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]I804:24011-200000266565

2018년 2월
박사학위 논문

2018년 2월 박사학위논문

광주·전남지방의 폭염특성과 영향에 관한 연구

광주·전남지방의 폭염특성과 영향에 관한 연구

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

우 종 택

우 종 택

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광주·전남지방의 폭염특성과 영향에 관한 연구

A Study on Characteristics and Impact of Heat Waves in Gwangju and Jeonnam Regions

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

우 종 택

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광주·전남지방의 폭염특성과 영향에 관한 연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학 박사학위신청 논문으로 제출함.

2017년 10월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

우 종 택

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

우종택의 박사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 정 효 상 (인)

위 원 한국기상전문인협회 이학박사 오 완 탁 (인)

위 원 조선대학교 겸임교수 이 종 호 (인)

위 원 조선대학교 교 수 정 병 옥 (인)

위 원 조선대학교 교 수 류 찬 수 (인)

2017년 12월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

List of Tables ii

List of Figures iv

ABSTRACT vii

제1장 서론 1

제1절 연구 배경 및 목적 1

제2장 자료 및 분석방법 5

제1절 자료 5

제2절 분석방법 6

제3장 분석결과 및 토의 9

제1절 광주·전남지방에서 발생한 폭염의 통계적 특성 10

제2절 광주·전남지방에서 발생한 폭염의 종관기상학적 특성 40

제3절 광주·전남지방의 미래 폭염전망 63

제4절 광주·전남지방의 폭염에 의한 건강취약성 평가 73

제4장 결론 95

참고문헌 98

Appendix 102

Appendix 1. 광주·전남지방의 읍·면·동별 폭염 건강취약성 평가 102

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table 2.1. Description of climate, patients with heat-related illness, and population data. ····· 8
Table 3.1. Regional heat wave days for the normal and recent 10 years. ····· 11
Table 3.2. Yearly heat wave days for the recent 10 years. ····· 13
Table 3.3. Same as Table 3.2 except for the recent 6 years. ····· 16
Table 3.4. Yearly earliest and latest heat wave date for the recent 6 years. ····· 21
Table 3.5. Same as Table 3.4 except for the regional. ····· 25
Table 3.6. Yearly heat wave duration for the recent 6 years. ····· 27
Table 3.7. Same as Table 3.6 except for the regional. ····· 29
Table 3.8. Regional heat wave longest period for the recent 6 years. ··· 31
Table 3.9. Same as Table 3.8 except for the yearly. ····· 31
Table 3.10. Yearly heat wave intensity according to heat wave duration for the recent 6 years. ····· 33
Table 3.11. Same as Table 3.10 except for the regional. ····· 35
Table 3.12. Yearly heat wave characteristics linked to changma for the recent 16 years. ····· 41
Table 3.13. Case study of heat wave patterns. ····· 43
Table 3.14. Classification of heat wave in 2012. ····· 47
Table 3.15. Same as Table 3.14 except for the 2013. ····· 53
Table 3.16. Same as Table 3.15 except for the 2016. ····· 59
Table 3.17. View of climate change on RCP 4.5(8.5) scenario in Korea peninsula and South Korea. ····· 64
Table 3.18. Same as Table 3.17 except for the Gwangju and Jeonnam. ··· 66
Table 3.19. Region of temperature increment at 21st last period. ····· 68
Table 3.20. Increased heat wave of RCP 4.5 and RCP 8.5. ····· 70

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.21. Classification of thermal problems. ····· 75
Table 3.22. Surveillance system of heat-related illness in KCDC. ····· 76
Table 3.23. Patients with heat-related illness from 2011 to 2016. ····· 76
Table 3.24. Same as Table 3.23 except for the age. ····· 77
Table 3.25. Patients with heat-related illness by occupation from 2015 to 2016. ····· 79
Table 3.26. The number of deaths by patients with heat-related illness from 2013 to 2016. ····· 80
Table 3.27. Proxy variables for the assessment of health vulnerability to heat wave. ····· 84
Table 3.28. Weighting factors of proxy variables for the assessment of health vulnerability to heat wave. ····· 85
Table 3.29. Health vulnerability assessment results to heat waves across in Gwangju and Jeonnam from 2001 to 2010. ····· 88
Table 3.30. Same as Table 3.29 except for from 2011 to 2030. ····· 90
Table 3.31. Same as Table 3.30 except for from 2031 to 2050. ····· 91
Table 3.32. Same as Table 3.31 except for the RCP 8.5 in Gwangju Namgu and Jeonnam Naju from 2041 to 2050. ····· 94

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 2.1. The KMA observational station in Gwangju and Jeonnam for this study. ····· 6
Fig. 3.1. Heat wave days for the normal and recent 10 years. ····· 12
Fig. 3.2. Yearly heat wave days for the recent 10 years(a), and pattern diagram of heat wave occurrence in 2016(b). ····· 14
Fig. 3.3. Heat wave days for the recent 6 years(a), and the map of Yeosu and Gwangyang(b). ····· 17
Fig. 3.4. The earliest and latest heat wave date with changma period for the recent 6 years. ····· 22
Fig. 3.5. 500hPa mean GPH for the normal and from 12 up to 17 September 2011(a), and 850hPa mean air temperature for normal and from 25 up to 27 May 2015(b). ····· 22
Fig. 3.6. Yearly heat wave duration for the recent 6 years. ····· 27
Fig. 3.7. Heat wave duration of a day and below a week(a), and over one week and two weeks or more(b) for the recent 6 years. ····· 28
Fig. 3.8. Regional heat wave longest period for the recent 6 years. ··· 31
Fig. 3.9. Yearly heat wave intensity(a), and heat wave intensity according to heat wave duration(b) for the recent 6 years. ····· 32
Fig. 3.10. Same as Fig. 3.9 except for the regional. ····· 34
Fig. 3.11. Mapping of heat wave statistical characteristics with solar term. ····· 39
Fig. 3.12. Heat wave characteristics linked to changma for the recent 16 years. ····· 42
Fig. 3.13. Time series of precipitation(a), and maximum temperature(b) from 01 June up to 31 August 2012. ····· 46
Fig. 3.14. Chart of heat wave days(a), and longest period(b), and intensity mean(c), and intensity maximum(d) from 20 July up to 26 August 2012. ····· 46

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.15. Weather chart of 200hPa mean GPH(a), and 500hPa mean GPH (b), 850hPa mean temperature(c), and 850hPa mean wind speed and anomalies(d) from 20 July up to 26 August 2012. ····· 49
Fig. 3.16. Heat index for the 20 July 2012(a), and 26 August 2012(b). ··· 50
Fig. 3.17. Weather chart of 850hPa GPH, temperature, mixing Ratio(a), and 1000-700hPa thickness, 850hPa Eq-P. temperature(K) (b) at 14:00KST 20 July 2012. ····· 50
Fig. 3.18. Same as Fig. 3.17 except for the 14:00KST 26 August 2012. ··· 50
Fig. 3.19. Same as Fig. 3.13 except for from 01 May up to 31 September 2013. ····· 52
Fig. 3.20. Same as Fig. 3.14 except for from 24 May up to 22 September 2013. ····· 52
Fig. 3.21. Same as Fig. 3.15 except for from 24 May up to 22 September 2013. ····· 55
Fig. 3.22. Same as Fig. 3.16 except for the 24 May 2013(a), and 22 September 2013(b). ····· 56
Fig. 3.23. Same as Fig. 3.18 except for the 14:00KST 24 May 2013. ···· 56
Fig. 3.24. Same as Fig. 3.23 except for the 14:00KST 22 September 2013. ····· 56
Fig. 3.25. Same as Fig. 3.19 except for from 01 June up to 05 September 2016. ····· 58
Fig. 3.26. Same as Fig. 3.20 except for from 07 July up to 04 September 2016. ····· 58
Fig. 3.27. Same as Fig. 3.21 except for from 07 July up to 04 September 2016. ····· 61
Fig. 3.28. Same as Fig. 3.22 except for the 07 July 2016(a), and 04 September 2016(b). ····· 62
Fig. 3.29. Same as Fig. 3.24 except for the 14:00KST 07 July 2016. ··· 62
Fig. 3.30. Same as Fig. 3.29 except for the 14:00KST 04 September 2016. ····· 62

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.31. Tendency of temperature(a), and extreme climate index(b). ···· 66
Fig. 3.32. Mean temperature(a), and maximum temperature(b) on RCP 8.5 at 21st last period. ····· 68
Fig. 3.33. View of heat wave days on RCP 4.5(a), and 8.5(b). ····· 72
Fig. 3.34. Newspaper on 19 May 2016(a), and 27 July 2016(b). ····· 74
Fig. 3.35. Patients with heat-related illness from 2011 to 2016(a), and population aged 65 or older at 01 November 2016(b). ····· 77
Fig. 3.36. Distribution of thermal problems(a), and occurrence place(b) from 2013 to 2016. ····· 78
Fig. 3.37. Occurrence date of heat-related illness for Gwangju and Jeonnam from 2013 to 2016. ····· 81
Fig. 3.38. VESTAP assessment tool. ····· 82
Fig. 3.39. Health vulnerability assessment results to heat wave across on RCP 4.5(a), and 8.5(b) in Gwangju from 2011 to 2050. 89
Fig. 3.40. Same as Fig. 3.39 except for the Jeonnam. ····· 89
Fig. 3.41. Same as Fig. 3.40 except for on RCP 8.5 in Gwangju Namgu(a), and Jeonnam Naju(b) from 2041 to 2050. ····· 93

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on Characteristics and Impact of Heat Waves in Gwangju and Jeonnam Regions

Woo, Jong-Taeg
Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su, Ph.D.
Department of Atmospheric Sciences
Graduate School of Chosun University

In order to cope with the heat wave which is the most worrying as a weather disaster in summer due to the recent climate change, various researches are needed not only for coping with after the occurrence of the heat wave, but also for preventing the damage in advance. Therefore, in this research, we investigated the frequency, start date, end date, duration and intensity of the heat waves occurred in 25 regions of Gwangju and Jeonnam regions during the recent 6 years(2011~2016), and the analysis of the spatio-temporal statistical characteristics connected with changma and synoptic meteorological characteristics that affect the occurrence and intensity of the heat wave. And we also carried out the health vulnerability assessment for the influence of the heat wave so that it could be used for the establishment of measures against the heat wave and the disaster management of the primary local government.

For the statistical characteristics of the heat wave, the annual average days of the heat wave in Gwangju and Jeonnam regions during the recent 6 years are 12.1 days which are more than during the recent 10 years(2007~2016), and the highest is in Hwasun and Gurye(26.1~26.5 days), and the lowest is in Heuksando and Yeosu(0.8~2.1 days). The geographical characteristics of insular, coastal regions where thermal cycling of the ocean with large heat capacity and water vapor works in the daily periodicity and inland basins and

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

mountainous regions are well shown.

It occurred a little more in May when the heat wave starts than in June, and more in September than in May, or June. The earliest heat wave was on May 24 which occurred in Gurye, Suncheon, and the latest heat wave was on September 22 which occurred in Hwasun. While recently early heat wave, dry changma and late summer heat wave were mixed, the early heat wave occurred much four times in Gurye, Hwasun where it was relatively less influenced by the ocean.

The longest duration days and average maximum intensity of the heat wave were 23 days(Aug. 3~Aug. 25) and 34.8℃ occurred in Naju and Hwasun, and the lowest intensity was average of 33.6℃, 1.2℃ lower in Heuksando which was affected by the ocean. In addition, in the inland basins and mountainous regions, Gurye, Hwasun, unlike insular, coastal regions, the influence of the ocean was blocked, and the heat was accumulated by fŏhn phenomenon where dry air flows in from the slope of the mountain range, and the unique topographic effect of the basin like an iron pot, so there were many heat waves which lasted for a long time of more than a week. Especially, if a heat wave lasts for a long time of more than 2 weeks, the soil moisture is reduced by the heating of the ground surface, the atmosphere is further dried, and the temperature rise is accelerated. Due to this feedback, the heat waves of strong intensity of average 35.0℃. or more occurred frequently.

Recently changma came earlier than normal years and while the days of changma increased by 1 to 2 days more than normal, the precipitation and rainy days decreased(81%, 0.3 days), so the increase tendency of the heat wave days(6.1 → 12.1 days) became clear. The precipitation and rainy days rather than changma period contributed relatively much to the occurrence of the heat wave.

For the synoptic meteorological characteristics, in the case of 2016, which recorded the longest heat wave lasting days, the atmospheric upper-middle

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

of high pressure belt developed from east to west, so the flow of atmospheric pressure system around the Korean peninsula was stagnant, and it played the role of blocking to confine the flow of high temperature, dry air which is 3 to 5℃ higher than the average years flowing in from China. As the atmosphere stabilized, convection was suppressed, cloud development was reduced and solar radiation was added, so the longest 23 days of the heat wave period was recorded in Naju and Hwasun, which was located in the central inland of Jeonnam.

For the future of the 21st century heat wave prospect according to the climate change prospect report of the Korea Meteorological Administration, the number of the heat wave days of Gwangju and Jeonnam regions are expected to increase rapidly 1.5 to about 5 times higher than the current climatic value in the middle, or the latter half of the 21st century. The frequent occurrence areas of the latter half of the 21st century will be Gwangju(Seo-gu, Gwangsan-gu, Nam-gu) and Naju, and are expected to be annual average maximum around 80 days, and the minimum prospect areas will be Wando, Jindo and Gurye and are expected to be annual average around 50 days or more. Also, the minimum temperature of the day in the latter half of the 21st century will be 13.5℃, which is 0.3℃ higher than the current mean temperature of the day in Jeonnam region, and -0.1℃ lower in Gwangju region.

In Gwangju and Jeonnam regions where the population of elderly people aged 65 and older is large which is relatively vulnerable to the danger of the heat wave(Gwangju 11.8%, Jeonnam 21.3%), women are inevitably engaged in agriculture, forestry and fishery, and during the recent 4 years(2013~2016), 760 patients with heat-related illness were found and 10 of them(6 women) died. The evaluation of health vulnerability by the heat wave utilizing VESTAP of Korea Environment Institute is weaker as the composite index is closer to 1, and at the evaluation results of Gwangju(5 gu's) and Jeonnam(22 cities and counties), the composite index of Nam-gu,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Gwangju(0.46~0.48) and Naju, Jeonnam(0.46~0.49) is the highest, and among them, Daechon-dong of Nam-gu(0.29) and Seongbok-dong of Naju(0.44) is expected to be relatively more vulnerable. In the above mentioned areas, it is analyzed that it is necessary to expand social and economic infrastructure and to make strategically response efforts to the climate exposure sector, the temperature rise.

The data of this research reflecting the social needs and the environment of the region is expected to be useful as a fundamental material for the establishment of a research base for the heat wave and disaster management, but it is still insufficient to utilize it for the heat wave forecast. If the potential influence of the heat wave is confirmed by accumulating sufficiently the data of patients and deaths of heat-related illness by each primary local government in the future, and the assessment is carried out by continuously updating social statistics, climate data, etc. which are utilized for the vulnerability assessment, that will be, we hope, the practical materials for the establishment of the counter policy of the heat wave.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

최근 기후변화로 인하여 기온상승, 해수면 상승, 홍수나 가뭄 등 강수량의 변화, 생태계 변화뿐 만 아니라, 사람들의 생활과 건강에 직간접적으로 영향을 미칠 것으로 우려하고 있다(Haines and Patz, 2004). 또한 더 빨라지고 더 길어지는 여름으로 인하여 폭염(heat wave)의 발생빈도가 높아지고 지속시간이 길어지면서 피해사례가 커지는 경향은 21세기 대부분의 육상지역에서 지속될 것으로 예측되고 있다(김지영 등, 2007).

특히 한반도의 경우 온난화 전망에 따라 폭염일수와 열대야일수와 같은 극한지수[1)]의 급격한 증가 경향이 전망되는 가운데, 2050년까지 폭염은 현재보다 약 2.4배, 열대야는 6.8배 증가할 것으로 전망(기상청, 2012)되어 가까운 미래에 건강뿐만 아니라 다양한 사회 · 경제적 영향과 피해로 이어질 수 있기 때문에 집중호우나 태풍 못지않게 가장 우려되는 위험기상으로서 폭염의 심각성을 인식해야 한다는 목소리가 높아지고 있다.

이처럼 폭염은 기후변화가 진행됨에 따라 피해와 영향이 가장 많이 증가될 것으로 우려되는 기상재해 중 하나로 다른 자연재해와 달리 광범위한 지역에서 장기간 동안 영향을 초래하고 있다(김도우 등, 2014). 현재까지 최악의 인명피해를 기록한 폭염사례는 2003년 8월에 프랑스 19,490명, 스페인 15,090명, 독일 9,355명 등 서유럽 지역과 2010년 7월 러시아의 넓은 지역에서 발생한 15,000명을 들 수 있으며, 미국에서도 최근 10년간(2004~2013) 폭염으로 인한 사망자가 연평균 170명에 달해 태풍(117명)과 홍수(74명)로 인한 사망자 보다 훨씬 많아, 가장 높은 사망률을 보이는 자연재해로 보고되었다(김도우 등, 2014).

우리나라에서도 1995년 7월 22~29일까지 서울의 평균기온이 30℃를 넘으면서 사망자 수가 1,074명으로 1991~1993년의 같은 기간에 비해 72.9%나 증가하였고(대

1) 서리일수, 결빙일수, 여름일수, 열대야일수, 폭염일수, 식물성장기간, 호우일수, 강수강도(기상청, 2012).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한의사협회, 2014), 2013~2016년에는 폭염에 의한 온열질환자가 총 4,926명이 발생하여 그 중 46명이 사망하였고, 광주·전남지방도 760명이 발생하여 10명이 사망하는 등 폭염의 강도는 갈수록 강해지면서 질병율과 사망자가 증가하고 있다

일상화되어 가고 있는 기후변화와 연계하여 여름철의 기상재해로서 가장 우려되는 폭염의 특성을 먼저 이해하고, 폭염으로부터 받는 영향을 근본적으로 저감시키려는 노력이 무엇보다도 중요하다.

폭염의 사전적 의미는 폭서(暴暑) 즉 불볕더위를 뜻하나 국외에서는 열파라는 용어로 흔히 사용하고 있다. 즉 극심한 이상고온이 수일 이상 계속되는 현상으로 이해할 수 있으며, 미국의 경우, 90.0°F(32.3℃) 이상 연속 3일 또는 이상의 기간(period 3 or more consecutive days with maximum temperature of 90.0°F)으로 정의하여 사용하고 있다. 캐나다의 경우, 32℃ 이상 연속 3일 이상의 기간(three or more consecutive days when the maximum temperature is 32℃ or more)으로 정의하는 등 국가별로 특정한 온도 이상 혹은 열지수(Heat Index, HI)[2] 이상 등을 혼용하고 있다.

폭염은 세계적으로 표준화된 정의는 없으나 일반적으로 기온이 어느 임계기온(threshold temperature)을 넘은 한정된 기간을 의미한다(Robinson, 2000). 또한 우리나라는 각종 정책수립 및 연구 등에 활용하기 위하여 기상청의 폭염주의보 기준인 일최고기온이 33℃ 이상인 날을 폭염일수로 정의하여 사용하고 있다.

현재 폭염은 재난 및 안전관리 기본법과 자연재해대책법 상 태풍, 홍수, 대설, 가뭄 및 지진 등과 같이 자연재난에 명확히 명시되지 않았지만 국민의 안전과 사회적 영향 등을 고려하여 자연재난에 준하는 자연현상으로 해석하여, 폭염과 관련된 정보는 부처별로 따로 생산·관리되고 있다. 대표적인 예로 폭염으로 인명과 재산피해를 최소화하기 위하여 폭염특보제[3]와 열지수, 더위체감지수 등 기상에 대한 정보는 기상청에서, 실시간 온열질환자 발생 등 피해에 관한 정보는 보건복지부 질병관리본부(Korea Centers for Disease Control, KCDC)에서, 무더위 쉼터 등 폭염에 대한 재난관리지원은 행정안전부와 지방자치단체에서, 폭염에 취약한 인구분포에 대한 정보는 통계청

2) 미국 기상청에서 기온과 습도에 따라 사람이 실제로 느끼는 더위를 지수화한 것으로 우리나라 기상청에서는 6~9월 동안 홈페이지를 통해 일 8회 제공하고 있으며, 지수는 낮음(27이상~32미만)→보통(32이상~41미만)→높음(41이상~54미만)→매우 높음(54이상~66미만)→위험(66이상)의 5단계로 분류됨.

3) 폭염주의보: 일최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때, 폭염경보: 일최고기온이 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

에서 주로 생산·관리하고 있다. 그러나 폭염의 피해에 대한 정보는 홍수, 태풍 및 대설과 같은 자연재난에 비해 미흡한 수준이며, 특히 신뢰성 있는 장기간의 지역별 통계자료가 부족하여 폭염대응 방안 연구와 대책수립에 어려움을 겪고 있다.

이러한 현실은 우리나라 폭염 위기대응체계가 선진국에 비해 아직 시작단계라는 평가를 받고 있다. 특히 도시화로 인한 인구밀집, 인구 고령화, 소득의 양극화 심화 등 인구구조 및 사회구조의 변화로 인해 노인, 노숙자 등 폭염에 취약한 인구가 증가하는 가운데, 폭염의 피해가 시기별, 지역별, 계층별로 상당한 차이가 있으나 현재 우리나라 폭염대책에는 이러한 특징들이 반영되지 못하고 있다고 하였다(김도우 등, 2014).

또한 김지영 등(2006)은 각 지역별로 기후 및 기후 적응도가 달라 고온 환경의 취약도가 서로 다르다는 것을 제시하였고, 최지혜 등(2015)은 '사회·경제구조가 복잡·고도화됨에 따라 폭염은 건강뿐만 아니라, 농·축산업 등 1차 산업, 에너지 및 수자원의 공급, 도로, 철도 등 사회 기반시설, 그리고 도시, 건축 환경 등에 영향을 주며, 이들은 각각 건강 영향을 악화시키거나 생산 및 경제활동에 영향을 미치는 등, 결과적으로 지역사회 주민의 건강 및 복지에 미치는 영향으로 환원 된다' 고 하였다.

이러한 지역 주민의 건강 복지를 위한 사회적 환경과 요구에 부응하기 위하여, 지역 특성이 반영된 폭염의 발생특성, 영향 및 피해 연구를 다각적인 방법으로 접근하는 것이 무엇보다도 중요하며 필요한 실정이다.

2. 연구 목적

최근 몇 년 동안 장마전선의 활동이 불규칙해지면서 심각한 가뭄과 폭염이 기승을 부리고 있다. 점차 더위가 찾아오는 시기가 빨라짐에 따라 기상청에서는 2008년부터 6~9월까지만 한정하여 운영하던 폭염특보 기간을 2015년 5월부터는 연중으로 확대하였다.

이러한 정책에 동승하듯 2015년 5월 25일에는 전라남도 순천시, 광양시, 구례군 및 곡성군에 첫 폭염주의보가 발령되었고, 2일 후에는 광주광역시, 화순군, 나주시, 영암군 및 담양군으로 확대되었다. 2016년에는 나주와 화순에서 가장 지속기간이 긴 폭염이 23일(8월 3일 부터 8월 25일)동안 발생하였고, 그 해 온열질환자는 278명(광주 91명, 전남 187명) 발생하여 그 중 3명이 사망하였다. 또한 나주, 영암 및 해남 등 10개 시·군 농가에서 닭, 오리, 돼지, 한우 등 모두 14만 8,287마리가 폐사하기도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하였다.

이렇듯 광주·전남지방은 농업 인구가 전국 1위(23%)이고, 고령층이 많아 폭염에 취약한 사회적 구조이나, 지형특성이 반영된 폭염의 발생특성 연구 자료가 부족하고, 미래 예상되는 폭염의 영향에 대한 기초자료가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 지역의 사회적 필요성과 환경을 반영하여, 광주·전남지방에서 발생한 폭염에 대해 지역특성을 고려한, 보다 상세한 시공간적인 통계적인 특징과 종관기상학적인 특징을 규명하고자 한다. 그리고 지방자치단체의 폭염대책 수립과 재난관리에 활용할 수 있도록 건강분야로 한정하여 폭염의 영향에 대한 취약성 평가를 실시하고자 한다.

본 연구의 결과는 지역의 폭염 연구기반 조성과 폭염의 대응체계 개선에 활용되어 궁극적으로 폭염예보의 정확도 향상과 폭염으로부터 인명과 재산피해 최소화에 기여할 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 자료 및 분석방법

제1절 자료

광주·전남지방에서 발생한 폭염의 통계적 발생 특징을 분석하기 위하여 폭염일수는 일최고기온이 33℃ 이상인 날로 정의하여, 기온자료(최고기온, 평균기온, 최저기온)와 강수량, 상대습도 자료 등은 기상청의 통계분석시스템에서 추출하여 활용하였다. 최근 10년(2007~2016) 동안의 분석은 1981~2010년까지의 평년값을 보유한 7개 지역(광주, 목포, 여수, 완도, 장흥, 해남, 고흥)의 ASOS(Automated Synoptic Observing System, 종관기상관측장비)에서 관측한 자료를 대상으로 비교·분석하였다.

최근 6년(2011~2016) 동안의 발생 경향을 보다 상세하게 국지적으로 이해하기 위하여 광주지방기상청 육상 국지예보 구역인 25개 지역으로 확대하여 분석하였다. 세부적으로 2011년부터 관측 자료를 보유한 ASOS급 5개 기상관측소(흑산도, 순천, 보성, 강진, 광양)와 이 외의 기초지방자치단체 13개 지역(화순, 구례, 나주, 곡성, 함평, 영암, 무안, 장성, 영광, 신안 압해도, 담양, 거문도, 진도 수유)은 시·읍에 설치된 AWS(Automatic Weather System, 자동기상관측장비)를 대표지점으로 하여 활용하였다. 진도군의 경우 첨찰산(476m)과 진도읍에 관측소가 있으나, 첨찰산은 타 지역보다 고지대인 산악에 위치하고, 진도읍은 2014년부터 자료를 보유하고 있어 대표지점을 진도읍 수유리에 있는 수유 AWS를 선정하였다.

폭염의 통계적 특징을 24절기와 연계하여 시계열로 분석하고자 『한국민속대백과사전』에서 제공되는 24절기 자료를 활용하였으며, 폭염 발생 시 종관기상학적인 분석을 위해 장마기간 등은 기상청에서 사후 발표한 자료를 재분석하였고, 기상청의 종합기상정보시스템, 기후감시전망시스템 등에서 각종 분석일기도와 시계열자료 등을 추출하여 활용하였다. 미래 폭염전망 분석은 기상청의 『한반도 기후변화 전망보고서(2012)』와 『광주·전라남도 기후변화 전망보고서(2012)』를 기반으로 재분석하였다.

폭염의 취약성 평가를 위하여 온열질환자 수 등 폭염에 의한 건강피해 자료는 질병관리본부의 온열질환 감시체계를 통해 집계한 『온열질환 신고현황 연보』를 활용하였으며, 지역별 폭염의 취약성 평가 및 분석을 위해서 환경정책·평가연구원에서 제공하는 지방자치단체의 건강취약성 평가 대용변수별 기초 자료를 활용하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

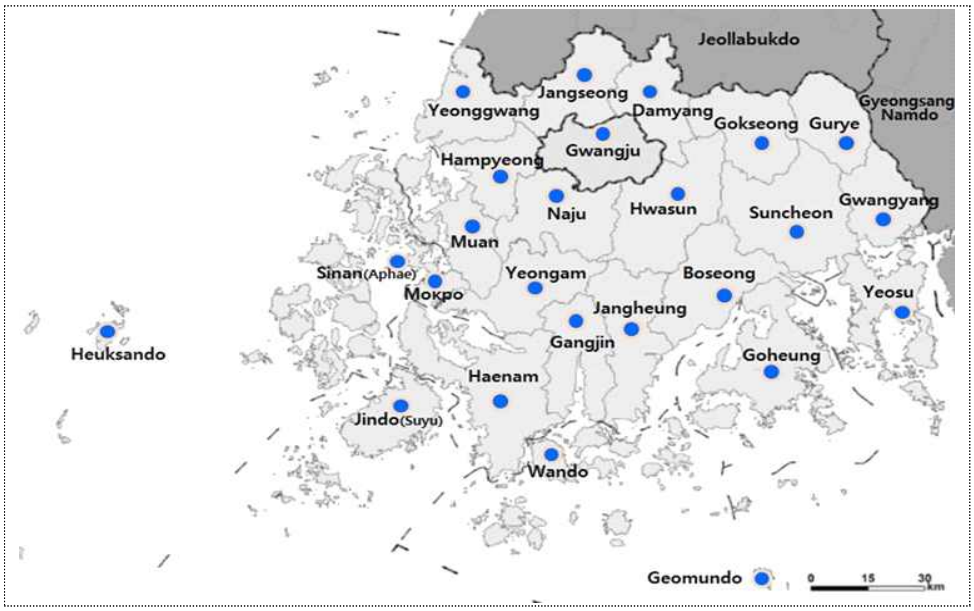


Fig. 2.1. The KMA observational station in Gwangju and Jeonnam for this study.

제2절 분석방법

폭염의 통계적인 발생특징 연구는, 평년값이 존재한 7개 지역을 대상으로 최근 10년 동안의 월별, 지역별 및 연도별 폭염 발생 특징을 상호 비교 · 분석하였다.

최근 폭염의 발생 경향을 국지적으로 이해하고자, 2011년부터 자료를 보유한 총 25개 지역으로 확대하여 최근 6년 동안의 월별, 지역별 발생 특징은 지형적인 특징과 연계하여 상세하게 분석하였으며, 폭염 발생 시기의 불확실성을 이해하고자 연도별, 지역별로 처음 발생일, 마지막 발생일 및 평균적인 발생 시기 등을 상세하게 분석하였다.

폭염재해에 영향을 줄 수 있는 폭염의 지속일수를 이해하기 위하여 1일, 1주 미만, 1주 이상 및 2주 이상 등으로 분류하여 연도별, 지역별 특징을 알아보았고, 폭염의 최장지속일와 폭염의 강도를 분석한 후 상호연계성 및 원인 등을 규명하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한 본 연구에서 분석한 통계적인 특징을 기반으로, 농사의 지침서(농사를 짓는 순서와 방법, 수확을 알리는 등)이면서 계절적 구분에 사용되고 있는 24절기와 비교하여 시계열로 분석하였다. 24절기는 우리 지역의 기후와는 정확하게 맞지 않지만, 광주·전남지역의 경우 농업 인구가 전국 1위로 많아, 매 절기마다 계절의 특성과 변화를 참고할 수 있기 때문에 지역적인 폭염특성과 연계하여 5월에서 9월까지 시계열로 분석하여 나타내었다.

종관기상학적인 폭염발생 특징 연구는, 최근 계절의 변동과 불규칙한 장마활동 등 여름철의 동아시아 몬순(monsoon)의 패턴변화가 불규칙하게 나타나고 있어, 최근 16년(2001~2016) 동안의 장마활동과 연계한 폭염패턴을 분석하였다. 이를 위해 장마기간의 장·단, 장마 강수량과 강수일수의 대·소 등을 분류하여, 두 집단 간(장·단, 대·소)의 각각의 평균적인 폭염일수 분석 등을 실시하였다.

폭염의 발생 mechanism을 규명하고자 장마가 종료된 후 나타나는 일반적인 폭염패턴으로 폭염일수가 상대적으로 많았던 사례, 가장 이른 폭염이 발생했던 사례와 마지막 발생일이 가장 늦은 사례, 극한폭염인 최장지속일수를 기록했던 사례 등에 대하여 최근 날짜 위주로 선정하였다. 각 사례별로 폭염이 발생하기 시작한 날부터 가장 늦은 폭염이 발생한 날까지, 대기 중상층과 하층의 평균적인 상태를 각종 일기도와 시계열 자료를 통해 평년값과 비교하여 대기패턴의 변동성을 규명하였다. 해당 사례의 광주·전남지방의 국지적인 대기상태를 규명하고자 가장 이른 폭염일과 가장 늦은 폭염일에 대기 하층의 기온분포와 바람장 등을 분석하였다. 또한 더위를 지수화한 열지수를 아래 식 1을 통해 해당일의 최고기온과 이때의 상대습도로 구하여 분석하였다.

< 식 1 >

$$HI(°F) = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R - 0.22475541TR - 6.83783 \times 10^{-3}T^2 - 5.481717 \times 10^{-2}R^2 + 1.22874 \times 10^{-3}T^2R + 8.5282 \times 10^{-4}TR^2 - 1.99 \times 10^{-6}T^2R^2$$ [T : 일최고기온(°F), R : 상대습도(%)]

미래 예상되는 폭염 전망 연구는, 온실가스 농도 전망 기법인 RCP(Representative Concentration Pathways, 대표농도경로) scenario의 RCP 4.5(온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우)와 RCP 8.5(온실가스 배출이 현재 추세로 유지되는 경우)를 비교하여 21세기 전반기(2011~2040년), 중반기(2041~2070년), 후반기(2071~

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2100년)로 분류하여 분석하였다. 기상청의 『한반도 기후변화 전망보고서(2012)』를 근간으로 한반도와 남한의 폭염, 열대야 및 기온(평균기온, 일최고기온, 일최저기온)의 전망과 경향성(10년당)을 살펴보았다. 또한 기후변화에 노출되는 정도나 취약성 정도에 따라, 기후변화 영향이 지역적으로 달라지기 때문에『광주·전라남도 기후변화 전망보고서(2012)』를 기반으로 광주광역시와 전남지방(목포시 등 전라남도 22개 시·군의 평균)의 평균적인 미래 전망과 시·군·구별 상세 미래 전망을 상승지역과 최고·최저지역 등으로 분류하고 도식화하여 미래에 예상되는 극한 기후현상에 대비하고자 하였다.

폭염의 건강취약성 평가 연구는, 먼저 질병관리본부의 『온열질환 신고현황 연보』를 근간으로 폭염 피해의 일반적인 특징을 해석하였고, 『광주·전남지역의 온열질환자 발생현황』을 근간으로 폭염에 의한 인명피해, 취약계층 분포, 연령별·직업별 분포, 도시와 농촌지역의 위험도 차이, 온열질환자 발생 시기 등을 분석하였다.

폭염의 취약성(vulnerability) 평가는 건강 부문으로 한정하여, 환경부의 한국환경정책·평가연구원에서 지원하고 있는 웹 기반의 취약성 평가 도구인 VESTAP(Vulnerability Assessment Tool to build Climate Change Adaptation Plan)을 활용하여 수행하였다. 대용변수는 기후노출, 민감도 및 적응능력이며, 광주광역시 5개의 자치구와 전남지방의 22개 시·군, 그리고 읍·면·동을 대상으로 절충형 방법과 상대평가로 평가결과를 제시하여 기후변화 적응대책 수립에 참고하도록 하였다.

Table 2.1. Description of climate, patients with heat-related illness, and population data.

	Climate (http://kma.go.kr/)	Patients with heat-related illness	Population (http://kosis.kr/)
Source of data	ASOS and AWS	Heat-related illness surveillance system	Statistics on residents by local government
Elements	Monthly(mean/maximum /minimum) temperature	The number of patients with heat-related illness	The number of population
Temporal resolution	Daily	Daily	Yearly
Period	30 years(1981~2010) 10 years(2007~2016) 6 years(2011~2016)	2011~2016	2011~2016

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 분석결과 및 토의

우리가 매일 경험하는 기상과 대기의 종합 상태인 기후는 지리적 위치, 즉 위도 및 대륙과 해양에서의 위치, 지형, 고도, 식생, 그리고 주위에 흐르는 해류 및 수온 등의 특성에 의하여 영향을 받는다. 광주 · 전남지방에서 발생한 폭염의 특성을 이해하기 위해서는 기상과 기후를 지배하는 인자의 고찰은 필수적이다.

한반도의 남서쪽에 위치한 광주 · 전남지방은 125° 04′ ~ 127° 54′ E, 33° 54′ ~ 35° 30′ N 에 위치하여, 남북 간 위도의 차이는 약 2° 로 크지 않아 태양복사량의 차이는 크지 않다. 서쪽과 남쪽으로는 바다와 접해 있으며, 해안은 굴곡이 심한 리아스식 해안으로 해안선이 6,743㎞이며, 2,219 개의 많은 섬으로 구성되어 있다. 서해는 천해로 8월 중 · 하순경에 최고수온이 나타나지만 남해는 서해보다 깊어 열용량이 크기 때문에 8월 하순~9월 상순경에 최고수온이 나타난다. 북쪽은 노령산맥으로 전북지방과 경계를 이루고 동쪽으로는 소백산맥이 경남지방과 나누어진다. 소백산맥으로부터 뻗어 나온 산간지대가 북동쪽의 지리산 노고단(1,507m)으로부터 무등산(1,187m), 조계산(884m), 월출산(809m) 등을 끼고 해남까지 대각선으로 뻗어 있다. 또한 광주, 나주, 무안, 목포 등을 지나 서해로 흐르는 영산강 주변에 넓은 나주평야가 위치하며, 남해로 흘러가는 탐진강과 북서로 흘러가는 보성강이 합류한 섬진강이 남해로 흐르고 있다. 이러한 지형적인 특성에 따라 광주 · 전남중부내륙(광주, 나주, 장성, 담양, 화순), 전남동부내륙(순천, 구례, 곡성), 전남중 · 북서해안(목포, 무안, 영암, 함평, 영광), 전남서부남해안(완도, 장흥, 해남), 전남동부남해안(여수, 광양, 고흥, 보성), 전남남부서해안(진도, 해남의 황산, 화원, 문내, 산이면), 대흑산도, 홍도 지방으로 구분되어진다.

기후구분은 남부서해안형, 남해안형, 남부평지다우형으로 구분되며, 남부서해안형은 노령산맥 서쪽의 영광, 무안, 목포와 서해안의 섬들이 속하며, 연평균기온은 12~14℃, 최난월 평균기온은 25℃ 내외, 최한월 평균기온은 −1~2℃ 정도이다. 남해안형은 완도, 장흥, 해남, 여수, 고흥과 남해안의 섬들이 속하며, 연평균기온은 13~14℃, 최난월 평균기온은 25℃ 내외, 최한월 평균기온은 0~3℃ 정도로 온난하다. 남부평지다우형은 노령산맥과 소백산맥의 중간에 위치한 평야지대로 광주, 순천과 주변지역이 속하며, 연평균기온은 13~14℃, 최난월 평균기온은 25~26℃, 최한월 평균기온은 −1~1℃ 정도이다(광주지방기상청, 2011).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1절 광주 · 전남지방에서 발생한 폭염의 통계적 특성

1. 최근 10년 동안 폭염의 통계적 특성

광주 · 전남지방의 폭염일수는 일최고기온이 33℃ 이상인 날로 정의하여, 평년값(1981~2010)과 최근 10년(2007~2016) 동안을 비교 · 분석하였고, 평년 기후자료를 보유한 7개 지역(광주, 목포, 여수, 완도, 장흥, 해남, 고흥)을 대상으로 하였다. 또한 광주 · 전남지방의 최근 폭염발생 특징을 보다 세밀하게 국지적으로 살펴보고자, 최근 6년(2011~2016) 동안 분석은 광주지방기상청 육상 국지예보 구역인 25개 지역으로 확대하였다.

세부적으로 25개 지역은 평년 기후자료를 보유한 7개 지역과 2011년부터 자료를 보유한 ASOS급 5개 기상관측소 지역(흑산도, 순천, 보성, 강진, 광양 등)을 우선 선정하였고, 그 외 기초지자체는 시 · 읍에 위치한 13개의 AWS 지역(화순, 구례, 나주, 곡성, 함평, 영암, 무안, 장성, 영광, 신안 압해도, 담양, 거문도, 진도 수유)이다.

가. 평년값과 폭염일수 비교

평균적인 광주 · 전남지방의 폭염 발생특징을 분석하기 위하여 Table 3.1에 평년값과 최근 10년 동안의 월별 평균폭염일수를 나타내었다. 1년 중 1~4월과 10~12월은 폭염일이 없어 생략하였다.

광주 · 전남지방 7개 지역의 평년 평균폭염일수는 6.1일이며, 광주가 12.1일로 가장 많았고, 여수가 1.3일로 가장 적었다. 대체로 여수와 완도 등 남해안지방이 내륙지방보다 상대적으로 적은 특징을 보였다.

월별로는 7월(2.3일)과 8월(3.6일)이 전체 발생일 중 96.7%를 차지하며, 6월에는 광주, 장흥, 고흥에서만 발생하였고, 그 외 해안지역에서는 발생하지 않는 특징을 보였다.

따라서 평균적으로 장마가 종료되는 시점인 7월 하순부터 8월 중순까지 집중적으로 폭염이 발생하고, 8월 초순에 최대 빈도를 보이는 우리나라의 일반적인 발생 특징(국립재난안전연구원, 2014)과 잘 일치하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한 최근 10년 동안 평균폭염일수는 7.8일로 평년보다 1.7일 많아졌으며, 광주와 완도의 증가 폭이 타 지역보다 상대적으로 크다.

지역별로는 평년과 동일하게 광주가 16.9일로 가장 많았고, 여수는 1.4일로 가장 적었다. 월별로는 평년과 비슷하게 7월(2.4일)과 8월(4.9일)이 전체 발생일 중 93.6%를 차지하며, 평년과 비교하여 8월의 증가폭이 7월보다 상대적으로 큰 가운데 광주는 5월부터 폭염이 발생하고 있었다.

이처럼 5월에 고온현상이 나타나는 원인은, 이동성고기압의 영향을 주로 받으면서 고기압 가장자리를 따라 따뜻한 남서류가 유입되고, 일사까지 더해진 결과로 판단된다. 기상청의 2017년 봄철 기상전망과 특성분석에서 제시된, 과거 44년(1973~2016) 동안 봄철의 기온은 전반적으로 상승하는 추세이며, 특히 5월의 상승폭이 상대적으로 뚜렷해지고 있다는 장기적인 경향성과 잘 일치하고 있다.

Table 3.1. Regional heat wave days for the normal and recent 10 years.

Region	Heat wave days(Mean)											
	May		June		July		August		September		Total	
	normal	10 yrs	normal	10 yrs	normal	10 yrs	normal	10 yrs	normal	10 yrs	normal	10 yrs
Gwangju	0.0	0.4	0.4	0.5	4.6	5.2	6.6	9.8	0.5	1.0	12.1	16.9
Mokpo	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.7	3.5	3.7	0.1	0.0	5.0	4.4
Yeosu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.7	1.1	0.1	0.0	1.3	1.4
Wando	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.8	1.4	4.4	0.0	0.2	2.5	7.4
Jangheung	0.0	0.0	0.2	0.0	2.9	2.5	4.5	4.5	0.1	0.5	7.8	7.5
Haenam	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.8	3.0	6.0	0.1	0.2	5.3	9.0
Goheung	0.0	0.0	0.2	0.0	3.3	2.7	5.2	4.8	0.1	0.5	8.8	8.0
Total	0.0	0.4	0.8	0.5	16.1	17.0	24.9	34.3	1.0	2.4	42.8	54.6
Average	0.0	0.1	0.1	0.1	2.3	2.4	3.6	4.9	0.1	0.3	6.1	7.8

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

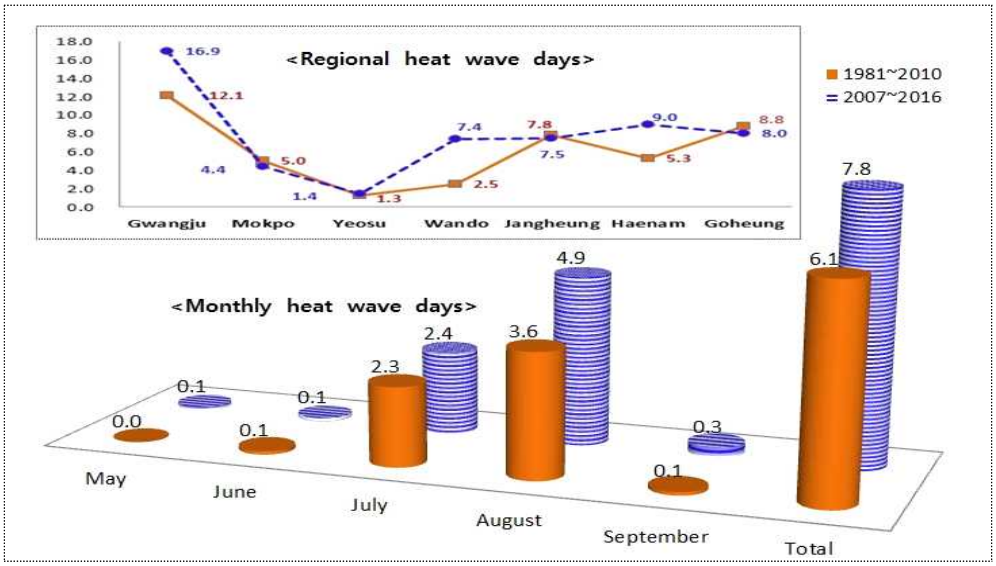


Fig. 3.1. Heat wave days for the normal and recent 10 years.

나. 최근 10년 동안 연도별 폭염일수

Table 3.2와 Fig. 3.2는 광주·전남지역의 장기적인 폭염 발생의 경향을 분석하기 위하여 최근 10년 동안 관측 자료가 존재한 7개 지역의 폭염일수 분석 자료이다.

연도별로는 2016년에 평균 18.6일로 가장 많았으며, 2013년이 16.2일, 2012년이 11.7일로 뒤를 따랐다. 또한 완도를 제외한 모든 지역에서 2016년에 가장 많았으며, Fig. 3.2(a)와 같이 최근 중반 이후부터 증가하는 추세를 보였다.

기상청 등 관계부처의 『2016년 이상기후보고서』에 따르면, 2016년에 극심한 폭염이 발생한 원인은 장마기간이 평년 32일보다 짧은(19일) 가운데, 강수일수는 18일로 평년 17.7일과 비슷하였으나, 장마전선이 활성화 되지 못하여 강수량이 328.9mm로 평년 376.3mm보다 적은 건조한 상태로 종료되었고, 7월 후반부터 8월 후반까지는 Fig. 3.2(b)와 같이, 일본 동쪽 해상에 위치한 북태평양고기압이 평년보다 남북으로 강하게 발달하면서 한반도 주변 기압계의 흐름이 정체된 가운데, 중국으로부터 평년보다 3~5℃ 높은 뜨거운 공기가 한반도 상공으로 유입되었으며, 한반도가 고기압 영향권에 놓여 구름발달이 억제되면서 강한 일사가 지속되어 폭염이 자주 발생한 것으로 설명되고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2013년의 경우도, 장마전선이 북한과 중부지방에 주로 위치하면서 중부지방에는 많은 비가 내렸으나, 광주·전남지방에서는 비가 거의 내리지 않아(강수량 286.3㎜, 강수일수 15.7일) 강수량의 남북편차가 매우 컸으며, 북태평양고기압이 우리나라 부근에서 평년보다 북쪽으로 발달하여 남부지방까지 확장하였고, 맑은 날이 지속되면서 강한 일사로 인해 폭염이 자주 나타난 것으로 보고되었다.

