



도시 열환경 평가를 위한 기온관측망 영향범위 분석

Analysis on Effective Range of Temperature Observation Network for Evaluating Urban Thermal Environment

김효민* · 박찬** · 정승현***

Hyomin Kim* · Chan Park** · Seunghyun Jung***

* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (hyominkim@kict.re.kr)

** Coauthor, Dept. of Landscape Architecture, Univ. of Seoul, South Korea (chanepark@gmail.com)

*** Corresponding author, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (shjung@kict.re.kr)

ABSTRACT

Climate change has resulted in the urban heat island (UHI) effect throughout the globe, contributing to heat-related illness and fatalities. In order to reduce such damage, it is necessary to improve the climate observation network for precise observation of the urban thermal environment and quick UHI forecasting system. **Purpose:** This study analyzed the effective range of the climate observation network and the distribution of the existing Automatic Weather Stations (AWS) in Seoul to propose optimal locations for additional installment of AWS. **Method:** First, we performed quality analysis to pinpoint missing values and outliers within the high-density temperature data measured. With the result from the analysis, a spatial autocorrelation structure in the temperature data was tested to draw the effective range and correlation distance for each major time period. **Result:** As a result, it turned out that the optimal effective range for the climate observation network in Seoul in July was a radius of 2.8 kilometers. Based on this result, population density, and temperature data, we selected the locations for additional installment of AWS. This study is expected to be used to generate urban temperature maps, select and move measurement locations since it is able to suggest valid, specific spatial ranges when the data measured in point is converted into surface data.

KEYWORD

도시열섬
자동기상관측장비
영향범위
공간자기상관분석

Urban Heat Island
Automated Weather System(AWS)
Effective range
Spatial Auto Correlation

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 25, 2016
Final revision received Dec 15, 2016
Accepted Dec 20, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

IPCC에서는 지구온난화의 가속화로 100년간 평균기온이 섭씨 0.74도 상승되었다고 보고하였다(IPCC, 2007). 이 같은 기후변화는 폭우, 폭설, 폭염 등의 심각한 자연재해로 나타나고 있으며 한국의 경우에도 재난의 발생빈도와 강도가 지속적으로 증가하고 있으며 관련 피해도 늘어나고 있는 추세다(국민안전처, 2015).

기후변화에 따른 재난발생피해를 줄이기 위해서는 도시차원의 대응과 해결방안 마련이 필요하다. 기후변화의 주요인으로 알려진 온실가스는 대부분 인간활동에 의해서 배출되며, 지구상의 인간활동 대부분은 도시공간에서 발생되고 있기 때문이다. 따라서 도시공간을 대상으로 기후변화에 의한 재해대응책을 마련할 수 있다면 이는 궁극적으로 기후변화의 완화 내지는 급격한 변화 속도를 지연시킬 수 있을 것이다.

IPCC의 기후변화취약성에 기반하여 마련된 한국의 재해취약성평가의 대상 재해는 폭우(홍수, 산사태), 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면 상승의 총 6가지로, 이중 폭염은 타 재해와는 달리 건축물 실내와 실외공간의 설계에 의해 일부 제어가 가능하나, 옥

외공간에서는 도심 내에서 전력과 같은 인공적인 에너지 사용, 고밀개발, 교통량 집중 등으로 도시열섬현상이 심화되는 문제가 발생하고 있다. 특히 폭염, 열섬과 같은 도시 열환경 재해는 인간의 건강과 삶의 질에 직간접적으로 부정적인 영향을 미치게 된다고 알려져 있다(Baker et al., 2002; Patz et al., 2005).

도시열섬현상을 완화하기 위해서는 공간적인 해결책 마련이 필요하며, 이를 위해서는 도시공간의 온도지도 구축이 선행되어야 한다. 계획수립을 위한 기후지도를 최초로 제안한 독일의 Knoch (1951, 1963)이래 다양한 온도지도 구축이 진행되어 왔다. 기후지도, 온도지도 구축에는 조밀한 간격으로 기온정보의 측정이 필수적인데, 경제적인 제약으로 균일한 분포의 측정망 구축은 한계가 있다.

일반적으로 기상측정장비에 대한 분석은 주로 우량관측과 관련하여 수행되어 왔다. 강우는 집중호우에 의한 도시침수, 산사태 등을 발생시키는 원인으로 대응방안을 마련하는데 있어서 우량관측 지점의 위치정보와 해당 지점에서 측정되는 정보의 정확도가 중요하게 작용한다. 또한 강우의 경우 공간적으로 비연속적인 특성을 보이기 때문에 제한된 재원 하에서 측정장비의 위치, 즉 측정장비간 설치간격을 적절하게 배치하여 강우발생부위를 공간적으로 정확히 파악하는 것이 필요하다.

기상측정망의 적정범위를 평가한 연구들은 주로 엔트로피 이론과 공간적 자기상관 분석, 주성분 회귀분석 등을 이용하고 있다(박창열 등, 2015). 엔트로피 개념을 적용한 연구는 Caselton and Husain(1980), Chapman(1986), Krstanovic and Singh(1992), Yang and Burn(1994), Al-Zahrani and Husain(1998), 유철상과 정광식(2002), 등이 있다. 이들 연구에서 활용한 엔트로피 이론은 Shannan(1948)에 의해 고안된 정보전달과 관련된 정보이론(information theory)에 근거하고 있으며, 수문학에서 강우와 같이 불확실성이 작용되는 분야에서 모형화하는데 주로 이용되었다.

