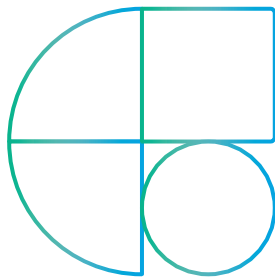




환경포럼

www.kei.re.kr



FORUM



제28권·제6호

통권 제281호

도시폭염 저감기술 적용 효과 및 지자체 적용을 위한 사업선정 프로세스 개발

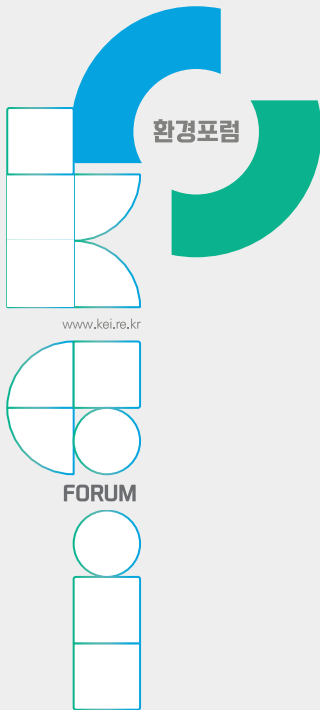
01 | 머리말

02 | 도시폭염 원인 및 저감 요소 기술

03 | 폭염 저감기술별 분석 방법 및 효과 분석

04 | 폭염 저감정책 및 사업선정 프로세스

05 | 맺음말 및 제언



제28권 · 제6호

통권 제281호

도시폭염 저감기술 적용 효과 및 지자체 적용을 위한 사업선정 프로세스 개발

이명진 연구위원 | 환경계획연구실 leemj@kei.re.kr

정지애 위촉연구원 | 환경계획연구실 jajung@kei.re.kr

조영일 연구원 | 환경평가모니터링센터 yicho@kei.re.kr

임영신 전문연구원 | 국가기후위기적응센터 yslim@kei.re.kr

제28권 · 제6호 (통권 제281호)

발행일 2024년 12월 15일

발행인 이창훈

발행처 한국환경연구원
(30147) 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 B동

TEL 044-415-7777

홈페이지 www.kei.re.kr

© 2024 한국환경연구원

요약

기후변화로 인한 여름철 폭염은 도시 지역에서 더욱 빈번히 발생하며, 인구 밀집 지역의 취약계층에 큰 영향을 미치고 있다. 이에 따라, 도시 열환경을 개선하기 위한 폭염 저감기술의 효과를 과학적으로 검토하고, 이를 정책과 사업 선정 과정에 반영하는 노력이 필요하다. 본 연구는 폭염 저감기술을 상부공간 일사차폐, 지상열 억제, 횡방향 벽면냉각, 인체냉각의 4가지 요소로 구분하고, 이를 상세화한 8개의 기술(녹음, 인공차양, 지표면 녹화, 지표면 열반사, 벽면녹화, 냉각루버, 송풍팬, 미세 분무장치)을 김해시 장유무계지구에 적용하여 실증적인 효과를 분석하였다. 분석 결과, 녹음 기술은 설정 온도 대비 최대 17.8°C 저감 효과를 보였으며, 나머지 기술들도 각기 도심 열환경 개선에 기여하는 것으로 나타났다. 그러나, 현재 폭염 저감 정책 및 사업 선정은 정형화된 프로세스 부재와 과학적 근거 부족으로 인해 정책 입안자의 주관적 판단에 의존하는 경우가 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위한 프로세스 정립이 필요하다. 이에 본 연구는 중앙부처와 지자체 간 협력을 강화하고, 전문가 자문을 통한 과학적 근거 보강 및 체계적인 단계(수요조사, 계획 수립 및 예산 배정, 사업 시행 및 관리 단계)를 수립하여 수요조사, 유지관리, 모니터링 강화 등을 제안하였다. 본 연구를 통해 다양한 조건에서의 기술효과 분석 및 정형화된 프로세스를 구축함으로써 중앙정부와 지자체 간 협력과 절차의 효율성을 높일 수 있으며, 기술 적용에 대한 우선순위 의사결정에 대한 과학적 근거를 마련할 수 있을 것이다.