또한 폭염일수가 가장 적은 해는 2009년으로 평균 1.0일이며, 광주와 장흥에서만 발생하였고, 2014년이 2.0일로 뒤를 따랐다.

2009년에 폭염일수가 적었던 원인은 평년보다 긴 장마기간(44일, 6.21.~8.3.)에 강수일수(28일)와 강수량(652.9mm)도 평년보다 많아 장마가 뚜렷했던 해로 기록되었고, 7월 22부터 8월 12일까지 Okhotsk sea 부근으로 형성된 상·하층간의 키가 큰 저지고기압으로 인해 Okhotsk sea 고기압이 발달함에 따라, 동해안지방을 중심으로 전국적인 저온현상이 발생하여 선선했던 여름으로 기록되었기 때문이다.

Table 3.2. Yearly heat wave days for the recent 10 years.

Years	Heat wave days(mean)								
	Gwangju	Mokpo	Yeosu	Wando	Jangheung	Haenam	Goheung	Total	Average
2007	12	1	1	2	6	2	12	36	5.1
2008	18	1	0	9	3	6	8	45	6.4
2009	6	0	0	0	1	0	0	7	**1.0**
2010	20	0	0	2	4	5	5	36	5.1
2011	13	3	0	5	10	5	12	48	6.9
2012	25	6	3	18	8	15	7	82	11.7
2013	22	14	3	22	14	24	15	114	**16.2**
2014	8	1	0	1	2	1	1	14	2.0
2015	14	3	0	1	8	4	4	34	4.9
2016	31	15	7	14	19	28	16	130	**18.6**
Total	138	29	7	60	56	62	64	416	**7.8**

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

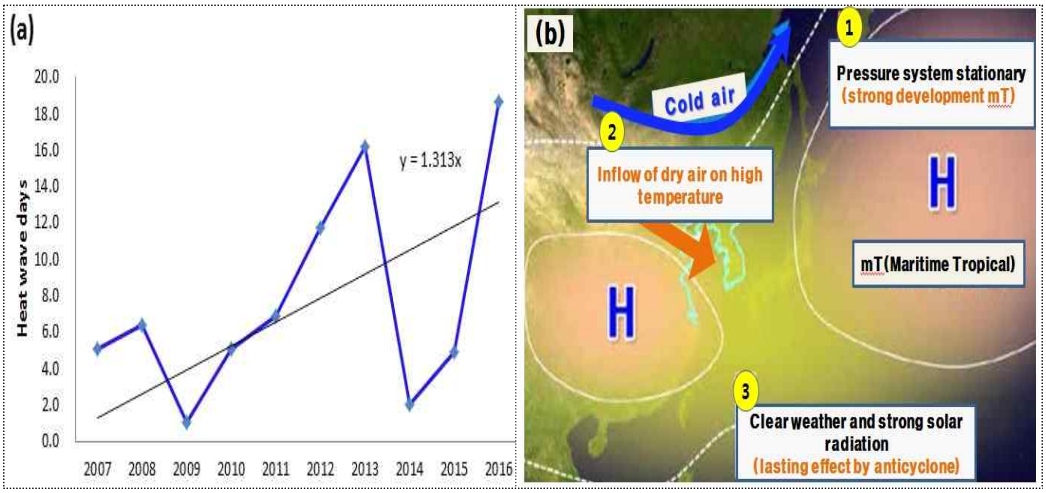


Fig. 3.2. Yearly heat wave days for the recent 10 years(a), and pattern diagram of heat wave occurrence in 2016(b).

2. 최근 6년 동안 폭염의 통계적 특성

가. 최근 6년 동안 월별 폭염일수

최근에 나타나는 기후변화는 지역과 시간에 따라 복잡한 형태로 나타나고 있어, 광주·전남지방의 폭염발생 특징을 보다 국지적으로 상세하게 이해하고자, 2011년부터 자료를 보유한 총 25개 지역에 대한 최근 6년 동안 월별 평균 폭염일수를 Table 3.3에 나타내었다.

최근 6년 동안 평균 폭염일수는 12.1일로 최근 10년보다 4.2일 많아지고 있으며, 최근 10년과 비교 값을 가지고 있는 지점 중 해남의 증가폭(9.0일→12.8일)이 가장 크고, 목포, 완도 장흥도 타 지역보다 상대적으로 컸다.

지역별로는 구례와 화순이 각각 26.5일과 26.1일로 가장 많은 가운데, 나주 19.4일, 광주 18.8일, 곡성 17.3일, 광양 17.0일로 뒤를 따랐다. 또한 서해상의 흑산도가 0.8일로 폭염일수가 가장 적었으며, 남해안에 위치한 여수 2.1일과 남해상의 거문도 2.3일, 서해안에 위치한 무안 6.3일이 뒤를 따랐다.

이러한 폭염일수의 지역적인 차이는 열용량이 큰 해양과 수증기와 열 순환이 일주기로 이루지는 도서, 해안지방과 구례, 화순 등 내륙분지·산간지방의 지형적인 특성이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

주요 요인으로 판단된다.

Fig. 3.3(a)와 같이, 최근 6년 동안 월별 발생 경향도 최근 10년과 유사하게, 인체가 더위에 적응하기 전인 5월부터 폭염이 발생하여, 6월에 접어들면서 감소하다 7월부터 다시 증가하면서 8월에 급증하여 최대치를 보인 후, 9월까지 이어지고 있는 경향이다.

세부적으로 살펴보면, 7~8월에 폭염의 발생 비중이 95.3%로 집중된 가운데 8월이 65.3%로 최근 10년보다 2.5%(3일) 증가하였다. 또한 7월은 평균 발생일수가 1.2일 증가하였으나 발생 비중은 소폭감소(30.7%→30.0%)하였는데, 폭염발생이 8월에 집중되어 나타난 결과로 해석할 수 있다.

늦은 봄인 5월에는 화순 1.0일, 구례 0.8일, 광주 0.7일, 곡성 0.5일, 영암 0.3일 광양·나주·담양 0.1일 등 8개 지역에서 발생하여, 초여름인 6월(5소)보다 많았으며, 가을철인 9월이 초여름인 6월과 늦은 봄인 5월보다 상대적으로 많이 발생하였다.

폭염발생이 적었던 서해상의 흑산도는 8월에만 폭염이 발생하였고, 남해안의 여수와 남해상에 위치한 거문도는 7~8월에 걸쳐 폭염이 발생하였다.

앞서 지역별 분석에서 서해안 지역에 위치한 목포와 무안은 평균 발생일수가 각각 7.0일과 6.3일로 비슷한 경향을 보였으나, 남해안에 위치한 여수와 광양의 평균발생일수는 각각 2.1일과 17.0일로 큰 차이를 보여, 서해안과 남해안이 서로 상이한 특징을 보였다. 큰 차이를 보인 후자의 경우, Fig. 3.3(b)와 같이 관측소가 위치한 지형적인 특징과 주변의 환경적 요인 등으로 원인을 유추할 수 있다.

여수의 경우 남해안 중앙에 삼면이 바다(동쪽: 남해군과 바다 사이, 서쪽: 순천만, 남쪽: 남해)로 되어 있는 여수반도에 위치하면서, 좁은 해안평지를 따라 시가지가 형성되어 전형적인 해양성기후가 나타난 것으로 볼 수 있다. 한편 광양의 경우, 여수와 같이 남해안에 위치하지만 북쪽으로 구례군과 전라남도에서 두 번째로 높은 백운산(1,217m)이 솟아 있고, 서쪽으로 순천, 동쪽으로 경남 하동이 접하고 있어 남쪽인 광양만을 제외하고 대부분 산지로 되어 있다. 광양만의 경우 남쪽으로 여수와 남해가 위치하면서 해륙풍 등 국지풍의 영향을 여수보다 적게 받을 수 있는 환경이기 때문에, 향후 여수와 광양 지역을 대상으로 지형지세와 환경적 요인을 반영한 기온특성 집중연구를 통해 이 지역의 상이한 폭염발생 특징에 대한 해석이 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.3. Same as Table 3.2 except for the recent 6 years.

Region	Heat wave days(mean)					
	May	June	July	August	September	Total
Gwangju	0.7	0.1	6.0	11.2	0.8	18.8
Mokpo	0.0	0.0	1.0	6.0	0.0	7.0
Yeosu	0.0	0.0	0.3	1.8	0.0	2.1
Wando	0.0	0.0	3.0	6.8	0.3	10.1
Jangheung	0.0	0.0	3.1	6.2	0.8	10.1
Haenam	0.0	0.0	3.7	9.0	0.1	12.8
Goheung	0.0	0.0	2.7	5.6	0.8	9.1
Heuksando	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.8
Suncheon	0.0	0.0	3.8	7.8	0.2	11.8
Yeonggwang	0.0	0.0	4.8	9.8	0.0	14.6
Boseong	0.0	0.0	2.7	7.8	0.3	10.8
Gangjin	0.0	0.0	1.3	5.7	0.0	7.0
Gwangyang	0.1	0.0	6.2	10.0	0.7	17.0
Muan	0.0	0.0	1.0	5.3	0.0	6.3
Damyang	0.1	0.0	3.3	8.8	0.1	12.3
Gurye	0.8	0.5	9.7	14.5	1.0	26.5
Naju	0.1	0.1	5.7	12.2	1.3	19.4
Geomundo	0.0	0.0	0.3	2.0	0.0	2.3
Jangseong	0.0	0.0	2.0	7.7	0.0	9.7
Yeongam	0.3	0.0	3.5	8.0	0.0	11.8
Hwasun	1.0	0.5	9.3	13.3	2.0	26.1
Hampyeong	0.0	0.0	5.5	10.5	0.5	16.5
Gokseong	0.5	0.1	5.7	10.7	0.3	17.3
Jindo(Suyu)	0.0	0.0	3.8	7.7	0.1	11.6
Sinan(Aphae)	0.0	0.0	2.3	8.7	0.0	11.0
Total	3.6	1.3	90.7	197.9	9.3	302.8
Average	0.1	0.1	3.6	7.9	0.4	12.1
Percentage(%)	1.2	0.4	30.0	65.3	3.1	100

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

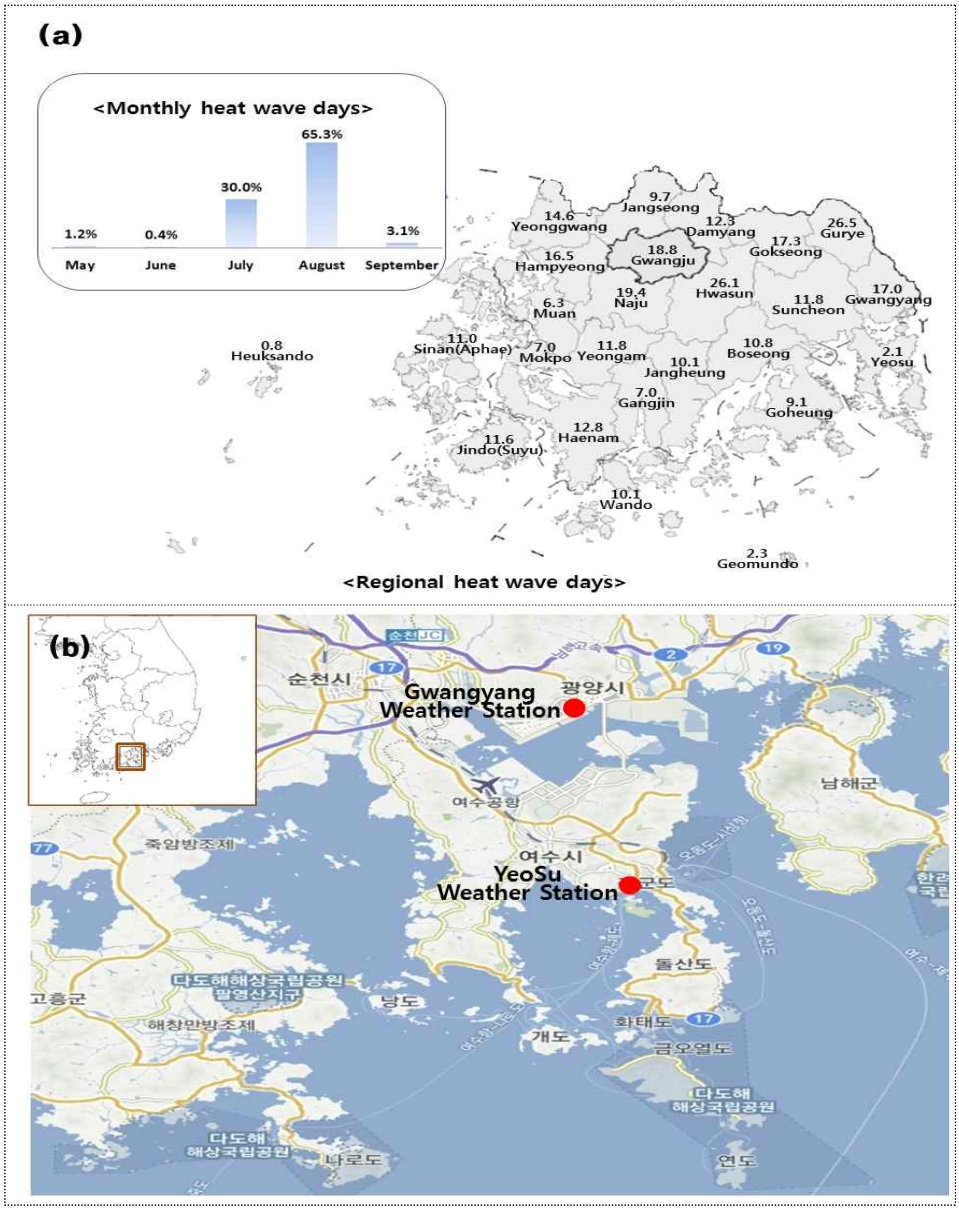


Fig. 3.3. Heat wave days for the recent 6 years(a), and the map of Yeosu and Gwangyang(b).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 폭염의 처음 발생일과 마지막 발생일

폭염은 일반적으로 여름철인 6~8월에 있어 왔던 현상으로 잘 알려져 있으나, 최근 기후변화로 인하여 폭염 발생시기의 불확실성이 가중되고 있다.

이에 최근 6년 동안의 폭염의 발생 시기를 분석하기 위하여, 광주·전남지방 25개 지역의 처음 발생일과 마지막 발생일 등을 Table 3.4와 Fig. 3.4에 나타내었다.

(1) 연도별 폭염의 처음 발생일과 마지막 발생일 분석

2011년은 6월 21일에 첫 폭염이 광주, 구례, 나주, 화순 및 곡성에서 발생하였고, 9월 17일에 위 지역을 포함한 11개 지역에서 마지막 폭염이 발생하였다. 첫 폭염의 경우, 평년보다 북편 하여 발달한 북태평양고기압의 영향으로 평년보다 일찍 6월 10일에 장마가 시작된 후 소강상태에 접어들자 발생하였다. 또한 마지막 폭염은 Fig. 3.5(a)에서와 같이 9월 12~17일 사이에 북태평양고기압이 일본 동쪽에서 발달하면서 우리나라는 그 가장자리에 들어 고온·다습한 공기가 유입되었고, 맑은 날이 지속된 가운데 낮에 강한 일사로 공기가 데워지면서 고온현상이 나타났기 때문이다.

이때 일부 남부지방(나주, 화순, 순천, 구례, 고흥, 광양, 장흥, 함평, 광주 및 진도)을 중심으로 폭염특보가 9월 15~16일에 발표되어, 2008년 폭염특보 시행 이후 가장 늦은 시기에 발표된 특보로 기록되기도 하였다. 하지만 장마기간에 많은 강수량과 장마 후에도 비가 자주 내려 일조시간이 적은 가운데 폭염일수는 평년과 비슷한 수준(평균 6.9일)이었다.

2012년은, 장마가 평년보다 5일 빠른 6월 18일에 시작 되어 평년보다 6~7일 빠르게 7월 17일에 종료된 후 7월 20일에 첫 폭염이 구례와 화순에서 발생하였고, 8월 26일에 마지막 폭염이 구례, 화순 등 12개 지역에서 발생하였다. 장마기간에는 강수량이 평년보다 적었으나 강수일수가 평년과 비슷하여 폭염이 없었으며, 장마기간 전인 5월에는 강수량이 평년보다 많아(152%) 더위 수준에 그쳤고, 장마가 종료된 후 북태평양고기압이 평년보다 크게 북서쪽으로 확장하면서 본격적인 폭염이 나타났다.

그러나 8월 28일에 제15호 태풍 Bolaven과 8월 30일에 제14호 태풍 Tembin으로 인하여 늦더위 없이 가을 오기 전에 폭염이 종료되어, 일반적인 폭염패턴이 나타났던

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

해로 기록되었지만 폭염일수는 평균 11,7일로 평년보다 많았다.

2013년의 경우, 때 이른 무더위로 인해 5월 24일에 첫 폭염이 구례와 화순에서 발생하였고, 9월 22일에 마지막 폭염이 화순에서 발생하였다. 장마의 경우 평년보다 5일 빠르게 6월 18일에 시작 되어 8월 2일에 종료되면서 긴 장마기간(46일)으로 1973년 이후 공동 1위(1974년)를 기록하였으나, 강수량이 평년의 76.1%에 그치고 강수일수도 평년보다 적은 수준인 마른장마 해로 기록되었다. 첫 폭염이 발생한 5월의 경우, 강수일수가 평년보다 적은(6.9일) 가운데 강한 일사와 따뜻한 남서기류가 유입되어, 평년에 비해 이른 무더위(평균/최고/최저기온 편차: +0.6/+1.0/+0.3℃)가 폭염으로 나타나, 최근 6년 기간 중 가장 이른 폭염으로 기록하게 되었다. 또한 9월 하순에는 북태평양고기압이 일시적으로 확장하면서 최근 6년 기간 중 가장 늦은 폭염으로 기록되었다.

따라서 2013년은 일반적인 폭염패턴과 달리, 때 이른 폭염과 마른장마, 그리고 9월 하순까지 나타난 늦더위 등으로 인해 폭염일수가 평년보다 많은 16.2일 발생하여, 최근 두드러지고 있는 비정상적인 폭염패턴으로 이해할 수 있다.

2014년의 경우, 때 이른 무더위로 인해 5월 29일에 첫 폭염이 광주, 구례, 화순, 곡성에서 발생하였고, 8월 26일에 마지막 폭염이 광양에서 발생하였다. 첫 폭염이 발생한 5월의 경우, 남쪽을 지나는 이동성고기압의 영향으로 따뜻한 공기가 유입되면서 강한 일사로 인해 기온이 큰 폭으로 올라 때 이른 무더위가 나타났다. 6월 중순부터 Baikal호 부근의 저지 기압능과 Bering sea 부근의 상층 기압능의 영향으로 대기가 정체되면서 우리나라 북쪽으로 찬 공기를 동반한 상층 장파골이 남하하여 장마전선의 북상을 막아 7월 2일에 늦은 장마가 시작되어 7월 29일에 종료되었다.

따라서 최근 6년 동안 중 가장 짧은 장마로 강수량은 평년의 53.3% 수준에 그쳤으나 강수일수가 평년보다 많게 기록되었다. 8월의 경우 전반에 제12호 태풍 Nakri의 영향을 받은 후, 대기가 정체된 가운데 우리나라 부근에서 형성된 강한 비구름대의 영향을 자주 받아 비 오는 날이 많았으며, 낮 최고기온도 오르지 않아 폭염일수가 최근 6년 기간 중 가장 적은 평균 2.0일을 기록하였고, 광양, 보성, 구례, 나주, 화순 등을 제외한 지역은 8월에는 폭염이 발생하지 않았다.

2015년의 경우, 때 이른 무더위로 5월 26일에 첫 폭염이 광주, 광양, 담양, 구례, 나주, 영암, 화순, 곡성에서 발생하였고, 8월 17일에 마지막 폭염이 구례와 화순에서 발생하였다. 특히 Fig. 3.5(b)에서와 같이 5월 25~27일에는 이동성고기압의 영향을

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

주로 받아 맑은 날이 많은 가운데, 낮에는 강한 일사와 함께 중국 북동부지역의 고온·건조한 공기가 유입되어 때 이른 고온현상이 나타나 첫 폭염이 발생하였다. 2015년 5월 1일 연중으로 확대된 폭염특보 시행 이후 첫 폭염주의보가 5월 25일에 광주, 순천, 구례, 곡성, 화순, 나주, 영암, 담양에 발표되기도 하였다.

장마의 경우 평년과 비슷하게 6월 24일에 시작하여 연달아 발생한 태풍(제9호 Chan-hom, 제10호 Linfa, 제11호 Nangka)으로 인하여, 우리나라 주변 기압계가 불안정하여 장마전선이 활성화되지 못하였다. 제12호 태풍 Halola가 북상하면서 장마전선이 북상하여 평년보다 늦은 7월 29일에 종료되어 긴 장마기간인 반면, 장마전선이 주로 우리나라 남쪽에 머물러 강수량은 평년대비 77.7%로 적었고, 강수일수는 평년과 비슷하였다. 8월의 경우 전반에 북태평양고기압의 영향으로 고온다습한 남서기류의 유입과 강한 일사로 인해 기온이 크게 올랐으나, 후반에는 3개의 태풍(제13호 Soudelor, 제14호 Molave, 제16호 Atsani)으로부터 약화된 열대저압부의 영향과 제15호 태풍 Goni의 영향을 받아 구름 낀 날씨와 강수로 인해 낮 최고기온도 오르지 않아 폭염일수가 4.9일로 적었다.

2016년의 경우, 7월 7일에 첫 폭염이 구례, 화순에서 발생하였고, 9월 4일에 마지막 폭염이 광주, 담양, 나주에서 발생하였다. 장마의 경우 평년보다 빠른 6월 18일에 시작하여 평년보다 7~8일 빠른 7월 16일에 종료되어, 강수일수는 평년과 비슷한 18.0일 이었으나 강수량은 평년대비 87.4%인 328.9㎜를 기록하였다.

장마가 시작된 후 6월 후반에는 북태평양고기압이 동서로 발달하여 우리나라 북쪽으로 상층 기압골이 자주 지나가면서 장마전선이 주로 우리나라 남쪽에 머물렀고, 7월 1~6일에는 장마전선 상에서 발달한 저기압의 영향을 받으면서 많은 비가 내려 장마강수량이 집중된 특징을 보였다. 또한 7월 16일에 비가 내린 후 북태평양고기압이 평년보다 일찍 우리나라로 확장되어 정체되면서 장마가 종료되었고, 이후 폭염이 나타나기 시작하여 8월 하순까지 많은 지역에서 폭염이 지속되었다. 평균폭염일수가 평년보다 많은 18.6일로 최근 6년 중 가장 많은 해로 기록되었다.

최근 6년 동안 폭염의 시작일과 마지막 날을 분석한 결과, 장마가 종료되는 7월 중하순에 폭염이 발생하여 8월 하순까지 지속된 일반적인 폭염패턴은 2012년 한 해였으며, 이외에는 5월 하순에 나타나는 때 이른 폭염과 9월 상·중순까지 이어지는 늦은 폭염이 혼재하는 비정상적인 폭염패턴으로 해석할 수 있다.

따라서 폭염패턴은 동아시아 대기 순환에 따라 북태평양고기압의 위치, 태풍의 북상

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

으로 인한 기압계의 유동성 등이 여름철 강수량(강수일수)과 태양복사의 변동성으로 feedback 되고, 지표면의 토양수분 증감으로 연계되어 폭염의 빈도수와 강도를 결정하는 중요한 요소로 작용한다는 선행연구(Christensen and Christensen, 2003; Ferranti and Viterbo, 2006) 결과와 잘 일치된다.

또한 비정상적인 폭염패턴 중 때 이른 폭염이 최근에 빈발해지면서 상대적으로 해양의 영향을 덜 받는 전남 동부내륙에 위치한 분지지역인 구례와 대부분 산간지대인 화순이 4회나 발생하여 가장 상대적으로 많았고 다음으로 광주와 나주였다.

Table 3.4. Yearly earliest and latest heat wave date for the recent 6 years.

Region	2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	Earliest	Latest	Earliest	Latest	Earliest	Latest	Earliest	Latest	Earliest	Latest	Earliest	Latest
Gwangju	**6.21**	**9.17**	7.21	**8.26**	7.13	8.22	**5.29**	7.31	**5.26**	8. 9	7. 9	**9. 4**
Mokpo	7.18	8. 5	7.30	8. 7	7.19	8.22	7.31	7.31	8. 4	8. 9	7.29	8.24
Yeosu	–	–	7.28	8. 5	7.26	8.20	–	–	–	–	8. 8	8.21
Wando	7.18	**9.17**	7.25	8.21	7.20	8.27	7.31	7.31	8. 9	8. 9	7.31	8.25
Jangheung	7.18	**9.17**	7.25	8. 5	7.26	8.27	7.23	7.31	7.26	8.10	7.25	8.25
Haenam	7.18	**9.17**	7.23	8.19	7.13	8.27	7.31	7.31	8. 6	8. 9	7.25	8.25
Goheung	7.18	9.16	7.25	8. 5	7.26	8.20	7.31	7.31	8. 6	8. 9	7.28	8.25
Heuksando	–	–	8. 6	8.18	8.16	8.13	–	–	–	–	–	–
Suncheon	7.18	9. 1	7.25	8. 7	8. 7	8.20	7.23	7.31	7.26	8.10	7. 9	8.25
Yeonggwang	7.18	8. 6	7.24	**8.26**	7.20	8.22	7.24	7.31	7.26	8. 8	7.22	8.25
Boseong	7.18	9.16	7.25	8. 6	7.26	8.27	7.31	8. 5	7.26	8.10	7.25	8.25
Gangjin	7.19	7.19	7.25	8. 5	8. 9	8.22	7.31	7.31	7.29	8. 9	7.30	8.25
Gwangyang	7.17	**9.17**	7.24	8. 6	7.18	8.21	7.10	**8.26**	**5.26**	8.15	7.24	8.25
Muan	7.18	8. 6	7.31	8. 6	8. 7	8.22	–	–	8. 6	8. 7	7.30	8.25
Damyang	7.18	8. 5	7.24	**8.26**	8. 1	8.22	7.30	7.31	**5.26**	8.10	7. 9	**9. 4**
Gurye	**6.21**	**9.17**	**7.20**	**8.26**	**5.24**	8.29	**5.29**	8. 5	**5.26**	**8.17**	**7. 7**	8.25
Naju	**6.21**	**9.17**	7.21	**8.26**	7.26	8.22	7.30	8. 5	**5.26**	8.15	7. 9	**9. 4**
Geomundo	–	–	7.31	7.31	8. 8	8.20	–	–	–	–	7.31	8.22
Jangseong	7.18	8. 5	7.28	**8.26**	8. 1	8.22	7.31	7.31	7.30	8. 8	7.29	8.24
Yeongam	7.18	8. 5	7.24	**8.26**	7. 2	8.22	7.24	7.31	**5.26**	8. 8	7.26	8.24
Hwasun	**6.21**	**9.17**	**7.20**	**8.26**	**5.24**	**9.22**	**5.29**	8. 9	**5.26**	**8.17**	**7. 7**	8.25
Hampyeong	7.18	**9.17**	7.21	**8.26**	7.19	8.25	7.25	7.31	7.10	8.15	7.24	8.25
Gokseong	**6.21**	**9.17**	7.21	**8.26**	7.10	8.22	**5.29**	7.31	**5.26**	8. 9	7. 9	8.25
Jindo(Suyu)	7.18	**9.17**	7.24	**8.26**	7.13	8.27	7.30	7.31	7.29	8. 8	7.24	8.24
Sinan(Aphae)	7.18	8. 6	7.28	**8.26**	8. 8	8.22	7.30	7.31	7.10	8. 8	7.25	8.25

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

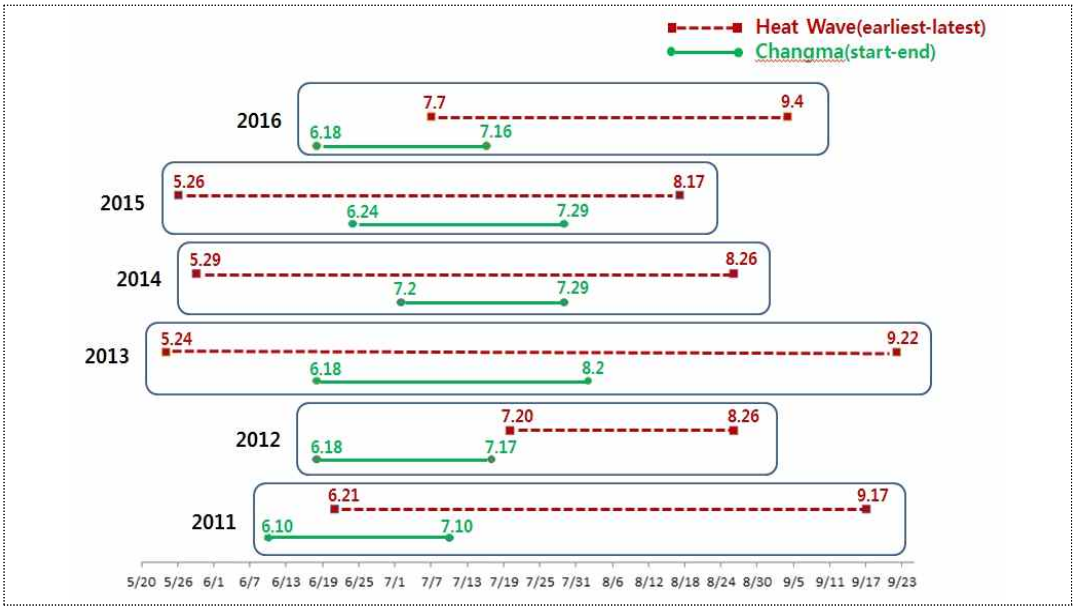


Fig. 3.4. The earliest and latest heat wave date with changma period for the recent 6 years.

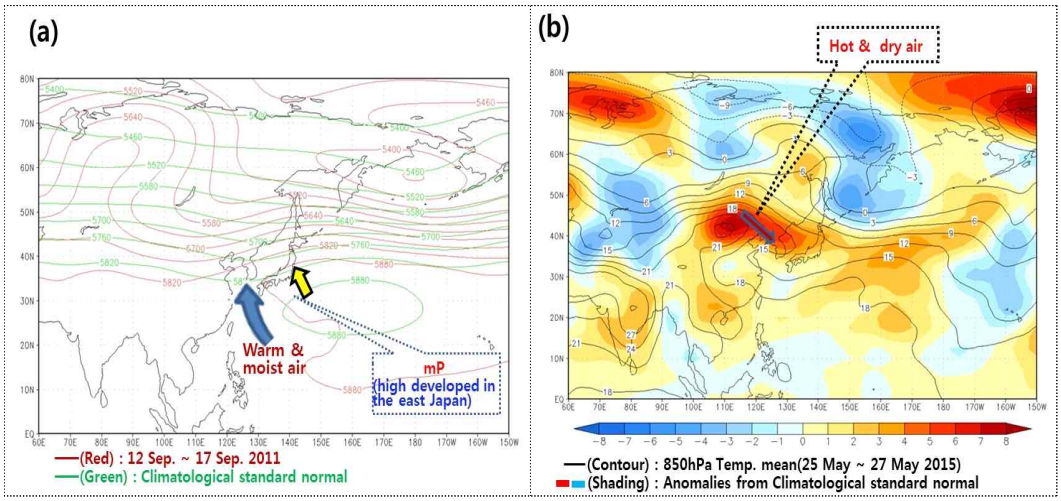


Fig. 3.5. 500hPa mean GPH for the normal and from 12 up to 17 September 2011(a), and 850hPa mean air temperature for the normal and from 25 up to 27 May 2015(b).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 지역별 폭염의 처음 발생일 분석

Table 3.5는 최근 6년 동안 광주·전남지방 25개 지역의 가장 이른 폭염 발생일과 가장 늦은 폭염 발생일을 나타낸 것이다.

폭염의 처음 발생일이 가장 빠른 지역은 평균 폭염일수가 가장 많았던 전남 동북부 지역에 위치한 구례와 폭염일수가 두 번째로 많았던 전남 중부지역에 위치한 순천에서 5월 24일로 기록되었으며, 광주, 광양, 담양, 나주, 영암 및 곡성은 5월 26일로 뒤를 따랐다.

처음 발생일이 가장 늦은 지역으로는 폭염일수가 가장 적었던 흑산도로 8월 6일이며, 거문도가 7월 31일, 여수가 7월 26일로 뒤를 따랐다.

폭염의 처음 발생일이 가장 이른 구례는 전남 동북부 지역에 위치하면서 서쪽으로 곡성, 남쪽으로 광양, 북쪽으로 전북 남원, 동쪽으로 경남 하동과 맞닿아 있으며, 산지가 전체 면적의 78%를 차지하며, 노고단(1,507m)·반야봉(1,751m)·만복대(1,437m)와 산동면의 고리봉 등의 봉우리가 둘러싸고 있는 분지형태이다. 또한 화순은 전남 중부에 위치하면서, 동쪽은 곡성과 순천, 서쪽은 나주, 남쪽은 장흥과 보성군, 북쪽은 광주와 담양군과 곡성군이 접하며, 서쪽의 하천유역을 제외하면 거의가 해발고도 400~900m의 산지로 비교적 험준한 내륙 산간지대이다.

최근 6년 동안 광주·전남지방 25개 지역의 가장 이른 폭염일의 평균은 7월 19일이었다. 지역별로 가장 이른 날의 평균을 살펴보면, 처음 발생일이 가장 빨랐던 구례와 화순이 6월 16일이고, 곡성이 6월 24일, 광주가 6월 25일, 광양이 7월 1일, 나주가 7월 7일로 뒤를 따랐고, 도서지역인 흑산도가 8월 11일, 거문도 8월 3일 순으로 첫날이 가장 늦었다.

따라서 서해남부와 남해서부동쪽 먼 바다의 도서지역(흑산도, 거문도)을 제외하면 광주·전남지역에서는 평균적으로 7월 17일에 폭염 발생이 시작된다고 할 수 있다.

최근 6년 동안의 가장 이른 날과 매년 첫 폭염일의 평균일 차이가 큰 지역은 담양이 49일, 영암이 45일, 나주가 42일, 광양이 36일, 광주가 30일, 곡성이 29일로, 폭염의 가장 이른 날이 5월 26일인 지역들이다.

이외 지역들은 10일 내외의 차이를 보여, 지형적인 특성과 기압배치에 따라 최근의 폭염 발생 양상이 국지적으로 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 지역별 폭염의 마지막 발생일 분석

폭염이 가장 늦게까지 발생했던 지역은 화순으로 9월 22일이며, 가장 빠르게 폭염이 발생하여 가장 늦게까지 폭염이 발생하는 지역으로 나타났다.

다음으로 늦게까지 발생하는 지역은 12개소(광주, 완도, 보성, 장흥, 해남, 고흥, 광양, 구례, 나주, 함평, 곡성, 진도 수유)로 2011년 9월 16~17일 사이에 나타났다.

광주·전남지방 25개 지역의 가장 늦은 폭염일의 평균은 8월 18일이었다. 지역별로는 가장 늦게까지 폭염이 발생했던 화순이 8월 30일로 평균적으로 가장 늦은 가운데, 나주가 8월 26일, 구례가 8월 25일, 함평과 광양이 8월 24일, 광주와 진도 수유가 8월 23일로 뒤를 따랐다.

반대로 마지막 날 평균이 가장 빠른 지역은 보성으로 8월 2일이며, 강진이 8월 9일로 뒤를 따라, 이 두 지역은 평균적으로 8월 상순 이후에는 폭염이 발생하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 이 외의 지역들은 평균적으로 8월 중순부터 하순 초기에 평균적으로 폭염발생이 종료되었다.

최근 6년 동안의 가장 늦은 날과 매년 마지막 폭염의 평균일 차이는 보성이 45일로 가장 크며, 장흥과 고흥이 29일, 완도와 곡성이 26일, 광주와 진도 수유가 25일로 뒤를 따랐고, 위 지역들은 모두 가장 늦은 마지막 폭염이 2011년 9월 17일에 발생했던 지역들이다.

따라서 가장 이른 폭염과 늦은 폭염 일을 최근 6년 동안의 평균일과 차이를 비교한 결과, 가장 이른 폭염 쪽이 상대적으로 큰 차이를 보인 지역들이 많았는데, 이는 최근 들어 기후변화 등 다양한 요인에 의해 늦더위 보다는 상대적으로 때 이른 무더위 출현이 더 많아지고 있음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.5. Same as Table 3.4 except for the regional.

Region	First day			Last day		
	Earliest date(a)	Average date(b)	b-a (days)	Latest date(c)	Average date(d)	d-c (days)
Gwangju	2015.5.26	6.25	30	2011.9.17	8.23	25
Mokpo	2011.7.18	7.27	9	2016.8.24	8.11	13
Yeosu	2013.7.26	7.31	5	2016.8.21	8.15	6
Heuksando	2012.8. 6	8.11	5	2013.8.18	8.18	0
Wando	2011.7.18	7.28	10	2011.9.17	8.22	26
Suncheon	2016.7. 9	7.23	14	2011.9. 1	8.16	16
Yeonggwang	2011.7.18	7.22	4	2012.8.26	8.15	11
Boseong	2011.7.18	7.25	7	2011.9.16	**8. 2**	**45**
Gangjin	2011.7.19	7.29	10	2016.8.25	8. 8	17
Jangheung	2011.7.18	7.24	6	2011.9.17	8.19	29
Haenam	2013.7.13	7.25	12	2011.9.17	8.21	27
Goheung	2011.7.18	7.28	10	2011.9.16	8.18	29
Gwangyang	2015.5.26	7. 1	36	2011.9.17	8.24	24
Muan	2011.7.18	7.31	13	2016.8.25	8.14	11
Damyang	2015.5.26	7.14	**49**	2016.9. 4	8.12	23
Gurye	**2013.5.24**	**6.16**	23	2011.9.17	8.25	23
Naju	2015.5.26	7. 7	42	2011.9.17	8.26	22
Geomundo	2012.7.31	8. 3	3	2016.8.22	8.14	8
Jangseong	2011.7.18	7.28	10	2012.8.26	8.15	11
Yeongam	2015.5.26	7.10	45	2012.8.26	8.15	11
Hwasun	**2013.5.24**	**6.16**	23	**2013.9.22**	**8.30**	23
Hampyeong	2015.7.10	7.20	10	2011.9.17	8.24	24
Gokseong	2015.5.26	6.24	29	2011.9.17	8.22	26
Jindo(Suyu)	2013.7.13	7.23	10	2011.9.17	8.23	25
Sinan(Aphae)	2015.7.10	7.25	15	2012.8.26	8.15	11
Average (25 Region)	-	**7.19**		-	**8.18**	
Average (23 Region)	-	**7.17**		-	**8.18**	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 폭염의 지속일수

일반적으로, 단속적으로 발생하는 고온은 더위 수준으로 느낄 수 있으나, 장기간에 걸쳐 지속된다면 더위 수준이 아닌 폭염재해로 영향을 줄 수 있다.

폭염이 지속되면 우리 몸은 항상성 유지를 위한 체열조절 능력이 감소하여 일사병 등과 같은 고온 관련 질병이 발생하고, 피해규모는 폭염강도와 사회적, 경제적, 환경적 원인 등에 의해 폭 넓게 발생하는 특징이 있다(곽재원 등, 2015).

따라서 최근 6년 동안의 폭염의 지속일수 경향을 이해하기 위하여 광주 · 전남 25개 지역에 대한 지속일수별 발생 횟수를 분석하였다.

(1) 연도별 폭염의 지속일수 분석

Fig. 3.6과 Table 3.6은 연도별로 폭염 지속일수별 발생 횟수를 나타낸 것이다.

폭염의 지속일수는 1일부터 최장 23일의 범위 내에서 연도별로 다양하게 발생하고 있으며, 폭염이 1일로 끝났던 사례가 46.6%(264회)로 나타났고, 폭염주의보 기준인 2일 이상 지속된 사례는 전체 53.4%를 차지하였다.

1주일 미만의 사례가 상대적으로 많이 발생하였지만, 1주 이상의 사례도 11.3%를 차지하였다. 특히 2주 이상의 극한폭염이 4.9%로 나타나, 장기간 지속되는 폭염의 빈도를 감안하여 건강관리 등 다양한 분야에서 폭염의 영향에 대한 대비책 마련이 필요하다.

연도별로 1주일 미만으로 지속되었던 상대적으로 약한 폭염은 주로 2011년과 2014년에 발생했으며, 특히 2014년은 3일 이내에서 폭염이 종료되었다.

Fig. 3.6에 나타낸 것과 같이, 1주일 이상의 상대적으로 견디기 힘든 폭염 사례는 2016년에 20.2%로 가장 많았고, 2013년이 18.6%, 2012년이 11.9%, 2015년에 6.7% 순으로 발생하였다.

특히 2주 이상 장기간 지속된 극한폭염 사례는 평균 폭염일수가 많았던 2013년과 2016년에 각각 13.2%와 5.6%로 가장 많았으며, 최장 지속일의 1~2위인 22일~23일의 경우도 2016년에 모두 발생하여, 최근에 접어들면서 극한폭염의 빈도가 많아지고 있음을 알 수 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

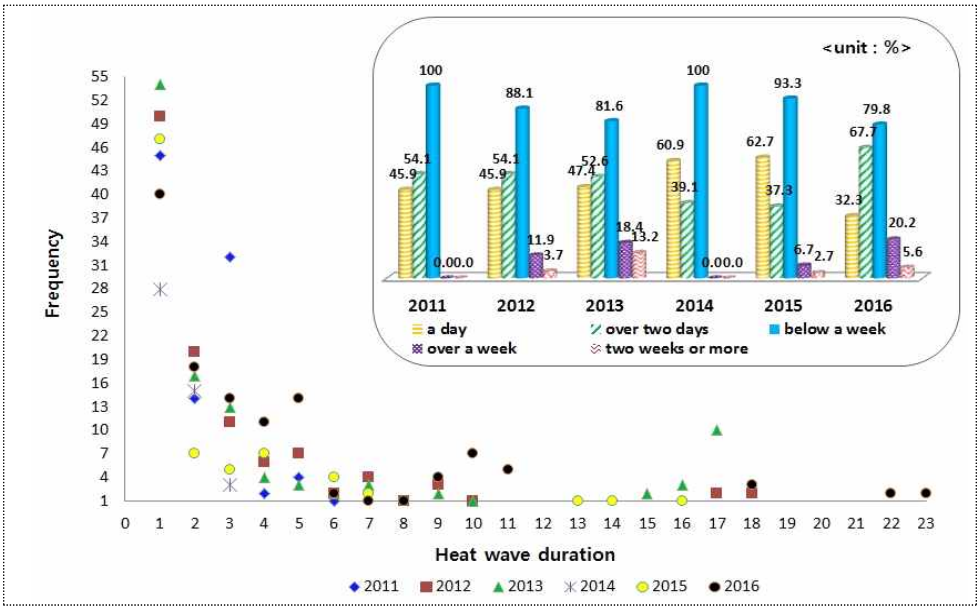


Fig. 3.6. Yearly heat wave duration for the recent 6 years.

Table 3.6 Yearly heat wave duration for the recent 6 years.

years	Frequency																		Total
	Heat wave duration(days)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	22	23	
2011	45	14	32	2	4	1														98
2012	50	20	11	6	7	2	4	1	3	1						2	2			109
2013	54	17	13	4	3	2	3		2	1				2	3	10				114
2014	28	15	3																	46
2015	47	7	5	7		4	2					1	1		1					75
2016	40	18	14	11	14	2	1	1	4	7	5						3	2	2	124
Total	264	91	78	30	28	11	10	2	9	9	5	1	1	2	4	12	5	2	2	566
%	46.6	16.1	–	–	–	–	←		6.4		→		←		4.9		→			100
	←		88.7		→		←			11.3			→							

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 지역별 폭염의 지속일수 분석

Fig. 3.7과 Table 3.7는 광주 · 전남 25개 지역의 폭염 지속일수별 발생 횟수를 나타낸 것이다. 폭염이 발생하여 1일로 끝났던 사례가 8.3%인 무안에서, 최대는 75%인 여수로 나타나, 지역별로 다양한 빈도를 보였다. 폭염이 발생한 후 1주일 미만으로 모두 종료된 지역은 여수, 흑산도, 무안 및 거문도이며, 특히 먼 바다의 도서지방인 흑산도와 거문도는 3일 까지만 지속되다가 종료되었다.

1주일 이상 지속된 폭염 사례는 곡성이 6회로 가장 많으며, 영광, 구례, 나주, 화순, 함평이 5회로 뒤를 따르고, 광주를 중심으로 동, 남, 서쪽에 위치한 내륙 분지 및 산간지역에서 상대적으로 극한폭염이 자주 발생하였다. 또한 2주 이상의 견디기 힘든 극한폭염 사례는 구례가 4회로 가장 많았고, 화순과 광양이 3회로 뒤를 따랐다. 특히 구례의 경우 최근 6년 동안 평균폭염일수 분석에서 1위를 차지했던 지역으로, 화순과 같이 가장 이른 폭염(5월 24일)과 가장 늦은 폭염(9월 22일)이 발생했던 지역이다.

폭염일수 분석에서와 같이 해안지방의 경우 주기적으로 해양으로부터 수증기와 열이 순환되지만, 구례, 화순 등 내륙 분지와 산간지방은 해양의 영향이 차단되고 있을 뿐만 아니라 산맥의 사면에 위치하여 건조한 공기가 유입되는 푄현상과 분지 특유의 지형효과에 의해 열이 축적된 것으로 판단된다. 따라서 이러한 지형적인 특성을 기반으로 장기간 지속되는 극한폭염의 빈도를 감안하여 건강관리 등 다양한 분야에서 폭염의 영향에 대한 대비책 마련이 필요하다.

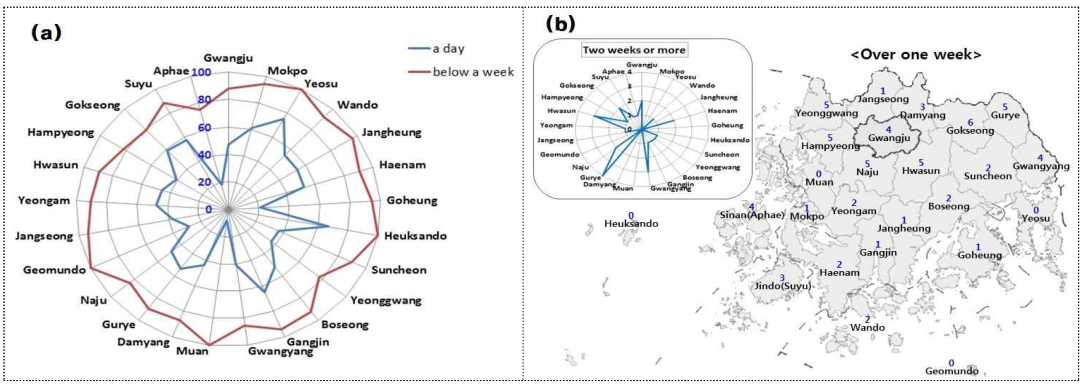


Fig. 3.7. Heat wave duration of a day and below a week(a), and over one week and two weeks or more(b) for the recent 6 years.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.7. Same as Table 3.6 except for the regional.

