# 기후지수를 이용한 우리나라 일기온 및 일강수의 변화 분석

# Analysis on Changes of Daily Temperature and Daily Precipitation in Climate Indices over Republic of Korea

이효신*, 신진호**, 권원태***

Hyo-Shin Lee, Jinho Shin, Won-Tae Kwon

## 요 지

본 연구에서는 우리나라 6개 지점(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포)에서 관측한 약 100년간(1912-2009년, 단 1950-1953년 제외)의 일최고/최저기온 및 일강수 자료를 이용하여 각 지점별로 다양한 기후지수를 산출하고 이들의 변화를 살펴보았다. 기온 관련 기후지수로는 여름일수, 영하일수, 결빙일수, 서리일수, 열대야일수, 냉방도일, 난방도일, 일교차, 식물성장일수, 일최고/최저기온의 월최고값 및 월최저값 등을 분석하였으며, 강수 관련 기후지수로 강수량, 강수일수, 강수강도, 호우일수, 미우일수, 최고 일강수 및 5일 연속 최고 강수량, 연속건조일수 및 연속습윤일수, 극한 강수일의 강수량 등을 계산하였다. 다음은 6개 지점의 기후지수를 평균한 결과이다.

6개 지점 모두에서 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률보다 크게 나타남에 따라 분석기간 동안 일교차는 점차 줄어드는 경향(-0.12℃/10년)을 보였고, 최저기온에 근거한 기후지수인 서리일수 (최저기온이 -5℃ 미만, -2.6일/10년), 영하일수(최고기온이 0℃ 미만, -1.0일/10년) 등의 감소와 평균기온의 상승에 따른 성장계절길이(growing season length)의 증가(+3.53일/10년)가 뚜렷하게 나타났다. 일강수와 관련된 주요변화로 미우일수(일강수량이 1 $mmday^{-1}$ 이하)는 감소(-0.75일/10년)했지만, 10 $mmday^{-1}$ (+0.32일/10년), 20 $mmday^{-1}$ (+0.27일/10년), 30 $mmday^{-1}$ (+0.25일/10년), 50 $mmday^{-1}$ (+0.17일/10년), 80 $mmday^{-1}$(+0.09일/10년) 이상 내린 강수일수는 증가하였다. 강수강도(강수량이 1 $mmday^{-1}$ 이상일 때의 강수량과 강수일수 기준)는 0.23 $mmday^{-1}$/10년로 증가했다.

**핵심용어 : 기후지수, 일강수, 일기온, 강수강도, 기후변화**

## 1. 서론

기상청은 1904년 목포에서 근대기상관측업무를 시작한 이래 지금까지 관측기간이 긴 관측지점에서는 100년이 넘는 관측자료를 축적하고 있다. 본 연구에서는 관측기간이 상대적으로 긴 6개 지점(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포)에서의 일최고기온, 일최저기온, 일강수 자료를 이용하여 과거 약 100년에 대한 변화를 분석하였다. 각 지점의 관측 시작년도를 살펴보면 목포, 부산, 인천은 1904년, 대구와 서울은 1907년, 강릉은 1911년에 관측을 시작하였다. 따라서 본 연구에서는 6지점의 공통 관측기간인 1912년~2009년까지 분석하되 결측이 많은 1950-1953년 기간은 분석에서 제외하였다. 분석요소로는 각 요소의 변화추세와 더불어, 강수와 기온관련 기후지수를 정의하여 그 변화를 살펴보았다. 기온관련 기후지수로는 최고기온, 최저기온, 평균기온의 변화와 일교차, 식물성장일수, 냉방도일, 난방도일, 여름일수, 영하일수, 열대야 일수, 서리일수, 일최고/최저기온의 월최고값 및 월최저값 등에 대해 분석하고 강수관련 기후지수로는 강수량, 강수일수, 강수강도, 호우일수, 미우일수, 최고 일강수 및 5일 연속 최고 강수량, 연속건조일수 및 연속습윤일수, 극한 강수일의 강수량 등의 요소를 분석하였다. 각 기후지수에 대한 정의는 표1에 정리하였으며, 최고기온, 최저기온 및 강

* 비회원 · 국립기상연구소 기후연구과 연구사 · E-mail : climate@korea.kr

** 정회원 · 국립기상연구소 기후연구과 연구원 · E-mail : jshin@korea.kr

*** 정회원 · 국립기상연구소 기후연구과 과 장 · E-mail : wontk@korea.kr

수량의 백분위수(percentile)의 계산은 전체분석기간에 대해 각 관측변수를 크기 순서대로 재정렬하여 10%, 90%, 95%, 99% 등에 해당하는 값을 구하였다. 여기서 강수량의 경우에는 강수량이 0mm인 값은 제외하였다.

