

리빙랩 기반 도시 열 적응 의사결정을 위한 시민 참여 접근법 제안: 수원시 열 취약성 및 대응 우선순위 도출

박소민* · 신진호** · 백시우*** · 김선혁* · 박세희** · 이주영** · 김민정**** · 김은영***** · 박찬*****†

*서울시립대학교 조경학과 박사과정, **서울시립대학교 조경학과 석사과정, ***서울시립대학교 도시공학과 박사과정,
****서울시립대학교 조경학과 학사과정, *****수원시정연구원 선임연구위원, ****서울시립대학교 도시과학대학 조경학과 교수

A living lab-based participatory protocol for urban heat adaptation decision-making: An application for identifying heat vulnerability and response priorities in Suwon, South Korea

Park, Somin* · Shin, Jinho** · Baek, Siwoo*** · Kim, Seon Hyuk* · Park, Sehee** · Lee, Jooyoung** ·
Kim, Minjeong**** · Kim, Eunyong***** and Park, Chan*****†

*Ph.D. Student, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

**M.S. Student, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

***Ph.D. Student, Dept. of Urban Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

****B.S. Student, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

*****Senior Researcher, Suwon Research Institute, Suwon, Korea

*****Professor, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

ABSTRACT

Conventional heat vulnerability assessments tend to rely on air temperature, land surface temperature, and sociodemographic indicators, often overlooking residents' lived experiences and perceptions. Citizen participation is increasingly recognized as a key component of context-specific local adaptation, but it has often been limited to narrow and formalized forms of engagement. This study proposes and tests a participatory protocol that integrates citizen engagement into key stages of the heat adaptation decision-making process. The Suwon Living Lab combines participatory mapping, citizen science-based temperature measurements, and focus group workshops to identify places where residents experience heat impacts, capture local temperature variations, and elicit experiential knowledge and adaptation priorities. The results show that citizen participation helps identify locally relevant vulnerability factors, such as lack of shade, pedestrian density, and mobility-related exposure, that are not adequately captured by conventional assessments. In addition, participatory prioritization enabled the identification of policy-relevant intervention areas and context-specific adaptation needs. The findings demonstrate that residents tend to emphasize detailed environmental conditions and activity-based exposure contexts rather than temperature alone. By integrating local knowledge with citizen science data, priority areas such as Suwon Station and Hwaseo Station were identified. Overall, the proposed approach enables the co-production of locally grounded knowledge, improving the relevance, legitimacy, and effectiveness of adaptation decision-making. This study provides a transferable framework for incorporating citizen participation into urban climate adaptation planning.

Key words : Participatory Planning, Locally-Led Adaptation, Urban Heat Island, Heat-Resilient City, Citizen Science

†Corresponding author : chaneparkmomo7@uos.ac.kr (Baebong Hall Room 204, 163, Seoulsiripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea. Tel. +82-2-6490-2489)

ORCID 박소민 0000-0001-6657-7206
신진호 0009-0004-4680-2487
백시우 0009-0003-9208-2575
김선혁 0009-0009-5595-1464
박세희 0009-0001-0714-8687

이주영 0009-0006-7374-1880
김민정 0009-0008-1667-4831
김은영 0000-0001-5222-3351
박 찬 0000-0002-4994-6855

Received: March 30, 2026 / Revised: April 29, 2026 / Accepted: May 27, 2026

1. 서론

기후변화 관련 피해는 지리적, 사회적 특성, 즉 지역의 민감도와 적응능력에 따라 상이하게 나타나며, 기후변화 적응은 획일화된 대응보다 지역 취약성을 고려한 정책이 필요하다(Chae, 2012; Kim et al., 2020; Park et al., 2021). 그러나 기존에는 정부 및 전문가 주도로 정책이 수립되어 지역의 특성과 주민의 체감이 충분히 반영되지 못한 점이 지속적으로 지적되었다(Ahn et al., 2016). 2021년 수립된 제3차 국가 기후변화 적응대책은 기존 정책 과정에서 주민참여가 미흡한 점을 지적하며 시민생활 실험실(리빙랩), 시민과학 등 시민참여 활성화를 핵심전략으로 제시하였다.

한편, 기존 적응 및 도시 계획 과정에서 이해관계자 참여는 공청회, 설문조사 등 형식적 수준에 머무르는 경우가 많아 실질적으로 정책에 반영되기 어렵다는 한계가 있었다(Jeon and Lee, 2016; Kim and Yun, 2014; Lee et al., 2015). 이에 지역 주민이 정책의 일부 단계가 아닌 전 과정에 참여할 수 있도록 참여 방법론을 개발하고 참여적 접근을 확대할 필요성이 대두되었다(Kim et al., 2021). 이러한 관점에서 최근 리빙랩(living lab)이 공급자 주도 정책의 한계를 극복하고 이해관계자의 참여와 협력을 통한 문제해결을 도모하며, 참여를 과정화 할 수 있는 실천적 수단으로 각광받고 있다(Choi et al., 2021; Dodd et al., 2025). 리빙랩은 “어떤 지역이 가지고 있는 문제를 그 지역 주민들이 주도하여 해결하는 문제해결 방식”을 의미하며 사용자 주도, 생활화 기반, 다양한 행위자 참여를 통한 공동창조, 지속적 개선 등 특징을 가져 시민 역량 강화 및 정책 수용성 향상에 장점이 있는 것으로 여겨진다(Bae, 2018; Shin, 2020).

적응정책 과정은 문제 인식, 기후변화 취약성 및 리스크 평가, 적응방안 도출, 이행 및 평가로 구분할 수 있다. OECD (2024)는 적응 정책과정을 기후 리스크 평가, 적응 계획 및 정책 설계, 이행, 반복적 계획 및 조정으로 제시했고, 유럽 도시 적응 지원 도구(Urban Adaptation Support Tool)도 유사하게 문제와 목표 식별, 적응 기반 준비, 리스크와 취약성 평가, 적응방안 식별, 적응방안 평가 및 결정, 이행, 모니터링 및 평가로 구분했다. 이 중, 취약성 및 리스크 평가, 적응방안 도출 단계가 시민의 경험과 지역적 맥락을 반영하여 적응정책의 실효성과 수용성이 높아질 수 있는 영역으로 인식된다(Kim and Yun, 2014).

