



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](#)

2019년 2월
석사학위 논문

한반도 폭염의 기후적 특성 및
장기변화 메커니즘에 관한 연구

조선대학교 대학원

지구과학과

조 형 욱

한반도 폭염의 기후적 특성 및
장기변화 메커니즘에 관한 연구

Climatological characteristics and their mechanisms of
heat extremes over the Korean peninsula

2019년 2월 25일

조선대학교 대학원

지구과학과

조 형 욱

한반도 폭염의 기후적 특성 및 장기변화 메커니즘에 관한 연구

지도교수 박 두 선

이 논문을 이학석사학위 신청 논문으로 제출함

2018년 10월

조선대학교 대학원

지구과학과

조 형 욱

조형욱의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	<u>박 영 신</u> (인)
위 원	조선대학교	교수	<u>안 경 진</u> (인)
위 원	조선대학교	교수	<u>박 두 선</u> (인)

2018년 11월

조선대학교 대학원

CONTENTS

I. 서론	1
1. 연구배경	1
2. 자료 분석 및 연구방법	4
II. 본론	8
1. 분석 및 결과	8
1) 위도에 따른 폭염 시작일, 최고 온도, 폭염 마지막일, 폭염일수	8
2) 경도에 따른 폭염 시작일, 최고 온도, 폭염 마지막일, 폭염일수 ..	14
3) 폭염 시작일, 최고 온도, 폭염 마지막일, 폭염일수의 기후 값 지역 적 분포	19
4) 폭염 시작일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도	23
5) 최고기온일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도	27
6) 폭염 마지막일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도	30
7) 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성 ..	33
8) 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성 메커 니즘1	35
9) 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성 메커 니즘2	38
III. 결론 및 토의	41
1. 결론 및 토의	41
 【참고 문헌】	 45

List of Tables

Table 1. 한반도의 55개 ASOS지점	6
Table 2. 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 폭염 변수 기후 값 및 P-value 값	22
Table 3. 폭염 시작일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값	26
Table 4. 최고기온일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값	29
Table 5. 폭염 마지막일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값	32
Table 6. 폭염 관련 변수들의 선형회귀 값	33

List of Figures

Figure 1. 조사기간 동안에 해당하는 전국의 ASOS분포	5
Figure 2. 위도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선	8
Figure 3. 위도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선	9
Figure 4. 위도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선	9
Figure 5. 위도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선	10
Figure 6. 위도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	12
Figure 7. 위도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	12
Figure 8. 위도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	13
Figure 9. 위도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	13
Figure 10. 경도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선	14
Figure 11. 경도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선	15
Figure 12. 경도에 따른 폭염 마지막의 산점도 및 회귀선	15
Figure 13. 경도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선	16
Figure 14. 경도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	17
Figure 15. 경도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	17
Figure 16. 경도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	18

Figure 17. 경도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)	18
Figure 18. 폭염 시작일 기후 값의 지역 분포	19
Figure 19. 연최고기온 기후 값의 지역 분포	20
Figure 20. 폭염 마지막일 기후 값의 지역 분포	21
Figure 21. 폭염일수 기후 값의 지역 분포	22
Figure 22. 폭염 시작일 기간의 상대습도 분포	24
Figure 23. 폭염 시작일 기간의 강수량 분포	25
Figure 24. 폭염 시작일 기간의 850hPa 지위고도	26
Figure 25. 최고기온일 기간의 상대습도 분포	27
Figure 26. 최고기온일 기간의 강수량 분포	28
Figure 27. 최고기온일 기간의 850hPa 지위고도	29
Figure 28. 폭염 마지막일 기간의 상대습도 분포	30
Figure 29. 폭염 마지막일 기간의 강수량 분포	31
Figure 30. 폭염 마지막일 기간의 850hPa 지위고도	32
Figure 31. 폭염 시작일의 시계열 분석	33
Figure 32. 연최고기온일의 시계열 분석	34
Figure 33. 폭염 마지막일의 시계열 분석	34
Figure 34. 폭염 시작일과 850hPa 지위고도의 회귀분석	35
Figure 35. 최고기온과 850hPa 지위고도의 회귀분석	36
Figure 36. 폭염 마지막일과 850hPa 지위고도의 회귀분석	37
Figure 37. 폭염 시작일과 해수면 온도의 회귀분석	38
Figure 38. 폭염 마지막일과 해수면 온도의 회귀분석	39
Figure 39. 최고기온과 해수면 온도의 회귀분석	40

ABSTRACT

Climatological characteristics and their mechanisms of heat extremes over the Korean peninsula

Cho Hyung wook

Advisor : Prof. Park Doo-sun, Ph.D.

Department of Natural Sciences(Earth
Science)

Graduate School of Chosun University

Recent climate change causes global mean temperature rise, which is much faster in the Korean peninsula than the other regions. In addition, several climate models suggested that climate change will increase frequency and intensity of future heat extremes. Since heat extremes can cause various problems in human society, such as power supply disruption, heat-related diseases, etc., I try to understand the characteristics of the heat extremes over the Korean Peninsula. Here, the heat extreme is defined as the days in which maximum daily temperature is greater than 33°C. Here four types of heat-extreme-related variables were investigated. Firstly, the start date of the heat extreme is defined as the first day of heat extremes in a year. The last date of the heat extreme is similarly defined as the last day of heat extremes in a year. The total heat extreme days are defined as the sum of the days of the heat extremes. Finally, annual maximum temperature is used.

The start date of heat extremes, the annual maximum temperature, and the total heat extreme days are more dependent on the longitude than on

the latitude. This is attributable to the Föhn effect due to dominant westerlies over the Korean peninsula. The last date of the heat extreme is however highly dependent on latitude. This is because in the period of last date of heat extremes southerly become more dominant and hence there is no Föhn effect. The annual variability of the start date of heat extreme, the annual maximum temperature, and the last date of heat extreme was dominated by the interannual variability rather than the long term variability. They are highly associated with the strength of Hadley circulation and sea surface temperature. In the La Niña, both of the start and last dates of heat extremes are delayed. According to our analyses, the strengthened Hadley circulation generally worsen heat extremes, that is to say that the start date of heat extremes is advanced while the last date of heat extremes is delayed.

국문초록

전 지구적으로 기후변화는 평균기온 상승을 유발하고 있으며, 한반도의 평균기온 상승은 다른 지역에 비해 유난히 더 빠른 것으로 알려져 있다. 또한, 여러 기후모형 결과에 따르면 평균기온 상승과 함께 기후변화가 미래 폭염 발생횟수 증가에도 기여할 것으로 분석되고 있다. 최근 폭염은 집단폐사, 전력공급 차질, 대기오염, 인명피해 등의 사회적 문제를 발생시킬 뿐만 아니라 1994년에 이어 올해 기록적인 폭염이 발생함에 따라 중요한 연구주제로 떠오르고 있다.

본 연구에서는 한반도 폭염현상의 특성을 이해하기 위해 폭염의 기준을 기상청 기준을 일부 차용하여 일 최고기온이 33°C 이상인 날로 정의 하였으며, 폭염 시작일은 해당연도의 첫 폭염일, 폭염 마지막일은 해당연도의 마지막 폭염일, 폭염일수는 폭염이 발생한 날의 합으로 정의하였다. 또한 특성을 이해하기 위해 55개의 종관기상관측(ASOS : Automated Surface Observing System) 자료 및 NCEP/NCAR 재분석 자료를 활용하여 폭염 시작일, 연 최고온도, 폭염 마지막일, 폭염일수의 기후적 특성과 변화경향을 위도, 경도별로 구분하여 분석하였으며, 그 원인에 대한 분석을 수행하였다.

폭염 시작일과 연 최고기온 그리고 폭염 일수는 경도에 좀 더 의존적인 경향을 보였으며, 이는 남서풍계열로 인해 뽀현상이 발생했기 때문으로 여겨진다. 폭염 마지막일은 위도에 매우 의존적이며, 남풍계열이 발생하여 뽀 현상이 사라지고, 북태평양 고기압의 후퇴에 따라 남쪽지방으로 갈수록 폭염 마지막일이 늦게 끝나는 것으로 분석된다. 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간 변동성은 장기변동성보다 경년변동성이 우세하게 나타났으며, 그 메커니즘은 각 폭염의 변수 모두 다 상공의 고기압/저기압의 존재가 중요하며 폭염 시작일과 마지막일은 유사 라니냐 형태가 보였다.

한반도의 폭염에 대한 지역적 피해와 인간의 건강과 관련된 피해 등, 그리고 인간의 기후변화적응 측면에서 폭염의 기후적 분포는 매우 중요한 정보로 여기지기 때문에 한반도 폭염에 대한 기후적 분석은 필요하다고 보며 본 연구에 대한 결과를 토대로 피해 및 기후변화적응 연구에 활용 할 수 있을 것으로 생각된다.

I. 서론

1. 연구 배경

기후변화에 관한 정부간 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 4차 및 5차 보고서 (IPCC, 2007; IPCC, 2013)에 따르면 전 지구적으로 지구평균 지표기온이 상승하고 있다는 것은 명백하다. IPCC 4차 보고서에 따르면 100년 동안(1906~2005)은 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$, IPCC 5차 보고서에 따르면 133년 동안(1880~2012년) 0.85°C 상승한 것으로 보고되었다. 특히, 동아시아 지역의 기온상승은 지구 평균보다 더 빨랐으며 (Hulme et al., 1994), 한반도 인근의 기온상승은 그보다 더 빨랐던 것으로 분석되었다 (이명인 외, 1997).

각 보고서에 따르면 이러한 과거 기온상승과 더불어 극한고온현상의 출현빈도 및 강도도 증가하였다. 실제 2003년 유럽, 2010년 일본, 러시아, 인도, 그리고 1994년과 2018년 우리나라 등 대규모 폭염 사례가 전세계적으로 20세기 들어 자주 관측되고 있다. 특히, 2018년 한반도 폭염의 경우, 기상청 관측 이래 폭염일수가 29.2일로 가장 높았고, 일최고기온은 강원도 홍천이 41°C 로 역대최고값을 경신하였다 (기상청, 2018). 또한, 과거의 폭염은 하절기에만 발생하는 고온현상이었으나 최근에는 발생시기가 불확실해지고, 발생 빈도 및 강도도 증가하고 있는 추세에 있다. 이에 따라 우리나라 기상청은 늦은 봄과 초가을 기온상승에 따른 이른 폭염 및 늦은 폭염 현상의 예측을 위해 2015년 6월부터 9월까지만 발령하던 폭염특보를 연중으로 확대하였다.

미래 기후변화 시나리오에서도 21세기에 최고기온의 상승으로 인해 극한고온현상의 출현빈도 및 강도의 지속적인 증가가 예측되고 있다. 김연희 등(2014)은 RCP4.5 시나리오에서 열파가 21세기 후반에 현재기후대비 19%가 증가할 것으로 내다보았으며, RCP8.5 시나리오에서는 21세기 후반에 현재기후대비 25%가 증가할 것으로 내다보았다. 김진아 등 (2016)에 따르면 RCP2.6 시나리오에서 21세기 초반까지는 한반도에서 폭염발생빈도

가 증가하다 21세기 중반에 극값에 도달한 후 하강하는 경향을 보였으며, RCP8.5 시나리오에서는 21세기 말까지 폭염발생빈도가 계속 증가하였다.

폭염의 빈도 및 강도 증가는 각종 자연 및 사회경제 시스템 (건강, 생태계, 농축산업 등) 에 악영향을 가중시킬 가능성이 높다. 질병관리본부에 따르면 2011년부터 온열질환자에 대한 통계를 집계한 이래로 2016년에 최대치인 2,125명이 기록되었으며 (질병관리본부, 2016), 온열질환자의 수가 대체로 폭염일수와 비례한다는 분석결과를 보고하였다 (질병관리본부, 2017). Kim et al. (2014)도 폭염일수가 많았던 연도에 열과 관련된 사망자 수가 증가함을 보였다. 그 외에도 폭염은 가축 폐사나 해수온도 증가에 의해 물고기 집단폐사 등의 피해를 발생시킨다. 폭염이 강해지면서 전력수요량이 급증하여 정전이 빈번히 발생하여 국가경제발전에 저해요인으로도 작용할 수 있다. 마땅한 대체에너지가 개발되지 않은 상황에서 이 같은 높은 에너지 수요를 만족시키기 위해 더 많은 화석연료를 사용하게 되어 궁극적으로 온난화를 가속화시키는 악순환이 발생할 수 있다(채여라, 2017).

폭염현상을 보다 정확히 이해하고 예측하기 위해 많은 과학자들이 폭염 발생의 원인 및 발달과정에 대한 연구를 수행하였다 (Park and Schubert, 1997; Kim et al, 2014; 김지연, 2007, Choi et al, 2007). Park and Schubert (1997)는 폭염이 극심했던 1994년의 경우 티베트 고원의 고기압 발달 및 확장, 남중국해 저기압 발달이 한반도에서 폭염을 강화시켰다고 주장하였다. Kim et al, (2014)는 2013년 폭염에 대해 한반도 상공의 지속적인 고기압이 발달과 대류권 하층부의 온난이류를 주요원인으로 제시하였다. 김진아 등 (2016)은 RCP 시나리오 상에서 폭염의 빈도가 높은 연도의 한반도 인근 대기장을 분석하였는데, 그에 따르면 한반도 인근의 수증기가 적고 키 큰 고기압이 오래도록 지속되는 경우에 한반도에 폭염발생빈도가 증가한다고 제안하였다.

