

## 한반도에서 상대습도의 시공간적 분포 특성 및 군집화

차소영<sup>1</sup> · 서명석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(주)투씨솔루션 사원

<sup>2</sup>공주대학교 대기과학과 교수

(2022년 8월 16일 접수, 2022년 9월 16일 최종 수정, 2022년 9월 17일 게재 확정)

## Spatio-Temporal Distribution Characteristics and Clustering of Relative Humidity in the Korean Peninsula

So-Young Cha<sup>1</sup> · Myoung-Seok Suh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Staff, 2CSolution

<sup>2</sup>Professor, Department of Atmospheric Science, Kongju National University

(Received 16 August 2022, Revised 16 September 2022, Accepted 17 September 2022)

**Abstract :** This study analyzed the spatial and temporal distribution characteristics of relative humidity (RH) based on the past 110 years (1911-2020) weather station data in Korea. Results showed that both the average and the trend of RH have changed over the research period. Overall, the RH for the recent 30 years (1990.12- 2020.11) showed decreasing trends in winter and spring and increasing trends in summer and autumn. The decreasing trends in winter and spring were mainly due to a decrease in the dew point temperature (Td) and a rapid increase in temperature, respectively. On the other hand, the increasing trends in summer and autumn were mostly related to an increase in Td. Our cluster analysis using K-means clustering classified Korea into 6 clusters. The western coastal region has the highest RH and the smallest temporal variation, with an increasing trend, whereas large cities and the eastern coastal region have the lowest RH and a large temporal variation with a decreasing trend. We also observed that each cluster has its own seasonal variations such as the magnitude of seasonal variation and the time when the minimum RH occurs.

**Key Words :** relative humidity, trend, K-means clustering, distribution characteristics

**주요어 :** 상대습도, 변화경향, K-means 군집화, 분포 특성

---

\*Correspondence: sms416@kongju.ac.kr

© KU Climate Research Institute

## 1. 서론

상대습도는 대기 중 수분의 양을 나타내는 기후 요소 중 하나로 현재 공기덩이가 최대 포함할 수 있는 포화수증기압에 대한 실제 수증기압의 비율(%)로 정의된다(Peixoto and Oort, 1996). 현재 공기덩이가 가질 수 있는 최대 수증기압인 포화수증기압과 공기덩이가 포함하고 있는 실제 수증기압은 각각 측정된 기온과 노점온도를 이용하여 Clausius-Clapeyron 방정식으로 산출할 수가 있다(Gaffen and Ross, 1999). 이러한 상대습도는 구름, 안개, 스모그의 생성 및 소산에 영향을 주고 증발산을 조절함으로써 수문 과정과 지표 에너지 수지를 조절하는 역할을 한다. Kang(2013)과 Won *et al.*(2016)은 강수량, 상대습도, 온도, 바람 등이 주로 산불에 영향을 주는데 특히 겨울에서 봄에 이르는 건기에는 강수가 적을 뿐만 아니라 청천일이 많아 연료(e.g., 수목)가 건조해지고 상대습도가 40% 미만일 때 산불 발생 위험도가 큼을 밝혔다.

상대습도 연구는 강수 발달을 포함한 물 순환을 이해하는 데 중요하다(You *et al.*, 2015). 또한, 기상청에서 제공하는 5개의 보건기상지수(e.g. 식중독지수, 천식·폐질환 가능지수, 뇌졸중 가능지수, 감기 가능지수, 꽃가루 농도 위험지수)와 산불위험지수 산출에 필수적인 변수로 우리 삶의 질과 밀접한 관계를 가진다(KMA, 2021). 지구온난화는 대기가 수용할 수 있는 최대 수분의 양을 증가시킴으로써 상대습도를 낮출 수 있을 것이다(You *et al.*, 2015). 또한 기후변화와 관련된 대기 순환장 및 수분장의 변화는 극단적인 홍수 및 가뭄과 같은 위험기상의 발생 특성을 변화시킬 수 있다(KACCC, 2021). 기후변화로 인한 상대습도 변화가 날씨, 대기환경 및 보건지수 등에 미치는 영향을 고려할 때 상대습도의 변화 특성에 대한 연구가 필요하다.

상대습도의 변화경향에 대한 연구는 주로 지상 관측자료를 이용하여 이루어져 왔다. Um *et al.*(1997)은 1908~1994년까지의 지상 관측자료를 분석하여 서울에서 상대습도가 도시화의 영향으로 감소 되었음을 보였다. Gaffen and Ross(1999)는 미국에서 30년(1961~1990년)간의 지상 관측자료를 분석한 결과 기온, 비습(상대습도) 등이 가을을 제외한 전 계절에서 증가되고 있음을 밝혔다. 하지만 You *et al.*(2015)은 티벳고원에서 1961~2013년까지의 상대습도 변화경향을 분석한 결과 여름과 가을을 중심으로 상대습도가 급격히 감소됨을 보이고 그 원인으로 기온상승을 제시하였다. Liu *et al.*(2009)은 도시화의 영향으로 베이징의 온도는 높아지고 상대습도는 낮아졌음을 보였다. Go and Lee(2013)는 도시의 규모가 클수록 상대습도의 감소경향이 뚜렷하며, 도시화가 진행될수록 기온이 상승됨에 따라 상대습도 감소경향이 강화될 것으로 추정하였다. Park *et al.*(2013)은 도시화의 영향으로 최근 37년 동안 우리나라 10개 주요 도시 대부분에서 상대습도가 감소 되었음을 보였다.

노점온도는 대기 중 수분의 양을 나타내는 변수로 Lee(2010)는 최근 30년간 우리나라에서의 노점온도 자료를 이용하여 시·공간, 연직분포 및 변화경향을 연구하였다. 그는 인구와 경지면적 변화 등의 분석을 통해 도시화, 산업화 등의 환경변화와 노점온도 변화경향과의 관계성을 연구하여 우리나라에서의 노점온도 변화의 원인을 밝히고자 하였다. 기온과 노점온도의 영향을 동시에 받는 상대습도는 지리적 위치 및 기상조건에 따라 시공간적으로 변동성이 매우 큼이 많은 연구에서 밝혀지고 있다(Gaffen and Ross, 1999; Liu *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2020). 따라서 우리나라에서 지역 및 계절별 상대습도의 평균과 변화특성에 대한 상세 연구가 필요하다.

기상청 관측자료를 이용한 연구는 주로 기온 및

강수량에 집중되어 있으며 상대습도에 대한 연구는 많지 않다(Hong *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2016). 또한 상대습도의 변화경향과 도시화와의 관계에 대한 연구는 일부 진행되었으나 상대습도의 변화 원인에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 기후요소의 통계적 특성에 기초한 지역 기후 분류 연구도 주로 기온과 강수량에 집중되었다(Lee and Park, 1999; Kim *et al.*, 2017a; Cho *et al.*, 2019). Yoo *et al.*(2010)은 30년 이상의 강우 자료를 보유한 58개 지점을 대상으로 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)로 가뭄특성인자를 산출한 후 가뭄특성의 지역구분 연구를 수행하였다. 하지만 우리나라에서 상대습도의 기후적 특성에 기초한 지역 기후 분류 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 기상청의 장기간(1911~2020년) 및 최근(1990~2020년) 상대습도와 기후요소 관측 자료를 이용하여 우리나라에서 상대습도의 시공간적 분포 특성과 변화경향 그리고 그 원인에 대해 분석하였다(Cha, 2022). 또한 상대습도의 기후적 특성을 활용하여 상대습도의 지역분류를 시도하였다. 2절에서는 본 연구에서 사용된 자료와 연구방법에 대해 소개하였고, 3절에서는 상대습도의 계절별 변화경향과 원인 그리고 상대습도의 지역별 분포 유형에 대해 설명하였다. 4절에서는 본 연구에서 도출된 결과에 대해 요약하였다.

## 2. 자료 및 연구 방법

### 1) 자료

본 연구에서 사용된 자료는 기상청의 기상자료개방포털에서 제공하는 지상 관측자료이다(Table 1). Table 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 사용한 자료는 1) 관측 기간 및 계절별 변화경향을 분석하기 위한 110년간의 상대습도 자료(1911~2020년)와 2) 상대습도의 변화 특성과 원인분석을 위한 최근 30년(1990~2020년) 자료(RH: 상대습도, T: 기온, Td: 노점온도, Tmin: 최저기온, Tmax: 최고기온, PRCP: 강수량)이다.

### 2) 연구 방법

본 연구는 크게 1) 기상청에서의 상대습도 관측지점 수가 연도에 따라 변하는 것이 상대습도 계절별 특성에 미치는 영향, 2) 상대습도의 변화경향과 그에 대한 원인, 그리고 3) 클러스터링 기법을 이용한 상대습도 유형 분류로 이루어져 있다.

#### (1) 상대습도의 변화경향과 원인분석

우리나라에서 상대습도 관측은 1904년 5월 부산 지점에서 개시되었으며 이후 우리나라가 근대화되면서 관측지점이 크게 증가되었다. 1911년부터는 대구와 부산 등 2개 지점에서 관측하였으며, 1971년부터는 24개 지점에서, 1981년부터는 61개 그리

**Table 1.** Summary of meteorological observation data used in this study. ASOS stands for Automated Synoptic Observing Station.

| Variables | Stn. type | Frequency | # of Stn. | Period          | Source |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|--------|
| RH (%)    | ASOS      | Daily     | 2-94      | 1911.01-2020.12 | KMA    |
| Ta (°C)   | ASOS      | Daily     | 67        | 1990.12-2020.12 |        |
| Td (°C)   | ASOS      | Daily     | 67        |                 |        |
| Tmin (°C) | ASOS      | Daily     | 67        |                 |        |
| Tmax (°C) | ASOS      | Daily     | 67        |                 |        |
| PRCP (mm) | ASOS      | Daily     | 67        |                 |        |

고 2011년부터는 94개 지점에서 상대습도를 관측해오고 있다. 여기서는 최근으로 올수록 증가된 관측지점 수가 상대습도의 계절별 평균 및 변화경향에 미치는 영향에 대해 10년 단위로 분석하였다. 상대습도 등 기후요소의 변화경향은 Mann-Kendall 방법을 사용하였는데 이 방법은 수문기상 관련 변수들의 경향성 분석에 자주 사용되는 방법이다 (Yoon and Moon, 2014). 상대습도의 변화경향과 기온 등 다른 기후요소들과의 관계분석에는 피어슨 상관계수를 사용하였다. 상관분석을 통해 얻은 상관계수의 값이 통계적으로 유의한 지에 대한 검정에는 t-검정 통계량 분석이 수행되었다(Yu *et al.*, 2021).