선행연구에 따르면 시민참여는 취약성 및 리스크 평가 단계에서 지역 맥락에 맞는 과학적 정보의 공동생산을 가능하게 하고, 적응방안 도출 단계에서는 현장 수요와 이행장벽을 반영하여 정책 수용성과 실행가능성을 높이는 데 기여한다(Sartorius et al., 2024; Singletary and Sterle, 2020). 특히 주민의 지역적 지식이 평가에 반영될 경우 리스크와 취약성 요인, 우선순위를 보다 현실적으로 파악할 수 있으며(Sartorius et al., 2024), 고해상도 지역 데이터 수집과 지역 특성을 반영한 맞춤형 대책 수립에 기여하는 것으로 제시되었다(Kim et al., 2021). 특히, 많은 한국의 도시가 직면한 열 적응과 관련해서 시민들이 휴대용온도 센서를 이용해 열환경을 측정하거나, 경험적 지식을 기반으로 취약지역을 식별하는 접근이 국내외에서 시도되고 있다. Kim et al. (2024)은 수원시에서 시민들과 온도 및 열체감도를 측정하였으며, 시민과학 접근이 지역의 특수한 상황 및 개인의 경험을 고려한 전략을 개발할 수 있다고 제안하였다. Lehnert et al. (2023)은 시민들의 경험적 지식에 기반해 도시 내 핫스팟과 쿨스팟을 지도화하고 정책 선호도를 분석하였다. 이러한 참여적 접근은 기존 기상관측망의 해상도 한계를 극복하고 상세한 취약지역 식별 및 정책 우선순위 설정에 기여할 수 있다(Delina et al., 2025; Geletić et al., 2023; Guardaro et al., 2020). 또한 시민참여는 정량적평가로 도출된 취약지역을 검증하고, 접근성, 유지관리 가능성을 반영하여 더 통합적이고 공정한 대안을 도출하여 목표달성 가능성을 높일 수 있다고 제안된다(Guardaro et al., 2020; Lorencová et al., 2018).

적응정책에서 시민참여 활용 수요가 증가하였으나 실제로 시민이 어떻게 참여할 수 있는지, 어떤 측면을 개선하는지에 대한 구체적 논의와 실증 사례는 여전히 부족하다. 특히 기존 시민참여는 단순 데이터 수집이나 인식조사 등 제한적인 단계에 그쳐, 리스크 평가나 적응방안 도출과 같은 핵심 의사결정 단계에 체계적으로 적용할 수 있는 방법론은 충분히 축적되지 못했다. 따라서 이 연구는 열 적응 의사결정 과정에서 시민참여가 어떤 단계에, 어떤 방식으로 적용될 수 있는지에 대한 실천적 프로토콜을 제안하고, 실제 리빙랩 사례를 통해 그 실행가능성과 산출물의 정책적 유용성을 검토하였다. 이를 통해 시민참여 접근의 실증적 장점을 제시하고 의사결정 지원에의 기여 가능성을 확인하여 기존 연구 공백을 보완하고자 하였다. 이 연구는 다음과 같은 연구 질문을 설정하였다. “시민참여 기반 리빙랩 접근이 열 적응 정책과정에 어떻게 적용될 수 있으며, 기존 전문가 중심 접근을 어떻게 보완

하는가?” 구체적으로, 시민참여를 통한 개선 잠재력이 높고 기존 연구에서 상대적으로 논의가 부족했던 취약성 및 리스크 평가, 적응방안 도출 단계에 시민참여 접근을 적용하는 “수원 기후적응 리빙랩”을 시범적으로 수행하였다. 특히 수원시민의 경험과 인식에 기반하여 도출된 열 취약지역, 지역 취약성 요인, 그리고 시민이 인식하는 열 적응 우선순위를 분석하고, 이를 기존 전문가 중심 접근과 비교함으로써 그 차별성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1. 수원 기후적응 리빙랩

연구대상지인 경기도 수원시는 최근 열 문제에 대한 사회적 관심과 정책적 대응 필요성이 높은 지역이다. 또한 도시계획 및 환경 분야에서 시민참여 경험이 축적된 지역으로(Lee et al., 2015), 열 적응 의사결정 과정에 시민참여를 적용하고 그 활용 가능성을 탐색하는 재현 가능한 시범적용 사례를 도출하기에 적합한 조건을 제공한다.

수원 기후적응 리빙랩은 세 차례의 참여적 워크숍과 3주간의 지역 열 데이터 수집 활동으로 구성되었으며 총 20명의 수원시민이 참여하였다. 전체 리빙랩 및 데이터 수집 기간은 2025년 8월 6일부터 27일까지이며, 워크숍은 8월 6일, 13일, 26일 진행되었다. 참여자는 지역 커뮤니티 홍보와 소셜미디어 광고를 통해 모집되었으며, 20대부터 60대까지 다양한 연령대의 주민들이 자발적으로 참여하였다(Table 1). 참여자 간 공통의 이해를 형성하고 논의의 질을 제고하기 위해 기후변화와 영향, 완화와 적응의 개념, 열 리스크와 취약성, 열 관련 정책 및 기술에 대한 사전 설명과 교육을 포함하였다.

리빙랩 결과 도출된 취약요인 및 취약지역은 환경부에서 개발하고, 수원시 제3차 기후위기 적응대책의 지역 리

스크 도출 과정에서 사용된 VESTAP 취약성 평가도구의 “폭염에 의한 건강 취약성” 항목과 비교하여 기존 전문가 중심 평가와 차이점을 검토하였다.

2.2. 참여적 워크숍을 통한 열 취약지역 및 지역 취약성 식별

참여적 워크숍은 일상생활 속 폭염 관련 경험을 토대로 지역 내 열 취약지역을 식별하고, 시민이 인식하는 열 취약요인을 발굴하는 것이 목적이었으며 5~7명씩 3개의 소그룹으로 나누어 진행하는 포커스그룹 디스커션(Focus Group Discussion, FGD) 접근으로 설계되었다. 참여자들은 개별 수원시 지도에 “열 관련 영향이 심각하다고 느낀 장소”를 스티커(빨간색: 매우 심각하다, 노란색: 약간 심각하다)로 표시하고 상황과 자신이 받은 영향을 간단히 기록하는 참여적 맵핑을 수행하였다. 이후 그룹 내에서 공유하며 비슷한 경험을 했는지, 차이점이 있는지 논의했다. 이후 GIS 프로그램으로 중첩하여 다수가 공통적으로 표시한 공간을 시각화 하였다. 이와 함께, IPCC 리스크 프레임워크를 기반으로 지역의 주요 노출 대상, 취약성 요인을 구분하고, 위성영상의 지표면 온도 데이터, 연구자가 생산한 리스크 평가지도를 함께 검토하며 평소 덥거나 위험하다고 생각한 지역과 일치하는지, 어떤 요인이 평가에 더 고려되어야 하는지 논의하는 활동도 진행되었다(Supplementary 1).

