

## 우리나라 산악기상관측망의 공간분포 특성

윤석희 · 장근창 · 원명수\*

국립산림과학원 산림보전연구부 기후변화생태연구과  
(2017년 12월 5일 접수; 2018년 1월 16일 수정; 2018년 1월 23일 수락)

## The spatial distribution characteristics of Automatic Weather Stations in the mountainous area over South Korea

Sukhee Yoon, Keunchang Jang and Myoungsoo Won\*

Forest Ecology and Climate Change Division, Forest Conservation Department,  
National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

(Received December 5, 2017; Revised January 16, 2018; Accepted January 23, 2018)

### ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the spatial distribution characteristics and spatial changes of Automatic Weather Stations (AWS) in mountainous areas with altitude more than 200 meters in South Korea. In order to analyze the spatial distribution patterns, spatial analysis was performed on 203 Automatic Mountain Meteorology Observation Station (AMOS) points from 2012 to 2016 by Euclidean distance analysis, nearest neighbor index analysis, and Kernel density analysis methods. As a result, change of the average distance between 2012 and 2016 decreased up to 16.4km. The nearest neighbor index was 0.666632 to 0.811237, and the result of Z-score test was -4.372239 to -5.145115( $P < 0.01$ ). The spatial distributions of AMOSs through Kernel density analysis were analyzed to cover 129,719ha/a station in 2012 and 50,914ha/a station in 2016. The result of a comparison between 2012 and 2016 on the spatial distribution has decreased about 169,399ha per a station for the past 5 years. Therefore it needs to be considered the mountainous regions with low density when selecting the site of AMOS.

**Key words:** Automatic Mountain Meteorology Observation Station(AMOS), Spatial distribution, Kernel density, Euclidean Distance, Nearest neighbor index(NNI)

### I. 서론

우리나라는 전 국토 면적(10,029,535ha)의 63.8% (6,400,272ha)가 산림 지역으로 가장 큰 비율을 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2016). 이는 산지관리법상에 명시된 산림면적의 비율로 강원지역이 81.5%로 가장 크고, 경북지역이 70.3%으로 두 번째로 큰 비율을 차지하고 있다. 인구가 밀집되어 있는 광역

대도시는 울산이 64.7%인 반면에 서울은 25.6%로 가장 낮은 비율을 차지하고 있다. 이처럼 권역에 따라 산림 비율의 차이가 있지만 산림 또는 산지 분포 비율이 높은 우리나라의 기상 특성은 평지 지역에서 보다 복잡한 지형 특성에 의해 강우, 바람 등의 기상 현상들이 불균형적이면서도 국지적으로 발생하고 있다(Yun *et al.*, 2009; Lee and Jun, 2014). 이로 인해 매년 산악 지역에서 동시다발적으로 발생하는 산불, 산사태, 병



\* Corresponding Author : Myoungsoo Won  
(forestfire@korea.kr)

해충과 같은 산림재해를 예측하고 대응하는데 어려움을 겪고 있다.

2016년 12월을 기준으로 우리나라 기상관측지점의 수는 3,630개(Korea Meteorological Administration, 2016)이며 기상청과 산림청을 포함한 28개 기관이 기상관측 목적에 따라 자체적으로 설치, 운영, 유지 관리를 수행하고 있다. 그러나, 대부분의 자동기상관측소(AWS, Automatic Weather Station)는 사람들이 살고 있는 도심지 생활권역을 중심으로 지형이 평탄한 지점에 위치함에 따라 산악 및 산림지역에서 일어나는 산림재해와 기상재해 예측을 위한 모델에 평지기상 정보를 적용하는데 한계가 있다. 반면 산림청과 국립공원관리공단에서 운영하고 있는 기상관측소는 기상관측 목적에 따라 산악 지역의 정상부, 능선부, 계곡부에 위치하고 있다. 산림청에서는 산림재해(산불, 산사태)의 방지와 예측력 향상을 위한 목적으로 2012년부터 2016년까지 전국의 산악지역에 156개의 산악기상관측소를 운영하고 있으며 이 지점들은 공간 분석과 현장 평가를 통해서 최적의 위치인 정상부와 능선부에 입지를 선정한 바 있다(Yoon *et al.*, 2016). 국립공원관리공단에서는 기상재해 방지를 위한 목적으로 주로 등산로나 입도 주변의 계곡부 일대에 설치하여 운영하고 있다. 이러한 기상정보들은 2014년 9월부터 기상관측표준화법 제10조와 시행규칙 제6조의2에 따라 연 2회(1월, 7월)에 걸쳐 AWS의 자료 수신과 품질에 대한 기관별 평가등급(우수(80~100점), 보통(50~80점), 개선대상(50점 미만))을 기상청으로부터 부여 받고 있다. 기관별 AWS에 대한 평가는 관측지점에 대한 기상자료의 품질과 신뢰성 검증을 위해 매우 중요한 사항이며 기상정보의 활용성에 대한 가용여부를 판단할 수 있다. 그러나 산림청을 제외한 평가등급의 결과

가 좋은 기관들의 지점들은 서로 다른 기상관측 목적에 따라 대체로 접근성과 유지관리가 용이한 평탄 지역에 위치하고 있기 때문에 보다 정확한 산악지역의 효과를 반영할 수 있는 기상관측망의 공간분포 밀도가 부족한 실정이다(Yoo *et al.*, 2003; Yoon *et al.*, 2016).

따라서 본 연구는 전국에 있는 기상관측소 중에서 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악 기상관측소의 거리 및 밀도 등의 공간분포 특성과 연도별 공간 변화를 분석하였다.