상대습도 방정식은 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이때,  $e_{vs}(T)$ 는 기온에 대한 포화수증기압을,  $e_{vs}(T_d)$ 는 노점온도에 대한 포화수증기압을 의미한다. 상대습도의 변화경향은 (1)의 시간에 대한 미분방정식인 (2)로 나타낼 수 있다. 식 (2)를 보면  $e_{vs}(T)$ 와  $e_{vs}(T_d)$ 는 변화의 강도를 결정하고, 증가 또는 감소(부호)를 결정하는 것은  $e_{vs}(T)$ 와  $e_{vs}(T_d)$ 의 시간에 대한 미분항이다. 특히, 지구온난화로 인한 기온의 상승은  $\frac{\partial}{\partial t}[e_{vs}(T)]$ 가 (+)를 의미함으로 우변 2항의 부호가 (-)이기 때문에 전체적으로 (-)가 된다. 즉, 기온의 상승은 상대습도의 감소경향을 반대로 노점온도의 상승은 상대습도의 증가경향을 야기한다.

$$RH(\%) = \frac{e_{vs}(T_d)}{e_{vs}(T)} \times 100 \quad (1)$$

$$\frac{\partial RH}{\partial t} = \frac{1}{e_{vs}(T)} \frac{\partial}{\partial t}[e_{vs}(T_d)] - \frac{e_{vs}(T_d)}{[e_{vs}(T)]^2} \frac{\partial}{\partial t}[e_{vs}(T)] \quad (2)$$

## (2) 클러스터링 기법을 이용한 상대습도 유형 분류

우리나라에서 지역별 상대습도의 시간 변동 특성 유형을 상세히 분석하기 위해 군집화에서 가장

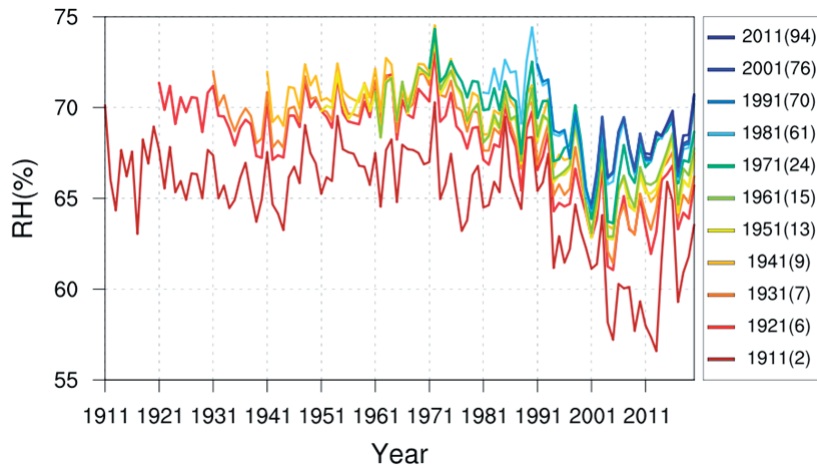
보편적으로 사용되는 알고리즘인 K-means 기법을 이용하여 상대습도의 군집화(Clustering)를 수행하였다(Yoo *et al.*, 2010). 군집화는 기본적으로 입력변수 수와 종류 그리고 군집 수 K에 영향을 받는다. 군집화가 상대습도의 시공간 변동 특성을 적절히 반영할 수 있도록 지난 30년간 연속적으로 관측을 수행하고 있는 67개 지점의 연평균, 계절 평균, 연평균 변동계수, 계절별 변동계수 및 연교차, 등 총 11개 요소를 입력변수로 사용하였다. 군집 개수 선정은 실루엣 기법을 이용하였는데 실루엣 계수(Silhouette coefficient)는 식 (3)과 같다. 실루엣 계수  $s(i)$ 에서  $a(i)$ 는  $i$ 번째 관측점에서 자신이 속한 군집 내 다른 자료들과의 평균 거리(군집내 동질성)를,  $b(i)$ 는  $i$ 번째 관측점에서 가장 가까운 다른 군집의 자료들과의 평균 거리(군집간 이질성)를 가리킨다. 따라서 실루엣  $s(i)$ 는 -1.0~+1.0의 값을 갖게 되며  $s(i)$ 가 클수록 군집화가 적절하게 이루어졌음을 의미하며, 실루엣이 작아질수록 군집화가 적절하게 이루어지지 않았음을 의미한다(Kim *et al.*, 2017b).

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max[a(i), b(i)]} \quad (3)$$

## 3. 연구 결과

### 1) 상대습도의 변화경향과 원인분석

Figure 1은 1911년부터 2020년까지 연속적으로 상대습도를 관측하는 지점들에 대해 연평균의 시계열을 10년 단위로 나타낸 것이다. 1911년부터 110년간 연속적으로 관측을 수행하고 있는 지점은 대구와 부산이며 관측지점 수가 증가됨에 따라 연평균 상대습도는 높아지고 있다. 연평균 상대습도는 관측지점 수에 따라 차이는 있으나 1990년



**Figure 1.** Interannual variation of annual average of relative humidity according to the year when the observation starts. The number in parentheses refers to the number of points at which relative humidity observations have continued since that year.

대 초까지는 큰 변화경향을 보이지 않다가 1990년에서 2000년초 사이에 강한 감소경향을 보인 후 최근까지 낮아진 상대습도를 유지하고 있다. 최근에 설치되는 지점들의 위치가 상대적으로 덜 도시화된 지역에 위치하기 때문에 최근으로 올수록 연평균 상대습도가 높아지고 있다.

1911년부터 연속적으로 상대습도를 관측하고 있는 지점의 수와 그에 대한 연평균 및 변화경향에 대한 결과를 10년 단위로 Table 2에 정리하였다. 여기서 각 연도(예: 1911년)는 해당연도부터 2020년까지 연속적으로 관측한 지점들에 대한 분석을 의미한다. 연속적으로 상대습도를 관측하는 지점 수는 1911년 2개로 시작하여 지속적으로 증가되었으며 1981년과 2011년에는 각각 61개와 94개로 크게 증가되었다. 관측지점 수가 증가됨에 따라 10년 평균 상대습도는 1940년대까지 계속해서 높아졌으나 이후로는 지점 수의 증가에도 불구하고 약 68.33~68.97% 사이의 값을 보이고 있다. 연평균 상대습도는 1990년대 이후 급격히 낮아졌기 때문에 대부분 기간에서 감소경향을 보이는데 특히 경제 성장에 비례하여 도시 집중화가 시작된 1970

년대 이후 감소세가 강하게 나타나고 있다. 최근 20년(2001~2020년)과 10년(2011~2020년)에서 상대습도가 증가경향을 보인 것은 최근에 추가된 관측지점의 위치가 교외, 해안 그리고 섬 같은 비도시인 점이 반영된 것으로 보인다. 1911년부터 1980년대까지 관측을 시작한 지점들의 연평균은 최근으로 올수록 크게 낮아지고 있는 등 관측소 설치 연도(위치, 지점 수)에 따라 연평균 및 변화경향이 다르게 나타나고 있어서 관측자료를 이용한 상대습도의 통계적 특성 분석시 주의가 필요함을 제시한다.

1990년 이후 상대습도가 급격히 낮아지는 원인을 알아보기 위해 최근 30년(1990년 12월~2020년 11월)에 대해 8개 기후요소의 변화경향을 Table 3에 제시하였다. 상대습도는 겨울과 봄에는 강한 감소경향을, 여름과 가을에는 증가경향을 보이는 계절에 따라 매우 다른 변화경향을 보인다. 특히 겨울의 감소경향은 5% 이내에서 유의하다. 기온은 연과 계절에 상관없이 증가경향을 보이고 있으며, 봄에 가장 큰 증가경향을 보인다. 노점온도의 경우도 상대습도와 같이 계절에 따라 변화경향이 상이하게 나타나고 있으나 연평균에서는 증가경향을 보인다.

