韓國環境復元技術學會誌 23(5) : 87～98(2020)
J. Korean Env. Res. Tech. 23(5) : 87～98(2020)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2020.23.5.87
ISSN 1229-3032

시민참여형 도시온도 모니터링의 실효성에 관한 연구*

김은섭[1] · 이동근[2] · 원지은[3] · 최선경[3] · 김미화[3] · 배채영[4] · 박상진[4]

[1] 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 연구원 · [2] 서울대학교 농업생명과학대학 교수 ·
[3] 서울대학교 환경대학원 협동과정 조경학 연구원 ·
[4] 수원시 기후변화 체험교육관 기획팀장, 부장, 대외협력팀장

A study on the Effectiveness of Urban air temperature Through Citizen Participation*

Kim, Eun-Sub[1] · Lee, Dong-Kun[2] · Won, Ji-Eun[3] · Choi, Sun-Kyung[3] · Kim, Mi-Hwa[3] · Bae, Chae-Young[4] and Park, Sang-Jin[4]

[1] Graduate School of Seoul National University, South Korea, Student,
[2] Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Professor,
[3] Suwon Climate Change Education Center, Planning team leader, Director, Head of external cooperation team,
[4] Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Researcher.

ABSTRACT

At the point of implementing policies related to urban heat through the overall environmental assessment of the city using national data, citizen science projects that can collect data in a wide range are emerging for effective policy establishment. Although the utility of citizen data is improving, data quality is a primary concern for researchers employing public participation in scientific research. In this study, validation was conducted based on citizen data acquired in the “Suwon City Heat Map Project”, and the applicability to temperature monitoring was confirmed based on the results. As a result of analyzing the validity verification of citizen data using three methods, the data result value is 0.843, RMSE: 0.683℃, and a meaningful value was found within 3km of national data. We found that citizen data utilization is high through the results of this study and These projects are expected to be used

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2019002760002)

First author : Kim, Eun-Sub, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Student,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : mr.solver92@snu.ac.kr

Corresponding author : Lee, Dong-Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Professor,
Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dklee7@snu.ac.kr

Received : 6 September, 2020. **Revised** : 21 October, 2020. **Accepted** : 20 October, 2020.

as basic data for establishing effective policies or can be reflected in the various planning.

Keyword: *Citizen participation, Urban air temperature , Monitoring, Data validation*

I. 서 론

우리나라 도시 폭염 관련 정책을 살펴보면, 폭염 상황 관리 및 대응 체계 구축을 위한 ‘ 폭염 특보’ 제도와 ‘폭염 대응 종합대책’을 추진하고 있으며, 국가에서 제공하는 AWS 데이터를 기반으로 도시환경을 전반적으로 평가하여 정책을 수립하고 있다(Seoul Research Institute, 2018). 정부 정책 결정 과정에서 데이터의 역할이 강조되는 가운데 높은 해상도에 품질이 높은 데이터의 지속적인 모니터링이 필요성이 대두되고 있으나, 국가에서 구축하는 데이터는 양적 한계가 있으므로 도시공간의 다양한 특성을 반영하기 어렵다.

이러한 한계점을 보완하고자 정부 차원에서는 저렴한 비용으로 넓은 범위에서 자료수집을 할 수 있는 시민과학의 중요성을 인식하고, 국가차원의 정책적인 지원을 확대하고 있다(Gyeonggi Research Institute, 2019). 최근 수립된「제2차 과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획(2018~2022)」에서는 지속가능한 사회문제 해결 생태계를 구축하기 위해 국민참여형 과학 기술정책을 제시한 바 있으며, 과학기술의 사회적 가치 강화를 주요 전략으로 제시하는 등 시민과학을 활성화하고자 하였다(KISTEP, 2018).

시민과학은 특히 생태학 분야에서 생물 다양성, 자연환경 변화에 대한 장기적 모니터링 자료의 구축을 목적으로 ‘PlantWatch’, ‘The YardMap Network’ 등 프로젝트가 추진되고 있다. 기후학 분야에서는 저렴한 센서를 활용하여 수집된 기상데이터를 통한 기상서비스 및 국가정책 활용 플랫폼인 ‘Weather Observations Website(WOW)’, ‘Citizen Weather Observer Program’ 등이 개발되어 기후문제에 대한 시민인식 고취와 데이터 수집을 위해 활용되고 있다(Dickinson et al. 2010) (Table 1).

시민과학 프로젝트는 자료수집과 분석이라는 과학 연구의 기본적인 요소에 해당하므로 정확

Table 1. List of citizen science project

Monitoring	Environmental variable	Program name	Web site
Environmental monitoring	Habitat	The YardMap Network	http://www.yardmap.org/
	Weather	Weather Observations Website(WOW)	https://wow.metoffice.gov.uk/
		Citizen Weather Observer Program	http://www.wxqa.com/
	air temperature	GLOBE project	https://globeproject.com/
	Air quality	시민참여형 대기질 모니터링	http://www.greenkorea.org/?p=67648
		Air Quality Citizen Science	https://aqcitizenscience.rti.org/#/
	Water quality	NASA’s Earth Observatory	http://earthobservatory.nasa.gov/Experiments/CitizenScientist/WaterQuality/
Organismal monitoring	Plants	PlantWatch	http://www.naturewatch.ca/
	Birds	Britain’s Common Birds Census	http://www.bto.org/survey/complete/cbc.htm
	Fish	REEF (coral reef fish)	http://www.reef.org/programs/volunteersurvey