**표 1. 주요기후지수의 정의**

| | Cliamte Indices | Definition |
|---|---|---|
| Temperature | Summer days | Annual count when Tmax(daily maximum temperature) (>30℃) >25℃ |
| | Ice days | Annual count when Tmax (<-5℃) <0℃ |
| | Tropical nights | Annual count when Tmin(daily minimum temperature) (>20℃) >25℃ |
| | Frost days | Annual count when Tmin (<-5℃) <0℃ |
| | Growing season length | Annual count between first span of at least 6 days with daily mean temperature (Tmean) >5℃ and first span after July 1 of 6 days with Tmean < 5℃ |
| | Max Tmax (Tmin) | Monthly maximum value of Tmax (Tmin) |
| | Min Tmax (Tmin) | Monthly minimum value of Tmax (Tmin) |
| | Cool (Warm) nights | Percentage of days when Tmin<10th (Tmin>90th) percentile |
| | Cool (Warm) days | Percentage of days when Tmax<10th (Tmax>90th) percentile |
| | Warm (Cold) spell duration indicator | Annual count of days with at least 6 consecutive days when Tmax>90th (Tmin<10th) percentile |
| | Diurnal temperature range | Monthly mean difference between Tmax and Tmin |
| | Heating (Cooling) degree days | Sum of the degrees above(below) reference temperature (18 ℃) |
| Precipitation | Max 1-day (5-day) precipitation amount | Monthly maximum 1-day (consecutive 5-day) precipitation |
| | Daily intensity index for rain (wet) days | Annual total precipitation divided by the number of rain days (defined as PRCP > 0) and wet days (PRCP>=1.0mm) in the year |
| | Number of rain days for each threshold criteria | Annual count of days when PRCP>=1mm, 10mm, 20mm, and 30mm, 50mm, 80mm, 150mm and PRCP <=1 mm, respectively |
| | Consecutive dry (wet) days | Maximum number of consecutive days with PRCP<1mm (PRCP>=1mm) |
| | Extremely (Very) wet day precipitation | Annual total PRCP when PRCP>$95^{th}$ (PRCP>$99^{th}$) percentile |
| | Annual total (wet-day) precipitation | Annual total and wet days PRCP (PRCP>=1mm) |

**표 2. 6개 관측지점 정보와 해당 기후지수의 기준값**

| Station Num | Station Name | Starting Time | Minimum Temperature (℃) | | Maximum Temperature (℃) | | Precipitation ($mmday^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | reference temperature | | reference temperature | | reference precipitation | |
| | | | Cool nights (Tmin<10th) | Warm nights (Tmin>90th) | Cool days (Tmax<10th) | Warm days (Tmax>90th) | 99% | 95% |
| 105 | Gangneung | 1911.10.03 | -4.2 | 20.6 | 4.1 | 29.3 | 61.6 | 21.6 |
| 108 | Seoul | 1907.10.01 | -7.5 | 21.5 | 1.2 | 29.9 | 66.9 | 20.9 |
| 112 | Incheon | 1904.08.29 | -6.3 | 21.4 | 1.4 | 28.5 | 58.0 | 17.7 |
| 143 | Daegu | 1907.01.31 | -5.0 | 22.1 | 4.7 | 31.5 | 48.5 | 16.9 |
| 159 | Pusan | 1904.04.09 | -1.6 | 22.3 | 6.9 | 28.6 | 71.5 | 24.3 |
| 165 | Mokpo | 1904.04.08 | -2.0 | 22.7 | 5.5 | 29.7 | 54.5 | 17.8 |

**지점번호, 지점명, 관측시작시각을 나타냈다. 자료분석은 1912-2009 [98년중 결측이 많았던 50-53년의 4년을 제외함] 기간에 대해 수행되었고 총 분석기간 동안의 일최저기온, 일최고기온, 일강수량의 10th, 90th, 95th, 99th에 해당하는 값을 표에 정리하였다.**