Region	Heat wave duration(days)																			percentage (%)		frequency (No)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	22	23	a day	below a week	over one week	two weeks or more
Gwangju	16	4	5	2	3		1			1						2				47.0	88.2	4	2
Mokpo	11	1	1	2	1	1	1													61.1	94.4	1	0
Yeosu	6	1			1															75.0	100	0	0
Wando	13	6	1		2			1						1						54.2	91.7	2	1
Jangheung	15	5	4		3				1											53.6	96.4	1	0
Haenam	11	3	1	2	2											1		1		52.4	90.5	2	2
Goheung	4	7	4	1	1	1				1										21.0	94.7	1	0
Heuksando	2		1																	66.7	100	0	0
Suncheon	7	2	3	2	2	1			1								1			36.8	89.5	2	1
Yeonggwang	8	3	3	2	1		1	1	1		1					1				36.4	77.3	5	1
Boseong	13	6	3			1			1						1					52.0	92.0	2	1
Gangjin	11	2	3														1			64.7	94.1	1	1
Gwangyang	11	6	5		1				1						2		1			40.7	85.2	4	3
Muan	1	3	3	4		1														8.3	100	0	0
Damyang	10	2	4	1	1	2	1			1	1									43.5	87.0	3	0
Gurye	25	6	7	1	2	1				1			1			1	1	1		53.2	89.4	5	4
Naju	15	3	3	2	3		2			1						1			1	48.4	83.9	5	2
Geomundo	2	3	2																	28.6	100	0	0
Jangseong	6	1	2	4	1	1										1				37.5	93.7	1	1
Yeongam	10	2	2	2	2	1				1						1				47.6	90.5	2	1
Hwasun	21	9	8	2	1					1		1				1	1		1	45.7	89.1	5	3
Hampyeong	11	3	6		1	1	1		2		1					1				40.7	81.5	5	1
Gokseong	17	4	1	1			1			2	1					2				58.6	79.3	6	2
Jindo(Suyu)	15	4	3	1					2						1					57.7	88.5	3	1
Sinan(Aphae)	3	5	3	1			2				1			1						18.8	75.0	4	1
Total	264	91	78	30	28	11	10	2	9	9	5	1	1	2	4	12	5	2	2	–	–	–	–

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 최장 폭염지속일 분석

일반적으로 폭염은 건조한 대기 상태에서 일사에 의한 지면가열이 지속되면서 발생하는 난기이류(warm air advection)와 지형적인 영향 등에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다.

앞서 폭염의 시종일 분석을 통해, 동일한 기압배치에서도 지형적인 특성과 도시화 등 다양한 사회적 요인 등으로 인하여 폭염 발생양상이 국지적으로 다양하게 나타나고, 상대적으로 때 이른 무더위 출현이 더 많아지고 있음을 밝혔다. 또한, 폭염의 지속일수 분석에서는 2주일 이상의 극한폭염이 자주 발생하는 지역이 상대적으로 가장 이르고 가장 늦은 폭염이 기록되고 있음을 알 수 있었다.

최근 6년 동안의 지역별 극한폭염의 발생 양상을 이해하기 위하여 Table 3.8과 Table 3.9에 광주 · 전남 25개 지역에 대한 폭염의 최장 지속일을 나타내었다.

광주 · 전남지방의 최장 폭염지속일은 최소 3일부터 최장 23일의 범위 내에서 지역별로 다양하게 발생하고 있으며, 25개 지역의 평균은 2주가 넘은 15일이었다.

가장 긴 극한폭염은 나주와 화순에서 2016년 8월 3일에 시작하여 8월 25일까지 지속된 23일이며, 구례와 해남이 같은 해 하루 늦은 8월 4일에 시작하여 8월 25일까지 지속된 22일이 뒤를 따랐고, 순천, 강진, 광양이 이틀 늦은 8월 5일에 시작하여 8월 22일에 종료된 18일을 기록하여, 최장 지속일의 상위 순위는 2016년에 모두 발생하였다.

2016년의 경우, 상대적으로 장기간인 최근 10년의 평균폭염일수 분석에서 최다 발생 순위 1위(18.6일)로 나타났고, 기상관측망이 전국적으로 대폭 확충한 시기인 1973년 이후 1994년(24.8일)에 이어 최다 발생 순위 2위를 기록했던 해로서, 지금까지 접해보지 못한 폭염의 발생 빈도와 강한 강도의 극한폭염이 최근 들어 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 최근 10년 동안 평균폭염일수 최다 2위(16.2일)를 차지했던 2013년에도 광주, 목포 등 16개 지역에서 폭염의 최장 지속일을 기록하였다.

또한 먼 바다의 도서지역에 위치한 흑산도와 거문도가 최장 지속일이 3일로 가장 짧았고, 해안지역인 여수가 5일, 무안이 6일, 목포가 7일로 뒤를 따랐다. 내륙지역인 화순과는 16~18일의 큰 차이를 보여, 폭염의 지속기간에 해안 · 도서지방과 내륙지방의 지형적인 특성이 크게 영향을 주고 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.8. Regional heat wave longest period for the recent 6 years.

Region	Longest period(date)			Region	Longest period(date)		
	Start	End	Days		Start	End	Days
Gwangju	2012.7.24 2013.8. 6	2012.8. 9 2013.8.22	17	Muan	2013.8.17	2013.8.22	6
Mokpo	2013.8.16	2013.8.22	7	Damyang	2016.8. 4	2016.8.14	11
Yeosu	2016.8.11	2016.8.15	5	Gurye	2016.8. 4	2016.8.25	22
Heuksando	2013.8.16	2013.8.18	3	Naju	2016.8. 3	2016.8.25	**23**
Wando	2013.8. 6	2013.8.20	15	Geomundo	2013.8. 8 2016.8.11	2013.8.10 2016.8.13	3
Suncheon	2016.8. 5	2016.8.22	18	Jangseong	2013.8. 6	2013.8.22	17
Yeonggwang	2013.8. 6	2013.8.22	17	Yeongam	2013.8. 6	2013.8.22	17
Boseong	2013.8. 6	2013.8.21	16	Hwasun	2016.8. 3	2016.8.25	**23**
Gangjin	2016.8. 5	2016.8.22	18	Hampyeong	2013.8. 6	2016.8.22	17
Jangheung	2013.8. 8	2013.8.16	9	Gokseong	2012.7.24	2012.8. 9	17
Haenam	2016.8. 4	2016.8.25	**22**		2013.8. 4	2013.8.22	
Goheung	2013.8. 6	2013.8.15	10	Jindo(Suyu)	2013.8. 7	2013.8.22	16
Gwangyang	2016.8. 5	2016.8.22	18	Sinan(Aphae)	2013.8. 8	2013.8.22	15
				Average	–	–	15

Table 3.9. Same as Table 3.8 except for the yearly.

Years	Longest period	Region
2011	8.29 ~ 9.3(6)	Gurye
2012	7.23 ~ 8.9(18)	Gurye, Hwasun
2013	8.6 ~ 8.22(17)	Gwangju, Haenam, Yeonggwang, Gurye, Naju, Jangseong, Yeongam, Hwasun, Hampyeong, Gokseong
2014	5.29 ~ 5.31(3)	Gwangju, Gurye, Hwasun
2015	7.26 ~ 8.10(16)	Gwangyang
2016	8.3 ~ 8.25(23)	Hwasun

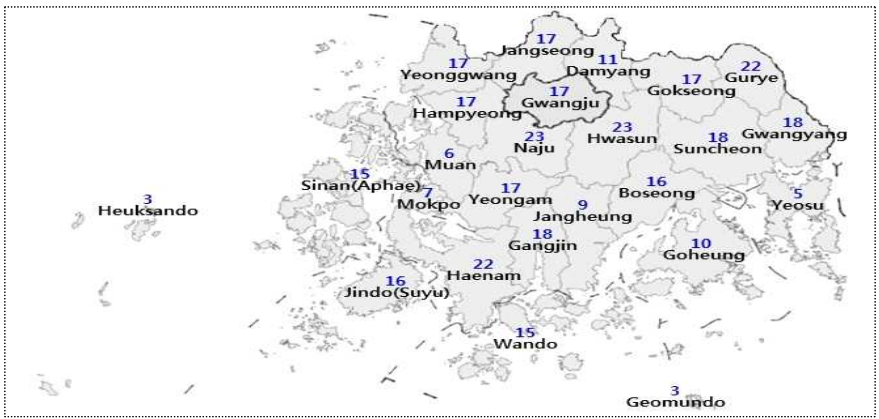


Fig. 3.8. Regional heat wave longest period for the recent 6 years.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. 폭염의 강도

폭염의 강도는 폭염의 발생 빈도, 지속기간 등과 더불어 건강관리와 폭염영향에 대해 대비책을 마련하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 앞서 최근 6년 동안의 폭염의 지속 일을 기준으로 극한폭염의 발생 경향을 살펴보았으나, 폭염의 강도를 좀 더 명확히 이해하고자 폭염의 강도를 폭염발생 시의 최고기온으로 정의하여 분석하였다.

(1) 연도별 폭염강도 분석

먼저 최근 6년 동안 연도별 폭염의 강도를 이해하기 위하여 Fig. 3.9와 Table 3.10에 분석하여 나타내었다.

Fig. 3.9(a)에 나타낸 것 같이 연도별 폭염의 강도는 2013년과 2016년에 평균 34.5℃로 가장 강했으며, 2014년이 33.8℃로 상대적으로 가장 낮았다.

특히 2016년은 폭염의 발생일수가 가장 많은 가운데 2주 이상 지속된 극한폭염이 가장 많았고, 폭염의 최장 지속일인 23일을 기록했던 해이며, 2014년도 뒤를 이어서 극한폭염과 지속기간이 긴 폭염이 자주 발생했던 해이다. 또한, 상대적으로 가장 약했던 2014년은 폭염의 발생일수가 가장 적으며, 지속일수도 3일 이내로 모두 종료되었다.

Fig. 3.9(b)는 폭염의 지속기간과 폭염 강도를 나타낸 것으로, 폭염의 지속기간이 길어지면 폭염의 강도가 강해지는 것으로 분석되어, 폭염이 지속되면 지표면이 가열되고 더욱 건조해져 폭염의 강도는 더욱 강해지는 상호 작용으로 순환되고 있었다.

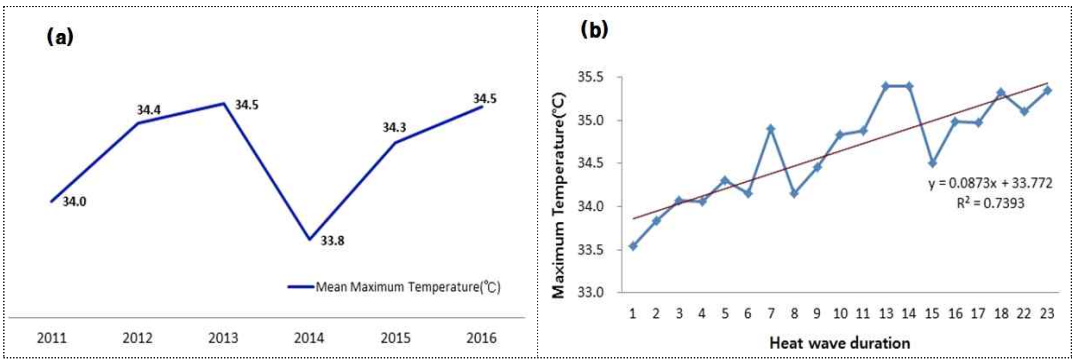


Fig. 3.9. Yearly heat wave intensity(a), and heat wave intensity according to heat wave duration(b) for the recent 6 years.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.10. Yearly heat wave intensity according to heat wave duration for the recent 6 years.

Years (heat wave days)	Mean maximum temperature(℃)																		Aver-age
	Heat wave duration(days)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	22	23	
2011 (203)	33.5	33.7	34.4	34.2	34.6	34.1														34.0
2012 (337)	33.6	33.9	34.0	34.3	34.2	34.7	35.2	34.3	34.4	35.9						34.8	35.8			34.4
2013 (460)	33.4	33.6	34.0	33.8	34.0	33.6	34.3		34.6	34.0				34.5	34.9	35.2				34.5
2014 (67)	33.4	34.2	34.0																	33.8
2015 (198)	33.7	33.7	34.0	34.0		34.2	34.8					35.4	35.4		35.1					34.3
2016 (558)	33.5	34.0	34.1	34.1	34.3	34.2	35.4	34.0	34.4	34.6	34.9						34.9	35.1	35.4	34.5
Average	33.5	33.8	34.1	34.1	34.3	34.2	34.9	34.2	34.5	34.8	34.9	35.4	35.4	34.5	35.0	35.0	35.3	35.1	35.4	34.2

(2) 지역별 폭염강도 분석

Fig. 3.10과 Table 3.11은 지역별 폭염강도의 분석자료 이다.

Fig. 3.10(a)에서와 같이 지역별 폭염의 평균 강도는 34.2℃로 최고·최저의 차이는 1.2℃이다. 가장 강도가 강한 지역은 나주와 화순으로 34.8℃이며, 구례(34.7℃), 곡성과 함평(34.5℃) 뒤를 따랐다. 또한, 상대적으로 가장 약한 폭염이 발생한 지역은 흑산도로 33.6℃이며, 무안, 여수, 거문도(33.7℃)가 근소한 차이로 뒤를 따랐다.

Fig. 3.10(b)는 지역별 폭염의 지속기간과 폭염의 강도를 나타낸 것으로, 평균강도인 34.2℃ 이상과 폭염경보 기준치인 35℃이상의 발생빈도는 지속기간이 길어질수록 많아지고 있었다. 특히 17일 동안 폭염이 지속될 때 화순에서 36,5℃로 가장 강한 폭염이 나타났으며, 구례가 36,4℃로 뒤를 따랐다.

따라서 연도별 분석에서 설명한 바와 같이 지속기간이 2주 이상 긴 극한폭염이 자주 발생한 지역은 지표면 가열에 의해 토양수분의 감소를 가져오고, 대기가 더욱 건조해져 기온상승이 가속화되는 feedback으로 35.0℃ 이상의 강한 강도의 폭염이 자주 발생하는 반면, 상대적으로 약한 강도의 폭염이 발생한 지역은 상반된 결과가 나타나

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 것으로 해석된다.

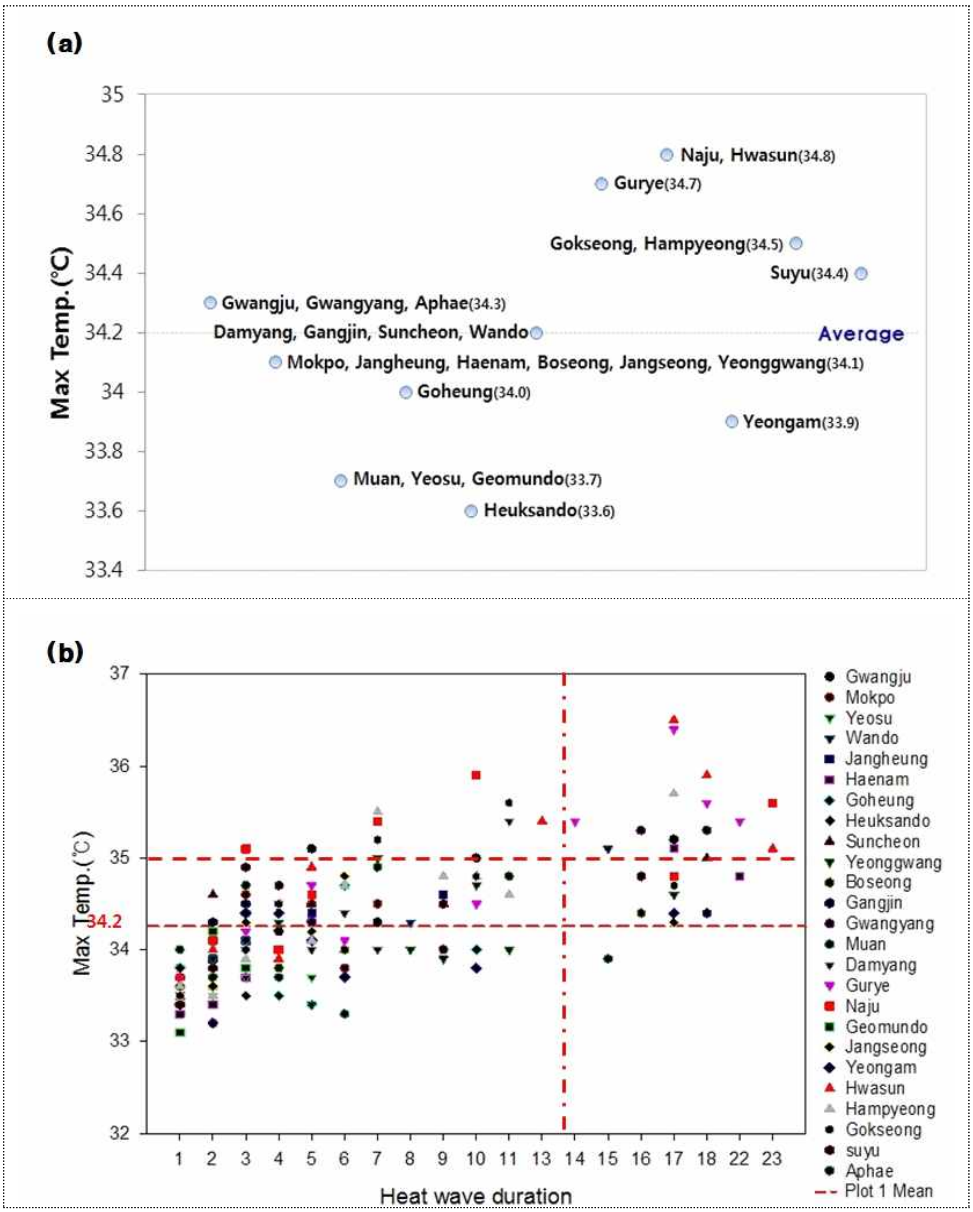


Fig. 3.10. Same as Fig. 3.9 except for the regional.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.11. Same as Table 3.10 except for the regional.

Region	Mean maximum temperature(℃)																		
	Heat wave duration(days)																		Aver-age
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	22	23	
Gwangju	33.4	33.7	33.7	34.2	35.1		34.3			35.0						35.2				34.3
Mokpo	33.8	33.2	34.6	34.5	34.5	33.8	34.5													34.1
Yeosu	33.8	33.5			33.7															33.7
Wando	33.5	33.9	33.8		34.3			34.3						35.1						34.2
Jangheung	33.5	33.9	34.1		34.4				34.6											34.1
Haenam	33.3	33.4	33.7	34.0	34.3											35.1		34.8		34.1
Goheung	33.8	34.1	34.5	33.5	33.4	34.7				34.0										34.0
Heuksando	33.6		33.5																	33.6
Suncheon	33.5	34.6	33.9	33.9	34.5	34.0			34.5								35.0			34.2
Yeonggwang	33.4	33.9	34.0	34.3	33.4		35.0	34.0	33.9		34.0					34.6				34.1
Boseong	33.6	33.6	34.4			34.0			34.5						34.4					34.1
Gangjin	33.7	34.3	34.5														34.4			34.2
Gwangyang	33.5	34.2	33.8		34.3				34.0						35.3		35.3			34.3
Muan	33.4	33.8	34.1	33.7		33.3														33.7
Damyang	33.5	33.7	33.7	34.5	34.0	34.4	34.0			34.7	35.4									34.2
Gurye	33.7	33.7	34.2	34.0	34.7	34.1				34.5			35.4			36.4	35.6	35.4		34.7
Naju	33.5	34.1	35.1	34.0	34.6		35.4			35.9						34.8			35.6	34.8
Geomundo	33.1	34.2	33.8																	33.7
Jangseong	33.4	33.6	34.3	33.8	34.2	34.8										34.3				34.1
Yeongam	33.4	33.2	34.4	34.4	34.1	33.7				33.8						34.4				33.9
Hwasun	33.7	34.0	33.9	33.9	34.9					34.8		35.4				36.5	35.9		35.1	34.8
Hampyeong	33.6	33.5	33.9		34.1	34.7	35.5		34.8		34.6					35.7				34.5
Gokseong	33.5	33.8	34.0	34.5			35.2			34.8	35.6					34.7				34.5
Jindo(Suyu)	33.4	33.8	34.9	34.7					34.5						34.8					34.4
Sinan(Aphae)	34.0	33.7	34.7	33.8			34.9				34.8			33.9						34.3
Average																				34.2

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마. 24절기와 연계한 폭염의 통계적 특성

앞서 분석한 광주·전남지역에서 발생한 폭염의 통계적 특성을, 계절적 구분에 사용되고 있는 24절기와 비교하여 Fig. 3.11에 시계열로 나타내었다.

본래 24절기는 중국 주나라 때 화북지방의 기후에 맞춰 만들어져 우리 지역의 기후와는 정확하게 맞지 않지만, 매 절기마다 계절의 특성과 변화를 참고할 수 있고, 농사를 짓는 순서와 방법, 수확을 알리는 농사의 시간표이면서 지침서이기 때문에, 농업인구가 전국 1위인 많은 광주·전남지역의 지역적인 폭염특성과 연계하여 비교하였다. 또한 각 절기의 일자는 최근 6년 동안 해당 일을 평균하여 사용하였고, 기온과 강수량의 최근 6년 경향은 평년자료를 보유한 7개 지역을 대상으로 하였다.

5~9월까지 광주·전남지역의 평균기온과 최고기온을 살펴보면, 평년보다 0.6℃ 높아 최근의 온난화 경향이 잘 나타나고 있으며, 폭염이 시작되는 5월과 6월의 강수량과 강수일수는 각각 평년의 76.8%와 94.9%를 차지하여, 간간히 비가 내렸음에도 불구하고 대기는 점점 메말라 건조한 상태를 유지하고 있다.

또한 기후학적으로 6월 23일에 시작해서 7월 24일에 종료되는 장마기간에는 연강수량의 26.8%인 376.3㎜가 내리나, 최근에는 연강수량의 21.9%와 평년의 81%에 머물면서 마른장마를 기록하는 등, 장마전선의 활동이 점점 더 불규칙해지면서 빈발하고 강한 강도의 폭염이 발생할 수 있는 기후시스템이 되고 있다.

사계절이 뚜렷한 우리나라에서 일상적이면서 자연스러운 현상으로 여겼던 여름철의 무더위에 대해서, 매월 해당되는 절기와 연계하여 해석하고자 한다. 지구의 공전으로 인한 태양의 고도변화에 따라 계절의 흐름을 가늠할 수 있는 여름철의 절기는 7번째 절기인 입하(5월 5일)에서 소만, 망종, 하지, 소서, 대서를 거치면서 13번째 절기인 입추(8월 7일) 이전까지로 이해할 수 있지만, 늦더위가 나타나면서 폭염이 9월까지 발생하여 16번째 절기인 추분(9월 23일)까지 확대하여 해석하였다.

봄의 마지막 절기로서 곡우(4월 20일)에는 농사비가 내리게 되는데, 최근 4월의 강수량은 평년의 152%를 기록하면서 농사의 시작 시즌에 알맞은 기후조건이 형성된다. 대체로 이 시기에는 꽃샘추위로부터 벗어나면서 일교차가 커지나, 낮 최고기온은 상승하여 따뜻하게 느낄 정도에 그쳐 폭염은 발생하지는 않는다.

이렇게 짧은 봄을 보내고 '여름이 시작' 된다는 입하(5월 5일)가 지나면서, '햇볕

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 풍부해지고 보리가 익어가며 모내기가 본격적으로 진행’ 된다는 소만(5월 21일)에 이르게 된다. 이 시기에 강수량과 강수일수는 평년의 94~96%에 이르는 조금 건조한 상태로 전환되면서, 평균기온과 최고기온은 평년보다 0.9~1.1℃ 높아진다.

이어 점점 메말라 가는 대지에서 내리쬐는 햇빛은 점차 때 이른 무더위로 바뀌면서, 소만으로부터 3일 후인 5월 24일에 가장 이른 첫 폭염이 구례와 화순에서 발생하게 된다. 특히 구례의 경우, 2주 이상 폭염이 지속된 횟수가 가장 많은 곳으로 기록되고 있는 지역이다. 이어 광주 등 6개 지역에서도 5월 26일에 가장 이른 첫 폭염이 발생하면서 첫 폭염주의보가 광주·전남지역에 5월 25일 발표된다. 이 시기에 발생하는 폭염일수는 전체 폭염 발생기간 중 1.2% 비중을 차지하게 된다.

‘보리의 수확이 끝나고 수염이 있는 작물의 씨를 뿌리는 시기’ 인 망종(6월 6일)이 지나고 10여일 뒤인 6월 16일에는, 구례와 화순에서 평균적으로 1년 중 가장 이른 첫 폭염이 발생하게 된다. 특히 위 지역들은 폭염일수가 가장 많은 1~2위로 기록되고 있는 지역들이다.

점점 심화 되어가고 있는 가뭄 속에서 1년 중 ‘낮이 가장 긴 날’ 인 하지(6월 21일)에 이르면서 장마가 시작된다. 장마의 평년 시작일은 하지보다 늦은 6월 23일 이지만, 최근에는 하지보다 1일 빠른 6월 20일에 시작되고 있다.

장마가 시작되었지만 최근 기후변화로 인해 장마전선의 활동이 점점 더 불규칙해지면서, 기다리는 단비 소식은 없고 이른 무더위가 지속되어 곡성과 광주에서도 평균적으로 가장 이른 첫 폭염이 6월 24일과 25일에 각각 나타난다. 이 시기에 평균기온과 최고기온은 평년보다 0.3~0.7℃ 높아져 무더위는 지속되지만 폭염에 이르는 수준은 적어, 폭염일수가 0.4%에 그쳐 발생기간 중 가장 적은 달로 기록하게 된다. 또한 강수일수는 평년의 96%에 이르면서 간간이 소나기가 내렸음에도 불구하고, 강수량은 평년의 58%에 그쳐 마른장마의 시작을 알리게 된다.

더위의 시작을 알리는 소서(7월 7일)가 지나고 장마가 소강상태로 제 역할을 하지 못한 채, 초복(7월 16일)이 지나고 3일 후에는 광주·전남 25개 지역의 평균적인 첫 폭염일을 기록하게 된다.

이즈음 장마의 소강상태가 길어진다 싶더니 마른장마가 7월 22일에 끝나고, 더위가 가장 심하여 염소 뿔도 녹는다는 ‘큰 더위’ 의 대서(7월 23일)가 지나면서, 폭염일수는 급격하게 증가하기 시작하여 폭염 발생기간 중, 두 번째로 많은 달(30%)을 기록하면서 더위의 절정시기가 시작하게 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 때 남해안의 여수에서 1년 중 가장 이른 첫 폭염이 7월 26일에 나타나고 도서지역인 거문도는 7월 31일, 흑산도는 8월 6일에 발생하면서, 가장 이른 내륙지역과 큰 차이를 보여준다. 특히 위 지역들(흑산도, 여수, 거문도)은 늦게 폭염이 발생하여 빨리 종료되기 때문에 폭염발생 일수가 가장 적은 1~3위로 기록되고 있다.

폭염의 절정시기에 도달했지만 '가을의 시작' 인 입추(8월 7일)가 성큼 다가와, 화북지방을 기준으로 만들어진 중국의 24절기가 우리지역과 일치하지 않는다는 느낌을 갖게 해준다.

이어 말복(8월 12일)을 기점으로 흑산도에서 가장 늦게 평균적으로 첫 폭염일(8월 11일)을 기록하고, 8월 18일에는 광주·전남 25개 지역에서 평균적으로 가장 늦은 폭염일을 기록하게 되면서 흑산도는 더 이상 폭염이 발생하지 않는다.

일반적으로 더위가 수그러들어 밤에는 바람이 시원해지면서, '모기 입도 비뚤어져 기세가 약해지는' 처서(8월 23일)가 지나면서 폭염의 절정도 서서히 변곡점에 도달하게 된다. 폭염의 절정시기인 8월 3일부터 지속되었던 나주와 화순의 폭염이 처서가 지나고 2일 뒤인 8월 25일에 종료되면서 최장의 폭염 지속 일을 기록하게 된다. 또한 8월의 평균기온과 최고기온은 평년보다 0.4℃ 높아지면서, 폭염일수는 전체 발생기간 중 65.3%를 차지하여 가장 많은 달로 기록되고 있다.

가을철의 시작인 9월에 접어들어 조석으로 조금씩 싸늘해지기 시작하면서, '농작물에 흰 이슬이 맺힌다' 는 백로(9월 8일)가 지나고 10 여일 뒤에는, 광주 등 10개 지역에서 마지막 폭염일을 기록(9월 17일) 하게 된다. 이어 '밤과 낮의 길이가 같아진다' 는 추분(9월 23일)이 가까워지면서, 광주·전남지방에서 가장 늦은 마지막 폭염이 화순에서 9월 22일에 발생하고 폭염시즌이 종료된다. 이 시기에 평균기온과 최고기온은 평년보다 0.2~0.3℃ 높아지고 있지만, 폭염에 이르는 수준이 되지 못해 폭염일수는 전체 폭염발생 기간 중 3.1%를 차지하게 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

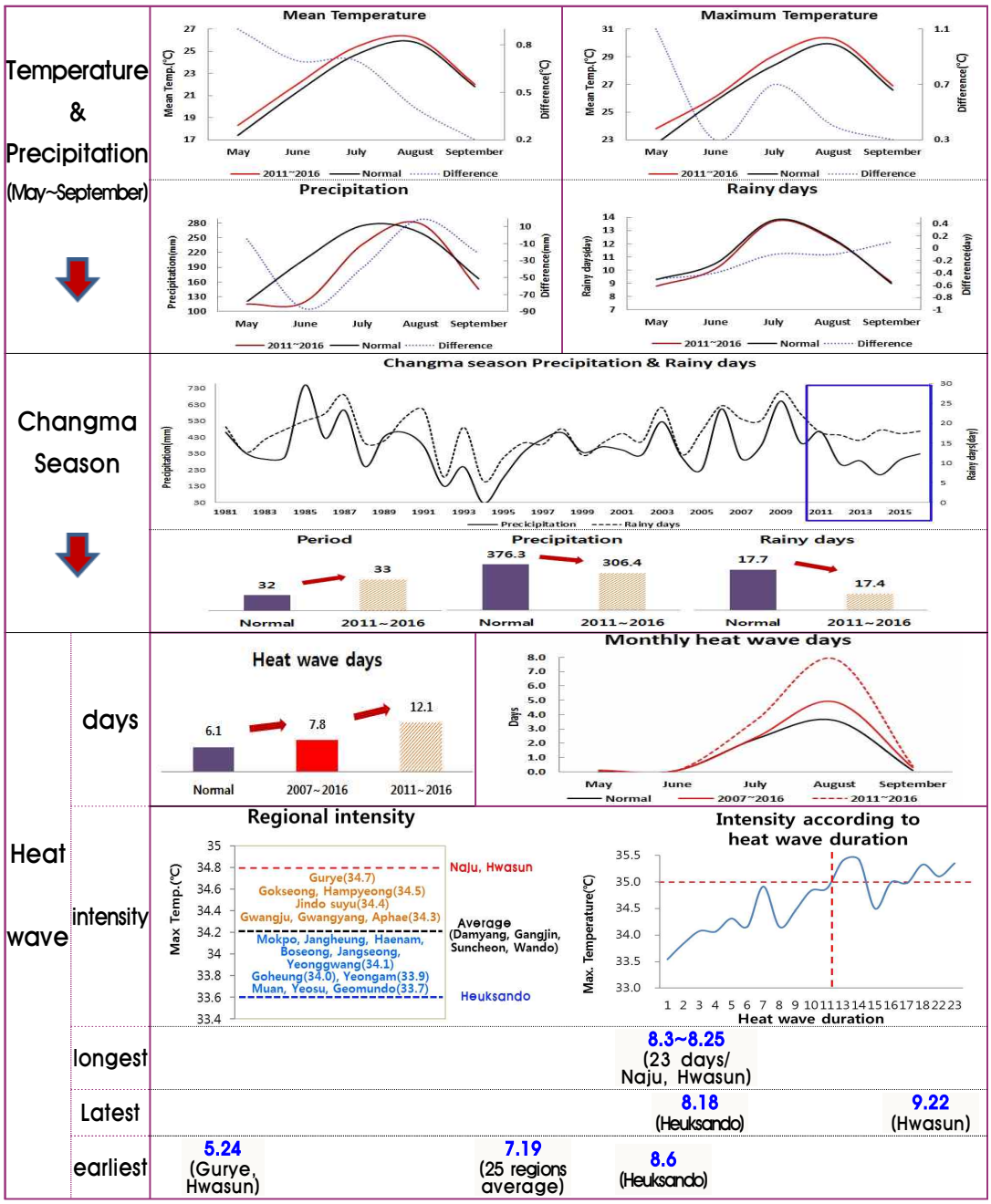


Fig. 3.11. Mapping of heat wave statistical characteristics with solar term.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 광주 · 전남지방에서 발생한 폭염의 종관기상학적 특성

1. 장마활동과 연계한 폭염특성 분석

광주 · 전남지방의 남서해안 지방은 여름에 더위가 심하지 않는 해양성기후이며, 중규모적으로 육지와 바다의 비열차로 인해 해륙풍이 하루를 주기로 발생한다. 소백산맥과 노령산맥의 사면에 위치한 내륙지방은 대륙성기후의 성격이 강하며 산지가 많아 산정상과 계곡의 비열차로 인해 하루를 주기로 산곡풍이 발생한다. 전반적으로 여름철에는 열대해양기단의 영향으로 열대와 같은 더위가, 겨울철에는 한대대륙기단의 영향으로 냉대와 같은 추위를 나타나는 전형적인 동안기후의 특성을 나타내고 있다(기상청, 2014). 광주 · 전남지방은 이러한 복잡한 지형지세로 비교적 좁은 면적이지만 다양한 기후특성을 보이며, 기압배치에 따라 기상변화가 국지적으로 다르게 나타나고 있다. 또한 최근 기후변화로 인하여 여름철 더위에 영향을 주는 장마의 시작 · 종료와 강수특성이 해마다 상이하게 나타나고 있다. 이에 광주 · 전남지역에서 발생한 폭염의 종관기상학적인 분석의 일환으로, 최근의 장마활동과 연계한 폭염의 특성을 분석하였다.

가. 최근 16년간 장마활동과 연계한 폭염특성

여름철의 주요 기상현상인 장마는, 최근 평년의 강수량에 훨씬 부족한 마른장마를 기록하는 등, 장마전선의 활동이 점점 더 불규칙해지면서 이에 연계된 폭염 발생 양상도 다양하게 나타나고 있다.

국립재난안전연구원(2014)은 '장마철 강수량이 부족할수록 그 해 여름 폭염일수가 증가함과 동시에 폭염의 강도가 강해지는 경향이 존재 한다' 고 하여, 최근 16년 동안 장마활동(기간, 강수량 등)과 폭염경향 등을 평년과 비교 · 분석하였다.

폭염일수의 경우 2001~2010년까지는 광주 등 7개 지역의 평균이며, 2011~2016년까지는 총 25개 지역의 평균이다.

Table 3.12에 나타낸 것 같이, 최근 16년 동안 장마기간은 최단 23일에서 최장 46일 분포로, 장마의 시작일은 평년보다 최근 6년(2011~2016)이 3일, 16년(2001~2016)은 2일 빨라지면서 장마기간은 평균 33~34일로 평년보다 1~2일 많아지고 있다. 또한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

장마기간의 강수량은 평년대비 최소 53.3에서 최대 173.5%로 불규칙한 가운데, 최근에 접어들면서 평년의 81.4%로 점점 감소하고 있으며, 강수일수도 0.3일 적어지고 있다. 폭염일수의 경우, 최근 6년에 접어들면서 증가경향이 뚜렷해지고 있으며(평년/6.1일 → 16년/8.1일→ 6년/12.1일), 전반적으로 장마기간의 강수량이 적고, 폭염일수가 많은 해에 극한폭염의 발생빈도가 높아지고 있다.

Table 3.12. Yearly heat wave characteristics linked to changma for the recent 16 years.

Years	Changma					Heat wave	
	Start (date)	End (date)	Days	Precip.(mm) (% from normal)	Rainy days	Days	Longest period days(date)
2001	6.22	7.21	30	352.4 (93.6)	17.4	7.1	7(7.29~8.4)
2002	6.23	7.23	31	323.7 (86.0)	15.4	1.7	2(7.24~7.25)
2003	6.23	7.25	33	526.4 (139.9)	24.0	0	-
2004	6.24	7.17	24	308.1 (81.9)	12.1	13.0	11(8.4~8.14)
2005	6.26	7.18	23	233.5 (62.1)	18.0	6.3	9(7.18~7.26)
2006	6.21	7.29	39	604.8 (160.7)	24.4	11.6	10(8.2~8.11)
2007	6.21	7.24	34	299.9 (79.7)	21.1	5.1	5(8.17~8.21)
2008	6.17	7.26	40	379.1 (100.7)	20.7	6.4	5(7.28~8.1)
2009	6.21	8. 3	44	652.9 (173.5)	28.0	1.0	2(6.25~6.26)
2010	6.18	7.28	41	395.4 (105.1)	22.3	5.1	6(8.19~8.24)
2011	6.10	7.10	31	465.2 (123.6)	17.7	8.1	4(7.17~7.20)
2012	6.18	7.17	30	265.1 (70.4)	17.0	13.5	17(7.24~8.9)
2013	6.18	8. 2	46	286.3 (76.1)	15.7	18.4	17(8.6~8.22)
2014	7. 2	7.29	28	200.4 (53.3)	18.3	2.7	3(5.29~5.31)
2015	6.24	7.29	36	292.2 (77.7)	17.4	7.9	7(8.3~8.9)
2016	6.18	7.16	29	328.9 (87.4)	18.0	22.3	23(8.3~8.25)
Average (16 years)	6.21	7.24	34	369.6 (98.2)	19.2	8.1	23(longest)
Average (6 years)	6.20	7.22	33	306.4 (81.4)	17.4	12.1	23(longest)
Normal	6.23	7.23~24	32	376.3	17.7	6.1	-

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

장마활동과 연계한 폭염특성을 이해하기 위하여 평년과 비교하여 최근 16년 동안에 장마기간의 장 · 단, 장마 강수량과 강수일수의 대 · 소 등을 분류하고, 두 집단(장 · 단, 대 · 소)간의 각각의 평균적인 폭염일수를 분석하였다.

Fig. 3.12에 나타낸 것 같이, 장마기간이 평년보다 짧았던 해에는 무더위가 상대적으로 빨리 시작되면서 폭염일수가 9.3일로 상대적으로 많았고, 길었던 해는 평년과 비슷한 6.9일 이었다.

또한 강수량이 평년보다 적었던 해에는 강수 부족에 따른 건조한 지표면이 기온상승을 가속화하여 폭염일수가 9.8일로 상대적으로 많았고, 강수량이 많았던 해에는 일반적으로 비가 오기 전 구름이 지표면의 가열을 차단하는 역할을 하고, 내린 비도 많은 양의 수증기를 지표면에 공급하면서 폭염일수가 평년보다 적은 수준인 5.4일에 그쳤다.

강수일수가 평년보다 적었던 해에는 구름의 양이 적어지면서 지표면에 도달하는 강한 일사가 지속되어 폭염일수가 10.3일로 가장 많았다.

장마활동과 폭염의 특성을 요약하면, 폭염의 발생에 장마기간(2.4일)→강수일수(3.4일)→강수량(4.4일) 순으로 상대적인 기여도 차이가 나타나, 진행되고 있는 기후변화 시대에 여름철 강수예측 정확도 향상은 체계적인 폭염 적응대책 관리에 있어 무엇보다도 중요하며 필요한 것으로 판단된다.

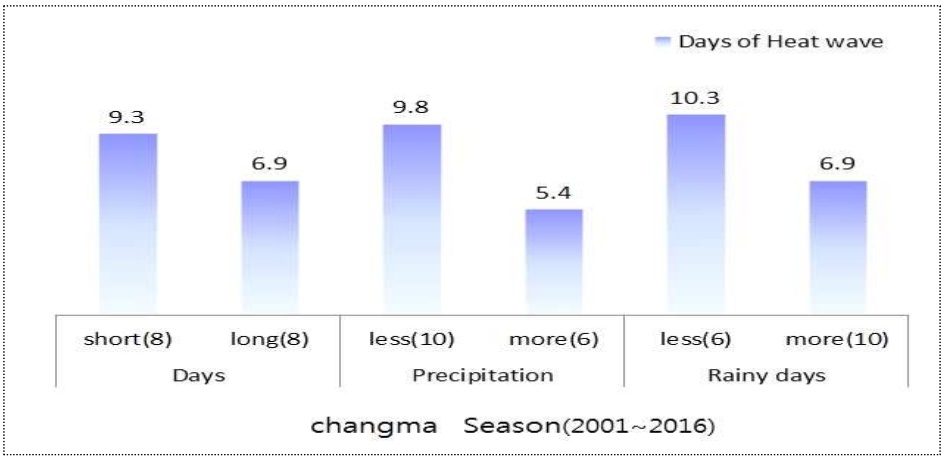


Fig. 3.12. Heat wave characteristics linked to changma for the recent 16 years.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 폭염 패턴에 따른 종관기상학적 분석

앞서 최근 6년 동안 광주·전남지방 25개 지역에 대한 폭염의 처음 발생일과 마지막 발생일의 분석을 통해, 폭염은 장마가 종료된 후 7월 중후반인 7월 19일부터 시작되어 8월 초순에 연중 최고기온을 기록하면서, 8월 중순인 8월 18일까지 지속되는 결과를 평균적인 패턴으로 이해할 수 있었다.

이처럼 일반적이고 정상적인 패턴으로 내습하는 폭염은 예측이나 대비책을 마련하는데 상대적으로 접근이 용이할 수 있지만, 최근의 폭염은 지금까지 겪어보지 못한 발생양상을 보여주고 있어 폭염발생 시 mechanism 규명을 위해 종관기상학적인 특성분석을 실시하였다.

가. 종관기상학적 분석을 위한 폭염 사례 선정

앞서 다룬 장마활동과 연계한 폭염분석 결과 중 장마가 종료된 후 나타나는 일반적인 폭염패턴으로 폭염일수가 상대적으로 많았던 사례, 가장 이른 폭염과 가장 늦은 폭염이 발생했던 사례, 극한폭염인 최장 지속일수를 기록했던 사례를 기준으로 선별하였다.

또한 다가올 미래의 폭염도, 최근의 발생 양상이 지속적으로 나타날 가능성이 높으므로 최근 날짜 위주로 선정하여 Table 3.13에 나타내었다.

Table 3.13. Case study of heat wave patterns.

Years	Heat wave					Characteristics of heat wave
	Days	Earliest (date)	Latest (date)	Longest period (days)	Intensity (℃)	
2012	13.5	7.20	8.26	18(7.23~8.9)	34.4	General patten of Heat wave (occurs event after the end of changma)
2013	18.4	5.24	9.22	17(8.6~8.22)	34.5	Earliest and Latest Heat wave
2016	22.3	7.7	9.4	23(8.3~8.25)	34.5	Longest period Heat wave

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 종관기상학적 분석에 활용한 각종 일기도

이우섭(2013)은 2003년 유럽 폭염과 2010년 러시아 폭염은 강한 정체된 고기압시스템이 원인인 것으로 밝혔고, 한반도에서 발생하는 폭염의 주요원인은 한반도 주변에 대기 순환패턴의 변화라고 설명하였다.

이러한 이론적 배경으로, 폭염 발생 시 종관기상학적인 분석을 위해 기상청의 기후감시전망시스템 · 종합기상정보시스템에서 제공되는 각종 일기도 등을 활용하였다.

각 사례별 폭염이 발생하기 시작한 날부터 가장 늦은 폭염이 발생한 날까지의 평년값(1981~2010)과 비교하여 대기패턴의 변동성 규명을 위해 활용된 일기도는, 기후감시전망시스템의 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 재분석 자료이다. 주요 사용된 고층일기도는 200hPa, 500hPa의 평균 GPH 중첩일기도, 850hPa 기온, 바람장 등이며, 분석영역은 여름철 한반도 주변의 기온분포와 대기 순환패턴을 쉽게 이해할 수 있도록 동아시아 지역(0~80° N, 60° E~150° W)으로 한정하였다.

해당 사례의 광주 · 전남지방의 국지적인 대기상태를 규명하고자 가장 이른 폭염일과 가장 늦은 폭염일 분석에 활용된 일기도는 종합기상정보시스템의 KLPS(Korea Local analysis and Prediction System) 자료이다. 주요 사용된 분석일기도는 1000-700hPa 층후, 850hPa 상당온위, 고도, 기온, 바람장 등이다. 또한 해당 사례일에 관측된 최고기온과 이때의 상대습도를 활용하여 더위를 지수화한 열지수를 계산하여 나타내었다.

광주 · 전남지방의 강수량과 최고기온의 시계열 분석은, 평년 기후자료를 보유한 7개 지역(광주, 목포, 여수, 완도, 장흥, 해남, 고흥)의 평균값을 기준으로 기후감시전망시스템을 통해 해당 사례별로 생산하여 재분석하였다.

그리고 기타 기압배치 모식도 등은 기상청 홈페이지에서 제공되는 보도자료 등을 재분석하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 폭염 사례별 종관기상학적 분석

(1) 일반적인 폭염패턴으로 장마종료 후 폭염이 강했던 2012년

Fig. 3.13에 나타낸 것과 같이 2012년 광주·전남지방의 장마는 평년보다 5일 빠른 6월 18일에 시작하였고, 7월 16일경 괌 서쪽해상에서 발생한 제7호 태풍 Khanun이 서해안을 따라 북상하면서, 장마전선이 북상하여 평년보다 6~7일 빠른 7월 17일에 종료(장마기간 30일)되었다.

장마기간 강수일수가 평년보다 조금 적은 17.0일 이었으며, 강수량은 평년대비 70.4%인 265.1㎜를 기록하였다. 또한 장마 전에는 고기압의 영향을 주로 받아 강수량이 매우 적었으며, 장마가 종료된 후에는 덥고 습한 성질을 가진 북태평양고기압이 평년보다 북서쪽으로 크게 확장하였다. 7월 20일에는 전남 동부내륙에 위치한 분지지역인 구례와 전남 중부내륙에 위치한 대부분 산간지대인 화순에서 첫 폭염이 시작되었다.