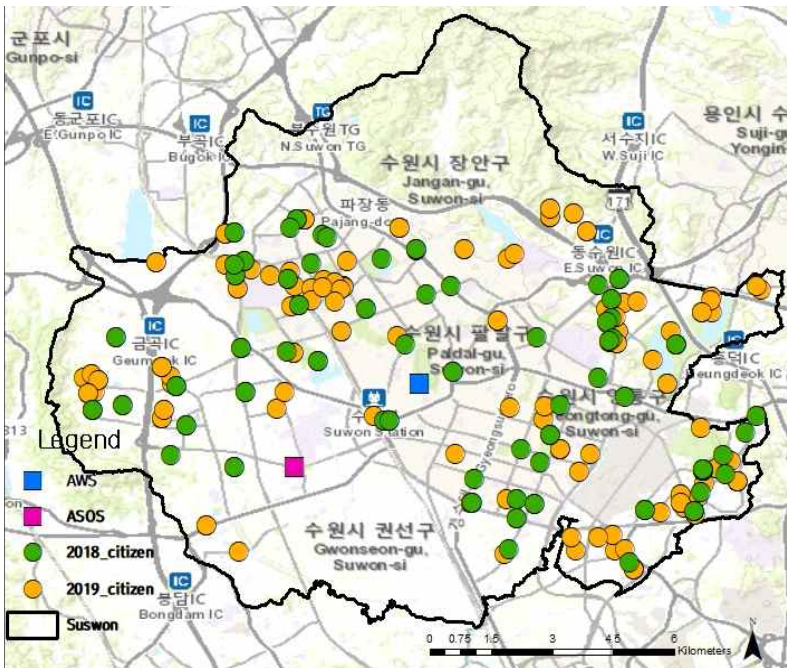

Figure 1. Locations of the Suwon meteorological institute's automatic weather stations(AWS, ASOS) and Citizen's observation data across the Suwon. Citizen's data are categorized into Measurement date in the study.

성 혹은 신뢰성 확보가 요구되기 때문에 이와 관련된 이슈가 점차 증가하고 있으며 다수의 연구가 수행되고 있다. 생태조사(eDNA) 모니터링 활용연구(Biggs et al., 2015). 해양오염모니터링 연구(Hyder et al., 2017), 내륙수의 온도 모니터링(Weyhenmeyer et al., 2017), 수위측정 모니터링 연구(Weeser et al., 2018)등과 같이 다양한 분야에서 시민과학분야가 활용되고 있다.

한편 수원시의 시민단체인 '두드림'에서는 '열지도 그리기 프로젝트'를 2018년부터 매년 여름철 진행하고 있으며, 프로젝트 과정에서 운영진은 시민이 온도측정을 하고 데이터를 구축하는 과정을 직접 수행할 수 있도록 도구 제공, 교육 및 컨설팅을 지원하고 있다. 이러한 과정을 통해 구축된 결과물(생활권 내 환경 요인에 따른 온도 차이와 수원시 지역별 온도 경향성 등)은 활동이 종료된 후 시민에게 다시 피드백 되고 있다. 본 연구에서는 '두드림'의 '열지도 그리기 프로젝트'에서 수집된 데이터의 신뢰성을 파악하기 위해 국가 데이터를 기반으로 유효성 검증 과정을 거쳐 도시 온도모니터링에 대한 활용 가능성을 확인하고자 한다.

정책수립 과정에서의 시민참여 및 참여적 거버넌스에 대한 요구가 점차 높아짐을 고려할 때 본 연구에서의 시민 데이터의 유효성 검증 및 활용 방안에 관한 연구는 충분한 의미를 가질 것으로 기대된다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구대상지 및 활용 데이터

연구 대상지는 경기도 중남부에 있는 경기도수원시이다. 수원시는 121.01km의 면적에 백만이 넘는 인구가 거주하여 인구 밀도 및 개발 밀도가 높은 편이다. 또한, 2010년대 이후 광교신도시와 호매실지구, 고색동, 세류동, 고등동, 당수동, 곡반

정 등의 지역 개발사업이 진행되면서 광범위한 토지피복 전환이 발생하였다. 급격한 도시화로 인해 수원시의 폭염일수는 매년 증가하였으며, 2018년에는 폭염 최고일수(38일)를 기록한 바 있다.

한편, 수원지역 환경·시민단체들은 수원시민들의 기후 행동을 촉진하기 위한 목적으로 '수원시 기후변화체험교육관 두드림'을 공동으로 운영하고, 지역 환경문제를 시민과 함께 계획하고 실행하며 평가하는 협력체계를 추진하고 있다. 특히 '수원시 열지도 그리기' 프로젝트는 시민들이 직접 온도 관측을 수행함으로써 시민의 기후 행동 참여를 유도하여 지역에 대한 이해를 높이고 기후변화에 관한 관심을 증진시키는 목적으로 수행하고 있다. 또한 매년 프로젝트를 진행함에 따라 수원시 온도 경향성을 파악하는데 기여하고 있다.

2. 주민참여 온도 측정 수행 방법

시민참여형 도시 온도모니터링 활동을 수행하기 위하여 먼저 다양한 연령층의 시민 모니터링단을 모집하였는데, 2018년 75명, 2019년 80명이 참여하였다. 2018년은 특정 지점을 지정하여 측정을 진행하였으나, 2019년에는 특정 지점을 지정하지 않고 참여자의 판단에 따라 위치를 정하여 측정을 진행하였다. '두드림'에서는 시민들의 데이터의 측정 오차를 줄이기 위해 측정 전 워크숍을 통하여 측정 방법에 대한 교육을 시행하였으며, 정확한 시간대에 측정값을 취득하기 위해 시민들이 측정한 데이터와 측정 위치는 웹사이트에 10분 내로 올리도록 하였다. 또한 동일한 나무온도계를 일괄적으로 보급하였으며, '유리를 손으로 잡지 말 것', '직사광선을 피하고 통풍이 잘되는 곳에서 사용할 것', '약 5분간 측정할 것' 등 주요 측정 지침을 제시하였다. 측정 기간은 2018년 6월 30일부터 8월 13일, 2019년 7월13일부터 8월 31일 매주 토요일 오후 14:00, 21:00로 한정하였다.