공간적 자기상관은 Tobler(1970)의 ‘모든 것은 그 밖의 다른 모든 것과 관련되어 있지만, 인접해 있는 것들이 멀리 있는 것보다 더 높은 관련성을 보인다’는 지리학 제1법칙(the first law of geography)에 의해 설명될 수 있다. 공간적 자기상관분석을 적용한 연구로는 유철상 등(2003)이 공간자기상관분석을 통해 남한강 유역의 관측망을 분석한 사례가 있으며, 김재복 등(2007)은 공간상관분석과 엔트로피 방법론을 동시에 적용하여 강우관측망의 적정성을 평가하기도 하였다. 공간적 자기상관을 적용한 최근의 연구로 박창열 등(2015)은 서울시의 30개 자동기상관측망의 강우자료를 수집하여 월별 호우발생특성을 분석하였다. 분석에는 공간적 자기상관모형을 사용하여, 공간상관함수를 유도하였으며, 강우관측망의 영향범위산정을 통해 반경 약 7km의 적정 설치간격을 제시한 바 있다.

이상의 선행연구를 바탕으로 살펴보면, 기상측정망 설치간격의 적정성은 주로 강우를 대상으로 분석이 수행되었으며, 온도와 관련해서는 연구사례를 찾아보기 어렵다. 온도의 경우 인접 지역과의 온도차이가 연속적인 값을 가지는 특성이 있어 강우 발생여부에 따라 우량 관측이 공간상에 단정적으로 나타나는 것과 차별된다.

따라서 본 연구에서는 도시열섬현황을 파악하기 위한 도시는도 제작의 사전단계로 측정장비의 적정설치 범위를 분석하고자 하였다. 분석방법으로는 선행연구에서 적용된 공간적 자기상관분석을 적용하였다. 본 연구에서는 온도측정을 위한 측정지점의 최적 간격을 1차적으로 도출하고, 이를 이용한 최적 설치지점을 선정하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

2.1. 시공간적 범위

본 연구는 서울시 전체를 대상으로 하였다. 서울은 우리나라 국토면적의 약 0.6%에 불과하지만 전체인구의 약 21%가 집중되어 있는 거대도시로 도시 열섬으로 인한 다양한 도시문제가 발생하고 있다(김유진 등, 2012). 연구 분석은 2015년 7월 기온자료를 활용하였다.

2.2. 데이터 특성

연구에서 사용한 데이터는 서울시에 설치된 기상청에서 관리하고 있는 자동기상관측장비 30대와 민간통신업체¹⁾에서 관리하는 장비257대에서 측정된 데이터를 기반으로 분석을 실시하

였다. 이 민간통신업체에서는 기상청 인증을 통과한 복합기상센서를 활용한 장비를 활용하고 있으며, 기상관측 표준화법의 설치기준을 최대한 반영하여 기상청 자동기상관측장비에서 측정하는 기상현황과 유사한 항목을 1분 간격으로 관측하여 실시간 수집하고 있다. 서울시뿐만 아니라 경기도 및 6대광역시에 지속적으로 설치하여 전국망 구축계획을 가지고 있다. 윤성심 등(2015)는 동일한 민간통신업체의 서울시 자료를 인근 기상청 AWS와의 비교를 통해 관측의 신뢰도를 확인한바 있다. 연구에서 활용한 서울시의 기온관측소 현황은 그림 1과 같다.

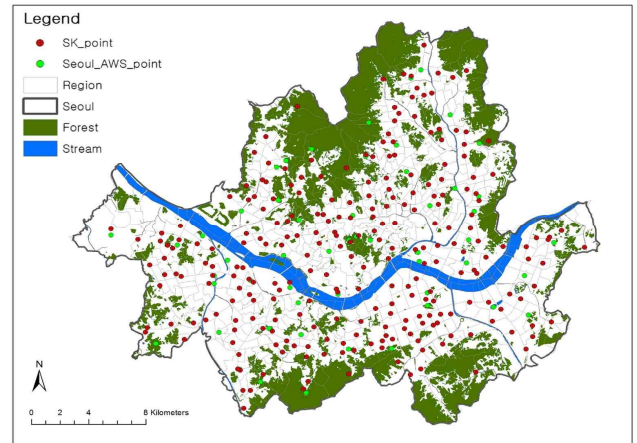


Fig. 1. Temperature observation network in Seoul

2.3. 데이터 전처리

우리나라 기상청의 자동기상관측장비에 대한 품질관리는 물리한계검사, 단계검사, 내적일치성검사, 지속성검사, 기후범위검사, 중앙값 필터 검사를 실시하고 있으며(기상청, 2006), 분석을 위해 사용한 민간 통신업체의 데이터 또한 기상청 실시간 품질분석과 동일한 기준을 반영하여 자체적으로 품질관리 기준에 따라 자료를 관리하고 있다. 하지만 관측된 기상자료에는 기계적인 오작동, 통신장애로 인한 자료 전송 오류 등으로 인해 결측치가 존재할 수 있다. 분석자료의 안정성을 높이기 위해 결측치가 지속적으로 나타나는 기상관측장비의 경우에는 해당 관측소를 제외하고 분석을 실시하였다.