**Table 2.** Average (upper) and Mann-Kendall trend (lower) of relative humidity according to the starting year of observation.

| Var.            | Year | Year of starting observation (# of station) |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|-----------------|------|---------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|                 |      | 1911 (2)                                    | 1921 (6) | 1931 (7) | 1941 (9) | 1951 (13) | 1961 (15) | 1971 (24) | 1981 (61) | 1991 (70) | 2001 (76) | 2011 (94) |  |
| Avg.<br>(%)     | 1911 | 65.06                                       |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1921 | 64.88                                       | 67.98    |          |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1931 | 64.72                                       | 67.73    | 68.33    |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1941 | 64.63                                       | 67.58    | 68.17    | 69.17    |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1951 | 64.41                                       | 67.35    | 67.96    | 68.95    | 68.47     |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1961 | 64.00                                       | 66.96    | 67.61    | 68.64    | 68.17     | 68.37     |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1971 | 63.39                                       | 66.28    | 66.98    | 68.09    | 67.66     | 67.88     | 68.87     |           |           |           |           |  |
|                 | 1981 | 62.71                                       | 65.45    | 66.08    | 67.24    | 66.82     | 67.06     | 68.12     | 68.97     |           |           |           |  |
|                 | 1991 | 61.54                                       | 64.58    | 65.19    | 66.40    | 66.04     | 66.32     | 67.36     | 68.04     | 68.25     |           |           |  |
|                 | 2001 | 60.48                                       | 64.04    | 64.59    | 65.64    | 65.43     | 65.78     | 66.84     | 67.57     | 67.78     | 67.89     |           |  |
|                 | 2011 | 61.00                                       | 64.48    | 65.30    | 66.14    | 66.12     | 66.58     | 67.71     | 68.07     | 68.24     | 68.34     | 68.53     |  |
| Trd<br>(%/10yr) | 1911 | -0.49***                                    |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1921 | -0.53***                                    | -0.63*** |          |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1931 | -0.67***                                    | -0.73*** | -0.70*** |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1941 | -0.93***                                    | -0.93*** | -0.88*** | -0.83*** |           |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1951 | -1.19***                                    | -1.13*** | -1.10*** | -1.02*** | -0.93***  |           |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1961 | -1.46***                                    | -1.40*** | -1.42*** | -1.32*** | -1.19***  | -1.13***  |           |           |           |           |           |  |
|                 | 1971 | -1.67***                                    | -1.44*** | -1.57*** | -1.53*** | -1.38***  | -1.28***  | -1.16***  |           |           |           |           |  |
|                 | 1981 | -2.12***                                    | -1.14*** | -1.19*** | -1.25*** | -0.99***  | -0.88***  | -0.86***  | -1.21***  |           |           |           |  |
|                 | 1991 | -1.59**                                     | -0.56    | -0.49    | -0.76    | -0.35     | -0.22     | -0.07     | -0.31     | -1.21***  |           |           |  |
|                 | 2001 | 0.81                                        | 1.08     | 1.48**   | 1.23**   | 1.50**    | 1.62***   | 1.78***   | 1.39**    | -0.31     | -0.30     |           |  |
|                 | 2011 | 6.77                                        | 2.78     | 2.26     | 2.01     | 1.17      | 1.63      | 2.01      | 2.57      | 2.78      | 2.82      | 3.12      |  |

\*\*\*, \*\*, and \* indicate the significance level, 1, 5 and 10%, respectively.

습수는 겨울과 봄에 큰 증가경향을 보이는데 이는 기온과 노점온도의 차이가 커짐을 뜻하며, 결과적으로 상대습도가 감소경향을 보이게 되었다. 1990년대 이후 상대습도가 낮아진 것은 특히 겨울과 봄에 상대습도가 낮아진 것과 관련된 것으로 판단되며 겨울에는 노점온도의 감소가, 봄에는 기온의 강한 상승이 주원인으로 보인다. 재미있는 점은 강수량과 강수일수가 증가되고 있는 겨울에는 상대습도가 낮아지고 있는 반면, 강수량이 감소되는 여름에는 상대습도가 높아지는 경향을 보이는 점이다. 겨울철의 경우 강수량과 강수일수가 증가 경향을 보임에도 불구하고 노점온도 하강이 강하게 발생함에 따라 전체적으로는 상대습도가 감소 경향을 보이는 것으로 추정된다. 반면 여름철의 경우 강수량이 감

소되고 있음에도 상대습도가 증가경향을 보이는 것은 강수일수 증가와 관련이 있는 것으로 보인다. 강수특성 변화 경향과 상대습도 변화 경향이 계절에 따라 다르게 나타나는 메카니즘에 대해서는 심도있는 연구가 필요하다.

Table 4는 상대습도와 나머지 7개 기후요소 간의 상관계수를 나타낸 것이다. 상대습도와 기후요소 사이의 관계는 강수일수와 습수를 제외하면 계절에 따라 큰 차이를 보인다. 기온의 경우 겨울과 가을에는 약한 양의 상관성을 보이나 여름에는 음의 상관관계를 보인다. 기온과의 상관계수가 가을과 겨울에 양으로 나타난 것은 기온이 높을 때 상대습도도 높아졌음을 의미한다. 반면에 노점온도의 경우 여름을 제외한 다른 계절에서는 0.70 이상의 양의 상

**Table 3.** Mann-Kendall trends of 8 climate elements for the 30 years (1990.12-2020.11) (n\_pr: number of precipitation days).

| Variable    | DJF     | MAM     | JJA     | SON     | Ann.    |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| RH (%)      | -2.11** | -1.21   | 0.32    | 0.62    | -0.30   |
| T (°C)      | 0.03    | 0.48**  | 0.43**  | 0.34**  | 0.32*** |
| Td (°C)     | -0.50   | -0.02   | 0.43**  | 0.42**  | 0.11    |
| Tmin (°C)   | 0.10    | 0.44**  | 0.42*** | 0.58*** | 0.39*** |
| Tmax (°C)   | -0.11   | 0.48**  | 0.43*   | 0.10    | 0.24*   |
| prcp (mm/d) | 8.20    | -1.83   | -50.02  | 35.73*  | 15.50   |
| n_pr (day)  | 0.45    | 0.04    | 1.27    | 2.12**  | 2.20    |
| T-Td (°C)   | 0.52*** | 0.53*** | 0.08    | -0.06   | 0.24**  |

\*\*\*, \*\* and \* indicate the significance level, 1, 5 and 10%, respectively.

**Table 4.** Pearson's correlation coefficient between RH and 7 climate elements.

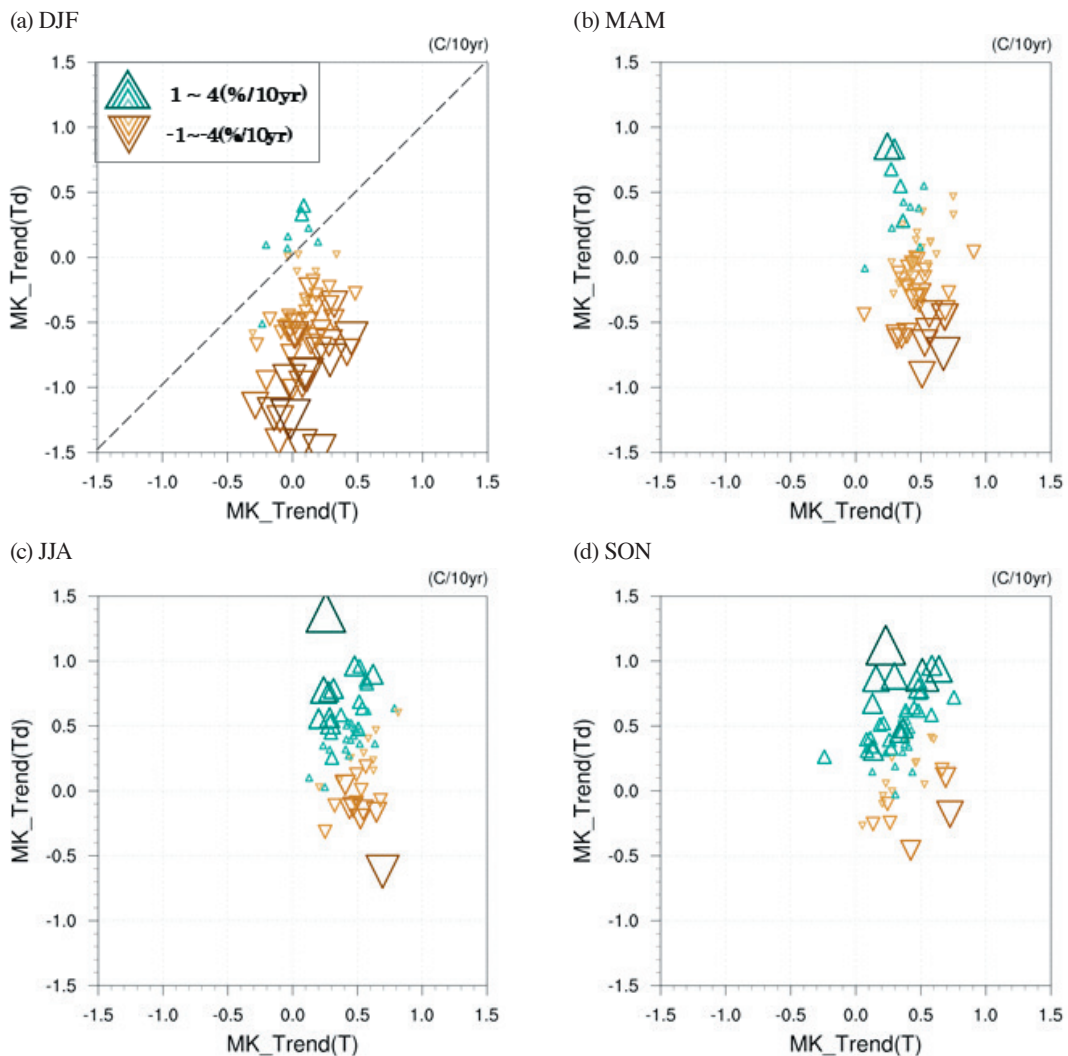
| Variables  | DJF      | MAM      | JJA      | SON      | Ann.     |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| T (°C)     | 0.35*    | -0.05    | -0.32*   | 0.33*    | -0.05    |
| Td (°C)    | 0.79***  | 0.75***  | 0.28     | 0.71***  | 0.70***  |
| Tmin (°C)  | 0.40**   | 0.16     | -0.11    | 0.43**   | 0.06     |
| Tmax (°C)  | 0.33*    | -0.19    | -0.45**  | 0.10     | -0.15    |
| prcp (mm)  | 0.47***  | 0.61***  | 0.34*    | 0.46**   | 0.12     |
| n_pr (day) | 0.50***  | 0.53***  | 0.59***  | 0.54***  | 0.24     |
| T-Td (°C)  | -0.99*** | -0.96*** | -0.95*** | -0.96*** | -0.95*** |

\*\*\*, \*\* and \* indicate the significance level, 1, 5 and 10%, respectively.

관관계를 보여 상대습도의 변화경향이 온도보다는 노점온도의 변화에 더 큰 영향을 받음을 제시한다. 또한 강수량 및 강수일수와도 모든 계절에서 양의 값을 보인다. 상대습도 변화에 가장 큰 영향을 주는 습수와는 모든 계절에서  $-0.95$ 의 큰 음의 상관성을 보인다.