3. 유효성 검증 방법

시민이 측정한 데이터의 활용성을 높이기 위해서는 높은 정확도가 요구되기 때문에 선행연구에서는 측정 대상이나 장비에 따른 데이터 처리에 대한 연구가 주로 진행되고 있다(Wiggins et al. 2011). 시민의 수준에 따른 데이터처리를 위해 설문조사 방법을 활용하는 연구(Fischer et al., 2019), 국가 데이터를 기반으로 한 유효성 검증 연구(Rahman et al., 2017; Cornes et al., 2019; Meier et al., 2017), 센서를 통해 측정된 데이터의 아웃라이어, 오류 값 처리 연구(Jiang et al., 2016) 등이 시민 데이터의 신뢰성 검증을 위해 진행된 바 있다. 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 관측지점의 관측치를 기준으로 다음과 같은 3가지 방법을 활용하여 시민측정데이터의 유효성 검증을 시도하였다(Figure 3). 1) AWS 관측치와 AWS 유효 거리 내 위치한 시민측정데이터의 비교, 2) AWS 관측치와 AWS 주변의 유사한 토지피복 환경에서 측정된 시민측정데이터의 비교, 3) 시민측정데이터 보간법을

Figure 2. Citizen data upload process

통한 AWS 관측치와의 비교.

선행연구에서는 국가 데이터의 유효범위를 15km로 설정하여 분석을 진행한 바 있다(Rahman et al., 2019). 하지만 온도는 지형이 복잡한 지역에서 매우 작은 규모에서도 극심한 변동성을 보이기 때문에 유효범위가 달라질 수 있으므로 국가 데이터의 유효범위를 정의하기가 어렵다(World Meteorological Organization, 2007). 특히 수원시 AWS에서 15km 거리는 수원시 전체를 포괄하기 때문에 본 연구에서는 버퍼 기능을 통해 AWS 데이터와 시민 데이터 간 비교하여 시민 데이터가 AWS의 몇km 이내까지 유효한가에 대해 분석하였다.

도시온도를 공간적으로 분석한 연구는 Local Climate Zones(LCZ) 혹은 토지피복과 대기온도 간의 상관관계 분석을 주로 진행해 왔는데 토지피복 및 토지피복 비율과 대기온도 간 유의미한 관계가 있음을 입증한 바 있다(Yan et al., 2014; pal et al., 2017; Song et al., 2019). 선행연구에서 도시 온도는 주변 200m 내 투수층, 불투수층 변화율이 3% 이상일 경우 온도변화 경향이 있음을 확인했다(Jiang et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 세분류 토지피복을 기반으로 투수층, 불투수층을 분류하고 AWS의 토지 비율의 ±3% 이내 속하는 시민 데이터 간 비교함으로써 시민 데이터의 유효성을 확인하였으며, 유사한 토지피복에 측정한 시민 데이터와 AWS 거리 간 비교를 추가로 확인하였다.

선행연구에서는 불확실한 데이터 혹은 데이터의 신뢰성을 확인하기 위해 보간법을 통한 결과값과 실측데이터 간 비교를 함으로써 데이터 신뢰도 검증을 진행하고 있다(Cornes et al., 2019). 특히 역거리가중(Inverse Distance Weighting, IDW) 방법은 관측된 지점에 근접할수록 높은 가중치를 부여하고, 멀어질수록 낮은 가중치를 부여하는 원리로 연속적인 공간패턴 분석에 활용되고 있다(Xu and Wang, 2017). 따라서 본 연구에서는 시민 데이터를 기반으로 IDW 방법을 활용하여(Sell size: 0.000297, Search Radius settings_Number of points:12로 설정), AWS, ASOS 측정지점에 대한

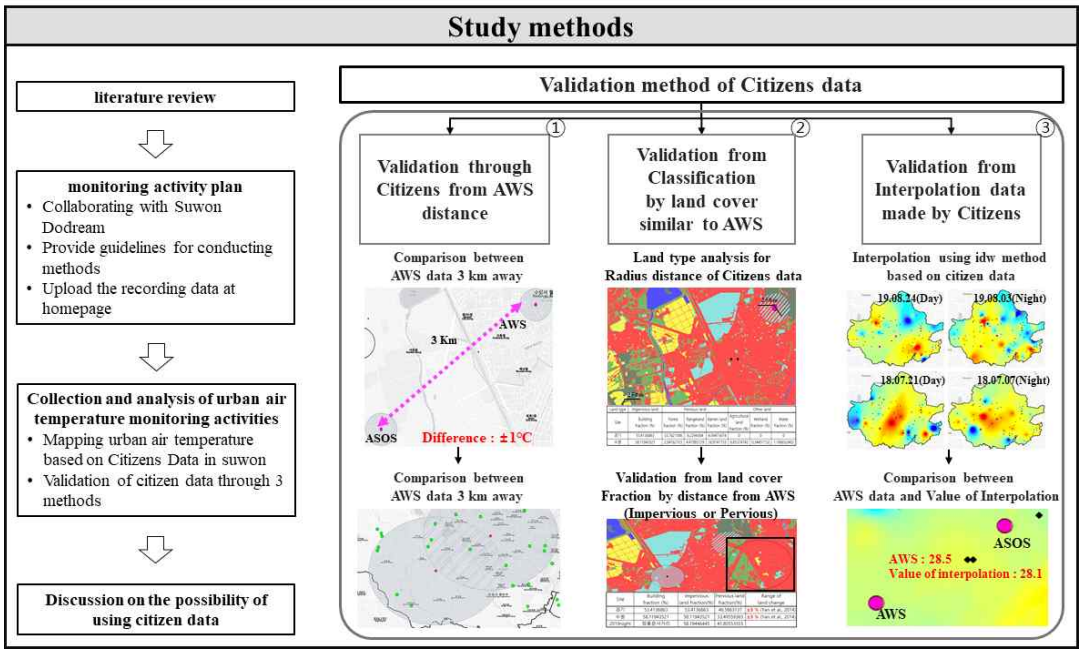

Figure 3. Validation method of citizen's data by comparing with AWS

데이터와 보간법을 통한 결과값 간 비교를 통해 시민 데이터의 유효성을 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시민참여를 통한 도시 온도 지도 맵핑