민간통신업체의 기상관측장비는 여러 장애로 인해 관측자료가 수집되지 않은 경우 관측값이 결측코드인 -999, -995로 저장된다. 이같은 결측코드를 결측기준으로 설정하고 전체 자료 중 누적 결측자료수를 결측률로 제시하였다. 기온관측망 영향범위 분석을 위한 최종 분석자료는 결측률이 20% 미만에 해당되는 개소만을 활용하였다.

결측치 분석은 2015년 7월1일부터 31일까지의 1분 간격으로 관측된 정보를 수집하여 분석을 실시하였고, 기온관측망 영향범위는 7월 중 강우량이 없고, 운량이 맑음 또는 구름조금을 충족하는 날의 시간대별 평균을 이용하여 분석을 실시하였다. 기온은 하루 중 시간대에 따라 변동이 심하다. 특히 7월의 경우 어떤

1) 민간통신업체에서 제공된 자료는 SK techx에서 구축한 모바일기반의 자동기상측정 장비에서 측정되었으며, 연구용으로 구입하였음.

지역은 아침 최저기온과 낮 최고기온은 약 13도 가량 차이가 나기도 한다. 그러므로 7월의 기온관측망 영향범위 도출을 위해 주요시간대를 4개로 설정하고 각 데이터를 분석하였다.

또한 공간상관관계 분석 전 각 시간대별로 데이터 이상치를 평가하여, 관측값이 인근 관측소 평균치의 3배 이상의 편차가 발생하는 것은 오류일 가능성이 있다고 보고, 이 같은 극단적 이상치는 제외하고 분석을 실시했다.

2.4. 공간 자기상관관계 분석

기온관측망의 영향범위 파악을 위해 공간 자기상관분석을 실시하였다. 기온분포에 대한 공간상관구조는 기온관측소간 거리에 대한 상관계수로 정량화하게 되며 이것을 공간상관함수 또는 공간상관도라고 한다. 공간상관도는 기온의 공간상관구조를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 공간상관구조의 대표적인 값이라 할 수 있는 상관거리를 정량화하는 데에도 이용된다(North 등, 1991; 유철상 등, 2008).

공간상관분석은 기상관측망 평가 관련 연구에서 다양하게 적용되고 있으며, 공간적으로 연속적인 값을 보이는 온도자료를 평가하는데 적합하다. 이는 온도가 가까운 거리일수록 서로 유사한 정보를 가지기 때문이다. 공간 데이터가 가지고 있는 가장 두드러진 특징은 공간적 자기상관성이며, 공간적으로 인접해 있을수록 유사한 특성을 지니게 되고 상관성이 높아진다(이희연 등, 2013).

분석은 임의의 지점 기온 관측 신뢰도가 인근지점 기온 관측소에 대한 공간상관함수로 설명될 수 있다는 가정 하에 정량화하였다. 공간상관거리는 기온자료의 공간적인 변동 특성에 따라 달라진다. 서울시에 존재하는 기온관측 자료 사이의 상호종속성 또는 관련성은 관측소간의 상관계수에 의해 정량화 될 수 있으며 식 (1)에 의해 표현될 수 있다. $Var(X)$, $Var(Y)$ 는 각각 X, Y의 분산이며, $Cov(X, Y)$ 는 식(2)와 같이 계산되는 X와 Y의 공분산이다.

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{[Var(X) Var(Y)]^{1/2}} \quad (1)$$

$$Cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (2)$$

4개의 시간대(05시, 16시, 20시, 23시)의 포인트별 기온자료를 활용하여 해당지점과 인접거리(0.1km ~ 40km까지 100m 단위) 자료의 평균 자료를 바탕으로 피어슨 상관계수를 도출하였고, 공간적 자기상관지수로 활용하였다.

공간적 자기상관지수는 -1에서부터 +1까지의 값을 가지며, +1에 가까울수록 강한 정적인 공간적 자기상관성이 있음을 말해 주며, 반대로 -1에 가까울수록 강한 부적 공간적 자기상관성이 존재하고 있다고 풀이할 수 있다. 공간적 자기상관성 값이 0에 가까울수록 공간적 자기상관성이 거의 나타나지 않음을 말해준다(이희연 등, 2013). 본 연구에서는 공간적 자기상관계수가 0.4 이상일 경우 서로 공간적상관성이 있다고 판단(박창열 등,

2015; 김재복 등, 2007; 유철상 등, 2008)하여 이에 해당되는 상관거리를 도출하여 제시하였다.