한편, 선행연구들을 살펴보면 주로 폭염 원인 및 발달, 미래변화 등에 초점을 맞춘 연구가 주를 이룸을 알 수 있다. 반면, 한반도 폭염의 기후적인 공간분포와 특성 (폭염시작일, 폭염종료일 등)에 대한 연구는 상대적으로 적게 이루어졌다. 하지만 기후변화적응 측면에서 한반도 폭염의 기후적

인 공간분포 및 특성은 매우 중요하다. 김지영 등(2009)이 한반도의 6개 대도시 (서울, 부산, 인천, 대전, 대구, 광주)에서 일최고기온 및 일사망자료를 비교·분석한 결과, 평균 일최고기온은 광주가 35℃, 대구가 36.7℃로 가장 높았음에도 불구하고 36℃ 기준 인구 천만명당 초과사망률은 오히려 광주가 11.6명, 대구가 6.9명으로 다른 도시에 비해 낮게 나타났다. 즉, 기후적으로 폭염이 심한 지역일수록 동일강도의 폭염에 대해 적응능력이 높음을 의미한다. 기존에 김지연 등(2007)에서 일최고기온이 상위 5% 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상을 열파로 정의하여 한반도상의 공간적 분포와 연간변동성에 대한 연구를 수행한 바 있다. 그에 따르면 한반도의 열파일수는 경상 내륙지역, 전라 내륙지역, 충청 내륙 및 충청 서해안 지역에서 상대적으로 높게 나타났다. 하지만 김지연 등 (2007)은 연간열파일수에 대해서만 분석을 수행하고, 시작일이나 종료일과 같은 기후적 특성에 대한 부분은 살펴보지 않았다.

따라서 본 연구에서는 한반도 폭염의 기후적 공간분포를 폭염시작일, 폭염일 평균일최고기온, 폭염종료일로 나누어 살펴보았으며, 그와 같은 분포가 나타난 원인을 분석하였다. 더불어 한반도 평균 폭염시작일, 폭염일 평균일최고기온, 폭염종료일의 연간변동성과 그 원인을 분석하였다.

2. 자료 분석 및 연구 방법

폭염의 정의는 연구마다 다양하지만 본 연구에서는 기상청 기준을 일부 차용하여 일 최고기온이 33℃ 이상인 날을 폭염으로 정의하였다. 그리고 폭염 시작일, 연간최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수를 다음과 같이 정의하였다. 폭염시작일은 해당연도의 첫 폭염일, 연간최고기온은 해당연도의 일 최고기온, 폭염마지막일은 해당연도의 마지막 폭염일, 폭염일수는 폭염이 발생한 날의 합으로 정의하였다.

본 연구에서는 폭염의 기후적 특성 및 연간 변동성과 관련 메커니즘을 밝히기 위해 1973년부터 2017년까지 45년간의 종관기상관측 (ASOS : Automated Synoptic Observing System) 자료를 사용하였다. 사용된 총 ASOS의 개수는 울릉도 지역을 제외한 총 55개 지점이며 내륙지역 31개, 해안지역 24개로 나눌 수 있다(Figure 1 and Table 1). 본 연구에서는 울릉도 자료를 포함할 경우 위치 특성상 정확한 값이 나오지 않고 그에 따라 오차가 발생할 수 있기 때문에 울릉도를 제외시켰다. 또한 Figure 1 에 서보면 한반도는 3면이 바다로 둘러싸여있으며, 이에 따라 내륙지역에만 속하는 ASOS 자료와 해양과 인접해안 지역의 ASOS 자료의 특성으로 인해 분석 결과 값이 달라질 수 있기 때문에 해안지역과 내륙지역으로 나누어 분석하였다. 이 때 해안지역은 해안선과 접하고 있는 행정구역인 경우로 정의하며, 내륙지역은 해안선과 접하지 않는 행정구역인 경우로 정의하였다. 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 해당하는 기간 동안의 편 현상과 관련된 지표 및 대기장의 특성 분석을 위해 각 기간을 새롭게 정의하여 해당기간 동안 평균장을 사용하였다. 폭염 시작일 기간은 6월 29일 ~ 7월 21일이며, 이 기간은 연도별로 각 지역의 폭염 시작일을 평균하여 연도별 평균 폭염 시작일로 정의하고, 연도별 평균에 대한 표준편차를 계산하여 연도별 평균 폭염 시작일 \pm 표준편차 방법으로 구하였다. 같은 방법을 적용하여 연 최고기온 기간은 7월 23일 ~ 8월 12일, 폭염 마지막일 기간은 8월 7일 ~ 8월 28일에 해당한다

마지막으로 각 변수의 연간변동성 메커니즘 분석을 위해 NCEP/NCAR 재분석 자료인 850hPa의 지위고도와 해수면온도의 회귀분석을 수행하였다.

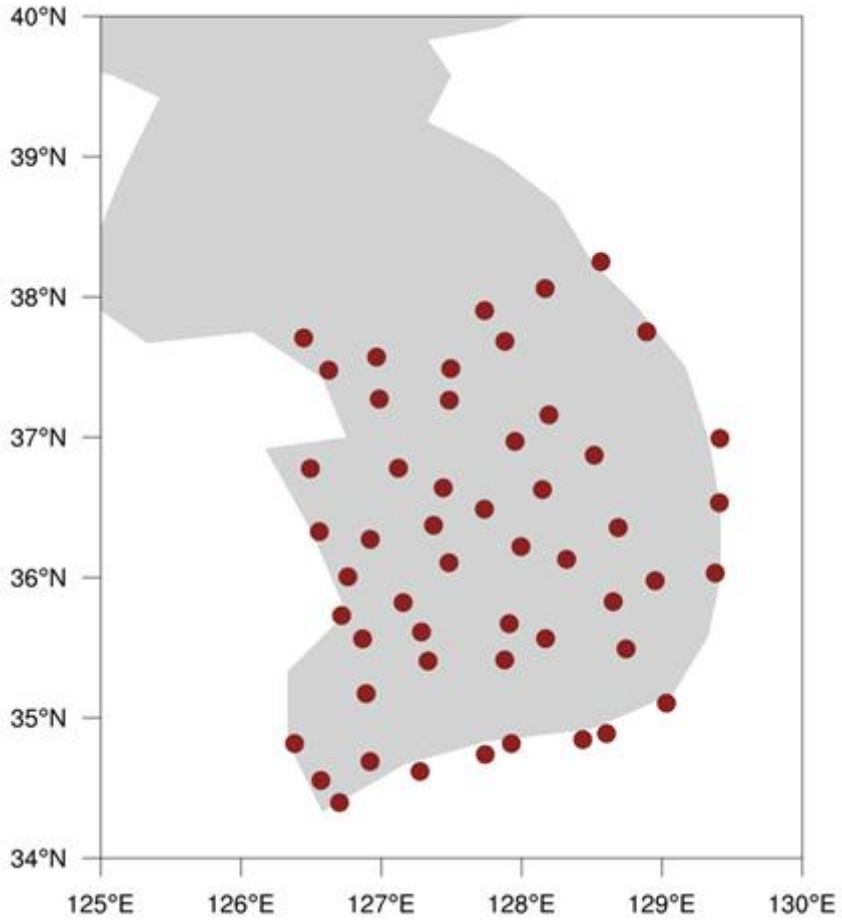


Figure 1. 조사기간 동안에 해당하는 전국의 ASOS분포

Table 1. 한반도의 55개 ASOS지점

Station number	Station	Latitude(°N)	Longitude(°E)	Altitude(m)
90	속초	38.2509	128.5647	18.06
101	춘천	37.9026	127.7357	76.47
105	강릉	37.7515	128.891	26.04
108	서울	37.5714	126.9658	85.5
112	인천	37.4776	126.6244	68.15
119	수원	37.2723	126.9853	34.84
127	충주	36.9704	127.9527	116.3
129	서산	36.7766	126.4939	25.86
130	울진	36.9918	129.4128	50
131	청주	36.6392	127.4407	58.7
133	대전	36.372	127.3721	68.9
135	추풍령	36.2202	127.9946	243.7
138	포항	36.032	129.38	3.94
140	군산	36.0053	126.7614	23.2
143	대구	35.8282	128.6522	53.4
146	전주	35.8408	127.119	61.4
156	광주	35.1729	126.8916	72.38
159	부산	35.1047	129.032	69.56
162	통영	34.8455	128.4356	32.3
165	목포	34.8169	126.3812	38
168	여수	34.7393	127.7406	64.64
170	완도	34.3959	126.7018	35.24
184	제주	33.5141	126.5297	20.45
188	성산	33.3868	126.8802	20.34
189	서귀포	33.2461	126.5653	49.03
201	강화	37.7074	126.4463	47.84

202	양평	37.4886	127.4945	47.26
203	이천	37.264	127.4842	80.09
211	인제	38.0599	128.1671	200.16
212	홍천	37.6836	127.8804	139.95
221	제천	37.1593	128.1943	259.8
226	보은	36.4876	127.7341	174.99
232	천안	36.7624	127.2927	81.5
235	보령	36.3272	126.5574	9.98
236	부여	36.2724	126.9208	11.79
238	금산	36.1027	127.4817	170.34
243	부안	35.7295	126.7166	11.96
244	임실	35.612	127.2856	247.04
245	정읍	35.5631	126.8392	69.84
247	남원	35.4213	127.3965	132.5
260	장흥	34.6888	126.9195	45.02
261	해남	34.5538	126.5691	16.36
262	고흥	34.6183	127.2757	51.91
272	영주	36.8719	128.517	210.79
273	문경	36.6273	128.148	170.61
277	영덕	36.5333	129.4094	40.61
278	의성	36.3561	128.688	81.81
279	구미	36.13	128.32	48.88
281	영천	35.9774	128.9514	93.8
284	거창	35.6674	127.909	225.95
285	합천	35.565	128.1699	32
288	밀양	35.4915	128.7441	11.21
289	산청	35.413	127.8791	138.07
294	거제	34.8882	128.6045	45.4
295	남해	34.8166	127.9264	45.71

II. 본론

1. 분석 및 결과

1) 위도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수

먼저 위도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 관계를 분석하였다. 위도에 따른 폭염 시작일은 위도가 높아질수록 폭염 시작일이 빨라지는 경향을 보이며(Figure 2), 연 최고기온 또한 위도가 높아질수록 연 최고기온이 증가하는 경향을 보인다(Figure 3). 일반적으로 생각할 때 위도가 낮을수록, 즉 남쪽 지방일수록 폭염시작일이 빠르며, 최고기온 또한 높다고 예상할 수 있는데 실제결과 값은 상반된 결과를 보인다. 폭염 마지막일은 위도가 높을수록 마지막일이 빨라져 당연한 결과로 보이며(Figure 4), 폭염일수는 위도가 높을수록 소폭 증가하는 경향을 보인다(Figure 5).