워크숍 전사 자료와 서면 자료는 MAXQDA 프로그램으로 의미 기반 질적 코딩과 빈도 분석을 결합한 질적 내용분석을 수행하였다. MAXQDA는 정성 자료를 체계적으로 코드화하여 빈도분석, 시각화 등 분석을 지원하는 소프트웨어로, Wesselow et al. (2025), Hesselgren and Ihlström (2026) 등 리빙랩 관련 연구에서 코드화를 위해 사용된 바 있다. 자료에서 반복적으로 등장하는 단어와 표현을 식별하여 1차 코드를 정의하였으며, 열 노출, 열로 인한 불편과 직접적으로 관련된 발언을 중심으로 개방 코딩(open coding)을 수행하였다. 도출된 1차 코드는 의미적 유사성을 기준으로 (1) 열 취약요인(환경 및 활동 요인, 취약집단), (2) 장소 및 공간적 맥락, (3) 대응(행동, 정책, 기술)의 세 범주로 체계화하였다. 각 코드와 범주의 출현 빈도를 산정하여, 상대적으로 중요하게 인식되는 취약요인과 장소를 파악하였다. 이후 장소 및 공간적 맥락과 열 취약요인을 연결하여 특정 취약요인이 집중적으로 인식되는 장소를 식별하였다. 분석의 신뢰성과 일관성을 확보하

Table 1. Demographic distribution of participants by gender and age group

Variable	Category	N	%
Gender	Male	3	15
	Female	17	85
Age Group	20-29	4	20
	30-39	4	20
	40-49	8	40
	50-59	3	15
	60+	1	5

기 위해 코딩 결과는 반복적으로 검토되었으며, 모호한 코드는 분석 과정을 반복하며 논의 및 수정하였다.

2.3. 명목그룹기법을 이용한 취약지역 대응 우선순위 선정

참여자 의견을 종합하여 대응 우선순위 의사결정을 하기 위해 명목그룹기법(Nominal Group Technique)을 이용했다. 명목그룹기법은 아이디어 생성과 그룹 내 토론, 투표를 결합해 우선순위를 결정하는 가중 서열화법으로, 1 단계에서는 질문에 대한 브레인스토밍, 2단계에서 라운드 로빈(Round Robin) 방식으로 아이디어를 공유 및 개념화하고 투표를 통해 점수를 산출한다. 1,2회차 워크숍 중 주로 언급된 장소와 실제 지역 열 데이터 수집에서 나타난 핫스팟을 14개 구역으로 구분하고 1~5순위 투표를 진행했다. 1순위부터 순서대로 각각 5~1점을 부여하여 합산 상위 3개 지역을 대응 우선순위 지역으로 선정하였다. 정책수요 투표에서는 워크숍에서 주로 언급된 정책과 Meerow and Keith (2022)의 열 관련 정책 유형을 고려하여 9가지 정책 유형을 제시하였다(가로수, 포켓파크, 그늘막, 옥상녹화 및 벽면녹화, 쿨링포그 및 쿨링로드, 무더위쉼터, 주거환경개선, 폭염경보 및 정보제공, 공유냉장고에 물 비치). 앞 단계에서 선정된 3개의 대응 우선순위 지역에 필요하다고 생각되는 정책을 3개씩 투표하여 상위 2개 정책을 선정하였다.

2.4. 휴대용 센서를 활용한 지역 열 데이터 수집

도시의 다양한 열환경을 측정하고 시민들의 경험적 지식을 뒷받침하기 위해, 휴대용 온도센서를 참여자들의 가방에 부착하고 활동 공간의 기온을 측정했다. 참여자가 공유를 희망한 경로에 한해 GPS 애플리케이션을 이용하여 실외 위치정보를 온도 데이터와 결합했다. 사용된 Kestrel사의 DROP D2는 온도($\pm 0.5^\circ\text{C}$), 습도($\pm 2\%$)를 측정하며, 무게는 약 34 g이다. 측정의 일관성과 신뢰성을 확보하기 위해 사전에 센서 부착 위치와 측정 방법 등 데이터 수집 프로토콜을 참여자에게 안내하였다(Supplementary 2). 체온의 영향을 최소화하고 외부 기온이 측정될 수 있도록, 센서를 주머니나 가방 속에 넣지 않고 외부에 노출된 상태로 휴대하도록 안내했다. 실제 시민들이 일상생활 속에서 고온을 경험하는 장소와 시간대를 파악하는 것이 목적이므로, 참여자들이 평소와 동일한 활동 패턴을 유지하도록 권장하였다. 온도 데이터는 선행연구에서 제안된 휴대

용 센서의 품질관리(quality control) 방법을 참고하여 비정상적 패턴, 비현실적 고온 및 저온 측정값, 실내 측정값 등 이상치를 제거하였다(Beele et al., 2022; Desouza et al., 2022). 시민들이 측정한 기온과 동일 시점의 수원 ASOS 관측소(119) 측정값의 차이를 국지 기온 편차(Local Temperature Deviation, LTD)로 정의하였다(Equation 1). 시민들이 경험한 기온이 공식 기상관측망보다 유의하게 높은지, 그리고 시민들이 발굴한 열 취약지역의 기온이 도시 내 다른 지역보다 높은지를 검토하기 위해 t-검정을 수행하였다.

$$LTD_i = T_{citizen,i} - T_{ASOS,i} \quad (1)$$

3. 연구결과

3.1. 시민 경험 기반 열 취약지역 및 취약요인 도출

질적 코딩 결과, 시민들이 인식하는 열 취약요인은 취약집단, 활동 및 노출 맥락, 환경적 요인, 미기후 요인으로 분류되었다(Table 2). 언급빈도는 전사자료에서 해당 요인이 등장한 횟수를, 참여자 수는 해당 요인을 한번 이상 언급한 참여자의 수를 의미한다. 환경 요인 중에서는 그늘 부족이 핵심적인 열 취약요인으로 나타났다. 특히 보행공간, 버스정류장 등 일상적 체류 공간에서 그늘의 유무가 체감 열환경을 좌우하는 요소로 반복적으로 언급되었다. 또한 건물과 도로 포장 등 인공적 표면 조건도 주요 요인으로 제시되었다. 활동 및 노출 맥락에서는 유동인구가 많은 공간, 보행 활동, 대중교통 대기 등 일상적 이동과 관련된 노출이 주요 열 취약요인으로 제시되었다. 버스정류장에서 장시간 대기하거나 옥외주차장에서 뜨겁게 달궈진 차량에 탑승하는 상황 등 이동 관련 경험이 지역 특성을 반영한 취약요인으로 제시되었다. 취약집단 범주에서는 택배, 배달 종사자와 건설 노동자 등 실외근로자, 고령층이 주요 취약집단으로 인식되었다. 이와 함께, 바람, 자동차 및 도로의 인공열 등 도시 미기후 조건 역시 열 취약성을 설명하는 요인으로 언급되었다. 이러한 결과는 시민들이 열 취약성을 특정 인구집단의 특성만으로 인식하기보다 미시적 환경과 일상적 활동 맥락 속에서 인식하는 경향이 있음을 보여준다.