* 본 내용은 한국환경연구원(KEI)의 행정안전부 수탁과제인 「도심환경을 고려한 폭염 저감 기술 최적화 개발」의 일부를 요약·정리하고, 논의를 심화하여 시사점 및 정책 방향을 제시한 것임을 밝힙니다.

01

머리말

2024년 여름은 1973년 이후 전국 평균기온 25.6°C로 평균보다 약 1.9°C(평년 평균온도 23.7°C) 높은 여름을 경험하였다.¹⁾ 특히, 여름철 중후분(7월 하순부터 8월 하순)까지 장기간 지속적인 높은 기온, 폭염 및 열대야가 진행되었고, 8월의 평균 기온은 평년 대비 약 2.8°C 높았다. 이는 전술된 1.9°C와 비교하여도, 약 1°C 이상 높은 기온이다.

이렇듯 우리나라 폭염일수는 여름철 평균기온 상승으로 점진적 상승하고 있으며, 최근 30년 평균기온은 약 1.4°C 증가 및 매년 폭염일수는 0.4일씩 늘고 있다. 국내 기후위기 미래 양상을 고려하면 평균기온과 최고기온이 최소 2.6°C~최대 7.1°C 상승할 것으로 예상되며 이에 따라 폭염으로 인한 피해는 이미 다방면에서 급증하고 있다. 이와 관련하여 사람을 대상으로 한 피해를 정량적으로 분석하면, 열질환자 수는 꾸준히 증가하여 2018년 4,526명(사망 48명)으로 최고 수치를 보였다(박성우 외, 2019). 2050년에는 전세계 66%가 도심 및 도시권에 거주하게 될 것으로 예측되어 도시폭염 저감기술의 효과 확산을 위하여 적용지역을 효율적으로 선정하고, 모니터링 하는 것이 필요하다.

특히, 폭염에 의한 피해는 교외지역 보다 도시에서 크고 빈번하게 발생한다. 도시는 SOC(Social Overhead Capital) 뿐만 아니라, 인구분포 및 취약계층 등의 빈도가 높다는 특징이 있다(배민기, 김보은, 이채연, 2020). 도시의 폭염 피해를 저감하기 위한 기반기술 중에서는 물리적 폭염을 차단하는 방법 등이 주류를 이룬다. 예를 들어 도로의 건물목 등 햇빛이 직사광사이며, 주변 시설물에 의해 지표의 상대온도가 높은 지역에는 상부공간 차폐 등의 시설물을 설치한다(정주희, 오병철, 2022). 본 연구에서는 전술된 내용을 보다 구체적으로 제시하는 '상부공간 일사차폐(옥상녹화, 인공차양)', '지상열 제어(지표 녹화, 지표 열반사)', '횡방향 벽면냉각(벽면녹화,

1) 기상청 보도자료(2024.9.5), p.45.

냉각루버) 및 '인체냉각(송풍팬 및 미세분무장치)'의 4가지 요소와 이를 상세화하는 8개 기술을 김해시 장류무계지구 등 현장에 적용하여 실내 원단위 폭염효과 분석 및 현장 적용을 통한 분석 방법과 효과를 정리하였다.

또한, 기존 폭염이 발생한 지역 또는 폭염 피해 저감을 위하여 전술된 폭염저감 기술을 직접적으로 설치, 운영하는 행정안전부, 환경부 등의 다양한 중앙부처 저감 사업을 수행하기 위한 사업선정 및 지정 프로세스를 기존 사례 조사를 통하여 문제점 분석 및 개선방향을 도출하였다.

본 연구를 통하여 도시폭염 저감을 위해 기존의 개발된 저감 기술의 효과 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 실제 중앙부처 중심의 적용 지역 선정, 운영을 위한 사업 선정 프로세스를 기반 기술을 적용하는 개선방안을 도출하였다.

그림 1

2024년 6월부터 8월까지 전국 평균기온 분포 및 일별 시계열 현황



자료: 기상청 보도자료(2024.9.5).

