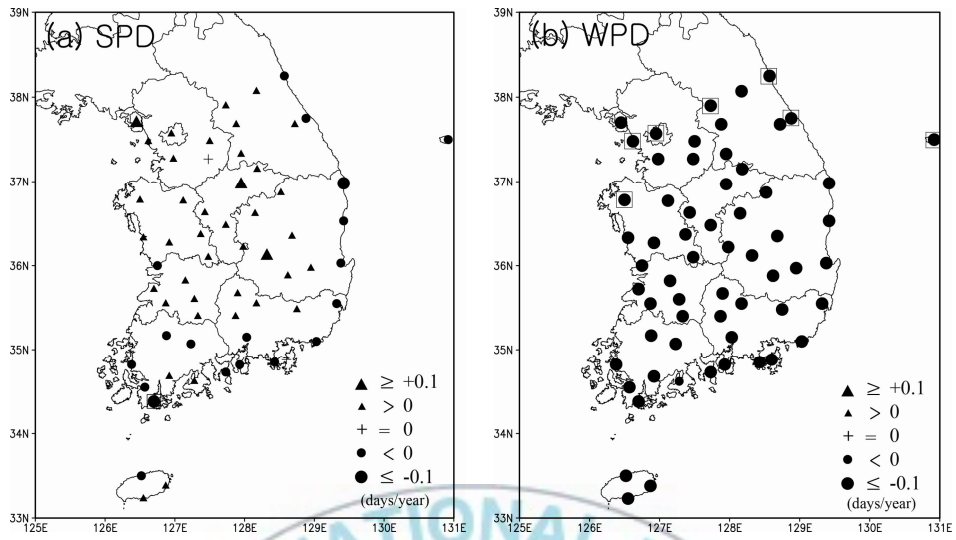
Figure 7의 굵은 실선은 61개 지점 평균된 seasonal peaks의 35년 간 선형 추세이다. SPD의 선형 추세는  $0.007 \text{ days/year}$ 이고 WPD의 선형 추세는  $-0.176 \text{ days/year}$ 이다 (Fig. 7a and b). 하지만 두 추세 모두 90% 이상의 신뢰수준에서 유의하지 않다. 즉, 35년 간 한국의 평균 SPD와 WPD가 일러지거나 늦어지는 경향이 나타나지 않았다. SPT의 선형 추세는  $0.013 \text{ }^\circ\text{C/year}$ 이고 WPT의 선형 추세는  $0.064 \text{ }^\circ\text{C/year}$ 이다 (Fig. 7c and d). 그 중 WPT의 선형 추세만 통계적으로 유의하다. 즉, 기온이 상승하는 경향이 겨울에서만 확인된 것이다.

Figure 10은 SPD와 WPD의 35년 간 선형 추세의 공간분포 (61개 지점) 이다. SPD의 선형 추세는 과반수 이상의 지점에서 양의 값을 보인다 (양: 39개, 음: 20개, 0: 2개) (Fig. 10a). 가장 큰 양의 추세는  $0.141 \text{ days/year}$ 로 강화에서 나타났지만 통계적으로 유의하지는 않다. 남해안과 동해안에 위치한 지점들은 통계적으로 유의하지 않지만 음의 추세를 보이는 경향이 있다. 가장 큰 음의 추세는  $-0.148 \text{ days/year}$ 로 완도에서 나타났으며 이 추세는 61개 지점 중 유일하게 통계적으로 유의하다. WPD의 선형 추세는 음의 값과 양의 값이 불규칙적으로 나타났던 SPD의 선형 추세와는 달리 모든 지점에서 음의 값을 보인다 (Fig 10b).