## II. 분석 자료 및 방법

### 2.1. 분석 대상지 및 자료

본 연구는 최저 고도가 200m 이상인 산림 또는 산악 지역 내에 위치하고 있는 AWS의 공간적인 분포 특성을 분석하고자 남한 전역을 대상지로 선정하였다. 공간 분포 특성을 분석하기 위한 연구 자료는 기상청에서 2016년까지 28개 기관을 대상으로 AWS 시설 및 관측 자료의 품질 평가를 수행한 결과에 따라 ‘우수(80점 이상)’ 등급을 부여 받은 기상청, 산림청, 농촌진흥청, 환경부의 AWS 지점별 메타정보를 수집하였다. 참고로 기관별 AWS의 품질을 평가한 결과, 기상청이 98.8점으로 가장 높았으며, 그 다음으로 산림청이 98.3점, 환경부 93.9점, 농촌진흥청 86.3점 순으로 4개 정부 기관이 높은 평가점수를 받았다(Korea Meteorological Administration, 2016). 따라서 본 분석을 위해 수집한 4개 기관의 AWS 지점 수는 Table 1과 같이 총 990개 지점으로 기상청이 599개소, 산림청 156개소, 농촌진흥청 192개소, 환경부 43개소이다. 이러한 AWS 지점들 중에서 고도가 200m 이상으로 산악지역에 분포하고 있는 지점들을 추출하였다. 공간분포 특성을 분석하

**Table 1.** Information of Automatic Weather Stations by government agencies

Name of government agency (the total number of AWSs)	Purpose of observation	Assessment score (quality grade)
Korea Meteorological Administration(599)	Weather forecast and climate monitoring	98.8 points (excellence)
Korea Forest Service(156)	Forest disaster prevention	98.3 points (excellence)
Rural Development Administration(192)	Improvement of agricultural productivity	86.3 points (excellence)
Ministry of Environment(43)	Air pollution monitoring	93.9 points (excellence)

기 위한 기본 자료는 990개 지점의 주소와 좌표 정보를 활용하여 공간 자료화에 사용하였다.

산림지역 내에 위치하고 있는 AWS의 공간 정보를 추출하기 위하여 산림청에서 제공하는 1:25,000 수치임상도(침엽수, 활엽수, 혼효림)를 이용하여 공간 분석에 활용하였다. 마지막으로 고도가 200m 이상인 AWS의 지형정보를 추출하기 위하여 30m 공간해상도인 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)을 분석자료로 사용하였다. 본 논문에서는 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악형 AWS를 산악기상관측소(AMOS, Automatic Mountain Meteorology Observation Station)이라고 정의한다.

**2.2. 분석 방법**

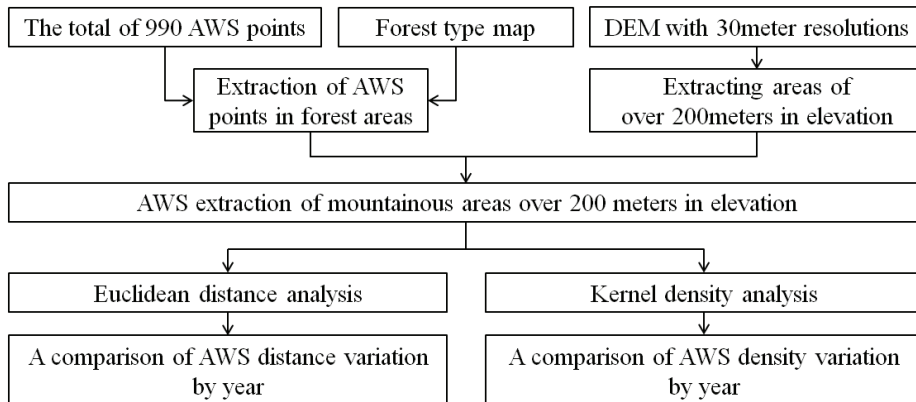
먼저 4개 기관(기상청, 산림청, 농촌진흥청, 환경부)에서 운영하고 있는 990개의 AWS 중심점 좌표와 주소 정보에 대한 공간적인 일치 여부를 1차적으로 확인하고자 ArcGIS Ver.9.3을 활용하여 세계측지계(ITRF2000, International Terrestrial Reference Frame) 좌표체계로 변환하여 속성정보(지점명, 지점번호, 설치년도, 운영기관, 주소, 고도, 기상관측 항목)들이 포함된 점 데이터를 생성하였다. 이 과정은 AWS의 공간적인 위치의 정확도를 확보하고 검증하기 위한 가장 기본적인 과정으로 점 데이터에 대한 공간특성 분석 결과에 신뢰성을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 다음으로 990개 지점 중에서 산림지역에 포함되는 AWS를 추출하기 위하여 1:25,000 수치임상도와 중첩 분석을 수행하였다. 30m 공간해상도인 DEM 자료는

고도 간격을 100m로 설정하여 고도가 200m 이상인 지형 정보를 재분류함으로써 래스터 자료를 산출하고 폴리곤 형식으로 변환하였다. 고도가 200m 이상으로 추출된 DEM 자료는 산림지역에 있는 AWS 지점과 중첩하여 고도가 200m 이상으로 산악지역에 위치하고 있는 산악기상관측소의 위치 정보를 추출하였다. 참고로 고도가 200m 이상인 AWS 지점을 추출하는 과정에서 지점별 속성 정보에 포함된 GPS 측정고도 값은 DEM 고도정보와 서로 간의 오차가 발생하였지만, 본 연구에서는 휴대용 GPS에 따라 측정 고도의 편차가 발생하는 점을 감안하여 DEM 고도를 기준으로 산악기상관측소의 공간특성 분석을 수행하였다.