02

도시폭염 원인 및
저감 요소기술

1. 도시폭염 원인 및 특징

전 세계 인구의 약 55%가 도시에 거주하고 있으며, 2050년에는 도시화가 진행됨에 따라 66%에 이를 것으로 예측되고 있다(Habitat, U.N., 2018, pp.18-21). 이러한 도시화 과정에서 도로와 건물 등 도시면적이 확산되면서 녹지 면적이 감소하고, 에너지 사용량의 증가로 도시열섬(UHI: Urban Heat Island)과 열대야현상이 빈번해지면서 심각한 인명피해가 발생하고 있다. 2024년 우리나라는 2018년 이후 가장 극심한 폭염을 기록하였으며, 8월 폭염으로 인한 사망자 수는 30명, 열사병과 같은 온열 질환자 수는 3,226명에 달했다.²⁾ 특히 서울시에서는 36일 동안 열대야가 발생하였으며, 이 중 34일은 연속으로 열대야를 기록했다.³⁾ 따라서 폭염 발생에 대한 정확한 정의와 그 특성을 이해하는 것은 폭염 저감 정책을 수립하는데 필수적인 요소가 된다.

폭염은 비정상적으로 높은 기온이 수일에서 수십 일간 지속되는 대기 현상(Xu et al., 2016)으로 정의된다. <그림 2>와 같이 도시에서 발생하는 UHI은 교외지역에 비해 도심의 온도가 상대적으로 높은 현상으로 자동차 배기가스 등으로 인한 대기오염과 도시내의 인공열, 지상피복의 변화에 의해 발생한다(Schmidt and Lawrence, 2022). 도시 내 불투수면적의 확산으로 현열(Sensible heat)은 증가하고, 녹지와 수공간의 감소로 잠열(Latent heat)은 감소하여 도심에서 에너지가 효율적으로 방출되지 못하고 축적되어 열 환경을 악화시키는 주요 원인이 된다. 또한, 고층 건물의 확산은 공기의 흐름을 저하시켜 열이 도시 내에 갇히는 현상을 가속화한다.

2) Korea JoonAng Daily(2024.8.23), "Korea reports more than 3,000 heat-related cases, 28 deaths this year", 검색일: 2024.10.28.

3) 기상청(2024.8.23), "열대야일수", 검색일:2024.10.28.

그림 3

(a) 폭염 대응방안에 따른 요소기술 분류 (b) 분석 방법론 정립



자료: 저자 작성.

신체냉각 기술은 폭염 시 직접적으로 인체의 체온을 낮추기 위한 방안으로, 피부 표면의 온도와 체열 방출량을 조절한다. 송풍팬 및 미세 분무장치를 활용하여 바람과 증발을 통해 국소적으로 피부 표면의 열 방출을 촉진시켜 열 축적을 해소하며 체감온도를 줄여 폭염으로 인한 열 스트레스를 완화한다(표 1 참조).

지상열 제어 기술은 지표면의 온도 및 미세 기후를 변화시켜 도심 내 열 축적을 방지하기 위한 기술이다. 지면이나 옥상 부분을 녹화해서 지면의 온도 상승을 억제하는 지표면 녹화와 노면의 일사를 상공으로 반사시켜 온도 상승을 억제하는 지표면 열반사 차단 방법이 있다.









상부공간 일사차폐 기술은 녹지나 인공 차양을 활용하여 건물 옥상과 같은 상부 공간에 일사량을 차단하는 방법이다. 건물 상부공간에 녹지환경을 조성하여 식재에 의한 열 흡수 및 옥상녹화 조성에 따른 피복면 단열 효과와 그늘을 통한 일사차폐를 적용하여 온도를 저감한다.

횡방향 벽면냉각 기술은 벽면을 녹화하거나 냉각 루버 등을 설치해 벽면의 온도를 낮추는 방식이다. 건물 벽면을 덩굴식물이나 녹화패널 등으로 감싸 벽면의 온도 상승을 억제하며, 루버 등에 물을 분사해 표면을 냉각시켜 공기의 온도를 낮추는 역할을 한다.

각 기술별로 설정된 물리지표를 통해 폭염 저감 효과를 정량적으로

평가함으로써 도심 열환경 개선을 위한 구체적인 대응 방안을 마련할 수 있다. 본 기술들의 도심 내 실제 적용 효과를 파악하기 위해 김해시 장유무계동(35°12' N, 128°45' E) 일원을 대상으로 연구를 수행하였다. 본 지역은 2019년 환경부의 지역특화 취약성 개선 시범 사업지역으로 선정되어 다양한 폭염저감기술들이 실제 적용되어 있는 지역이다.