7월 하순부터 본격적인 무더위가 나타나기 시작하여, 8월 1일에서 8월 6일 사이에는 지역별로 최고의 폭염강도를 보인 가운데, 8월 5일 나주에서 연중 최고기온인 39.2℃를 기록하였고, 8월 중순까지 폭염이 지속되었다. 그러나 8월 중순 초반과 하순 초반에는 대기 불안정과 기압골의 영향을 받아 국지적인 호우 등이 나타나면서 무더위가 일시적으로 소강상태를 보이기도 하였다.

이어 제15호 태풍 Bolaven이 서해상을 8월 27일~8월 28일에 통과하면서 구례, 화순, 광주 등 12개 지역에서 8월 26일에 가장 늦은 폭염을 기록하면서 폭염이 종료되었다.

Fig. 3.14에 나타낸 것과 같이, 2012년의 평균 폭염일수는 평년보다 많은 13.5일을 기록하였고, 평균 폭염강도는 34.4℃ 이었다. 최다 발생지역은 구례와 화순으로 28일이었고, 평균 폭염강도는 34.7~35.0℃ 이었다. 또한 광주(25일)와 나주(24일)도 상대적으로 많이 발생한 가운데, 폭염일수가 가장 적은 지역은 거문도의 1일이며 흑산도(2일), 여수(3일)가 뒤를 따르면서, 평균 폭염강도는 33.0~33.7℃의 분포를 보였다.

폭염의 최장 지속일은 구례와 화순에서 7월 23일부터 8월 9일까지 지속된 18일이며, 평균 폭염강도는 각각 35.1~35.9℃ 이었다. 25개 지역의 최장지속일의 평균은 7.1일로 평균 폭염강도는 34.4℃ 이었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

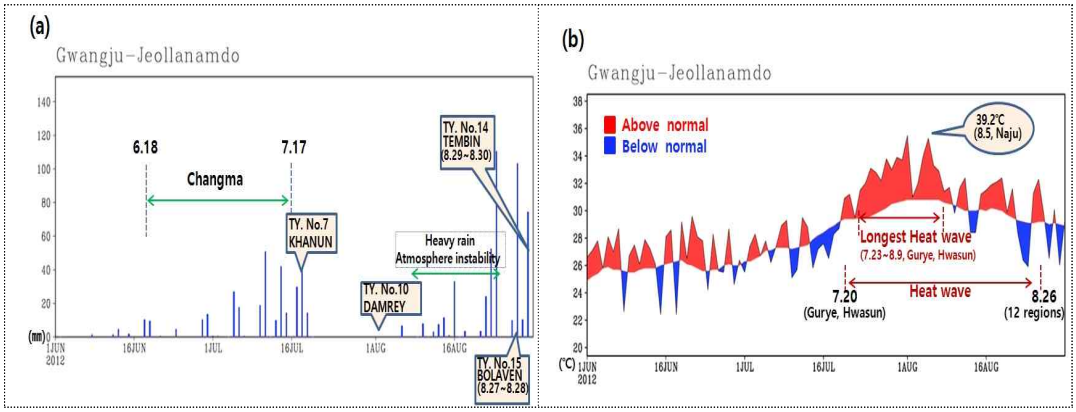


Fig. 3.13. Time series of precipitation(a), and maximum temperature(b) from 01 June up to 31 August 2012.

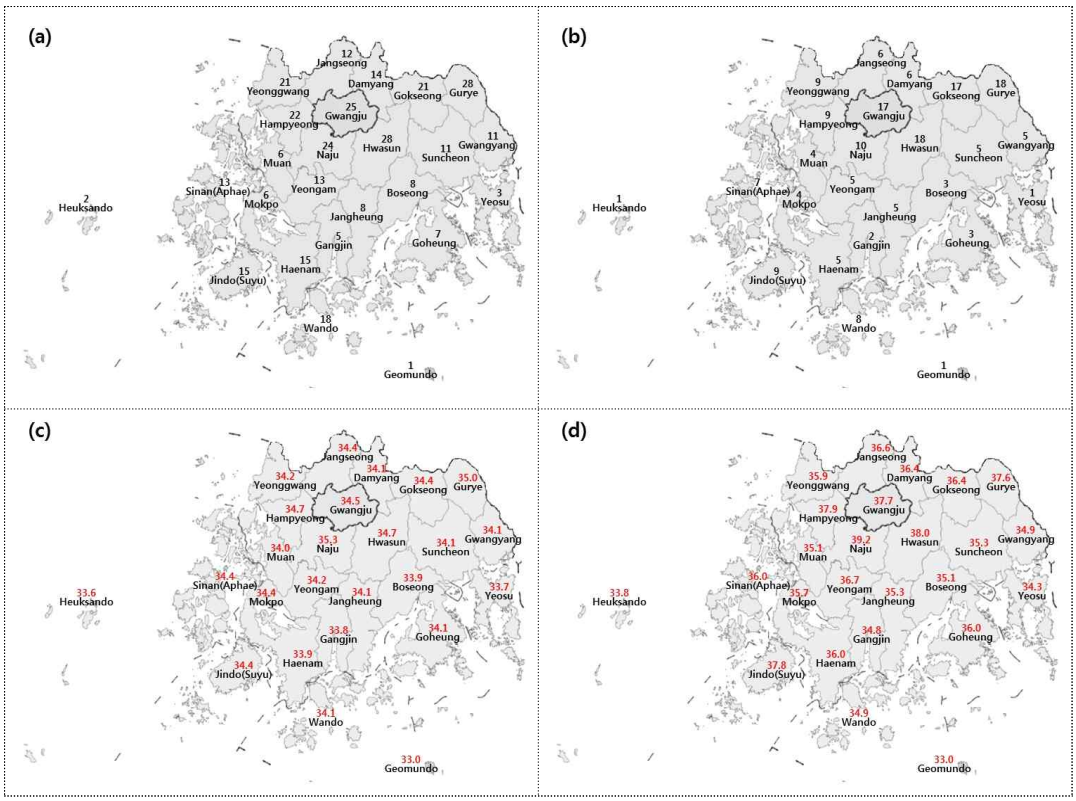


Fig. 3.14. Chart of heat wave days(a), and longest period(b), and intensity mean(c), and intensity maximum(d) from 20 July up to 26 August 2012.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.14. Classification of heat wave in 2012.

Region	Heat wave					
	Days	Intensity(℃)		Longest		Date
		Mean	Max.	period	Intensity(℃)	
Gwangju	25	34.5	37.7	17	34.9	7.21, 7.24~8.9, 8.11. 8.17~8.19, 8.21, 8.25~**8.26**
Mokpo	6	34.4	35.7	4	34.4	7.30, 8.1. 8.4~8.7
Yeosu	3	33.7	34.3	1	33.7	7.28. 8.1. 8.5
Wando	18	34.1	34.9	8	34.3	7.25~8.1, 8.4~8.5, 8.7, 8.12, 8.15~8.19, 8.21
Jangheung	8	34.1	35.3	5	34.3	7.25, 7.28~8.1, 8.4~8.5
Haenam	15	33.9	36.0	5	34.2	7.23, 7.25~7.26, 7.28~8.1, 8.4~8.7, 8.12, 8.16, 8.19
Goheung	7	34.1	36.0	3	34.5	7.25, 7.28, 7.30~8.1, 8.4~8.5
Heuksando	2	33.6	33.8	1	33.8	8.6, 8.18
Suncheon	11	34.1	35.3	5	34.3	7.25~7.26, 7.28~8.1, 8.4~8.7
Yeonggwang	21	34.2	35.9	9	33.9	7.24~8.1, 8.3~8.9, 8.11, 8.17~8.18, 8.21, **8.26**
Boseong	8	33.9	35.1	3	34.0	7.25~7.26, 7.28, 7.31~8.1, 8.4~8.6
Gangjin	5	33.8	34.8	2	34.3	7.25, 7.28, 7.31~8.1, 8.5
Gwangyang	11	34.1	34.9	5	34.3	7.24~7.26, 7.28~8.1, 8.4~8.6
Muan	6	34.0	35.1	4	34.0	7.31~8.1, 8.3~8.6
Damyang	14	34.1	36.4	6	34.6	7.24~7.26, 7.28, 7.30~8.1, 8.3~8.8, **8.26**
Gurye	**28**	35.0	37.6	**18**	35.6	**7.20**~7.21, **7.23~8.9**, 8.11~8.12, 8.15, 8.17~8.19, 8.25~**8.26**
Naju	24	**35.3**	**39.2**	10	**35.9**	7.21, 7.23~8.1, 8.3~8.9, 8.11, 8.17~8.19, 8.21, **8.26**
Geomundo	1	33.0	33.0	1	33.0	7.31
Jangseong	12	34.4	36.6	6	34.8	7.28~8.1, 8.3~8.8, **8.26**
Yeongam	13	34.2	36.7	5	34.6	7.24~7.25, 7.28~8.1, 8.4~8.7, 8.19, **8.26**
Hwasun	**28**	34.7	38.0	**18**	35.1	**7.20**~7.21, **7.23~8.9**, 8.11~8.12, 8.17~8.19, 8.21, 8.25~**8.26**
Hampyeong	22	34.7	37.9	9	34.9	7.21, 7.24~8.1, 8.3~8.9, 8.11, 8.17~8.19, **8.26**
Gokseong	21	34.4	36.4	17	34.6	7.21, 7.24~8.9, 8.11, 8.17, **8.26**
Suyu	15	34.4	37.8	9	34.4	7.24~8.1, 8.4~8.7, 8.18, **8.26**
Aphae	13	34.1	36.0	7	34.4	7.28, 7.30~8.1, 8.3~8.9, 8.25~**8.26**
Average	13.5	34.4	36.0	7.1	34.4	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.15는 폭염이 발생하기 시작한 2012년 7월 20일부터 가장 늦은 폭염이 발생한 8월 26일까지 200hPa의 평균지위고도(a), 500hPa의 평균지위고도(b), 850hPa의 기온(c), 850hPa의 바람장(d)을 평년과 중첩하여 나타낸 것이다.

대기 상층인 200hPa의 평균장을 살펴보면, Tibet 고기압은 평년에 비해 북쪽으로 발달하면서 12480gpm이 북한~일본 혼슈(本州)지방 부근까지 확장하여, 상층의 온난한 공기가 한반도를 지배하는 형태를 보여 주었다. 대기 중층인 500hPa의 북태평양고기압(5880gpm)은 평년(일본열도 남서쪽 해상 위치)에 비해 북서쪽으로 확장하여 한반도 남해안에 위치하면서, 고온·다습한 기류가 유입되었고, 기압골은 주로 Mongolia과 Baikal호 동쪽지역에 위치하면서 북편 하는 형태를 보였다. 대기 하층인 850hPa 기온장의 경우, 한반도를 중심으로 중국남부지방까지 남서방향으로 평년보다 높은 양의 anomaly가 위치하고 있으며, 건조단열선을 따라 지상까지 내렸을 때 폭염특보 기준인 33℃에 해당되는 18℃ 이상구역이 38°N을 따라 우리나라 동서로 위치하였다. 또한, 바람장은 한반도는 양의 anomaly로 강한 양의 anomaly가 위치한 동중국해로부터 남동풍 유입이 우세하였다.

Fig. 3.17는 가장 이른 폭염이 발생한 2012년 7월 20일 14시의 850hPa 고도, 기온, 바람장, 비습(a)과 1000-700hPa 층후, 850hPa 상당온위(b)이다.

광주·전남지방은 기압능에 위치하면서 18℃ 등온선이 구례, 화순에서 완도까지 남서방향으로 위치하고 있으며, 고온·다습한 공기가 남서풍을 따라 유입되고 있다. 1000-700hPa의 층후와 850hPa 상당온위의 경우 348K 이상의 고상당온위가 구례와 화순을 중심으로 위치하고 있다. Fig. 3.16(a)에 나타낸 이 날의 열지수는 31.8~40.8 분포로 광양에서 가장 높았고, 폭염이 발생한 화순과 구례는 상대습도가 52% 내외이어서 열지수는 37.0~37.9의 '보통' 수준으로 나타났다. 열지수가 그늘지고 약한 바람이 부는 환경에서 만들어졌기 때문에 태양빛에 의해 실제로 느끼는 더위와 지역 특성을 잘 반영하지 못했다.

Fig. 3.18은 가장 늦게 폭염이 발생한 2012년 8월 26일 14시의 일기도이다. 전남 중북부지방을 중심으로 20℃ 온난지역이 위치하면서 고온·다습한 공기가 남동풍을 따라 유입되고 있으며, 345K 이상의 고상당온위가 광주·전남지방 전역에 위치하고 있었다. Fig. 3.16(b)에 나타낸 이 날의 열지수는 33.7~40.1의 분포로 담양에서 가장 높았고, 폭염이 발생한 구례, 화순, 담양, 광주 등 12개 지역은 상대습도가 46~59% 분포이어서 열지수는 '보통' 수준인 37.1~40.1로 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2012년 폭염발생의 종관적인 mechanism을 정리하면, Tibet 고기압이 평년에 비해 북쪽으로 발달하면서 온난한 공기가 우리나라 대기 상층을 지배하였고, 북태평양고기압이 남해안에 위치하면서 대기 하층에서 남동~남서류가 우세하여 상대적으로 높은 온난공기와 345K 이상의 열대기단이 이류 되어, 전남 동부내륙의 분지지역인 구례와 전남 중부내륙의 산간지대인 화순에서 폭염이 자주 발생하였다. 또한 폭염 발생일에 상대습도가 59% 이하로 낮아 열지수는 41 미만의 '보통' 수준에 머물러 태양빛에 의해 실제로 느끼는 더위를 잘 반영하지 못했다.

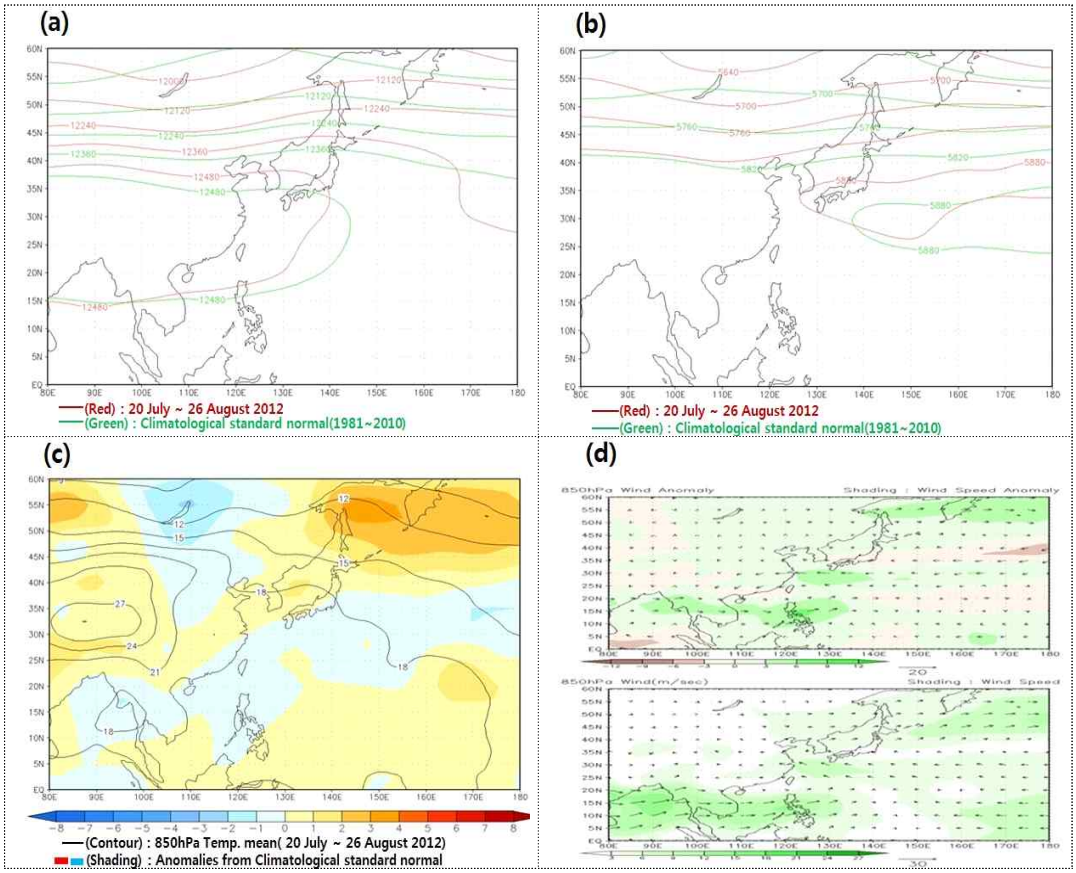


Fig. 3.15. Weather chart of 200hPa mean GPH(a), and 500hPa mean GPH(b), 850hPa mean temperature(c), and 850hPa mean wind speed and anomalies(d) from 20 July up to 26 August 2012.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

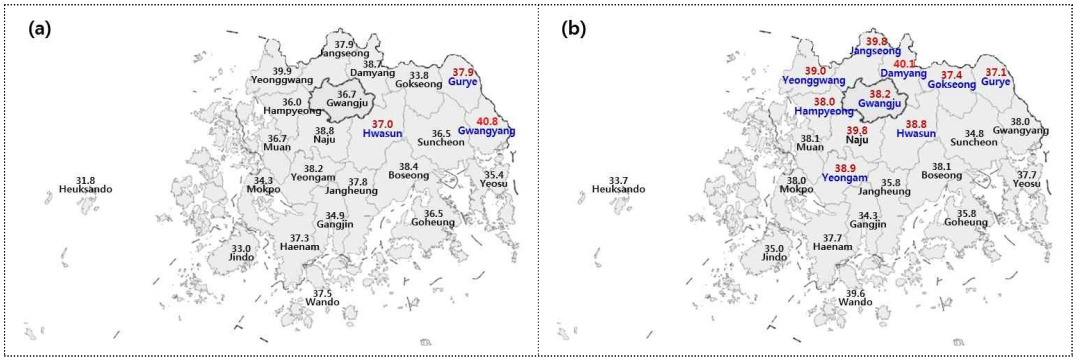


Fig. 3.16. Heat index for the 20 July 2012(a), and 26 August 2012(b).

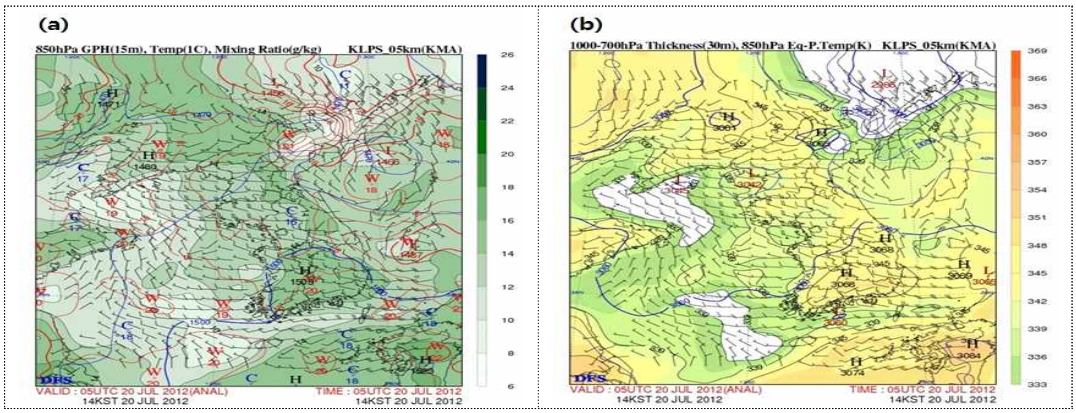


Fig. 3.17. Weather chart of 850hPa GPH, temperature, mixing Ratio(a), and 1000-700hPa thickness, 850hPa Eq-P. temperature(K)(b) at 14:00KST 20 July 2012.

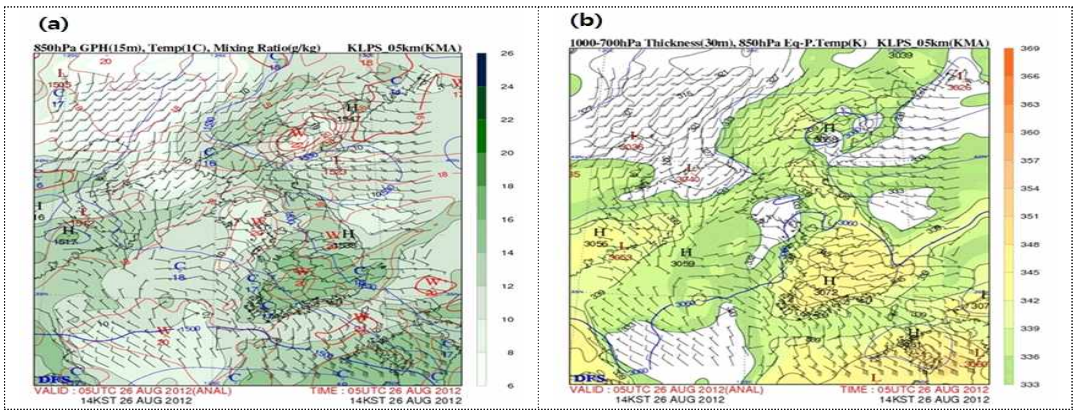


Fig. 3.18. Same as Fig. 3.17 except for the 14:00KST 26 August 2012.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 가장 이른 폭염과 가장 늦은 폭염이 발생했던 2013년

2013년 5월에 광주·전남지방은 강수일수가 평년보다 적은 6.9일 이었으며, 높은 기온경향(평균/최고/최저기온 편차: +0.6/+1.0/+0.3℃)을 보였고, 특히 하순에는 이동성고기압의 영향으로 강한 일사와 함께 따뜻한 남서기류가 유입되면서 기온이 큰 폭으로 올라, 가장 이른 폭염이 전남 동부내륙에 위치한 분지지역인 구례와 전남 중부내륙에 위치한 화순에서 5월 24일 발생하였다.

Fig. 3.19에서와 같이, 장마는 평년보다 5일 빠른 6월 18일에 시작되어 8월 2일 종료되면서 1973년 이후 가장 긴 장마기간인 46일이 지속되어 1974년과 함께 공동 1위를 기록하였다. 긴 장마기간 이었지만 강수일수가 평년보다 2일 적은 15.7일 이었고, 강수량도 평년의 76.1%인 286.3㎜에 머물러 마른장마 해로 기록되었다.

7월의 경우, 북태평양고기압이 남부지방까지 확장하여 장마전선이 주로 중부지방과 북한에 위치하면서, 폭염이 중순부터 본격적으로 발생하기 시작하였다. 8월에 장마가 종료된 후 평년보다 크게 확장한 북태평양고기압의 영향으로 고온현상이 지속되면서 1년 중 가장 긴 폭염이 8월 6일부터 8월 22일까지 17일 동안 광주, 해남, 영광, 구례, 나주, 장성, 영암, 화순, 함평, 곡성에서 발생하였고, 화순을 제외한 모든 지역에서 8월 하순에 폭염이 종료되었다. 8월 10일에서 8월 20일 사이에는 지역별로 최고의 폭염강도를 보였고, 전남 동부남해안에 위치한 광양에서는 8월 11일에 연중 최고기온인 38.6℃를 기록하였다.

9월 상순에는 상층 한기의 영향을 받았으나 중순 전반에 일시적으로 확장한 북태평양고기압 영향을 받은 후, 이동성고기압의 영향을 받아 맑은 날이 지속된 가운데, 강한 일사로 공기가 데워지면서 기온이 크게 상승하였다. 특히 화순에서는 13일과 18~19일에 폭염이 나타나기 시작하여, 21~22일까지 또 다시 지속되면서 최근 발생한 폭염 중 가장 늦은 폭염으로 기록되었다.

Fig. 3.20에서와 같이, 2013년의 평균폭염일수는 평년보다 많은 18.4일로 최근 16년 기간 중 2016년에 이어 2위를 기록하였고, 평균폭염강도는 2016년과 같이 34.5℃로 가장 높았다. 화순이 43일로 폭염이 가장 많이 발생한 가운데 평균 폭염강도는 34.9℃이었고, 구례(39일)와 광양(26일)이 뒤를 따르면서 평균 폭염강도는 35.1~34.8℃ 분포이었다. 폭염발생이 가장 적었던 지역은 흑산도와 여수로 3일이며, 평균 폭염강도는 33.5~33.8℃의 분포를 보여, 폭염 다발지역의 폭염강도가 상대적으로 강

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

했다.

폭염의 최장 지속일인 17일 동안의 평균 폭염강도는 34.3~36.5℃ 분포이었고, 25개 지역의 최장 지속일의 평균은 12.4일로 2016년보다 길며, 평균폭염강도는 34.6℃로 조금 높았다.

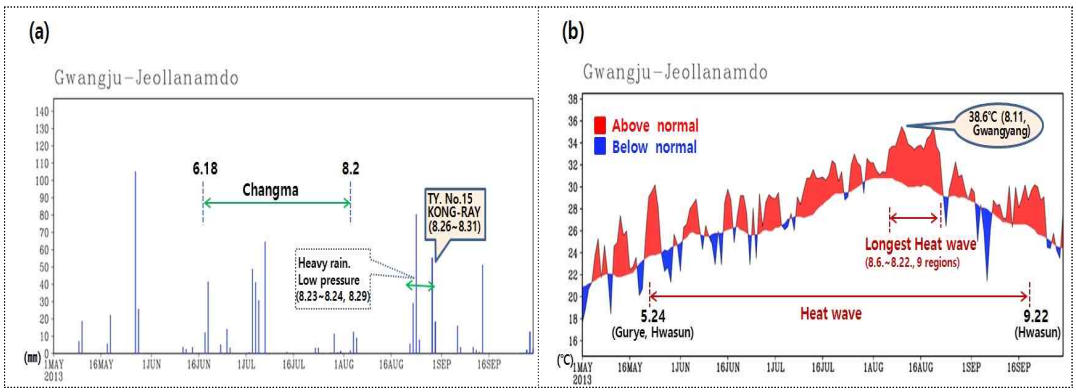


Fig. 3.19. Same as Fig. 3.13 except for from 01 May up to 31 September 2013.

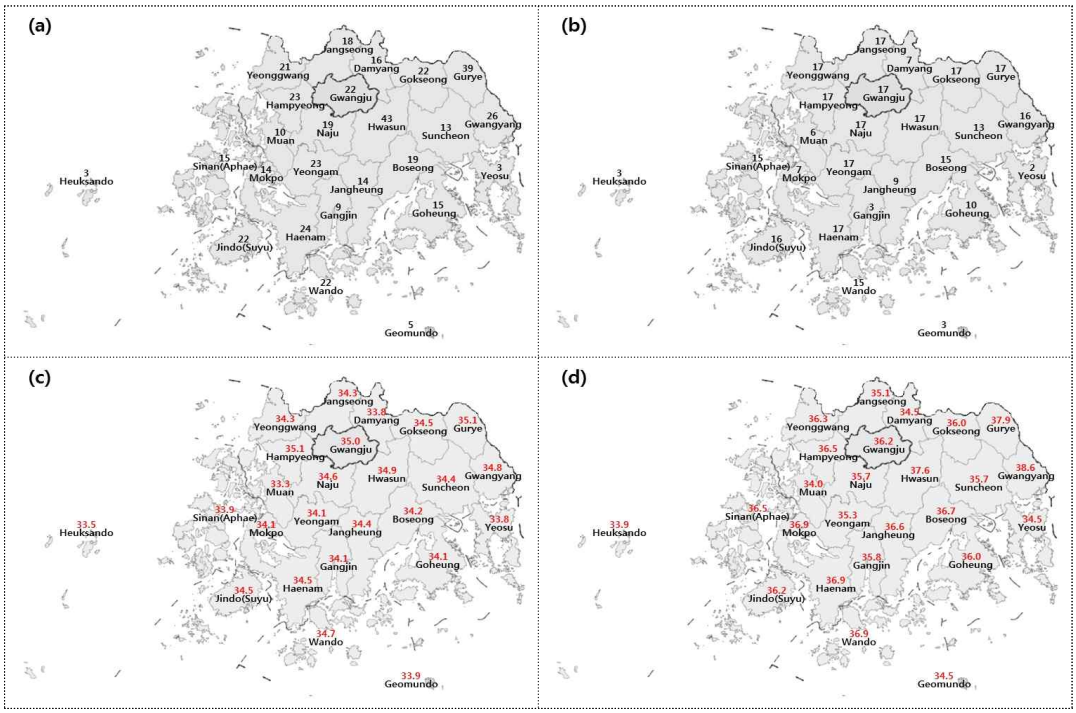


Fig. 3.20. Same as Fig. 3.14 except for from 24 May up to 22 September 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.15. Same as Table 3.14 except for the 2013.

Region	Heat wave					
	Days	Intensity(℃)		Longest		Date
		Mean	Max.	period	Intensity(℃)	
Gwangju	22	35.0	36.2	**17**	35.0	7.13. 7.19~7.20, 7.30, 8.1, **8.6~8.22**
Mokpo	14	34.1	36.9	7	34.5	7.19, 8.6~8.11, 8.16~8.22
Yeosu	3	33.8	34.5	2	33.5	7.26, 8.19~8.20
Wando	22	34.7	36.9	15	35.1	7.20, 7.25~7.26, 7.28, 7.30~7.31, 8.6~8.20, 8.27
Jangheung	14	34.4	36.6	9	34.6	7.26, 8.8~8.16, 8.18~8.20, 8.27
Haenam	24	34.5	36.9	**17**	35.1	7.13, 7.19~7.20, 7.26~7.27, **8.6~8.22,** 8.27
Goheung	15	34.1	36.0	10	34.0	7.26,~7.27, 8.6~8.15, 8.18~8.20
Heuksando	3	33.5	33.9	3	33.5	8.16~8.18
Suncheon	13	34.4	35.7	13	34.4	8.7~8.20
Yeonggwang	21	34.3	36.3	**17**	34.6	7.20, 7.28, 7.30, 8.1, **8.6~8.22**
Boseong	19	34.2	36.7	15	34.4	7.26, 7.30, 8.6~8.21, 8.27
Gangjin	9	34.1	35.8	3	34.6	8.9~8.11, 8.13, 8.15, 8.18~8.20, 8.22
Gwangyang	26	34.8	**38.6**	16	35.4	7.18~7.19, 7.22, 7.26~7.28, 7.30~8.4, 8.6~8.21
Muan	10	33.3	34.0	6	33.3	8.7, 8.9~8.11, 8.17~8.22
Damyang	16	33.8	34.5	7	34.0	8.1, 8.6~8.12, 8.14~8.16, 8.18~8.22
Gurye	39	**35.1**	37.9	**17**	36.4	**5.24**, 6.16, 6.21, 7.10~7.15, 7.18~7.20, 7.22, 7.26~7.28, 7.30~8.2, 8.4, **8.6~8.22,** 8.29
Naju	19	34.6	35.7	**17**	34.8	7.26, 8.1, **8.6~8.22**
Geomundo	5	33.9	34.5	3	33.6	8.8~8.10, 8.19~8.20
Jangseong	18	34.3	35.1	**17**	34.3	8.1, **8.6~8.22**
Yeongam	23	34.1	35.3	**17**	34.4	7.2, 7.19~7.20, 7.30~8.1, 8.6~8.22
Hwasun	**43**	34.9	37.6	**17**	**36.5**	**5.24**~5.25, 6.21, 6.29, 7.1, 7.10~7.13, 7.15~7.16, 7.18~7.20, 7.22, 7.26, 7.28, 7.30, 8.1, 8.4, **8.6~8.22**, 9.13, 9.18~9.19, **9.21~9.22**
Hampyeong	23	**35.1**	36.5	**17**	35.7	7.19~7.20, 7.27~7.28, 7.30, **8.6~8.22**, 8.25
Gokseong	22	34.5	36.0	**17**	34.7	7.10~7.11, 7.19, 7.30, 8.4, **8.6~8.22**
Suyu	22	34.5	36.2	16	34.8	7.13, 7.26, 7.30~7.31, 8.5, 8.7~8.22, 8.27
Aphae	15	33.9	36.5	15	33.9	8.8~8.22
Average	18.4	34.5	36.0	12.4	34.6	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.21은 폭염이 발생하기 시작한 2013년 5월 24일부터 마지막 폭염이 발생한 9월 22일까지 200hPa(a)와 500hPa(b)의 평균지위고도, 850hPa의 기온(c), 850 hPa의 바람장(d)을 평년과 중첩하여 나타낸 것이다.

대기 상층인 200hPa의 평균장을 살펴보면, Tibet 고기압은 평년에 비해 북쪽으로 발달하면서, 12480gpm이 중국 중부지역에서 일본 큐슈지방 부근까지 확장하여, 상층의 온난한 공기가 한반도를 지배하는 형태를 보였다. 대기 중층인 500hPa의 북태평양 고기압(5880gpm)은 평년에 비해 서쪽으로 동중국해까지 확장하였으나, 분석기간을 7~8월로 한정하여 별도 분석한 결과, 평년보다 북서쪽으로 확장하여 남부지방에 위치하면서 고온·다습한 기류 유입이 빈번하였고, 기압골은 주로 Baikal호 동쪽 지역에 위치하면서 찬 공기가 한반도로 남하하지 못하고 더욱 북편 하는 형태를 보였다. 대기 하층인 850hPa 기온장의 경우, 양의 anomaly 지역이 한반도를 중심으로 중국남부지방까지 남서방향으로 위치한 가운데, 한반도는 2℃ 이상의 강한 양의 anomaly가 나타났으며, 18℃ 이상구역은 서해상을 중심으로 북서~남동방향으로 위치하였다. 바람장의 경우, 한반도는 양의 anomaly로 동중국해로부터 남서풍 유입이 우세하였다.

Fig. 3.23은 가장 이른 폭염이 발생한 2013년 5월 24일 14시 850hPa의 고도, 기온, 바람장 및 비습(a)과 1000-700hPa 층후, 850hPa 상당온위(b)이다.

광주·전남지방은 850hPa의 18℃ 등온선이 위치하면서, 온도능에 들어 남동풍이 유입이 우세하였다. 1000-700hPa의 층후와 850hPa 상당온위에서는 주변지역 보다 상대적으로 높은 321K의 상당온위가 구례와 화순을 중심으로 위치하고 있었다. Fig. 3.22(a)에 나타낸 이 날의 열지수는 25.5~32.8의 분포로 구례에서 가장 높게 나타났다. 이동성고기압의 영향으로 지표에서 흡수된 태양에너지가 현열의 형태로 공기 중에 전달되었기 때문에 상대습도가 32% 내외로 건조한 상태에서 폭염이 화순, 구례에서 발생하여 열지수는 31.8~ 32.8의 '보통' 수준에 그쳤다.

Fig. 3.24는 가장 늦게 폭염이 발생한 2013년 9월 22일 14시에 대한 일기도이다.

광주·전남지방은 850hPa의 온도능에 위치하면서 동해안으로부터 취주거리가 긴 고온·건조한 북동류가 지속적으로 유입되었고, 338K 이상의 고상당온위가 구례와 화순에 위치하고 있었다. Fig. 3.22(b)에 나타낸 이 날의 열지수는 28.1~36.7의 분포로 폭염이 발생한 화순에서 가장 높았으나, 고온·건조한 북동류가 지속적으로 유입되면서 상대습도가 45%에 머물러 열지수는 '보통' 수준인 36.7 이었다.

2013년의 폭염발생의 종관적인 mechanism은 2012년 사례와 같이 Tibet 고기압

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 북쪽으로 발달하여 온난한 공기가 우리나라 대기 상층을 지배하였고, 북태평양고기압이 북서쪽으로 확장하여 남부지방에 위치하면서 고온·다습한 기류의 유입이 우세하였다. 가장 이른 폭염은 이동성고기압의 영향으로 대기가 안정되면서 지표에서 흡수된 태양에너지가 현열의 형태로 공기 중에 전달되어 발생하였고, 가장 늦은 폭염은 온도능에 위치하면서 취주 거리가 긴 고온·건조한 북동류가 지속적으로 유입되어 338K 이상의 열대기단이 위치하면서 구례와 화순에서 가장 늦은 폭염이 발생하였다. 또한 폭염 발생일에 상대습도가 45% 이하로 낮아 열지수가 37 미만의 '보통' 수준에 머물러 태양빛에 의해 실제로 느끼는 더위를 잘 반영하지 못하였다.

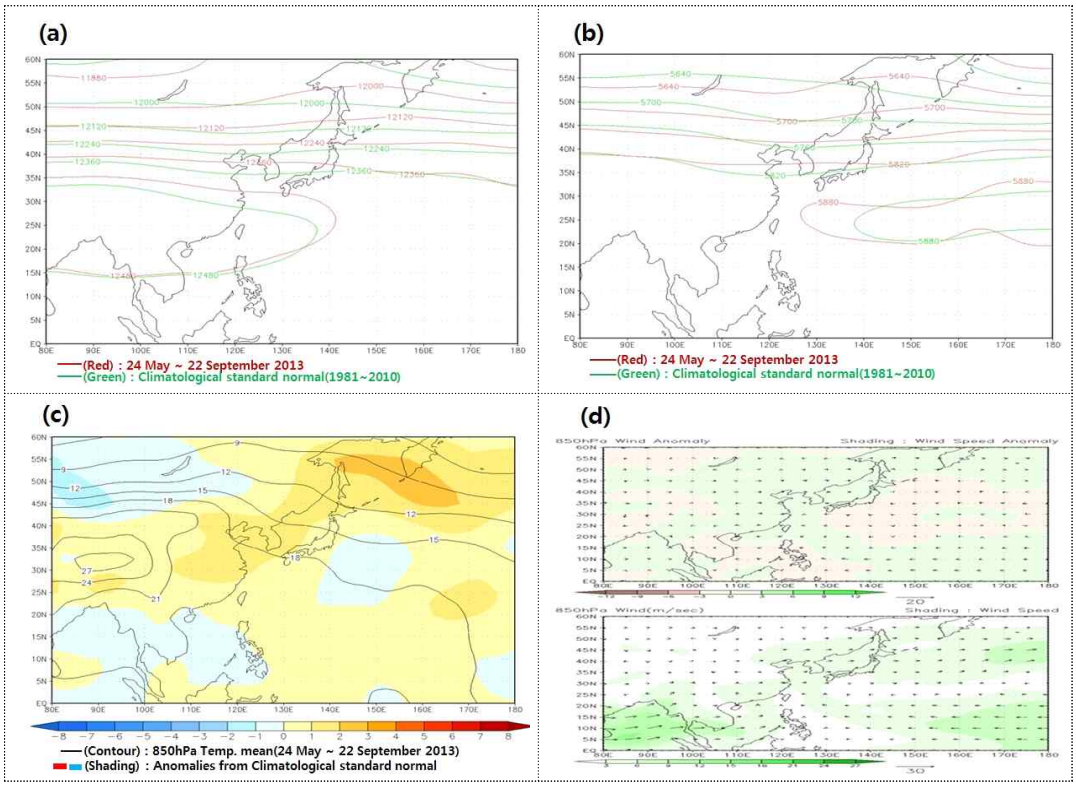


Fig. 3.21. Same as Fig. 3.15 except for from 24 May up to 22 September 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

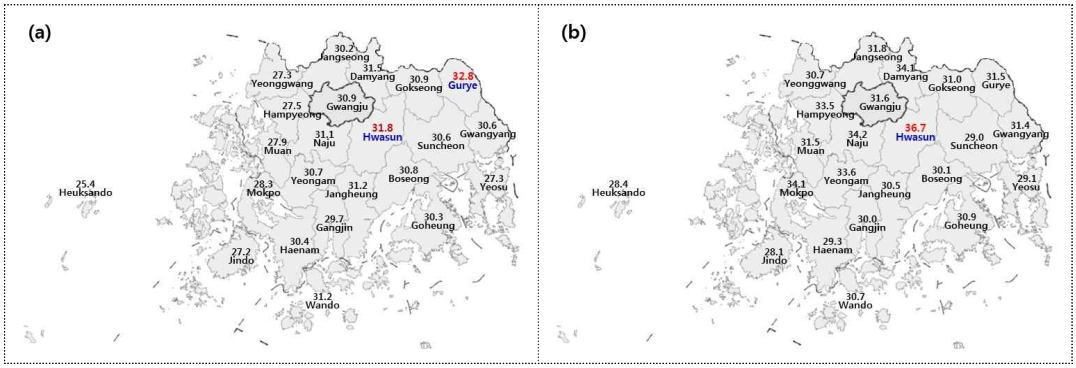


Fig. 3.22. Same as Fig. 3.16 except for the 24 May 2013(a), and 22 September 2013(b).

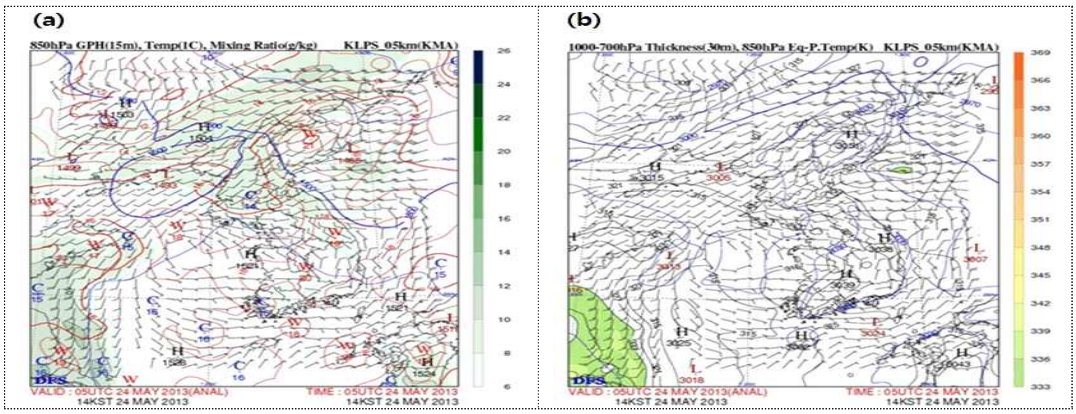


Fig. 3.23. Same as Fig. 3.18 except for the 14:00KST 24 May 2013.

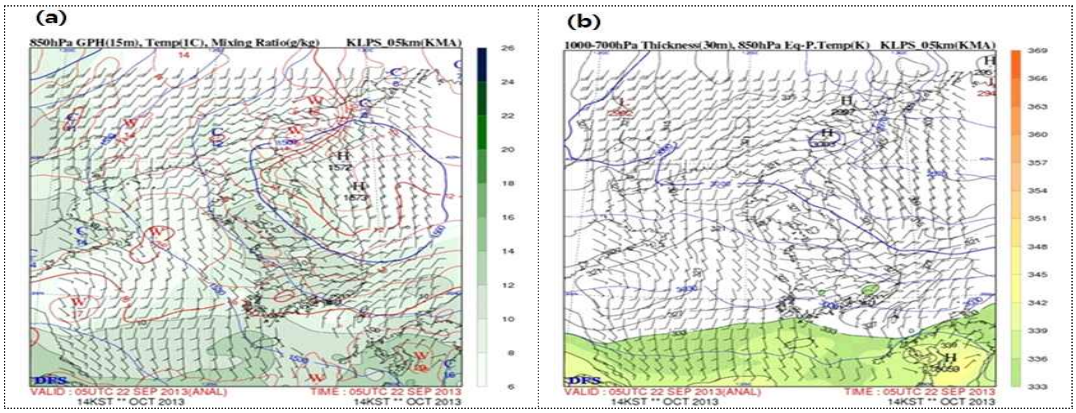


Fig. 3.24. Same as Fig. 3.23 except for the 14:00KST 22 September 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 가장 긴 폭염 지속 일을 기록했던 2016년

Fig. 3.25에서와 같이, 2016년 광주·전남지방의 장마는 평년보다 5일 빠른 6월 18일에 시작하여 평년보다 5~6일 빠른 7월 16일에 종료되었다. 29일 동안의 짧은 장마기간 이었지만 강수일수는 평년과 비슷하게 18.0일 이었고, 강수량은 평년대비 87.4%인 328.9㎜를 기록하여 전반적으로 장마전선의 활동이 약했다.

1951년 이후 두 번째로 늦게 발생한 제1호 태풍 Nepartak이 북태평양고기압을 밀어 올려 그 가장자리에서 고온·다습한 공기가 유입되면서, 7월 1~6일 사이에 저기압의 영향을 받아 많은 비가 내렸다. 이후 장마전선이 소강상태를 보인 가운데 고기압 가장자리에 들면서 따뜻한 남서류가 유입되어, 7월 7일 구례와 화순에서 가장 이른 폭염이 발생하였고, 9일까지 고온현상이 지속되면서 광주, 순천, 담양, 나주, 곡성 지역에서도 첫 폭염이 발생하였다.

7월 하순부터는 Bering sea 부근에 강한 고기압이 발달하면서 우리나라 주변의 기압계 흐름이 정체되었고, 평년보다 일찍 북태평양고기압이 우리나라로 확장하면서 본격적으로 무더위가 나타나기 시작하였다. 특히 8월 3일부터는 일본 동쪽 해상에 위치한 북태평양고기압이 평년보다 남북으로 강하게 발달하여 한반도 주변 기압계의 흐름이 정체되었다. 안정된 고기압 영향권에서 구름 발달이 억제되고, 강한 일사가 지속되면서 전남 중부내륙에 위치한 평야지대인 나주와 대부분 산간지대인 화순에서 가장 긴 폭염이 8월 3일~8월 25일까지 23일 동안 발생하였다.

모든 지역에서 8월 25일에 폭염이 종료되었으나, 제12호 태풍 Namtheun이 일본열도로 상륙하면서 고기압 가장자리에서 고온·다습한 공기가 유입되어 9월 4일 광주, 담양, 나주지역에서 가장 늦은 폭염이 발생하였다. 8월 11일~8월 15일 사이에는 지역별로 최고의 폭염강도를 보인 가운데, 8월 12일에 순천에서 8월 14일에는 광양에서 연중 최고기온인 37.8℃를 기록하였다.

Fig. 3.26에서와 같이, 2016년의 평균 폭염일수는 22.3일로 최근 16년 기간 중 가장 많았고, 폭염강도는 2013년과 같이 평균 34.5℃로 가장 높았다.

최다 발생지역은 화순으로 36일이며, 평균폭염강도는 34.9℃이었고, 구례와 나주가 34일로 뒤를 따르면서 평균폭염강도는 35.1~35.2℃ 분포이었다. 흑산도는 폭염이 발생하지 않았다. 폭염의 최장 지속일인 23일 동안의 평균 강도는 34.9~35.2℃ 분포이었고, 25개 지역의 최장지속일의 평균은 11.4일로, 2013년보다 짧으며, 평균폭염강도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 34.6℃로 비슷하였다.