수원시는 AWS, ASOS 각각 1개의 데이터로 도시 전역에 대한 온도 값을 평가하고 있다. AWS의 경우, 세계기상기구 제반 규정에 따라 설치해야 하므로, 온도 상승에 영향을 주는 요인(도로, 인도, 아스팔트, 건물)등 이 존재하는 도시 지역을 포함한 수원시를 전체를 AWS 1곳에 대한 데이터를 기반으로 정책에 적용할 수 없다. 따라서 높은 해상도에서 다양한 토지피복을 지닌 장소에서의 도시 온도에 대한 불확실성을 '열지도 그리기 프로젝트'를 통해 시민데이터의 활용성을 확인하고자 하였다.

(Figure 4)에서 빨간색으로 표시한 지역의 경우 아파트 단지 및 상가가 주로 분포하고 있으며 불투수층 비율이 높아 다른 지역보다 높은 온도를 확인할 수 있다. 반면 파란색으로 표시한 지역의 경우, 공원, 하천, 산지가 어우러져 있

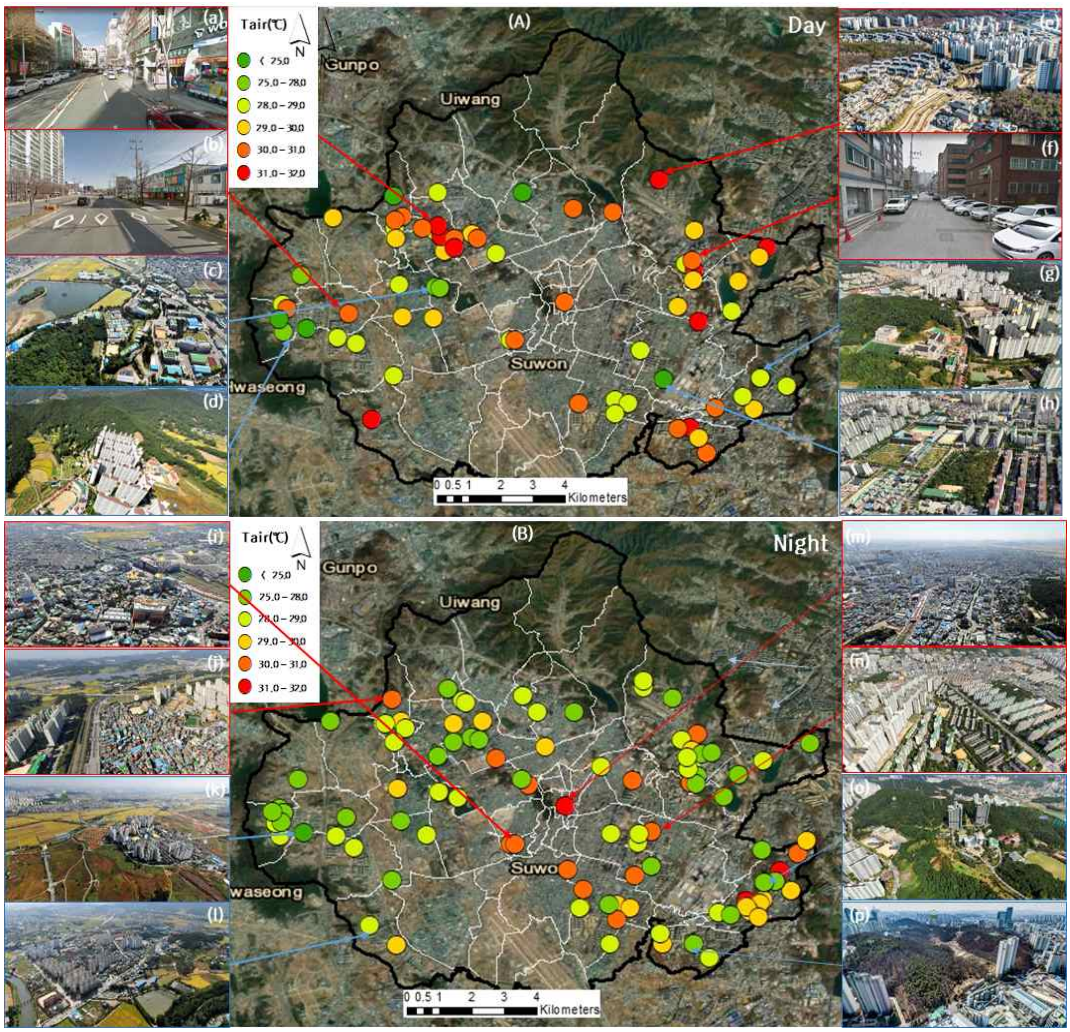

Figure 4. (A) Map of urban air temperature in Suwon at daytime and (B) night time

는 지역으로 투수층 비율이 높으며 빨간색 지역보다 약 2~3℃ 정도의 온도 차이를 확인할 수 있다. 특히 (e) 지점은 광교산 및 광교저수지가 인접한 지역이나, 아파트가 들어서면서 주변 산림지역이 훼손되고, 동수원 IC가 인접해 차량의 왕래가 잦은 지역으로 높은 온도를 보였다. 산림의 쿨링 효과, 저수지의 증발산 효과 등 기온 저감에 영향을 주는 요인이 있음에도 불구하고 (Park et al. 2017), 다른 지역보다 높은 온도를 나타낸 원인에 대해서는 추가적인 시민 데이터 측정을 통한 온도모니터링이 필요할 것으로 사료된다. 또한 (o,p) 해당 지점은 산지 내 아파트가 위치하고 있어, 주변 아파트 단지보다 낮은 온도를 확인할 수 있으며, 특히 밤에 더 낮은 온도 차이를 보인다.