최종적으로 추출한 산악기상관측 지점은 2012년부터 2016년까지 기관별 설치 년도를 기준으로 분류하였다. 그리고 연도별로 산악기상관측 지점 간의 평균 거리와 공간적인 밀도의 변화를 분석하였다. 이와 같이 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 AWS의 추출과 공간특성 분석에 대한 일련의 과정은 Fig. 1과 같다.

**2.2.1. 거리 분석(Distance analysis)**

본 분석은 고도가 200m 이상으로 산악지역 내에서 수직적으로 다양한 고도 정보를 가지고 있는 AWS 중에서 지점 간의 이격거리에 따라 시·공간적으로 어떻게 거리가 변화되고 있는지를 분석하고자 ArcGIS를 활용하여 연도별(2012~2016년) 및 9개 권역별(서울·경기, 강원, 충북, 대전·세종·충남, 대구·경북, 부산·울산·경남, 전북, 광주·전남, 제주)로 AWS를 분류하여 분석



**Fig. 1.** Study procedure for the spatial distribution characteristics on AMOS.

하였다. 산악기상관측 지점간의 거리 분석을 위해서는 가장 보편적인 거리분석 방법 중에 하나인 두 지점 간의 거리를 계산하는 유클리디안(Euclidean distance) 기법으로 공간분석을 수행하였다. 이 기법은 다차원적인 공간 내에서 두 지점 간의 거리를 계산하는 공식으로서 2차원적인 직교 좌표계로  $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 와  $q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$ 의 점이 있을 때, 두 유클리드 노름(norm)을 이용하여 두 점  $p, q$ 의 거리를 계산하고 이에 대한 계산식은 다음과 같으며, 한 점인  $p_1$ 은  $x$  좌표와  $p_2$ 의  $y$  좌표를 가지고 있으며, 다른 한 점은  $q_1$ 의  $x$  좌표와  $q_2$ 의  $y$  좌표를 가지고 점 간의 직선거리를 산출하게 된다.

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

벡터  $p$ 의 유클리드 노름의 값은  $p$ 와 좌표계의 원점과의 거리를 의미하며, 이를 스칼라의 곱으로 표현할 수 있다.

$$\|p\| = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2} = \sqrt{p \cdot p} \quad (2)$$

유클리드 노름을 이용하여 두 점인  $p, q$ 의 거리를 나타내면 다음과 같다.

$$\|p - q\| = \sqrt{(p - q) \cdot (p - q)} = \sqrt{\|p\|^2 + \|q\|^2 - 2p \cdot q} \quad (3)$$

따라서 200m 이상의 고도로 산악지역에 분포하고 있는 연도별 산악기상관측 지점들은 유클리디안 거리 분석에 입력자료로 사용하여 지점 간의 최대거리인 남한 전역을 대상으로 설정하고 1km×1km 공간해상도로 연도별 거리분석 래스터 자료를 산출하였다.

### 2.2.2. 밀도 분석(Density analysis)

고도가 200m 이상인 전국의 산악지역에 분포하고 있는 산악기상관측소를 대상으로 최근 5년간(2012~2016년) 시·공간적으로 분포되는 경향을 파악하기 위하여 통상적으로 사용하는 ArcGIS 공간분석 툴 중에 하나인 커널밀도(Kernel density) 방법으로 분석을 수행하였다. 그리고 최근린 분석을 위해 연도별로 따라 산악지역에 분포하고 있는 기상관측망의 공간적인 군집화 정도를 판단하기 위한 것으로 유클리디안 방법으로 지

점간의 관측된 평균 최근린거리를 기대되는 평균 최근린거리로 나누어 최근린지수(R, Nearest neighbor index)를 계산하였다. 평균 최근린거리( $Ed$ )의 산출은 다음과 같은 식에 의해 계산되며  $n$ 은 관측 지점의 수,  $A$ 는 연구 대상지의 면적을 의미한다.

$$Ed = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (4)$$

만약, 산출된 최근린 지수가 1이면 점들이 불규칙하게 분포하는 것을 나타내며, 1보다 크면 규칙적인 분포, 1보다 작으면 군집적인 분포유형을 나타낸다(Lee, 1989).

커널밀도 분석은 서로 다른 위치에 있는 점들로부터 그에 대한 밀도를 측정할 수 있는 방법으로 공간상으로 점에 대한 분포 패턴을 시각적으로 표현할 수 있기 때문에 널리 이용되고 있는 방법 중에 하나이다(Lee and Noh, 2013). 또한 점들간에 위치하고 있는 거리를 기준으로 가중치를 부여함으로써 밀도를 계산하는데 이는 공간적으로 가까운 곳에 위치한 지점이 멀리 떨어진 곳에 위치한 지점보다 높은 가중치를 주어 밀도를 계산하는 방식이다. 커널밀도 함수는 일정한 분석 반경 안에서 포함하는 점 데이터 밀도를 측정함으로써 미모수 추정을 위한 다양한 커널 함수 중에서 Silverman(1986)이 제시한 커널함수( $K$ )를 적용하였고 식은 다음과 같다.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (5)$$

$n$ : 표본수,  $h$ : 대역값(Bandwidth),  $K$ : 커널 함수(0~1),  $x - x_i = x$ 점과  $x_i$ 점의 거리

따라서 본 연구는 고도가 200m 이상인 산악기상관측망의 지점별 추출 정보를 입력자료로 사용하여 분석 반경을 남한 전역의 범위로 설정하여 1km 공간해상도로 밀도분석을 수행하였다. 또한 연도별로 공간분포 밀도가 래스터 형식으로 산출됨에 따라 면적의 단위는 산림분야에서 사용하는 ha(Hectare)로 설정하여 밀도 분석을 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기상관측망의 공간 분포