표 1
열전달 메커니즘에 따른 폭염 저감 요소별 측정 물리지표

구분	기술분류	요소기술 및 저감 메커니즘	개념도
	신체냉각	- 송풍팬 몸에 바람을 쐬게 하여 피부 표면에서의 열 방출을 촉진·열 축적을 해소하는 대책	
		- 미세 분무장치 미세 미스트를 분무함으로써 분무 직후 기화하여 국소적으로 기온을 떨어뜨리는 대책	
	지상열 억제 및 냉각	- 지표면 녹화 지면이나 옥상 부분을 잔디 등으로 녹화하여 지면 등의 온도 상승을 억제하는 대책	
		- 지표면 열반사 차단 노면에 비치는 일사의 일부를 상공으로 반사시켜 노면의 온도 상승을 억제하는 대책	
	상부공간 일사차폐	- 녹음 건물의 상부에 녹지환경을 조성하여 식재에 의한 열 흡수 및 옥상녹화 조성에 따른 옥탑부 피복면 단열 효과	
		- 인공차양 인공차양으로 그늘을 조성하는 일사차폐 대책	
	횡방향 벽면 냉각	- 벽면녹화 건물 벽면을 덩굴식물이나 녹화패널 등으로 감싸 벽면의 온도 상승을 억제하는 대책	
		- 냉각루버 루버 등에 물을 분사해 표면을 냉각시켜 방사환경을 개선하고 통과하는 바람을 차갑게 하는 대책	

자료: 環境省(2023), “まちなかの暑さ対策ガイドライン_令和4年度部分改訂版”, 검색일: 2024.9.5을 바탕으로 저자 작성.

03

폭염 저감 기술별 분석 방법 및 효과 분석

1. 신체 냉각기술(송풍팬, 미세 분무장치)

가. 신체 냉각기술 폭염 저감 메커니즘

신체를 냉각시키는 기술은 거주자가 느끼는 폭염을 기준으로 열전달 메커니즘 및 제어 기술을 정의하며, 송풍팬과 미세분무 장치로 구분된다. 송풍팬은 몸에 바람을 쏘여 피부 표면에서의 열 방출을 촉진하고 열 축적을 해소하는 대책이고, 미세분무 장치는 미세한 미스트를 분무하여 분무 직후 기화함으로써 국소적으로 기온을 떨어뜨리는 대책이다(그림 4 참조). 이와 유사한 대책은 일본에서도 시행되고 있으며, 특히 여름철 열섬 현상을 완화하기 위해 공공장소에 미세분무 장치를 설치하는 등 다양한 노력이 이루어지고 있다(표 2 참조).⁴⁾

그림 4

신체냉각기술 (a) 송풍팬 및 미세분무장치, (b) 신체냉각기술 실측 장비



(a)



(b)

자료: 저자 작성.

4) 環境省(2023), “まちなかの暑さ対策ガイドライン_令和4年度部分改訂版”, 검색일: 2024.9.5.

표 2

신체냉각 기술 폭염저감 메커니즘 및 효과

기술분류		폭염 저감 메커니즘 및 효과
신체냉각	송풍팬	<ul style="list-style-type: none"> • 송풍팬을 통해 직접 바람을 쏘여 피부 표면에서 열차 방출되도록 촉진하는 행위 • 공기가 머무르기 쉬운 장소나 사람이 밀집해 열이 축적되기 쉬운 장소 등에 송풍팬을 통해 열 축적을 분산시켜 기온 상승을 억제하는 효과
	미세 분무 장치	<ul style="list-style-type: none"> • 대기 중으로 미세한 미스트를 분무한 직후, 증발 할 때의 기화열을 이용해 국소적으로 기온을 떨어뜨리는 효과 • 분무되는 미스트의 입자 지름은 재료에 따라 다르지만 10~80mm로 미세하여 단시간에 기화되기 때문에 체감온도를 낮출 수 있음 • 송풍팬과 함께 사용하면 효과가 극대화 됨

자료: 저자 작성.