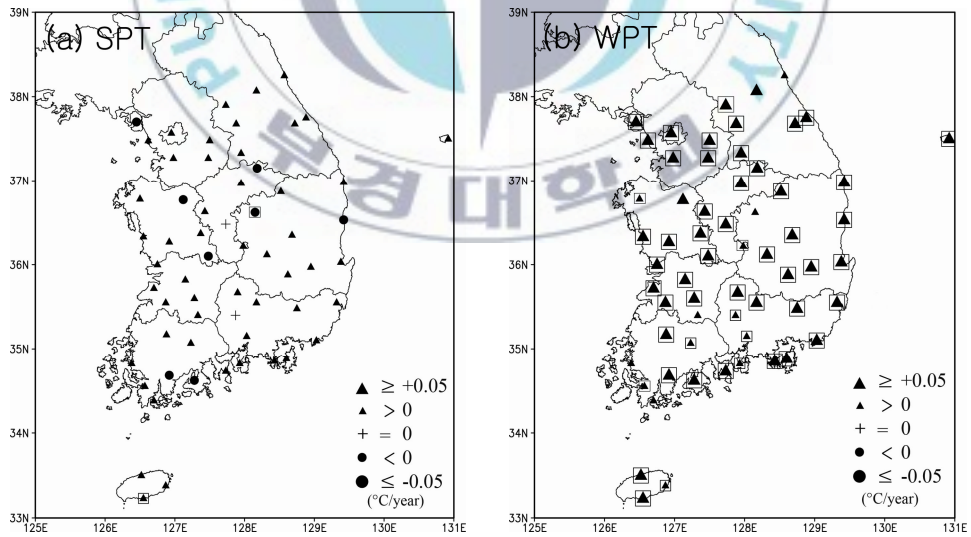
가장 큰 음의 추세는  $-0.309$  days/year로 강릉에서 나타났다. 강릉을 포함하여 속초, 춘천, 서울, 인천, 울릉도, 서산에서 통계적으로 유의한 음의 추세를 보인다. 즉, 이 지점들의 WPD는 일러지는 추세이다.

Figure 11은 SPT와 WPT의 35년 간 선형 추세의 공간분포 (61개 지점) 이다. SPT의 선형 추세는 대부분 지점에서 양의 값을 보인다 (양: 51개, 음: 8개, 0: 2개) (Fig. 11a). 가장 큰 양의 추세는  $0.043$  °C/year로 서귀포에서 나타났다. 반면, 가장 큰 음의 추세는  $-0.043$  °C/year로 문경에서 나타났다. 두 추세 모두 통계적으로 유의하다. 통계적으로 유의하진 않지만 음의 추세를 보인 지점 (강화, 제천, 천안, 장흥, 고흥, 문경, 영덕) 들은 도시화가 덜 진행되었다는 공통점이 있다. WPT의 선형 추세는 모든 지점에서 양의 값을 보인다 (Fig. 11b). 가장 큰 양의 추세는  $0.126$  °C/year로 원주에서 나타났으며 원주를 포함한 56개 지점의 추세는 통계적으로 유의하다.

Seasonal peaks의 선형 추세는 여름보다 겨울에서 큰 값을 가지는 경향이 있다. 이는 계절 기후가 여름보다 겨울에서 더 뚜렷한 변화를 보임을 뜻한다. 뚜렷한 변화가 발견되지 않았던 SPD와 SPT와 달리, WPD는 모든 지점에서 공통적으로 음의 추세를 보였고 이 중 7개 지점에서는 통계적으로 유의한 추세를 보였다. 또한 WPT는 2/3이상의 지점에서 통계적으로 유의한 상승 추세를 보였다.



**Fig. 10.** Spatial distributions of linear trends in (a) SPD and (b) WPD at 61 stations from 1974 to 2008. Squares indicate stations with trends significant at the 90% confidence level. Unit: days/year.