먼저 4개 기관(기상청, 산림청, 농촌진흥청, 환경부)의 990개 AWS 지점을 공간자료화한 결과(Fig. 2(a)), 서울과 인천을 포함한 경기 권역에서 16.8%(166개소)로 가장 높은 비율로 도시생활권 주변에 집중되었으며 다음으로 강원(15.4%, 152개소), 대구·경북(14.2%, 141개소), 전남(14.0%, 139개소) 권역 순으로 분포하였다. 9개 권역별 면적 대비 지점의 수는 제주 권역이 27.6km<sup>2</sup>/개소로 가장 많이 밀집되어 분포하는 것으로 나타났고, 다음으로 서울·경기 권역이 71.39km<sup>2</sup>/개소로 나타났다. 반면에 대구·경북 권역은 141.24km<sup>2</sup>/개소로 권역별 면적 대비 가장 적은 수로 산악기상관측망이 분포하는 것으로 나타남에 따라 공간적인 분포 측면으로 보면 최적의 입지에 산악기상관측망이 추가적으로 증설되는 것이 필요하다고 판단된다. 산악기상관측망의 최적 입지는 기상관측표준화법에 명시된 AWS 지점간의 직선 거리가 2.5km 이상을 충족하면서 최저 고도가 200m 이상인 산악지역의 능선부를 포함한 정상부에 100m<sup>2</sup> 규모로 평탄지형의 기상관측환경을 충족해야 한다.

공간 자료화된 990개의 AWS 지점을 대상으로 입상도와 중첩한 결과, 전국에 분포하고 718개소(72.5%)가 산림지역에서 제외되면서 272개소(27.5%)가 산림 지역 내에 분포하는 것으로 분석되었다. 산림지역 내에 기관별 AWS 분포율은 산림청이 절반 이상인 57.3%(156

개소)로 가장 높았고 기상청이 34.6%(94개소), 농촌진흥청 4.8%(13개소), 환경부가 3.3%(9개소)로 분석되었다. 마지막으로 DEM 자료를 활용하여 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악기상관측 지점을 중첩한 결과, 69개소가 제외되면서 산악기상관측소의 공간분포 특성 분석을 위한 203개소(산림청 156, 기상청 42, 농촌진흥청 4, 환경부 1개소)가 최종적으로 추출되었다(Fig. 2(b)). 특히, 추출된 지점 중에서 산림청을 제외한 3개 기관의 AWS는 Table 1과 같이 관측 목적이 다르지만 산림재해 방지 등 산림 분야에서도 활용 가치가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 남한의 산악기상관측망 입지 조건에 대한 산지 고도를 200m 이상으로 설정한 반면에 Kapos *et al.*(2000)는 ‘세계의 산지 지도’를 제작하면서 고도가 300m 이상인 지역을 산지라고 기준을 제시하기도 하였다. 또한 Kim *et al.*(2013)은 기상청의 중관기상관측소(79개 지점)를 대상으로 공간밀도와 거리분석을 위해 산지의 최저 고도 기준을 300m로 선정하였지만 아직까지도 국내외적으로 표준화된 산지의 고도 기준을 명확하게 제시하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 Yoon *et al.*(2016)이 제시한 산악기상관측망의 최적 입지 선정을 위한 산악지역의 최저 고도 기준을 200m로 설정한 연구 사례를 토대로 분석하였다.

#### 3.2. 거리 분석

고도가 200m 이상인 산림 또는 산악 지역 내에 분포하고 있는 203개의 산악기상관측망 지점을 2012년

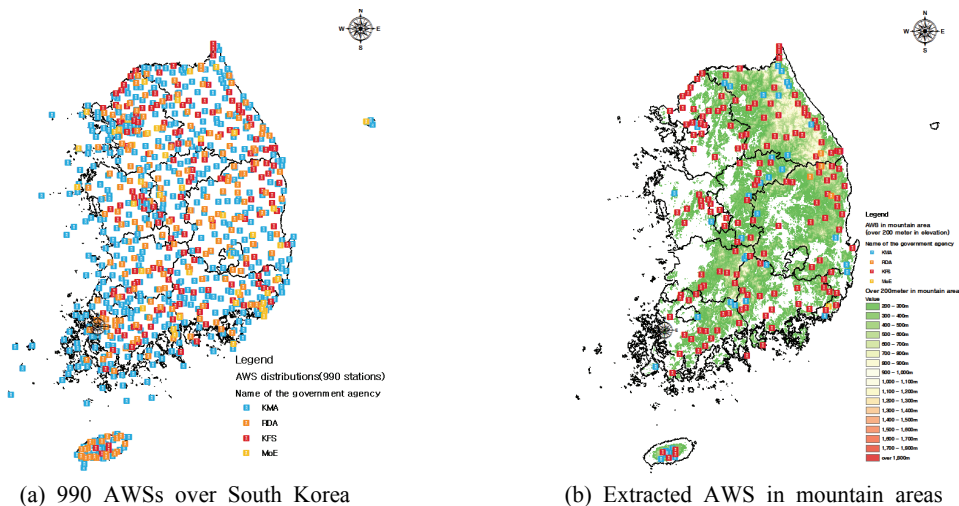
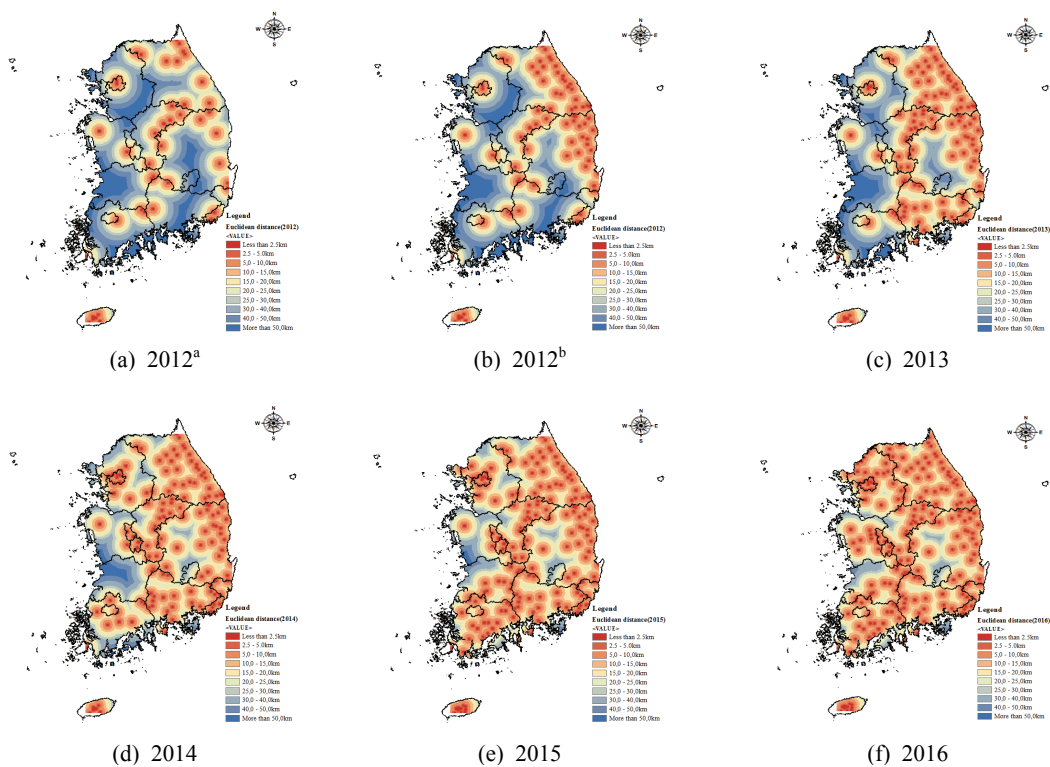