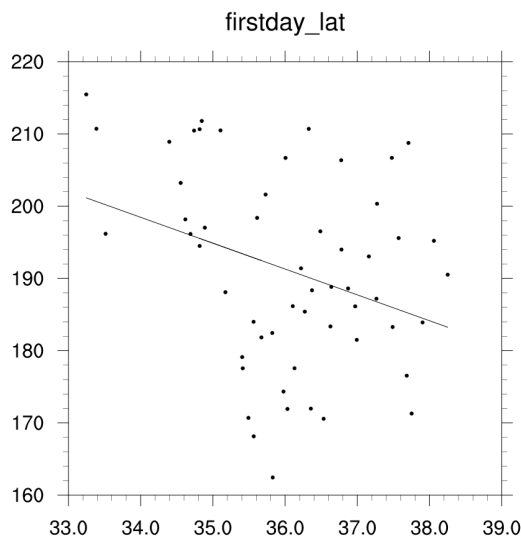


Figure 2. 위도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선

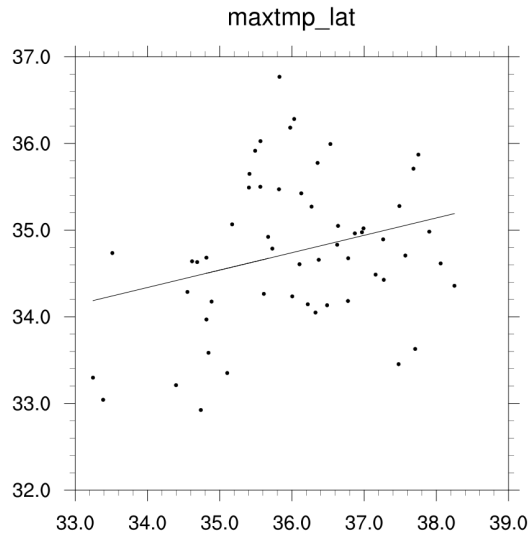


Figure 3. 위도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선

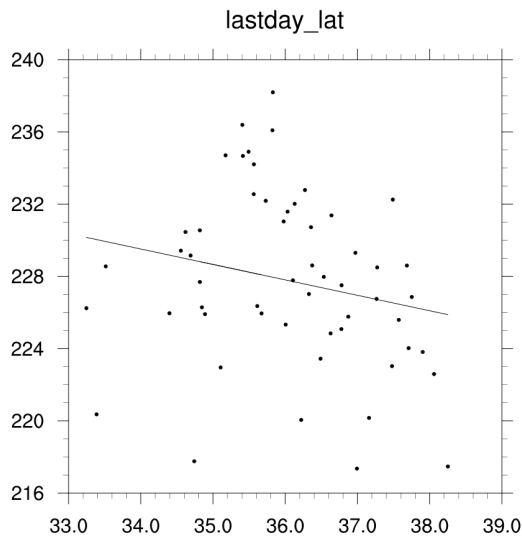


Figure 4. 위도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선

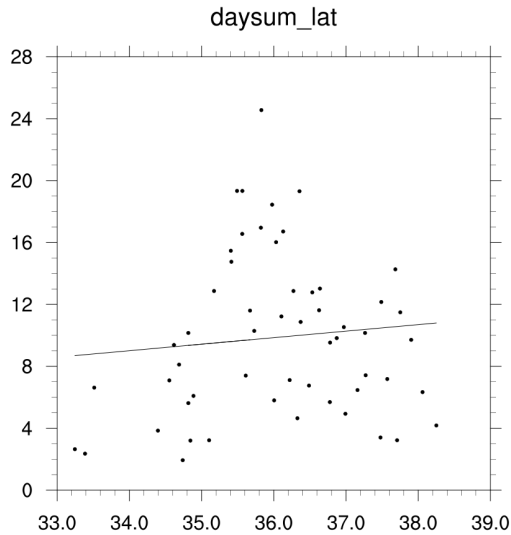


Figure 5. 위도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선

본 연구에서는 앞서 확인한 것과 같은 일반적인 상식과 상반되는 위도 및 폭염 시작일, 연간최고기온과의 관계가 해양 및 내륙 지역 차이로부터 기인한 것으로 보고, 해양지역과 내륙지역으로 나누어 다시 분석을 실시하였다. 새로운 결과는 Figure 6, 7, 8, 9에서 확인할 수 있다. 파란색은 해양 지역, 빨간색은 내륙지역을 나타내고 세모 모양은 동해안에 인접한 지역을 6개 지역을 나타낸다. 세모지역은 위도가 높은 지역부터 낮은 지역 순서로 각각 속초(90), 강릉(105), 울진(130), 영덕(277), 포항(138), 부산(159)을 나타낸다.

해양지역과 내륙지역으로 나눈 위도와 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수 관계의 경우 해양지역과 내륙지역이 합쳐진 Figure 2, 3, 4, 5 와는 상이한 결과를 보인다. 폭염 시작일에 대해서 내륙지역은 위도가 높아질수록 폭염시작일이 늦어지는 경향을 보이며(Figure 6), 연 최고기온 또한 내륙지방은 위도가 높아질수록 연 최고기온이 감소하는 경향을 보인다(Figure 7). 이는 우리의 일반적인 생각인 남쪽지방일수록 따뜻

하다는 생각과 일치한다. 그러나 해양지방의 경우 여전히 위도가 올라갈수록 폭염 시작일이 빨라지며, 연 최고기온 또한 증가하는 경향을 보이고 있다(Figure 6, 7). 이는 대체로 몇 개의 지점들에 의한 것이며, 앞서 구분한 해안도시(세모지역)이 주를 이룸을 확인할 수 있다.

폭염 마지막일은 해양지역과 내륙지역 둘 다 위도가 높아질수록 폭염 마지막일이 감소하는 경향을 보이며 내륙지역일수록 폭염 마지막일은 위도의 영향이 더 강함을 볼 수 있다(Figure 8). 해양지방의 경우 해양과 내륙의 비열차로 인해 해안지역은 위도에 따른 영향이 상대적으로 약한 것으로 여겨진다.

위도에 따른 폭염일수는 내륙지방의 경우 위도가 높아질수록 감소하는 경향을 보이며 해양지역의 경우 위도가 높아질수록 폭염일수가 미세하게 증가하는 경향을 보인다(Figure 9). 폭염 마지막일과 마찬가지로 내륙지역에서 위도의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

태백산맥과 소백산맥 오른쪽에 있는 해양지역 6개 지점들에[속초(90), 강릉(105), 울진(130), 영덕(277), 포항(138), 부산(159)] 대해 위도가 상대적으로 높은 지역은 속초(90)와 울진(105)이며 두 지점은 다른 지점들에 비해 폭염 마지막일 매우 빠르게 나타나며, 폭일일수 또한 매우 작은 값을 보인다.

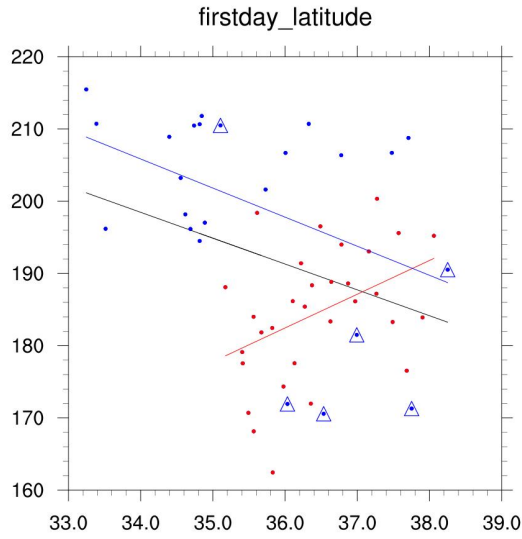


Figure 6. 위도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

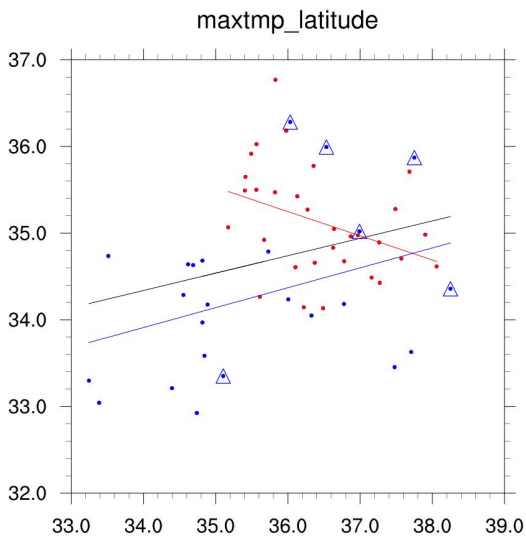


Figure 7. 위도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

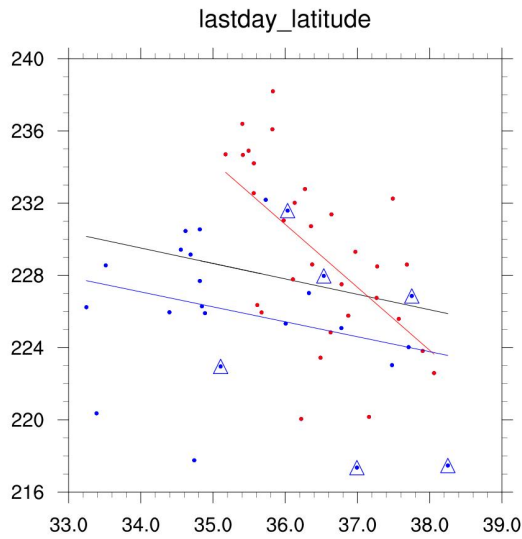


Figure 8. 위도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

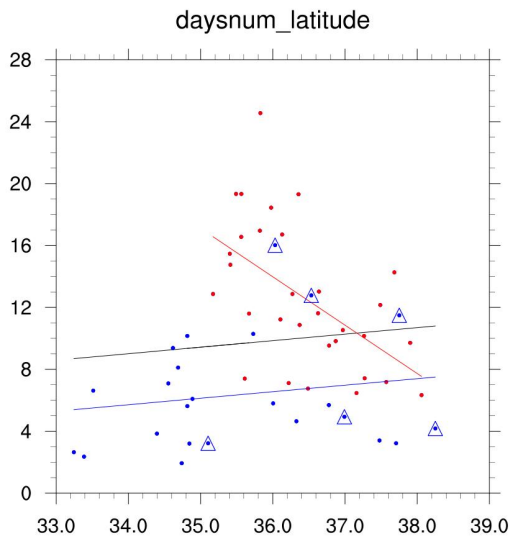


Figure 9. 위도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

2) 경도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수

Figure 10, 11, 12, 13 은 경도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수를 나타낸다. 경도에 따른 폭염 시작일은 경도가 높아질수록 빨라지는 경향을 보이며(Figure 10), 최고기온 또한 경도가 높아질수록 최고기온이 높아지는 경향을 보인다(Figure 11). 폭염 마지막일은 경도와는 무관한 경향을 보이며(Figure 12), 앞서 보았던 위도와 폭염 변수들과의 관계를 생각해 보면 폭염 마지막일은 경도보다는 위도에 좀 더 의존적임을 알 수 있다(Figure 8). 경도에 따른 폭염일수는 경도가 높아질수록 증가하는 경향을 보인다(Figure 13).

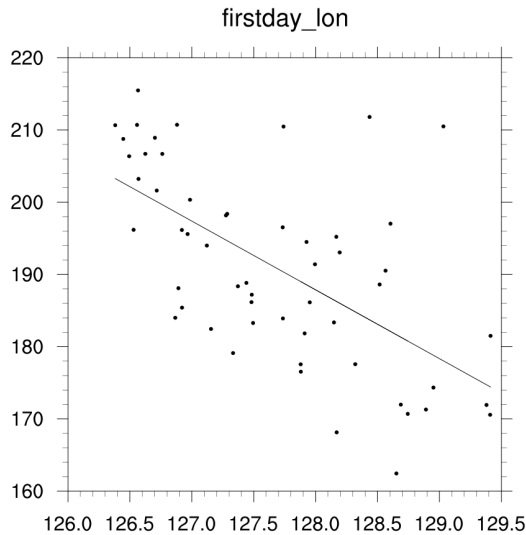


Figure 10. 경도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선

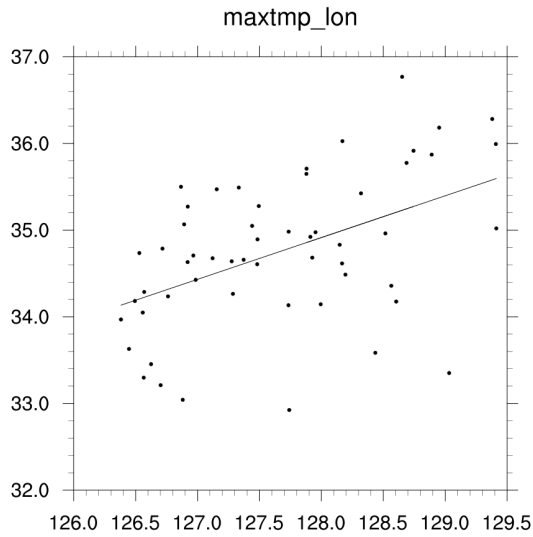


Figure 11. 경도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선

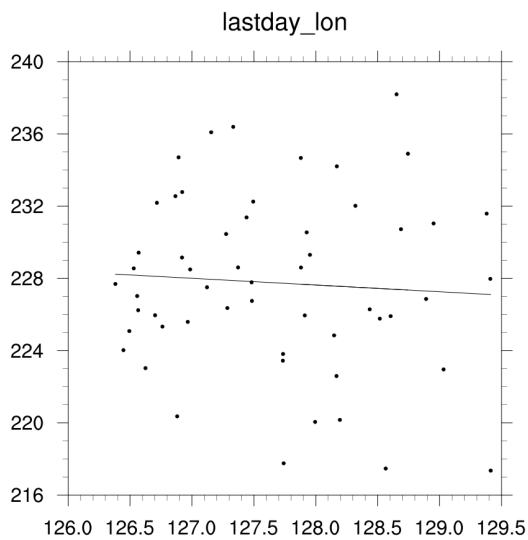


Figure 12. 경도에 따른 폭염 마지막의 산점도 및 회귀선

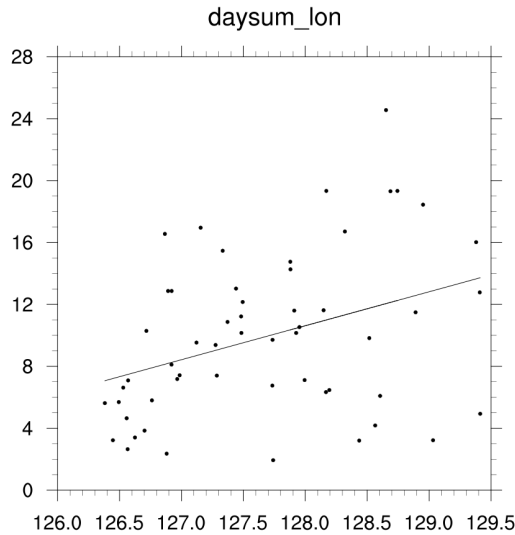


Figure 13. 경도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선

경도와 폭염 관련 변수들의 관계 또한 해양지역과 내륙지역으로 나누어 다시 분석을 실시하였다(Figure 14, 15, 16, 17.). 앞선 방법과 동일하게 해양지역은 파란색, 내륙지역은 빨간색, 동해안에 인접한 지역인 속초(90), 강릉(105), 울진(130), 영덕(277), 포항(138), 부산(159)은 세모로 표시하였다. 경도에 따른 폭염 시작일은 위도와 달리 해양지역과 내륙지역에 기울기 차이가 거의 없었으며(Figure 14.). 최고기온과 폭염 마지막일, 폭염일수 또한 해양지역과 내륙지역의 기울기 차이가 거의 없었다(Figure 15, 16, 17). 본 결과는 폭염 시작일, 최고기온, 폭염일수가 경도에 매우 의존적이라는 사실을 보여준다. 총괄적으로 정리해보면 폭염 마지막일은 위도에 더 의존적이며, 폭염 시작일과 최고기온 그리고 폭염일수는 경도에 더 의존적임을 알 수 있다. 이러한 분포의 원인을 더 명확히 조사하기 위해 폭염 관련 변수들(폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수)의 기후값을 지역분포로 나타내었다(Figure 18, 19, 20, 21).