**Fig. 11.** Same as Fig. 10, but for (a) SPT and (b) WPT. Unit: °C/year.

## 5.2 Trends for 56 years (1953–2008) and 100 years (1909–2008)

Table 1은 56년 간 9개 지점, Table 2는 100년 간 5개 지점의 seasonal peaks의 선형 추세이다. 56년 간 SPD의 선형 추세는 5개 지점 (포항, 울산, 광주, 여수, 제주) 에서 양의 값이고 4개 지점 (추풍령, 강릉, 전주, 울릉도) 에서 음의 값이다. 100년 간 SPD의 선형 추세는 3개 지점 (서울, 인천, 부산) 에서 양의 값이고 2개 지점 (대구, 목포) 에서 음의 값이다. 하지만 이들 값 모두 통계적으로 유의하지 않다. 한편 56년 간 WPD의 선형 추세는 전 지점에서 음의 값이다. 이들 중 통계적으로 유의한 음의 추세를 가진 지점도 존재하였다. 강릉 (-1.69 days/year) 과 제주 (-1.74 days/year) 는 90%이상, 울릉도 (-2.14 days/year) 는 95% 이상의 신뢰수준에서 유의한 음의 추세이다. 이것은 WPD가 일러짐을 뜻한다. 겨울철 (12월–2월) 을 상반기와 하반기로 나누어 기온 상승률을 살펴봄으로써 그 원인을 추측해보았다. 상반기와 하반기를 나누는 기준은 한국의 winter peak가 평균적으로 나타나는 시기인 1월 17일이다. 그 결과, 56년 간 강릉, 울릉도의 하반기 기온 상승률은 상반기 기온 상승률보다 더 컸다 (Table 3). 56년 간 전 지점의 평균 기온 상승률 또한 상반기보다 하반기에서 컸다. 5.1절에서 분석한 바에 따르면, 35년 간 WPD의 추세가 전 지점에서 공통적으로 음의 값을 보였고 그 중 7개 지점에서 통계적으로 유의하였다. 35년 간 전 지점의 평균 기온 상승률과

7개 지점의 기온 상승률을 살펴본 결과, 상반기보다 하반기에서 더 크게 나타났다. 따라서, 한국의 겨울철 기온이 상반기보다 하반기에서 더 크게 증가함에 따라 WPD가 나타나는 시기가 점차 일러지는 것으로 추측된다. 100년 간 WPD의 선형 추세는 2개 지점 (대구, 목포) 에서 양의 값이고 3개 지점 (서울, 인천, 부산) 에서 음의 값이다. 이들 값은 통계적으로 유의하지 않다.

56년 간 SPT의 선형 추세는 5개 지점 (추풍령, 전주, 울릉도, 광주, 여수) 에서 음의 값이고 4개 지점 (강릉, 포항, 울산, 제주) 에서 양의 값이다. 양의 추세를 보인 지점은 모두 통계적으로 유의하지 않다. 하지만 음의 추세를 보인 지점 중 추풍령은 90%이상의 신뢰수준에서 유의한 하강추세이다. 추풍령은 다른 지점에 비해 도시화의 영향을 덜 받는 지점이다. 실제로 추풍령의 여름 평균기온 (6-8월) 은 양의 추세가 아닌 음의 추세를 가졌다 (-0.003 °C/year). 100년 간 SPT의 선형 추세는 전 지점에서 양의 값이다. 하지만 이 값 또한 통계적으로 유의하지 않다. 한편, WPT는 전 지점에서 통계적으로 유의한 상승 추세이다. 35년 (1974-2008) 의 분석기간과 마찬가지로 56년과 100년의 분석기간에서도 여름과 겨울 모두에서 기온이 상승하는 것이 아니라 오직 겨울에서만 기온이 상승하였다.

**Table 1.** Trends in seasonal peaks from 1953 to 2008 at nine stations.

station	Trend of day (days/year)				Trend of temperature (°C/year)			
	SPD	P-value	WPD	P-value	SPT	P-value	WPT	P-value
Chupungryong	-0.005	0.093	-0.057	0.043	-0.018*	0.007	0.026**	0.003
Gangneung	-0.030	0.064	-0.169*	0.007	0.008	0.046	0.035**	0.000
Jeonju	-0.008	0.083	-0.052	0.048	-0.003	0.077	0.031**	0.001
Ullengdo	-0.030	0.046	-0.214**	0.002	-0.005	0.068	0.029**	0.001
Pohang	0.013	0.078	-0.073	0.034	0.015	0.020	0.041**	0.000
Ulsan	0.008	0.086	-0.054	0.048	0.009	0.042	0.039**	0.000
Gwangju	0.000	0.099	-0.073	0.034	-0.006	0.046	0.032**	0.001
Yeosu	0.021	0.057	-0.031	0.066	-0.002	0.080	0.034**	0.000
Jeju	0.030	0.045	-0.174*	0.007	0.006	0.051	0.026**	0.000