Fig. 2. Map of the AWS distributions in mountainous areas over 200 meters altitude.

부터 2016년까지 설치 년도에 따라 6가지 경우(2012년 산림청을 제외한 3개 기관, 2012년~2016년 4개 기관)로 분류하여 지점 간의 평균 거리 공간분포 변화를 유클리디안 거리분석 방법으로 수행한 결과, 3개 기관(기상청, 농촌진흥청, 환경부)의 지점들을 분석한 2012년은 47개 지점 간의 평균 거리가 약 29.0km, 2012년 4개 기관의 AWS 지점(79개소)의 평균 거리가 약 26.6km로 산림청의 산악기상관측소가 30개가 산악지역에 추가됨에 따라 약 2.4km의 감소 효과가 있는 것으로 분석되었다. 2013년은 112개소로 21.9km, 2014년은 142개소로 16.9km, 2015년은 173개소로 14.3km, 2016년은 203개소로 평균 거리가 12.6km로 분석되었다. 2013년부터 2016년까지는 매년 산림청의 산악기상관측 지점이 30개소씩 증가함에 따라 평균적으로 약 3.5km씩 감소하는 효과를 보였다.

권역별 평균 거리의 비교 분석 결과는 2012년 대비 2016년에 서울과 인천을 포함한 경기 권역이 23.9km(67.3%), 전북은 23.5km(41.6%)로 가장 많이

감소하면서 평균 거리 변화가 큰 효과를 보였다. 특히, 경북권역은 약 13.5km(49.1%) 감소하면서 2016년의 평균 거리가 14.0km로 다른 권역에 비해 높았지만 내륙 지역은 지점 간의 공간분포 이격 거리가 30km 이상으로 타 권역보다 거리의 편차가 큰 결과를 보이면서 정밀한 산악기상정보를 위해서는 적절한 지점에 산악기상관측망을 추가하는 것이 필요하다. 반면 충북 권역은 8.2km, 제주는 1.5km로 2012년에 대비 2016년은 평균 거리가 가장 적게 감소한 것으로 분석되었다 (Table 2). 연도별 산악기상관측소의 지점 변화에 따른 종합분석 결과, 산림청을 제외한 3개 기관을 대상으로 평균거리를 분석한 2012년 결과 대비 2012년부터 2016년까지 전국적으로 156개의 산악기상관측망이 늘어남에 따라 지점 간의 평균 거리가 16.4km 감소하면서 산악기상관측 지점이 증가됨에 따라 거리에 대한 공간분포 효과가 나타나는 것으로 사료된다. 따라서 복잡한 지형으로 이루어진 산림 또는 산악 지역에서 일어나는 국지적·돌발적 기상현상으로 야기되는 재



2012<sup>a</sup> : Three Gov. agencies, 2012<sup>b</sup> to 2016 : Four Gov. agencies

**Fig. 3.** The result of spatial distribution patterns from 2012 to 2016 through the Euclidean distance analysis.

**Table 2.** A variation in the average distance by region through the Euclidean distance analysis  
(Unit : km)

Region	2012(47 stations)	2016(203 stations)	Comparison of avg. distance change (Rate of decrease)
Gyeonggi	35.5	11.6	-23.9(67.3%)
Gangwon	21.2	9.7	-11.5(54.2%)
Gyeongbuk	27.5	14.0	-13.5(49.1%)
Gyeongnam	30.5	11.6	-18.9(62.0%)
Chungbuk	19.7	11.5	-8.2(41.6%)
Chungnam	27.2	14.2	-13.0(47.8%)
Jeonbuk	40.7	17.2	-23.5(57.7%)
Jeonnam	34.8	12.7	-22.1(63.5%)
Jeju	10.9	9.4	-1.5(13.8%)

난 및 재해 예측을 위해서는 Yoon *et al.*(2016)의 연구에서 제시된 지점 간의 직선 거리가 최소 2.5km 이상으로 최적의 위치에 산악기상관측망이 확충되어야 한다고 사료된다.