수식 (2)와 상관관계 분석을 토대로 지난 30년간 (1990년 12월~2020년 11월) 연속적으로 관측을 수행한 67개 지점을 대상으로 기온 및 노점온도의 변

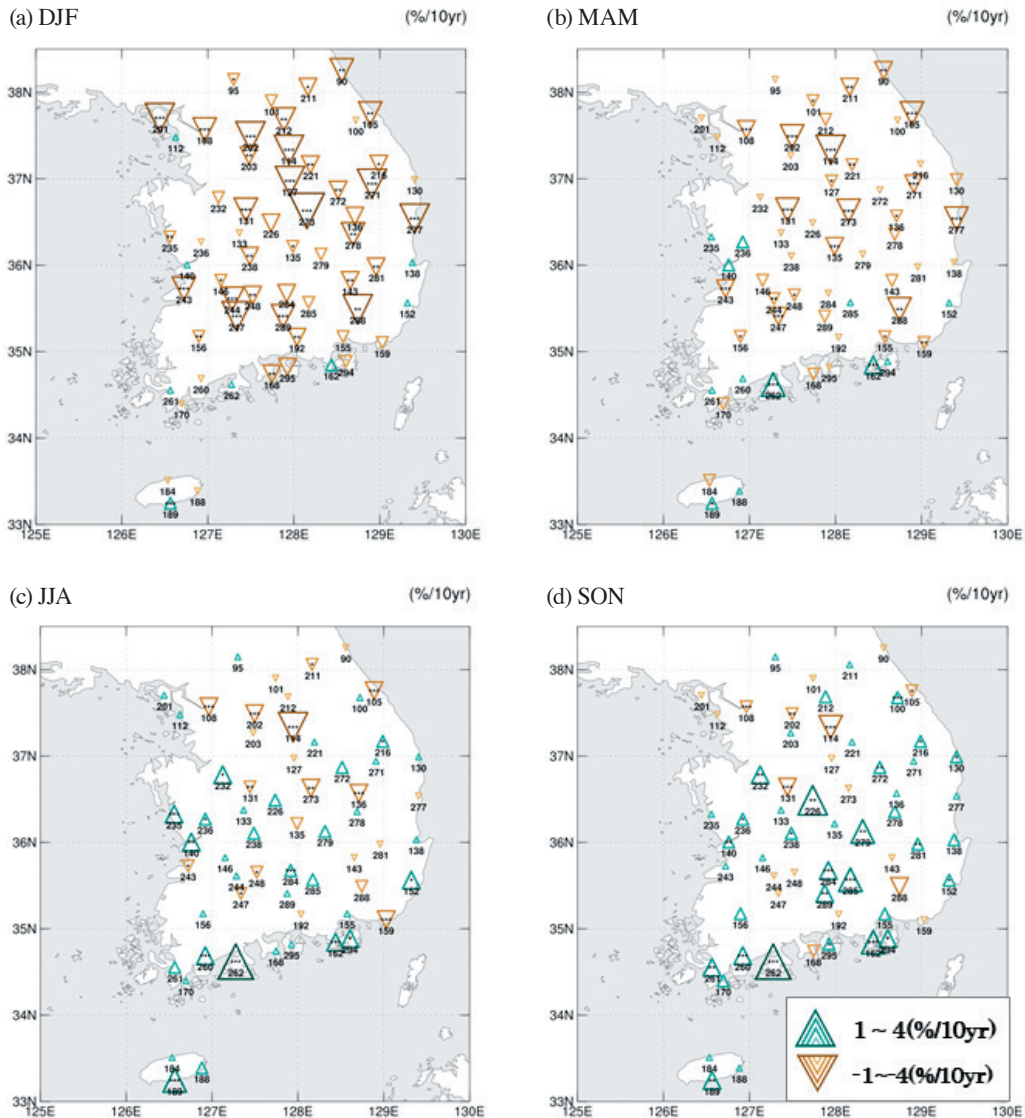
화경향에 의한 상대습도의 변화경향을 Figure 2에 나타내었다. 전반적으로 노점온도가 증가경향을 보이는 지점은 상대습도도 증가경향을 보인다. 지구온난화의 영향으로 계절평균 대부분에서 기온은 증가경향을 보인다. 반면에 노점온도의 변화경향은 계절에 따라 큰 차이를 보인다. 특히, 겨울과 봄에는 대부분 지점에서 감소경향을, 여름과 가을에는 증가경향을 보임에 따라 상대습도의 변화경향이 계절에 따라 매우 상이하게 나타남을 알 수 있다.



**Figure 2.** Bubble charts for trend of relative humidity based on the trends of temperature and dew point temperature for the 30 years (1990.12-2020.11).

상대습도 변화경향이 계절에 따라 다른 점은 공간 분포(Figure 3)에서도 뚜렷하게 나타난다. 겨울과 봄에는 남서 해안가 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 상대습도가 낮아지고 있으며 특히 겨울철 내륙지역에서 감소경향이 강하게 발생하고 있다. 반면에 여름과 가을에는 내륙 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 상대습도가 높아지고 있다.

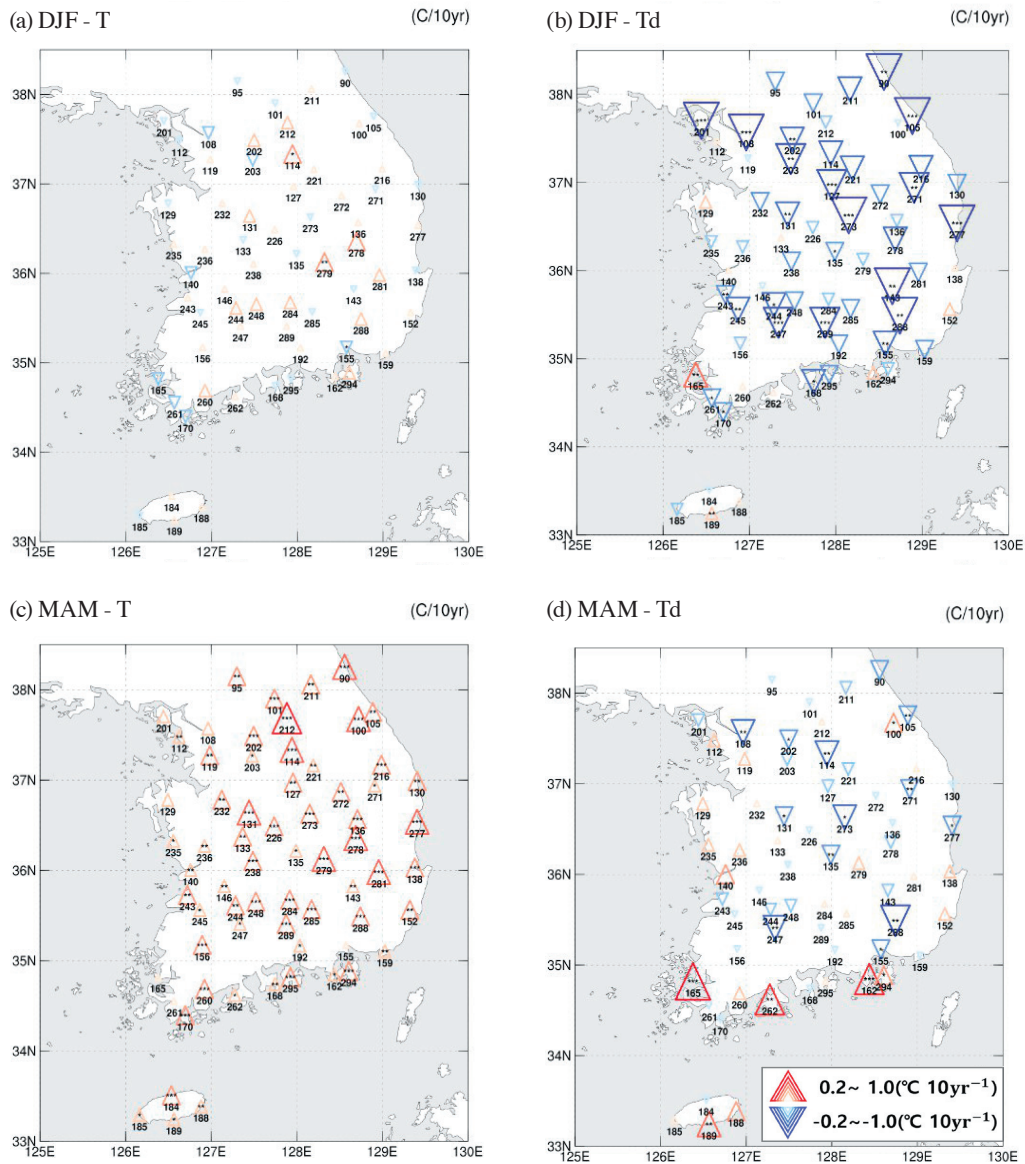
계절별 기온과 노점온도의 변화경향을 Figure 4에 나타내었다. 겨울철의 경우 기온의 증가경향은 매우 약한 데 비해 노점온도는 남서 해안 일부를 제외한 대부분 지역에서 매우 강하게 감소되고 있다. 봄에는 대부분 지역에서 기온은 강한 증가경향을 보이나 노점온도는 남해안 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 감소경향을 보인다. 즉, 겨울과 봄에



**Figure 3.** Spatial distribution of Mann-Kendall trend of RH at 67 stations for the 30 years (1990.12-2020.11). The numbers in the map indicate the station number.