\*\* : significant at 95% confidence level

\* : significant at 90% confidence level

**Table 2.** Trends in seasonal peaks from 1909 to 2008 at five stations.

	Trend of day (days/year)				Trend of temperature(°C/year)			
	SPD	P-value	WPD	P-value	SPT	P-value	WPT	P-value
Seoul	0.004	0.082	-0.022	0.045	0.001	0.074	0.036**	0.000
Incheon	0.004	0.095	-0.017	0.056	0.000	0.096	0.032**	0.000
Daegu	-0.006	0.077	0.062	0.034	0.004	0.029	0.048**	0.000
Mokpo	-0.005	0.070	0.048	0.046	0.001	0.080	0.027**	0.000
Busan	0.010	0.046	-0.041	0.021	0.003	0.047	0.035**	0.000

\*\* : significant at 95% confidence level

\* : significant at 90% confidence level

**Table 3.** Trends in temperature of first half-winter (Dec 1–Jan 16) and second half-winter (Jan 17–Feb 28) in 3 stations and averaged 9 stations for 56 years and in 35 years. Unit: °C/year.

<b>For 56 years</b>	<b>First half -winter</b>	<b>Second half -winter</b>
9 stations	0.025	0.034
Ulleng	0.019	0.032
Gangneung	0.025	0.042
Jeju	0.023	0.023
<b>For 35 years</b>	<b>First half -winter</b>	<b>Second half -winter</b>
61 stations	0.034	0.072
Sokcho	0.005	0.060
Gangneung	0.029	0.084
Chuncheon	0.015	0.071
Seoul	0.046	0.093
Incheon	0.054	0.099
Ulleng	0.024	0.073
Seosan	0.012	0.047

## 6. Conclusions and Discussion

본 연구는 한국 (61개 지점) 의 summer peak와 winter peak의 기온 (Summer Peak Temperature; SPT and Winter Peak Temperature; WPT) 과 그 발생시기 (Summer Peak Day; SPD and Winter Peak Day; WPD) 의 공간분포 및 장기추세를 분석하였다. 두 peak는 일 평균 기온 시계열에서 90-day low-pass filter를 사용하여 계절 규모 이하의 기온 변동을 제거한 후, 최고점과 최저점을 선택함으로써 결정되었다.

한국의 SPD와 WPD는 내륙지역에서 일찍, 해안지역에서 늦게 나타난다. SPD는 춘천, 홍천, 원주, 대관령, 구미에서 가장 이르고 (7월 31일) 부산, 통영, 여수, 서귀포에서 가장 늦다 (8월 10일). 이 결과는 SPD가 강원도 양구에서 가장 이르고 (7월 20일) 제주에서 가장 늦다 (8월 2일) 는 앞선 연구 (Lee, 1969) 와는 다소 차이가 있다. WPD는 이천에서 가장 이르고 (1월 13일) 제주와 울릉도에서 가장 늦다 (1월 25일).

SPT와 WPT는 고도가 높을수록, 고위도 일수록 낮다. 즉, 이들 온도는 대관령에서 가장 낮고 서귀포에서 가장 높다. SPT는 저위도 내륙에 위치한 대구와 광주를 중심으로 높은 값을 보인다. WPT는 바다에 가까울수록 높은 경향이 있다.