VESTAP 취약성 평가도구 중 “폭염에 의한 건강 취약성” 항목은 민감도 지표로 5세 미만 인구 비율, 기초수급

Table 2. Citizen-identified heat vulnerability factors and frequency of mentions

Category	Factor	Mentions(n)	Participants (n, %)
Vulnerable population	Outdoor workers	19	11 (55%)
	Children and students	11	6 (30%)
	Older adults	12	9 (45%)
Exposure context (activity and mobility)	Public transport waiting	19	9 (45%)
	Open parking lots	15	8 (40%)
	Walking	22	12 (60%)
	Pedestrian density	44	13 (65%)
Built and natural environment	Lack of shade	46	17 (85%)
	Lack of vegetation	32	12 (60%)
	Impervious surfaces	11	8 (40%)
	Older buildings	11	5 (25%)
Micro-climate	Wind	19	8 (40%)
	Anthropogenic heat	22	9 (45%)

자 인구 비율, 독거노인 비율, 사망자 수 등을, 적응능력 지표로 지역내총생산, 건강보험 적용 인구 비율, 인구당 보건소 인력 등 지표를 사용하고 있다(Baek et al., 2024; Park et al., 2017). 하지만 리빙랩에서 도출된 시민 인식 기반 취약요인은 그늘 부족, 수목 부족, 보행 활동, 유동인구 등 도시 환경과 활동 맥락을 중심으로 나타난다는 점에서 기존 평가지표와 구별된다. 이러한 차이는 전문가 중심 평가가 주로 인구사회적 특성과 제도적 대응 역량 등 구조적 취약성에 초점을 두는 반면, 시민들은 열 취약성을 도시 공간에서의 실제 노출 환경과 일상적 활동 맥락을 통해 인식하고 있기 때문으로 해석되며, 그늘, 수목 등 특성이 시민들이 체감하는 열환경을 이해하는데 중요한 요소임을 시사한다.

시민들이 인식하는 열 취약지역과 각 장소와 연관된 취약요인을 도출한 결과, 수원역 일대가 가장 많은 참여자(14명)에게 언급된 열 취약지역으로 나타났으며, 화서역, 장안구청 및 수원종합운동장 인근 지역이 그 뒤를 이었다. 그 외에도 팔달구청 및 화성행궁 인근, 수원시청, 고색역 및 고색산업단지 인근 지역 등이 열 취약지역으로 언급되었다(Table 3). 참여자들은 취약지역을 주로 환경요인 및 활동과 관련하여 설명하였다. 예를 들어, “(수원역은) 낮에 절대로 밖에서 걷기 힘들어요. 너무 뜨겁습니다.”라고 언급하거나 “화성(행궁)은 아이가 좋아하고 장난감도 서관, 놀이터도 있어서 자주 가는 곳인데 설 수 있는 곳이 없어요. 너무 더워요. 쉼터라도 있으면 좋겠어요.”라고 설명하였다.

각 장소를 설명할 때 주로 사용된 취약요인은 많은 보

행자와 유동인구, 그리고 그늘 부족이었다(Table 3). 특히, 보행자와 유동인구는 대부분의 지역에서 일관적으로 언급된 취약요인이다. 이는 시민들이 특정 장소의 온도보다는 해당 공간에서 이뤄지는 활동과 체류 여부, 즉 노출 맥락을 중요하게 인식하고 있음을 보여준다. 실제로 참여자들은 특정 지역이 온도가 높더라도 실내활동 중심의 공간이거나, 단순히 차량으로 통과하는 장소는 상대적으로 취약하지 않다고 인식하는 경향을 보였다.

또한 취약요인 인식은 장소에 따라 차이를 보였다. 취약지역으로 가장 많이 언급된 수원역의 경우 그늘이 부족하네 유동인구가 많고 보행활동이 이뤄지는 공간이라는 점, 차량 통행이 많아 도로의 인공열로 체감 온도가 높게 느껴진다는 점이 주로 지적되었다. 반면, 고색역 및 고색산업단지 인근은 밀집된 건물과 인공포장 등 물리적 환경요인이 주로 언급되었고, 화서역 인근은 도보 이동 과정에서 경험하는 열 노출이 주요 요인으로 지적되었다.

기존 취약성 평가와 비교할 때, 리빙랩 결과는 공간해상도와 평가변수 차원에서 차이를 보인다(Fig. 1). VESTAP 취약성 평가도구는 읍면동 단위로 결과를 표출하기 때문에 미시적 공간 단위의 취약지역을 식별하기 어렵다(Fig. 1(c)). 하지만 시민참여를 통해 도출한 결과는 구체적인 취약지역을 식별했다(Fig. 1(a), (b)). 이러한 결과는 시민 경험 기반 접근이 구체적 공간 단위로 취약지역을 식별할 수 있으며, 기존의 기상 관측자료나 행정구역 단위 평가로는 포착하기 어려운 지역 단위의 체감 열 취약성을 식별하여 차별화된 대응을 위한 기초자료를 제공할 수 있음을 보여준다.

Table 3. Citizen-identified heat-vulnerable locations and associated factors

Category		Gosaek Station	Suwon Station	Suwon City Hall	Paldal-gu Office and Haenggung Palace	Hwaseo Station	Jangan-gu Office and Sports Complex
Vulnerability		●●	●●●●●	●●	●●●	●●●●	●●●●
Micro-climate	Anthropogenic heat (vehicles, construction sites)	●	●●				●
	Pedestrian density		●●●●●	●●	●●	●●	●●
Exposure Context	Walking					●●	
	Lack of shade	●	●●	●	●●	●	●
Built and natural environment	Lack of vegetation		●●	●			
	Buildings and impervious surfaces	●					

Note: The number of symbols “●” indicates the range of participants who mentioned each item: ●(3-5), ●●(6-8), ●●●(9-11), ●●●●(12-14), ●●●●●(15 or more)