상대습도가 감소경향을 보인 것은 노점온도와 기온의 강한 감소와 증가에 의한 것임을 알 수 있다. 최근 봄에 산불 발생빈도가 증가되고 있는 점도 겨울과 봄에 상대습도가 이렇게 현저히 낮아지는 점과 관련이 있는 것으로 보인다(Jeong *et al.*, 2018). 겨울과 봄에 남해안 지역에서 상대습도가 증가경향을

보인 지점에서는 기온의 증가경향보다 노점온도의 증가경향이 매우 강함을 볼 수 있다. 여름과 가을에는 기온 및 노점온도가 대부분 지역에서 증가경향을 보이고 있는데 기온보다 노점온도의 증가경향이 강한 남부지역에서는 상대습도가 높아지고 있으나 기온의 증가경향이 강하게 발생하고 있는 경기 등



**Figure 4.** Spatial distribution of Mann-Kendall trend for temperature (left side) and dewpoint temperature (right side) at 67 stations for 30 years (1990.12-2020.11).

일부 내륙지역에서는 상대습도가 감소경향을 보인다. 여름과 가을에 기온과 함께 노점온도가 높아지고 있는 점은 하층대기 내 수증기량의 증가를 의미하며 이는 최근 단시간에 발생하는 극한 강우강도가 강해지고 있는 현상과 관계가 있는 것으로 보인다(Min *et al.*, 2015; Park and Suh, 2022).

## 2) 클러스터링 기법을 이용한 상대습도 유형 분류

### (1) 적정 군집 수 결정

군집화에서 중요한 것 중 하나가 적정 군집 수(K)를 정하는 것인데 여기서는 실루엣 계수를 이용하였다. Figure 5에서 보는 바와 같이 군집 수가 증가할수록 실루엣 계수 값이 감소하다가 6에서 다시

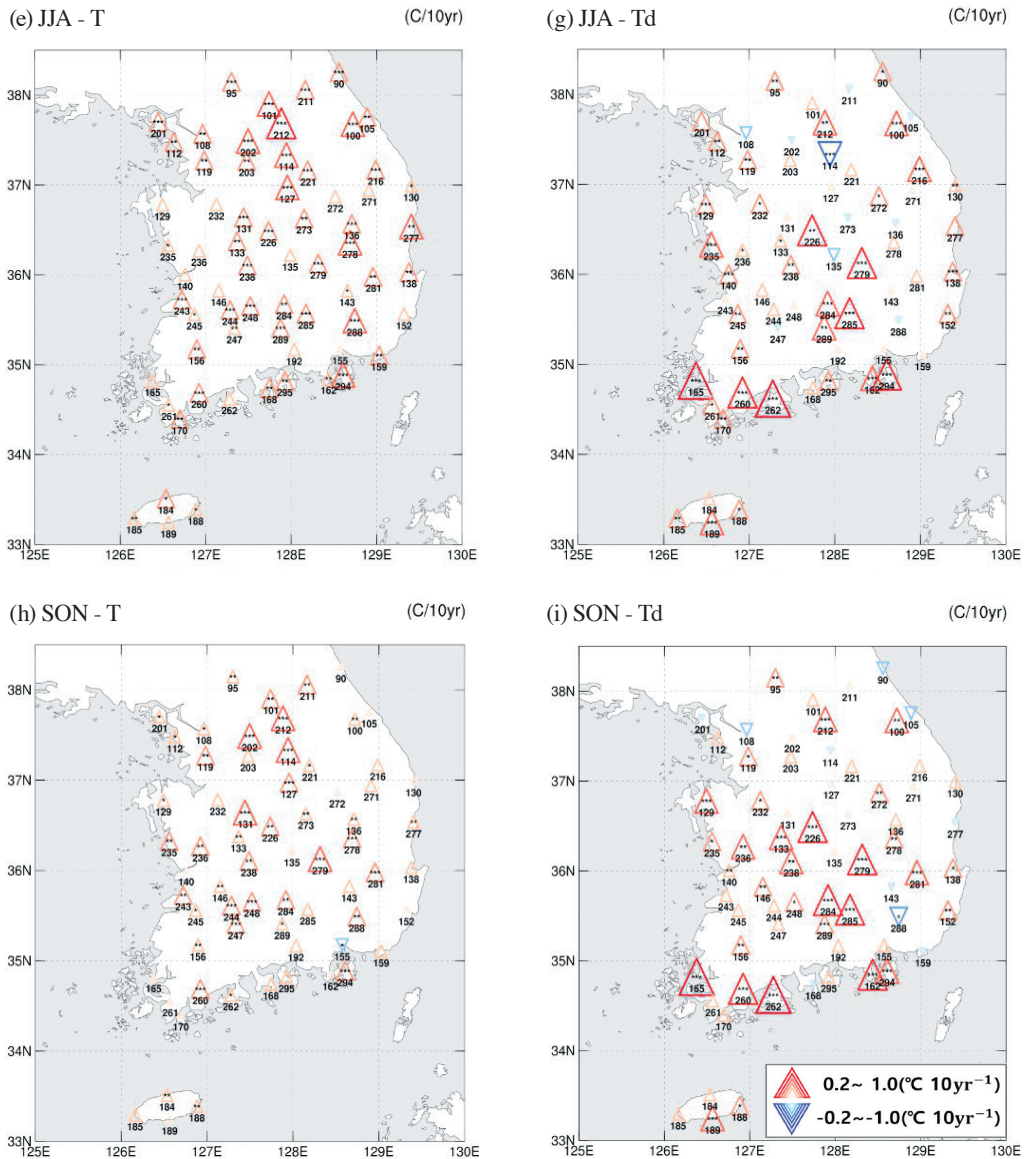


Figure 4. Continued.

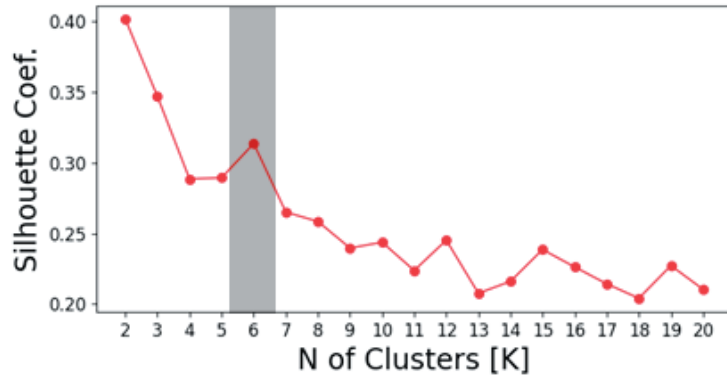


Figure 5. Methods for determining the appropriate number of clustering.

증가하고 있어 K를 6으로 하였다. 지난 30년간 연속적으로 상대습도를 관측 중인 67개 지점에 K-means 기법을 적용한 결과 가장 많은 지점이 할당된 군집 4와 가장 적은 지점이 할당된 군집 6에는 각각 19개와 2개 지점이 할당되었다.

## (2) 군집별 공간 분포

Figure 6은 각 군집의 공간 분포를 나타낸 것이고, Table 5는 군집화에 사용된 입력변수들의 군집별 연평균(annual average: a), 변동계수(coefficient of variance: v) 그리고 연교차(range: r)를 나타낸 것이다. 군집 1은 주로 경상도와 강원남부 내륙지역으로 봄 및 연평균은 낮고 변동계수와 연교차는 중간이다(LaMvMr). 군집 2는 호남·충남 해안가 지역에 해당하며, 연·계절에 상관없이 상대습도의 평균이 가장 높고, 변동성과 연교차가 가장 작다(HaLvLr). 군집 3의 경우, 동해안에서부터 남해안에 이르는 해안가에 위치하며 겨울 평균이 50.34%로 가장 낮고, 전 계절에서 변동성이 가장 클 뿐만 아니라 연교차도 매우 큰(37.7%) 특징을 갖는다(LaHvHr). 군집 4는 전북에서 강원 북부에 이르는 내륙지역으로 가장 많은 지점이 넓게 분포하고 있다. 겨울과 가을의 평균은 높은 편이며 변동성과 연교차는 작은 편이다(MaLvLr). 군집 5는 도서와 해

안가 지역에 해당하며 봄, 여름, 연평균이 높은 편이나 변동계수와 연교차는 중간 크기이다(MaMvMr). 마지막으로 군집 6은 도시(서울, 대구)이며 겨울을 제외한 다른 계절에서 가장 낮고 겨울과 여름의 변동성이 큰 편이다(LaHvMr). 계절평균 및 변동계수 모두 군집간 차이가 겨울(여름)에 가장 큰(작은) 점은 우리나라에서 겨울(여름)에 상대습도의 시공간 변동성이 가장 큼(작음)을 제시한다.

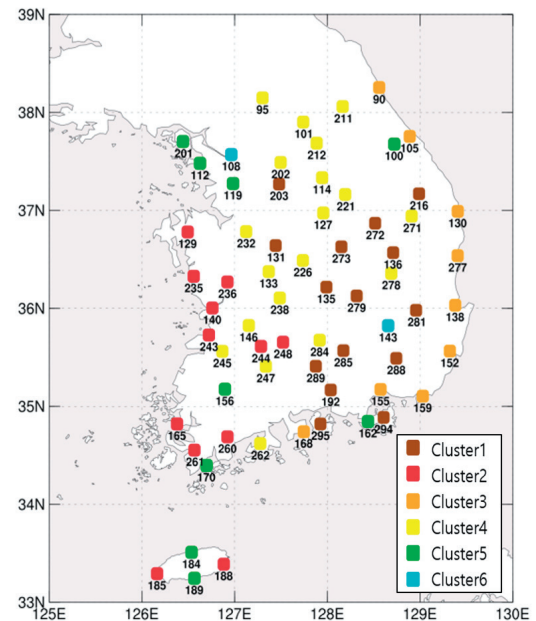


Figure 6. Spatial distribution of clustering results for 67 stations.

**Table 5.** Average and coefficient of variance (CV) of relative humidity (RH) according to the cluster. Range stands for the differences between monthly maximum and minimum RH.