2.5. 기온관측망 영향범위

기온관측소의 영향범위는 원형으로 가정하였다. 이 경우 공간적으로 동방향성이라는 가정을 포함한다. 각 기온관측소의 영향범위를 원형으로 하는 경우 그 반지름 R은 식(3)와 같이 추정할 수 있다(유철상 등, 2008; 박창열 등, 2015). l_c 는 관측소 간 상관거리를 나타내며, 이에 따라 $(l_c/2)^2$ 는 각 기온측정장비를 격자 형태로 위치시키는 경우 지배면적이 되고, 이 면적을 갖는 원의 반지름이 R이 된다. 이때 R은 $l_c/2$ 에 비해 상대적으로 작은 값을 갖게 되고, 이 값은 $l_c/2$ 를 바로 사용하는 경우에 비해 엄격한 기준이 된다.

$$R = \sqrt{\frac{(l_c/2)^2}{\pi}} \quad (3)$$

2.6. 자동기상관측장비 설치 우선지역 선정

앞서 도출된 기상관측망의 영향범위를 반영하여 AWS의 우선 설치지역을 선정하였다. AWS 장비 우선 설치 기준은 5가지로 설정하였다. 첫번째는 기 설치된 기상관측장치의 영향범위를 벗어난 지역, 두번째는 인구가 밀집되어 도시 열환경 영향을 많이 받을 수 있는 지역, 세번째는 온도가 높게 나타나는 지역, 네번째는 자동기상관측장비를 설치하기 어려운 산, 강, 하천은 제외, 5번째는 설치가 용이한 학교 및 주민센터 등 공공시설이 입지한 지역이다.

앞서 설정한 5가지 기준을 바탕으로 평가변수들을 ArcGIS를 이용하여 지도화 하였다. 우선 산, 하천, 강의 경우 AWS 설치에 어려움이 있고, 그늘과 바람의 영향으로 이상치가 발생되기 쉬워 이 지역은 점수를 0으로 부여하고 분석을 실시했다. 각 변수는 natural breaks 방법을 이용하여 10개 구간으로 점수화하였으며, 점수화 된 변수는 AWS 영향범위 변수를 기준으로 단계적으로 중첩하였다.

첫번째로 우선설치지역 선정에서 가장 중요한 기상관측망 영향범위에서 벗어난 지역을 거리별로 점수화하였으며, 두 번째는 기상관측망 영향범위와 인구밀도 변수를 중첩하여 결과를 도출하였다. 세번째로 기상관측망 영향범위, 인구밀도, 온도 변수를 모두 중첩하여 결과를 도출하였다. 세 도면이 중첩된 결과만을 토대로 설치지역을 선정할 경우 AWS와의 거리 변수가 저평가되어 결과가 왜곡될 수 있으므로, 최종적으로 각 세 개의 도면에서 점수가 높은 지역을 추출하여 2번 이상 중복해서 선택된 지역을 최종적으로 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기온데이터 특성

2015년 1년간 관측소별 결측치를 분석한 결과, 전체 평균 결측률은 2.33%였으며, 7월 한달간 평균 결측률은 2.36%로 나타났다. 전체 결측률은 낮았지만 몇 개 지점에서 지속적으로 결측이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 특히 지점번호 352, 10202, 11278, 11288, 11289, 11291 등의 지점 AWS 장비가 20% 이상의 결측률로 나타났다. 주로 관측망이 신설된 경우 전송방식 및 관측장비 불량 등의 문제로 결측이 발생했던 것으로 나타났으며, 자료의 안정성 확보를 위해 본 연구에서는 전체 287개 지점 중 결측률이 20% 미만에 해당되는 281개소만을 활용하여 기온 관측망 영향범위 분석에 활용하였다.

Table 1. Analysis result of monthly missing ratio

Month	<10% (stations)	<20% (stations)	<30% (stations)	<40% (stations)	<50% (stations)	Average Missing ratio(%)
1	268	278	282	282	282	2.94
2	274	279	280	281	281	2.80
3	278	280	281	281	281	2.59
4	280	281	281	281	283	1.90
5	282	283	283	283	283	1.67
6	276	282	283	283	283	2.56
7	280	281	281	281	281	2.36
8	280	282	282	282	282	2.49
9	280	281	281	281	282	2.04
10	280	282	282	282	282	2.16
11	277	278	280	281	282	2.21
12	280	282	282	282	282	2.17

본 연구에서는 4가지 시간대를 설정하여 시간대별 공간상관관계를 분석하였다. 오전 5시는 일출 전으로 약 19℃의 하루 중 최저기온이 측정되는 시간이다. 오후 4시는 하루 중 최고 기온인 35.8℃를 기록하며 폭염에 가장 취약한 시간이며, 서울 전 지역의 온도 편차가 가장 크게 나타났다. 오후 8시는 일몰직후로 지점별 온도 편차가 가장 작게 나타나며, 오후 11시는 일몰 3시간 후로 열섬현상이 가장 크게 나타나는 시간대이다. 각 시간대별 온도분포를 상자도표(box plot)로 나타낸 것은 그림 2와 같으며, 시간대별 평균 온도 특성은 표 2와 같다.

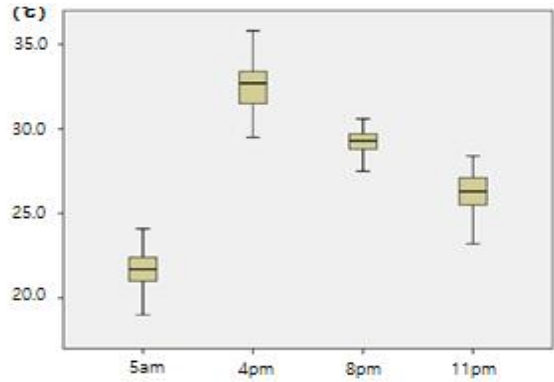


Fig. 2. Box plot of temporal characteristics of temperature

Table 2. Temporal characteristics of temperature (unit=℃)