### 3.3. 밀도 분석

2012년부터 2016년까지 고도가 200m 이상인 산악지역에 기상관측지점이 증가함에 따라 연도별로 산악기상관측망의 군집분포 양상을 비교하고자 최근린 분석을 수행한 결과, Table 3과 같이 연도별 최근린지수(R)가 0.666632~0.811237이었으며, 군집화 범위인 Z-score 검정 결과는 -4.372239~-5.145115, 통계적 유의수준 P-value(P<0.01)로 매우 유의한 것으로 나타났다. 최근린지수(R)는 0에서 2.1491까지의 값을 가지는데 R=0일 경우에는 모든 지점들이 한 곳이 집중되어 있음을 의미하고 R=2.1491일 경우에는 모든 지점들이 규칙적으로 분산되는 패턴을 나타낸다(Lee, 1989). 따라서 연도별 산악기상관측망의

공간분포 양상은 Z-score가 -2.58 이상으로 통계적으로 유의 수준(p<0.01) 하에서 군집화(Clustered)되어 분포하는 경향을 나타나는 것으로 분석되었고, 연도별로 시간이 흘러감에 따라 최근린지수가 약 0.14 정도 증가하여 군집화 분포 양상에서 다소 분산화(Random)된 경향을 보였다. 본 분석 결과에서 공간적인 분포가 군집화에서 분산화 패턴으로 변화된 것은 연도별 흐름에 따라 산악기상관측망이 권역별로 확대되어 영향을 미친 것으로 판단되며, 2017년에 전국으로 산악기상관측망이 확충되면 공간분포 적정성 등의 평가를 위해 고도별 공간분포의 패턴 연구가 추가로 필요하다고 사료된다.

연도별로 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하는 산악기상관측망의 공간분포 밀도분석을 위해 30m 해상도의 1초 DEM 자료와 수치임상도(1:25,000)를 활용하여 고도 범위가 200~1,939m인 산악지역의 면적을 18개 구간(100m 등간격)으로 산출하였다. 분석 결과, 고도 정보가 200~300m인 산악지역이 1,086,882ha(27.4%)

**Table 3.** The summary of change in average nearest neighbor by year

Year	Number of stations	Mean distance(m)		R(NNR)	Z-score
		Observed	Expected		
2012 <sup>a</sup>	47	18,825.9985	28,240.4710	0.666632**	-4.372239
2012 <sup>b</sup>	79	14,168.2130	21,940.1876	0.645765**	-6.023313
2013	112	13,061.2877	18,426.5856	0.708828**	-5.895069
2014	142	12,685.4926	16,364.7626	0.775171**	-5.125391
2015	173	11,980.0406	15,015.2056	0.797861**	-5.086335
2016	203	11,512.4120	14,191.1766	0.811237**	-5.145115

\*\* P value < 0.01, 2012<sup>a</sup> : Three Gov. agencies, 2012<sup>b</sup> to 2016 : Four Gov. agencies

로 가장 큰 면적을 차지하였다. 다음으로 고도 300~400m는 841,256ha(21.2%)이었고, 고도가 100m씩 증가함에 따라 300~600m에서는 평균적으로 4.8%씩 감소하였고 600m 이상부터는 0.6%씩 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 산악지역의 고도가 200~400m인 분포 비율이 약 49.6%로 절반 수준을 차지하는 것으로 분석되었다.

연도별로 분포하고 있는 산악기상관측지점의 커널 밀도 분석을 수행한 결과, 2012년(3개 기관, 47개소)의 공간분포 밀도가 평균적으로 산악지역 1ha 내에서 0.000004539개소가 분포하는 것으로 나타났다. 이를 1개소 당 면적 단위로 200m 이상인 산지 면적(ha)을 환산한 경우에는 220,313ha/1개소로 분석되었다. 2012년부터 2016년까지 4개 기관을 대상으로 밀도분석을 수행 결과, 2012년은 129,719ha/1개소, 2013년 90,917ha/1개소, 2014년 71,342ha/1개소, 2015년 58,875ha/1개소, 2016년은 50,914ha/1개소로 연도별로 산악기상관측망의 공간분포 밀도가 높아지는 것으로 분석되었다(Table 4).

연도별 공간밀도의 변화는 2012년(3개 기관, 220,313ha/1개소) 대비 2012년(4개 기관, 129,719ha/1개소)에 산림청의 산악기상관측망이 32개소 증가함에 따라 90,594ha/1개소가 감소하면서 가장 큰 밀도의 변화를 보였다. 이 결과는 Fig. 4(b)와 같이 강원 및 경북 영동지역에서 공간상 일정한 규모로 32개소가 적정하게 추가되었기 때문으로 판단된다. 반면 2015년과 2016년의 공간분포 밀도의 변화는 7,962ha/1개소로 가장 적게 감소하는 효과를 보이면서 권역별로 산악지역에 군집화되어 추가되었기 때문으로 판단된다. 2012년 대비 2016년은 169,399ha/1개소가 감소하면서 산악기상관측망의 공간적인 밀도는 50,914ha/1개소인 것

로 최종 분석되었다. 특히, 2016년의 공간분포 밀도는 인구가 밀집되어 있는 서울, 부산 등의 광역·대도시 권역과 제주 한라산을 중심으로 밀도가 높게 나타나는 경향을 보였다. 2016년의 밀도분석 결과와 World Meteorological Organization(1994)에서 제시한 강우 관측을 위한 산악지역의 공간분포 밀도가 25,000ha/1개소인 점을 비교하면 아직까지도 산악기상관측망의 공간 밀도가 낮은 것으로 판단된다. 또한 남한 지역을 대표하는 백두대간을 따라 산악기상관측망의 공간분포 밀도가 낮은 지역과 경북 내륙과 경남 북서부 내륙을 중심으로 산악기상관측망이 추가로 구축되는 것이 필요하다고 판단된다.