## 2. 분석결과

### 2.1 기온관련 기후지수의 변화

6개 지점에 대해 평균한 일최고기온 및 일최저기온의 연평균값은 10년에 0.12℃와 0.24℃로 상승하고 있다. 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률보다 2배 정도 높으며, 이에 따라 일최고기온과 일최저기온의 차이인 일교차는 줄어들었다. 일최저기온은 1900년대 전반기에 지점간 차이가 상대적으로 크게 나타났으나 최근에는 지점간 차이가 크게 줄어들었다. 일최고기온이 0℃ 미만인 영하일수는 10년에 1일이 감소하였으며, 특히 서울과 인천지역에서의 90년대 이후의 감소율이 매우 크게 나타났다(그림 미제시). 반면 일최고기온과 일최저기온이 25℃를 초과하는 여름일수와 열대야일수는 증가하고 있다. 전체 분석기간 동안 일최고기온값을 크기순대로 정렬했을 때 하위 10%에 해당하는 값(제10백분위수)보다 낮은 일최고기온이 출현하는 날의 수가 연중 차지하는 비율(cool days)은 10년에 0.58% 정도 감소하고 있다. 이와 유사하게 일최저기온이 하위 10% 이하로 나타나는 날의 비율(cool nights)도 0.76% 정도 감소하고 있다. 이에 반해 일최고기온과 일최저기온이 상위 90% 이상인 날의 비율에는 유의한 변화가 없었다. 즉 일최고기온이나 일최저기온 모두 그들의 낮은 값이 출현하는 날의 비율은 유의하게 감소하였지만 일최고기온 및 일최저기온 자체의 유의한 상승에도 불구하고 일최고기온 및 일최저기온이 상위 90% 이상에 해당하는 높은 값의 출현비율에는 큰 변화가 없다.

월별 일최고기온의 최고값과 최저값, 일최저기온의 최고값과 최저값을 연평균한 결과, 최저기온의 최저값의 상승률(0.28℃/10년), 최저기온의 최고값의 상승률 (0.2℃/10년), 최고기온의 최저값의 상승률(0.13℃), 최고기온의 최고값의 상승률(0.09℃)의 순서로 변화가 나타났으며, 최저기온의 최저값의 상승률은 최고기온의 최고값의 상승률보다 3배 커서 그 변화가 더 빨랐다(표3).

표 3. 기온관련 기후지수의 변화 및 유의성 검증결과

| Climate Indices | slope (per 10year) | P-value | R |
|---|---|---|---|
| Mean temperature | 0.182 *** | 0.000 | 0.722 |
| Maximum temperature | 0.124 *** | 0.000 | 0.549 |
| Minimum temperature | 0.238 *** | 0.000 | 0.798 |
| Diurnal temperature range | -0.115 *** | 0.000 | 0.681 |
| Glowing season length | 3.528 *** | 0.000 | 0.600 |
| Heating degree days | -54.840 *** | 0.000 | 0.752 |
| Cooling degree days | 1.521 | 0.387 | 0.090 |
| Summer days (Tmax >30) | -0.169 | 0.650 | 0.047 |
| Summer days (Tmax > 25) | 0.830 ** | 0.018 | 0.243 |
| Ice days (Tmax <-5) | -0.270 *** | 0.000 | 0.448 |
| Ice days (Tmax <0) | -0.998 *** | 0.000 | 0.487 |
| Cool days (Tmax < 10th): % | -0.583 *** | 0.000 | 0.550 |
| Warm days (Tmax > 90th): % | -0.074 | 0.499 | 0.071 |
| Warm spell duration indicator (Tmax >90th, 6 consecutive days) | -0.295 | 0.426 | 0.083 |
| Tropical nights (Tmin >20) | 1.251 *** | 0.000 | 0.362 |
| Tropical nights (Tmin >25) | 0.671 *** | 0.000 | 0.405 |
| Frost days (Tmin <-5) | -2.583 *** | 0.000 | 0.663 |
| Frost days (Tmin <0) | -3.546 *** | 0.000 | 0.727 |
| Cool nights (Tmin < 10th): % | -0.758 *** | 0.000 | 0.629 |
| Warm nights (Tmin > 90th): % | 0.176 | 0.102 | 0.170 |
| Cold spell duration indicator (Tmin <10th, 6 consecutive days) | -1.845 *** | 0.000 | 0.497 |
| Annual mean of monthly maximum Tmax | 0.093 *** | 0.000 | 0.397 |
| Annual mean of monthly minimum Tmin | 0.201 *** | 0.000 | 0.699 |
| Annual mean of monthly minimum Tmax | 0.127 *** | 0.000 | 0.470 |
| Annual mean of monthly minimum Tmin | 0.281 *** | 0.000 | 0.778 |