수원시 열지도 그리기 프로젝트는 연도별 10회의 온도 측정 활동을 통해 측정 위치에 대한 온도 현황을 파악하였다. 특히 투수층-불투수층 간 온도 차이와 밤-낮 온도변화에 관하여 확인하는 과정을 통해 밤, 낮 관계없이 투수층이 불투수층보다 낮은 온도를 보였으며, 아파트 단지 내 투수층 비율이 높을 때 낮은 온도가 측정되는 경향이 있었다. '열지도 그리기 프로젝트'는 넓은 범위에서 동일한 시간대에 측정한 연구 결과로 실제 AWS데이터와 편차가 큰 지역이 다수 존재하였다. 해당 프로젝트를 매년 진행한다면, 앞으로 수원시 도시열섬, 기후변화등 연구 분석을 높은 해상도에서 가능할 것으로 사료된다.

2. 유효성 검증결과

1) 유효거리에 따른 시민데이터 유효성 검증

시민데이터의 유효성 검증을 위해 (1) 시민이 측정한 온도 데이터와 AWS거리간 유효성 검증 (Figure 5(a)) (2) 2018, 2019년 시민데이터와 AWS데이터간 유효성 검증(Figure 5(b)) (3)시민교육을 통한 향상된 데이터 질 검증을 위한 Z-검정(Table 2) 순으로 진행하였다. (Figure 5)의 결과를 볼 때, AWS와 거리가 멀어질수록 R-squared 값(1km: R^2=0.999, 5km: R^2=0.651)이 낮아지고, 편차(1km:0.0005, 5km:3.07)가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 AWS데이터와 거리가 멀어질수록 복잡한 도시구조인 시가화 지역 뿐만아니라 다양한 토지이용으로 인해 온도의 편차가 커짐을 확인할 수 있다. 하지만 1~4km에 비해 5km 거리에서는 낮은 R^2=0.651 값이 도출됨에 따라, 본 연구에서는 시민데이터의 유효거리를 4km로 설정하였다. 최근 시민데이터의 활용도가 높아져 비용이 높아짐에 따라, 본 연구 결과는 시민데이터의 측정 반경 범위를 4km로 설정하여 보다 넓은 범위에서 측정할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있다.

(Figure 5 (b))는 2018, 2019년 시민 데이터를 비교 하였으며, 2019년 데이터가 2018년 데이터보다 높은 R^2값을 나타냈다. 이는 2018년에 진행된 시민데이터의 결과를 바탕으로 시민들과의 수정방안 및 고안점에 대한 워크숍을 진행한 결과, 연령별 상이한 측정높이와 매 시간 지정된 장소에 대한 측정의 불편함이 도출되었다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 2019년 프로젝트에서는 측정 높이를 프로젝트 기념 깃발 두 개 높이인 1m로 지정하고, 측정 장소는 매주 토요일 2시, 9시에 수원 야외 장소로 자유롭게 측정할 수 있도록 진행하여 대상지의 선택지를 넓혀 측정에 대한 편의를 향상 시켰다. 추가적인 교육이 시민들의 측정데이터에 영향을 미치는지 확인하기기 위해 Z-검정을 진행하였다(Table 2). 총 1330개의 데이터 수를 바탕으로 검증한 결과 2018AWS데이터와 시민데이터차이 간 평균보다 2019년의 온도차이 평균이 낮게 나타났으며, 단측, 양측 검정 결과 P-value$\leq$0 값으로 보완한 시민 교육방법이 시민들의 이해력을 높이는데 기여했음을 확인 할 수 있다.

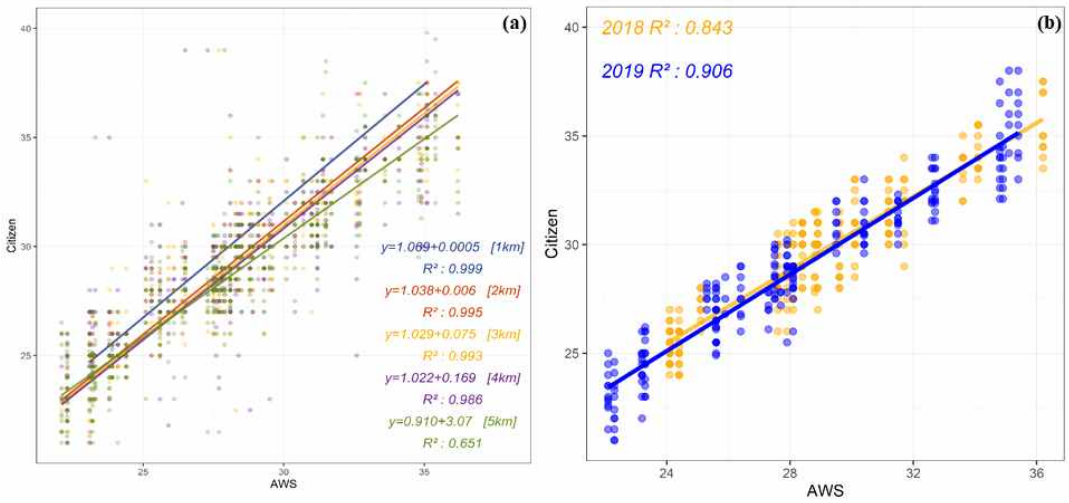

Figure 5. The relationship Between air temperature of AWS(T_{aws}) and Citizen's data($T_{citizen}$) (a) according to AWS buffer distance, (b) per year 2018 and 2019.