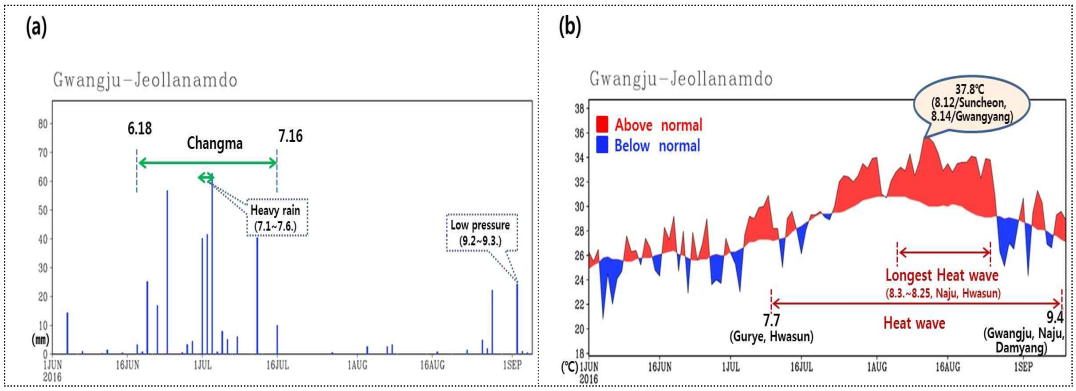


Fig. 3.25. Same as Fig. 3.19 except for from 01 June up to 05 September 2016.

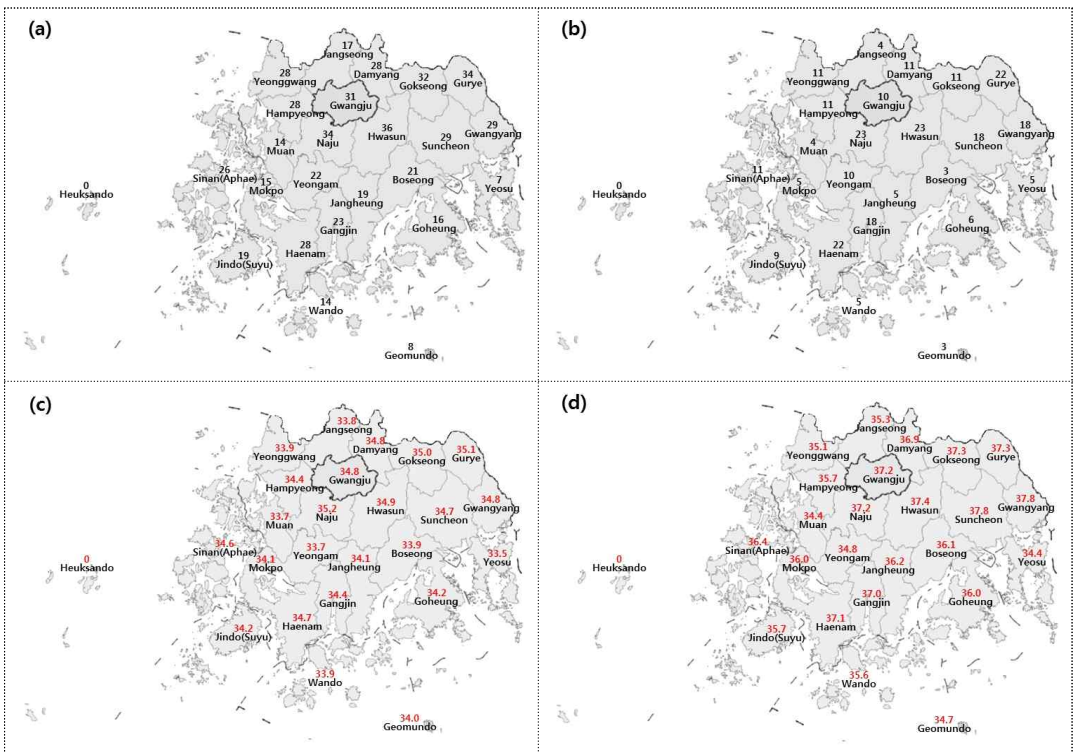


Fig. 3.26. Same as Fig. 3.20 except for from 07 July up to 04 September 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.16. Same as Table 3.15 except for the 2016.

Region	Heat wave					
	Days	Intensity(℃)		Longest		Date
		Mean	Max.	period	Intensity(℃)	
Gwangju	31	34.8	37.2	10	35.0	7.9, 7.21, 7.24~7.26, 7.28~8.1, 8.4~8.8, 8.10~8.14, 8.16~8.25, **9.4**
Mokpo	15	34.1	36.0	5	34.5	7.29, 8.4~8.7, 8.9~8.13, 8.18~8.20, 8.22, 8.24
Yeosu	7	33.5	34.4	5	33.7	8.8, 8.11~8.15, 8.21
Wando	14	33.9	35.6	5	34.7	7.31~8.1, 8.8, 8.10~8.14, 8.16, 8.19, 8.21~8.22, 8.24~8.25
Jangheung	19	34.1	36.2	5	34.4	7.25, 7.28, 7.30~8.1, 8.8, 8.10~8.14, 8.16, 8.18~8.22, 8.24~8.25
Haenam	28	34.7	37.1	22	34.8	7.25, 7.28~8.1, 8.4~8.25
Goheung	16	34.2	36.0	6	34.7	7.28~8.1, 8.8, 8.11~8.16, 8.21~8.22, 8.24~8.25
Heuksando	–	–	–	–	–	–
Suncheon	29	34.7	**37.8**	18	35.0	7.9, 7.24~7.26, 7.28~8.1, 8.5~8.22, 8.24~8.25
Yeonggwang	28	33.9	35.1	11	34.0	7.22~7.26, 7.29~8.1, 8.4~8.14, 8.18~8.25
Boseong	21	33.9	36.1	9	34.5	7.25, 7.30~8.1, 8.3, 8.6, 8.8~8.16, 8.18~8.19, 8.21~8.22, 8.24~8.25
Gangjin	23	34.4	37.0	18	34.4	7.30~8.1, 8.5~8.22
Gwangyang	29	34.8	**37.8**	18	35.3	7.24~8.1, 8.5~8.22, 8.24~8.25
Muan	14	33.7	34.4	4	33.8	7.30~8.1, 8.5~8.6, 8.9~8.12, 8.18~8.21, 8.25
Damyang	28	34.8	36.9	11	35.4	7.9, 7.24, 7.29~8.1, 8.4~8.14, 8.16~8.25, **9.4**
Gurye	34	35.1	37.3	22	35.4	**7.7,** 7.9, 7.24~8.2, 8.4~8.25
Naju	34	**35.2**	37.2	**23**	**35.6**	7.9, 7.23~7.26, 7.28~8.1, **8.3~8.25**, **9.4**
Geomundo	8	34.0	34.7	3	34.0	7.31~8.1, 8.7~8.8, 8.11~8.13, 8.22
Jangseong	17	33.8	35.3	4	33.8	7.29~8.1, 8.5~8.8, 8.10~8.13, 8.18, 8.20~8.22, 8.24
Yeongam	22	33.7	34.8	10	33.8	7.26, 7.29~8.1, 8.4~8.13, 8.17~8.22, 8.24
Hwasun	**36**	34.9	37.4	**23**	35.1	**7.7**~7.9, 7.23~8.1, **8.3~8.25**
Hampyeong	28	34.4	35.7	11	34.6	7.24~7.26, 7.28~8.1, 8.4~8.14, 8.17~8.25
Gokseong	32	35.0	37.3	11	**35.6**	7.9, 7.23~8.1, 8.4~8.14, 8.16~8.25
Suyu	19	34.2	35.7	9	34.5	7.24, 7.26, 7.29, 7.31, 8.4~8.12, 8.14, 8.18~8.20, 8.23~8.24
Aphae	26	34.6	36.4	11	34.8	7.25~7.26, 7.29~8.1, 8.3~8.13, 8.15~8.16, 8.18~8.25
Average	22.3	34.5	36.2	11.4	34.6	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.27은 폭염이 발생하기 시작한 2016년 7월 7일부터 마지막 폭염이 발생한 9월 4일까지 200hPa(a)와 500hPa(b)의 평균지위고도, 850hPa의 기온(c), 850hPa의 바람장(d)을 평년과 중첩하여 나타낸 것이다.

200hPa의 평균장을 보면, Tibet 고기압이 평년에 비해 북쪽과 동쪽으로 발달하면서 12480gpm이 한반도 남부지방에서 일본 도쿄(東京)지방 부근까지 확장하여, 상층의 온난한 공기가 한반도를 지배하는 형태를 보였다. Hokkaido(北海島) 동쪽 해상에서 Kamchatka반도 부근까지 그리고 Mongolia부근으로 기압능이 강화되었다. 500hPa의 북태평양고기압(5880gpm)은 평년에 비해 북쪽으로 확장하였으나, 분석기간을 7~8월로 한정하여 별도 분석한 결과, 평년보다 북서쪽으로 크게 확장하였다. 기압능은 일본 동쪽해상으로부터 Kamchatka반도 부근으로 강화되었고, Mongolia부근으로도 평년보다 강하게 나타났다. 기압골은 Siberia에서 중국동북지역에 위치하면서, 찬 공기가 한반도로 남하하지 못하고 북편 하는 경향을 보였다. 850hPa 기온장의 경우, 강한 양의 anomaly 지역이 Kamchatka반도를 중심으로 위치하면서, 18℃ 이상 구역이 한반도 중부지방에서 북서쪽으로 Mongolia지역까지 이어져 있다. Mongolia지역은 상대적으로 강한 양의 anomaly가 위치한 가운데 기온이 평년보다 3~5℃ 높았다. 바람장의 경우, 한반도는 음의 anomaly로 기압계가 정체된 가운데 대기가 안정되었다.

Fig. 3.29는 가장 이른 폭염이 발생한 2016년 7월 7일 14시의 850hPa의 고도, 기온, 바람장, 비습(a), 1000-700hPa 층후, 850hPa 상당온위(b)이다.

850hPa의 18℃ 등온선이 구례를 중심으로 남북으로 위치하면서 고온·다습한 남동풍이 유입되었고, 850hPa 상당온위의 경우 구례와 화순을 중심으로 339K 이상의 고상당온위가 위치하고 있었다. Fig. 3.28(a)에 나타낸 이 날의 열지수는 27.1~42.4의 분포로 화순에서 가장 높았다. 폭염이 발생한 화순의 경우 상대습도가 65%로 상대적으로 높아 열지수가 '높음' 수준에 도달했으나, 구례는 폭염이 발생했지만 상대습도가 53%에 머물러 열지수는 38.9의 '보통' 수준 이었다.

Fig. 3.30은 가장 늦게 폭염이 발생한 9월 4일 14시의 일기도이다.

광주·전남지방은 약 18℃ 등온선에 위치하면서, 일본 Kyushu(九州)지방에 위치한 제 12호 태풍 Namtheun으로부터 고온·다습한 남동풍이 유입되었고, 광주, 나주, 담양을 중심으로 345K 이상의 고상당온위가 위치하고 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.28(b)에 나타낸 이 날의 열지수는 31~41.6의 분포로 영암에서 가장 높았다. 영암의 경우 최고기온이 31.6℃로 폭염수준에는 도달하지 못했으나 상대습도가 77%로 습윤하여 '높음' 수준의 열지수를 기록하였고, 폭염이 발생한 광주, 나주, 담양의 경우 상대습도가 52~59%의 분포로 나타나 열지수는 36.8~40.3으로 '보통' 수준에 그쳤다.

2016년 폭염발생의 종관적인 mechanism을 정리하면, 대기 중상층고압대가 동서로 발달하면서 한반도 주변 기압계의 흐름이 정체되었고, 중국으로부터 유입된 평년보다 3~5℃ 높은 고온·건조한 공기의 흐름을 우리나라에 가두는 blocking 역할을 하였다. 대기가 안정되면서 대류가 억제되어 구름발달의 감소와 일사까지 더해져 전남 중부내륙에 위치한 나주와 화순에서 가장 긴 23일의 폭염기간을 기록하였다. 또한 폭염 발생일에 상대습도가 65%에 이를 때 41 이상의 '높음' 수준의 열지수가 기록되었고, 상대습도가 60% 미만으로 낮을 때에는 '보통' 수준에 머물러 태양빛에 의해 실제로 느끼는 더위를 잘 반영하지 못했다.

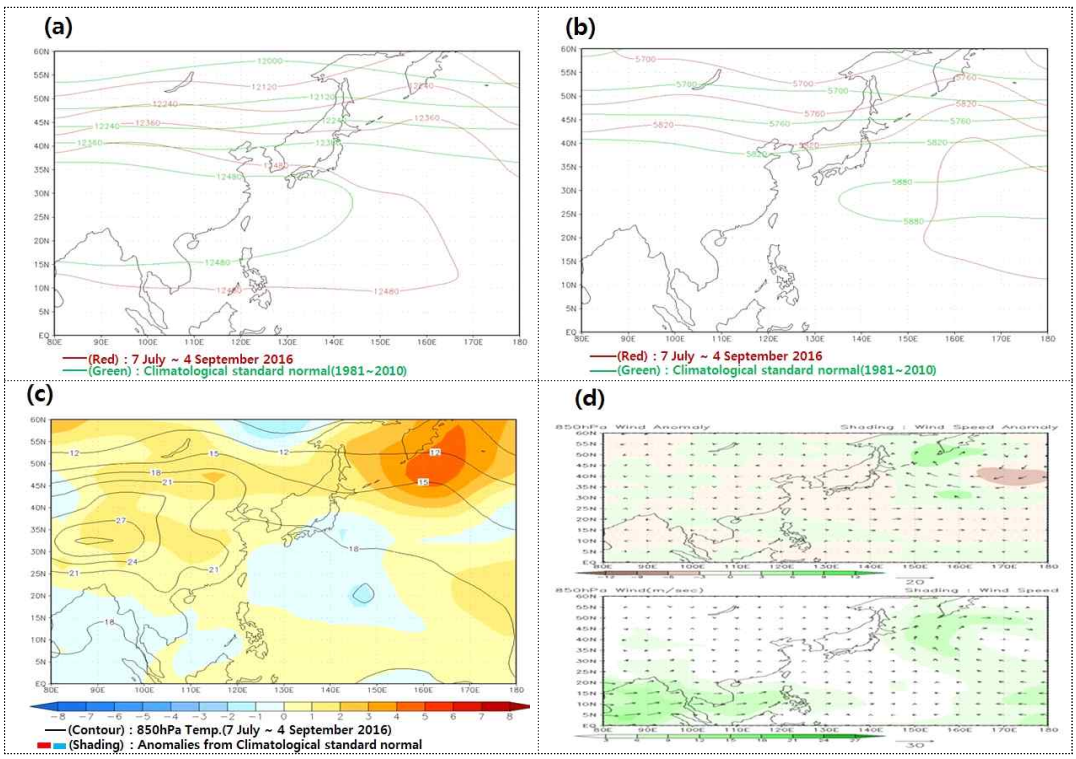


Fig. 3.27. Same as Fig. 3.21 except for from 07 July up to 04 September 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

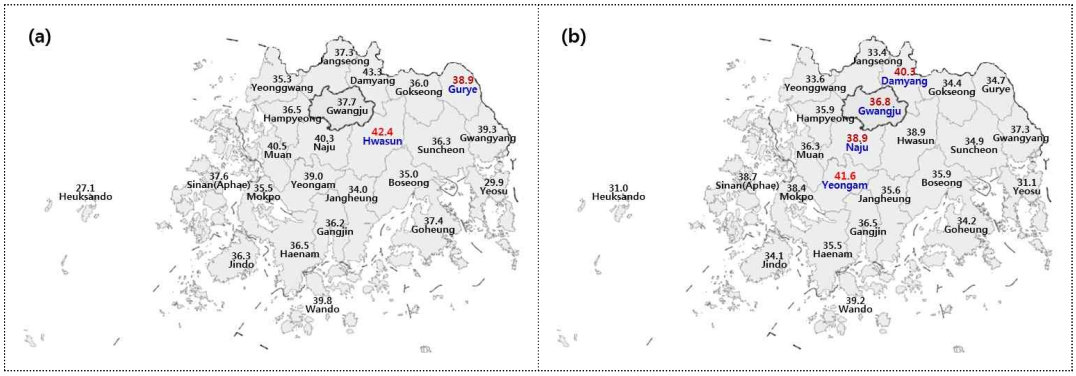


Fig. 3.28. Same as Fig. 3.22 except for the 07 July 2016(a), and 04 September 2016(b).

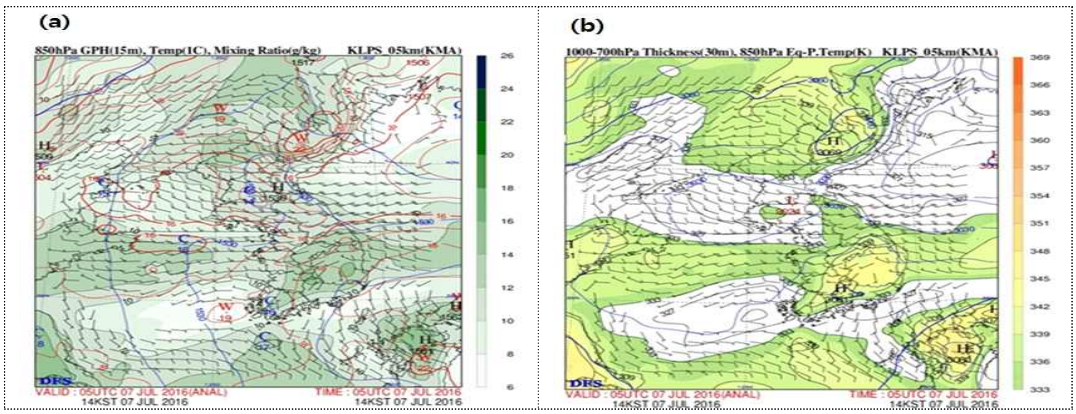


Fig. 3.29. Same as Fig. 3.24 except for the 14:00KST 07 July 2016.

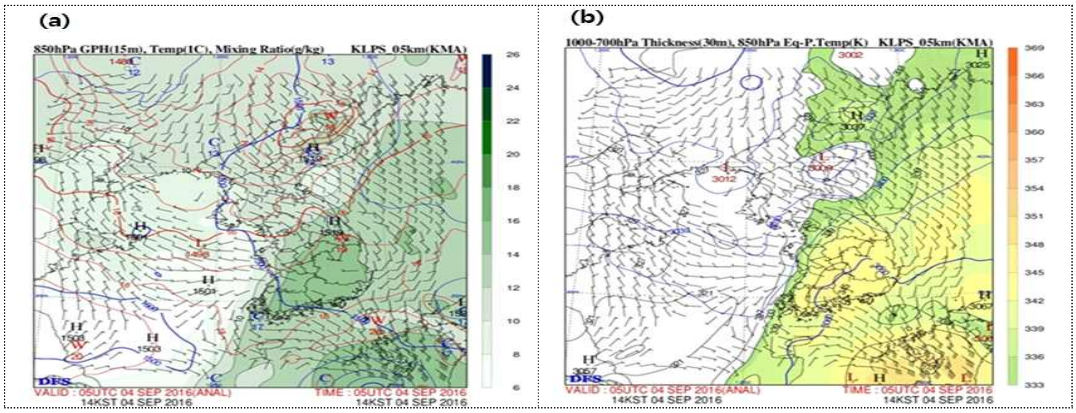


Fig. 3.30. Same as Fig. 3.29 except for the 14:00KST 04 September 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 광주 · 전남지방의 미래 폭염전망

전 지구적 기온 상승에 따라 여름철 폭염의 발생빈도가 높아지고, 강도가 강해지며, 지속시간이 길어지고 있다. 이러한 경향은 21세기에 대부분 지역에서 지속될 것으로 예측되고 있다(Meehl et al., 2004; IPCC, 2012). 미래에 예상되는 극한기후에 대비하고 기후변화에 효율적으로 대처하기 위해서는 한반도의 미래 기후변화 전망뿐만 아니라 지역별 상세 기후변화 전망에 대한 과학적이고 일관된 정보 활용이 중요하다.

기후변화 전망에 활용되고 있는 온실가스 농도 전망 기법인 RCP scenario는 세계 각국의 기후전문가들이 수년간의 연구를 통해 만들어진 기후변화를 예측하는 scenario로 산출과정은 다음과 같다. 전 지구 대기 · 해양 결합모델(HadGEM2-AO)로 약 135 ㎞ 해상도의 전 지구 기후변화 scenario가 산출되며, 이 자료에 기초해 지역기후모델(HadGEM3-RA)로 12.5㎞ 해상도의 한반도 지역 기후변화 scenario가 산출된다. 또한 이 자료를 통계모델(MK-PRISM)에 적용하여 객관분석, 계통오차 제거 등 통계적 상세화 기법을 수행하여 1㎞ 해상도의 남한지역 상세 기후변화 scenario가 생산된다(기상청, 2012).

RCP scenario는 2.6, 4.5, 6.0, 8.5의 scenario가 있으나, 본 연구에서는 RCP 4.5와 8.5를 활용하여 미래 예상되는 광주 · 전남지방의 폭염에 대하여 분석하였다.

RCP 4.5는 어느 정도 저감 노력이 실현되어 2100년에 이산화탄소 농도가 540 ppm에 도달할 것으로 전망된 자료이며, RCP 8.5는 기후변화를 완화하기 위한 노력 없이 현재 추세대로 온실가스를 계속 배출하여 2100년에 이산화탄소 농도가 950ppm에 도달할 것으로 전망된 자료이다.

1. 한반도 및 남한지역의 미래 기후변화 전망

『한반도 기후변화 전망보고서(기상청, 2012)』에 따르면, 한반도 연평균기온은 온실가스 증가에 따라 21세기 후반기까지도 지속적으로 상승할 것으로 전망하고 있으며, 이러한 한반도 온난화 전망에 따라 폭염일수 등 기온 관련 극한 기후지수의 급격한 증가 경향을 전망하고 있다.

Table 3.17에서와 같이, 한반도의 일최고기온과 연평균기온이 현재 기후값(2001~

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2010년) 대비 0.31~0.33℃(0.62~0.63℃)/10년의 추세로 상승하고, 일최저기온의 상승률은 0.34℃(0.64℃)/10년 추세로 상대적으로 조금 클 것으로 전망되고 있으며, 일교차는 현재보다 미래기후에서 점차 감소할 것으로 전망되고 있다. 또한, 남한지역도 유사한 추세로 상승할 것으로 전망되나, 동일한 scenario 상에서의 한반도 평균경향에 비해 남한지역의 기온상승률이 적을 것으로 전망되고 있다.

폭염 및 열대야 일수 등 극한 기후지수도, 기온 상승과 함께 급격한 증가 경향이 전망되고 있는 가운데, 남한지역의 폭염일수 증가율은 0.87일(3.37일)/10년 수준이며, 폭염일수는 현재 연간 10.1일에서 21세기 전반기에 11.7일(13.9일), 중반기에 15.3일(20.7일), 후반기에 17.9일(40.4일)로 급격하게 많아질 것으로 전망하고 있다.

한반도와 남한지역의 기후변화 전망을 요약하면, 기온은 한반도의 상승속도가 빠르나, 폭염과 열대야 일수는 남한지역의 증가속도가 빨라지면서 21세기 중반부터 급속하게 증가할 것으로 전망되고 있다.

Table 3.17. View of climate change on RCP 4.5(8.5) scenario in Korea peninsula and South Korea.

Article	Present (2001~2010)		View of climate change on RCP 4.5(8.5) scenario							
			First period (2011~2040)		Middle period (2041~2070)		Last Period (2071~2100)		Tendency (per 10 years)	
	Korea peninsula	South Korea	Korea peninsula	South Korea	Korea peninsula	South Korea	Korea peninsula	South Korea	Korea peninsula	South Korea
Mean Temp.(℃)	11.0	12.5	12.4 (12.5)	13.7 (13.9)	13.4 (14.4)	14.7 (15.7)	14.0 (16.7)	15.3 (17.8)	0.33 (0.63)	0.31 (0.59)
Max. Temp.(℃)	16.6	18.1	17.9 (18.1)	19.3 (19.5)	18.9 (19.9)	20.3 (21.2)	19.4 (22.2)	20.8 (23.4)	0.31 (0.62)	0.30 (0.59)
Min. Temp.(℃)	6.2	7.7	7.7 (7.7)	9.0 (9.1)	8.6 (9.7)	9.9 (11.0)	9.3 (12.0)	10.6 (13.1)	**0.34 (0.64)**	**0.32 (0.60)**
Heat wave days	7.3	10.1	8.8 (10.2)	11.7 (13.9)	11.1 (15.2)	15.3 (20.7)	13.1 (30.2)	17.9 (40.4)	**0.64 (2.54)**	**0.87 (3.37)**
Tropical night days	2.8	3.8	4.1 (5.7)	6.1 (8.9)	9.0 (16.6)	14.8 (25.5)	13.6 (37.2)	22.1 (52.1)	1.20 (3.82)	2.03 (5.37)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 광주 · 전남지방의 미래 기후변화 전망

가. 광주 · 전남지방의 기후변화 경향 전망

한반도의 온난화 전망에 따라 남한 지역의 폭염일수 등 기온 관련 극한 기후지수가 급격하게 증가할 것으로 전망되고 있다. 이에 지역적으로 기후변화에 노출되는 정도나 취약성 정도에 따라 기후변화 영향과 피해규모는 달라지기 때문에, 지역별로 상세한 기후변화 전망의 이해가 필요하다.

『광주 · 전라남도 기후변화 전망보고서(기상청, 2012)』를 기반으로, 광주광역시와 전남지방(목포시 등 전라남도 22개 시군의 평균)에 대한 미래 전망되는 기온과 폭염에 대해서 Table 3.18에 나타내었다.

Fig. 3.31(a)에서와 같이, 광주의 기온 상승률은 한반도와 남한 지역의 평균상승속도에 비해 조금 느린 수준으로, 일최고기온과 연평균기온은 현재 기후값 대비 0.24~0.25℃(0.63℃)/10년의 추세로 상승하여, 21세기 하반기에는 일최고기온이 21.2℃(23.7℃), 일평균기온은 15.7℃(18.2℃)에 도달할 것으로 전망된다. 또한 일최저기온은 0.26℃(0.63℃)/10년 상승률로 상대적으로 조금 빠른 수준으로, 21세기 후반기에는 11.1℃(13.5℃)에 도달하여 현재의 평균기온과 비슷할 것으로 전망되고 있다.

전남지방도 유사한 추세로 기온이 상승할 것으로 전망되나 광주에 비해 상승속도가 조금 빠를 것으로 전망된다. 일최고기온과 연평균기온은 현재 기후값 대비 0.25~0.26℃(0.63~0.64℃)/10년의 추세로 상승하여, 21세기 후반기에는 일최고기온이 20.6℃(23.1℃), 일평균기온은 15.4℃(17.9℃)에 도달할 것으로 전망된다. 또한 일최저기온은 0.26℃(0.63℃)/10년 상승속도로 상대적으로 조금 빠른 수준이며, 21세기 후반기에는 11.0℃(13.5℃)에 도달하여 현재의 평균기온 보다 높을 것으로 전망된다.

Fig. 3.31(b)에서와 같이, 폭염 및 열대야 일수는 한반도 · 남한지역에 비해 급격한 증가 경향이 전망되고 있는 가운데, 광주의 폭염일수는 현재 연간 16.0일에서 21세기 중반기에 25.4일(42.0일), 후반기에 32.6일(77.3일)로, 연간 최대 77일 이상 발생할 것으로 전망되고 있다. 전남지방도 유사한 추세로 증가할 것으로 전망되고, 광주에 비해 증가속도가 폭염은 조금 느리나, 열대야는 조금 빠를 것으로 전망되고 있다. 전남지방의 폭염일수는 현재 연간 8.5일에서 21세기 중반기에 16.4일(30.4일), 후반기에

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

22.7일(60.9일)로 연간 최대 60일 이상 발생 할 것으로 전망된다.

광주와 전남지방의 기온·폭염·열대야 경향 전망을 요약하면, 21세기 후반기에 일최저기온은 13.5℃로 현재의 일평균기온보다 전남지방은 0.3℃ 높고, 광주는 −0.1℃ 낮을 것으로 전망되며, 두 지역의 일최저기온은 비슷할 것으로 전망된다.

폭염과 열대야 일수의 증가속도가 빨라지면서 21세기 후반기에 폭염이 연간 최대 60~77일 이상 전망되고 있다.

Table 3.18. Same as Table 3.17 except for the Gwangju and Jeonnam.

Article	Present (2001~2010)		View of climate change on RCP 4.5(8.5) scenario							
			First period (2011~2040)		Middle period (2041~2070)		Last Period (2071~2100)		Tendency (per 10 years)	
	Gwangju	Jeonnam	Gwangju	Jeonnam	Gwangju	Jeonnam	Gwangju	Jeonnam	Gwangju	Jeonnam
Mean Temp.(℃)	13.6	13.2	0.6 (0.8)	0.7 (0.9)	1.5 (2.5)	1.6 (2.6)	2.1 (4.6)	2.2 (4.7)	0.25 (0.63)	0.26 (0.64)
Max. Temp.(℃)	19.2	18.4	0.5 (0.7)	0.6 (0.9)	1.4 (2.4)	1.6 (2.6)	2.0 (4.5)	2.2 (4.7)	0.24 (0.63)	0.25 (0.63)
Min. Temp.(℃)	8.9	8.7	0.6 (0.8)	0.7 (0.8)	1.5 (2.5)	1.7 (2.7)	2.2 (4.6)	2.3 (4.8)	**0.26 (0.63)**	**0.27 (0.65)**
Heat wave days	16.0	8.5	−0.9 (8.0)	0.0 (5.4)	9.4 (26.0)	7.9 (21.9)	16.6 (61.3)	14.2 (52.4)	**2.69 (8.78)**	**2.20 (7.69)**
Tropical night days	7.3	4.9	8.4 (13.2)	4.6 (9.4)	23.8 (35.8)	18.5 (30.7)	34.6 (61.3)	27.7 (57.7)	3.27 (7.95)	3.92 (7.95)

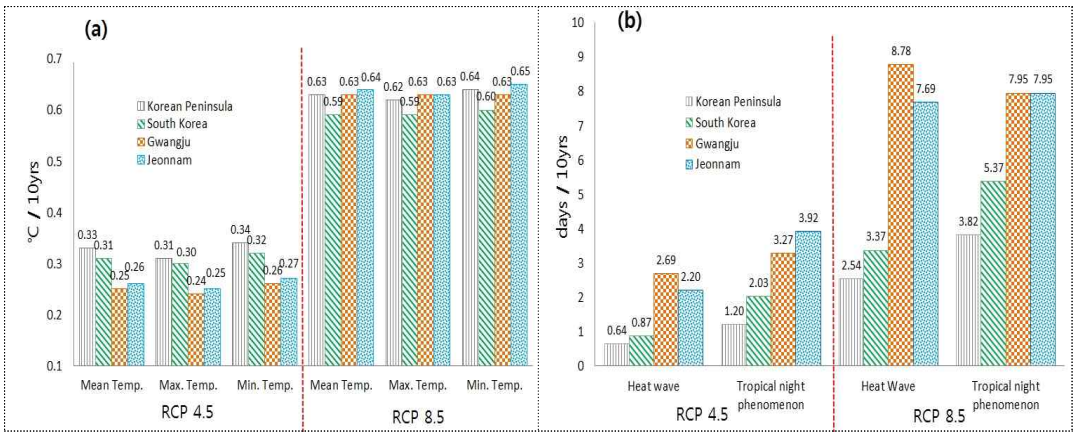


Fig. 3.31. Tendency of temperature(a), and extreme climate index(b).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 광주 · 전남지방의 시 · 군 · 구별 기온 전망

호남지방의 중심에 있는 광주는 5개의 자치구로 구성되어 영산강 지류인 극락강이 시의 북서부를 관류하여 남서쪽으로 흐르며, 동쪽의 무등산(1,187m), 북쪽의 병풍산과 삼각산, 남쪽에는 금당산, 서쪽에는 어등산과 용진산이 둘러싸고 있어, 남서쪽이 터진 일종의 분지형태를 이루고 있다. 또한 전남지방은 목포 등 22개 시 · 군으로 구성되어, 한반도의 서남부에 위치하면서 동쪽은 높고, 서쪽은 낮은 동고서저의 형태와, 북쪽은 높고, 남쪽은 낮은 북고남저의 형태를 이룬다. 이러한 지형특성을 기반으로 한 고해상도의 미래 기후변화과학정보는 농업분야를 포함한 다양한 분야의 기후변화 적응 전략 수립에 무엇보다도 필요하며, 특히 시 · 군 · 구 단위에 대한 체계적인 미래 기후변화과학정보는 지방자치단체의 일관된 기후변화 적응대책 수립에 많은 도움이 될 것이다.

Table 3.19는 『광주 · 전라남도 기후변화 전망보고서(기상청, 2012)』의 RCP 4.5와 8.5 scenario를 근간으로, 광주의 5개 자치구와 전남지방의 22개 시 · 군에 대한 21세기 후반기의 연평균기온, 일최고기온, 일최저기온의 상승경향을 현재 기후값과 비교하여 나타내었다. 그리고 Fig. 3.32는 21세기 후반기에 RCP 8.5의 연평균기온과 일최고기온에 대한 공간적인 분포이다.

연평균기온의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 상승지역은 완도, 진도, 신안(+2.5℃)이나, 완도와 여수가 16.8℃로 가장 높을 것으로 전망되며, 구례가 13.9℃로 가장 낮을 것으로 전망된다. RCP 8.5의 최대상승지역은 신안(+5.0℃)이나 여수가 19.3℃로 가장 높을 것으로 전망되며, 구례가 16.5℃로 가장 낮을 것으로 전망된다.

일최고기온의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 상승지역은 목포, 진도, 신안(+2.5℃)이나 광주 서구, 남구가 21.4℃로 가장 높을 것으로, 구례가 19.7℃로 가장 낮을 것으로 전망된다. RCP 8.5의 최대 상승지역은 목포와 신안(+4.9℃)이나 광주 서구, 광산구가 24.0℃로 가장 높을 것으로, 구례가 22.2℃로 가장 낮을 것으로 전망되고 있다.

일최저기온의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 상승지역은 목포, 해남, 무안, 완도, 진도, 영광, 신안(+2.4℃)이나 신안이 13.3℃로 가장 높을 것으로, 구례가 9.3℃로 가장 낮을 것으로 전망된다. RCP 8.5의 최대 상승지역은 영광을 제외하고 RCP 4.5지역과 동일하나(+4.9℃), 여수가 15.9℃로 가장 높을 것으로, 구례가 11.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

7℃로 가장 낮을 것으로 전망된다.

21세기 후반기의 기온경향을 요약하면, 현재 기후값 대비 최대상승 지역은 목포를 중심으로 한 서남해안 지역이나 일평균기온과 일최저기온이 가장 높은 지역은 완도와 여수를 중심으로 한 남해안 지역이며, 구례가 가장 낮을 것으로 전망된다. 일최고기온은 광주의 서구, 남구, 광산구가 가장 높을 것으로 전망되고 있다.

Table 3.19. Region of temperature increment at 21st last period.

Article	RCP 4.5				RCP 8.5			
	Max. increment	Min. increment	Max. Temp.	Min. Temp.	Max. increment	Min. increment	Max. Temp.	Min. Temp.
Mean Temp.(℃)	Wando, Jindo, Sinan (+2.5)	Gwangju seogu (+2.0)	Wando, Yeosu (16.8)	Gurye (13.9)	Sinan (+5.0)	Gwangju seogu (+4.5)	Yeosu (19.3)	Gurye (16.5)
Max. Temp.(℃)	Mokpo, Jindo, Sinan (+2.5)	Gwangju seogu, Jangseong (+1.9)	Gwangju seogu · Namgu (21.4)	Gurye (19.7)	Mokpo, Sinan (+4.9)	Gwangju donggu · seogu · namgu, Damyang, Boseong, Hwasun, Jangheung, Gangjin, Jangseong (+4.5)	Gwangju seogu · gwangsangu (24.0)	Gurye (22.2)
Min. Temp.(℃)	Mokpo, Haenam, Muan, Wando, Jindo, Yeonggwang, Sinan (+2.4)	Gwangju seogu (+2.0)	Sinan (13.3)	Gurye (9.3)	Mokpo, Haenam, Muan, Wando, Jindo, Sinan (+4.9)	Gwangju seogu (+4.5)	Yeosu (15.9)	Gurye (11.7)

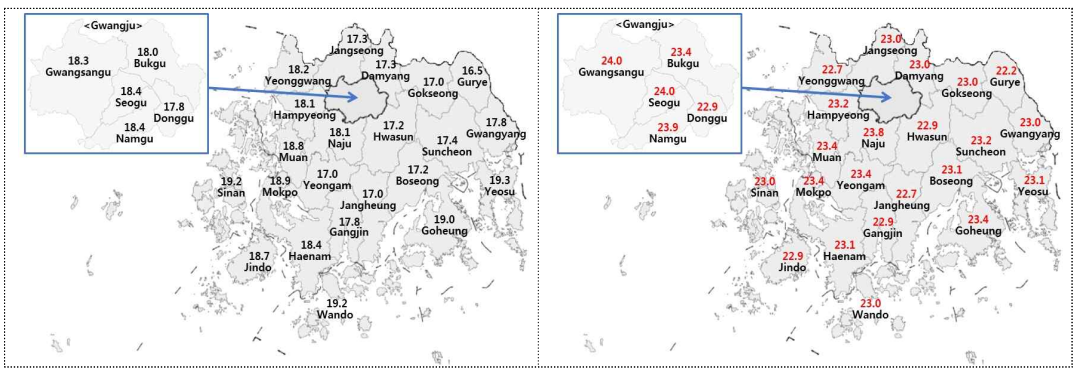


Fig. 3.32. Mean temperature(a), and maximum temperature(b) on RCP 8.5 at 21st last period.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 광주 · 전남지방의 시 · 군 · 구별 폭염 전망

(1) 미래 폭염의 최대 증가지역

Table 3.20은 『광주 · 전라남도 기후변화 전망보고서(기상청, 2012)』의 RCP 4.5와 8.5 scenario를 근간으로 광주의 5개 자치구와 전남지방의 22개 시 · 군에 대하여 21세기 전반기에서 후반기까지 폭염의 증가경향을 현재 수준과 비교 · 분석한 것이다.

21세기 전반기의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 증가지역은 영광(+2.4일)이며, 전반적으로 현재와 비슷한 수준에서 폭염이 그칠 것으로 전망된다. 특히 전반기 중후반(2021~2040년)에는 현재보다 적은 수준으로 전망된다. RCP 8.5의 경우 현재 기후값 대비 −0.1일(신안)~+9.1일(나주)의 지역적인 편차로 증감할 것으로 전망되고 있다.

21세기 중반기의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 증가지역은 무안(10.4일)이며, 완도(4.9일)가 가장 적게 증가할 것으로 전망된다. RCP 8.5의 최대 증가지역은 나주(27.9일)이며, 구례(16.4일)가 가장 적게 증가할 것으로 전망되나, 전반적으로 현재 기후값 대비 2배 이상 증가할 것으로 전망되고 있다.

21세기 후반기의 경우, 현재 기후값 대비 RCP 4.5의 최대 증가지역은 무안(18.9일)이며, 구례(10.2일)가 가장 적게 증가할 것으로 전망되나, 전반적으로 현재 기후값 대비 2배 이상 증가할 것으로 전망되고 있다. RCP 8.5의 최대 증가지역은 광주 서구, 광산구(64.5일)로 2개월 이상의 큰 증가 경향이며, 구례(+41.1일)가 가장 적게 증가할 것으로 전망된다.

폭염의 증가경향을 요약하면, RCP 4.4와 RCP 8.5가 유사하게 중반기부터 폭염일수가 급속하게 증가하기 시작하여 후반기에는 현재 기후값 대비 10.2~64.5일 증가할 것으로 전망되며, RCP 8.5가 4.5보다 2~3배 이상 증가가 전망된다. 최대 증가지역은 RCP 4.5의 경우, 서해안의 무안, 영광, 목포와 광주 광산구가 상대적으로 뚜렷하며, RCP 8.5의 경우, 내륙지방인 나주와 광주 광산구, 서구, 남구가 상대적으로 뚜렷했다. 최소 증가지역으로는 남해안의 완도와 산악지역인 구례가 상대적으로 뚜렷했다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.20. Increased heat wave of RCP 4.5 and RCP 8.5.

Region		Present (2001~2010)	RCP 4.5(8.5) First period (2011~2040) Increment and(or)	RCP 4.5(8.5) Middle period (2041~2070) Increment and(or)	RCP 4.5(8.5) Last Period (2071~2100) Increment and(or)	Increment region(Max./Min.) First Period	Middle Period	Last Period
Gwangju	Donggu	9.0	−0.1(5.7)	7.2(20.7)	12.6(52.1)			
	Seogu	18.5	**−1.5**(8.0)	9.9(27.3)	17.4**(64.5)**			
	Namgu	17.1	−1.0(8.0)	9.8(27.2)	17.2**(63.4)**			
	Bukgu	13.2	−0.2(7.0)	8.7(23.9)	15.0(57.1)			
	Gwangsangu	18.2	−1.2**(9.0)**	**10.1(27.8)**	**18.1(64.5)**			
Jeonnam	Mokpo	6.5	−1.1(2.5)	9.7(24.4)	**18.2**(57.5)			
	Yeosu	4.1	0.9(4.7)	6.3(19.0)	11.4(46.8)			
	Suncheon	11.0	−0.1(5.6)	7.6(20.6)	13.2(51.1)			
	Naju	16.0	−0.1**(9.1)**	**10.0(27.9)**	17.7**(62.8)**			
	Gwangyang	9.9	0.8(5.6)	7.8(19.2)	12.6**(46.2)**	**[RCP 4.5]**	**[RCP 4.5]**	**[RCP 4.5]**
	Damyang	10.5	−0.1(6.1)	7.9(22.7)	14.0(54.5)			
	Gokseong	10.7	0.1(6.1)	7.9(22.2)	13.9(52.7)	Yeonggwang, Haenam / Sinan, Jindo, Gwangju seogu	Muan, Yeonggwang, Gwangju gwangsangu / Wando, Gurye	Muan, Mokpo, Gwangju gwangsangu / Gurye, Wando
	Gurye	9.2	−0.5(3.7)	**5.6(16.4)**	**10.2(41.1)**			
	Goheung	5.1	0.0(4.5)	6.6(21.1)	12.8(50.9)			
	Boseong	9.4	−0.4(5.3)	6.9(20.4)	12.9(51.7)			
	Hwasun	10.2	−0.9(5.3)	6.8(19.9)	12.0(50.2)			
	Jangheung	5.7	0.6(5.4)	6.7(18.9)	11.9(47.8)			
	Gangjin	4.9	1.5(6.7)	8.0(20.8)	13.3(51.0)			
	Haenam	4.9	**1.7**(6.8)	9.9(24.3)	16.7(54.5)	**[RCP 8.5]**	**[RCP 8.5]**	**[RCP 8.5]**
	Yeongam	11.3	−0.1(7.0)	9.6(25.4)	16.7(55.2)			
	Muan	9.5	0.0(5.8)	**10.4**(27.0)	**18.9**(61.6)	Naju, Gwangju gwangsangu / Sinan, Jindo	Naju · Gwangju gwangsangu / Gurye, Wando	Gwangju seogu · Gwangsangu · Namgu, Naju / Gurye, Gwangyang
	Hampyeong	11.2	0.6(7.7)	9.1(25.9)	16.1(58.0)			
	Yeonggwang	5.9	**2.4**(8.4)	**10.1**(25.4)	16.9(56.3)			
	Jangseong	12.2	−1.0(6.0)	7.6(23.3)	14.2(55.6)			
	Wando	2.6	−1.3(1.1)	**4.9(17.9)**	**10.7**(47.8)			
	Jindo	4.6	**−1.5(0.6)**	6.3(18.1)	13.9(48.3)			
	Sinan	6.4	**−2.2(−0.1)**	8.7(21.3)	17.1(51.8)			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 미래 폭염전망의 공간적인 분포

Fig. 3.33은 광주의 5개 자치구와 전남지방의 22개 시·군에 대한 미래 전망되는 폭염일수의 공간적인 분포를 나타낸 것이다.

21세기 전반기에 전망되는 폭염일수는, RCP 4.5의 경우는 1.3~17.0일의 분포로 최다 지역은 광주 광산구와 서구이며, 남해안의 완도가 최소 지역으로 전망되나 전반적으로 많은 지역에서 현재 기후값과 비슷한 수준으로 폭염이 전망된다. RCP 8.5의 경우는 3.7~27.2일의 분포로 최다 지역은 광주 광산구이며, 현재 기후값 보다 1.5배 정도 증가할 것으로 전망된다. 최소 지역은 남해안의 완도로 전망되고 있다.

21세기 중반기에 전망되는 폭염일수는 RCP 4.5의 경우 7.5~28.4일의 분포로 최다 지역은 광주 서구이며, 현재보다 1.5배 정도 증가할 것으로 전망된다. 완도가 현재보다 약 3배 정도 더 전망되나 상대적으로 최소 지역에 해당된다. RCP 8.5의 경우는 20.5~46.0일의 분포로 최다 지역은 광주광산구 이며 현재 기후값 보다 2.5배 정도 급속하게 증가할 것으로 전망된다. 최소 지역은 완도로 전망되고 있다.

21세기 후반기에 전망되는 폭염일수는, RCP 4.5의 경우는 13.3~36.3일의 분포로 최다 지역은 광주 광산구이며, 1개월 이상의 폭염이 발생할 것으로 전망된다. 완도가 현재보다 4배 정도 더 발생하나 상대적으로 최소 지역에 해당된다. RCP 8.5의 경우는 50.3~83.0일의 분포로 최다 지역은 광주 서구이며, 현재 기후값 보다 약 5배 정도 증가할 것으로 전망된다. 최소 지역은 구례로 전망되고 있다.

미래 전망되는 폭염일수 분석을 요약하면, 현재 기후값 보다 21세기 중반기~후반기에 1.5~약 5배 내외로 급속한 증가가 전망되며, 상대적으로 뚜렷한 다발지역은 광역도시인 광주(서구, 광산구, 남구)와 인근 나주지방으로 21세기 후반기에는 연평균최대 80여일 내외의 폭염일수가 전망되고 있다. 상대적으로 최소 전망지역은 남해안의 완도, 진도와 산악지대인 구례이며, 연평균 50여일 이상의 폭염일수가 전망되고 있다.