따라서 본 분석 결과는 공간분포 밀도가 낮은 산악지역을 대표할 수 있는 최적의 입지에 기상관측망을 추가로 구축할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 우수한 품질등급과 신뢰성이 확보된 4개 기관(기상청, 산림청, 농촌진흥청, 환경부)의 AWS 중에서 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악기상관측망의 거리 및 밀도 등의 공간분포 특성과 연도별 공간분포 변화를 분석하였다.

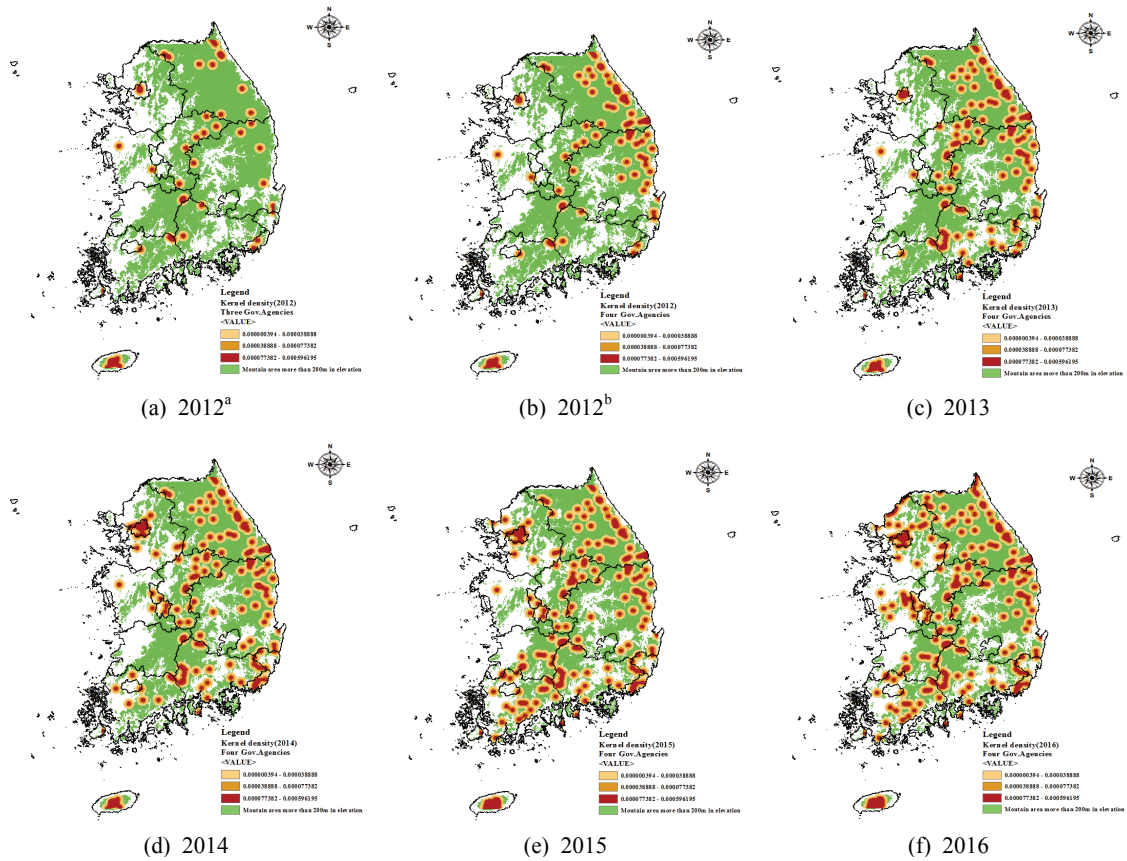
전국에 분포하고 있는 990개의 AWS를 활용하여 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악기상관측망을 추출한 결과, 787개의 AWS가 제외되면서 총 203개의 산악기상관측망이 추출되었다. 산림청의 산악기상관측망은 76.8%(156개소)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 기상청이 20.7%(42개소), 농촌진흥청 2.0%(4개소), 환경부는 0.5%(1개소)의 비율을 나타냈다.

**Table 4.** A variation in the average density by year through the Kernel density analysis

Year	Number of stations	Avg. density of mountainous areas with altitudes above 200m	
		Stations per a hectare	Hectares per a station
2012 <sup>a</sup>	47	0.000004539/ha	220,313ha/1 station
2012 <sup>b</sup>	79	0.000007709/ha	129,719/1 station
2013	112	0.000010999/ha	90,917/1 station
2014	142	0.000014017/ha	71,342/1 station
2015	173	0.000016985/ha	58,875/1 station
2016	203	0.000019641/ha	50,914/1 station

2012<sup>a</sup> : Three Gov. agencies, 2012<sup>b</sup> to 2016 : Four Gov. agencies





2012<sup>a</sup> : Three Gov. agencies, 2012<sup>b</sup> to 2016 : Four Gov. agencies

**Fig. 4.** The patterns of spatial distribution through the Kernel density analysis by year.

고도가 200m 이상인 산악지역의 산악기상관측망을 대상으로 유클리디안 거리 분석을 수행한 결과, 2012년(3개 기관)은 평균 거리가 29.0km, 2012년(4개 기관) 26.6km, 2013년 21.9km, 2014년 16.9km, 2015년 14.3km, 2016년은 12.6km로 2012년(3개 기관)부터 2016년(4개 기관)까지 총 평균 거리가 16.4km 감소하는 결과를 보였다. 2012~2016년 권역별 평균 거리의 감소 효과는 서울, 인천을 포함한 경기 권역이 23.9km, 경북은 23.5km로 가장 많이 감소하였고, 제주는 1.5km로 가장 적게 평균 거리가 감소하는 것으로 분석되었다.