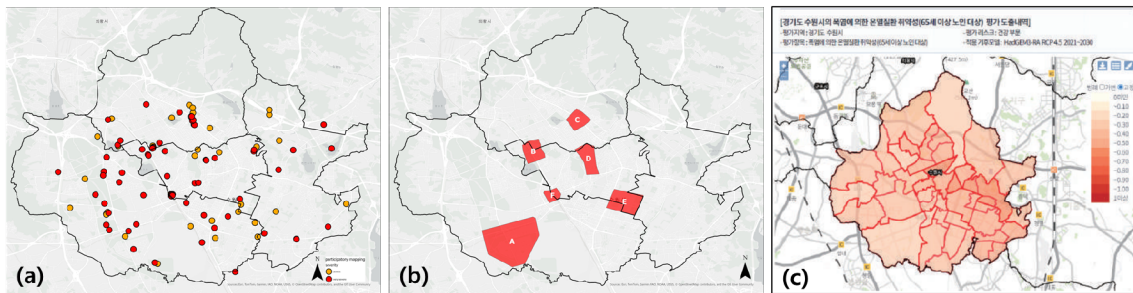


Fig. 1. Comparison of vulnerable area identification approaches: (a) Participatory mapping of heat-related impacts, (b) Workshop-derived vulnerable areas, and (c) Vulnerability assessment used in the Suwon adaptation plan

3.2. 취약지역 대응 우선순위 및 적응방안 도출

명목그룹기법을 통한 우선순위 도출 결과, 수원역 일대가 가장 높은 점수(74점)를 기록하며 최우선 대응 지역으로 나타났으며, 수원시청 인근(40점), 팔달구청 및 화성행궁 일대(35점)가 그 뒤를 이었다(Table 4). 우선 대응 지역에서 요구된 정책 수요를 살펴보면, 수원역에는 가로수와 무더위쉼터, 수원시청 인근에는 가로수와 쿨링포그 및 쿨링로드, 팔달구청 및 화성행궁 일대에서는 무더위쉼터와 가로수가 주요 정책 수요로 도출되었다. 이러한 결과는 시민들이 취약지역의 공간적 특성과 이용에 따라 정책 수요를 다르게 인식하고 있음을 보여준다. 가로수와 무더위

쉼터는 우선 대응 지역에서 공통적으로 높은 점수를 기록하여 도시 열환경 개선을 위한 핵심 수단으로 인식되고

Table 4. Citizen-identified priority locations and associated policy demand

Rank	Priority Location (score)	Policy Demand (score)
1	Suwon Station (74)	Street tree (16)
		Cooling center (13)
2	Suwon City Hall (40)	Street tree (15)
		Evaporative cooling measures (11)
3	Paldal-gu Office & Haenggung Palace (35)	Cooling center (16)
		Street tree (13)

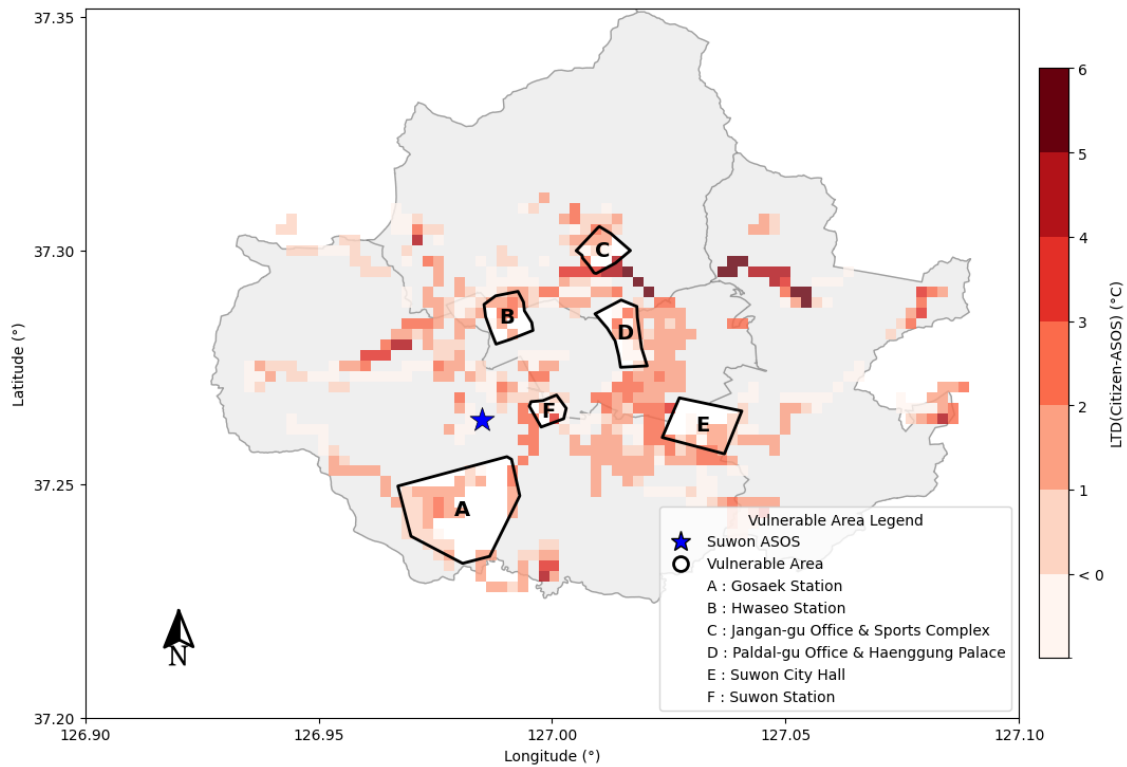


Fig. 2. Spatial distribution of LTD and vulnerable area derived from participatory workshop

Table 5. Comparison of mean local temperature deviation (LTD) across locations relative to the reference group (Difference from reference = Mean LTD_{location} - Mean LTD_{reference group})

Location	n	Mean LTD (°C)	Difference from reference (°C)	95% CI
Reference	7381	0.284	-	-
(A) Gosaek Station	427	0.814	0.53***	[0.441, 0.618]
(B) Hwaseo Station	75	1.681	1.397***	[1.240, 1.555]
(C) Jangan-gu Office & Sports Complex	301	1.187	0.903***	[0.718, 1.089]
(D) Paldal-gu Office & Haenggung Palace	245	-0.513	-0.797	[-1.145, -0.449]
(E) Suwon City Hall	793	-0.926	-1.21	[-1.367, -1.053]
(F) Suwon Station	48	-0.298	-0.582	[-1.115, -0.049]

*** p < 0.001

있었다. 이는 앞선 취약요인 분석에서 그늘 부족이 주요 요인으로 나타난 결과와 일관된 경향을 보인다. 한편, 우선순위 선정 이유로, “가보지 않았지만 워크숍에서 많은 사람들이 이야기해서”, “가보지 않았지만 (온도)데이터가 심각해 보여서” 등 의견이 제시되어 시민들이 개인적 경험뿐만 아니라 워크숍에서 공유된 정보와 지역 데이터를 기반으로 공감대를 형성하고 우선순위 의사결정을 수행

했음을 뒷받침했다.