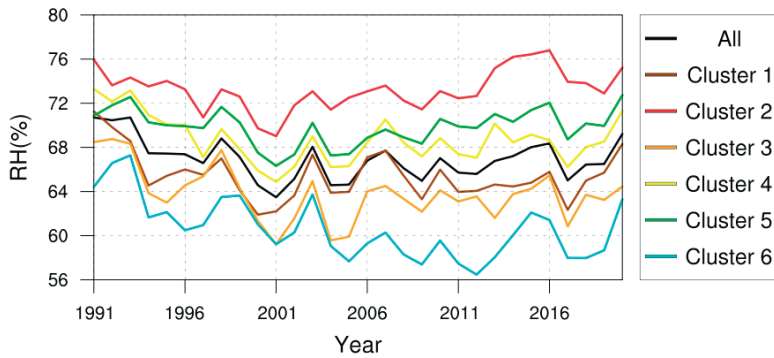
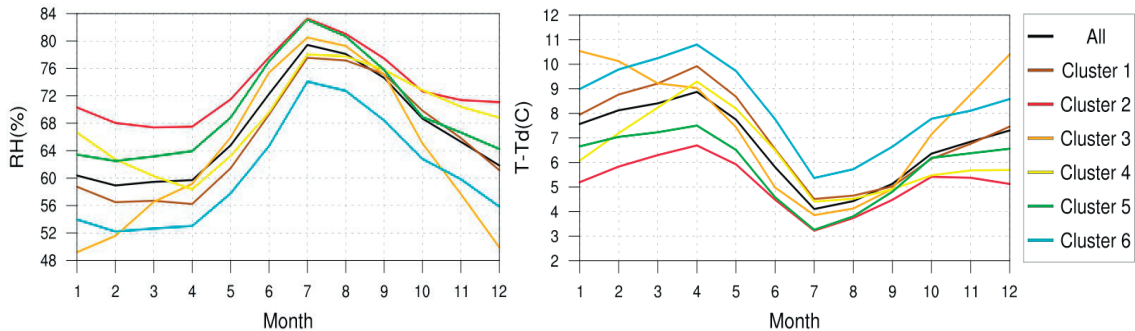
| Cluster  | Avg. (%) |       |       |       |       | CV (%) |       |       |       |       | Range (%) |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|          | DJF      | MAM   | JJA   | SON   | Ann.  | DJF    | MAM   | JJA   | SON   | Ann.  |           |
| 1:LaMvMr | 58.92    | 58.12 | 74.65 | 70.27 | 65.46 | 21.86  | 23.62 | 11.09 | 13.77 | 17.52 | 28.59     |
| 2:HaLvLr | 69.88    | 68.79 | 80.63 | 73.82 | 73.26 | 13.67  | 16.70 | 8.34  | 11.35 | 12.49 | 20.91     |
| 3:LaHvHr | 50.34    | 60.53 | 78.38 | 65.94 | 63.77 | 31.01  | 28.33 | 12.45 | 18.95 | 22.58 | 37.69     |
| 4:MaLvLr | 66.15    | 60.63 | 75.12 | 73.00 | 68.71 | 16.40  | 19.57 | 10.31 | 11.36 | 14.34 | 24.67     |
| 5:MaMvMr | 63.43    | 65.31 | 80.27 | 70.44 | 69.85 | 19.06  | 21.79 | 10.54 | 15.17 | 16.60 | 26.31     |
| 6:LaHvMr | 54.10    | 54.48 | 70.49 | 63.68 | 60.67 | 24.66  | 27.13 | 14.73 | 17.90 | 20.99 | 27.81     |

### (3) 군집별 변동 특성

K-means 기법은 군집 간의 분산을 최대로 하고 군집 내의 분산은 최소로 하는 방향으로 진행된다. 지난 30년간의 연평균과 경년 변동성에서 군집들간 차이가 큰 것을 알 수 있다(Figure 7). 가장 높은 연평균을 보이는 것은 군집 2이며, 가장 낮은 값을 보

이는 것은 군집 6으로 각각 호남과 대도시에 위치한다. 2000년대에 접어들면서 군집 2의 상대습도는 높아졌으나 군집 6에서는 낮아지면서 점차 지역 간 편차가 커졌으나 최근에는 두 군집 간의 차이가 줄어들고 있다.

문순기후의 영향으로 모든 군집에서 상대습도의

**Figure 7.** Interannual variation of annual average of relative humidity according to the cluster.**Figure 8.** Seasonal variation of (a) relative humidity and (b) depression of the dew point according to the cluster.

계절변동이 강하게 발생하고 있다(Figure 8). 모든 군집에서 장마철에 해당하는 7월에 상대습도가 가장 높다. 하지만 상대습도가 가장 낮은 달은 1월부터 4월까지로 군집마다 다르게 나타나고 있다. 또한

1월(겨울)에 군집 간 상대습도 차가 최대를 보인 후 여름 몬순 강수의 영향을 받는 7월(여름)이 다가올수록 그 차이가 작아지는 것을 알 수 있다. 결과적으로 계절 변동폭이 군집에 따라 차이가 큰 것을 알 수

**Table 6.** Mann-Kendall trends of seasonally averaged 8 climate elements according to the cluster (n\_pr: number of precipitation days).

| Season | Variables   | Cluster1 | Cluster2 | Cluster3 | Cluster4 | Cluster5 | Cluster6 | All     |
|--------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| DJF    | RH (%)      | -2.92*** | -0.77    | -1.94*   | -2.60**  | -0.87    | -2.98*** | -2.11** |
|        | T (°C)      | 0.09     | 0.02     | -0.07    | 0.12     | -0.01    | -0.17    | 0.03    |
|        | Td (°C)     | -0.69*   | -0.23    | -0.75*   | -0.55    | -0.20    | -1.00**  | -0.50   |
|        | Tmin (°C)   | 0.20     | 0.05     | 0.01     | 0.24     | -0.08    | -0.16    | 0.10    |
|        | Tmax (°C)   | -0.07    | -0.20    | -0.18    | -0.10    | -0.05    | -0.19**  | -0.11   |
|        | prcp (mm/d) | 6.89     | 11.63    | 5.50     | 3.15     | 12.53    | 3.60     | 8.20    |
|        | n_pr (day)  | 0.78     | 0.93     | 0.74     | -0.53    | -0.21    | 0.29     | 0.45    |
|        | T-Td (°C)   | 0.78***  | 0.17     | 0.67**   | 0.62***  | 0.20     | 0.87***  | 0.52*** |
| JJA    | RH (%)      | -0.20    | 1.46**   | -0.13    | 0.32     | 0.62     | -1.76*** | 0.32    |
|        | T (°C)      | 0.48     | 0.37     | 0.41     | 0.44     | 0.39     | 0.41     | 0.43**  |
|        | Td (°C)     | 0.33**   | 0.56**   | 0.28**   | 0.43***  | 0.49**   | -0.08**  | 0.43**  |
|        | Tmin (°C)   | 0.46*    | 0.41***  | 0.41     | 0.54**   | 0.43***  | 0.37     | 0.42*** |
|        | Tmax (°C)   | 0.54     | 0.37**   | 0.51     | 0.35     | 0.43     | 0.54***  | 0.43*   |
|        | prcp (mm/d) | -53.36   | -23.33   | -41.61   | -26.22   | -46.08   | -39.6    | -50.02  |
|        | n_pr (day)  | 1.21     | 1.59     | -0.3     | 2.05     | -1.00    | 0.62     | 1.27    |
|        | T-Td (°C)   | 0.24     | -0.18    | 0.16     | 0.12     | -0.02    | 0.56***  | 0.08    |
| SON    | RH (%)      | 0.94     | 1.34**   | -0.22    | 0.64     | 0.68     | -1.11    | 0.62    |
|        | T (°C)      | 0.34**   | 0.34**   | 0.15     | 0.49**   | 0.27*    | 0.25     | 0.34**  |
|        | Td (°C)     | 0.48**   | 0.51**   | 0.04     | 0.45**   | 0.33*    | -0.11    | 0.42**  |
|        | Tmin (°C)   | 0.63**   | 0.62***  | 0.32*    | 0.71**   | 0.35***  | 0.25*    | 0.58*** |
|        | Tmax (°C)   | 0.06     | 0.12     | -0.02    | 0.14     | 0.17     | 0.18     | 0.10    |
|        | prcp (mm/d) | 41.16*   | 39.33*   | 59.71*   | 12.06    | 43.16*   | 18.90    | 35.73*  |
|        | n_pr (day)  | 2.59**   | 2.40**   | 2.08**   | 1.89*    | 1.69**   | 0.36     | 2.12**  |
|        | T-Td (°C)   | -0.10    | -0.21**  | 0.11     | -0.06    | -0.08    | 0.37     | -0.06   |
| MAM    | RH (%)      | -1.61*   | 0.11     | -1.84**  | -1.65**  | -0.52    | -2.17**  | -1.21   |
|        | T (°C)      | 0.51***  | 0.32**   | 0.44**   | 0.51***  | 0.45**   | 0.38     | 0.48**  |
|        | Td (°C)     | -0.17    | 0.18     | -0.16    | -0.14    | 0.21     | -0.39    | -0.02   |
|        | Tmin (°C)   | 0.51***  | 0.25     | 0.35**   | 0.49**   | 0.32**   | 0.26     | 0.44**  |
|        | Tmax (°C)   | 0.53     | 0.39     | 0.51     | 0.42     | 0.56     | 0.44     | 0.48**  |
|        | prcp (mm/d) | 1.19     | 6.43     | -4.44    | -10.24   | -3.24    | -15.83   | -1.83   |
|        | n_pr (day)  | 0.50     | 0.46     | -0.25    | 0.73     | -0.86    | 0.00     | 0.04    |
|        | T-Td (°C)   | 0.73**   | 0.16     | 0.62**   | 0.69***  | 0.26*    | 0.87***  | 0.53*** |

\*\*\*, \*\* and \* indicate the significance level, 1, 5 and 10%, respectively.