WPD와 WPT의 경년 변동성은 SPD와 SPT의 경년 변동성보다 크게 나타났다. 이는 겨울철 동안 한국이 기온 변동이 심하고 남북 온도 경도



또한 크기 때문에 해석된다. Seasonal peak의 EOF 분석 결과, SPD와 WPD의 주요 모드에서도 평균 공간분포와 유사한 형태가 나타났다. 주요 모드가 나타나는 원인으로 지형과 기류의 영향을 제시하였다. 또한 SPT의 주요 모드에서 도시화 효과를 설명하는 모드가 나타났고 WPT의 주요모드에서는 SPT보다 뚜렷한 남북 변동모드가 나타났다.

Seasonal peak의 장기 추세는 100년 간 (1909–2008) 5개 지점, 56년 간 (1953–2008) 9개 지점, 35년 간 (1974–2008) 61개 지점의 자료를 사용하여 분석되었다. SPD는 완도에서 35년 간 일러지는 추세를 제외하고 모든 분석 기간들과 지점들에서 뚜렷한 변화가 없었다. 반면, WPD는 35년 간 강릉, 속초, 춘천, 서울, 인천, 울릉도, 서산, 56년 간 강릉, 제주, 울릉도에서 통계적으로 유의하게 일러지는 추세를 보였다. 이들 지점에서 WPD가 일러지는 추세를 보인 것은 겨울철 하반기의 기온 상승률이 상반기의 기온 상승률보다 크기 때문으로 분석되었다. 이는 최근 들어 2월의 기온이 상승함으로써 봄이 오는 시기가 일러지고 있다는 연구결과 (Choi et al., 2006; Gu and Kim, 2007; Kwon et al., 2007) 와 부분적으로 일치한다. WPD의 100년 간 선형 추세는 전 지점에서 유의하지 않았다.

WPT는 35년 간 56개 지점, 56년과 100년 간 전 지점에서 유의한 상승 추세가 나타났으나, SPT는 35년 간 서귀포 (상승 추세) 와 문경 (하강 추세), 56년 간 추풍령 (하강추세) 을 제외하고 모든 분석 기간들과

지점들에서 유의한 추세가 나타나지 않았다.

본 연구는 계절의 시작 시점이 아닌 기온 최고점과 최저점을 정의하여 한국의 계절 기후를 살펴보았다는 점에서 다른 연구와 큰 차이를 보인다. 따라서, 한국에서 가장 더운 날과 추운 날이 어디서 먼저 발생하고 언제 나타나는지를 발견하였고, 가장 더운 곳과 추운 곳이 어딘지를 발견하였다. 또한, 연도별 변화를 살펴봄으로써 계절 기후의 변화가 여름보다 겨울에서 뚜렷하게 나타남을 발견하였다.

SPD 또는 WPD에는 에너지 사용량이 최대가 될 것이고 SPT와 WPT에 따라 그 양이 달라지므로 본 연구의 결과는 에너지의 효율적 관리에 도움을 줄 것이다. 또한, Seasonal peaks의 변화에 따라 식생의 주기가 달라지므로 식생의 변화 상태 파악에 용이할 것이며 기후변화에 따른 대응정책을 마련하는데 기초자료로 사용될 것이다.

하지만, 본 연구는 Seasonal peak의 시공간적 특성과 추세의 원인을 구체적으로 설명함에 있어 부족함이 있다. 특히, EOF의 주요 모드별 시공간변동성의 원인에 대한 분석이 추가되어야 할 것이다. 이를 파악하기 위해서는 지형과 기온에 영향을 미치는 기후요소인 바람과 강수량 자료 등을 사용하여 분석이 행해져야 할 것이다. 또한 ENSO, NAO, AO 등의 기후인자들과의 상관성 또한 조사해 봐야 할 것이다. 향후, 분석 영역을 확장하여 전 지구의 Seasonal peaks의 공간분포를 살펴보고 최근 지구온난화 추세에 따른 Seasonal peaks의 변화 또한 살펴볼 것이다.