3.3. 시민과학 기반 고온지역 식별

참여자들이 휴대용 센서로 측정한 온도와 수원 ASOS 측정값의 차이인 국지 기온 편차(LTD)는 평균 0.22°C로 실제 시민들이 경험하는 온도가 공식 측정값보다 더 높을

수 있음을 시사한다. 참여자별 평균 LTD는 0.47°C 로, t-test 결과 0보다 유의하게 큰 것으로 나타나 시민들이 전반적으로 기상관측망보다 높은 온도를 경험하는 것을 뒷받침했다($t = 1.97$, $p = 0.032$).

워크숍에서 도출된 취약지역이 실제로 온도가 더 높은지 확인하기 위해 다른 지역(reference)과 LTD 차이를 t-test로 검정하였다(Table 5). 고색역 및 산업단지, 화서역, 장안구청 및 수원종합운동장 지역은 유의미하게 LTD가 높은 것으로 나타나 워크숍의 취약지역 도출 결과를 지지했다. 한편, 팔달구청 및 화성행궁, 수원시청, 수원역 지역은 LTD 차이가 유의미하지 않았다. 그러나 이 지역들은 많은 보행자와 유동인구, 그늘부족 등 취약요인이 반복적으로 언급된 공간으로, 다수의 참여자가 취약지역으로 인식한 곳이었다. 이러한 결과는 열 취약성에 대한 시민 인식이 온도뿐만 아니라 활동, 체류 시간, 주변 환경 등 경험에 의해 형성될 수 있음을 시사한다. 특히, 시민들이 경험적 지식을 기반으로 취약지역을 발굴하고, 시민과학 기반 검증을 통해 정책 우선순위 논의로 연결되는 참여적 의사결정 과정이 가능함을 보여준다.

또한 온도 데이터와 위치정보를 기반으로 고해상도의 열지도를 구축하여 기존의 기상관측망으로 식별하기 어려운 도시의 다양한 열환경을 측정 및 정보화 할 수 있었다(Fig. 2). 이러한 데이터는 시민들이 실제로 고온을 경험하는 경로와 시간대를 분석하여 도시 열 대응 정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

4. 논의

이 연구는 취약성 및 리스크 평가 단계에서 참여적 맵핑 및 포커스 그룹 디스커션을 기반으로 시민들이 인식하고 있는 열 취약지역 및 취약요인 도출, 휴대용 센서를 이용한 시민과학 기반 고해상도 열지도 구축 및 고온지역 식별, 전문가 생산 평가자료의 검증 및 보완 등 시민참여 접근을 제안 및 시범적용 하였다. 이를 통해 시민참여 접근이 기존 평가를 보완하고 지역특성에 맞는 취약요인을 발굴하는데 유용함을 확인하였다. 리스크 및 취약성 평가는 고위험 지역을 식별하고 적응 전략 수립에 필요한 정보를 제공하는 핵심 단계이다(Adger, 2006). 그러나 기존 취약성 평가는 지역 특성을 충분히 반영하지 못하며, 낮은 공간해상도로 실질적 고위험 지역의 식별이 제한적이었다. 이 연구에서 시민들은 그들이 부족한 공간, 보행자와 유동인구가 많은 공간, 차량에서 발생하는 인공열, 버

스정류장 등 기존에 상대적으로 주목받지 않았으나 지역적 맥락과 밀접한 취약요인을 제시하였다. 이는 열 취약성을 “누가 취약한가?” 또는 “어디가 온도가 높은가?” 중심으로 평가하던 기존 접근을 넘어 공간과 활동 맥락에 따라 가중되는 위험을 강조한다는 점에서 차별성을 가진다. 특히 시민들은 단순히 온도가 높은 지역보다 보행자와 이용자가 많고 그들이 부족한 지역이 더 위험하다는 점을 지적하였다. 이는 시민참여가 정량적 평가를 검증 및 보완하고, 하향식 접근에서 포착하기 어려운 취약지역을 발굴하는데 기여할 수 있음을 시사한다. 이와 함께, 시민이 수집한 지역 데이터는 리스크 평가의 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. 수원시 내 공식기상관측소는 1곳에 불과하여 도시 전역의 미시적 열환경을 파악하고 위험지역을 식별하는 데 한계가 있다. 반면 시민과학 접근은 도시 내 고해상도 열환경 정보를 기반으로 고온 지역을 식별하는 데 기여하였다. 이는 시민참여가 단순한 의견 수렴을 넘어 지역 데이터 생산과 과학적 분석을 보완하는 역할을 수행할 수 있음을 보여준다. 한편, 이 연구의 리빙랩 참여자는 총 20명으로 수원시 전체 인구의 특성을 대표하기에는 한계가 있으며, 결과해석 시 탐색적 사례연구로서의 성격을 고려할 필요가 있다.

적응방안 도출 단계에서는 명목그룹기법을 이용하여 시민들의 선호와 시급성 인식을 반영해 우선 대응이 필요한 취약지역과 정책 수요를 도출하는 방법을 제안했다. 시민과학 데이터와 취약지역 분석 결과를 기반으로 한 속의 과정은 시민의 공간 이용과 노출 맥락을 반영한다는 점에서 의미가 있다. 특히 가로수 식재, 무더위쉼터 등 그늘 제공과 보행 환경 개선을 중심으로 한 정책 수요가 도출되었으며, 이는 취약요인 분석 결과와 일관된 경향을 보였다. 수원시 제3차 기후위기 적응대책에는 시민들이 제안한 가로수 확충, 무더위쉼터, 폭염 그늘막 설치 등이 포함되어 있어, 시민참여 결과는 기존 정책의 필요성과 정당성을 뒷받침하는 근거로 활용될 수 있다. 더 나아가 시민들이 제시한 구체적 열 취약 장소는 해당 사업의 공간적 우선순위를 설정하는 데 기여할 수 있다. 한편, 쿨링포그와 쿨링로드를 기존 계획에 명시되지 않은 방안으로, 시민참여가 새로운 정책 수요를 발굴하는 역할을 수행할 수 있음을 보여준다.