Time	Mean	SD	Median	Min	Max
5am	21.68	0.97	21.7	19.00	24.10
4pm	32.49	1.25	32.7	29.50	35.80
8pm	29.22	0.6	29.3	27.50	30.60
11pm	26.23	1.1	26.3	23.20	28.40

3.2. 공간 자기상관관계 분석

대상자료를 주요시간대별로 공간 자기상관관계를 분석하였다. 온도가 가장 높은 시간대인 오후 4시의 경우 다른 시간대에 비해 거리가 먼 지점까지 상관성이 높게 나타났으며, 상관거리가 가장 길게 나타났다. 반대로 온도가 가장 낮은 오전 5시는 상관거리가 가장 짧게 나타났다. 오전 5시는 상관거리가 10km, 오후 4시는 23.5km, 오후 8시는 19km, 오후 11시는 22km로 나타나고 있어, 10~22km 범위로 나타났다. 최저온도와 최고온도 차이에 따라 상관거리는 약 11~12km의 차이가 나고 있어 온도 차이에 따라 기온관측망의 상관거리가 달라짐을 알 수 있다.

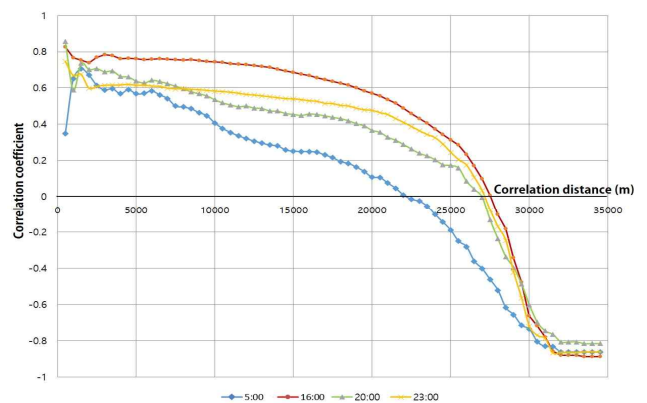


Fig. 3. Spatial correlation of hourly temperature data

3.3. 기온관측망 영향범위 분석

시간대별 관측망의 영향범위를 정량적으로 살펴보기 위해 공간상관분석을 통해 유도된 상관거리를 영향범위로 환산하였다. 앞서 도출된 상관거리의 경향과 같이 일출 전 오전 5시의 영향범

위가 2.82km로 가장 작으며, 오후 4시의 영향범위는 6.63km로 가장 크게 나타났다. 기온 관측망의 상관거리 및 영향범위를 결정하는데 온도의 높고 낮음이 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 온도가 높은 시간보다 온도가 낮은 경우 상관거리가 더 작게 나타나고 있어, 기온관측을 위한 기상관측장비가 더 조밀하게 설치될 필요가 있음을 알 수 있다. 그러므로 관측소가 설치될 경우 최저기온부터 최고기온까지 모든 시간대를 포괄해야 하므로 7월의 모든 시간대를 포괄할 수 있는 기온관측망의 영향범위는 2.8km임을 알 수 있다. 표 3은 주요시간대별 기온관측망의 상관거리와 영향범위를 나타낸 것이다.

Table 3. Correlation distance and effective range of temperature observation network in Seoul

Time	Correlation distance	Effective range
5am	10.0km	2.82km
4pm	23.5km	6.63km
8pm	19.0km	5.36km
11pm	22.0km	6.21km

현재 기상청에서 관리하는 서울시 자동기상관측장비를 기준으로 연구결과로 도출된 영향범위를 2.8km로 적용하여 지점별로 나타내면 그림 4와 같다. 현재 기상청 기온관측망의 영향범위를 벗어난 지역은 주로 도시외곽에 해당되며, 서울시 경계에 위치한 도봉산, 수락산, 북한산, 청계산, 구룡산, 대모산 일대와 장위동, 상계동, 행당동, 삼암동, 수색동 일원이 영향범위에서 벗어나 있음을 알 수 있다.

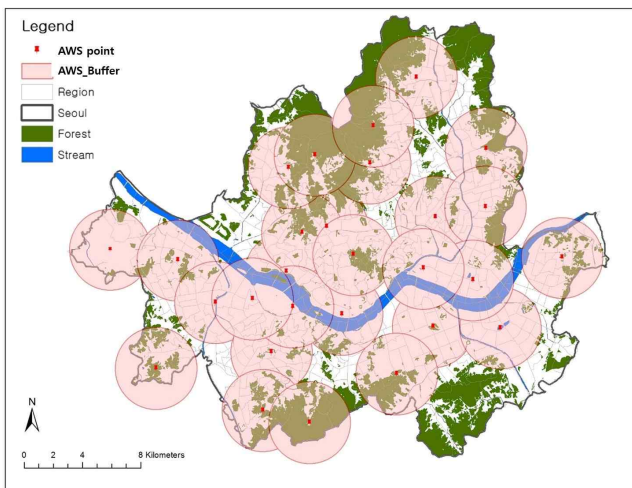


Fig. 4. Effective range based on KMA weather gauge

박창열 등(2015)는 공간상관분석을 이용하여 서울시 강우관측망 영향범위를 7km로 분석한 바 있으며, 이 경우 기상청 AWS를 중심으로 영향범위에서 벗어난 지역은 서울시와 접한 청계산 일부분만 포함된다. 하지만 본 연구결과와 같이 기온관측망의 경우 강우관측망보다 더 짧은 2.8km의 영향범위가 나타나고 있어, 기온 측정을 위해서는 더 조밀한 관측망 조성이 요구된다. 도시의 온도는 도시를 구성하는 인공구조물 증가와 녹지 면적 감소

등 도시피복 특성에 의한 미기후변화에 따라 변동이 심하다(Landsberg, 1981). 그러므로 서울시와 같이 고밀화된 대도시 구역에서 관측망 설치기준은 더욱 엄격할 필요가 있다.