Table 2. Comparison of mean differences between 2018 citizen's data and 2019 citizen's data

	Mean	Var	N	z	P(Z<=z) one-tail	z Critical one-tail	P(Z<=z) two-tail	z Critical two-tail
2018	0.78	2.9844	1330	4.6061	0	1.6449	0	1.9600
2019	0.44	4.3811	1330					

2) **토지피복 특성을 고려한 유효성 검증**

토지피복과 AWS 거리에 따른 시민데이터의 유효성 검증을 위해 우선 AWS데이터와 시민데이터간 비교를 진행하고(Figure 6(a)왼쪽 상단), AWS의 유사한AWS와 유사한 토지피복에서 측정한 시민데이터를 추출하고, AWS데이터와의 거리에 따른 온도차이를 분석한 연구 분석 결과 그래프(Figure 6(a)오른쪽 하단), 측정된 시민데이터의 밤과 낮 데이터 비교(Figure 6(b))를 도출하였다. 2018, 2019년 동안의 AWS 데이터와 시민데이터간 비교(gray line (Figure 6(a))와 AWS와 유사한 토지피복을 가진 시민데이터(red line(Figure 6(a))간 비교결과, AWS와 유사한 토지피복에서 측정한 시민데이터(R^2:0.771)로 보다 유의미한 결과를 도출하였다(Figure 6(a))). 추가적으로 본 연구에서는 유사한 토지피복 데이터를 기반으로 AWS간 거리를 1km-5km이상으로 분류하여 추가 분석을 진행하였다. AWS데이터와 가까운 지점에 있으며, 유사한 토지피복을 가진 시민데이터는 거리가 멀리떨어진 지역보다 높은 RMSE값(1km: RMSE = 0.098℃, 5km: RMSE = 2.988℃)을 확인할 수 있다(Figure 6(a)). 유사한 토지피복을 가짐에도 불구하고 온도의 차이가 보이는 이유는 도시의 건물 높이에 따른 현열량의 차이 및 대기중의 온도 흐름의 차이로 판단되며, 이러한 복잡한 메카니즘을 분석하기 위해서는 더 많은 시민데이터의 모니터링이 필요하다.

토지피복이 유사한 시민데이터와 AWS데이터간 밤, 낮 데이터를 비교한 결과, 밤에 측정된 데이터가 낮보다 미세하게 더 높은 R-squared 값을 나타낸다. 이는 일사량으로 인한 온도의

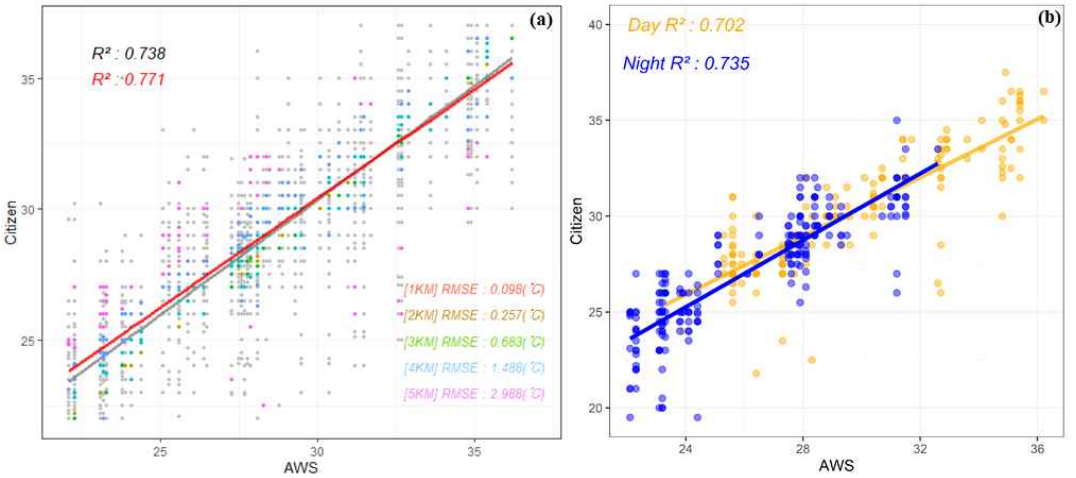

Figure 6. The Relationship Between air temperature of AWS and air temperature of Citizen's data during all day(black line, gray point, R^2:0.738(a)), per Day and Night(b) and Relationship between Citizen's data with similar landcover from AWS and AWS data(redline, R^2:0.771). analysis along distance of AWS(a)