또한 미래 전망 분석결과 곡성, 화순, 구례에서 최근 6년 동안의 폭염 발생경향과 다소 상이한 전망 결과가 나타났는데, 이는 1㎞ 해상도의 상세 기후변화 scenario 생산 시, 위 지역들은 평년값을 보유하지 않아 객관분석 등 통계적 기법 적용과정에서 차이가 발생한 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

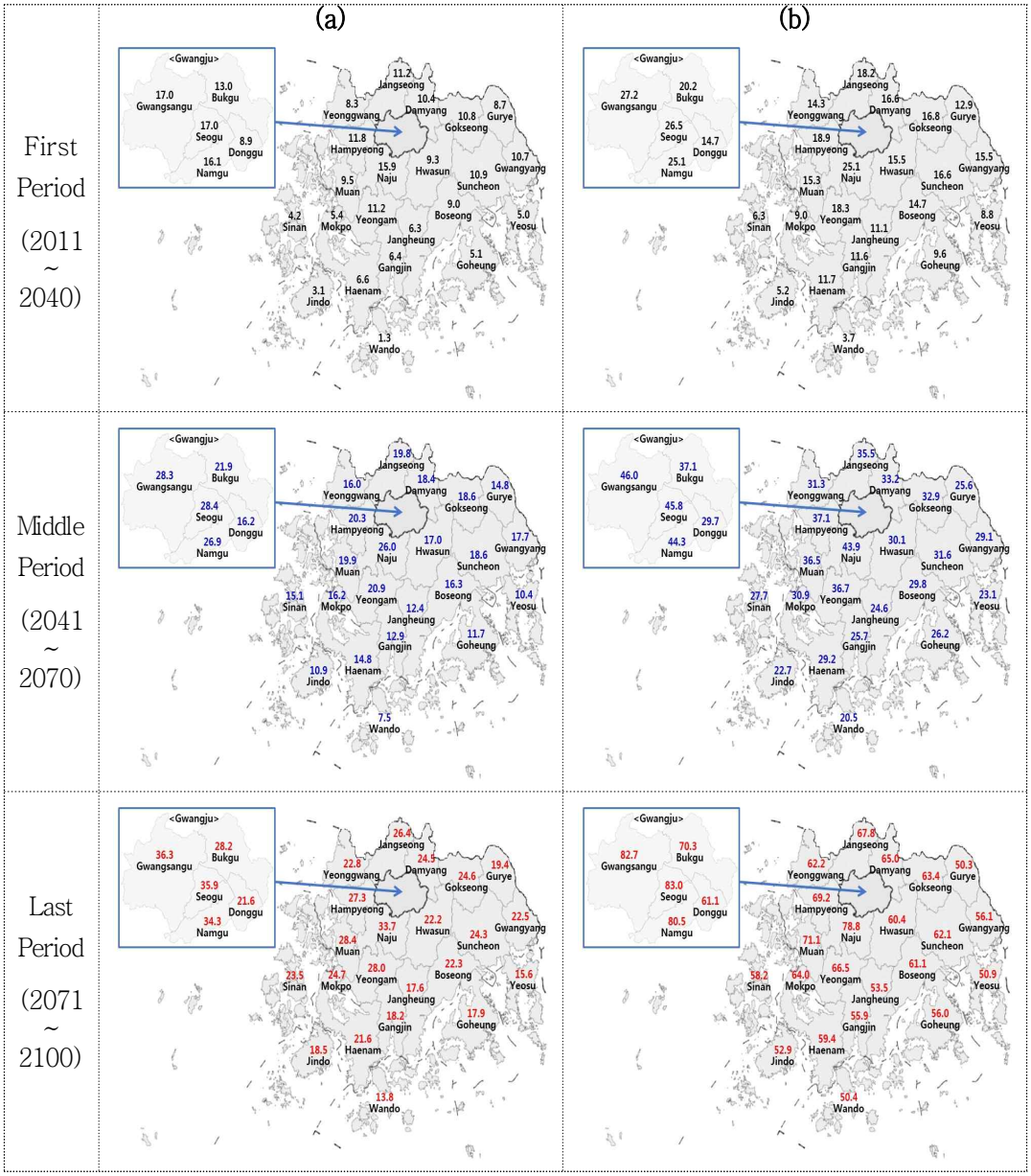


Fig. 3.33. View of heat wave days on RCP 4.5(a), and 8.5(b).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4절 광주·전남지방의 폭염에 의한 건강취약성 평가

1. 폭염 피해의 일반적인 특징

여름철의 기상재난인 폭염은 집중호우와 달리 발생가능성에 대해 높은 확률로 예측이 가능하여 다른 재해 보다는 상대적으로 대응이 쉬울 것으로 보인다. 그러나 폭염 발생 시 일시적으로 대피할 수 있는 무더위 쉼터와 냉방시설의 확충과 운용이 현실적으로 어렵고, 폭염에 취약한 거동이 불편한 노인계층과 취약계층을 냉방시설로 이동하는 데에도 한계가 있다. 아울러 폭염으로 인한 인명피해가 대부분 폭염 시작 후 48시간 내외에서 서서히 나타나고, 피해 장소가 주로 논, 밭 및 현장 등에서 발생하므로 자발적인 주민대응 여부와 피해상황 파악이 다른 재해보다 어려운 실정이다(곽재원 등, 2015).

온열질환자의 경우 응급실 운영 의료기관에 접수된 환자를 기준으로 질병관리본부를 통해 일별로 확인이 가능하지만, 농축산분야는 현재까지 체계적인 자료 수집에 미흡한 실정이다.

우리나라처럼 온화한 온대지방에서 기온이 급상승할 경우 이로 인한 피해가 증가하고, 농촌 보다는 도시지역이 열섬현상 등으로 인하여 폭염의 위험에 더 노출되어 있다. 폭염은 소리 없는 살인자(silent killer)로 비유되면서 최근 언론에 자주 보도되는데 이것은 다른 건강 요인의 악화로 인해 발생한 사망자에 대한 폭염의 영향이 명확히 드러나지 않았기 때문이다. 따라서 폭염은 발생여부에 대한 예측이 가능하지만, 구체적이고 효율적인 상황파악과 대응책 마련에 어려운 기상재해라 할 수 있다.

가. 폭염이 개인 건강에 미치는 영향

폭염은 개인의 건강뿐만 아니라 다양한 산업에 이르기까지 광범위하게 사회·경제적 영향과 피해로 이어질 수 있다.

건강측면으로 한정하여 살펴보면, 폭염은 피부 발진과 어지러움부터 경련과 사망까지 광범위한 건강문제를 일으킬 수 있다. 일반적으로 사람은 보통 습도에서 25℃ 이상이면 무더위를 느끼고, 폭염과 같은 갑작스러운 기온 상승은 질병을 일으킬 뿐만 아

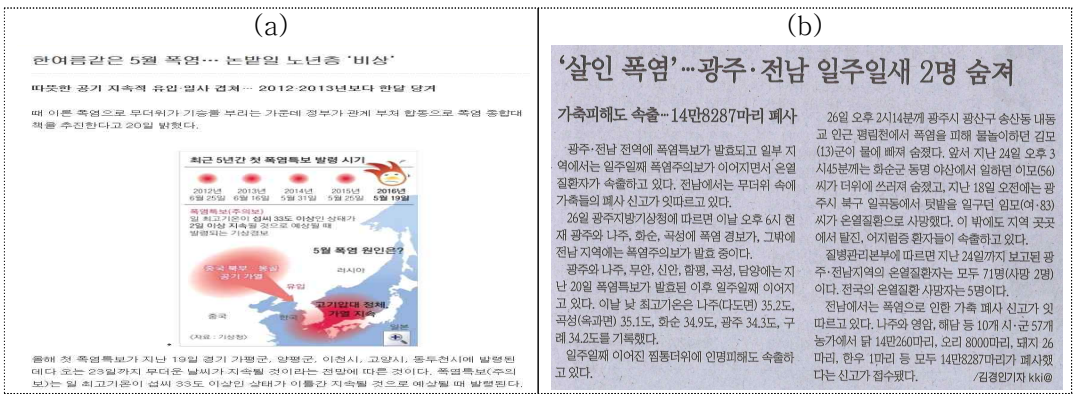
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

니라 심혈관계 및 뇌혈관계에 간접적으로 영향을 미치게 된다. 만약 고온 환경에 신체가 직접 노출될 경우 햇볕에 의한 피부화상 및 자외선에 의한 피부 노화가 촉진된다(대한의사협회, 2014; 왕순주, 2014).

또한 신체는 열의 방출을 늘려 정상체온(36.5~38℃)을 유지하기 위한 생리작용이 일어나고, 그 결과로 피부혈관의 확장과 혈액점성의 저하, 그리고 혈액순환의 증가가 이루어진다(대한의사협회, 2014; 이대근, 2006; 왕순주, 2014). 이러한 생리적 변화에 의해 피부온도가 높아지면서 복사를 통한 체열 방출이 일어난다. 나아가 피부를 통한 열 방출만으로 정상체온의 유지가 어려울 경우 땀을 통한 체온조절이 이루어진다. 따라서 고온에 장시간 신체가 노출되면 이러한 체열조절 능력이 감소하게 되어 열사병(heat stroke), 열탈진(heat exhaustion), 열실신(heat syncope), 열경련(heat cramps), 냉방병 등과 같이 고온과 관련된 온열질환이 발생하여 사망까지도 초래할 수 있다(대한의사협회, 2014).

왕순주(2014)는 기온이 30~32℃일 때 사망자가 급격히 증가하며, 36℃가 되면 30℃일 때보다 50% 증가한다고 하였다. 특히 고령자, 노약자 및 어린이 등이 체력적으로 적응이 어렵기 때문에 상대적으로 피해가 크고 사망률이 증가하게 되며, 65세 이상 노인은 일반인에 비해 폭염에 4배 이상 더 취약하다고 하였다. 또한 야간에 최저기온이 25℃이상인 열대야가 병행하여 나타나면 불면증, 불쾌감, 피로감의 증대, 생체리듬 이상, 탈진의 원인이 되어 노동생산성 및 효율의 감소로 이어지는 등 국민의 불편이 커지게 되며, 미국의 경우, 수면장애 등으로 인한 개인과 사회적 손실이 연간 150억 달러로 추정하고 있을 정도로 폭염이 개인에게 미치는 영향은 막대하다고 하였다.


(a)

한여름같은 5월 폭염… 논밭일 노년층 '비상'

따뜻한 공기 지속적 유입·엘사 겹쳐… 2012·2013년보다 한달 당겨

때 이른 폭염으로 무더위가 기승을 부리는 가운데 정부가 관계 부처 합동으로 폭염 종합대책을 추진한다고 20일 발표했다.

올해 첫 폭염특보가 지난 19일 경기 가평군, 양평군, 이천시, 고양시, 동두천시에 발령된 데다 오는 23일까지 무더운 날씨가 지속될 것이라는 전망에 따른 것이다. 폭염특보(주의보)는 일 최고기온이 섭씨 33도 이상인 상태가 이틀간 지속될 것으로 예상될 때 발령된다.

(b)

'살인 폭염'…광주·전남 일주일새 2명 숨져

가축피해도 속출…14만8287마리 폐사

광주·전남 전역에 폭염특보가 발효되고 일부 지역에서는 일주일째 폭염주의보가 이어지면서 온열질환자가 속출하고 있다. 전남에서는 무더위 속에 가축들의 폐사 신고가 잇따르고 있다.

26일 광주지방기상청에 따르면 이날 오후 6시 현재 광주와 나주, 화순, 곡성에 폭염 경보가, 그밖에 전남 지역에는 폭염주의보가 발효 중이다.

광주와 나주, 무안, 신안, 함평, 곡성, 담양에는 지난 20일 폭염특보가 발효된 이후 일주일째 이어지고 있다. 이날 낮 최고기온은 나주(다도면) 35.2도, 곡성(옥과면) 35.1도, 화순 34.9도, 광주 34.3도, 구례 34.2도를 기록했다.

일주일째 이어진 찜통더위에 인명피해도 속출하고 있다.

26일 오후 2시14분께 광주시 광산구 송산동 내동교 안근 평림천에서 폭염을 피해 물놀이하던 김모(13)군이 물에 빠져 숨졌다. 앞서 지난 24일 오후 3시45분께는 화순군 동명 야산에서 일하던 이모(56)씨가 더위에 쓰러져 숨졌고, 지난 18일 오전에는 광주시 북구 일곡동에서 텃밭을 일구던 임모(여·83)씨가 온열질환으로 사망했다. 이 밖에도 지역 곳곳에서 탈진, 어지럼증 환자들이 속출하고 있다.

질병관리본부에 따르면 지난 24일까지 보고된 광주·전남지역의 온열질환자는 모두 71명(사망 2명)이다. 전국의 온열질환 사망자는 5명이다.

전남에서는 폭염으로 인한 가축 폐사 신고가 잇따르고 있다. 나주와 영암, 해남 등 10개 시·군 57개 농가에서 닭 14만260마리, 오리 8000마리, 돼지 26마리, 한우 1마리 등 모두 14만8287마리가 폐사했다는 신고가 접수됐다. /김경인기자 kki@

Fig. 3.34. Newspaper on 19 May 2016(a), and 27 July 2016(b).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 질병관리본부의 온열질환자 감시체계

폭염과 관련된 질병에는 피부발진, 열경련, 열탈진, 열실신 및 열사병 등이 있다. 대부분의 열과 관련된 질병(피부발진, 열경련 제외)들은 체온조절 시스템의 감퇴로 인해 발생된다(WHO, 2004).

신체가 견뎌낼 수 있는 한계보다 더 많은 열에너지에 노출되었을 때 열손상이 발생한다. 신체가 뜨거운 환경에 노출되었을 경우나 격심한 신체적 활동에 의해서 과도한 체열이 생성될 때 신체는 내부의 열을 제거하려는 방어기전을 나타내게 된다. 가장 효과적인 기전은 땀을 흘리는 것과 피부혈관이 확장되어 열을 발산하는 것이며, 이것은 혈액을 피부표면 가까이로 공급하여 신체로부터의 열방사율을 증가시키는 것이다. 일반적인 열조절 기전은 매우 능률적이어서 사람들은 상당한 온도 변화에도 매우 잘 견뎌낼 수 있다. 따라서 열에 노출되어 발생하는 열손상은 정상적인 조절기능이 압도되어 신체가 더 이상 열에 견딜 수 없을 때 발생한다(왕순주, 2014).

Table 3-21는 질병관리본부의 온열질환 감시체계에서 활용하고 있는 열손상의 유형을 나타낸 것이다. 또한 온열질환자 감시체계는 Table 3.22와 같이 2010년 8월 1일부터 전국의 국가지정 응급의료 기관을 통해 보고된 온열질환자 발생현황 정보로 운영하다가, 2014년부터는 전국의 응급실 운영 의료기관으로 확대하여 운영하고 있으며, 관련 정보를 광역자치단체 기준으로 작성하여 제공하고 있다.

Table 3.21. Classification of thermal problems.

Article	List of symptoms	Disease code
Heat oedema	Edema of hands, feet or ankles	T67.7
Heat syncope	Syncope(temporary loss of consciousness), dizziness	T67.1
Heat cramps	Muscle spasms(shoulders, arms, legs, abdomen, fingers)	T67.2
Heat exhaustion	Body temperature is normal, or rise(≤40℃), Sweating a lot(excessive sweating), extreme helplessness and fatigue, pale, muscle cramps, nausea or vomiting.	T67.3 ~ T67.5
Heat stroke	Central nervous system dysfunction(ritual disorder /coma), Sweat-free, dry and hot skin(>40℃), Severe headache, chills, tachycardia, insomnia, hypotension	T67.0

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.22. Surveillance system of heat-related illness in KCDC.

Years	Number of emergency medical treatment center/emergency room	Operation day (date)	Way of reporting
2010	460	8.1~9.10	FAX
2011	474	7.1~9.3	Computing system
2012	459	6.1~9.6	〃
2013	436	6.2~9.7	〃
2014	539	6.1~9.6	〃
2015	533	5.24~9.5	〃
2016	535	5.23~9.21	〃

3. 우리나라의 온열질환자 발생 현황

질병관리본부의 「2016년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보」를 이용하여 작성한 Table 3.23과 Fig. 3.35(a)에서 지난 6년간(2011~2016) 누적 온열질환자는 총 6,353명(세종시는 2014년부터 신고)이며, 남자가 4,621명으로 72.7%을 차지하였다.

광주·전남지방은 전국대비 16.5%인 1,051명이 발생하였고, 전남지방이 전국대비 12.1%인 770명이 발생하여 경기도에 이어 두 번째로 많으며, 광주는 281명이 발생하였다. 또한 광주는 남자가 71.9%이나, 전남지방은 남자가 60.4%로 상대적으로 적었다. 전남지방의 경우 농업인구가 많아 실외 논밭에서 농작물 관리, 하우스 등 밀폐된 공간에서 작업을 해야 하는 직업 특성이 반영된 결과로 추정된다.

Table 3.23. Patients with heat-related illness from 2011 to 2016.

Years	Patients (unit: person)																
	Total	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwangju	Daejeon	Ulsan	Sejong	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Total	6,353	457	282	214	227	**281**	164	276	19	811	296	321	371	377	**770**	494	724	269
2011	443	27	16	27	23	**31**	5	18	-	58	19	21	25	27	**86**	33	17	10
2012	984	119	41	43	36	**34**	28	29	-	126	38	55	78	52	**140**	71	73	21
2013	1,195	52	60	33	14	**51**	22	85	-	92	43	54	45	77	**168**	138	181	74
2014	556	39	19	21	21	**19**	19	31	4	62	33	23	18	24	**69**	36	101	17
2015	1,056	50	34	52	32	**55**	26	60	4	115	71	60	59	74	**120**	79	127	38
2016	2,125	170	112	38	102	**91**	64	53	11	357	92	108	146	123	**187**	137	225	109
Male	4,621	335	202	161	187	**202**	129	217	15	658	200	229	270	254	**465**	366	532	198
Female	1,732	122	80	53	40	**79**	35	59	4	152	96	92	101	123	**305**	128	192	71

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

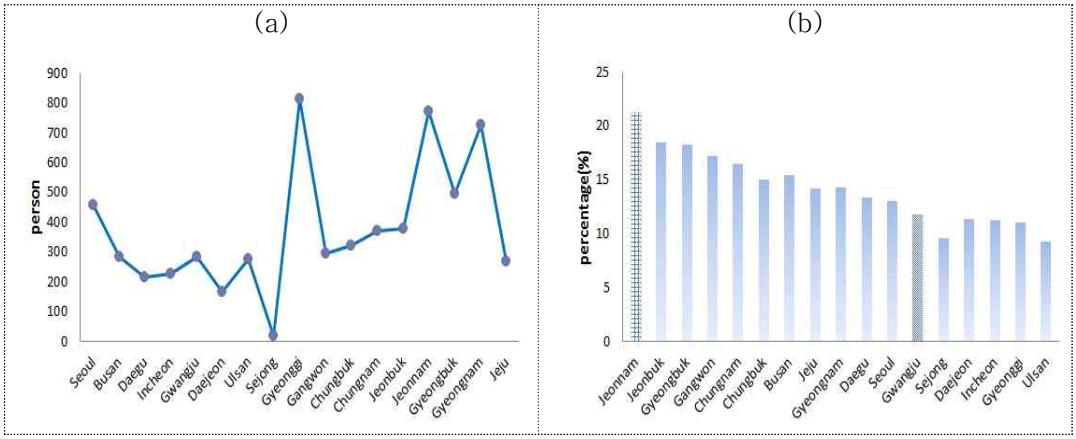


Fig. 3.35. Patients with heat-related illness from 2011 to 2016(a), and population aged 65 or older at 01 November 2016(b).

Table 3.24는 온열질환자의 연령별 분포로, 전국의 65세 이상 고령인구는 1,686명으로 26.5%을 차지한 가운데, 광주·전남지방은 27.7%(150명, 2014~2016년)로 상대적으로 약간 비중이 높았다. 이러한 결과로 폭염의 취약성 분류연구 등에 사회적 변수요소로 65세 이상의 고령인구 비율이 활용되고 있다.

한편 통계청에서는 65세 이상 인구비율이 7% 이상이면 고령화사회, 14% 이상이면 고령사회, 20% 이상이면 초고령사회로 해석하고 있다. 2016년 11월 1일 통계청 자료를 바탕으로 Fig. 3.35(b)에 나타낸 것과 같이, 전국의 65세 이상 고령인구 비율은 13.6%를 차지한 가운데, 전남지방의 65세 이상 고령인구 비율은 21.3%로 전국 1위이며, 광주는 전국평균보다 조금 적은 11.8%를 차지하고 있다. 따라서 광주는 고령화사회이나 전남지방은 유일하게 초고령사회로 구성되어 있어 폭염의 위험에 상대적으로 더 노출되어 있다고 할 수 있다.

Table 3.24. Same as Table 3.23 except for the age.

Duration	Region	Age(patients unit: person)										Total
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80 over	65 over	
2011~2016	Korea	33	411	604	702	1,069	1,336	891	772	535	1,686	6,353
2014~2016	Gwangju	2	12	16	20	25	37	28	13	12	39	165
	Jeonnam	3	21	24	41	51	93	50	62	31	111	376
	G. + J.	5	33	40	61	76	130	78	75	43	150	541

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가. 광주 · 전남지방의 온열질환자 발생 현황

질병관리본부의『2016년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보』는 광역 자치단체를 기준으로 정보를 제공하고 있어 광주 · 전남지방에서 발생한 온열질환자 발생 특징을 광주와 전남지방으로 한정하여 온열질환별, 발생 장소별, 직업별, 사망자별, 발생시기별로 분석하였다. 분석기간은 연보가 제공되고 있는 2013~2016년까지 4년간이나 직업별 분석은 자료가 2년 밖에 없어 분석기간은 2015~2016년까지 이다.

(1) 온열질환별 분석

앞서 Table 3.21에 나타낸 온열질환 감시체계에서 정의된 질환 분류를 기준으로 광주 · 전남지방에서 최근 4년간 발생한 온열질환을 Fig. 3.36(a)에 나타내었다.

땀을 많이 흘리면서 극심한 무력감과 피로를 느끼고 창백해지는 열탈진이 광주와 전남지방 다같이 51.4~52.2%로 가장 많았고, 의식장애와 혼수상태에 이르러 사망을 초래할 수 있는 열사병이 두 번째로 많아, 폭염에 의한 온열질환 발생이 개인 생명과 건강에 미치는 영향이 막대함을 알 수 있었다.

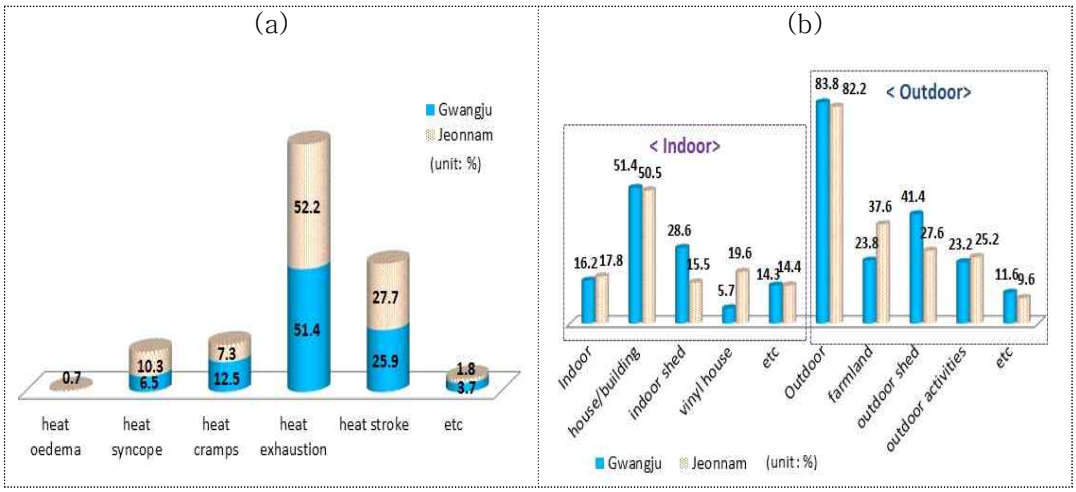


Fig. 3.36. Distribution of thermal problems(a), and occurrence place(b) from 2013 to 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 발생 장소별 분석

Fig. 3.36(b)는 지난 4년간(2013~2016) 광주·전남지방의 온열질환자 발생 장소를 나타낸 것으로, 실외에서 발생하는 경우가 82.2~83.8%로 상대적으로 많았다.

세부적으로 실내의 경우, 광주는 집이나 건물에서 발생한 빈도가 51.4%로 가장 많았고, 밀폐된 작업공간에서 고온에 노출이 되는 경우도 28.6%로 뒤를 따랐다. 전남지방도 유사하게 집이나 건물에서 발생빈도가 50.5%로 가장 많았으나, 광주와 다르게 작업장보다 비닐하우스에서 발생빈도가 높았다. 또한 실외의 경우 광주는 작업장이 41.4%로 가장 발생빈도가 높은 반면, 전남지방은 논이나 밭에서 발생하는 경우가 37.6%로 가장 많았다.

(3) 직업별 분석

Table 3.25는 지난 2년간(2015~2016) 온열질환자의 직업을 나타낸 것이다.

전국의 경우 농림·어업 숙련종사자가 실제 산업을 경영하면서 폭염에 노출이 많기 때문에 가장 많은 온열질환자가 발생하였고, 무직이 다음이었다. 광주·전남지방도 농림·어업 숙련종사자가 23.4%(106명)로 가장 많았으며, 주부가 9.7%(44명)로 뒤를 따랐다(기타는 분석에서 제외). 세부적으로 광주는 농림어업 숙련종사자가 가장 많은 가운데, 학생이 뒤를 따랐고, 전남지방도 농림·어업 숙련종사자가 가장 많았지만, 광주와 다르게 주부가 뒤를 따랐다.

Table 3.25. Patients with heat-related illness by occupation from 2015 to 2016.

Region	Occupation(Patients unit: person)						
	Manager	Expert and professional workers	Office worker	Service worker	Marketer	Agriculturist	Craftsman functional employes and related functionality
Korea	16	111	68	88	26	**443**	302
Gwangju	0	12	2	4	1	22	9
Jeonnam	2	9	7	2	0	84	12
G. + J.	2	21	9	6	1	**106**	21

Region	Equipment operator and assembly operator	Soldier	Housewife	Student	Not employed	Homeless people	etc	Total
Korea	178	51	227	231	436	23	981	3,181
Gwangju	5	2	13	15	13	0	48	146
Jeonnam	19	2	31	19	28	1	82	307
G. + J.	24	4	**44**	34	41	1	130	453

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(4) 사망자 분석

Table 3.26는 지난 4년간(2013~2016) 온열질환으로 인한 사망자를 나타낸 것이다. 최근 4년간 사망자는 전국에서 총 46명이 발생했으며, 광주·전남지방은 10명이 발생하였고, 그 중 전남지방이 7명으로 상대적으로 많았다. 도시보다는 농어촌 소도시에서 폭염 대응능력과 기반시설이 취약하여 어디에 어떻게 살고 있느냐, 즉 사회·경제·환경적 요인에 따라 폭염의 피해가 다르게 나타남을 알 수 있었다.

성별로는 전국에서 남자의 발생률이 71.7%(31명)로 현저하게 높았으나 광주·전남지방의 경우는 여성이 60%(6명)로 많았다. 또한 전국의 65세 이상 사망자는 56.5%(26명)이나 광주·전남지방은 80%(8명)로 현저하게 많았다. 이는 정지훈 등(2014)이 '고온에 의한 사망 취약도 분석에서 노년층의 비율이 높은 지역일수록 고온에 의한 사망이 취약하다' 는 연구결과와 잘 일치한다.

전남지방의 경우, 농·임업의 비중이 큰 산업구조에서 농업경영에 필연적으로 여성이 참여할 수밖에 없는 현실이고, 또한 65세 이상 고령자가 많아 지속된 힘든 노동과 폭염에 체력적으로 적응이 힘들어지면서 사망률이 증가한 것으로 판단된다.

Table 3.26. The number of deaths by patients with heat-related illness from 2013 to 2016.

Years	2013	2014	2015	2016	Total	Age(deaths unit: person)							
						Male			Female			65 below	65 Over
						65 below	65 Over	Total	65 below	65 Over	Total		
Korea	17	1	11	17	**46**	**19**	12	**31**	1	**14**	15	20	**26**
Gwangju	1	0	1	1	**3**	0	1	1	0	2	2	0	**3**
Jeonnam	4	0	1	2	**7**	2	1	3	0	4	**4**	2	**5**
G. + J.	5	0	2	3	**10**	2	2	4	0	**6**	**6**	2	**8**

(5) 온열질환자 발생 시기 분석

Fig. 3.37은 2013~2016년까지 광주·전남지방의 온열질환자 발생 시기를 나타낸 것이다.

전반적으로 7월 중순에 환자발생이 급증하기 시작하여 7월 하순 후반부터 8월 상순에 피크를 보이고 있다. 또한 연도별로 매년 장마가 끝난 직후부터 급증하기 시작하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

며, 최대 발생은 7월 하순 후반부터 8월 상순 기간이었다.

온열질환자가 발생하기 시작한 날을 살펴보면, 2013년은 6월 14일, 2014년은 6월 1일, 2015년과 2016년은 5월 25일에 최초로 발생하여, 최근에 접어들면서 온열질환자의 발생 시기가 빨라지고 있다. 여름이 시작될 때 폭염이 발생하는 경우가 여름이 끝나는 시점의 폭염보다 더 심한 건강이상을 초래할 수 있다는 선행연구(Braga et al., 2001)와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

지난 4년간(2013~2016) 연도별로 광주·전남지방의 가장 이른 폭염과 가장 늦은 폭염의 발생 시기와 비교해보면, 2013년과 2014년의 경우 폭염이 발생한 후 온열질환자가 발생했으나, 2016년은 폭염이 발생하기 전에 환자가 발생하였다. 2015년을 제외하고 마지막 폭염이 발생하기 전에 환자의 발생이 종료되었다.

따라서 온열질환자 발생은 일최고기온 33℃ 이상인 날을 포함하여 상대습도, 열지수, 일최저기온, 체감온도 및 불쾌지수 등 다른 기후요소와 피해 지역의 사회적 환경(고령인구, 독거노인, 환자의 건강상태 등)과 적응능력 등이 복합적으로 작용한 것으로 유추할 수 있다.

한편, 질병관리본부의『폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보』가 시·군·구 단위로 세분화되어 있지 않아 기초자치단체별 온열질환자와 기후요소의 정량적인 비교·분석은 불가능 했다. 향후 자료가 충분히 축적되고 분류가 구체화된다면 국지적인 온열질환자 대응체계 마련에 보다 활용성 있는 연구 자료가 생산될 것으로 기대한다.

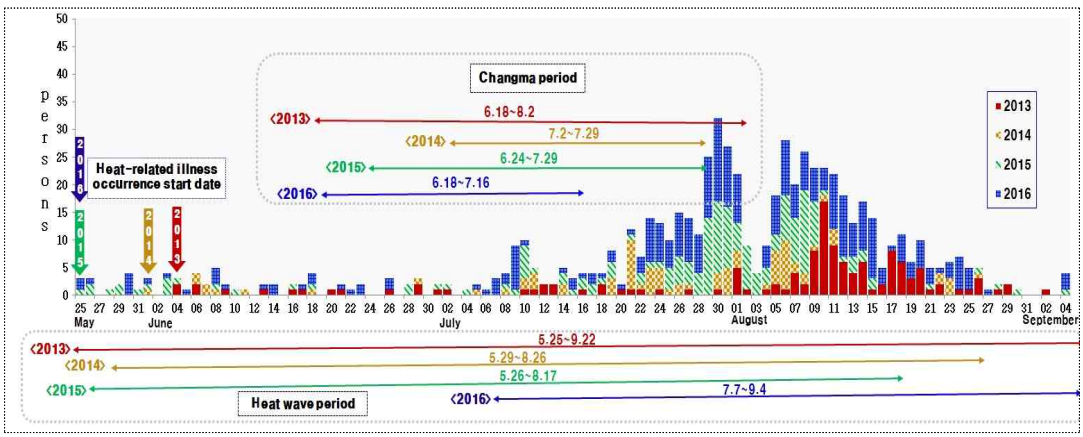


Fig. 3.37. Occurrence date of heat-related illness for Gwangju and Jeonnam from 2013 to 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 폭염에 의한 건강취약성 평가

가. 취약성 평가 도구

기후변화로 인한 영향 및 피해를 최소화하기 위하여 저탄소 녹색성장 기본법 제48조 및 동법 시행령 38조에 근거하여, 광역 및 기초 지자체에서는 기후변화 적응대책 세부 시행계획 수립을 의무화하고 있다. 제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015년)이 성공적으로 수립되었으며, 제2차 적응대책(2016~2020년)이 수립 · 이행되고 있다(오관영 등, 2016).

이를 위해, 기후변화로 인하여 어느 지역에 어떠한 영향과 피해가 있고, 취약한지 평가하는 것이 기후변화 적응대책 수립에 있어 매우 중요하다. 취약성 평가는 기후변화에 대한 적응역량을 표현하는 방법이며, 평가 결과의 분석을 통하여 해당 지자체의 적응역량 향상 전략을 수립할 수 있다고 제시하고 있다(IPCC, 2007).

환경부의 한국환경정책 · 평가연구원에서는 지자체의 성공적인 적응대책 수립을 지원하고자, Fig. 3.38과 같이 웹 기반의 취약성 평가 도구인 VESTAP을 개발하여 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는, 정보의 신뢰성 등을 고려하여 공신력 있는 이 평가 도구를 활용하여 광주 · 전남지방의 폭염에 의한 건강취약성 평가를 실시하였다.

Fig. 3.38. VESTAP assessment tool.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 취약성 평가 방법

폭염에 대한 취약성의 피해 규모와 범위는 시간과 공간에 따라 차이가 있으며, 사회적 환경과 경제적 풍요 수준 등에 따라 차이가 있다. 따라서 폭염피해는 자연적 원인과 사회·경제적인 요소가 복합적으로 작용하여 발생하므로, 취약성 평가는 과학적인 근거를 기반으로 평가하여야 한다.

취약성을 평가하기 위한 대용변수로는 기후노출(climate exposure), 민감도(sensitivity), 적응능력(adaptive capacity)을 활용하고 있다. 기후노출은 기후변화 영향을 대표하는 변수이고, 민감도는 기후노출 영향의 정도를 나타내는 변수이며, 적응능력은 기후변화 영향을 감소시킬 수 있는 변수이다.

또한 Kang and Lee(2012)는 기후노출이란 시스템에 영향을 미치는 기후자극을 의미하며, 민감도는 기후자극에 민감하게 반응하는 정도를 의미한다고 하였다. 또한 적응능력이란 기후자극에 대한 시스템의 적응역량을 말하며, 일반적으로 기후변화에 대한 영향이 크고 적응능력이 작으면 취약성이 높은 것으로 판단하였다.

Moss et al.(2001)과 Yoo et al.(2010) 등이 기후노출, 민감도, 적응능력 지표와 그에 대한 가중치를 고려하여 실시한 취약성 평가 방법은 식 2와 같다.

즉 취약성은 기후노출과 민감도가 클수록 크고, 적응능력이 클수록 작아지기 때문에 기후노출과 민감도의 합에 적응능력의 차로 산출된다. 취약성 지수는 0~1의 범위를 갖으며, 취약할수록 1에 가까운 값을 가진다.

< 식 2 >

$$\text{Vulnerability(취약성)} = [\alpha \times \text{exposure(기후노출)}] + [\beta \times \text{Sensitivity(민감도)}] - [\gamma \times \text{adaptive Capacity(적응능력)}]$$

※ α, β, γ : weighting per variables(가중치)

또한, 각 지표의 수집된 자료는 표준화 과정을 통해 계산된다. 표준화란 단위가 다른 변수들 간의 연산을 위하여 필요한 과정이다. 자료의 표준화 방법은 UNDP(2005)에서 제시한 식 3과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

< 식 3 >

$$\text{Standardization (표준화)} = \frac{\text{Actual value(대용변수의 값)} - \text{Minimum value(대용변수값 중 최소값)}}{\text{Maximum value(대용변수값 중 최대값)} - \text{Minimum value(대용변수값 중 최소값)}}$$

식 3을 통하여, 기후노출, 민감도, 적응능력 지표에 대한 항목이 모두 표준화 되면, 식(2)에서 제시된 각 지표에 대한 가중연산에 따라 최종적인 취약성 평가결과가 도출되며, 각 지표에 대한 가중치에 따라 최종적인 결과에 차이가 나타난다. 본 연구의 취약성 평가방법과 표준화 방법은 VESTAP에서 적용하고 있는 식 2와 식 3이다.

또한, 연구에 사용된 폭염에 대한 취약성 지수의 대용변수는 Table 3.27과 같다. 기후노출은 열파 지속지수, 일최고기온, 폭염일수(33℃ 이상), 일최저기온(25℃ 이상), 체감온도, 상대습도, 불쾌지수 등이다. 민감도 부문은 14세 이하 인구, 65세 이상 인구, 기초 생활수급자 비율, 심혈관질환 및 열사·일사병 사망자 수 등 육체적 및 정신적 건강과 연령 등을, 적응능력에는 보건업 및 사회복지 서비스업, 건강보험적용 인구 비율, 보건소 인력, 응급의료 기관수, 재정자립도, 지역 내 총생산 등 위험 분산 능력과 인적 자원 등 환경 역량, 시스템 적응 의지 등이 포함되어 있다.

Table 3.27. Proxy variables for the assessment of health vulnerability to heat wave.

Component	Proxy variable	Source
Climate exposure	Heat wave duration index, Annual average daily Max. Temp., Number of days with daily Max. Temp. ≥33℃, Number of days with daily Min. Temp. ≥25℃, Effective Temp., Daily relative humidity, Discomfort index	RCP 4.5, 8.5 Scenario of the KMA(Detailed data of the Korean Peninsula and South Korea, and applied meteorological data)
Sensitivity	Population aged 14 or younger, Population aged 65 or older, Share of beneficiaries of national basic livelihood guarantees, Share of the elderly population living alone(aged 65 or older), Number of deaths caused by cardiovascular disorders, Number of deaths caused by heatstroke/sunstroke	Statistics released by the National Statistical Office
Adaptive capacity	GRDP healthcare services and social services, Share of beneficiaries of health insurance, Number of public health workers per unit of population, Number of emergency medical centers, Financial independence Gross Regional Domestic Product(GRDP)	

(※ Source: Kwan-Young Oh et al., 2017)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 취약성 평가항목별 가중치

정량화된 취약성 평가 결과를 도출하기 위하여 먼저 취약성지수의 대용변수별 지표에 대한 가중치를 설정하였다. 취약성지수의 대용변수 중 기후노출을 0.5로 가장 높게 설정하였고, 민감도와 적응능력은 각각 0.25로 같게 설정하였다.

세부적으로 기후노출 평가항목에서는 일최고기온이 33℃ 이상인 날의 횟수를 0.26으로 가장 높게 설정하였고, 열파 지속지수와 온·습도의 지수인 불쾌지수를 두 번째로 높게 설정하였다.

민감도 평가항목에서는 열사·일사병으로 인한 사망자 수를 0.24로 가장 높게 설정하였고, 65세 이상 인구와 독거노인의 비율을 두 번째로 높게 설정하였다. 적응능력 평가항목에서는 재정자립도와 지역 내 총생산(Gross Regional Domestic Product, GRDP)을 각각 0.21로 높게 설정하였다. 이외 대용변수별 상세한 가중치는 Table 3.28과 같다.

Table 3.28. Weighting factors of proxy variables for the assessment of health vulnerability to heat wave.

Component	Weighting factor	Proxy variable	Weighting factor
Climate exposure	0.5	Number of days with daily Max. Temp. ≥33℃	0.26
		Heat wave duration index	0.15
		Discomfort index	0.15
		Effective temperature	0.13
		Annual average value of daily Max. Temp.	0.11
		Daily relative humidity	0.10
		Number of days with daily Min. Temp. ≥25℃	0.10
Sensitivity	0.25	Number of deaths caused by heatstroke/sunstroke	0.24
		Population aged 65 or older	0.20
		Share of the elderly population living alone(aged 65 or older)	0.20
		Number of deaths caused by cardiovascular disorders	0.16
		Share of beneficiaries of national basic livelihood guarantees	0.10
		Population aged 14 or younger	0.10
Adaptive capacity	0.25	Financial independence	0.21
		Gross Regional Domestic Product(GRDP)	0.21
		Number of public health workers per unit of population	0.16
		Number of emergency medical centers	0.16
		GRDP healthcare services and social services	0.16
		Share of beneficiaries of health insurance	0.10

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. 시 · 군 · 구별 폭염의 취약성 평가

광주 · 전남지방의 폭염에 의한 건강 취약성 평가는 기후노출 부문, 민감도 부문, 적응능력 부문에 대해 실시하여 취약성 종합지수(Vulnerability index, VI)를 도출하였고, 평가방법은 2개의 광역별(광주 : 5개의 자치구, 전남 : 22개 시 · 군)로 기후모델 및 대용변수를 이용하여 절충형 방법으로 상대평가 하였다.

평가순서는 먼저 과거 2000년대(2001~2010) 평가결과 값을 도출하였고, 예측성 결과는 RCP 4.5와 RCP 8.5 scenario를 기반으로 2010년대(2011~2020), 2020년대(2021~2030), 2030년대(2031~2040), 2040년대(2041~2050)에 대해 시 · 군 · 구 단위까지 산출하였다.

Table 3.29에 나타낸 것과 같이, 2000년대에 광주지역에서 상대적으로 가장 취약한 지역(VI가 가장 높은 지역)은 0.48의 남구이며, 안정된 지역(VI가 가장 낮은 지역)은 0.03의 동구이었다. 남구의 경우 적응능력 평가항목인 사회 · 경제적 기반시설과 환경이 타 지역과 비교하여 상대적으로 취약하여 나타난 것으로 분석되었고, 동구의 경우 취약성 평가에서 기여도가 가장 큰 기후노출 부문에서 타 지역보다 큰 차이로 낮아 상대적으로 안정된 지역으로 분석되었다.

전남지방의 경우, 2000년대 상대적으로 가장 취약한 지역은 취약성 종합지수가 0.46인 나주이며, 영암(0.35), 무안과 함평(0.34), 목포(0.31)가 뒤를 따랐다. 상대적으로 안정된 지역은 0.09의 구례이며, 광양, 신안, 곡성이 뒤를 따랐다.

나주와 같이 취약한 지역의 경우, 취약성 평가에서 기여도가 큰 기후노출과 민감도 분야 평가항목에서 타 지역과 비교하여 상대적으로 높아서 취약한 것으로 분석되었다.

일반적으로 전남지방은 순천, 여수, 광양을 제외하고는 농어촌 소도시이기 때문에, 재정자립도와 지역 내 총 생산(GRDP) 등 적응능력 평가항목이 취약하며, 기후노출과 민감도가 상대적으로 높아서 취약성 종합지수가 0.21 이상 지역이 많은 것으로 분석되었다. 취약성 종합지수를 낮추기 위해서는, 우선적으로 기후노출 측면에서 광주광역시에서 시행 중인 “광주온도 1℃ 낮추기” 프로젝트 등 지구온난화에 대한 전략적인 대응이 필요하며, 민감도 측면에서 기초생활수급자 및 독거노인의 비율을 낮추고, 적응능력 측면에서 재정자립도와 GRDP의 조달노력 등이 필요한 것으로 판단된다.

Table 3.30과 Table 3.31은 지난 40년간(2010~2050) 취약성 평가의 대용변수별

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

예측 결과를 나타낸 것이며, 취약성 종합지수는 Fig. 3.39와 Fig. 3.40과 같이 시각화하여 지역별로 상대적인 취약성을 이해할 수 있게 하였다.

광주의 경우, 상대적으로 가장 취약한 지역은 남구이며, 전 기간에 걸쳐 RCP 4.5와 RCP 8.5 모두 취약성 종합지수가 0.46~0.48 정도로 유지될 것으로 전망된다. 두 번째로 취약한 서구의 경우 2030년대부터 미세하게 완화되는 경향을 보이나, 광산구의 경우 상반된 경향(RCP 4.5)이 예상된다. 동구는 상대적으로 폭염에 가장 양호한 지역으로, 전 기간에 취약성 종합지수가 0.04로 나타나 가장 취약한 남구와는 차이가 크다.

전남지방의 경우, 상대적으로 가장 취약한 지역은 나주이며, RCP 4.5의 경우 취약성 종합지수가 점차 완화되는 경향(0.48→0.46)을 보이나, RCP 8.5는 미세하게 증가하면서 2040년에는 취약성 종합지수가 0.49에 이를 것으로 전망되었다.

다음으로 취약한 지역은 RCP 4.5의 경우, 2010년대에는 순천과 함평 0.34, 무안 0.33이고, 2020년대에는 함평 0.38, 무안과 순천 0.34이며, 2030년대에는 영암 0.35, 함평 0.32이었으며, 2040년대에는 함평 0.34, 영암 0.33으로 전망되었다.

RCP 8.5의 경우, 2010년대에는 순천 0.35, 함평 0.34이고, 2020년대에는 함평 0.38, 담양 0.33이며, 2030년대에는 영암 0.36, 함평 0.32이었으며, 2040년대에는 무안 0.34, 함평 0.34로 전망되었다.

상대적으로 폭염에 양호한 지역으로는, RCP 4.5의 경우 2010년대와 2020년대에는 구례 0.15와 0.18이며, 2030년대에는 완도와 목포 0.18, 2040년대에는 구례 0.10으로 전망되었다.

RCP 8.5의 경우, 2010년대에는 구례와 해남 0.19, 2020년대에는 목포와 강진 0.20, 2030년대에는 목포 0.16, 2040년대에는 구례 0.16으로 전망되었다.

시 · 군 · 구별 취약성 평가를 요약하면, 2040년대까지 폭염에 의해 건강이 상대적으로 취약한 지역은 광주는 남구이고 전남지방은 나주를 중심으로 함평, 무안, 순천, 영암으로 전망되었다. 위 지역들은 취약성 평가에서 기여도가 큰 기후노출과 민감도 부문에서 전략적인 대응노력이 필요한 것으로 분석되었다.

또한 취약성 평가결과는 VESTAP 기본지표 DB를 근간으로 수행된 결과이므로 수집된 사회통계 등의 자료의 신뢰도에 따라 실제 정확한 취약성 평가결과와는 차이가 있을 수 있다(오관영 등, 2016).

즉, 평가의 결과는 평가에 활용되는 지표 DB의 신뢰성과 평가지역에 대한 지역적

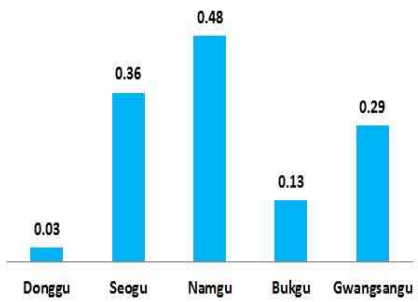
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

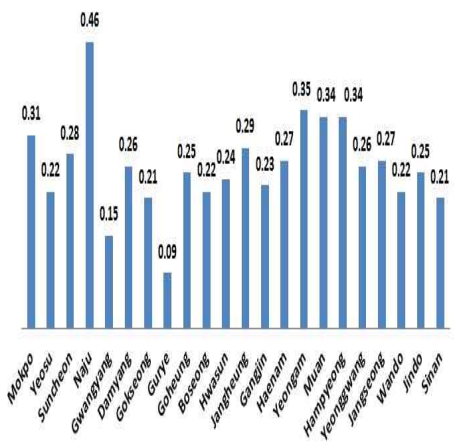
특성의 반영 여부에 따라 달라질 수 있다. 보다 실용적이고 정확한 평가결과를 산출하기 위해서는 VESTAP에 활용되는 사회통계 및 기후자료를 지속적으로 현행화하여 신뢰도를 향상시키고, 지역 특성에 맞는 가중치 조정 등 오차를 최소화하는 세부 조정 등이 필요하다.