세계기상기구(WMO, 1994)는 도시지역은 10~20km² 면적당 1개소씩의 관측소를 설치할 것을 권장하고 있으며, 이 기준을 만족하는 기상관측망이 설치된다면 서울시 전체는 온도측정에 적합한 분포로 설치되어 있다고 할 수 있다. 하지만 현재 기상청 AWS를 기준으로 살펴보면 이 기준을 만족시키지 못하고 있으며, 기온관측망 영향범위를 모든 지역에서 만족하려면 최소 14개의 관측소가 추가적으로 설치되어야 하며, 기온관측소 간격을 최소 5km 이내로 구축해야 한다.

3.4. 자동기상관측장비 우선설치지역의 선정

앞서 도출한 기온관측망 영향범위와 추가적으로 인구밀도, 온도를 고려하여 AWS 우선 설치지역을 선정하였다. 표 4는 단계적으로 중첩한 3개의 결과(그림 5, 6, 7)에서 상위 10번째에 속하는 지역을 선정한 것으로, 설치 우선순위에 따라 나열하였다. 3개의 결과 중 2회 높은 점수를 얻은 지역은 목4동, 방화1동, 신림8동, 천호1동 이었으며 3회 모두에서 높은 점수를 얻은 지역은 신정1,7동, 중계1동, 행당1동과 도선동, 장위1,2동이였다.

선정된 동별 설치 지점은 지역 내의 주민센터, 파출소 등의 공공시설과 오픈스페이스가 상대적으로 넓은 초·중·고등학교 교육시설 등의 옥상이 민간 건물에 비해 설치 협의가 용이하다고 판단되어 우선적으로 고려될 수 있다.

Table 4. Optimal locations for additional installment of AWS

	Result 1 ¹⁾	Result 2 ²⁾	Result 3 ³⁾
1	Shinjung7 (신정7)	Junggye1 (중계1)	Shinjung1,4,7 (신정1,4,7)
2	Gayang1 (가양1)	Jangwee1,2 (장위1,2)	Mok4 (목4)
3	Banghwa1 (방화1)	Haengdang1, Doseon (행당1, 도선)	Jangwee1,2 (장위1,2)
4	Gasan (가산)	Cheonho1 (천호1)	Junggye1 (중계1)
5	Junggye1 (중계1)	Songpa2 (송파2)	Haengdang2 (행당2)
6	Hail 하일	Sillim4, 8 (신림4,8)	Dapsimni1 (답십리1)
7	Jangwee1 (장위1)	Shingil3 (신길3)	Seocho4 (서초4)
8	Sillim8 (신림8)	Shinjung1,7 (신정1,7)	Bongcheon3,6 (봉천3,6)
9	Doseon (도선)	Mok4, Hwagok4 (목4, 화곡4)	Sadang4 (사당4)
10	Jangan4 (장안4)	Banghwa1 (방화1)	Cheonho1 (천호1)

- 1) Effective range of AWS
- 2) Effective range of AWS + Population density
- 3) Effective range of AWS + Population density + Temperature