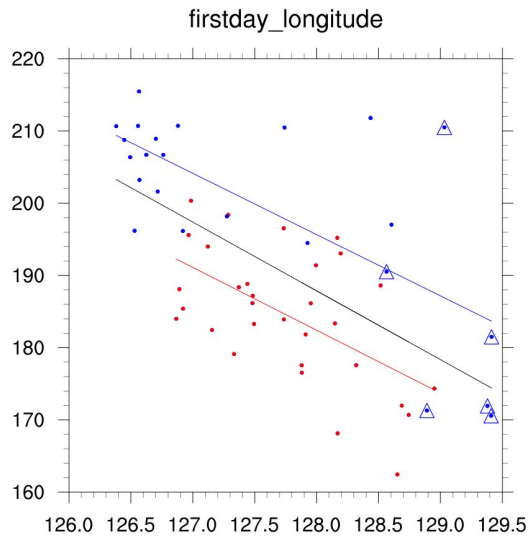


Figure 14. 경도에 따른 폭염 시작일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

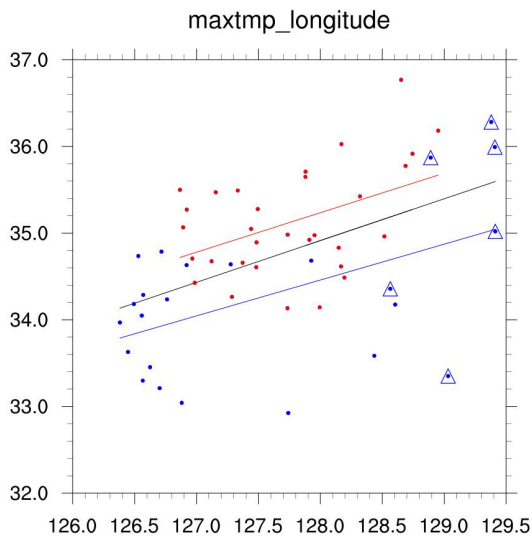


Figure 15. 경도에 따른 연최고기온의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

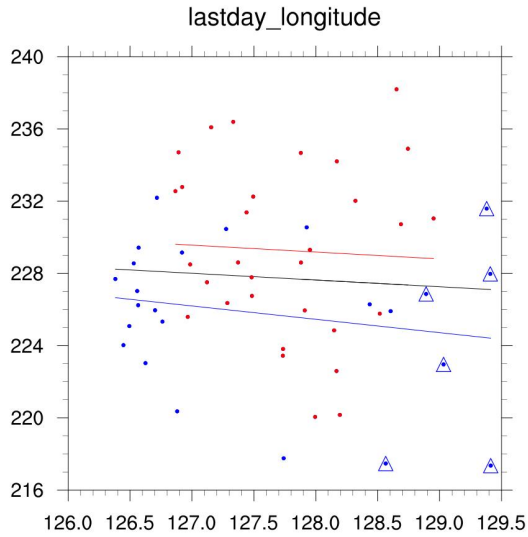


Figure 16. 경도에 따른 폭염 마지막일의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

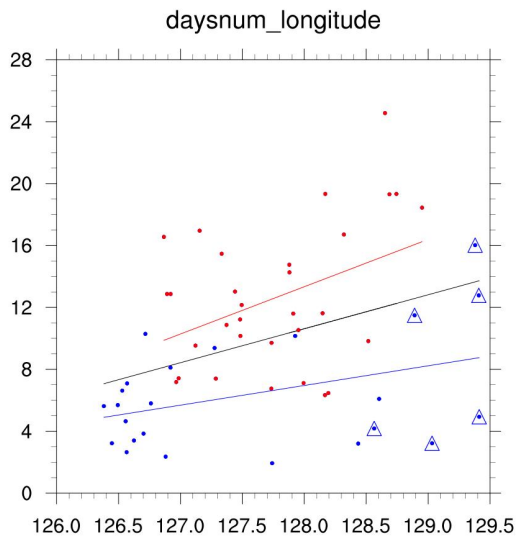


Figure 17. 경도에 따른 폭염일수의 산점도 및 회귀선(빨간색 : 내륙지역, 파란색 : 해양지역)

3) 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 기후 값에 대한 지역적 분포

Figure 18은 폭염 관련 변수들 중 폭염 시작일에 대한 기후값의 지역 분포를 나타낸다. 그 크기는 점의 크기와 색깔로 표현하였다. 즉 점의 크기가 클수록, 색깔이 진할수록 폭염 시작일이 빠르다는 것을 의미한다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 폭염 시작일이 빠르며, 산맥을 기준으로 보았을 때 동쪽지역에 대한 폭염 시작일이 6월 말에서 7월초로 나타난다. 또한 Table 2에서 보면 산맥의 동쪽과 서쪽의 폭염 시작일 차이가 약 -13일 차이이며, P-value 값 또한 매우 유의미함을 보인다.

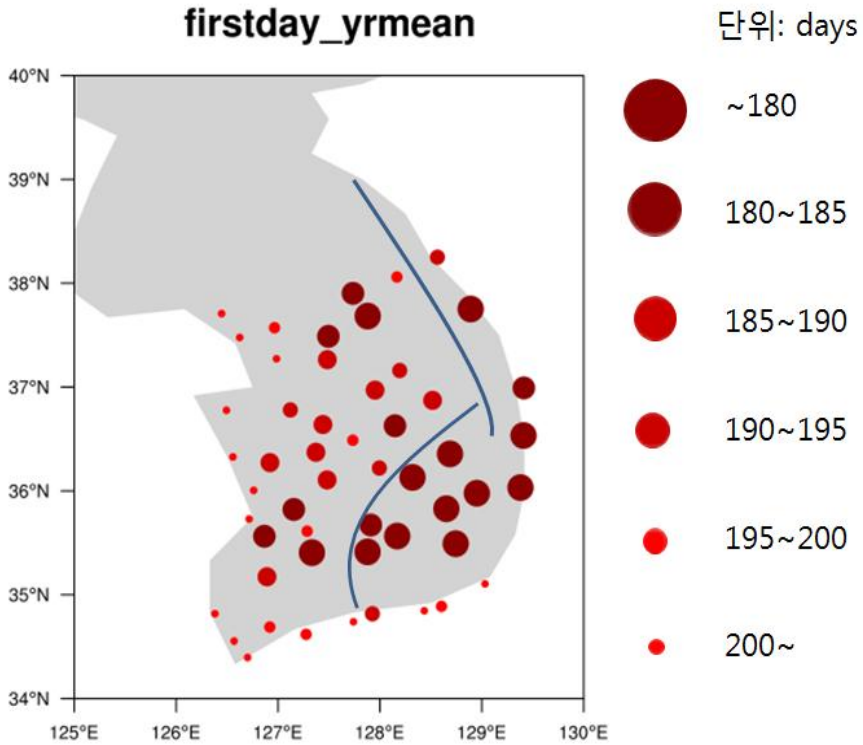


Figure 18. 폭염 시작일 기후 값의 지역 분포

Figure 19는 최고기온 기후값의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 연 최고기온이 높으며, 그 차이는 약 0.75°C이고 P-value 값 또한 매우 유의미함을 보인다(Table 2).

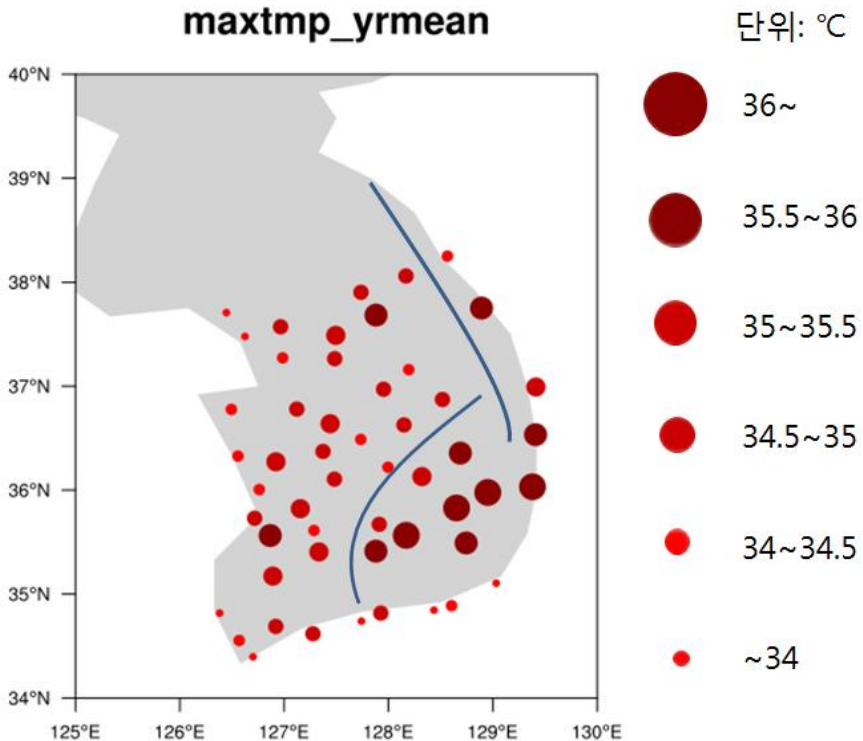


Figure 19. 연최고기온 기후 값의 지역 분포

Figure 20은 폭염 마지막일 기후 값에 대한 지역 분포를 나타낸다. 폭염 시작일 및 최고기온의 기후값의 지역 분포와 다르게 폭염 마지막일은 태백산맥과 소백산맥의 동쪽과 서쪽이 큰 차이가 없었다. P-value 값 또한 유의미하지 않았다(Table 2). 폭염 마지막일은 경도에 무관하며, 위도에 좀 더 의존적이다. 이는 북서태평양 고압대의 후퇴에 따라 자연스럽게 고위도부터 폭염이 종료되기 때문으로 분석된다.

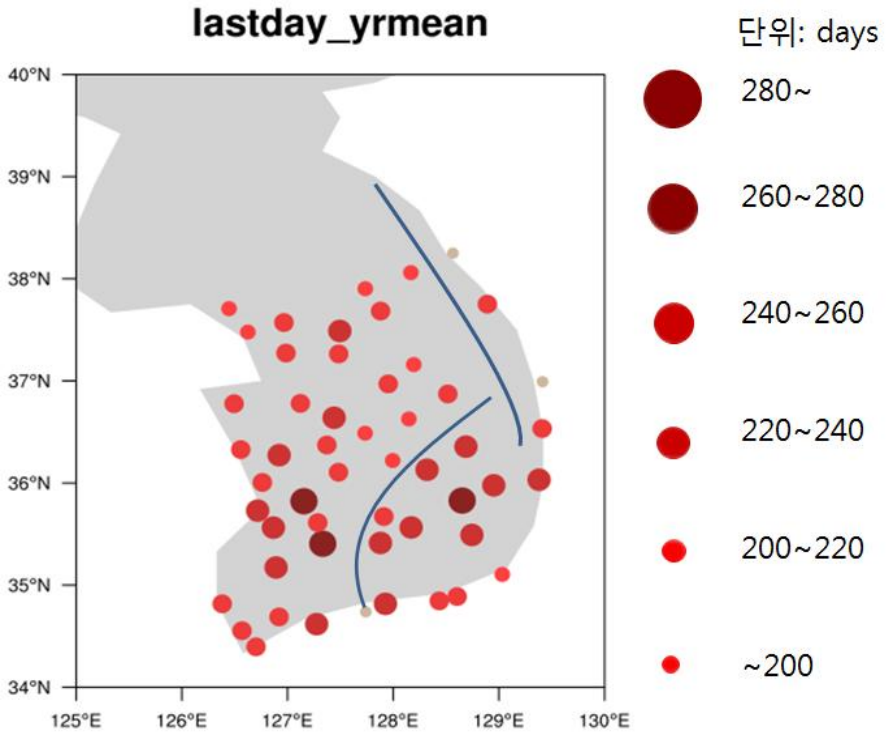


Figure 20. 폭염 마지막일 기후 값의 지역 분포

Figure 21은 폭염일수 기후값의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역보다 폭염 일수가 더 높았다. 그 차이는 약 4.6일이며, P-value 값 또한 유의미함을 보인다(Table 2).