## REFERENCES

- Büntgen U., D. C. Frank, D. Nievergelt, and J. Esper, 2006: Summer temperature variations in the European Alps, A.D. 755–2004. *J. Climate*, **19**, 5606–5623.
- Choi G. Y. and W. T. Kwon, 2001 The shift of natural seasons and changes of life temperature indices in South Korea during the 20th century. *J. Geography Educ.*, **45**, 14–25.
- Choi G. Y., W. T. Kwon, and D. A. Robinson, 2006: Seasonal onset and duration in South Korea. *J. Korean Geographical Soc.*, **41**, 435–456.
- Cook E. R., J. Esper, and R. D. D'Arrigo, 2004: Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years. *Quat. Sci. Rev.*, **23**, 2063–2074.
- Gu H. S. and K. H. Kim, 2007: Distribution characteristics and changing trends of natural seasons in Korea. *Climate Res.*, **2**, 105–117.
- Kim M. K., I. S. Kang, and C. H. Kwak, 1999: The estimation of urban warming amounts due to urbanization in Korea for the recent 40 Years. *J. Korean Meteo. Soc.*, **35**, 118–126.

- Kwon Y. A., W. T. Kwon, and K. O. Boo, 2007: Future projections on the change of onset date and duration of natural seasons using SRES A1B data in South Korea. *J. Korean Geographical Soc.*, **42**, 835–850.
- Kwon Y. A., W. T. Kwon, and K. O. Boo, 2008: Future projections on the spatial distribution of onset date and duration of natural seasons using SRES A1B data in South Korea. *J. Korean Geographical Soc.*, **43**, 36–51.
- Lee B. S., 1969: Harmonic analysis of the temperature distribution in Korea. *J. Korean Geographical Soc.*, **4**, 17–25.
- Lee S. H., 2003: Difference of air temperature between the west and east coast regions of Korea. *J. Korean Meteo. Soc.*, **39**, 43–57.
- Luterbacher J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, and H. Wanner, 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Sci.*, **303**, 1499–1503.
- Mann M. E. and J. Park, 1996: Greenhouse warming and changes in the seasonal cycle of temperature: Model versus observations. *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1111–1114.
- Oh S. N., Y. H. Kim, and M. S. Hyun, 2004: Impact of urbanization on climate change in Korea, 1973–2002. *J. Korean Meteo. Soc.*, **40**, 725–740.

- Stine A. R., P. Huybers, and I. Y. Fung, 2009: Changes in the phase of the annual cycle of surface temperature. *Nature*, **457**, 435–440.
- Tesouro M., L. Gimeno, R. Nieto, L. de la Torre, P. Ribera, D. Gallego, R. Garcia-Herrera, and E. Hernandez, 2005: Interannual variability of the annual cycle of temperature over Northern Africa. *Stud. Geophys. Geod.*, **49**, 141–151.
- Thomson D. J., 1995: The seasons, global temperature, and precession. *Sci.*, **268**, 59-68.
- Trenberth K. E. 1990, Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988–993.
- Wallace C. J. and T. J. Osborn, 2002: Recent and future modulation of the annual cycle. *Clim. Res.*, **22**, 1–11.
- Yoo J. H. and I. S. Kang, 2002: Temperature variation related to seasonal transition and secular trend of season in Korea. *Atmosphere*, **12**, 107–110.
- Youn Y. H., I. S. Oh, Y. H. Park, and J. B. Ahn, 2004: Long-term variabilities of air temperature in the Korean Peninsula. *J. Korean Meteo. Soc.*, **40**, 361–368.
- Zhang Y., K. Sperber, and J. Boyle, 1996: The climatology of East Asian winter monsoon and cold surges from 1979--1995 NCEP/NCAR reanalyses. *Third Conference on East Asian and Western Pacific Meteorology and Climate, Chungli, Taiwan.*

## 감사의 글

석사 논문을 준비하면서 많은 분들의 관심과 배려가 있었기에 이 논문을 무사히 마칠 수 있었던 것 같습니다. 이 작은 지면을 빌어 그분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

우선, 진정한 학자의 모습을 보여주신 변희룡 교수님께 고개 숙여 감사의 마음을 전합니다. 3년 전 교수님과 좋은 인연이 시작되면서 보다 큰 꿈을 가지게 되었고 그 꿈에 맞춰 발전해나가는 제 모습을 발견할 수 있었습니다. 연구함에 있어 세심한 가르침뿐만 아니라 인성에 대한 따뜻한 가르침들, 가슴 깊이 새기겠습니다.