Table 3.29. Health vulnerability assessment results to heat waves across in Gwangju and Jeonnam from 2001 to 2010.

Region		2000s(2001~2010)				Assessment results
		Vulnerability index	Climate exposure index	Sensitivity index	Adaptive capacity index	
Gwangju	Donggu	**0.03**	0.05	0.00	0.02	
	Seogu	0.36	0.43	0.04	0.11	
	Namgu	**0.48**	0.38	0.11	0.01	
	Bukgu	0.13	0.09	0.17	0.13	
	Gwangsangu	0.29	0.40	0.11	0.22	
Jeonnam	Mokpo	**0.31**	0.29	0.11	0.09	
	Yeosu	0.22	0.24	0.16	0.18	
	Suncheon	0.28	0.23	0.19	0.14	
	Naju	**0.46**	0.40	0.15	0.09	
	Gwangyang	0.15	0.22	0.08	0.15	
	Damyang	0.26	0.26	0.06	0.06	
	Gokseong	0.21	0.21	0.05	0.05	
	Gurye	0.09	0.09	0.04	0.04	
	Goheung	0.25	0.25	0.08	0.08	
	Boseong	0.22	0.25	0.04	0.07	
	Hwasun	0.24	0.28	0.07	0.11	
	Jangheung	0.29	0.24	0.10	0.05	
	Gangjin	0.23	0.24	0.04	0.05	
	Haenam	0.27	0.26	0.08	0.07	
	Yeongam	**0.35**	0.33	0.11	0.09	
	Muan	**0.34**	0.34	0.04	0.04	
	Hampyeong	**0.34**	0.36	0.01	0.03	
	Yeonggwang	0.26	0.28	0.03	0.05	
	Jangseong	0.27	0.30	0.02	0.05	
	Wando	0.22	0.23	0.03	0.04	
	Jindo	0.25	0.24	0.03	0.02	
	Sinan	0.21	0.25	0.02	0.06	



<Vulnerability index in Gwangju>



<Vulnerability index in Jeonnam>

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

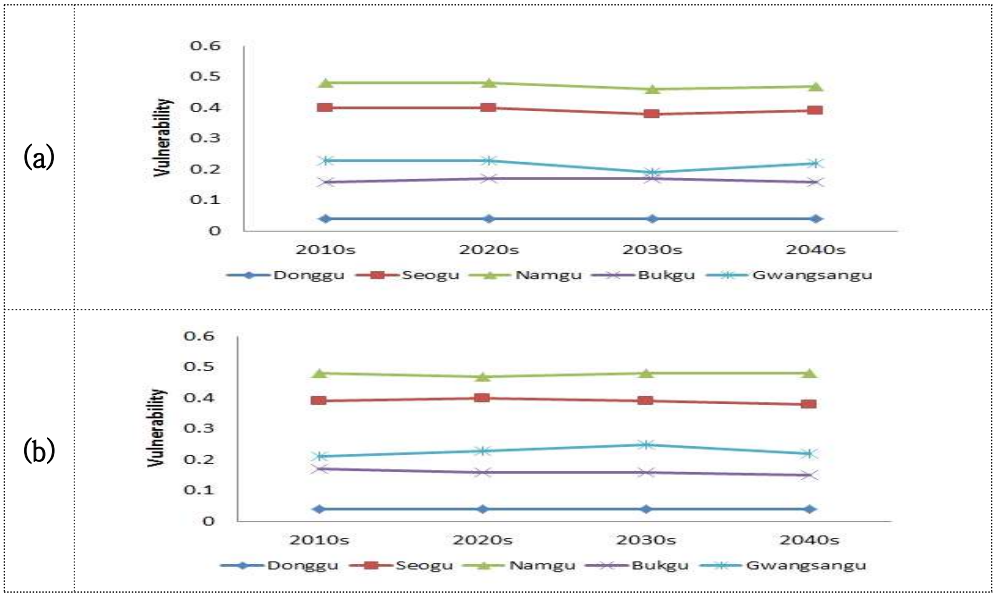


Fig. 3.39. Health vulnerability assessment results to heat wave across on RCP 4.5(a), and 8.5(b) in Gwangju from 2011 to 2050.

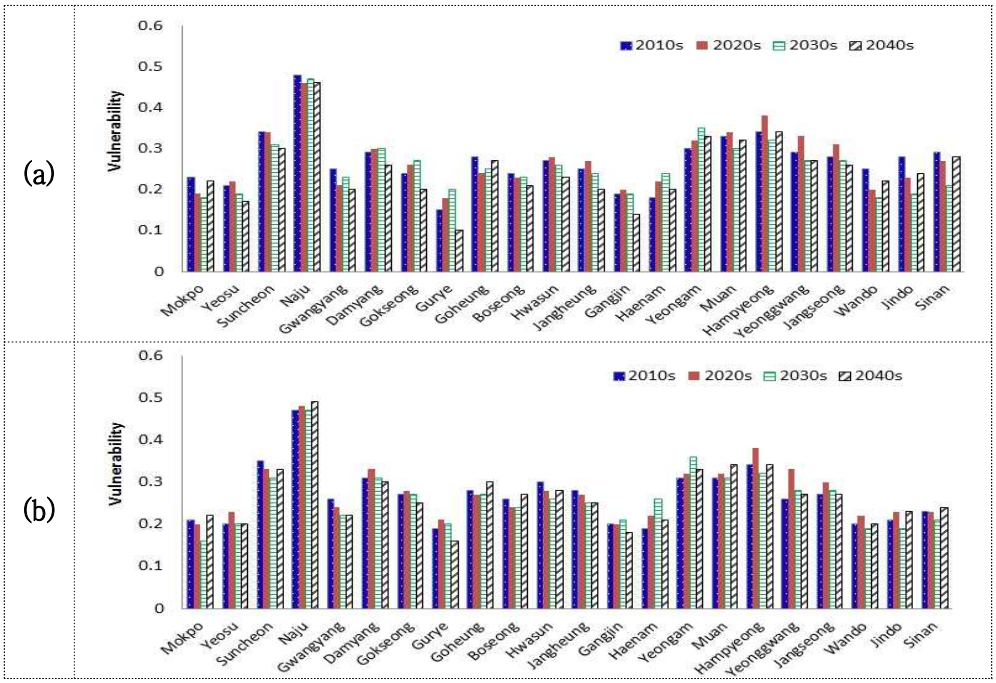


Fig. 3.40. Same as Fig. 3.39 except for the Jeonnam.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.30. Same as Table 3.29 except for from 2011 to 2030.

Region		2010s(2011~2020)				2020s(2021~2030)			
		Vulnerability index (RCP 4.5/8.5)	Climate exposure index (RCP 4.5/8.5)	Sensitivity index	Adaptive capacity index	Vulnerability index (RCP 4.5/8.5)	Climate exposure index (RCP 4.5/8.5)	Sensitivity index	Adaptive capacity index
Gwangju	Donggu	0.04/0.04	0.06/0.06	0.00	0.02	0.04/0.04	0.06/0.06	0.00	0.02
	Seogu	0.40/0.39	0.47/0.46	0.04	0.11	0.40/0.40	0.47/0.47	0.04	0.11
	Namgu	**0.48/0.48**	0.38/0.38	0.11	0.01	**0.48/0.47**	0.38/0.37	0.11	0.01
	Bukgu	0.16/0.17	0.12/0.13	0.17	0.13	0.17/0.16	0.13/0.12	0.17	0.13
	Gwangsangu	0.23/0.21	0.34/0.32	0.11	0.22	0.23/0.23	0.34/0.34	0.11	0.22
Jeonnam	Mokpo	0.23/0.21	0.21/0.19	0.11	0.09	0.19/**0.20**	0.17/0.18	0.11	0.09
	Yeosu	0.21/0.20	0.23/0.22	0.16	0.18	0.22/0.23	0.24/0.25	0.16	0.18
	Suncheon	0.34/0.35	0.29/0.30	0.19	0.14	0.34/0.33	0.29/0.28	0.19	0.14
	Naju	**0.48/0.47**	0.42/0.41	0.15	0.09	**0.46/0.48**	0.40/0.42	0.15	0.09
	Gwangyang	0.25/0.26	0.32/0.33	0.08	0.15	0.21/0.24	0.28/0.31	0.08	0.15
	Damyang	0.29/0.31	0.29/0.31	0.06	0.06	0.30/0.33	0.30/0.33	0.06	0.06
	Gokseong	0.24/0.27	0.24/0.27	0.05	0.05	0.26/0.28	0.26/0.28	0.05	0.05
	Gurye	**0.15/0.19**	0.15/0.19	0.04	0.04	**0.18**/0.21	0.18/0.21	0.04	0.04
	Goheung	0.28/0.28	0.28/0.28	0.08	0.08	0.24/0.27	0.24/0.27	0.08	0.08
	Boseong	0.24/0.26	0.27/0.29	0.04	0.07	0.23/0.24	0.26/0.27	0.04	0.07
	Hwasun	0.27/0.30	0.31/0.34	0.07	0.11	0.28/0.28	0.32/0.32	0.07	0.11
	Jangheung	0.25/0.28	0.20/0.23	0.10	0.05	0.27/0.27	0.22/0.22	0.10	0.05
	Gangjin	0.19/0.20	0.20/0.21	0.04	0.05	0.20/**0.20**	0.21/0.21	0.04	0.05
	Haenam	0.18/**0.19**	0.17/0.18	0.08	0.07	0.22/0.22	0.21/0.21	0.08	0.07
	Yeongam	0.30/0.31	0.28/0.29	0.11	0.09	0.32/0.32	0.30/0.30	0.11	0.09
	Muan	0.33/0.31	0.33/0.31	0.04	0.04	0.34/0.32	0.34/0.32	0.04	0.04
	Hampyeong	0.34/0.34	0.36/0.36	0.01	0.03	0.38/0.38	0.40/0.40	0.01	0.03
	Yeonggwang	0.29/0.26	0.31/0.28	0.03	0.05	0.33/0.33	0.35/0.35	0.03	0.05
	Jangseong	0.28/0.27	0.31/0.30	0.02	0.05	0.31/0.30	0.34/0.33	0.02	0.05
	Wando	0.25/0.20	0.26/0.21	0.03	0.04	0.20/0.22	0.21/0.23	0.03	0.04
	Jindo	0.28/0.21	0.27/0.20	0.03	0.02	0.23/0.23	0.22/0.22	0.03	0.02
	Sinan	0.29/0.23	0.33/0.27	0.02	0.06	0.27/0.23	0.31/0.27	0.02	0.06

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.31. Same as Table 3.30 except for from 2031 to 2050.

Region		2030s(2031~2040)				2040s(2041~2050)			
		Vulnerability index (RCP 4.5/ 8.5)	Climate exposure index (RCP 4.5/ 8.5)	Sensitivity index	Adaptive capacity index	Vulnerability index (RCP 4.5/ 8.5)	Climate exposure index (RCP 4.5/ 8.5)	Sensitivity index	Adaptive capacity index
Gwangju	Donggu	0.04/0.04	0.06/0.06	0.00	0.02	0.04/0.04	0.06/0.06	0.00	0.02
	Seogu	0.38/0.39	0.45/0.46	0.04	0.11	0.39/0.38	0.46/0.45	0.04	0.11
	Namgu	**0.46/0.48**	0.36/0.38	0.11	0.01	**0.47/0.48**	0.37/0.38	0.11	0.01
	Bukgu	0.17/0.16	0.13/0.12	0.17	0.13	0.16/0.15	0.12/0.11	0.17	0.13
	Gwangsangu	0.19/0.25	0.30/0.36	0.11	0.22	0.22/0.22	0.33/0.33	0.11	0.22
Jeonnam	Mokpo	**0.18/0.16**	0.16/0.14	0.11	0.09	0.22/0.22	0.20/0.20	0.11	0.09
	Yeosu	0.19/0.20	0.21/0.22	0.16	0.18	0.17/0.20	0.19/0.22	0.16	0.18
	Suncheon	0.31/0.31	0.26/0.26	0.19	0.14	0.30/0.33	0.25/0.28	0.19	0.14
	Naju	**0.47/0.47**	0.41/0.41	0.15	0.09	**0.46/0.49**	0.40/0.43	0.15	0.09
	Gwangyang	0.23/0.22	0.30/0.29	0.08	0.15	0.20/0.22	0.27/0.29	0.08	0.15
	Damyang	0.30/0.31	0.30/0.31	0.06	0.06	0.26/0.30	0.26/0.30	0.06	0.06
	Gokseong	0.27/0.27	0.27/0.27	0.05	0.05	0.20/0.25	0.20/0.25	0.05	0.05
	Gurye	0.20/0.20	0.20/0.20	0.04	0.04	**0.10/0.16**	0.10/0.16	0.04	0.04
	Goheung	0.25/0.27	0.25/0.27	0.08	0.08	0.27/0.30	0.27/0.30	0.08	0.08
	Boseong	0.23/0.24	0.26/0.27	0.04	0.07	0.21/0.27	0.24/0.30	0.04	0.07
	Hwasun	0.26/0.26	0.30/0.30	0.07	0.11	0.23/0.28	0.27/0.32	0.07	0.11
	Jangheung	0.24/0.25	0.19/0.20	0.10	0.05	0.20/0.25	0.15/0.20	0.10	0.05
	Gangjin	0.19/0.21	0.20/0.22	0.04	0.05	0.14/0.18	0.15/0.19	0.04	0.05
	Haenam	0.24/0.26	0.23/0.25	0.08	0.07	0.20/0.21	0.19/0.20	0.08	0.07
	Yeongam	0.35/0.36	0.33/0.34	0.11	0.09	0.33/0.33	0.31/0.31	0.11	0.09
	Muan	0.30/0.31	0.30/0.31	0.04	0.04	0.32/0.34	0.32/0.34	0.04	0.04
	Hampyeong	0.32/0.32	0.34/0.34	0.01	0.03	0.34/0.34	0.36/0.36	0.01	0.03
	Yeonggwang	0.27/0.28	0.29/0.30	0.03	0.05	0.27/0.27	0.29/0.29	0.03	0.05
	Jangseong	0.27/0.28	0.30/0.31	0.02	0.05	0.26/0.27	0.29/0.30	0.02	0.05
	Wando	**0.18**/0.19	0.19/0.20	0.03	0.04	0.22/0.20	0.23/0.21	0.03	0.04
	Jindo	0.19/0.19	0.18/0.18	0.03	0.02	0.24/0.23	0.23/0.22	0.03	0.02
	Sinan	0.21/0.21	0.25/0.25	0.02	0.06	0.28/0.24	0.32/0.28	0.02	0.06

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 대표 취약지역에 대한 읍·면·동별 평가 사례

RCP 8.5를 바탕으로, 2040년대(2041~2050)에 가장 취약한 지역으로 전망된 광주광역시의 남구와 전남지방의 나주시에 대한 취약성 평가를 세부적으로 실시하여 Fig. 3.41과 Table 3.32에 나타내었다.

광주 남구는 총 16개동으로 구성되어 있다. 상대적으로 가장 취약한 지역은 취약성 종합지수가 0.29인 대촌동으로 적응능력은 타 동에 비해 상대적으로 높으나(0.17), 취약성 평가에서 기여도가 가장 큰 기후노출 부문에서 가장 높을 것(0.38)으로 예측되어, 가장 취약한 것으로 전망되었다. 광주광역시에서 시행 중인 "광주온도 1℃ 낮추기" 프로젝트에 적극 참여하는 등 지구온난화에 대한 전략적인 대응이 필요한 것으로 판단된다.

폭염에 가장 양호한 지역은 취약성 종합지수가 0.13인 월산동으로, 가장 취약한 대촌동과 비교하여 취약성 종합지수의 격차가 0.16 이었다.

전남지방의 나주시는 총 20개 읍·면·동으로 구성되어 있다. 상대적으로 가장 취약한 지역은 취약성 종합지수가 0.44인 성북동으로, 적응능력이 상대적으로 타 지역에 비해 가장 낮으며(0.0), 민감도 부문이 가장 높을 것(0.17)으로 분석되어 가장 취약한 것으로 전망되었다.

성북동의 경우 보건업, 사회복지 서비스업 확충, 보건소 인력과 응급 의료기관 확충, GRDP의 조달노력 등을 통해 적응능력을 높이고, 민감도 부문의 평가항목인 14세 이하와 65세 이상 인구에 대한 비율을 낮추며, 심혈관 질환과 열사·일사병 환자에 대한 전략적인 지원 등이 필요하다.

폭염에 가장 양호한 지역은 취약성 종합지수가 0.08인 다도면으로 적응능력이 타 읍·면·동에 비해 상대적으로 가장 높은(0.16) 요인으로 해석되며, 가장 취약한 성북동과 취약성 종합지수의 격차가 0.36으로 분석되어, 광주광역시 남구와 다르게 차이가 크게 전망되었다.

두 사례의 분석결과, 상대적으로 가장 취약한 지역과 양호한 지역의 취약성 종합지수의 격차는 빈곤 등 취약 수준, 사회적 환경, 경제적 풍요 수준 등의 요인에 따라 향후 달리 나타날 수 있다. 따라서 현재 수준에서 전망된 광주의 5개 자치구와 전남지방(22개 시·군)의 읍·면·동에 대한 연대별 취약성 평가결과를 RCP 8.5를 바탕으로

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

부록(Appendix)에 추가하여 해당 지자체의 대응전략 수립에 참고할 수 있게 하였다.

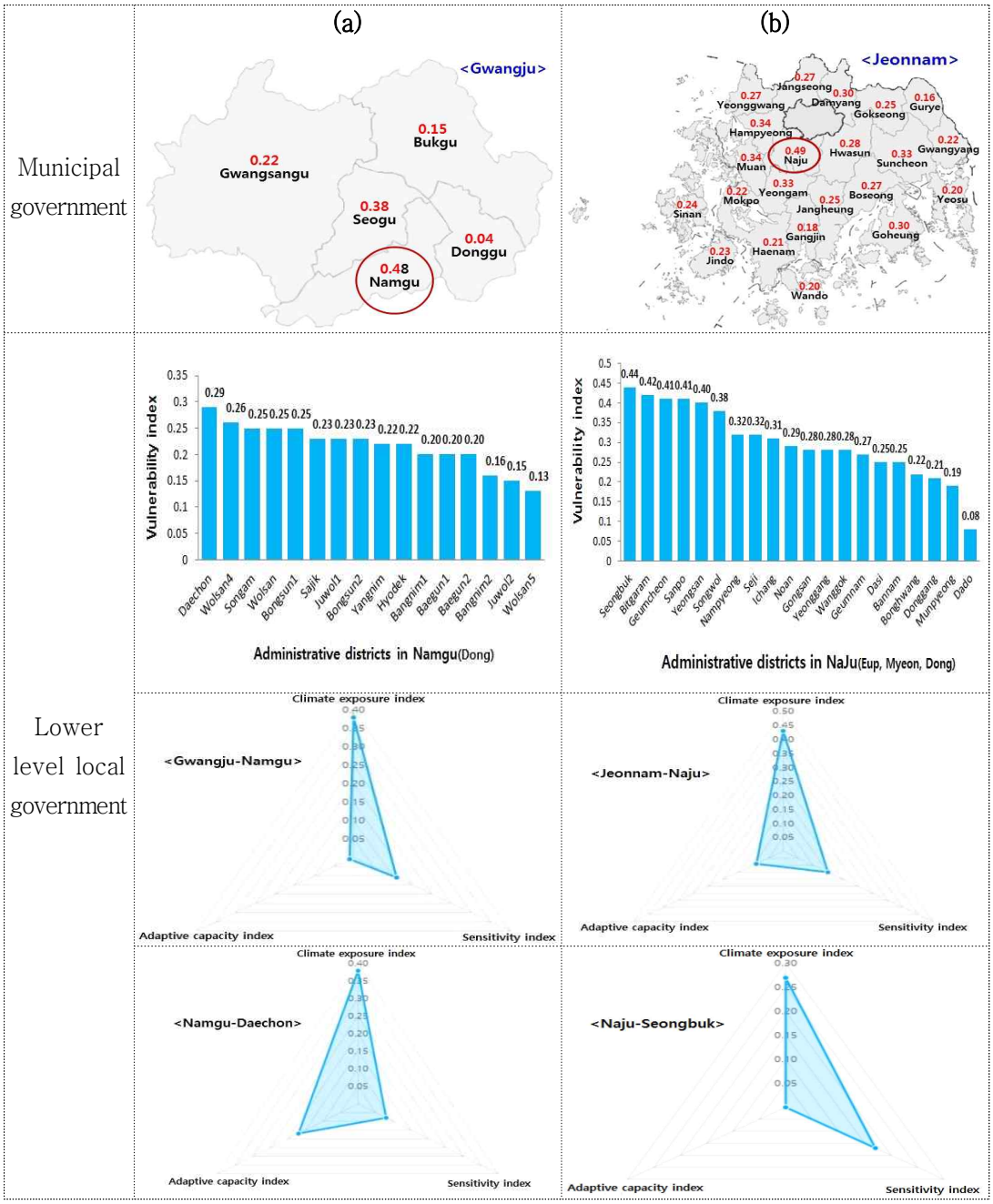


Fig. 3.41. Same as Fig. 3.40 except for on RCP 8.5 in Gwangju Namgu(a), and Jeonnam Naju(b) from 2041 to 2050.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.32. Same as Table 3.31 except for the RCP 8.5 in Gwangju Namgu and Jeonnam Naju from 2041 to 2050.

Region	Administrative districts	Vulnerability index	Climate exposure index	Sensitivity index	Adaptive capacity index
Gwangju Namgu	Daechondong	**0.29**	0.38	0.08	0.17
	Wolsan4dong	0.26	0.24	0.02	0.00
	Songamdong	0.25	0.24	0.05	0.04
	Wolsandong	0.25	0.22	0.03	0.00
	Bongsun1dong	0.25	0.22	0.03	0.00
	Sajikdong	0.23	0.21	0.02	0.00
	Juwol1dong	0.23	0.19	0.04	0.00
	Bongsun2dong	0.23	0.17	0.06	0.00
	Yangnimdong	0.22	0.20	0.02	0.00
	Hyodekdong	0.22	0.13	0.11	0.02
	Bangnim1dong	0.20	0.19	0.01	0.00
	Baegun1dong	0.20	0.18	0.02	0.00
	Baegun2dong	0.20	0.19	0.01	0.00
	Bangnim2dong	0.16	0.14	0.02	0.00
	Juwol2dong	0.15	0.14	0.01	0.00
	Wolsan5dong	**0.13**	0.12	0.01	0.00
Jeonnam Naju	Seongbukdong	**0.44**	0.27	0.17	0.00
	Bitgaramdong	0.42	0.39	0.03	0.00
	Geumcheonmyeon	0.41	0.41	0.06	0.06
	Sanpomyeon	0.41	0.36	0.09	0.04
	Yeongsandong	0.40	0.35	0.07	0.02
	Songwoldong	0.38	0.30	0.08	0.00
	Nampyeongeup	0.32	0.31	0.10	0.09
	Sejimyeon	0.32	0.28	0.10	0.06
	Ichangdong	0.31	0.29	0.06	0.04
	Noanmyeon	0.29	0.29	0.08	0.08
	Gongsanmyeon	0.28	0.28	0.08	0.08
	Yeonggangdong	0.28	0.24	0.05	0.01
	Wanggokmyeon	0.28	0.27	0.08	0.07
	Geumnamdong	0.27	0.19	0.09	0.01
	Dasimyeon	0.25	0.26	0.10	0.11
	Bannammyeon	0.25	0.27	0.04	0.06
	Bonghwangmyeon	0.22	0.23	0.10	0.11
	Donggangmyeon	0.21	0.24	0.08	0.11
	Munpyeongmyeon	0.19	0.23	0.08	0.12
	Dadomyeon	**0.08**	0.16	0.08	0.16

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 결론

최근 기후변화로 인하여 여름철의 기상재해로서 가장 우려되는 폭염에 대응하기 위해서는 폭염 발생 후 대응뿐만 아니라 사전에 그 피해를 예방할 수 있도록 다양한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 최근 6년(2011~2016) 동안 광주·전남지방의 25개 지역에서 발생한 폭염의 빈도, 시종일, 지속기간, 강도 및 장마와 연계한 시공간적인 통계적 특성 분석과, 폭염의 발생 및 강도에 영향을 미치는 종관기상학적인 특성을 분석하였다. 또한, 폭염이 소리 없는 살인자로 비유되면서 지역민의 생명과 건강에 막대한 영향을 미치고 있어, 기초자치단체의 폭염대책 수립과 재난관리에 활용할 수 있도록 폭염의 영향에 대한 취약성 평가를 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 광주·전남지방에서 발생한 폭염의 통계적 특성으로, ① 최근 10년(2007~2016) 동안 기후값을 보유한 7개 지역의 연평균폭염일수는 평년보다 1.7일 많은 7.8일이며, 광주가 16.9일로 가장 많았고, 7~8월이 93.6%을 차지하고, 8월의 증가폭이 상대적으로 컸다.

② 25개 지역으로 확대한 최근 6년 동안의 폭염발생 빈도는 최근 10년보다 많은 연평균 12.1일이며, 구례 26.5일, 화순 26.1일로 많은 가운데 흑산도 0.8일, 여수 2.1일로 가장 적었다. 이는 열용량이 큰 해양과 수증기와 열 순환이 일주기로 이루어지는 도서·해안지방과 내륙분지·산간지방의 지형적인 특성이 잘 나타난 결과이다.

③ 월별로는 5월부터 폭염이 발생하여 6월에 감소하다가 7월부터 증가하면서 8월에 급증하여 최대치를 보인 후 9월까지 이어지고 있으며, 9월이 5월 및 6월보다 상대적으로 많았고, 5월이 6월보다 조금 많았다. 연도별로는 2012년을 제외하고 때 이른 폭염과 마른장마, 늦더위 등이 혼재하는 비정상적인 폭염패턴으로 발생 시기의 불확실성이 나타나고 있으며, 비정상적인 폭염패턴 중 최근에는 때 이른 폭염이 빈발해지면서 상대적으로 해양의 영향을 덜 받는 구례와 화순에서 4회나 발생하였다.

④ 가장 이른 폭염은 구례와 순천에서 발생한 2013년 5월 24일이며, 25개 지역의 평균일은 7월 17일 이었다. 가장 늦은 폭염은 화순에서 발생한 2013년 9월 22일이었고, 평균적으로 8월 18일에 마지막 폭염이 발생하면서 폭염의 시종 양상이 국지적으로 다양하였다.

⑤ 폭염의 최장 지속일수는 나주와 화순에서 2016년에 발생한 23일(8.3~8.25)이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

며, 폭염주의보 기준인 2일 이상은 53.4% 이었고, 1주일 이상이 11.3%를 차지하였다. 여수와 무안은 1주일 미만, 흑산도와 거문도는 3일 까지만 지속되었고, 폭염 다발지역으로 1주일 이상의 사례가 많았던 구례, 화순 등 내륙분지와 산간지방은 해안, 도서지방과 달리 해양의 영향이 차단되고 산맥의 사면에서 건조한 공기가 유입되는 푄현상과 가마솥과 같은 분지 특유의 지형효과에 의해 열이 축적된 것으로 분석되어, 다양한 분야에서 폭염의 영향에 대한 대비책이 필요하다. 또한 1주일 이상의 장기간 지속된 폭염의 빈도가 최근 들어 많아지고 있었다.

⑥ 폭염의 강도는 2013년과 2016년에 평균 34.5℃로 가장 강했고, 지역별로는 나주와 화순에서 평균 34.8℃로 가장 강했으며, 해양의 영향을 받는 흑산도에서는 1.2℃ 낮은 33.6℃로 가장 낮게 나타났다. 폭염이 2주일 이상 장기간 지속되면 지표면 가열에 의해 토양수분의 감소를 가져오고 대기가 더욱 건조해져 기온상승이 가속화되는 피feedback으로 평균 35.0℃ 이상의 강한 강도의 폭염이 자주 발생하였다.

⑦ 지난 16년(2001~2016)동안 장마의 시작은 최근에 접어들어 평년보다 빨라지고, 장마기간은 평년보다 1~2일 많아지는 반면, 강수량과 강수일수는 감소(81%, 0.3일)하면서 폭염일수는 6.1일(평년)→8.1일(16년)→12.1일(6년)로 증가 경향이 뚜렷하였다. 폭염의 발생에 장마기간 보다는 강수량과 강수일수가 상대적으로 크게 기여하여 진행되고 있는 기후변화 시대에 여름철 강수예측 정확도 향상이 폭염의 대응대책 관리에 무엇보다도 중요하며 필요하다고 판단된다.

2. 폭염발생 시 종관기상학적인 특성으로, ① 장마종료 후 폭염이 강했던 2012년의 경우는, Tibet 고기압이 평년에 비해 북쪽으로 발달하면서 온난한 공기가 우리나라 대기 상층을 지배하였고, 북태평양고기압이 남해안에 위치하면서 대기 하층에서 상대적으로 높은 온난한 대기와 345K 이상의 열대기단이 이류 되어 내륙분지인 구례와 산간지방인 화순에서 폭염이 자주 발생하였다.

② 가장 이른 폭염과 가장 늦은 폭염이 동시에 발생했던 2013년의 경우는 2012년 사례와 비슷한 대기 중상층의 기압배치에서 가장 이른 폭염의 경우, 이동성고기압의 영향으로 대기가 안정되면서 지표에서 흡수된 태양에너지가 현열의 형태로 공기 중에 전달되어 발생하였고, 가장 늦은 폭염은 온도능에 위치하면서 취주거리가 긴 고온·건조한 북동기류가 지속적으로 유입되어 338K 이상의 열대기단이 위치한 구례와 화순에서 가장 늦게 폭염이 발생하였다. 또한 폭염 발생 시 습도가 45% 이하로 낮아 열지수가 37 미만의 '보통' 수준에 머물러 태양빛에 의해 실제로 느끼는 더위를 잘 반영하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

지 못했다.

③ 가장 긴 폭염 지속 일을 기록한 2016년의 경우, 대기 중상층고압대가 동서로 발달하면서 한반도 주변 기압계의 흐름이 정체되었고, 중국으로부터 유입된 평년보다 3~5℃ 높은 고온·건조한 공기의 흐름을 우리나라에 가두는 blocking 역할을 하였다. 대기가 안정되면서 대류가 억제되어 구름 발달의 감소와 일사까지 더해져 전남 중부내륙에 위치한 나주와 화순에서 가장 긴 23일의 폭염기간을 기록하였다.

3. 기상청의 기후변화 전망보고서에 따른 21세기 미래 폭염전망으로, 광주·전남지방의 폭염일수는 현재 기후값 보다 21세기 중반기~후반기에 1.5~약 5배 내외로 급속한 증가가 전망되며, 21세기 후반기에 다발지역은 광주의 서구, 광산구, 남구와 인근 나주로 연평균 최대 80여일 내외이며, 최소 지역은 남해안의 완도와 진도, 산악지대인 구례로 연평균 50여일 이상이 전망되었다. 또한 21세기 후반기에 일최저기온은 13.5℃로 현재의 일평균기온보다 전남지방은 0.3℃ 높고, 광주는 −0.1℃ 낮을 것으로 전망되었다.

4. 폭염의 위험에 상대적으로 취약한 65세 이상 고령인구가 많은 광주·전남지방은(광주: 11.8%, 전남: 21.3%) 필연적으로 여성이 농림·어업에 종사하여 최근 4년(2013~2016) 동안 760명의 온열질환자가 발생하였으며, 이중 10명(여성 6명)이 사망하였다. 한국환경정책·평가연구원의 VESTAP를 활용한 폭염에 의한 건강취약성 평가는 종합지수가 1에 가까울수록 취약하다. 광주 5개 구와 전남 22개 시·군에 대한 평가결과 2040년대까지 광주 남구는 0.46~0.48, 전남 나주는 0.46~0.49으로 종합지수가 가장 높았고, 이 중 남구의 대촌동(0.29)과 나주의 성북동(0.44)이 상대적으로 더 취약할 것으로 전망되었다. 위 지역에서는 사회·경제적 기반시설 확충과 기후노출부문인 기온상승에 대한 전략적인 대응노력이 필요한 것으로 분석되었다.

지역의 사회적 필요성과 환경을 반영한 본 연구 자료는 미력하나마 폭염의 연구기반 조성과 재난관리의 기초자료로 도움이 될 것으로 기대하지만, 폭염예보에 활용하기 위해서는 아직 미흡하다. 향후 관측 자료가 축적되어 분석기간과 연구지역을 확대하여 주요 기단에 대한 정량적·객관적인 판단 guidance를 개발한다면 이러한 한계점을 극복할 수 있을 것이다. 또한 기초자치단체별 온열질환자 및 사망자 자료가 향후 충분히 축적되어 폭염의 잠재적 영향을 확인하고, 취약성 평가에 활용되는 사회통계와 기후자료 등이 지속적으로 갱신되어 평가를 수행한다면 폭염대응 정책수립에 실용성 있는 자료가 될 것으로 기대한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

곽재원, 김연수, 김형수, 2015 : 2015년 대한민국에서의 폭염. 방재저널 9월호, pp.35-42.

관계부처 합동, 2011 : 2011년 이상기후보고서. pp.22-29.

_____2012 : 2012년 이상기후보고서. pp.17-20.

_____2013 : 2013년 이상기후보고서. pp.31-38.

_____2014 : 2014년 이상기후보고서. pp.39-42.

_____2015 : 2015년 이상기후보고서. pp.17-22.

_____2016 : 2016년 이상기후보고서. pp.26-32.

광주지방기상청, 2011 : 호남지방 예보분석 지침서. pp.2-161.

국립재난안전연구원, 2014 : Future Safety Issue(한달간의 폭염지옥), pp.7-17.

기상청, 2012 : 한반도 기후변화 전망보고서. pp.70-74.

_____, 2012 : 광주·전라남도 기후변화 전망보고서. pp.54-64.

_____, 2014 : 한국의 기후. pp.3-249.

_____, 2016 : 2016년 특이기상 사후분석집. pp.66-78.

김도우, 정재학, 김진영, 2014 : 폭염정보 수집연계를 통한 폭염위험지도 작성 및 활용 방안. pp.3-62.

김도우, 정재학, 이종설, 이지선, 2014 : 우리나라 폭염 인명피해 발생특징. 대기, 24(2), pp.225-234.

김지영, 이대근, 최병철, 박일수, 김정식, 2006 : 한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향. 대기, 16(4), pp.269-278.

김지영, 이대근, 최병철, 박일수, 2007 : 클러스터 분석을 통한 종관기단분류 및 서울에서의 일 사망률과의 관련성 연구. 대기, 17(1), pp.45-53.

김지영, 이대근, Jan Kysely, 2009 : 한국 주요도시의 폭염에 대한 기후 순응도 특성. 대기, 19(4), pp.309-318.

대한의사협회 국민건강보호위원회, 2014 : 폭염으로 인한 건강위험의 진단 및 대응 가이드라인. pp.1-20.

오관영, 이명진, 한도은, 2016 : 기초 및 광역지자체 기후변화 취약성 평가를 위한 웹 기반 지원도구(VESTAP) 개발. 한국지리정보학회지, 19(1), pp.1-11.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

왕순주, 2014 : 폭염 재해의 현황 및 대처. 한국방재학회지, 4(3), pp.104-113.

이나영, 조용성, 임재영, 2014 : 폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석. 보건사회연구, 34(1), pp.456-484.

이대근, 2006 : 한반도 일 사망률에 영향을 미치는 기상요소의 특성과 상관성에 관한 연구. 인제대학교 대학원 석사학위 논문, 55pp.

이우섭, 2013 : 한반도 폭염의 변동성 및 관련 메카니즘 분석. APEC Research Report 2013-06, pp.98-126.

정다은, 임숙향, 김도우, 이우섭, 2016 : 기후요소가 온열질환자수에 미치는 영향. Journal of Climate Change Research, 7(2), pp.205-215.

정지훈, 김인겸, 이대근, 신진호, 김백조, 2014 : 우리나라 지역별 고온 극한 현상에 의한 사망 취약도 비교. 대한지리학회지, 49(2), pp.245-263.

질병관리본부, 2012 : 2012년 폭염 건강피해 백서. pp.14-37.

_____, 2013 : 2013년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. pp.3-25.

_____, 2014 : 2014년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. pp.3-28.

_____, 2015 : 2015년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. pp.3-32.

_____, 2016 : 2016년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. pp.3-45.

최지혜, 하종식, 2014 : 기후변화에 따른 폭염 중장기적 적응대책 수립 및 관리 방안. 환경정책연구 14(4), pp.21-25.

Braga, A.L.F., Zanobetti, A., and Schwartz, J., 2001 : The time course of weather-related deaths. Epidemiology, 12(6), pp.662-667.

Christensen, J.H., and O.B. Christensen, 2003 : Severe summertime flooding in Europe. Nature, 421, pp.805-806.

Ferranti, L., and Viterbo, 2006 : The European summer of 2003. Sensitivity to soil water initial conditions. J. Climate, 19, pp.3659-3680.

Haines, A., and J. A. Patz., 2004 : Health effects of climate change. J. of Amer. Med. Assoc., 291, pp.99-102.

IPCC, 2007 : Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press. pp.1-30.

IPCC, 2012 : Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Field, C. B., and Coauthors, Eds. Cambridge University Press, 582pp.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Kang, J.Y., and M.J. Lee., 2012 : Assessment of flood vulnerability to climate change using fuzzy model and GIS in Seoul. Korean Journal of Environment and Ecology 15(3), pp.119-136.

Kwan-Young Oh, Moung-Jin Lee, and Seong-Woo Jeon, 2017 : Development of the Korean Climate Change Vulnerability Assessment Tool(VESTAP) —entered on Health Vulnerability to HeatWaves. Sustainability 9, 2017. 1103, pp.1-15.

Kysely, J., and Kim, J., 2009 : Mortality during heat waves in South Korea, 1991 to 2005. How exceptional was the 1994 heat wave?, Climate Research, 38, pp.105-116.

Meehl, G. A., and C. Tebaldi, 2004 : More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. Science, 305, pp.994- 997.

Moss, R.H., A.L. Brenkert, and E.L. Malone, 2001 : Vulnerability to climate change. a quantitative approach. Pacific Northwest National Laboratory operated by Batelle for the United States Department of Energy. pp.19-30.

Robinson, P.J., 2000 : On the definition of a heat wave. J. Appl. Meteor., 40, pp.762-775.

UNDP, 2005 : Adaptation Policy Framework for Climate Change Developing Strategies, Police and Measure. Cambridge University Press. pp.71-85.

WHO, 2004 : Health and Global Environmental Change Series, No. 1. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. pp.54-58.

Yoo, G.Y., S.W. Park, D.K. Chung, H.J. Kang, and J.H. Hwang, 2010 : Development and application of a methodology for climate change vulnerability assessment-sea level rise impact on a coastal city. Environmental Policy Research, 9(2), pp.185-205.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고사이트

광주일보: http://www.kwangju.co.kr
구글어스: http://www.google.com/earth
국가기후변화적응센터: http://ccas.kei.re.kr, http://vestap.kei.re.kr
국립재난안전연구원: http://www.ndmi.go.kr
국민재난안전포털: http://www.safekorea.go.kr
네이버: http://www.naver.com
다움: http://www.daum.net
두산백과사전: http://www.doopedia.co.kr
서울신문: http://www.seoul.co.kr
질병관리본부: http://cdc.go.kr
통계청: 국가통계포털(http://kosis.kr), 통계지리정보서비스(http://sgis.kostat.go.kr)
한국민족문화대백과사전: http://encykorea.aks.ac.kr

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Appendix

Appendix 1. 광주 · 전남지방의 읍 · 면 · 동별 폭염 건강취약성 평가.

Appendix 1-1. Assessment result of climate change vulnerability in Gwangju Region.

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Namgu	Daechondong	0.36	0.30	0.30	0.30	0.29	0.45	0.39	0.39	0.39	0.38	0.08	0.17
	Wolsan4dong	0.32	0.31	0.28	0.28	0.26	0.30	0.29	0.26	0.26	0.24	0.02	0.00
	Songamdong	0.43	0.28	0.27	0.25	0.25	0.42	0.27	0.26	0.24	0.24	0.05	0.04
	Wolsandong	0.22	0.27	0.27	0.25	0.25	0.19	0.24	0.24	0.22	0.22	0.03	0.00
	Bongsun1dong	0.19	0.28	0.27	0.25	0.25	0.16	0.25	0.24	0.22	0.22	0.03	0.00
	Sajikdong	0.20	0.25	0.23	0.22	0.23	0.18	0.23	0.21	0.20	0.21	0.02	0.00
	Juwol1dong	0.34	0.28	0.26	0.25	0.23	0.30	0.24	0.22	0.21	0.19	0.04	0.00
	Bongsun2dong	021	0.23	0.22	0.24	0.23	0.15	0.17	0.16	0.18	0.17	0.06	0.00
	Yangnimdong	0.14	0.21	0.22	0.21	0.22	0.12	0.19	0.20	0.19	0.20	0.02	0.00
	Hyodekdong	0.37	0.23	0.23	0.24	0.22	0.28	0.14	0.14	0.15	0.13	0.11	0.02
	Bangnim1dong	0.11	0.21	0.21	0.18	0.20	0.10	0.20	0.20	0.17	0.19	0.01	0.00
	Baegun1dong	0.20	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.23	0.21	0.19	0.18	0.02	0.00
	Baegun2dong	0.19	0.24	0.24	0.19	0.20	0.18	0.23	0.23	0.18	0.19	0.01	0.00
	Bangnim2dong	0.08	0.16	0.15	0.16	0.16	0.06	0.14	0.13	0.14	0.14	0.02	0.00
	Juwol2dong	0.27	0.17	0.14	0.14	0.15	0.26	0.16	0.13	0.13	0.14	0.01	0.00
	Wolsan5dong	0.28	0.15	0.12	0.14	0.13	0.27	0.14	0.11	0.13	0.12	0.01	0.00
Donggu	Chungjangdong	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.06	0.03
	Gyerim1dong	0.38	0.44	0.44	0.45	0.44	0.33	0.39	0.39	0.40	0.39	0.05	0.00
	Sansu1dong	0.38	0.41	0.41	0.41	0.41	0.32	0.35	0.35	0.35	0.35	0.06	0.00
	Gyerim2dong	0.37	0.43	0.45	0.44	0.43	0.29	0.35	0.37	0.36	0.35	0.08	0.00
	Sansu2dong	0.33	0.37	0.37	0.39	0.39	0.24	0.28	0.28	0.30	0.30	0.09	0.00
	Dongmyeongdong	0.31	0.36	0.39	0.38	0.37	0.29	0.34	0.37	0.36	0.35	0.02	0.00
	Jisan1dong	0.31	0.33	0.34	0.35	0.35	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.01	0.00
	Seonamdong	030	0.37	0.38	0.38	0.38	0.27	0.34	0.35	0.35	0.35	0.07	0.04
	Hakdong	0.29	0.41	0.41	0.42	0.42	0.23	0.35	0.35	0.36	0.36	0.06	0.00
	Jiwon1dong	0.20	0.35	0.37	0.37	0.36	0.14	0.29	0.31	0.31	0.30	0.06	0.00
	Jisan2dong	0.19	0.26	0.27	0.27	0.27	0.17	0.24	0.25	0.25	0.25	0.03	0.01
	Hagundong	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.12	0.05
	Jiwon2dong	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	0.07	0.15
Seogu	Sangmu2dong	0.49	0.40	0.42	0.41	0.39	0.42	0.33	0.35	0.34	0.32	0.08	0.01
	Geumho1dong	0.47	0.41	0.44	0.40	0.39	0.42	0.36	0.39	0.35	0.34	0.06	0.01

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Seogu	Chipyeongdong	0.40	0.42	0.43	0.42	0.41	0.37	0.39	0.40	0.39	0.38	0.08	0.05
	Sangmu1dong	0.38	0.39	0.41	0.39	0.37	0.33	0.34	0.36	0.34	0.32	0.06	0.01
	Geumho2dong	0.37	0.29	0.28	0.28	0.25	0.43	0.35	0.34	0.34	0.31	0.01	0.07
	Seochangdong	0.36	0.34	0.35	0.34	0.33	0.41	0.39	0.40	0.39	0.38	0.12	0.17
	Pungamdong	0.35	0.21	0.23	0.24	0.22	0.27	0.13	0.15	0.16	0.14	0.11	0.03
	Hwajeong4dong	0.35	0.28	0.27	0.28	0.28	0.31	0.24	0.23	0.24	0.24	0.04	0.00
	Dongcheondong	0.29	0.35	0.36	0.36	0.34	0.26	0.32	0.33	0.33	0.31	0.03	0.00
	Hwajeong3dong	0.29	0.24	0.22	0.22	0.20	0.26	0.21	0.19	0.19	0.17	0.03	0.00
	Yudeokdong	0.28	0.35	0.38	0.37	0.32	0.29	0.36	0.39	0.38	0.33	0.07	0.08
	Hwajeong1dong	0.23	0.29	0.26	0.25	0.25	0.19	0.25	0.22	0.21	0.21	0.04	0.00
	Hwajeong2dong	0.19	0.17	0.17	0.16	0.16	0.17	0.15	0.15	0.14	0.14	0.03	0.01
	Nongseong1dong	0.18	0.21	0.23	0.23	0.22	0.15	0.18	0.20	0.20	0.19	0.04	0.01
	Nongseong2dong	0.16	0.15	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.16	0.15	0.14	0.01	0.00
	Gwangcheondong	0.15	0.30	0.26	0.25	0.28	0.13	0.28	0.24	0.23	0.26	0.03	0.01
	Yang3dong	0.11	0.16	0.18	0.17	0.17	0.11	0.16	0.18	0.17	0.17	0.00	0.00
	Yangdong	0.04	0.13	0.14	0.12	0.12	0.03	0.12	0.13	0.11	0.11	0.02	0.01
Gwangsangu	Eoryongdong	0.38	0.19	0.20	0.19	0.21	0.37	0.18	0.19	0.18	0.20	0.06	0.05
	Sinheungdong	0.37	0.36	0.35	0.32	0.36	0.37	0.36	0.35	0.32	0.36	0.02	0.02
	Usandong	0.36	0.37	0.36	0.34	0.37	0.30	0.31	0.30	0.28	0.31	0.07	0.01
	Dosandong	0.35	0.38	0.36	0.35	0.35	0.32	0.35	0.33	0.32	0.32	0.04	0.01
	Unnamdong	0.34	0.40	0.42	0.38	0.42	0.28	0.34	0.36	0.32	0.36	0.06	0.00
	Songjeong1dong	0.32	0.33	0.32	0.30	0.34	0.29	0.30	0.29	0.27	0.31	0.03	0.00
	Wolgok2dong	0.32	0.31	0.31	0.31	0.33	0.29	0.28	0.28	0.28	0.30	0.03	0.00
	Songjeong2dong	0.30	0.31	0.30	0.29	0.33	0.28	0.29	0.28	0.27	0.31	0.02	0.00
	Suwandong	0.28	0.44	0.46	0.42	0.46	0.18	0.34	0.36	0.32	0.36	0.11	0.01
	Singadong	0.28	0.36	0.37	0.35	0.36	0.24	0.32	0.33	0.31	0.32	0.04	0.00
	Donggokdong	0.27	0.32	0.27	0.28	0.29	0.31	0.36	0.31	0.32	0.33	0.03	0.07
	Wolgok1dong	0.27	0.30	0.30	0.28	0.30	0.25	0.28	0.28	0.26	0.28	0.02	0.00
	Pyeongdong	0.26	0.24	0.24	0.23	0.23	0.31	0.29	0.29	0.28	0.28	0.08	0.13
	Hanamdong	0.23	0.22	0.23	0.21	0.22	0.24	0.23	0.24	0.22	0.23	0.04	0.05
	Bollyangdong	0.20	0.02	0.04	0.03	0.06	0.29	0.11	0.13	0.12	0.15	0.04	0.13
	Samdodong	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.15
	Cheomdan2dong	0.17	0.39	0.39	0.37	0.39	0.11	0.33	0.33	0.31	0.33	0.07	0.01
	Sinchangdong	0.15	0.33	0.35	0.31	0.34	0.11	0.29	0.31	0.27	0.30	0.05	0.01
	Cheomdan1dong	0.13	0.34	0.34	0.31	0.33	0.09	0.30	0.30	0.27	0.29	0.04	0.00
	Imgokdong	0.12	0.03	0.03	0.03	0.05	0.20	0.11	0.11	0.11	0.13	0.04	0.12
	Biadong	0.10	0.29	0.30	0.27	0.29	0.10	0.29	0.30	0.27	0.29	0.02	0.02

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Bukgu	Dongnimdong	0.51	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.46	0.46	0.45	0.45	0.04	0.01
	Unam1dong	0.42	0.43	0.44	0.43	0.44	0.38	0.39	0.40	0.39	0.40	0.04	0.00
	Unam3dong	0.38	0.38	0.39	0.37	0.39	0.35	0.35	0.36	0.34	0.36	0.03	0.00
	Imdong	0.37	0.40	0.40	0.39	0.40	0.35	0.38	0.38	0.37	0.38	0.03	0.01
	Unam2dong	0.37	0.41	0.40	0.41	0.41	0.33	0.37	0.36	0.37	0.37	0.04	0.00
	Sinandong	0.31	0.39	0.39	0.38	0.39	0.28	0.36	0.36	0.35	0.36	0.03	0.00
	Geongukdong	0.28	0.35	0.34	0.34	0.35	0.22	0.29	0.28	0.28	0.29	0.12	0.06
	Yongbongdong	0.26	0.42	0.41	0.41	0.42	0.17	0.33	0.32	0.32	0.33	0.09	0.00
	Jungangdong	0.25	0.35	0.34	0.33	0.35	0.24	0.34	0.33	0.32	0.34	0.02	0.01
	Yangsandong	0.24	0.30	0.29	0.29	0.30	0.23	0.29	0.28	0.28	0.29	0.02	0.01
	Maegokdong	0.23	0.31	0.31	0.31	0.32	0.20	0.28	0.28	0.28	0.29	0.03	0.00
	Jungheung1dong	0.21	0.34	0.34	0.33	0.35	0.20	0.33	0.33	0.32	0.34	0.02	0.01
	Jungheung2dong	0.20	0.35	0.34	0.34	0.36	0.18	0.33	0.32	0.32	0.34	0.02	0.00
	Ilgokdong	0.18	0.26	0.27	0.27	0.28	0.12	0.20	0.21	0.21	0.22	0.06	0.00
	Punghyangdong	0.16	0.31	0.30	0.29	0.31	0.15	0.30	0.29	0.28	0.30	0.01	0.00
	Jungheung3dong	0.16	0.33	0.33	0.31	0.33	0.15	0.32	0.32	0.30	0.32	0.01	0.00
	Duam1dong	0.15	0.31	0.31	0.29	0.31	0.13	0.29	0.29	0.27	0.29	0.02	0.00
	Ochi2dong	0.15	0.32	0.32	0.30	0.32	0.12	0.29	0.29	0.27	0.29	0.03	0.00
	Usandong	0.14	0.34	0.33	0.32	0.34	0.10	0.30	0.29	0.28	0.30	0.04	0.00
	Duam3dong	0.14	0.28	0.28	0.28	0.29	0.10	0.24	0.24	0.24	0.25	0.04	0.00
	Munhwadong	0.13	0.24	0.26	0.25	0.26	0.09	0.20	0.22	0.21	0.22	0.04	0.00
	Munheung2dong	0.13	0.32	0.31	0.31	0.33	0.10	0.29	0.28	0.28	0.30	0.03	0.00
	Ochi1dong	0.12	0.30	0.29	0.28	0.30	0.10	0.28	0.27	0.26	0.28	0.02	0.00
	Duam2dong	0.12	0.28	0.29	0.28	0.29	0.08	0.24	0.25	0.24	0.25	0.04	0.00
	Munheung1dong	0.09	0.24	0.26	0.24	0.25	0.06	0.21	0.23	0.21	0.22	0.03	0.00
	Samgakdong	0.08	0.23	0.24	0.23	0.24	0.07	0.22	0.23	0.22	0.23	0.02	0.01
	Seokgokdong	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.02	0.07	0.17

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Appendix 1-2. Assessment result of climate change vulnerability in Jeonnam Region.