또한, 수원 기후적응 리빙랩은 실제 일상생활 맥락의 문제 발굴 및 데이터 수집, 시민의 경험과 과학적 데이터를 결합한 지식의 공동생산, 다양한 참여자의 숙의를 통한 의사결정으로 이어지는 과정을 통해 리빙랩 접근이 열

적응 과정에 적용될 수 있음을 실증하였다. 특히 참여자들이 지역 데이터를 검토하고 숙의하는 과정에서 지역문제에 대한 관심이 증가하고 인식이 변화하는 양상이 확인되었다. 이는 정책의 초기 단계에서의 시민 참여가 의사결정에 대한 수용성을 높이고 사회적 갈등을 완화할 수 있다는 선행연구(Kahila-Tani et al., 2019; Koh and Yee, 2016; Yoon et al., 2018)의 장점을 재확인한다. 이 연구의 리빙랩은 연구자 주도로 진행됐지만 이러한 접근이 획일적인 대책을 넘어 지역 특화된 적응 정책을 마련할 수 있는 잠재력이 있음을 보였다. 향후 민간 및 공공 이해관계자를 포함하여 확장될 경우 열 적응 정책 설계와 의사결정의 실효성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구는 국내외에서 보편적으로 논의되고 있는 적응 정책과정(policy cycle)을 토대로 시민참여 접근을 시도하였다. 이는 특정 지역 및 맥락에 종속된 방법이 아니라 비교적 단순한 참여도구로 구현될 수 있기 때문에 유사한 도시 지역에서도 적용 가능한 방법론적 틀을 제공한다. 특히, 수원 리빙랩 사례에서 미시적 환경 및 활동 요인의 반영 필요성, 고해상도 취약지역 식별 및 대응 우선순위 설정 등 기존 취약성 평가도구 접근과 차이가 논의되었으므로 다른 지역에서도 지역 맞춤형 취약성 및 리스크 평가 등 참여적 접근의 장점을 참고하여 적응 의사결정을 고도화할 수 있을 것이다.

참여자의 이해도와 참여도를 높일 수 있는 몇 가지 요소가 확인되었다. 먼저 연구 목적과 결과의 활용 방안을 사전에 충분히 설명하는 것이 참여 의지를 높이는 데 중요한 역할을 하였다. 참여자들은 “내가 수집한 데이터가 의미 있게 사용되었으면 좋겠다”는 인식을 바탕으로 복잡한 절차도 최대한 준수하였다. 한편, 참여자들이 직접 센서를 활용해 지역의 온도를 측정하는 과정은 단순한 데이터 수집을 넘어 참여동기를 강화하고 활동 만족도를 높였다. 참여자들은 평소 텅다고 느꼈던 장소를 데이터로 직접 확인함으로써 자신의 경험을 근거화 하고, 워크숍에서 언급된 취약지역을 실제로 방문하는 등 지역에 대한 관심을 확장하고 경험과 데이터 기반 논의를 연결하였다. 다양한 배경의 참여자가 경험을 공유하고 토론하는 과정도 높은 만족도를 보였다. 이는 설문조사, 공청회와 같은 일방향적 참여 방식과 달리 상호작용과 숙의를 기반으로 하는 리빙랩 방식의 장점을 보여준다. 나아가 고해상도 지표면 온도 분포 등 지역 수준의 과학적 정보를 제공하는 것도 문제 인식을 높이고 논의를 심화하는 데 기여하였다.

5. 결론

이 연구는 열 적응 정책 과정의 각 단계에서 시민참여를 시범적용하고, 시민참여로 정책 의사결정이 어떻게 개선될 수 있는지 논의하였다. 연구 결과, 시민참여는 그늘 부족, 보행 및 유동인구, 차량 인공열 등 지역 특성에 맞는 취약요인을 발굴, 지식의 공동생산을 통해 전문가 중심 평가를 보완 및 검증하며, 숙의과정을 통해 대응 우선순위와 정책 수요를 도출하여 의사결정 전반에서 정당성과 실효성을 높일 수 있는 가능성을 확인하였다. 나아가 본 연구에서 제안한 접근은 다른 지역에도 적용 가능한 방법론적 틀을 제공하며, 실증 사례를 통해 그 확장 가능성을 제시하였다.

사사

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 신기후체제대응 환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00221110).

References

- Adger WN. 2006. Vulnerability. *Glob Environ Chang* 16(3): 268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Ahn Y, Kang Y, Park CS. 2016. Characteristics analysis and improvement direction for regional climate change adaptation plans. In: *Proceedings of the Korea Society of Environmental Policy and Administration Conference*. p. 45-46. doi: 10.14249/eia.2016.25.4.296
- Bae M. 2018. The shift to citizen-led climate and safety policies: Focusing on living labs. *Chungbuk Focus* 150(2018-3): 1-18.
- Baek J, Kim J, Roh S, Park C, Kim S, Kim J, Jin H, Oh Y, Seo D, Yoo M. 2024. A study on the linkage and integrated application of imapct and vulnerability assessment tools (MOTIVE, VESTAP) to support the formulation of regional adaptation measures for climate crisis: Focusing on health sector (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(5-2): 831-843. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.5.831
- Beele E, Reyniers M, Aerts R, Somers B. 2022. Quality