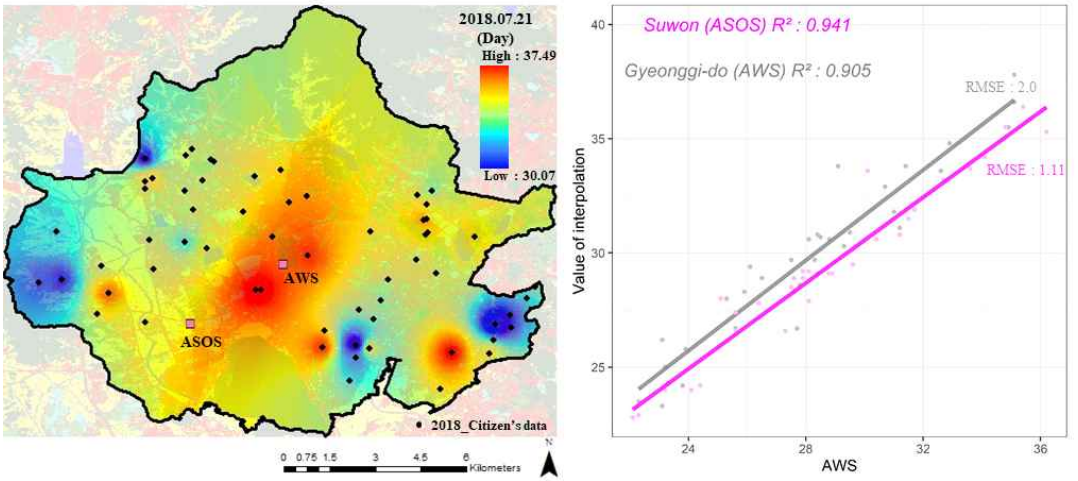

Figure 7. (a)Spatial distribution based on interpolated method at 14:00 on July 21, 2018 (b) Comparison between the result of citizen data using the interpolation method and AWS

영향을 받음을 확인할 수 있다. 측정 교육을 위한 워크숍을 진행하여 측정에 대한 주의사항(직사광선을 피하고 통풍이 잘 되는 곳에서 약 5분간 대기)을 진행하였으나, 더욱 간소한 측정방법에 대한 고안이 필요하다. 해당 프로젝트에서 활용한 온도계는 나무 온도계로 외부 공간에서 일사량에 영향을 많이 받으며, 정확한 온도측정을 위해서는 약 5분간 측정위치에서 머물러야하는 한계점이 있다. 최근 시민과학 프로젝트를 위해 선행연구에서는 저렴하며 간소하게 측정할 수 있는 온도센서를 통해 시민데이터를 수집하고 있으며, 이는 기존에 사용했던 측정기기 및 측정방법에 대한 한계점을 줄여줄 것으로 판단된다.

3) 보간법을 활용한 유효성 검증

시민데이터를 기반으로 IDW 방법을 활용하여 도출된 결과값과(Figure 7 (a)) AWS 온도값 간 비교 결과(Figure 7 (b))이다. 분석 결과 시민데이터는 AWS 데이터보다 ASOS 데이터에서 낮은 RMSE(1.11℃)를 확인할 수 있다. AWS의 경우, 건물 옥상에 설치되어 건물의 열기나 에어컨 실외기 등이 온도에 영향이 미칠 수 있어 절대적인 기준으로 보기 힘든 점을 고려할 때, ASOS와 유의미한 관계가 있는 시민 데이터의 활용 가능성이 높아질 것으로 판단된다. 또한 수원시에서 제공하는 국가 데이터의 미흡한 점과 저렴한 측정 장비를 활용하여 넓은 범위에서 온도측정이 가능한 시민과학 프로젝트는 해당 결과를 통해(Figure 6(a)) 폭염 관련 정책을 효율적으로 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 시민이 참여하는 '열지도 그리기 프로젝트'에서 구축된 데이터와 국가에서 제공하는 데이터와의 유효성 검증을 통해 시민 데이터의 활용 가능성에 관해 확인하였다. 먼저 시민측정의 오차를 줄이기 위한 교육을 진행한 후 국가에서 제공하는 데이터를 기반으로 3가지 방법으로 시민 데이터의 유효성을 확인하였다. Figure 4(a)에서 국가 데이터의 거리에 따른 시민 데이터의 RMSE를 분석한 결과, 거리가 멀어질수록 RMSE값이 증가하는 경향을 보였으며, 3-4km에서 높은 RMSE 차이를 나타냈다. 해당 분석 결과에 따라 국가 데이터의 유효거리를 3km로 설정하여 분석한 결과, R^2:0.843, RMSE : 1.942℃를 나타냈다.

2018, 2019년 AWS데이터와 시민측정데이터간 차이가 각각 (0.78℃, 0.44℃(Table 2))로 나타났고, (Rahman et al. 2017)의 연구 결과가 0.89℃임을 고려해 볼 때 '열지도 그리기 프로젝트'에서 진행한 시민데이터의 활용성이 높음을 확인할 수 있다. 추가적으로 국가 데이터(Figure 5(a))와 유사한 토지피복과 보간법(Figure 6(b))을 통한 유효성 검증 결과 각각 R^2 0.771 R^2 0.941으로 유의미한 데이터임을 확인할 수 있다. 하지만 Figure 5(b)의 결과를 고려해 볼 때 시간에 따른 일사량에 영향을 받지 않으며 저렴한 온도 센서의 활용은 진행 중인 프로젝트에서 보다 정확한 시민데이터 취득을 기대해 볼 수 있다.

2년에 걸쳐 진행한 '열지도 그리기 프로젝트'를 통해 주민참여 도시 온도모니터링 활동의 가능성을 확인할 수 있었으나, 활용 가능성을 높이기 위해서는 몇 가지 보완점이 필요하다. 먼저 간소한 방법을 통한 온도측정 및 업로드를 위해 데이터 로깅이 가능한 센서의 활용이 필요하다. Jiang et al.(2016)에서는 저비용 센서가 측정 장소와 시간에 국한되지 않으며 자유롭게 측정할 수 있는 장점이 있고, 다양한 시간대, 넓은 범위에서의 온도 데이터를 활용할 수 있음을 입증하였다. 두 번째로는 도시온도 모니터링단의 역할을 증대시킬 수 있도록 행정기관의 지원과 참여가 필요하다. 지속적인 주민참여 캠페인 활동과 시민의 적극적 참여를 위한 행정기관의 인증과 프로젝트를 위한 추가 예산 확보 등이 중요하며 체계적인 시민교육, 시민모니터링단 육성과 민·관·학이 연계된 거버넌스 형태의 조직을 통한 체계적인 운영이 시민과학 프로젝트에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