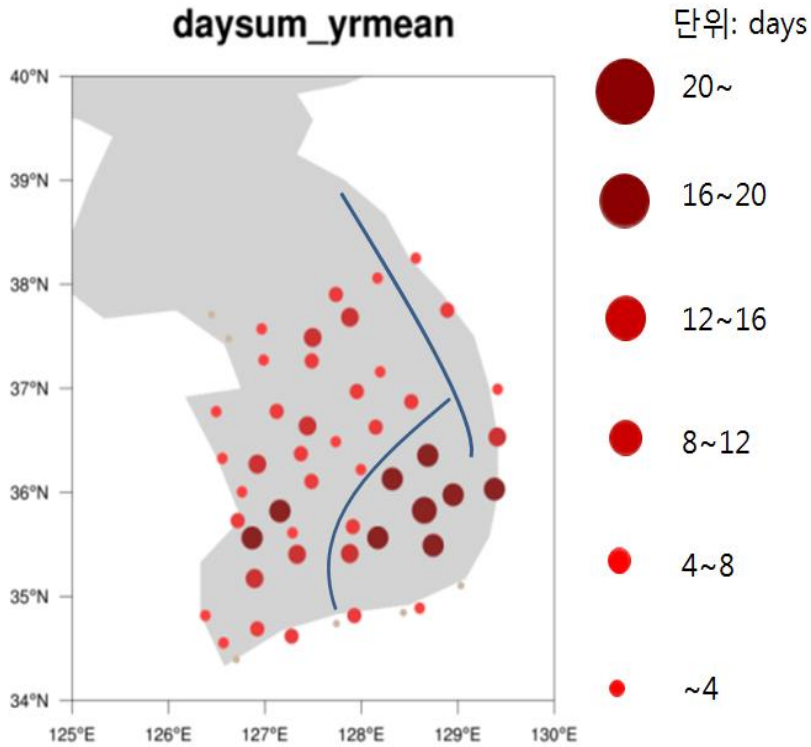


Figure 21. 폭염일수 기후 값의 지역 분포

Table 2. 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 폭염 변수 기후 값 및 P-value 값

	산맥 서쪽	산맥 동쪽	산맥 동쪽 minus 산맥 서쪽	P-value
폭염 시작일 (days)	195.177	182.0222	-13.1548*	0.002425654
연 최고기온 (°C)	34.5186	35.26745	+0.74885*	0.008067793
폭염 마지막일 (days)	227.1567	229.1177	+1.961	0.1921537
폭염일수(days)	13.05229	8.451463	4.600827*	0.01120018

4) 폭염 시작일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도

앞선 폭염 변수들(폭염 시작일, 최고기온, 마지막일, 폭염일수)과 위도 및 경도와 관계, 그리고 기후값의 지역 분포를 보았을 때 대체로 위도가 낮고, 경도가 높을수록 시작일이 빠르고, 최고기온이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 폭염 시작일과 최고기온 그리고 폭염일수에 대한 기후 값은 경도에 의존적이며, 폭염 마지막일은 경도에 무관하며, 위도에 좀 더 의존적이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 결과의 원인을 ‘여름철에 부는 바람과 그에 따른 풍향에 의해 뭉 현상이 발생하여 영동지방에 고온 건조한 바람이 발생하기 때문이다’ 라고 가설을 세웠으며, 이를 확인하기 위해 산맥의 동쪽과 서쪽에 대해 습도, 강수량 및 850hPa의 지위고도를 조사하였다.

Figure 22는 폭염 시작일의 습도에 대한 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 상대습도가 낮게 나타났다(Figure 22, Table 3). 산맥 동쪽지역의 상대습도는 79.2%, 서쪽지역의 상대습도는 81.3%으로 차이는 약 -2%이며, 수치적으로 큰 차이는 아니지만 P-value값은 통계적으로 유의하게 나타났다.

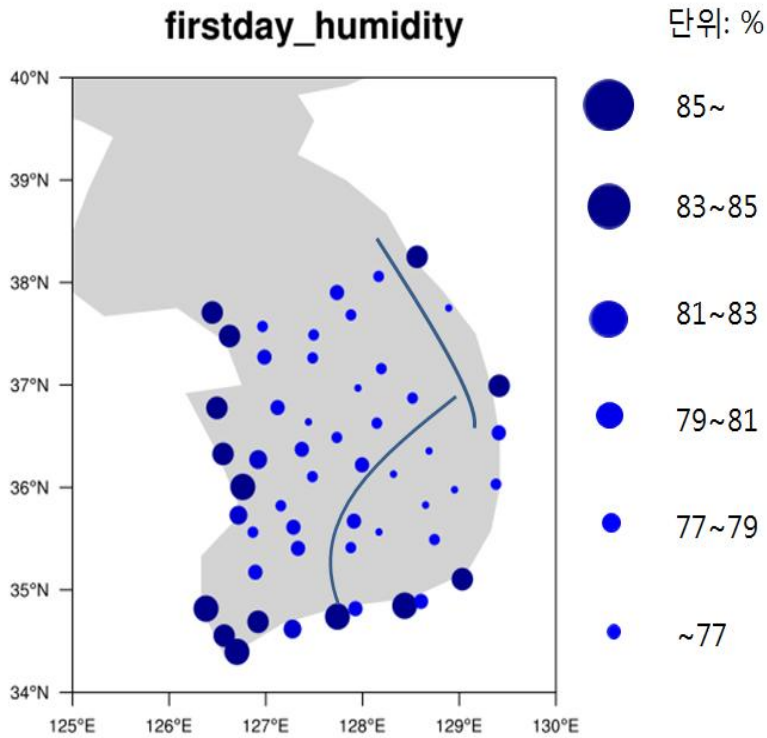


Figure 22. 폭염 시작일 기간의 상대습도 분포

Figure 23은 폭염 시작일에 대한 강수량의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 강수량이 낮게 나타났다(Figure 23, Table 3). 산맥 동쪽지역의 강수량은 15.6mm/day이며 산맥 서쪽지역의 강수량은 17.3mm/day이다. 이 두 지역의 강수량 차이는 -1.6mm/day 이며 P-value 값 또한 유의하였다.

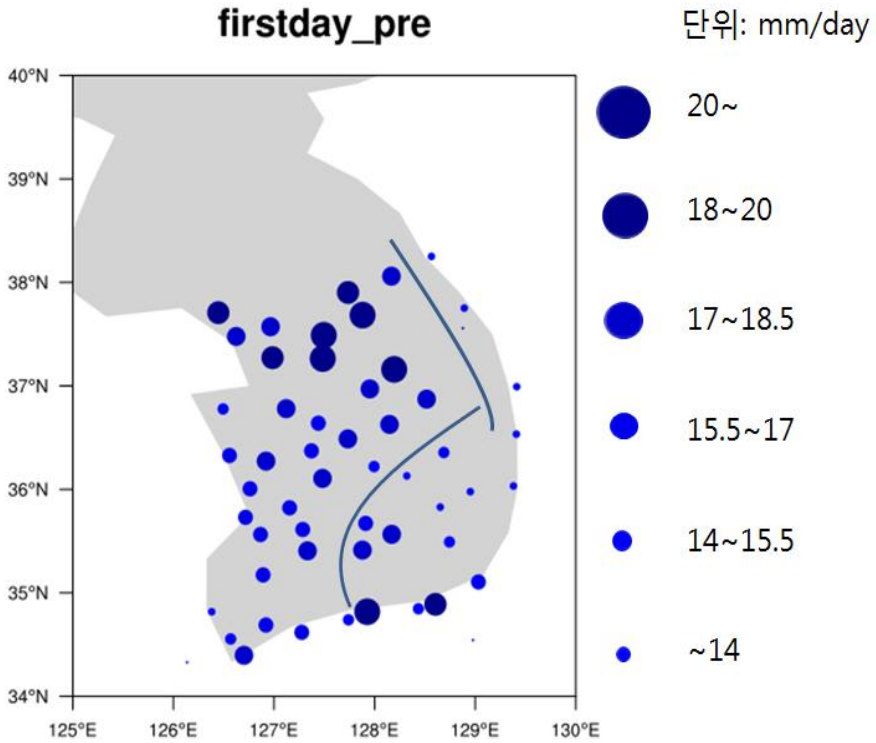


Figure 23. 폭염 시작일 기간의 강수량 분포

Figure 24는 폭염 시작일에 대해 850hPa의 지위고도를 분석한 그림이다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 해당기간동안 여름철 주풍대가 서풍 계열인 점을 알 수 있다. 이 서풍 계열이 한반도에 위치한 태백산맥과 소백산맥을 넘어 쾨 현상을 유발할 수 있다. 그에 따라 앞선 Figure 22, 23과 Table 3에서 볼 수 있듯이 폭염 시작일에 대한 습도 및 강수량이 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역과 서쪽지역 값이 차이가 난 것으로 보인다.

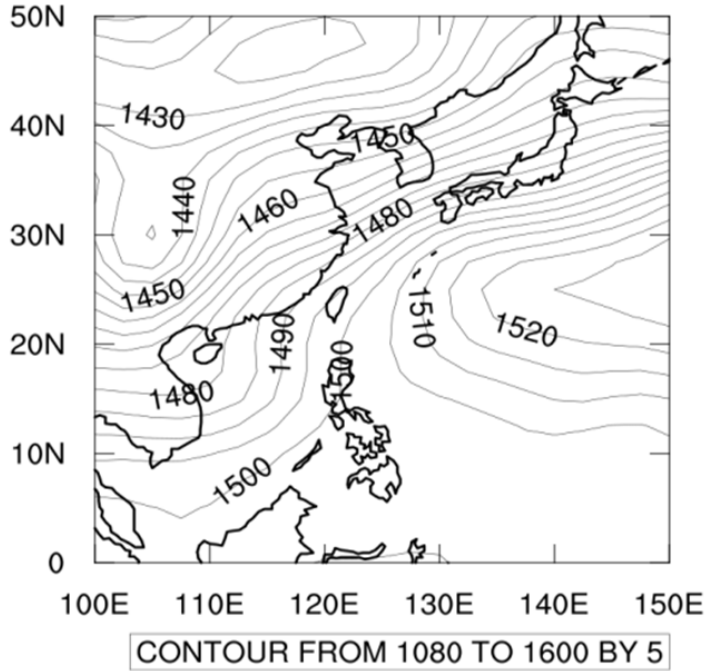


Figure 24. 폭염 시작일 기간의 850hPa 지위고도

Table 3. 폭염 시작일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값

상대습도(%)		상대습도 차이 값	P-value	강수량(mm/day)		강수량 차이 값	P-value
산맥서쪽	산맥동쪽			산맥서쪽	산맥동쪽		
81.29511	79.23072	-2.06439*	0.03232646	17.31587	15.66869	-1.64718*	0.05288061

5) 최고기온일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도

Figure 25는 최고기온일 대한 습도의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 상대습도가 낮게 나타났다(Figure 25, Table 4). 산맥 동쪽지역의 상대습도는 77.7%, 서쪽지역의 상대습도는 79.7%로 차이는 약 -2%이며, P-value값 또한 유의하다.

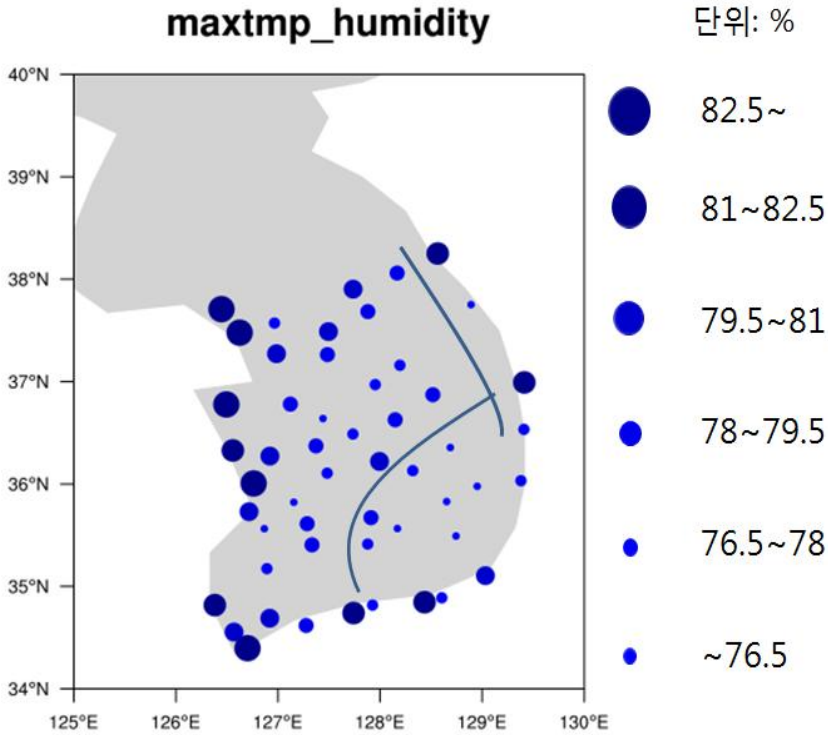


Figure 25. 최고기온일 기간의 상대습도 분포

Figure 26은 최고기온일에 대한 강수량의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 강수량이 낮게 나타났다(Figure 26, Table 4). 산맥 동쪽지역의 강수량은 14.3mm/day이며 산맥 서쪽지역의 강수량은 15.7mm/day이다. 이 두 지역의 강수량 차이는 -1.4mm/day 이며 P-value 값은 유의하지 않았다. 다만 여기에서는 냉지

않았지만 따로 내륙지방만을 비교할 경우 통계적으로 유의하게 달랐다.