있으며 특히 군집 3에서 연교차가 최대로 나타나고 있다. 군집별 상대습도의 계절변동 패턴은 주로 습도의 계절변동 패턴에 영향을 받음을 볼 수 있다.

#### (4) 군집별 계절 평균의 변화경향

Table 5에서와 같이 군집별 겨울과 봄 평균의 변화경향을 Table 6에 나타내었다. 겨울에는 모든 군집에서 상대습도가 감소되고 있는데 감소강도는 군

집에 따라 약 3배의 차이를 보인다. 상대습도의 감소경향이 큰 군집 6과 1의 경우 습수의 증가경향이 큰 편이다. 기온과 최고 기온이 가장 큰 증가경향을 보인 봄에는 상대습도의 감소경향도 클 뿐만 아니라 군집간의 차이도 크다. 군집에 따라 차이는 있지만 평균적으로 노점온도와 강수량도 감소경향을 보인다. 상대습도가 감소경향을 보인 군집 3은 노점온도, 강수량, 강수일수 모두 감소경향을 보인다. 군집

**Table 7.** Pearson's correlation coefficient between RH and the other 7 climate elements for winter and spring according to the cluster (n\_pr: number of precipitation days).

| Season | Variables  | Cluster 1 | Cluster 2 | Cluster 3 | Cluster 4 | Cluster 5 | Cluster 6 | All   |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| DJF    | T (°C)     | 0.34      | 0.26      | 0.37      | 0.25      | 0.30      | 0.37      | 0.35  |
|        | Td (°C)    | 0.85      | 0.65      | 0.87      | 0.75      | 0.70      | 0.85      | 0.79  |
|        | Tmin (°C)  | 0.40      | 0.30      | 0.39      | 0.31      | 0.35      | 0.38      | 0.40  |
|        | Tmax (°C)  | 0.31      | 0.21      | 0.37      | 0.25      | 0.23      | 0.34      | 0.33  |
|        | prcp (mm)  | 0.44      | 0.35      | 0.67      | 0.36      | 0.54      | 0.51      | 0.47  |
|        | n_pr (day) | 0.50      | 0.39      | 0.65      | 0.49      | 0.32      | 0.46      | 0.50  |
|        | T-Td (°C)  | -0.99     | -0.99     | -1.00     | -0.99     | -0.99     | -1.00     | -0.99 |
| JJA    | T (°C)     | -0.40     | -0.06     | -0.55     | -0.19     | -0.18     | -0.75     | -0.32 |
|        | Td (°C)    | 0.34      | 0.55      | 0.00      | 0.49      | 0.32      | 0.09      | 0.28  |
|        | Tmin (°C)  | -0.15     | 0.17      | -0.43     | 0.02      | -0.06     | -0.71     | -0.11 |
|        | Tmax (°C)  | -0.53     | -0.22     | -0.64     | -0.35     | -0.32     | -0.74     | -0.45 |
|        | prcp (mm)  | 0.51      | 0.03      | 0.54      | 0.23      | 0.17      | 0.36      | 0.34  |
|        | n_pr (day) | 0.62      | 0.46      | 0.64      | 0.48      | 0.32      | 0.42      | 0.59  |
|        | T-Td (°C)  | -0.96     | -0.97     | -0.98     | -0.94     | -0.97     | -0.99     | -0.95 |
| SON    | T (°C)     | 0.30      | 0.34      | 0.33      | 0.15      | 0.36      | -0.06     | 0.33  |
|        | Td (°C)    | 0.73      | 0.74      | 0.84      | 0.59      | 0.76      | 0.75      | 0.71  |
|        | Tmin (°C)  | 0.47      | 0.46      | 0.4       | 0.24      | 0.43      | -0.01     | 0.43  |
|        | Tmax (°C)  | -0.03     | 0.09      | 0.19      | -0.02     | 0.18      | -0.07     | 0.10  |
|        | prcp (mm)  | 0.47      | 0.42      | 0.45      | 0.29      | 0.42      | 0.28      | 0.46  |
|        | n_pr (day) | 0.56      | 0.57      | 0.53      | 0.42      | 0.49      | 0.43      | 0.54  |
|        | T-Td (°C)  | -0.96     | -0.97     | -0.98     | -0.95     | -0.98     | -0.98     | -0.96 |
| MAM    | T (°C)     | -0.19     | 0.40      | -0.26     | -0.16     | 0.04      | -0.10     | -0.05 |
|        | Td (°C)    | 0.81      | 0.80      | 0.78      | 0.71      | 0.71      | 0.83      | 0.75  |
|        | Tmin (°C)  | 0.09      | 0.49      | -0.11     | 0.01      | 0.19      | -0.11     | 0.16  |
|        | Tmax (°C)  | -0.33     | 0.26      | -0.42     | -0.22     | -0.12     | -0.08     | -0.19 |
|        | prcp (mm)  | 0.53      | 0.68      | 0.62      | 0.47      | 0.57      | 0.53      | 0.61  |
|        | n_pr (day) | 0.52      | 0.51      | 0.60      | 0.36      | 0.39      | 0.31      | 0.53  |
|        | T-Td (°C)  | -0.96     | -0.94     | -0.99     | -0.95     | -0.97     | -0.99     | -0.96 |

6에서는 노점온도와 강수량이 가장 큰 감소경향을 보인 결과 상대습도도 가장 크게 낮아지고 있다.

여름에는 강수량이 대부분의 군집에서 큰 감소경향을 보이고 있다. 강수량의 큰 감소경향에도 불구하고 상대습도는 군집 6과 1을 제외한 군집들에서 증가경향을 보인다. 강수량이 감소되고 기온이 상승되었음에도 상대습도가 증가경향을 보인 것은 상대적으로 노점온도가 더 강하게 상승된 결과로 보인다. 여름과 달리 가을에는 강수량과 강수일수 모두 증가경향을 보인다. 또한 습수의 경우 계절 평균 중 유일하게 감소경향을 보임에 따라 상대습도의 증가경향이 가장 큰 값을 보인다. 하지만 군집 3과 6에서는 가을에도 감소경향이 나타나 계절에 상관없이 상대습도가 낮아지고 있다.

#### (5) 군집별 기후요소와의 상관성 분석

상대습도와 기온과의 상관성은 계절 및 군집에 따라 큰 차이를 보인다. 봄과 여름에는 음의 상관관계를 보이지만 가을과 겨울에는 양의 상관성을 보인다. 상대습도는 계절 및 군집에 상관없이 노점온도와는 양의 상관관계를 보이거나 상관성은 주로 겨울과 봄에 높고 군집간의 차이는 작으나 가을과 여름에는 상관성이 낮을 뿐만 아니라 군집간의 차이도 크다. 상대습도와 일최고 및 최저 기온과의 관계도 기온과 유사하게 계절 및 군집에 따라 큰 차이를 보인다. 강수량과 강수일수는 군집에 따라 차이는 있으나 전 계절에서 상대습도와 상대적으로 높은 양의 상관성을 보인다. 상대습도와 가장 밀접하게 관련된 습수와는 계절 및 군집에 관계없이  $-0.94$  이상의 매우 높은 음의 상관성을 보인다. 계절 및 군집에 따라 차이는 있으나 강수와 강수일수는 모든 계절 및 군집에서 양의 영향을 주고 있으나 노점온도와 기온의 영향은 계절 및 군집에 따라 상이하다. 노점온도는 여름을 제외한 전 계절에서 군집에 관계없이 큰 양의 영향을 미치나 기온의 경우 겨울과 여

름에 각각 양과 음의 상관성을 보이는 등 계절 및 군집에 따라 영향 정도가 큰 차이를 보인다(Table 7).

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 장기간(110년: 1911~2020)의 기상청 관측 상대습도 자료를 이용하여 우리나라에서 상대습도의 계절별 변동 특성, 장기 변화경향 및 다른 기후요소들과의 상관관계를 분석하였다. 또한 67개 지점에서의 최근 30년(1991~2020년) 관측 상대습도의 연평균, 연교차 등 통계적 특성에 K-means 기법을 적용하여 지역별 상대습도 유형을 군집화하였다.

우리나라에서 상대습도를 관측하는 지점 수는 1911년대에는 2개이었으나 경제성장과 함께 지속적으로 늘어나 2011년 이후에는 94개 지점으로 확대되었다. 연도별 관측지점 수가 최근으로 올수록 많아짐에 따라 남한 전체 연평균 상대습도가 지속적으로 높게(61.0%에서 68.53%) 나타나고 있는데 이것은 최근에 추가된 관측지점의 위치가 교외, 해안 그리고 섬 같은 비도시인 점이 반영된 것으로 보인다. 또한 1940년 이전에 설치된 지점들에서는 기후변화와 도시화의 영향으로 연평균 상대습도가  $-4\sim-3\%$  정도 낮아졌으나 1950년대 이후에 설치된 지점들을 포함할 경우 상대습도의 감소폭은 약  $-2\sim-1\%$ 로 현저히 줄어든다. 관측지점 수 변화에 관계없이 상대습도는 1990년대부터 2000년 사이 10년간 급격히 낮아졌다가 최근에는 완만한 증가경향을 보인다.

최근 30년(1990년 12월~2020년 11월) 계절평균 상대습도는 겨울과 봄에는 감소경향을, 여름과 가을에는 증가경향을 보인다. 계절별 상대습도의 변화경향이 상반됨에 따라 대부분 지역에서 상대습도의 연 변동폭이 증가되고 있다. 계절평균 상대습

도의 상반된 변화패턴은 겨울과 봄의 건조화는 가속시키고 여름은 다습하게 함에 따라 산불/가뭄 발생빈도와 폭염/극한강우의 강도 강화를 유발할 것으로 보인다(Kim *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2014; Won *et al.*, 2016; Jeong *et al.*, 2018; Park and Suh, 2022). 기온은 모든 계절 및 대부분 지역에서 증가경향을 보이며, 그 증가경향은 봄에 가장 크다. 노점온도의 경우 계절 및 지리적 위치에 관계없이 상대습도의 변화경향과 유사하다. 겨울과 봄의 습수의 강한 증가경향이 상대습도의 감소를 유발한 것으로 보인다. 1990년대 이후 상대습도가 감소된 것은 특히 겨울과 봄에 상대습도가 감소된 것과 관련된 것으로 겨울에는 노점온도의 감소가, 봄에는 기온의 강한 상승과 노점온도의 감소가 복합적으로 작용한 것으로 보인다. 상대습도는 모든 계절에서 노점온도, 강수량 및 강수일수와는 양의 상관성을 보이거나 습수와는 강한 음의 상관성을 보인다. 하지만 기온과는 상관성이 높지 않을 뿐만 아니라 계절에 따라 상이(겨울: 양, 여름: 음의 상관성)한 상관성을 보인다.