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Naju	Seongbukdong	0.48	0.45	0.47	0.47	0.44	0.31	0.28	0.30	0.30	0.27	0.17	0.00
	Yeongsandong	0.41	0.33	0.36	0.41	0.40	0.36	0.28	0.31	0.36	0.35	0.07	0.02
	Sanpomyeon	0.36	0.39	0.40	0.40	0.41	0.31	0.34	0.35	0.35	0.36	0.09	0.04
	Bitgaramdong	0.34	0.38	0.41	0.40	0.42	0.31	0.35	0.38	0.37	0.39	0.03	0.00
	Geumcheonmyeon	0.34	0.37	0.39	0.39	0.41	0.34	0.37	0.39	0.39	0.41	0.06	0.06
	Ichangdong	0.37	0.27	0.31	0.36	0.31	0.35	0.25	0.29	0.34	0.29	0.06	0.04
	Songwoldong	0.43	0.36	0.38	0.34	0.38	0.35	0.28	0.30	0.26	0.30	0.08	0.00
	Nampyeongeup	0.26	0.26	0.29	0.32	0.32	0.25	0.25	0.28	0.31	0.31	0.10	0.09
	Noanmyeon	0.31	0.28	0.31	0.32	0.29	0.31	0.28	0.31	0.32	0.29	0.08	0.08
	Sejimyeon	0.33	0.29	0.31	0.31	0.32	0.29	0.25	0.27	0.27	0.28	0.10	0.06
	Yeonggangdong	0.38	0.29	0.29	0.31	0.28	0.34	0.25	0.25	0.27	0.24	0.05	0.01
	Wanggokmyeon	0.33	0.26	0.28	0.31	0.28	0.32	0.25	0.27	0.30	0.27	0.08	0.07
	Gongsanmyeon	0.28	0.24	0.27	0.29	0.28	0.28	0.24	0.27	0.29	0.28	0.08	0.08
	Bannammyeon	0.22	0.23	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27	0.27	0.27	0.04	0.06
	Geumnamdong	0.38	0.28	0.27	0.24	0.27	0.30	0.20	0.19	0.16	0.19	0.09	0.01
	Dasimyeon	0.28	0.23	0.24	0.24	0.25	0.29	0.24	0.25	0.25	0.26	0.10	0.11
	Donggangmyeon	0.23	0.19	0.21	0.23	0.21	0.26	0.22	0.24	0.26	0.24	0.08	0.11
	Munpyeongmyeon	0.23	0.15	0.18	0.21	0.19	0.27	0.19	0.22	0.25	0.23	0.08	0.12
	Bonghwangmyeon	0.25	0.21	0.21	0.20	0.22	0.26	0.22	0.22	0.21	0.23	0.10	0.11
	Dadomyeon	0.09	0.09	0.07	0.09	0.08	0.17	0.17	0.15	0.17	0.16	0.08	0.16
Muan	Muaneup	0.39	0.41	0.37	0.44	0.39	0.34	0.36	0.32	0.39	0.34	0.09	0.04
	Unnammyeon	0.26	0.31	0.38	0.30	0.37	0.29	0.34	0.41	0.33	0.40	0.04	0.07
	Haejemyeon	0.18	0.33	0.33	0.26	0.36	0.25	0.40	0.40	0.33	0.43	0.06	0.13
	Mangunmyeon	0.32	0.28	0.33	0.25	0.33	0.33	0.29	0.34	0.26	0.34	0.04	0.05
	Samhyangeup	0.32	0.22	0.19	0.22	0.23	0.20	0.10	0.07	0.10	0.11	0.16	0.04
	Hyeongyeongmyeon	0.27	0.23	0.24	0.20	0.24	0.33	0.29	0.30	0.26	0.30	0.05	0.11
	Mongtanmyeon	0.16	0.15	0.15	0.16	0.13	0.26	0.25	0.25	0.26	0.23	0.05	0.15
	Cheonggyemyeon	0.23	0.21	0.22	0.16	0.24	0.30	0.28	0.29	0.23	0.31	0.05	0.12
	Illoeup	0.21	0.13	0.13	0.14	0.16	0.23	0.15	0.15	0.16	0.18	0.10	0.12
Yeongam	Sijongmyeon	0.26	0.39	0.39	0.38	0.39	0.29	0.42	0.42	0.41	0.42	0.07	0.10
	Dopomyeon	0.25	0.34	0.38	0.37	0.36	0.27	0.36	0.40	0.39	0.38	0.03	0.05
	Sinbukmyeon	0.32	0.35	0.39	0.37	0.37	0.30	0.33	0.37	0.35	0.35	0.09	0.07
	Deokjinmyeon	0.26	0.35	0.37	0.35	0.38	0.24	0.33	0.35	0.33	0.36	0.07	0.05
	Samhoeup	0.36	0.21	0.29	0.27	0.35	0.27	0.12	0.20	0.18	0.26	0.20	0.11
	Gunseomyeon	0.16	0.15	0.19	0.22	0.14	0.22	0.21	0.25	0.28	0.20	0.05	0.11

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Yeongam	Seohomyeon	0.21	0.17	0.21	0.22	0.26	0.25	0.21	0.25	0.26	0.30	0.05	0.09
	Yeongameup	0.20	0.21	0.20	0.21	0.25	0.17	0.18	0.17	0.18	0.22	0.10	0.07
	Miammyeon	0.23	0.14	0.21	0.19	0.23	0.24	0.15	0.22	0.20	0.24	0.04	0.05
	Haksanmyeon	0.16	0.13	0.17	0.18	0.21	0.21	0.18	0.22	0.23	0.26	0.06	0.11
	Geumjeongmyeon	0.08	0.10	0.08	0.11	0.14	0.19	0.21	0.19	0.22	0.25	0.05	0.16
Hampyeong	Hampyeongeup	0.41	0.28	0.28	0.39	0.33	0.29	0.16	0.16	0.27	0.21	0.16	0.04
	Woryamyeon	0.24	0.39	0.37	0.33	0.38	0.24	0.39	0.37	0.33	0.38	0.05	0.05
	Eomdamyeon	0.24	0.29	0.27	0.28	0.29	0.26	0.31	0.29	0.30	0.31	0.01	0.03
	Hakgyomyeon	0.24	0.28	0.27	0.24	0.26	0.29	0.33	0.32	0.29	0.31	0.05	0.10
	Haebomyeon	0.17	0.24	0.23	0.18	0.23	0.22	0.29	0.28	0.23	0.28	0.03	0.08
	Nasanmyeon	0.16	0.18	0.17	0.13	0.18	0.27	0.29	0.28	0.24	0.29	0.03	0.14
	Singwangmyeon	0.06	0.13	0.14	0.09	0.14	0.16	0.23	0.24	0.19	0.24	0.02	0.12
	Daedongmyeon	0.14	0.09	0.10	0.07	0.10	0.25	0.20	0.21	0.18	0.21	0.03	0.14
	Sonbulmyeon	0.08	0.06	0.05	0.03	0.08	0.16	0.14	0.13	0.11	0.16	0.05	0.13
Gwangyang	Taeindong	0.36	0.40	0.41	0.40	0.40	0.33	0.37	0.38	0.37	0.37	0.05	0.02
	Jungmadong	0.39	0.43	0.45	0.39	0.43	0.29	0.33	0.35	0.29	0.33	0.11	0.01
	Jinwolmyeon	0.36	0.39	0.41	0.38	0.39	0.37	0.40	0.42	0.39	0.40	0.06	0.07
	Gwangyeongdong	0.38	0.33	0.32	0.37	0.33	0.33	0.28	0.27	0.32	0.28	0.05	0.00
	Gwangyangeup	0.35	0.30	0.37	0.35	0.36	0.29	0.24	0.31	0.29	0.30	0.14	0.08
	Okgokmyeon	0.33	0.36	0.33	0.32	0.34	0.35	0.38	0.35	0.34	0.36	0.05	0.07
	Geumhodong	0.31	0.25	0.21	0.24	0.26	0.30	0.24	0.20	0.23	0.25	0.06	0.05
	Golyakdong	0.22	0.29	0.29	0.22	0.27	0.27	0.34	0.34	0.27	0.32	0.06	0.11
	Ongnyongmyeon	0.14	0.15	0.14	0.16	0.13	0.21	0.22	0.21	0.23	0.20	0.05	0.12
	Jinsangmyeon	0.15	0.12	0.15	0.15	0.14	0.22	0.19	0.22	0.22	0.21	0.05	0.12
	Bonggangmyeon	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.21	0.22	0.21	0.21	0.20	0.01	0.11
	Daapmyeon	0.00	0.07	0.10	0.02	0.08	0.08	0.18	0.21	0.13	0.19	0.03	0.14
Jangheung	Jangheungeup	0.36	0.49	0.50	0.50	0.52	0.18	0.31	0.32	0.32	0.34	0.20	0.02
	Hoejinmyeon	0.36	0.36	0.36	0.36	0.38	0.29	0.29	0.29	0.29	0.31	0.07	0.00
	Jangdongmyeon	0.17	0.29	0.29	0.27	0.30	0.21	0.33	0.33	0.31	0.34	0.02	0.06
	Busanmyeon	0.21	0.30	0.30	0.24	0.32	0.20	0.29	0.29	0.23	0.31	0.06	0.05
	Anyangmyeon	0.17	0.15	0.15	0.21	0.17	0.16	0.14	0.14	0.20	0.16	0.05	0.04
	Daedeokeup	0.27	0.26	0.26	0.18	0.30	0.26	0.25	0.25	0.17	0.29	0.05	0.04
	Jangpyeongmyeon	0.21	0.26	0.24	0.17	0.27	0.26	0.31	0.29	0.22	0.32	0.03	0.08
	Gwansaneup	0.25	0.22	0.21	0.15	0.25	0.23	0.20	0.19	0.13	0.23	0.08	0.06
	Yongsanmyeon	0.16	0.18	0.18	0.14	0.21	0.20	0.22	0.22	0.18	0.25	0.03	0.07
	Yuchimyeon	0.16	0.18	0.17	0.05	0.17	0.31	0.33	0.32	0.20	0.32	0.02	0.17

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Gangjin	Byeongyeongmyeon	0.24	0.30	0.35	0.39	0.33	0.22	0.28	0.33	0.37	0.31	0.07	0.05
	Jakcheonmyeon	0.21	0.31	0.29	0.38	0.29	0.25	0.35	0.33	0.42	0.33	0.05	0.09
	Gangjineup	0.28	0.33	0.36	0.35	0.35	0.21	0.26	0.29	0.28	0.28	0.12	0.05
	Seongjeonmyeon	0.24	0.27	0.21	0.29	0.23	0.31	0.34	0.28	0.36	0.30	0.07	0.14
	Gundongmyeon	0.13	0.19	0.24	0.22	0.23	0.17	0.23	0.28	0.26	0.27	0.07	0.11
	Omcheonmyeon	0.23	0.21	0.16	0.22	0.15	0.26	0.24	0.19	0.25	0.18	0.05	0.08
	Maryangmyeon	0.26	0.26	0.26	0.19	0.29	0.23	0.23	0.23	0.16	0.26	0.04	0.01
	Doammyeon	0.15	0.19	0.19	0.17	0.19	0.23	0.27	0.27	0.25	0.27	0.06	0.14
	Sinjeonmyeon	0.19	0.16	0.14	0.17	0.18	0.25	0.22	0.20	0.23	0.24	0.03	0.09
	Chillyangmyeon	0.12	0.16	0.16	0.12	0.17	0.18	0.22	0.22	0.18	0.23	0.06	0.12
	Daegumyeon	0.18	0.12	0.13	0.05	0.15	0.22	0.16	0.17	0.09	0.19	0.04	0.08
Jindo	Gogunmyeon	0.25	0.39	0.41	0.40	0.42	0.24	0.38	0.40	0.39	0.41	0.05	0.04
	Jindoeup	0.41	0.42	0.41	0.38	0.41	0.30	0.31	0.30	0.27	0.30	0.11	0.00
	Gunnaemyeon	0.26	0.26	0.30	0.26	0.29	0.31	0.31	0.35	0.31	0.34	0.05	0.10
	Uisinmyeon	0.19	0.26	0.23	0.24	0.26	0.22	0.29	0.26	0.27	0.29	0.06	0.09
	Jodomyeon	0.20	0.23	0.17	0.17	0.16	0.26	0.29	0.23	0.23	0.22	0.06	0.12
	Imhoemyeon	0.21	0.19	0.13	0.16	0.14	0.24	0.22	0.16	0.19	0.17	0.07	0.10
	Jisanmyeon	0.18	0.13	0.12	0.15	0.11	0.25	0.20	0.19	0.22	0.18	0.09	0.16
Hwasun	Dogokmyeon	0.42	0.45	0.45	0.42	0.45	0.43	0.46	0.46	0.43	0.46	0.05	0.06
	Hwasuneup	0.43	0.37	0.41	0.38	0.39	0.33	0.27	0.31	0.28	0.29	0.16	0.06
	Neungjumyeon	0.31	0.34	0.36	0.34	0.34	0.27	0.30	0.32	0.30	0.30	0.05	0.01
	Chunyangmyeon	0.27	0.33	0.31	0.26	0.30	0.30	0.36	0.34	0.29	0.33	0.05	0.08
	Doammyeon	0.30	0.25	0.24	0.24	0.21	0.37	0.32	0.31	0.31	0.28	0.02	0.09
	Dongmyeon	0.08	0.17	0.20	0.20	0.19	0.11	0.20	0.23	0.23	0.22	0.07	0.10
	Dongbokmyeon	0.05	0.17	0.17	0.18	0.18	0.11	0.23	0.23	0.24	0.24	0.05	0.11
	Iseomyeon	0.12	0.13	0.13	0.15	0.13	0.18	0.19	0.19	0.21	0.19	0.05	0.11
	Bukmyeon	0.01	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11	0.22	0.22	0.23	0.21	0.05	0.15
	Iyangmyeon	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.06	0.16
	Nammyeon	0.04	0.08	0.09	0.10	0.09	0.12	0.16	0.17	0.18	0.17	0.06	0.14
	Hancheonmyeon	0.07	0.13	0.10	0.06	0.10	0.14	0.20	0.17	0.13	0.17	0.05	0.12
	Cheongpungmyeon	0.18	0.06	0.05	0.04	0.04	0.23	0.11	0.10	0.09	0.09	0.05	0.10
Gurye	Guryeeup	0.45	0.43	0.46	0.42	0.45	0.36	0.34	0.37	0.33	0.36	0.11	0.02
	Yongbangmyeon	0.31	0.27	0.29	0.31	0.30	0.29	0.25	0.27	0.29	0.28	0.06	0.04
	Muncheokmyeon	0.33	0.28	0.31	0.27	0.30	0.33	0.28	0.31	0.27	0.30	0.05	0.05
	Masanmyeon	0.12	0.17	0.18	0.19	0.20	0.09	0.14	0.15	0.16	0.17	0.06	0.03
	Gwanguimyeon	0.17	0.14	0.17	0.16	0.17	0.14	0.11	0.14	0.13	0.14	0.07	0.04

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Gurye	Sandongmyeon	0.11	0.12	0.12	0.14	0.10	0.16	0.17	0.17	0.19	0.15	0.10	0.15
	Ganjeonmyeon	0.35	0.19	0.13	0.12	0.17	0.41	0.25	0.19	0.18	0.23	0.07	0.13
	Tojimyeon	0.10	0.05	0.02	0.03	0.04	0.17	0.12	0.09	0.10	0.11	0.07	0.14
Sinan	Aphaeeup	0.42	0.41	0.43	0.41	0.42	0.37	0.36	0.38	0.36	0.37	0.12	0.07
	Jidoeup	0.41	0.34	0.34	0.35	0.37	0.42	0.35	0.35	0.36	0.38	0.10	0.11
	Jeungdomyeon	0.29	0.31	0.31	0.32	0.34	0.37	0.39	0.39	0.40	0.42	0.04	0.12
	Bigeummyeon	0.18	0.31	0.30	0.31	0.34	0.18	0.31	0.30	0.31	0.34	0.07	0.07
	Imjamyeon	0.39	0.35	0.32	0.31	0.36	0.40	0.36	0.33	0.32	0.37	0.06	0.07
	Palgeummyeon	0.23	0.24	0.23	0.31	0.29	0.21	0.22	0.21	0.29	0.27	0.06	0.04
	Amtaemyeon	0.21	0.16	0.18	0.28	0.24	0.20	0.15	0.17	0.27	0.23	0.08	0.07
	Jangsanmyeon	0.22	0.22	0.24	0.27	0.27	0.22	0.22	0.24	0.27	0.27	0.06	0.06
	Dochomyeon	0.17	0.29	0.25	0.26	0.30	0.20	0.32	0.28	0.29	0.33	0.05	0.08
	Anjwamyeon	0.18	0.21	0.25	0.24	0.26	0.21	0.24	0.28	0.27	0.29	0.11	0.14
	Jaeunmyeon	0.15	0.21	0.18	0.21	0.23	0.22	0.28	0.25	0.28	0.30	0.05	0.12
	Sinuimyeon	0.19	0.19	0.19	0.19	0.24	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.04	0.05
	Hauimyeon	0.17	0.13	0.12	0.18	0.16	0.20	0.16	0.15	0.21	0.19	0.05	0.08
	Heuksanmyeon	0.09	0.15	0.08	0.11	0.08	0.10	0.16	0.09	0.12	0.09	0.06	0.07
Boseong	Beolgyoeup	0.25	0.40	0.35	0.34	0.39	0.22	0.37	0.32	0.31	0.36	0.12	0.09
	Mundeokmyeon	0.31	0.30	0.31	0.30	0.34	0.34	0.33	0.34	0.33	0.37	0.06	0.09
	Yureomyeon	0.22	0.26	0.28	0.28	0.29	0.24	0.28	0.30	0.30	0.31	0.04	0.06
	Boseongeup	0.34	0.31	0.27	0.24	0.29	0.27	0.24	0.20	0.17	0.22	0.09	0.02
	Bongnaemyeon	0.26	0.25	0.23	0.24	0.25	0.30	0.29	0.27	0.28	0.29	0.05	0.09
	Joseongmyeon	0.25	0.18	0.20	0.24	0.23	0.23	0.16	0.18	0.22	0.21	0.06	0.04
	Deungnyangmyeon	0.24	0.13	0.18	0.20	0.20	0.25	0.14	0.19	0.21	0.21	0.07	0.08
	Nodongmyeon	0.27	0.20	0.20	0.19	0.20	0.30	0.23	0.23	0.22	0.23	0.05	0.08
	Ungchimyeon	0.21	0.14	0.13	0.17	0.13	0.21	0.14	0.13	0.17	0.13	0.06	0.06
	Gyeombaekmyeon	0.19	0.24	0.19	0.16	0.19	0.19	0.24	0.19	0.16	0.19	0.06	0.06
	Hoecheonmyeon	0.26	0.25	0.19	0.15	0.22	0.26	0.25	0.19	0.15	0.22	0.05	0.05
	Miryeokmyeon	0.23	0.06	0.06	0.07	0.08	0.25	0.08	0.08	0.09	0.10	0.02	0.04
Gokseong	Ipmyeon	0.37	0.42	0.46	0.43	0.45	0.31	0.36	0.40	0.37	0.39	0.08	0.02
	Okgwamyeon	0.46	0.40	0.39	0.37	0.38	0.37	0.31	0.30	0.28	0.29	0.09	0.00
	Gokseongeup	0.28	0.35	0.34	0.32	0.34	0.20	0.27	0.26	0.24	0.26	0.11	0.03
	Osanmyeon	0.41	0.36	0.31	0.30	0.33	0.43	0.38	0.33	0.32	0.35	0.04	0.06
	Gyeommyeon	0.34	0.34	0.36	0.29	0.35	0.34	0.34	0.36	0.29	0.35	0.06	0.06
	Samgimyeon	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.06	0.05
	Godalmyeon	0.08	0.11	0.16	0.19	0.19	0.09	0.12	0.17	0.20	0.20	0.04	0.05

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Gokseong	Ogokmyeon	0.16	0.22	0.22	0.18	0.23	0.19	0.25	0.25	0.21	0.26	0.06	0.09
	Seokgokmyeon	0.34	0.18	0.18	0.17	0.17	0.32	0.16	0.16	0.15	0.15	0.08	0.06
	Moksadongmyeon	0.28	0.12	0.12	0.15	0.16	0.31	0.15	0.15	0.18	0.19	0.03	0.06
	Jukgokmyeon	0.14	0.06	0.06	0.04	0.07	0.24	0.16	0.16	0.14	0.17	0.06	0.16
Yeonggwang	Yeonggwangeup	0.29	0.29	0.28	0.37	0.30	0.20	0.20	0.19	0.28	0.21	0.12	0.03
	Beopseongmyeon	0.21	0.35	0.34	0.36	0.33	0.20	0.34	0.33	0.35	0.32	0.05	0.04
	Gunseomyeon	0.22	0.34	0.34	0.33	0.34	0.19	0.31	0.31	0.30	0.31	0.08	0.05
	Hongnongeup	0.19	0.28	0.34	0.31	0.29	0.19	0.28	0.34	0.31	0.29	0.05	0.05
	Yeomsanmyeon	0.29	0.30	0.29	0.30	0.29	0.37	0.38	0.37	0.38	0.37	0.04	0.12
	Daemamyeon	0.22	0.28	0.29	0.28	0.26	0.27	0.33	0.34	0.33	0.31	0.03	0.08
	Gunnammyeon	0.23	0.28	0.30	0.27	0.28	0.28	0.33	0.35	0.32	0.33	0.04	0.09
	Myoryangmyeon	0.24	0.27	0.28	0.26	0.26	0.30	0.33	0.34	0.32	0.32	0.05	0.11
	Bulgapmyeon	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.04	0.10
	Nagwolmyeon	0.27	0.16	0.10	0.16	0.15	0.32	0.21	0.15	0.21	0.20	0.01	0.06
	Baeksueup	0.14	0.08	0.14	0.11	0.10	0.22	0.16	0.22	0.19	0.18	0.06	0.14
Damyang	Goseomyeon	0.42	0.40	0.44	0.41	0.41	0.42	0.40	0.44	0.41	0.41	0.03	0.03
	Daejeonmyeon	0.41	0.35	0.36	0.35	0.37	0.41	0.35	0.36	0.35	0.37	0.04	0.04
	Bongsanmyeon	0.32	0.35	0.39	0.34	0.38	0.29	0.32	0.36	0.31	0.35	0.06	0.03
	Damyangeup	0.29	0.33	0.37	0.32	0.35	0.16	0.20	0.24	0.19	0.22	0.14	0.01
	Subukmyeon	0.34	0.34	0.32	0.32	0.32	0.30	0.30	0.28	0.28	0.28	0.08	0.04
	Changpyeongmyeon	0.31	0.28	0.29	0.30	0.29	0.32	0.29	0.30	0.31	0.30	0.04	0.05
	Nammyeon	0.31	0.23	0.18	0.20	0.20	0.39	0.31	0.26	0.28	0.28	0.04	0.12
	Geumseongmyeon	0.11	0.17	0.18	0.16	0.18	0.12	0.18	0.19	0.17	0.19	0.08	0.09
	Wolsanmyeon	0.18	0.14	0.13	0.16	0.13	0.22	0.18	0.17	0.20	0.17	0.07	0.11
	Mujeongmyeon	0.08	0.11	0.14	0.12	0.14	0.12	0.15	0.18	0.16	0.18	0.05	0.09
	Daedeokmyeon	0.15	0.11	0.11	0.09	0.12	0.24	0.20	0.20	0.18	0.21	0.05	0.14
	Yongmyeon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.06	0.08	0.08	0.05	0.16
Jangseong	Nammyeon	0.43	0.38	0.39	0.36	0.39	0.40	0.35	0.36	0.33	0.36	0.03	0.00
	Samseomyeon	0.33	0.26	0.30	0.29	0.29	0.36	0.29	0.33	0.32	0.32	0.05	0.08
	Donghwamyeon	0.31	0.28	0.29	0.27	0.29	0.33	0.30	0.31	0.29	0.31	0.02	0.04
	Jinwonmyeon	0.31	0.31	0.32	0.27	0.33	0.30	0.30	0.31	0.26	0.32	0.02	0.01
	Hwangnyongmyeon	0.24	0.26	0.26	0.24	0.29	0.24	0.26	0.26	0.24	0.29	0.04	0.04
	Jangseongeup	0.20	0.26	0.25	0.22	0.29	0.15	0.21	0.20	0.17	0.24	0.11	0.06
	Samgyemyeon	0.30	0.18	0.18	0.20	0.19	0.31	0.19	0.19	0.21	0.20	0.06	0.07
	Bugilmyeon	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.02	0.03
	Seosammyeon	0.08	0.09	0.09	0.12	0.10	0.11	0.12	0.12	0.15	0.13	0.01	0.04

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Jangseong	Bugimyeon	0.05	0.13	0.14	0.11	0.13	0.09	0.17	0.18	0.15	0.17	0.03	0.07
	Bukhamyeon	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.08	0.08	0.12	0.08	0.06	0.14
Wando	Wandoeup	0.26	0.22	0.22	0.26	0.22	0.23	0.19	0.19	0.23	0.19	0.12	0.09
	Geumdangmyeon	0.22	0.31	0.28	0.24	0.30	0.26	0.35	0.32	0.28	0.34	0.02	0.06
	Gunoemyeon	0.19	0.19	0.23	0.23	0.18	0.26	0.26	0.30	0.30	0.25	0.05	0.12
	Cheongsanmyeon	0.20	0.33	0.29	0.23	0.28	0.24	0.37	0.33	0.27	0.32	0.08	0.12
	Gogeummyeon	0.20	0.31	0.26	0.22	0.26	0.26	0.37	0.32	0.28	0.32	0.05	0.11
	Nohwaeup	0.26	0.13	0.17	0.17	0.16	0.30	0.17	0.21	0.21	0.20	0.04	0.08
	Bogilmyeon	0.26	0.24	0.24	0.17	0.23	0.32	0.30	0.30	0.23	0.29	0.02	0.08
	Yaksanmyeon	0.19	0.27	0.22	0.16	.021	0.23	0.31	0.26	0.20	0.25	0.04	0.08
	Soanmyeon	0.23	0.23	0.21	0.13	0.19	0.28	0.28	0.26	0.18	0.24	0.03	0.08
	Saengilmyeon	0.15	0.26	0.21	0.12	0.16	0.21	0.32	0.27	0.18	0.22	0.02	0.08
	Geumileup	0.17	0.08	0.08	0.11	0.07	0.23	0.14	0.14	0.17	0.13	0.03	0.09
	Sinjimyeon	0.20	0.15	0.20	0.10	0.18	0.24	0.19	0.24	0.14	0.22	0.05	0.09
Haenam	Haenameup	0.38	0.42	0.43	0.44	0.43	0.28	0.32	0.33	0.34	0.33	0.13	0.03
	Masanmyeon	0.26	0.36	0.37	0.35	0.36	0.30	0.40	0.41	0.39	0.40	0.05	0.09
	Sanimyeon	0.28	0.26	0.35	0.32	0.31	0.36	0.34	0.43	0.40	0.39	0.06	0.14
	Hwangsanmyeon	0.27	0.30	0.37	0.32	0.33	0.30	0.33	0.40	0.35	0.36	0.07	0.10
	Hwasanmyeon	0.28	0.25	0.26	0.28	0.23	0.29	0.26	0.27	0.29	0.24	0.04	0.05
	Samsanmyeon	0.22	0.26	0.25	0.26	0.23	0.22	0.26	0.25	0.26	0.23	0.05	0.05
	Gyegokmyeon	0.19	0.30	0.29	0.25	0.28	0.24	0.35	0.34	0.30	0.33	0.07	0.12
	Munnaemyeon	0.31	0.21	0.28	0.24	0.27	0.30	0.20	0.27	0.23	0.26	0.06	0.05
	Songjimyeon	0.22	0.20	0.21	0.20	0.22	0.22	0.20	0.21	0.20	0.22	0.07	0.07
	Hwawonmyeon	0.25	0.18	0.20	0.20	0.19	0.29	0.22	0.24	0.24	0.23	0.05	0.09
	Bugilmyeon	0.17	0.16	0.15	0.17	0.14	0.16	0.15	0.14	0.16	0.13	0.04	0.03
	Bukpyeongmyeon	0.18	0.18	0.15	0.17	0.19	0.19	0.19	0.16	0.18	0.20	0.03	0.04
	Okcheonmyeon	0.14	0.19	0.18	0.15	0.16	0.18	0.23	0.22	0.19	0.20	0.02	0.06
	Hyeonsanmyeon	0.15	0.13	0.11	0.13	0.08	0.22	0.20	0.18	0.20	0.15	0.04	0.11
Goheung	Goheungeup	0.39	0.37	0.37	0.39	0.35	0.27	0.25	0.25	0.27	0.23	0.14	0.02
	Doyangeup	0.39	0.37	0.37	0.38	0.39	0.26	0.24	0.24	0.25	0.26	0.14	0.01
	Dodeokmyeon	0.25	0.23	0.28	0.31	0.30	0.26	0.24	0.29	0.32	0.31	0.05	0.06
	Donggangmyeon	0.23	0.29	0.29	0.30	0.29	0.23	0.29	0.29	0.30	0.29	0.05	0.05
	Gwayeokmyeon	0.25	0.31	0.31	0.27	0.31	0.26	0.32	0.32	0.28	0.32	0.04	0.05
	Namyangmyeon	0.22	0.30	0.30	0.25	0.29	0.25	0.33	0.33	0.28	0.32	0.03	0.06
	Daeseomyeon	0.27	0.22	0.25	0.25	0.25	0.28	0.23	0.26	0.26	0.26	0.04	0.05
	Bongnaemyeon	0.22	0.19	0.23	0.25	0.23	0.23	0.20	0.24	0.26	0.24	0.02	0.03

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Goheung	Dongilmyeon	0.27	0.27	0.28	0.24	0.29	0.27	0.27	0.28	0.24	0.29	0.02	0.02
	Dohwamyeon	0.21	0.17	0.18	0.23	0.18	0.23	0.19	0.20	0.25	0.20	0.06	0.08
	Jeomammyeon	0.15	0.14	0.16	0.19	0.16	0.22	0.21	0.23	0.26	0.23	0.05	0.12
	Pungyangmyeon	0.24	0.16	0.18	0.19	0.18	0.26	0.18	0.20	0.21	0.20	0.05	0.07
	Yeongnammyeon	0.18	0.21	0.20	0.18	0.19	0.24	0.27	0.26	0.24	0.25	0.02	0.08
	Geumsanmyeon	0.25	0.11	0.13	0.17	0.13	0.26	0.12	0.14	0.18	0.14	0.07	0.08
	Podumyeon	0.16	0.14	0.15	0.15	0.13	0.23	0.21	0.22	0.22	0.20	0.06	0.13
	Duwonmyeon	0.22	0.14	0.16	0.14	0.16	0.25	0.17	0.19	0.17	0.19	0.05	0.08
Mokpo	Bujudong	0.33	0.49	0.48	0.46	0.48	0.26	0.42	0.41	0.39	0.41	0.09	0.02
	Buheungdong	0.31	0.42	0.42	0.38	0.40	0.25	0.36	0.36	0.32	0.34	0.06	0.00
	Ogamdong	0.25	0.35	0.36	0.35	0.36	0.23	0.33	0.34	0.33	0.34	0.05	0.03
	Mokwondong	0.28	0.36	0.35	0.34	0.33	0.19	0.27	0.26	0.25	0.24	0.11	0.02
	Yonghaedong	0.27	0.35	0.33	0.32	0.36	0.19	0.27	0.25	0.24	0.28	0.10	0.02
	Sangdong	0.29	0.28	0.30	0.29	0.30	0.18	0.17	0.19	0.18	0.19	0.13	0.02
	Sinheungdong	0.28	0.30	0.32	0.28	0.29	0.20	0.22	0.24	0.20	0.21	0.09	0.01
	Jukgyodong	0.29	0.28	0.28	0.27	0.28	0.26	0.25	0.25	0.24	0.25	0.05	0.02
	Yongdang1dong	0.29	0.20	0.24	0.27	0.23	0.22	0.13	0.17	0.20	0.16	0.09	0.02
	Hadangdong	0.24	0.26	0.27	0.25	0.24	0.20	0.22	0.23	0.21	0.20	0.05	0.01
	Manhodong	0.28	0.22	0.24	0.24	0.24	0.25	0.19	0.21	0.21	0.21	0.06	0.03
	Wonsandong	0.32	0.27	0.27	0.24	0.24	0.22	0.17	0.17	0.14	0.14	0.10	0.00
	Irodong	0.29	0.17	0.20	0.24	0.21	0.22	0.10	0.13	0.17	0.14	0.09	0.02
	Yeondong	0.24	0.14	0.17	0.21	0.20	0.22	0.12	0.15	0.19	0.18	0.03	0.01
	Dongmyeongdong	0.33	0.23	0.26	0.21	0.22	0.25	0.15	0.18	0.13	0.14	0.09	0.01
	Sanjeongdong	0.23	0.16	0.20	0.21	0.19	0.21	0.14	0.18	0.19	0.17	0.03	0.01
	Samhakdong	0.30	0.20	0.24	0.21	0.21	0.24	0.14	0.18	0.15	0.15	0.07	0.01
	Yongdang2dong	0.26	0.11	0.17	0.20	0.15	0.23	0.08	0.14	0.17	0.12	0.05	0.02
	Daeseongdong	0.24	0.22	0.21	0.17	0.22	0.20	0.18	0.17	0.13	0.18	0.05	0.01
	Bukhangdong	0.31	0.27	0.23	0.17	0.24	0.24	0.20	0.16	0.10	0.17	0.07	0.00
	Samhyangdong	0.17	0.13	0.17	0.17	0.15	0.22	0.18	0.22	0.22	0.20	0.05	0.10
	Yeonsandong	0.20	0.16	0.19	0.17	0.17	0.20	0.16	0.19	0.17	0.17	0.06	0.06
	Yudaldong	0.16	0.15	0.13	0.11	0.13	0.22	0.21	0.19	0.17	0.19	0.10	0.16
Suncheon	Deogyeondong	0.49	0.42	0.46	0.54	0.45	0.27	0.20	0.24	0.32	0.23	0.22	0.00
	Wangjo1dong	0.35	0.40	0.42	0.47	0.42	0.23	028	0.30	0.35	0.30	0.13	0.01
	Wangjo2dong	0.30	0.34	0.34	0.44	0.32	0.24	0.28	0.28	0.38	0.26	0.06	0.00
	Dosadong	0.28	0.29	0.32	0.37	0.32	0.25	0.26	0.29	0.34	0.29	0.07	0.04
	Jungangdong	0.29	0.27	0.30	0.37	0.30	0.24	0.22	0.25	0.32	0.25	0.05	0.00

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Suncheon	Haeryongdong	0.32	0.32	0.34	0.35	0.34	0.26	0.26	0.28	0.29	0.28	0.11	0.05
	Jangcheondong	0.32	0.30	0.32	0.33	0.34	0.27	0.25	0.27	0.28	0.29	0.05	0.00
	Jogokdong	0.30	0.29	0.32	0.32	0.32	0.25	0.24	0.27	0.27	0.27	0.05	0.00
	Pungdeokdong	0.28	0.22	0.26	0.29	0.27	0.25	0.19	0.23	0.26	0.24	0.03	0.00
	Jeojeondong	0.32	0.25	0.26	0.28	0.28	0.27	0.20	0.21	0.23	0.23	0.05	0.00
	Namjedong	0.30	0.25	0.23	0.24	0.27	0.26	0.21	0.19	0.20	0.23	0.04	0.00
	Maegokdong	0.28	0.22	0.21	0.22	0.23	0.25	0.19	0.18	0.19	0.20	0.03	0.00
	Oeseomyeon	0.25	0.22	0.22	0.22	0.21	0.29	0.26	0.26	0.26	0.25	0.04	0.08
	Juammyeon	0.30	0.25	0.25	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30	0.25	0.30	0.08	0.13
	Samsandong	0.33	0.23	0.22	0.19	0.24	0.25	0.15	0.14	0.11	0.16	0.09	0.01
	Sangsamyeon	0.28	0.20	0.19	0.18	0.21	0.29	0.21	0.20	0.19	0.22	0.08	0.09
	Byeollyangmyeon	0.23	0.21	0.21	0.17	0.22	0.23	0.21	0.21	0.17	0.22	0.09	0.09
	Woldeungmyeon	0.19	0.15	0.17	0.17	0.16	0.20	0.16	0.18	0.18	0.17	0.06	0.07
	Hyangdong	0.28	0.13	0.14	0.16	0.13	0.26	0.11	0.12	0.14	0.11	0.04	0.02
	Naganmyeon	0.22	0.17	0.17	0.16	0.17	0.27	0.22	0.22	0.21	0.22	0.04	0.09
	Seomyeon	0.13	0.18	0.18	0.13	0.18	0.19	0.24	0.24	0.19	0.24	0.05	0.11
	Hwangjeonmyeon	0.03	0.12	0.14	0.11	0.13	0.11	0.20	0.22	0.19	0.21	0.06	0.14
	Seungjumyeon	0.20	0.13	0.12	0.10	0.12	0.26	0.19	0.18	0.16	0.18	0.07	0.13
	Songgwangmyeon	0.23	0.12	0.12	0.09	0.12	0.33	0.22	0.22	0.19	0.22	0.07	0.17
Yeosu	Myododong	0.29	0.41	0.44	0.40	0.43	0.28	0.40	0.43	0.39	0.42	0.04	0.03
	Yeocheondong	0.31	0.41	0.44	0.38	0.43	0.24	0.34	0.37	0.31	0.36	0.08	0.01
	Ssangbongdong	0.37	0.37	0.40	0.37	0.43	0.25	0.25	0.28	0.25	0.31	0.12	0.00
	Sijeondong	0.33	0.36	0.40	0.35	0.41	0.26	0.29	0.33	0.28	0.34	0.07	0.00
	Jusamdong	0.28	0.36	0.38	0.35	0.39	0.25	0.33	0.35	0.32	0.36	0.04	0.01
	Gukdong	0.28	0.36	0.37	0.31	0.40	0.22	0.30	0.31	0.25	0.34	0.06	0.00
	Daegyodong	0.29	0.34	0.37	0.30	0.38	0.24	0.29	0.32	0.25	0.33	0.05	0.00
	Yeoseodong	0.30	0.33	0.35	0.30	0.36	0.22	0.25	0.27	0.22	0.28	0.08	0.00
	Wolhodong	0.29	0.29	0.32	0.29	0.34	0.25	0.25	0.28	0.25	0.30	0.05	0.01
	Mandeokdong	0.28	0.28	0.32	0.28	0.32	0.25	0.25	0.29	0.25	0.29	0.05	0.02
	Munsudong	0.34	0.28	0.31	0.28	0.31	0.24	0.18	0.21	0.18	0.21	0.10	0.00
	Jungangdong	0.26	0.28	0.30	0.28	0.33	0.24	0.26	0.28	0.26	0.31	0.02	0.00
	Chungmudong	0.29	0.33	0.34	0.28	0.34	0.25	0.29	0.30	0.24	0.30	0.04	0.00
	Gwangrimdong	0.30	0.25	0.25	0.27	0.24	0.26	0.21	0.21	0.23	0.20	0.04	0.00
	Dongmundong	0.28	0.28	0.31	0.26	0.30	0.22	0.22	0.25	0.20	0.24	0.06	0.00
	Mipyeongdong	0.30	0.28	0.30	0.26	0.31	0.24	0.22	0.24	0.20	0.25	0.06	0.00
	Dundeokdong	0.29	0.28	0.30	0.25	0.30	0.23	0.22	0.24	0.19	0.24	0.06	0.00

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Region	Administrative districts	Vulnerability index					Climate exposure index					Sensit-ivity index	Adaptive capacity index
		2000s	2010s	2020s	2030s	2040s	2000s	2010s	2020s	2030s	2040s		
Yeosu	Seogangdong	0.24	0.25	0.28	0.24	0.30	0.22	0.23	0.26	0.22	0.28	0.02	0.00
	Samildong	0.18	0.25	0.27	0.23	0.27	0.27	0.34	0.36	0.32	0.36	0.07	0.16
	Hallyodong	0.27	0.26	0.29	0.23	0.29	0.26	0.25	0.28	0.22	0.28	0.01	0.00
	Yulchonmyeon	0.20	0.23	0.24	0.21	0.22	0.23	0.26	0.27	0.24	0.25	0.05	0.08
	Soramyeon	0.19	0.19	0.20	0.18	0.20	0.21	0.21	0.22	0.20	0.22	0.06	0.08
	Dolsaneup	0.24	0.20	0.23	0.15	0.22	0.27	0.23	0.26	0.18	0.25	0.07	0.10
	Hwanjeongmyeon	0.22	0.19	0.21	0.15	0.23	0.25	0.22	0.24	0.18	0.26	0.02	0.05
	Nammyeon	0.22	0.13	0.15	0.13	0.18	0.26	0.17	0.19	0.17	0.22	0.03	0.07
	Hwayangmyeon	0.17	0.12	0.14	0.10	0.16	0.22	0.17	0.19	0.15	0.21	0.05	0.10
	Samsanmyeon	0.17	0.04	0.05	0.03	0.08	0.20	0.07	0.08	0.06	0.11	0.02	0.05

Collection @ chosun