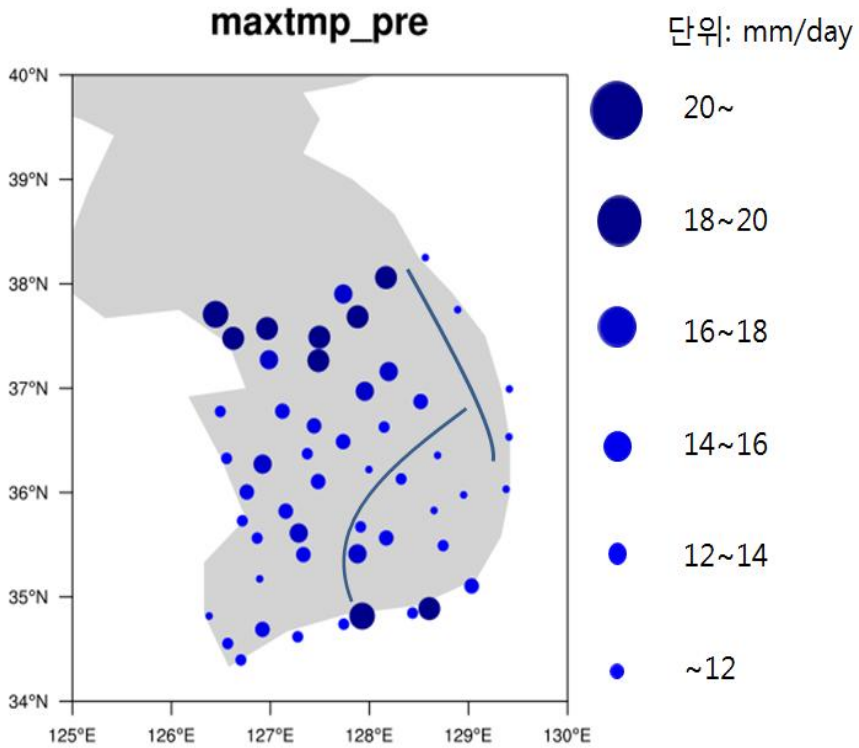


Figure 26. 최고기온일 기간의 강수량 분포

Figure 27은 최고기온일에 대해 850hPa의 지위고도를 분석한 그림이다. 최고기온일에 대한 850hPa 지위고도에 따르면 한반도에 남서풍 계열이 매우 우세하며 이 남서풍 계열이 한반도에 위치한 태백산맥과 소백산맥을 넘어 된 현상을 유발 할 수 있다. 그에 따라 앞선 Figure 25, 26과 Table 4에서 최고기온에 대한 습도가 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역과 서쪽지역 값이 차이가 난 것으로 보인다.

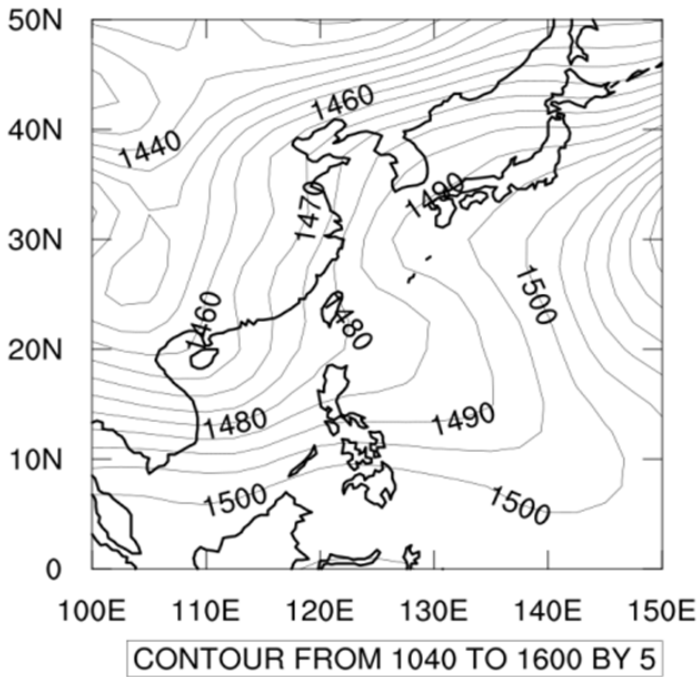


Figure 27. 최고기온일 기간의 850hPa 지위고도

Table 4. 최고기온일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값

상대습도(%)		상대습도 차이 값	P-value	강수량(mm/day)		강수량 차이 값	P-value
산맥서쪽	산맥동쪽			산맥서쪽	산맥동쪽		
79.71966	77.6553	-2.06436*	0.00900187	15.70859	14.2533	-1.45529	0.1193028

6) 폭염 마지막일에 대한 습도, 강수량 및 850hPa 지위고도

Figure 28은 폭염 마지막일 대한 습도의 지역적 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 상대습도가 낮게 나타났다(Figure 28, Table 5). 산맥 동쪽지역의 상대습도는 78.3%, 서쪽지역의 상대습도는 79.6%로 차이는 약 -1.3%이며, P-value값 또한 유의하다.

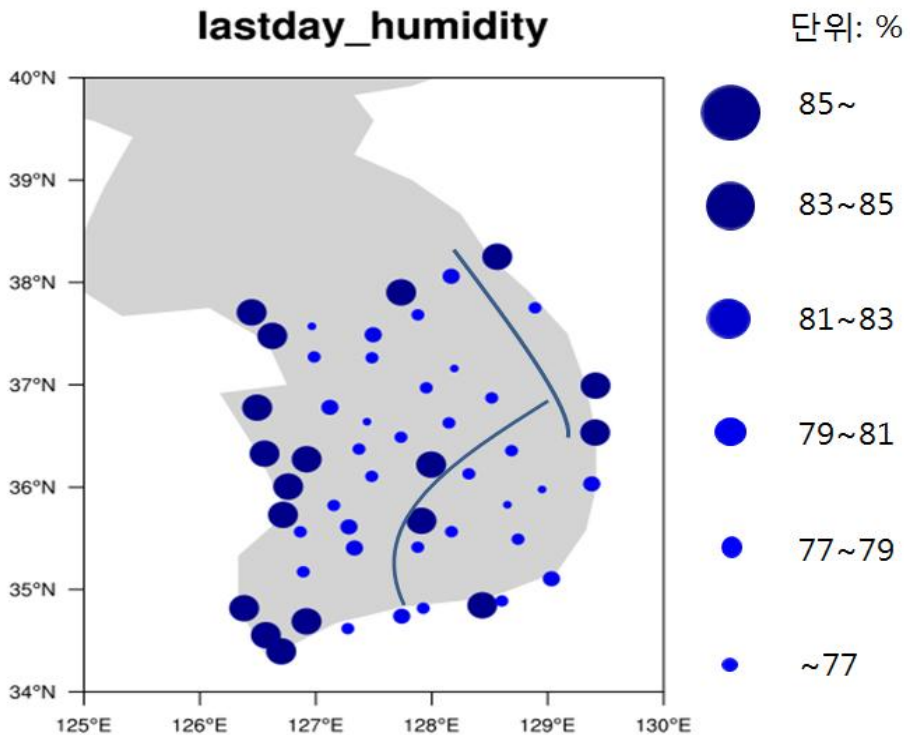


Figure 28. 폭염 마지막일 기간의 상대습도 분포

Figure 29는 폭염 마지막일에 대한 강수량의 지역 분포를 나타낸다. 태백산맥과 소백산맥을 기준으로 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 강수량이 낮게 나타났다(Figure 17, Table 5). 산맥 동쪽지역의 강수량은 16.3mm/day이며 산맥 서쪽지역의 강수량은 17.0mm/day이다. 그러나 이 두 지역의 강수량 차이는 약 -0.6mm/day 으로 매우 저조한 차이를 보이며 P-value

값 또한 유의성이 낮게 나타났다.

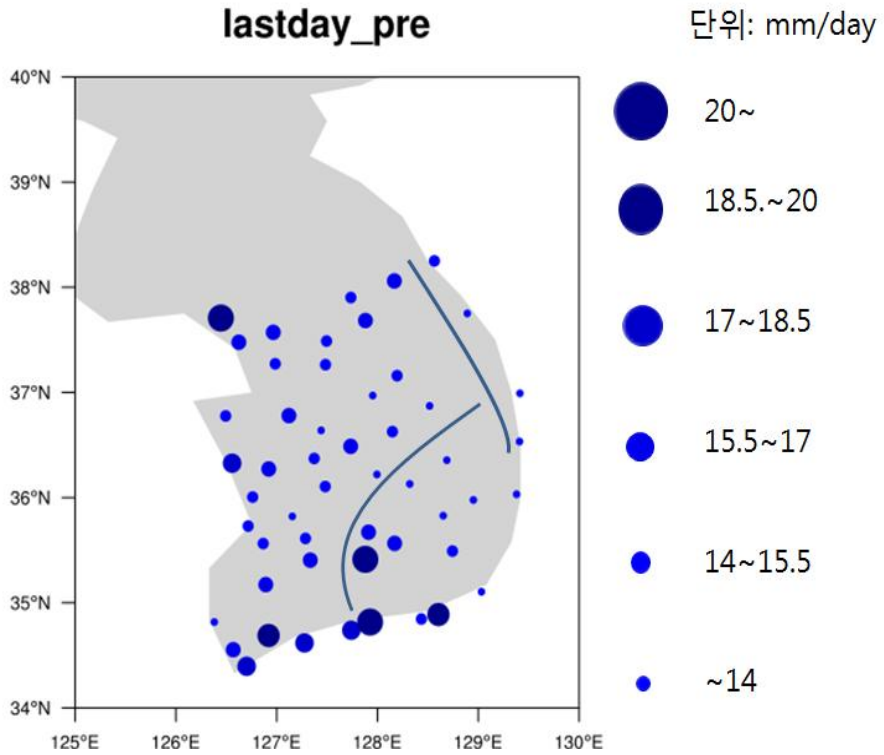


Figure 29. 폭염 마지막일 기간의 강수량 분포

Figure 30은 폭염 마지막일에 대해 850hPa의 지위고도를 분석한 그림이다. 폭염 마지막일에 대한 850hPa 지위고도에 따르면 한반도에 남풍 계열이 매우 우세하며 앞서처럼 동서간 췌 현상을 유발하기 어렵다는 사실을 알 수 있다.

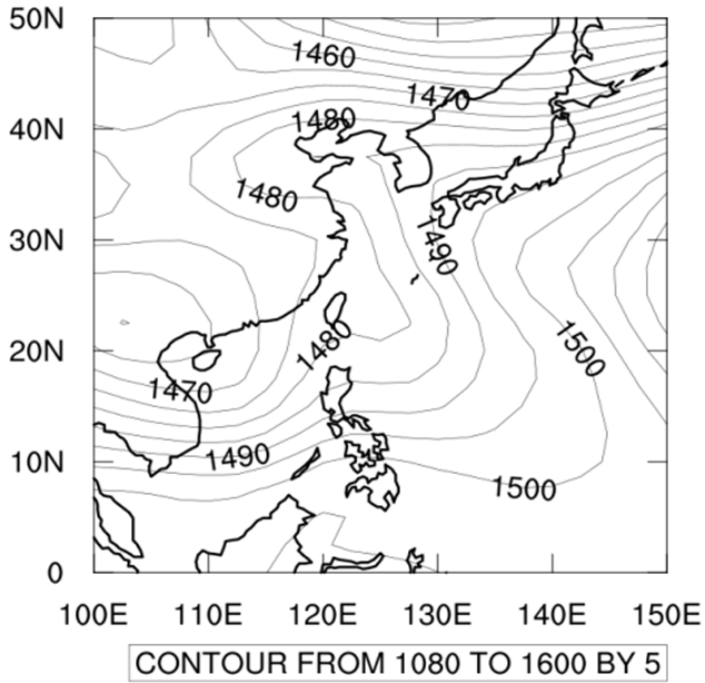


Figure 30. 폭염 마지막일 기간의 850hPa 지위고도

Table 5. 폭염 마지막일 기간의 산맥 서쪽과 동쪽에 대한 상대습도, 강수량 및 P-value 값

상대습도(%)		상대습도 차이 값	P-value	강수량(mm/day)		강수량 차이 값	P-value
산맥서쪽	산맥동쪽			산맥서쪽	산맥동쪽		
79.57137	78.27984	-1.29153*	0.05740125	16.96042	16.3485	-0.61192	0.4577791

7) 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성

본 연구에서는 폭염 관련 변수인 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 기후적 분석뿐만 아니라 추가적으로 폭염 변수의 연간 변동성과 그 메커니즘을 분석하였다. Figure 31은 폭염 시작일의 연간 변동성, Figure 32는 최고기온의 연간 변동성, Figure 33은 폭염 마지막일에 대한 연간 변동성을 각각 나타낸다. 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 경년 변동성은 존재하나 장기 변동성은 미미한 것으로 보인다(Figure 31, 32, 33, Table 6).