상대습도의 연, 계절평균, 연, 계절별 변동계수 그리고 연교차 등 총 11개 입력변수에 K-means 방법을 적용하여 남한 지역 67개 관측지점을 6개로 군집화하였다. 군집 1은 경상도와 강원 남부 내륙 지역, 군집 2는 호남·충남 해안가 지역, 군집 3은 동해안에서 남해안 지역, 군집 4는 충북과 경기, 강원 북부 내륙 지역, 군집 5는 인천, 제주, 남해안 일부 지역, 그리고 군집 6은 도시(서울, 대구)에 위치하였다. 6개 군집의 지난 30년간의 연평균과 경년 변동성에서 군집들 간 차이가 컸으며 월평균의 경우, 모든 군집에서 7월의 상대습도가 가장 높았다. 하지만 상대습도가 가장 낮은 달은 1월부터 4월까지 군집마다 다르게 나타나고 있다. 군집간 상대습도의 계절평균 및 변동계수의 차이가 겨울(여름)에 가장 큰 (작은) 점은 겨울(여름)에 상대습도의 시공간 변동

성이 가장 큼(작음)을 제시한다.

상대습도의 변화경향은 겨울에 군집 6과 2에서 각각  $-2.98\%/10\text{yr}$ 와  $-0.77\%/10\text{yr}$ 로 군집에 따라서도 차이가 크게 발생하고 있다. 군집 6의 경우 전 계절에서 상대습도가 감소경향을 보이는 반면 군집 2는 겨울을 제외한 계절에서는 증가경향을 보인다. 기온 등 다른 기후요소들의 변화경향도 크기의 차이는 있으나 대부분의 기후요소들의 변화경향이 계절뿐만 아니라 군집에 따라서도 큰 차이를 보인다. 상대습도는 노점온도, 강수일수 및 강수량과는 계절 및 군집에 관계없이 양의 상관관계를 보이거나 습수와는 항상 음의 상관성을 보인다. 하지만 기온과의 관계는 계절 및 군집에 따라 큰 차이를 보인다.

기후변화 및 도시화 등의 영향으로 상대습도가 변화되고 있는데 변화경향이 계절 및 지리적 위치 그리고 자료의 사용기간에 따라 다를 뿐만 아니라 그 원인도 상이하게 나타나고 있다. 따라서 상대습도와 같은 기후요소의 통계적 특성 분석 결과 해석 시 주의가 요구된다. 또한 상대습도 유형 분류에서 사용한 K-means 기법의 경우 기본적으로 평균을 이용하기 때문에 계산량이 적은 반면 이상치에 민감한 단점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 계산량은 많으나 이상치에 민감하지 않은 partitioning around medoids(PAM 또는 K-medoids) 방법을 이용해 재분류해 볼 필요가 있다 (Park and Jun, 2009).

## 사사

본 연구는 “기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원 강화사업”의 일환으로 기상청 및 한국기상산업기술원 “KMI2020-01414(기후변화 대응 및 정보생산·활용 연구)”의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Cha, S.-Y., 2022, *Spatio-Temporal Characteristics of Distribution and Long-Term Trends of Relative Humidity in Korea*, Master thesis, Graduate School of Kongju National University (in Korean with English abstract).
- Cho, Y.-J., Lee, H.-C., Lim, B.-H., and Kim, S.-B., 2019, Classification of weather patterns in the East Asia region using the K-means clustering analysis, *Atmosphere*, 29(4), 451-461 (in Korean with English abstract).
- Gaffen, D. J. and Ross, R. J., 1999, Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature, *Journal of Climate*, 12(3), 811-828.
- Go, M.-C. and Lee, S. H., 2013, A study on the change of humidity by city sizes in South Korea, *Journal of the Korea Geographical Society*, 48(1), 19-36 (in Korean with English abstract).
- Hong, K. O., Suh, M. S., Rha, D. K., Chang, D. H., Kim, C., and Kim, M. K., 2007, Estimation of high resolution gridded temperature using GIS and PRISM, *Atmosphere*, 17(3), 255-268 (in Korean with English abstract).
- Jeong, J.-Y., Woo, S.-H., Son, R.-H., Yoon, J.-H., Jeong, J.-H., Lee, S.-J., and Lee, B.-D., 2018, Spring forest-fire variability over Korea associated with large-scale climate factors, *Atmosphere*, 28(4), 457-467 (in Korean with English abstract).
- KACCC, 2021, *Search Results for Impact of Climate Change*, <https://kaccc.kei.re.kr/portal/climateChange/changeeffect.do>.
- Kang, S.-T., 2013, *A Study on the Climate Change and Disaster Prevention Plan for Forest Fires in Korea*, Ph. D. thesis, Graduate School of Kyungnam University (in Korean with English abstract).
- Kim, D.-W., Chung, J.-H., Lee, J.-S., and Lee, J.-S., 2014, Characteristics of heat wave mortality in Korea, *Atmosphere*, 24(2), 225-234 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.-K., Kim, K.-S., Lee, J.-W., and Lee, Y.-S., 2017a, Cluster analysis by month for meteorological stations using a gridded data of numerical model with temperatures and precipitation, *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, 28(5), 1133-1144 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.-Y., Lee, D.-G., Park, I.-S., Choi, B.-C., and Kim, J.-S., 2006, Influences of heat waves on daily mortality in South Korea, *Atmosphere*, 16(4), 269-278 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-S., Baek, J.-Y., and Kang, B.-S., 2017b, Group search optimization data clustering using Silhouette, *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, 42(3), 25-34 (in Korean with English abstract).
- KMA, 2021, *Search Results for Health Meteorological Index*, [https://www.weather.go.kr/weather/lifen-industry/index\\_info1\\_2.jsp](https://www.weather.go.kr/weather/lifen-industry/index_info1_2.jsp).
- Lee, D.-K. and Park, J.-G., 1999, Regionalization of summer rainfall in South Korea using cluster analysis, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 35(4), 511-518.
- Lee, J.-G., 2010, *Changes of Dewpoint Temperature and Their Causes over South Korea*, Master thesis, Graduate School of Kongju National University (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-L., Ahn, J.-B., and Jeong, H.-G., 2016, A study on the method for estimating the 30m resolution daily temperature extreme value using PRISM and GEV method, *Atmosphere*, 26(4), 697-709 (in Korean with English abstract).
- Liu, W., You, H., and Dou, J., 2009, Urban-rural humidity and temperature differences in the Beijing area, *Theoretical and Applied Climatology*, 96(3), 201-207.
- Min, S.-K., Son, S.-W., Seo, K.-H., Kug, J.-S., An, S.-I., Choi, Y.-S., Jeong, J.-H., Kim, B.-M., Kim, J.-W., Kim, Y.-H., Lee, J.-Y., and Lee, M.-I., 2015, Changes in weather and climate extremes over

- Korea and possible causes: a review, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 51, 103-121.
- Park, H.-S. and Jun, C.-H., 2009, A simple and fast algorithm for K-medoids clustering, *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3336-3341.
- Park, I.-G. and Suh, M.-S., 2022, Current status and trends of extreme precipitation characteristics during the last 30 years (1991-2020) over Korea, *Journal of Climate Research*, 17(2), 69-87 (in Korean with English abstract).
- Park, M.-H, Lee, J.-S., Seo, Y.-S., Han, I.-S., and Bae, H.-K., 2013, Long-term relative humidity changes on high temperature days of major cities in Korea for the recent 37 years, *Journal of Environmental Science International*, 22(12), 1671-1681.
- Peixoto, J. P. and Oort, A. H., 1996, The climatology of relative humidity in the atmosphere, *Journal of Climate*, 9(12), 3443-3463.
- Song, H.-J., Kim, S., Lee, H., and Kim, K.-H., 2020, Climatology of tropospheric relative humidity over the Korean Peninsula from radiosonde and ECMWF reanalysis, *Atmosphere*, 11(7), 704.
- Um, H.-H., Ha, K.-J., and Moon, S.-H., 1997, The urban effect on the change of relative humidity in Seoul, *Atmosphere*, 33(1), 127-135 (in Korean with English abstract).
- Won, M. S., Yoon, S. H., and Jang, K. C., 2016, Developing Korean forest fire occurrence probability model reflecting climate change in the spring of 2000s, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 18(4), 199-207 (in Korean with English abstract).
- Yoo, J.-Y., Choi, M., and Kim, T.-W., 2010, Spatial analysis of drought characteristics in Korea using cluster analysis, *Journal of Korea Water Resources Association*, 43(1), 15-24.
- Yoon, S.-K. and Moon, Y.-I., 2014, The recent increasing trends of exceedance rainfall thresholds over the Korean major cities, *Journal of Civil Engineering*, 34(1), 117-133.
- You, Q., Min, J., Lin, H., Pepin, N., Sillanpää, M., and Kang, S., 2015, Observed climatology and trend in relative humidity in the central and eastern Tibetan Plateau, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), 3610-3621 (in Korean with English abstract).
- Yu, H.-Y., Suh, M.-S., and Ryu, S.-O., 2021, Improvement of thunderstorm detection method using GK2A/AMI, RADAR, lightning, and numerical model data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(1), 41-55 (in Korean with English abstract).

책임편집: 이승호

영문교열: 정지훈