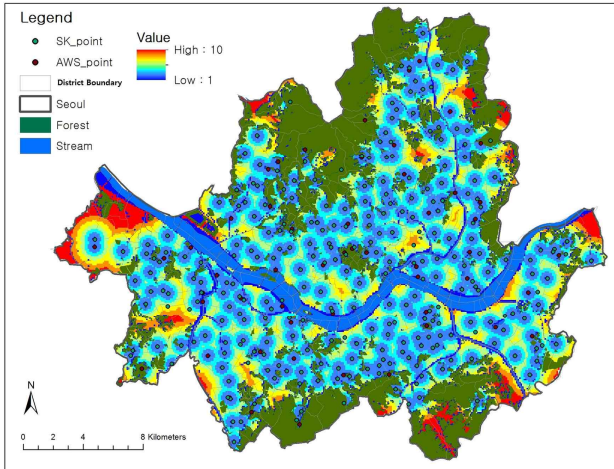


Fig. 5. Mapping of effective range of AWS

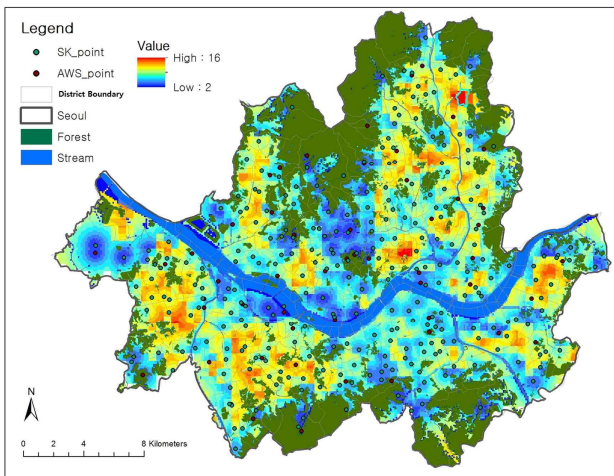


Fig. 6. Mapping of effective range of AWS and population density

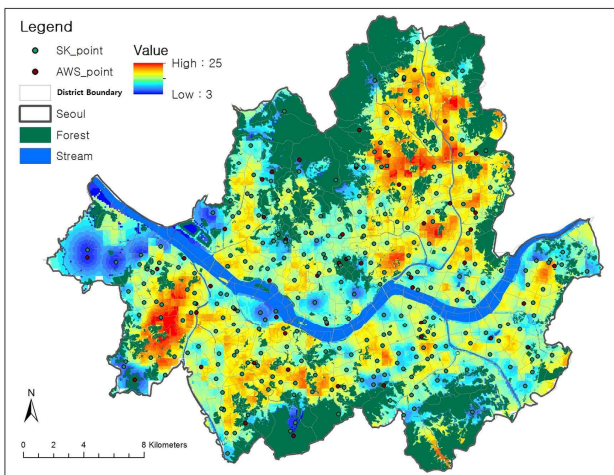


Fig. 7. Mapping of effective range of AWS, population density and temperature

4. 결론

본 연구에서는 서울시 기온관측망 영향범위를 도출하여 현재

분포하는 기상청 AWS 분포의 적정성을 평가한 후, 추가적인 장비 설치 적지를 분석하였다. 공간상관관계 분석을 통한 서울지역 기온관측망 영향범위는 2.8km로 나타났으며, 기상청 AWS 기준으로 영향반경을 도식화한 결과 서울시 외곽지역과 일부 도시지역에 영향범위에서 벗어난 지역이 있음을 확인하였다. 그 결과, 기존의 기상청 기상관측망보다 조밀한 기상관측망이 필요함을 알 수 있다.

하지만 본 연구의 분석범위는 서울지역 7월에 국한하고 있으므로 결과로 도출된 기온관측망의 영향범위는 제한적 해석이 필요하다. 단, 연구결과에서도 알 수 있듯이 가장 더운 시간대의 영향범위가 가장 크고 온도가 내려갈수록 그 영향범위는 작게 나타난다. 그러므로 최소의 기온관측망 영향범위를 충족시키기 위해서는 기온관측소 간격을 최소 5km 이내로 구축하는 것이 바람직하다.

본 연구에 적용된 방법론과 연구결과는 도시환경의 질적 향상과 관련하여 도시계획분야에서 다음과 같이 활용될 수 있다.

첫째, 도시환경 측정 인프라의 활용방안을 제시하였다. 최근 기상, 대기오염, 수질 등 도시환경의 질적 수준을 측정할 수 있는 인프라가 확대되고 있다. 그러나 이러한 인프라를 도시계획차원에서 이용하기 위한 노력은 많지 않은 상황으로 본 연구의 방법론은 적정 온도분포도 작성을 위한 측정지점의 선정과 활용방안을 제시할 수 있다.

둘째, 도시열섬문제의 근원 파악을 위한 지도제작에 활용가능하다. 국외에서 도시기후지도나 열섬지도를 이용한 도시계획 사례가 다수 있으나(Ren et al., 2011), 국내 도시계획제도상에서 도시열섬지도가 포함되지 않고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 점단위에서 측정된 정보가 면단위로 변환될 때 구체적인 공간범위를 제시할 수 있어 도시온도지도제작에 적극 활용될 수 있다.

셋째, 열발생과 저감 기여도 파악을 통한 근거에 기반한 계획과 설계를 가능하게 한다. 궁극적으로 도시열섬지도의 제작을 통해 도시기후지역(Local Climate Zone)의 설정, 바람통로(wind corridor)의 보전, 열발생 건축물, 도로망, 녹지의 배치와 설계에 있어서 열섬지도는 구체적인 위치정보를 제공할 수 있기 때문에 활용도가 매우 높다.

기후변화로 인한 폭염일수 증가와 도시열섬현상으로 관련 질병과 사상자가 발생하고 있다. 이러한 문제를 도시공간으로 한정하여 기후변화에 의한 재해 대응가능성을 검토해보면, 도시열섬에 의한 폭염문제 해결에 대한 중요성이 매우 높음을 알 수 있다. 그러므로 현재보다 더 조밀한 관측망 구축을 통해 도시 열환경을 정밀하게 관측하고 신속·정확한 열섬예보 시스템을 위한 기온관측망 개선이 시급히 이루어져야 한다. 특히 공간적 해결책 마련을 위해 정확도 높은 도시공간 온도지도 또한 구축해야 한다.

Acknowledgment

This research was supported by a grant(16AUDP-B102406-02)from Architecture & Urban Development Research Program(AUDP) funded by Ministry of Land,

Infrastructure and Transport of Korean government.