## 2.2 강수관련 기후지수의 변화

일강수자료로부터 연강수량, 극한강수일의 강수량과 같이 강수의 양적인 측면에서 그 변화를 분석할 수 있으며, 관심 강수량의 크기를 기준으로 해당 강수일수의 변화와 강수량과 강수일수로부터 강수강도의 변화도 분석할 수 있다. 1912-2009년까지 연강수량과 1 $mmday^{-1}$ 이상의 연강수량 모두 10년에 약 20 $mmday^{-1}$ 정도 증가했다. 반면 강수일수(강수가 0 $mmday^{-1}$ 초과인 날)는 10년에 0.8일 정도로 유의하게 감소하였다. 그러나 10, 20, 30, 50, 80 $mmday^{-1}$ 이상 내린 다강수일수는 유의하게 증가하고 있어 강수일수의 감소가 미우일수(1 $mmday^{-1}$ 이하)의 감소에 기인하고 있음을 알 수 있다. 요약하면 연강수량은 증가하는 반면 강수일수는 감소함에 따라 강수강도는 점차 강화되고 있으며 그 변화도 5% 유의수준에서 유의하였다. 즉, 최근의 강수패턴은 과거와 달리 한번에 많은 강수가 내리는 집중호우의 성격이 강해졌음을 알 수 있다. 분석기간 중 강수량을 크

기 순서대로 정렬했을 때 95%에 해당하는 값은 지역별로 20 $mmday^{-1}$ 내외로 부산 24.3, 강릉 21.5, 서울 20.9, 목포 17.8, 인천 17.7 대구 16.9 $mmday^{-1}$ 순이다(표 2). 6개 지점을 평균했을 때 강수량의 제95백분위수를 넘는 날의 강수량의 변화는 10년에 약 20 $mmday^{-1}$ 이다. 이는 연강수량의 증가율(10년에 약 20 $mmday^{-1}$)에 해당하는 값으로 연강수량의 증가가 다강수일(very wet day, 제95백분위 이상의 강수일)의 변화에 기인함을 알 수 있다. 이는 또한 앞서 설명한 10 $mmday^{-1}$ 이상의 강수일수의 증가와 연계된다(표 4). 각 지점에 대한 월별 최대 일강수량의 변화 분석결과 5% 유의수준에서 강릉은 8월과 10월에 증가 12월에 감소하고, 인천 5월, 대구 8월에 증가하였다. 10% 유의수준에서 강릉 5월, 서울 5월의 증가가 유의하였다. 월별 최대 5일강수량의 변화분석을 살펴보면, 5% 유의수준에서 대구 8월, 목포 3월 강수의 증가가 유의했고, 10% 유의수준에서는 강릉 8월, 10월, 부산 8월, 목포 6월의 증가와 목포 4월의 감소가 나타났다.

**표 4. 강수관련 기후지수의 변화 및 유의성 검증결과 (*: 10%, **: 5%, ***: 1% 유의수준)**

| Climate Indices | Slope (per 10year) | P-value | R |
|---|---|---|---|
| Total precipitation | 20.162 ** | 0.02 | 0.239 |
| Total precipitation (Pr >= 1mm) | 20.478 ** | 0.019 | 0.243 |
| Very wet day precipitation (Pr >95th) | 20.254 *** | 0.01 | 0.266 |
| Extremely wet day precipitation (Pr >99th) | 14.092 ** | 0.011 | 0.261 |
| Number of wet days (Pr > 0mm) | -0.802 ** | 0.014 | 0.253 |
| Number of light rain days (Pr <= 1mm) | -0.751 *** | 0 | 0.456 |
| Number of wet days (Pr >= 1mm) | 0.174 | 0.547 | 0.063 |
| Number of wet days (Pr >= 10mm) | 0.32 * | 0.091 | 0.176 |
| Number of wet days (Pr >= 20mm) | 0.268 * | 0.051 | 0.202 |
| Number of wet days (Pr >= 30mm) | 0.246 ** | 0.017 | 0.245 |
| Number of wet days (Pr >= 50mm) | 0.167 *** | 0.005 | 0.290 |
| Number of wet days (Pr >= 80mm) | 0.086 ** | 0.011 | 0.263 |
| Number of wet days (Pr >= 150mm) | 0.003 | 0.808 | 0.032 |
| Consecutive dry days | -0.032 | 0.865 | 0.018 |
| Consecutive wet days | -0.011 | 0.76 | 0.032 |
| Daily intensity | 0.235 *** | 0.001 | 0.391 |
| Daily intensity (Pr >= 1mm) | 0.228 ** | 0.033 | 0.366 |

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(1-9-3)에 의해 수행되었습니다.