- control and correction method for air temperature data from a citizen science weather station network in Leuven, Belgium. *Earth Syst Sci Data* 14(10): 4681-4717. doi: 10.5194/essd-14-4681-2022
- Chae Y. 2012. Prioritization of climate change adaptation measures by sector. Korea Environment Institute. doi: 10.23000/TRKO201800042339
- Choi J, Choi I, Jeon D. 2021. Analysis of the effects of realising the social value of citizen-led local innovation resources: Developing institutional support measures based on an analysis of the effectiveness of living labs. Korea Research Institute for Local Administration.
- Delina LL, Pagkalinawan H, Macagba SFA. 2025. Integrating satellite-based and participatory spatial analyses for local, contextualised, and nuanced extreme heat hotspot mapping in overheated urban Southeast Asia. *Sustain Dev* 34: 1015-1033. doi: 10.1002/sd.70329
- Desouza P, Kahn R, Stockman T, Obermann W, Crawford B, Wang A, Crooks J, Li J, Kinney P. 2022. Calibrating networks of low-cost air quality sensors. *Atmos Meas Tech* 15(21): 6309-6328. doi: 10.5194/amt-15-6309-2022
- Dodd M, Madabhushi N, Lees R. 2025. Placemaking living lab: Creating resilient social and spatial infrastructures. *Build Cities* 6(1): 1027-1045. doi: 10.5334/bc.634
- Geletič J, Lehnert M, Resler J, Krč P, Bureš M, Urban A, Krayenhoff ES. 2023. Heat exposure variations and mitigation in a densely populated neighborhood during a hot day: Towards a people-oriented approach to urban climate management. *Build Environ* 242: 110564. doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110564
- Guardaro M, Messerschmidt M, Hondula DM, Grimm NB, Redman CL. 2020. Building community heat action plans story by story: A three neighborhood case study. *Cities* 107(1): 102886. doi: 10.1016/j.cities.2020.102886
- Hesselgren M, Ihlström J. 2026. Stuck in the driving seat: Results from a semi-urban living lab experiment with mobility services. *J Transp Geogr* 131: 104499. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104499
- Jeon CM, Lee HC. 2016. The trends and characteristics of engaged urban planning in Korea: Focused on 2030 master plans for Cheongju, Suwon, and Seoul (in Korean with English abstract). *Seoul Stud* 17(4): 1-16. doi: 10.23129/seouls.17.4.201612.1
- Kahila-Tani M, Kyttä M, Geertman S. 2019. Does mapping improve public participation? Exploring the pros and cons of using public participation GIS in urban planning practices. *Landsc Urban Plan* 186: 45-55. doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.02.019
- Kim A, Koh J, Yoo G. 2021. Citizen science trends and implications in the field of climate change adaptation (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 12(5-1): 397-407. doi: 10.15531/KSCCR.2021.12.5.397
- Kim ES, Bae C, Ko SY, Won JE, Lee JH, Paio Y, Lee DK. 2024. Enhancing the effectiveness of heat adaptation strategies through citizen science-based outdoor thermal comfort. *Heliyon* 10(21): e39413. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39413
- Kim J, Jung TY, Park C, Moon J, Kang D. 2020. Climate change uncertainty and the classification of 226 local entities in Korea (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 11(5-2): 507-520. doi: 10.15531/ksccr.2020.11.5.507
- Kim JA, Yun S. 2014. An evaluation on climate change adaptation plans of regional local governments: Focusing on planning elements and establishment processes (in Korean with English abstract). *Korean Soc Public Adm* 25(2): 29-51.
- Koh J, Yee WP. 2016. A study on fostering climate change adaptation action (in Korean with English abstract). *J Environ Policy Adm* 24(2): 109-136. doi: 10.15301/jepa.2016.24.2.109
- Lee J, Kim YS, Kim H, Kim DY. 2015. The present status and government officials' recognition of the citizen participation in comprehensive plan - Focused on municipalities of Gyeonggi-do (in Korean with English abstract). *J Urban Des* 16(4): 5-16.
- Lehnert M, Pánek J, Kopp J, Geletič J, Květoňová V,

- Jurek M. 2023. Thermal comfort in urban areas on hot summer days and its improvement through participatory mapping: A case study of two Central European cities. *Landsc Urban Plan* 233: 104713. doi: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2023.104713
- Lorencová EK, Whitham CEL, Bašta P, Harmáčková ZV, Štěpánek P, Zahradníček P, Farda A, Vačkář D. 2018. Participatory climate change impact assessment in three Czech cities: The case of heatwaves. *Sustainability* 10(6): 1906. doi: 10.3390/su10061906
- Meerow S, Keith L. 2022. Planning for extreme heat: A national survey of U.S. planners. *J Am Plan Assoc* 88(3): 319-334. doi: 10.1080/01944363.2021.1977682
- OECD. 2024 Jun 26. Measuring progress in adapting to a changing climate: Insights from OECD countries.
- Park DR, Park B, Jung E. 2017. Guidelines for the VESTAP-based climate change vulnerability assessment. *J Clim Chang Res* 8(4): 339-346. doi: 10.15531/KSCCR.2017.8.4.339
- Park S. 2021. Climate adaptation policies and climate justice with focus on new legislation proposals addressing climate crisis. *Environ Law Rev* 43(1): 39-81. doi: 10.35769/elr.2021.43.1.002
- Sartorius JV, Geddes A, Gagnon AS, Burnett KA. 2024. Participation and co-production in climate adaptation: Scope and limits identified from a meta-method review of research with European coastal communities. *Wiley Interdiscip Rev Clim Chang* 15(3): e880. doi: 10.1002/wcc.880
- Shin SB. 2020. Climate crisis and urban responses: Living lab cases. *Philos Reality* 127: 128-143.
- Singletary L, Sterle K. 2020. Supporting local adaptation through the co-production of climate information: An evaluation of collaborative research processes and outcomes. *Clim Serv* 20: 100201. doi: 10.1016/j.cliser.2020.100201
- Wesselow M, Grothmann T, Siebenhüner B. 2025. Opening up and closing down citizen participation in the development of a sustainable neighborhood energy system. *Energy Sustain Soc* 15: 15. doi: 10.1186/s13705-025-00515-1
- Yoon YS, Yoon JW, Kim YO. Stakeholder engagement in local climate adaptation governance. *Mag Korean Soc Agric Eng* 60(4): 80-87.

부록

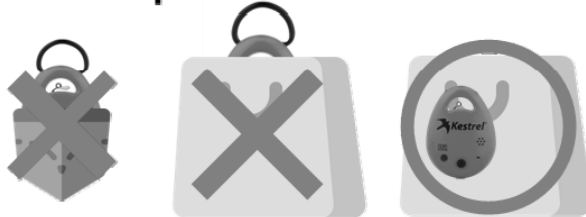
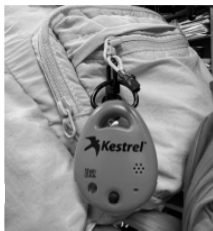
Supplementary 1. Examples of focus group questions and activity sheets discussed in each session

Session	Focus Group Questions
Session 1 (Aug 6th)	1) How severe were the heat-related impacts you experienced? Please attach stickers (red for very severe, yellow for severe) and briefly describe the areas where you indicated that the impacts of heat were severe, including the time, activity, and how you felt. 2) What kinds of problems did you experience due to extreme heat in your daily life? When, where, and during what activities did you feel discomfort?
Session 2 (Aug 13th)	1) Are the hot areas shown in this material similar to the areas where you personally experienced heat-related impacts, or are they different? 2) What actions do you take in your daily life to avoid heat exposure or high temperatures? What policies could help encourage these behaviors? 3) Which groups or places in our community are likely to be affected by climate change? What types of spaces are particularly vulnerable and require adaptation measures?
Session 3 (Aug 27th)	1) Which of the presented spaces do you think are vulnerable to heat-related impacts? Please indicate your ranking from 1 to 5 using numbers and briefly explain your reason 2) Among the places listed below, which locations do you think Suwon City should improve as a priority? Please indicate your ranking from 1 to 5 using numbers and briefly explain your reason 3) For each of the three priority areas identified through the voting results, please select three policies and technologies that you think are needed and briefly explain your reason

Supplementary 2. Instructions for sensor placement during field monitoring



Temperature sensor placement



Do not keep the sensor inside a pocket or bag. Please place it outside so that it is exposed to the ambient air.