주민참여형 도시 온도모니터링 활동 분석 결과 나무 온도계 활용으로 인한 일부 데이터 측정 오류 등 한계점에도 불구하고 시민 데이터의 활용성에 대한 충분한 가능성을 확인하였다. 주민들이 직접 온도를 측정하고 토지이용에 따른 도시 온도를 파악함으로써 환경에 대한 인식 수준을 높일 수 있고, 폭염 관련 정책을 효율적으로 제시할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 수원시 국가 데이터 2개를 기반으로 국가정책을 수립함을 고려해 볼 때, 시민 데이터는 정책 활용을 위한 기초자료로 활용

할 수 있음을 본 연구를 통해 확인하였으며, 이는 도시공간의 특성이 반영된 많은 양의 측정 데이터를 기반으로 한 상향식 접근 방식으로써 의의가 있을 것으로 기대된다. 향후 이러한 프로젝트가 지속적으로 운영된다면 도시 공간의 공간적-시계열적 분석과 사람 신체 높이에서의 데이터 취득을 통해 실제 사람이 체감하는 온도를 정량적으로 분석할 수 있으며, 나아가 폭염 적응 정책에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

Biggs, J., Ewald, N., Valentini, A., Gaboriaud, C., Dejean, T., Griffiths, R. A., Foster, J., Wilkinson, J. W., Arnell, A., Brotherton, P., Williams, P., & Dunn, F. 2015. Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (Triturus cristatus). Biological Conservation, 183, 19 – 28.

Cornes, R. C., Dirksen, M., & Sluiter, R. 2019. Correcting citizen-science air temperature measurements across the Netherlands for short wave radiation bias. Meteorological Applications, 7; 1–16.

Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. 2010. Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 41; 149–172.

Fischer, H., Amelung, D., & Said, N. 2019. The accuracy of German citizens' confidence in their climate change knowledge. Nature Climate Change, 9(10); 776–780.

Gyeonggi Research Institute 2019. The Potential of Citizen science to Address Environmental Issues. [Korean Literature]

Hyder, K., Wright, S., Kirby, M., & Brant, J. 2017. The role of citizen science in monitoring small-scale pollution events. Marine Pollution Bulletin, 120(1 – 2), 51 – 57.

Jiang, Q., Kresin, F., Bregt, A. K., Kooistra, L., Pareschi, E., Van Putten, E., ... Wesseling, J. 2016. Citizen Sensing for Improved Urban Environmental Monitoring. Journal of Sensors, 2016.

Jiang, Y., Fu, P., & Weng, Q. 2015. Assessing the impacts of urbanization-associated land use/cover change on land surface temperature and surface moisture: A case study in the midwestern united states. Remote Sensing, 7(4); 4880–4898.

KISTEP. 2018. A study on the establishment of the 2nd comprehensive plan for solving social problems based on the science and technology and supporting the activation of R&D projects for solving social problems. (Korean Literature)

Meier, F., Fenner, D., Grassmann, T., Otto, M., & Scherer, D. 2017. Crowdsourcing air temperature from citizen weather stations for urban climate research. Urban Climate, 19; 170–191.

Pal, S., & Ziaul, S. 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 20(1); 125–145.

C. Y. Park, D. K. Lee, Y. G Kwon, M. J. Heo. 2017. Green-infra Strategies for Mitigating Urban Heat Island. J. Korean Env. Res. Tech. 20(5) : 67~81

Rahman, I., Czajkowski, K., Jiang, Y., & Weaver, K. 2019. Validation of GLOBE Citizen Science Air Temperature Observations Using

Data from the Great American Solar Eclipse. 516; 501–509.

Seoul Research Institute. 2018. Solution to improve response to heat waves in Seoul. (Korean Literature)

Song, B., & Park, K. 2019. Analysis of spatiotemporal urban temperature characteristics by urban spatial patterns in Changwon City, South Korea. Sustainability (Switzerland), 11(14); 4-8.

Weeser, B., Stenfert Kroese, J., Jacobs, S. R., Njue, N., Kemboi, Z., Ran, A., Rufino, M. C., & Breuer, L. 2018. Citizen science pioneers in Kenya – A crowdsourced approach for hydrological monitoring. Science of the Total Environment, 631–632, 1590–1599.

Weyhenmeyer, G. A., MacKay, M., Stockwell, J. D., Thiery, W., Grossart, H. P., Augusto-Silva, P. B., Baulch, H. M., De Eyto, E., Hejzlar, J., Kangur, K., Kirillin, G., Pierson, D. C., Rusak, J. A., Sadro, S., & Woolway, R. I. 2017. Citizen science shows systematic changes in the temperature difference between air and inland waters with global warming. Scientific Reports, 7(March), 1-9.

Wiggins, A., Newman, G., Stevenson, R. D., & Crowston, K. 2011. Mechanisms for data quality and validation in citizen science. Proceedings-7th IEEE International Conference on e-Science Workshops, EScienceW 2011; 14-19.

WMO. 2007. Guide to the Global Observing System. Report No. 488. WMO-No. 488, (488); 170

Xu, C., Wang, J., & Li, Q. 2018. A new method for temperature spatial interpolation based on sparse historical stations. Journal of Climate, 31(5); 1757–1770.

Yan, H., Fan, S., Guo, C., Hu, J., & Dong, L. 2014. Quantifying the impact of land cover composition on intra-urban air temperature variations at a mid-latitude city. PLoS ONE, 9(7).