공간적인 분포 특성 분석을 위해서 203개의 산악기상관측망을 대상으로 최근린 지수와 커널 밀도 분석을 수행한 결과, 연도별 최근린지수(R)가 0.666632~0.811237였으며, 군집화 범위인 Z-score 검정 결과는 -4.372239~-5.145115, 통계적 유의수준 P-value

( $P < 0.01$ )로 매우 유의하여 2012~2016년 산악기상관측망의 공간분포가 군집화 패턴으로 나타났다. 최근 5년간의 커널밀도 분석 결과, 2012년은 129,719ha/1개소, 2013년 90,917ha/1개소, 2014년 71,342ha/1개소, 2015년 58,875ha/1개소로, 2016년은 50,914ha/1개소로 2012년 대비 2016년은 169,399ha/1개소가 감소하면서 산악기상관측망 공간분포 밀도가 높아진 결과를 보였다. 따라서 거리와 밀도 분석을 통해 산악기상관측망의 공간분포 특성을 종합한 결과, 백두대간을 중심으로 공간분포 밀도가 낮은 일부 지역과 경북 내륙과 경남 북서부 내륙을 중심으로 최적 입지에 산악기상관측망의 확충이 필요하며, 적정위치 선정을 위한 기초 자료로 활용이 가능하다고 사료된다.

## 적 요

본 연구는 품질평가 등급이 우수한 4개 기관에서 운영하고 있는 990개의 AWS 중에서 고도가 200m 이상인 산악지역에 분포하고 있는 산악기상관측소의 공간분포 특성과 연도별 공간변화를 분석하였다. 공간분포 특성 분석을 위해 2012년부터 2016년까지 203개의 산악기상관측망을 대상으로 유클리디안 거리 분석, 최근린지수 분석, 커널밀도 분석 방법으로 공간분석을 수행하였다. 평균거리 분석 결과, 2012년(3개 기관)은 29.0km, 2012년(4개 기관) 26.6km, 2013년 21.9km, 2014년 16.9km, 2015년 14.3km, 2016년은 12.6km로 2012년부터 2016년까지 16.4km가 감소하는 효과를 보였다. 최근린지수는 0.666632~0.811237였으며, 군집화 범위의 Z-score 검정 결과는 -4.372239~-5.145115, 통계적으로는 P-value( $P < 0.01$ )로 매우 유의하면서 산악기상관측망이 군집화 형태로 분포하는 것으로 나타났다. 커널밀도 분석 결과, 2012년은 129,719ha/1개소, 2013년 90,917ha/1개소, 2014년 71,342ha/1개소, 2015년 58,875ha/1개소로, 2016년은 50,914ha/1개소로 2012년부터 2016년까지 169,399ha/1개소가 감소하면서 산악기상관측망 공간분포 밀도가 높아진 결과를 보였다. 따라서 백두대간 일부 지역과 경북 내륙, 경남 북서부 지역을 대상으로 최적의 입지에 산악기상관측망을 확충하는 것이 필요하다고 사료된다.

## REFERENCES

- Kapos, V., J. Rhind, M. Edwards, M. F. Price, and C. Ravilious, 2000: Developing a map of the world's mountain forests. *Forests in Sustainable Mountain Development: A state of knowledge Report for 2000*, IUFRO, M. F. Price and N. Butt (Eds.), CAB International, Wallingford, 4-9.
- Kim, S. Y., W. T. Oh, and S. H. Lee, 2013: Analysis on the density of the weather station over South Korea. *The Geographical Journal of Korea* **47**(1), 47-59. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service, 2016: *2016 Statistical yearbook of forestry*. Korea Forest Service, Daejeon, Korea, 414pp.
- Korea Meteorological Administration, 2016: Result of the assessment for the grade of AWS's data quality in 2016. Official document, Observation policy division-747.
- Lee, H. Y., 1989: *Geostatistics*. Bobmunsa publishing co., Gyeonggi, 762pp.
- Lee, H. Y., and S. C. Noh, 2013: *Theory and practice for advanced statistical analysis*. Moonwoosa publishing co., Gyeonggi, 828pp.
- Lee, J. H., and H. D. Jun, 2014: A methodology for rain gauge network evaluation considering the altitude of rain gauge. *Journal of Wetlands Research* **16**(1), 113-124. (in Korean with English abstract)
- Silverman, B. W., 1988: Density estimation for statistics and data analysis. *Monograph on statistics and applied probability*, Chapman and Hall, London, 22pp.
- World Meteorological Organization, 1994: *Guide to hydrological practices, Fifth edition*. WMO No. 168. 292pp.
- Yoo, C. S., I. B. Kim, and S. R. Ryu, 2003: Evaluation of rain gauge density and spatial distribution: A case study for Nam Han river basin. *Journal of Korea Water Resources Association* **36**(2), 173-181. (in Korean with English abstract)
- Yoon, S. H., M. S. Won, and K. C. Jang, 2016: A study on optimal site selection for Automatic Mountain Meteorology Observation System (AMOS): the case of Honam and Jeju areas. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(4), 208-220. (in Korean with English abstract)
- Yun, H. S., M. J. Um, W. C. Cho, and J. H. Heo, 2009: Orographic precipitation analysis with regional frequency analysis and multiple linear regression. *Journal of Korea Water Resources Association* **42**(6), 465-480. (in Korean with English abstract)