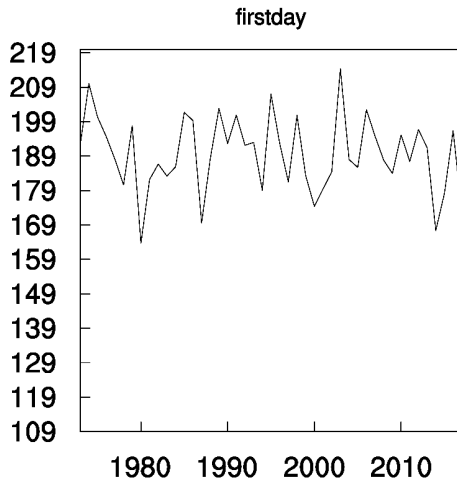


Figure 31. 폭염 시작일의 시계열 분석

Table 6. 폭염 관련 변수들의 선형회귀 값

	폭염 시작일	연 최고기온	폭염 마지막 일
Rc	0.1259129	0.07901692	0.01446642

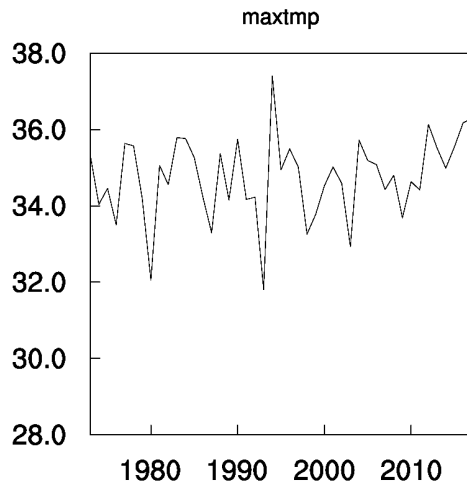


Figure 32. 연최고기온일의 시계열 분석

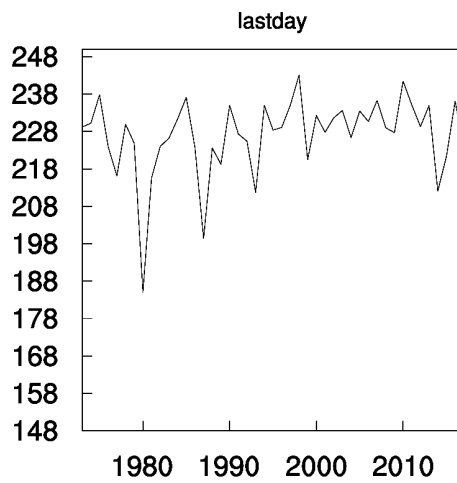


Figure 33. 폭염 마지막일의 시계열 분석

8) 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성 메커니즘

Figure 34는 폭염 시작일과 850hPa 지위고도에 대한 회귀분석 결과이다. 폭염 시작일이 늦어지는 경우에는 위도 20N에서 고기압 아노말리, 중국 및 한반도 상공에는 저기압 아노말리가 발생하는 경향을 보인다. 이는 폭염 시작일이 늦어질 때 해들리 순환의 약화가 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

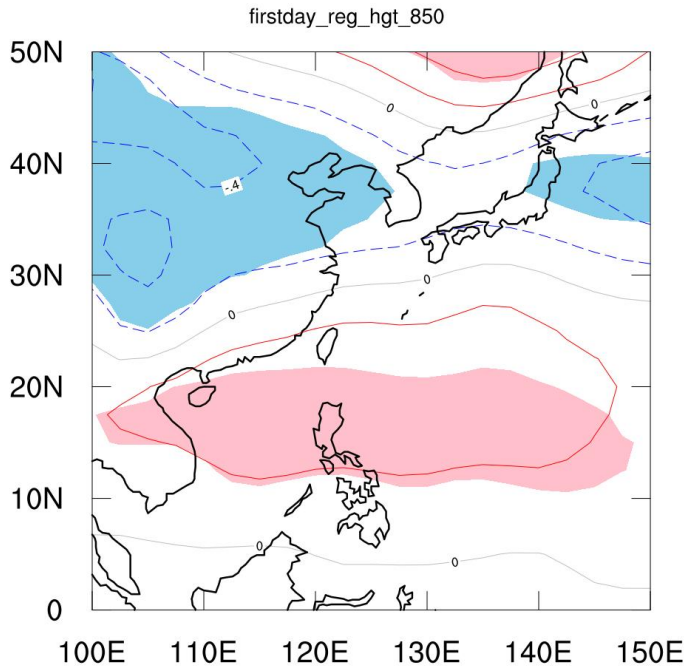


Figure 34. 폭염 시작일과 850hPa 지위고도의 회귀분석

Figure 35는 최고기온과 850hPa 지위고도의 회귀분석 결과이다. 최고기온이 높아지는 경우에는 한반도 상공에 고기압 아노말리가 발달하며, 최고기온이 1°C 올라갈 때 마다 한반도 상공의 기압은 4hPa가 증가함을 보인다. 즉, 우리나라에 고기압 아노말리가 위치할 때 매우 높은 고온현상이 발생함을 확인할 수 있다.

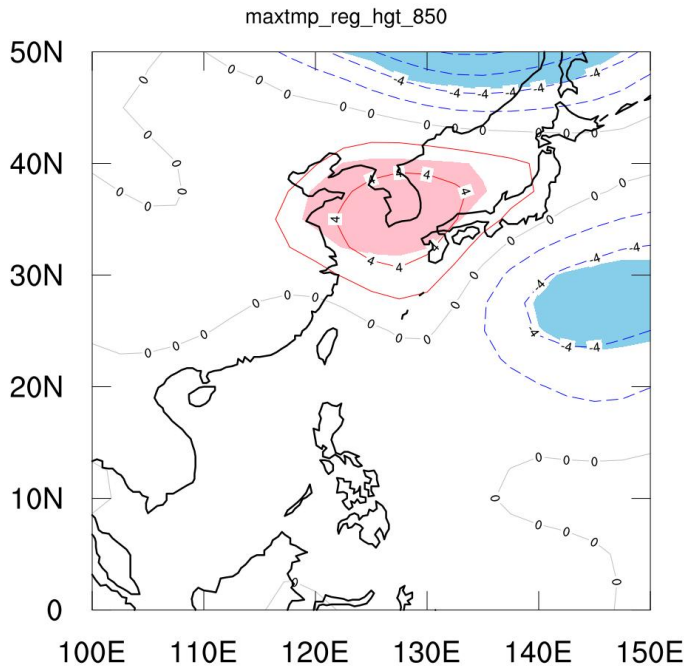


Figure 35. 최고기온과 850hPa 지위고도의 회귀분석

Figure 36은 폭염 마지막일과 850hPa 지위고도의 회귀분석 결과이다. 폭염 마지막일이 늦어지는 경우에는 저위도 상공에는 저기압 아노말리, 한반도 상공에는 고기압 아노말리가 생기며, 이는 해들리 순환이 강화된다는 사실을 시사한다.

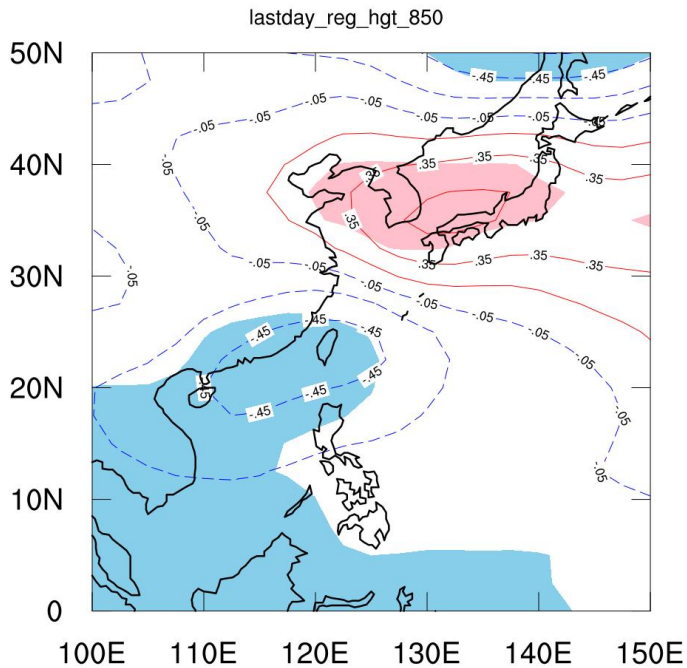


Figure 36. 폭염 마지막일과 850hPa 지위고도의 회귀분석

9) 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간변동성 메커니즘 2

Figure 37은 폭염 시작일과 해수면온도의 회귀분석을 통해 나온 해수면 온도이다. 폭염 시작일이 느려질 때 동태평양의 해수면 온도가 낮아 라니냐 유사형태가 나타난다(Figure 37).

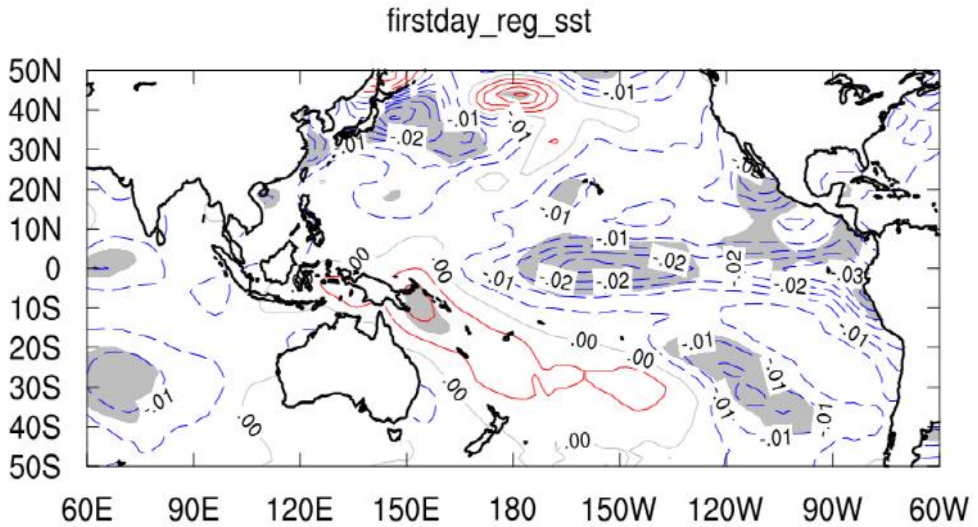


Figure 37. 폭염 시작일과 해수면 온도의 회귀분석

Figure 38은 폭염 마지막일과 해수면온도의 회귀분석 결과이다. 폭염 마지막일이 느려질 때는 서태평양의 해수면 온도가 높고, 동태평양의 해수면 온도는 낮게 나타나며 이는 라니냐 유사형태이다(Figure 38). 앞서 보았던 폭염 시작일과 폭염 마지막일 모두 라니냐 형태와 상관성이 높다는 것을 고려하면 폭염 시작일이 느린 해에는 폭염 마지막일도 느린 것으로 볼 수 있다.