그리고 석사 논문을 준비하는 과정에서 항상 관심을 가져 주시고 야심없는 조언을 해주신 김재진교수님과 오재호 교수님께 감사 드립니다. 전공 지식을 쌓는데 많은 도움을 주신 정형빈 교수님, 권병혁 교수님, 이동인 교수님, 옥곤 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

방재기상연구실에 가족 같은 선배님과 후배들이 있었기에 정말 큰 힘이 되었습니다. 연구실의 기반을 마련해주신 임병환 선배님, 오실 때마다 따뜻한 조언을 많이 해주셨던 임장호 선배님, 고혜영 선배님, 김명주 선배님, 서동일 선배님, 한상은 선배님께 감사 드립니다. 항상 열정적으로 연구하는 모습을 보여주신 기선선배, 논문을 완성하는데 있어 가장 가까운 곳에서 많은 도움을 주시고 후배들을 진심으로 걱정하고 배려해주시는 기훈선배, 상민선배, 도우선배, 호성선배께도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 친언니같이 따뜻하고 의지가 되는 수빈언니, 지선언니, 진아언니. 정말 큰 힘이 되었습니다. 고마워요. 그리고 사회인으로 멋진 모습을 보여주고 후배들 상담도 잘해주시는 민선선배, 태희언니, 유원언니, 영임언니, 갑영선배, 순주언니, 성호선배,

정은언니께 감사드립니다. 그리고 동갑내기 친구라 더욱 즐거운 소라, 창균이, 귀여운 막내 수정이, 멋진 태웅이와 상아에게도 고마움을 전합니다.

항상 저에게 큰 힘이 되어 준 친구들에게도 고마움을 전합니다. 말하지 않아도 내 마음 다 알아주는 미경이와 현정이. 정말 고마워. 같이 식사 준비하면서 서로 큰 위안이 된 윤선이, 그리고 06 동기들, 삶의 에너지가 되어준 루비, 명숙이, 미화, 이슬이, 지경이, 경희, 그리고 플레이아데스 23기 동기들 (병옥이, 성아, 보애, 권태환, 김상형, 김성운, 김준호, 박상준, 박수진, 지용구, 지용태, 홍진표) 과 선후배님들에게도 고마움을 전합니다.

멀리 있어도 정말 큰 힘이 되고 평생 절친으로 남을 은혜, 성향이, 정은이, 보미, 이령이, 윤아, 나리, 항상 기분 좋은 친구 변창, 현성이와 삶의 활력소가 되어준 동철오빠에게도 고마움 마음을 전합니다. 이런 든든한 친구들이 있어서 큰 행운인 것 같습니다.

삶에 있어서 가장 큰 힘이 되고 의지가 되는 사랑하는 우리 가족들, 할머니, 아빠, 엄마, 큰언니, 작은언니에게 깊은 감사의 말을 전합니다. 바쁘다는 핑계로 집에 자주 가지 못해 죄송해요. 항상 걱정해주시고 무한한 사랑을 주신 할머니, 아빠, 엄마. 지금처럼 늘 건강하세요. 같이 부산에 있으면서 나를 잘 챙겨주었던 큰언니와 작은언니야 고마워. 우리 가족 모두 지금처럼 행복하길 바라요.

다시 한번 저에게 애정과 도움을 주셨던 분들께 감사의 마음을 전하며 모두 건강하고 행복하길 바라겠습니다.

2011년 7월  
이 보 라 올림