Reference

- [1] IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science – Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007
- [2] 국민안전처, 재해연보 2014, 2015 // Ministry of Public Safety and Security, Annual Report of Hazard 2014, 2015
- [3] Baker, Lawrence A., et al., “Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): Impacts, feedbacks and mitigation”, Urban ecosystems Vol.6, No. 3, 2002
- [4] Al-Zahrani, M., and Husain, T., “An Algorithm for Designing a Precipitation Network in the South-Western Region of Saudi Arabia”, Journal of Hydrology, Vol.205, No. 3-4, 1998
- [5] Patz, Jonathan A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., and Foley, J. A., “Impact of regional climate change on human health”, Nature, Vol.438, No.7066, 2005
- [6] Knoch, Kar, “Über das Wesen einer Landesklimaaufnahme”, Meteorologische Zeitschrift, Vol.5, 1951
- [7] Knoch, Kar, “Die Landesklimaaufnahme, Wesen und Methodik”, Ber. Dtsch. Wetterdienst No. 85, 1963
- [8] 박창열, 여창진, 임진선, 이지호, “AWS 자료를 이용한 서울지역의 강우관측망 평가”, 서울도시연구 제 16권 제 2호, 2015 // (Park, Changyeol, Yeo, Chang Gun, Lim, Jin Sun, Lee, Jiho, “Evaluating Rainfall Gauge Network using AWS Data in Seoul”, Seoul Urban Research, Vol.16, No. 2, 2015)
- [9] Caselton, W.F., and Husain, T., “Hydrologic Networks: Information Transmission”, Journal of Water Resources Planning and Management Division, Vo.106, No. 2, 1980
- [10] Chapman, T.G., “Entropy as a Measure of Hydrologic Data Uncertainty and Model Performance”, Journal of Hydrology, Vol.85, No. 1-2, 1986
- [11] Krstanovic and Singh, “Evaluation of Rainfall Networks using Entropy”, Water Resources Management, Vol.6, 1992
- [12] Yang and Burn, “An Entropy Approach to Data Collection Network Design”, Journal of Hydrology, Vol.157, 1994
- [13] Al-Zahrani, M., and Husain, T., “An algorithm for Designing a Precipitation Network in the South-Western Region of Saudi Arabia”, Journal of Hydrology, Vol. 205, 1998
- [14] 유철상, 정광식, “엔트로피 이론을 이용한 강우관측망 평가: 혼합분포와 연속분포의 적용 비교”. 대한토목학회논문집. 제 22권 제 4-B호, 2002 // (Yoo, Chulsang, Jung, Kwangsik, “Evaluation of Raingauge Networks using Entropy Theory: Comparison of Mixed and Continuous Distribution Applications” KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.22, No. 4-B, 2002)
- [15] Shannon, Claude, “A Mathematical Theory of Communication”, The Bell system Technical Journal, Vol.27, No. 3-4, 1948
- [16] Tobler, Waldo, “A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region”, Economic Geography, Vol.46, No. 2, 1970
- [17] 유철상, 김인배, 류소라, “우량계의 밀도 및 공간분포검토: 남한강유역을 중심으로”, 한국수자원학회논문집, 제36권 제2호, 2003 // (Yoo, Chulsang, Kim, Inbae, Ryu, Sora, “Evaluation of Raingauge Density and Spatial Distribution: A Case Study for Nam Han River Basin”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol.36, No.2, 2003)
- [18] 김재복, 배영대, 박봉진, 김재한, “소양강댐 유역의 강우관측망 적정성 평가”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집 : v.2007 n.01, 2007.5 // (Kim, Jae Bok, Bae, Young Dae, Park, Bong Jin, Kim, Jae Han, “Evaluation of Raingauge Networks in the Soyanggang Dam River Basin” Conference Journal of Korea Water Resources Association, 2007.5)
- [19] 김유진, 최영은, “기상 조건에 따른 서울의 열섬 강도 특성에 관한 연구”, 국토지리학회지, 제 46권, 제1호, 2012 // (Kim, Yujin, Choi, Youngeun, “A Study on the Intensity of Urban Heat Islands in the Seoul Metropolitan Area by Weather Conditions” Vol.46, No.1, 2012)
- [20] KMA, Real-time quality control system for meteorological observation data(1) Application, 11-136000000206-01(Tech. Note 2006-2), p157, 2006
- [21] North, G.R., Shen, S.S.P., and Upson, R.B. “Combining raingauges with satellite measurements for optimal estimates of area-time averaged rain rate”. Water Resources Research, Vol.27, 1991
- [22] 유철상, 박창열, 김경준, 전경수, “분단위 자료를 이용한 강우의 공간 상관구조 분석”, 한국방재학회논문집. 제 8권 제 6호, 2008 // (Yoo, Chul-Sang, Park, Chang-Yeol, Kim, Kyoung-Jun, Jun, Kyung-Soo, “Analysis of Rainfall Spatial Correlation Structure using Minutely Data” Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.8, No. 6, 2008)
- [23] 이희연, 노승철, 고급통계분석론 :이론과 실습, 문우사, 2013// (Lee, Heeyoun, Noh, Seungcheol, Advanced statistical analysis :Theory and practice, Moonwoosa, 2013)
- [24] Landsberg, H. E., The Urban Climate. New York: Academic Press. 1981
- [25] WMO, Guide to Hydrological Practices, 1994
- [26] Ren, Chao, Edward Yan-yung Ng, and Lutz K. "Urban climatic map studies: a review." International journal of climatology Vol.31, No.15, 2011