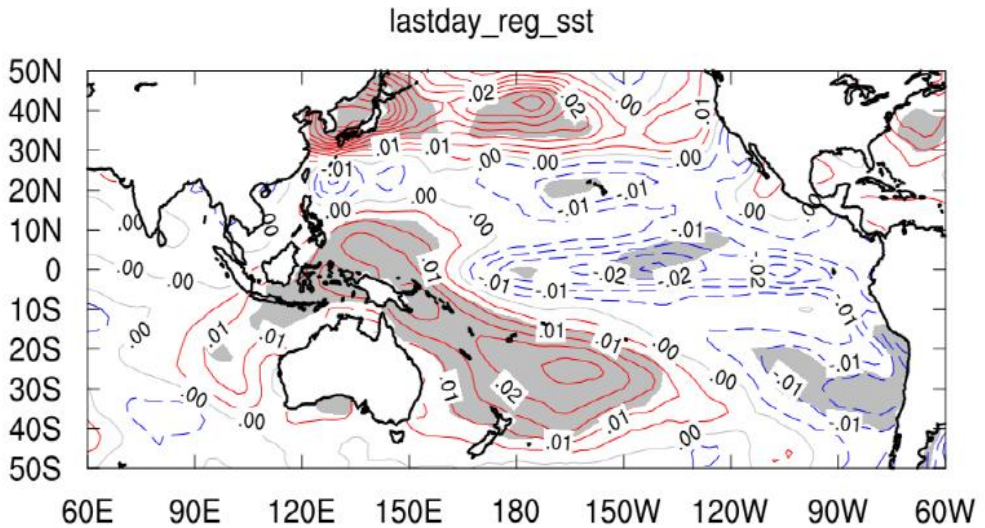


Figure 38. 폭염 마지막일과 해수면 온도의 회귀분석

Figure 39는 최고기온과 해수면온도의 회귀분석 결과이다. 최고기온이 높을수록 폭염이 심했던 2018년도 여름과 유사하게 열대 서태평양의 해수면 온도가 매우 높게 나는 특성이 나타나며 이에 따라 해들리 순환이 강화될 수 있음을 유추할 수 있다(Figure 39)

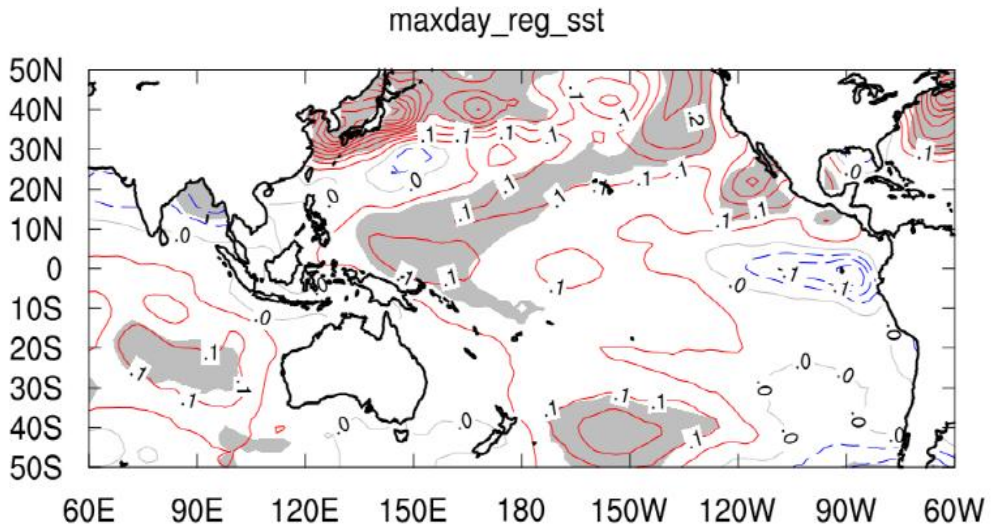


Figure 39. 최고기온과 해수면 온도의 회귀분석

Ⅲ. 결론 및 토의

본 연구에서는 한반도의 폭염에 대해 기후학적 특성 및 연간변동성 메커니즘에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 일 최고기온이 33℃ 이상인 날을 폭염으로 정의하고, 폭염 시작일은 해당연도의 첫 폭염일, 최고기온은 연최고기온, 폭염 마지막일은 해당연도의 마지막 폭염일, 폭염일수는 폭염이 발생한 날의 합으로 정의하였다. 1973 ~ 2017년까지의 45년 자료와 전국의 ASOS 55개(내륙지역 31개, 해안지역 24개) 지점을 통해 위도 및 경도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 관계를 나타내었다. 추가적으로 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 기후 값에 대한 지역 분포 또한 나타내었으며, 그 결과에 대한 원인을 편현상에 의한 영향으로 생각하여 상대습도, 강수량, 850hPa의 지위고도를 폭염변수들과 비교·분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

위도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 관계 중 폭염 시작일 및 최고기온은 위도가 올라갈수록 폭염 시작일이 빨라지며, 연 최고기온은 더 높게 나타났다. 이는 남쪽지방일수록 따뜻하다는 일반적인 생각과 상반된 결과를 보였으며, 내륙지방과 해안지방으로 나누었을 때 내륙지방은 위도가 올라갈수록 폭염시작일이 느려지며, 연 최고기온은 감소하는 경향을 보였고, 해안지방은 여전히 위도가 올라갈수록 폭염 시작일이 빨라지며, 연 최고기온은 증가하는 경향을 보였다. 주로 태백산맥과 소맥산맥 동쪽에 위치한 해안도시에 의해 이런 경향성을 유지함을 볼 수 있었다. 폭염 마지막일은 위도가 올라갈수록 폭염 마지막일이 빨라지며, 폭염일수는 증가하는 경향을 보인다. 내륙지역과 해안지역으로 나누었을 때 폭염 마지막일은 내륙지방일수록 위도의 영향이 더 강하였고, 그 원인은 해안지역은 해양의 영향으로 인해, 즉 해양과 내륙간의 비열차로 인해 해양지역이 위도에 따른 영향이 상대적으로 약한 것으로 여겨진다. 폭염일수는 내륙지역의 경우 위도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 해양지역은 위도가 증가함에 따라 미세하게 증가하는 것을 볼 수 있으며, 그 원인은 동해안에 인접한 도시의 영향으로 보인다.

경도에 따른 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수의 관계 중 폭염 시작일, 최고기온 및 폭염일수는 경도가 높아질수록 폭염 시작일은 빨라지고, 최고기온은 증가하며 폭염일수 또한 증가하는 경향을 보인다. 폭염 마지막일은 경도와는 무관한 경향을 보이며 앞에서도 언급하였듯이 위도에 좀 더 의존적임을 알 수 있다. 이 또한 위도와 마찬가지로 내륙지역과 해양지역으로 나누어서 재분석을 하였다. 폭염시작일, 최고기온, 폭염 마지막일, 폭염일수는 위도와 달리 내륙 및 해안 지역 사이에 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 폭염 시작일, 최고기온, 폭염일수는 경도에 매우 의존적이라 할 수 있으며, 여름철 주풍대가 남서풍인 것을 고려하면 썬 현상에 의한 것으로 추정된다.

그 다음으로는 폭염 변수들에 대한 기후 값을 지역적 분포로 나타내었으며, 태백산맥과 소백산맥 기준으로 동쪽지역은 폭염 시작일이 빠르며, 최고기온은 높고 동쪽지역과 서쪽지역에 대한 폭염 시작일과 최고기온의 차이가 통계적으로 유의하게 차이를 나타내었다. 폭염 마지막일은 남쪽지역 일수록 늦게 끝났고, 이것은 폭염 마지막일이 위도에 굉장히 의존적이었던 것과 일맥상통한 의미를 가진다. 폭염 일수는 산맥의 동쪽지역이 서쪽지역에 비해 폭염 일수가 적었으며 그 차이 또한 통계적으로 유의미하게 나타났다.

앞선 분석 결과들을 보았을 때 이러한 결과가 나오는 이유를 본 연구에서는 썬 현상의 영향으로 인한 것으로 고려하고, 그에 따라 썬 현상과 관련된 지표 및 대기장 특성 분석을 위해 폭염 시작일, 연 최고기온, 폭염 마지막일에 해당하는 각 기간 동안을 새롭게 정의하여 해당기간 동안의 평균장을 사용하였다. 폭염 시작일 기간은 6월 29일 ~ 7월 21일, 최고기온 기간은 7월 23일 ~ 8월 12일, 폭염 마지막일 기간은 8월 7일 ~ 8월 28일에 해당한다. 이 기간들에 해당하는 지표 및 대기장의 특성을 이용하여 폭염 변수들에 대한 썬 현상 가능성을 분석 하였으며, 폭염 변수들과 습도, 강수량 850hPa에 대한 대기장을 각각 분석하였다.

폭염 시작일 기간에 대한 습도와 강수량 분석은 태백산맥과 소백산맥 서쪽이 동쪽에 비해 상대습도와 강수량이 높았으며, 실제 산맥 동쪽지역과

서쪽지역의 상대습도, 강수량은 통계적으로 유의하게 차이를 보였다. 이는 썬 현상의 가능성을 보여주는 결과이다. 또한 폭염 시작일 기간에 대한 850hPa 지위고도는 실제로 해당기간에 한반도에 서풍이 매우 우세함을 볼 수 있으며, 이것 또한 썬 현상 발생 가능성을 뒷받침 한다.

최고기온일 기간에 대한 습도와 강수량 분석은 폭염 시작일과 유사하게 산맥 서쪽지역이 동쪽지역보다 습도와 강수량이 높았다. 다만 강수량의 경우 통계적으로 유의하진 않으나 내륙지역만 비교할 경우 통계적으로 유의하게 달랐다. 즉, 최고기온일 동안에도 썬 현상의 발생 가능성을 보여준다. 또한 최고기온일 기간에 대한 850hPa 지위고도는 실제로 해당기간 내에 한반도에 남서풍 계열이 우세함을 보이며, 이것 또한 썬 현상 발생 가능성을 뒷받침한다고 할 수 있다.

폭염 마지막일 기간에 대한 습도와 강수량 분석은 산맥 서쪽지역과 동쪽지역이 습도 차이는 발생하지만, 강수량은 큰 차이가 나타나지 않았으며, 850hPa 지위고도의 주풍대 역시 남풍으로 썬 현상과 무관하였다.

추가적으로 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일에 대한 연간 변동성과 그 변동원인에 대한 분석을 수행하였다. 사용된 모든 폭염 관련 변수들에서 장기 변동성이 소폭 증가하는 추세는 있지만 뚜렷하게 보이지는 않으며, 장기 변동성 보다는 경년변동성이 우세하게 나타났다.

이러한 폭염 관련 변수들의 연간 변동성과 그 메커니즘을 분석하였으며, 그 첫 번째 방법으로는 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일과 850hPa 지위고도에 대해 회귀분석을 실시하였다. 폭염 시작일이 늦어질수록 저위도 지역에 고기압이 형성되며, 중위도 상공에는 저기압이 발달함을 알 수 있다. 이는 폭염 시작일이 늦어질수록 해들리 순환이 약해진다는 것을 의미한다. 최고기온이 높아질수록 한반도 상공에 고기압이 발달하며, 폭염 마지막일은 종료일이 늦어질수록 해들리 순환이 강화되며 한반도 상공에는 고기압이 발달하는 것을 볼 수 있다. 즉 한반도 상공의 기압 배치에 따라 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일이 영향 받음을 나타낸다.

두 번째 방법으로는 폭염 시작일, 최고기온, 폭염 마지막일과 해수면 온도의 회귀분석을 실시하였으며 폭염 시작일이 느려질 때는 라니아 유사

형태가 보이며, 마찬가지로 폭염 마지막일이 느려질 때도 라니냐의 형태가 보인다. 즉 폭염 시작일과 폭염 마지막일이 라니냐 유사형태가 나타난다는 것을 고려하면 폭염 시작일이 느린 해에는 폭염 마지막일도 느린 것으로 판단된다. 최고기온이 높아질수록 폭염이 심했던 2018년도 여름과 유사하게 열대 서태평양의 해수면 온도가 매우 높게 나는 특성이 나타나며 이에 따라 해들리 순환이 강화될 수 있음을 유추할 수 있다.

한반도의 폭염에 대한 지역적 피해와 인간의 건강과 관련된 피해 등, 그리고 인간의 기후변화적응 측면에서 폭염의 기후적 분포는 매우 중요한 정보로 여기지기 때문에 한반도 폭염에 대한 기후적 분석은 필요하다고 보며 본 연구에 대한 결과를 토대로 폭염의 피해 예측 및 기후변화적응 측면의 연구에 활용 할 수 있을 것으로 생각된다.

【참고문헌】

- 기상청, 2018, 1994년과 비교한 2018년 폭염 특성, 보도자료
- 김연희, 김맹기, 강상현, 오재현, 박철규, 조천호, 2014, 대기순환지수에 기반한 한반도 열파의 미래 전망, Proceedings of the Spring Meeting of KMS
- 김지연, 이승호, 2007, 한국의 열파 분포와 그 원인에 관한 연구, 대한지리학회지, 제42권, 제 3호, 332-343
- 김지연, 2007, 한국의 열파 분포와 그 원인에 관한 연구, 석사학위 논문
- 김지영, 이대근, Jan Kysely 2009, 한국 주요도시의 폭염에 대한 기후 순응도 특성. 대기, 19(4), 309-318
- 김진아, 김규량, Cameron C. Lee, Scott C. Sheridan, Laurence S. Kalkstein, 김백조, 2016, 한반도 미래 폭염의 발생 분포 및 종관패턴 분석, Journal of climate research 11(1), 15-27
- 이명인, 강인식, 1997, 도시화에 의한 기온 상승, 한국기상학회지, 33, 429~443
- 질병관리본부, 2016, 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보
- 질병관리본부, 2017, 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보
- Choi, G.-Y., 2007, A definition of Korean heat waves and their spatio-temporal patterns, Journal of the Korean Geographical Society, 41(5), 527-544
- IPCC, 2007, Climate change 2007; synthesis report, Intergovernmental panel on climate change
- IPCC, 2013, Climate change 2013; The physical science basis intergovernmental on climate change
- Kim, Y.-J., Kim, H.-S., Kim, Y.-K., Kim, J.-K., and Kim, Y.-M., 2014, Evaluation of thermal environments during the heat waves of summer 2103 in Busan metropolitan area Journal of Environmental Science International, 23(11), 1929-1941(in Korean)
- Hulme, M., Z. C. Zhao, T. Jiang. 1994, Recent and future climate change in East Asia, Int. J. Climatology , 14, 637-658

Park, C. K. and Schubert, S. D., 1997, On the nature of the 1994 East Asian summer drought, *Journal of Climate*, 10(5), 1056-1070