나. 신체 냉각기술 폭염 저감 실측 효과

신체 냉각기술의 폭염 저감 효과를 분석하기 위해, 현장 실증으로 송풍팬 및 미세분무장치 시스템을 구축하고 IoT 기반의 측정 모듈을 설치하였다. 그러나 외부 미시기후 조건으로 인해 데이터의 안정화가 어려웠기 때문에, 실내 통제 실험을 방법론으로 선정하였다. 실험 조건은 실내 온도를 40℃, 상대습도를 20%로 고정하고, 송풍팬과 미세분무 장치를 가동하여 효과를 분석하였다. 분석 결과, 실내 설정 온도 40℃를 기준으로 송풍팬은 3.4℃ 상승, 미세분무 장치는 3.2℃ 하강의 효과를 나타냈다(표 3 참조).

표 3

신체 냉각기술(송풍팬, 미세분무 장치) 실측 효과값

저감기술	설정온도	측정온도	온도차
송풍팬	40.0℃	43.4℃	3.4℃
미세 분무장치	40.0℃	36.8℃	-3.2℃

자료: 저자 작성.

2. 지상열 억제 및 냉각기술(지표면 녹화, 지표면 열반사 차단)

가. 지상열 억제 및 냉각기술 폭염 저감 메커니즘

지상열에 의해 거주자가 느끼는 폭염을 기준으로 지상열의 열전달 메커니즘 및 제어 기술을 정의하고, 이를 지표면 녹화와 지표면 열 반사로 구분한다(그림 5 참조). 지표면 녹화는 지면이나 옥상을 잔디 등으로 녹화하여 지면 등의 온도 상승을 억제하는 대책으로, 잔디나 초목류 등을 통해 표면 온도의 상승을 억제할 수 있다. 지표면 열 반사는 노면의 열사의 일부를 반사시켜 노면의 온도 상승을 억제하는 대책으로, 열 차단성 포장을 이용해 차도와 교차로 등에 도포한다. 미국 환경 보호국(EPA: Environmental Protection Agency), 일본환경성 등에서 열섬저감을 위한 대책으로 제시하고 있다(표 4 참조).⁵⁾ 뿐만 아니라, 뉴욕시에서는 중앙정부 차원이 아닌 지자체 차원으로 자체적인 폭염 대책을 위해 높은 지표면 녹화와 차열 포장을 지붕 옥상에 적용하여 건축물 내부의 냉방을 위한 방안으로 제시하고 있다.⁶⁾

그림 5

지상열 억제 및 냉각기술 (a) 지표면 녹화, (b) 차열 포장



(a)



(b)

자료: 저자 작성.

5) 環境省(2023), “まちなかの暑さ対策ガイドライン_令和4年度部分改訂版”, 검색일: 2024.9.5; EPA(2008), “Guide to Reducing Heat Islands”, 검색일:2024.9.5.

6) City of New York(2024), “NYC Cool Roofs”, 검색일: 2024.10.28.

표 4

지상열 억제 및 냉각기술 폭염저감 메커니즘 및 효과

기술분류		폭염 저감 메커니즘 및 효과
지상열 억제 및 냉각	지표면 녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 증산작용 등을 통해 햇빛을 받아도 식물의 잎이 잘 뜨거워지지 않기 때문에 녹화 안에서 적외 방사가 줄어들음 • 낮에는 양지 쪽 아스팔트 면에 비해 녹화면의 온도가 10℃이상 저감 가능 • 저녁 이후 녹화면 온도는 기온보다 낮아지고 한낮의 아스팔트 면보다 3~4℃정도 저감 가능
	지표면 열 반사 차단	<ul style="list-style-type: none"> • 열 차단화된 노면이 부분 열사열을 반사 • 노면에 흡수되는 열량이 감소하여 노면 온도상승이 억제되면서 적외 방사가 저감 • 한낮에는 표면온도가 아스팔트에 비해 5~10℃정도 낮고, 기온보다 10~15℃정도 높음 • 야간에는 열 차단성 포장의 표면온도는 아스팔트 포장에 비해 1~3℃정도 낮고, 기온과는 유사

자료: 저자 작성.

나. 지상열 억제 및 냉각기술 실측 효과

지표면 녹화와 지표면 열 반사 기술의 효과를 기반으로, 각각의 기술이 지표면 온도를 어떻게 저감시키는지에 대해 구체적인 측정 결과를 분석하였다. 이를 위해 설정된 일사 조건은 전천공일사에너지가 750W/m²일 때의 지표면 온도를 측정하였다. 먼저, 지표면 녹화 기술을 적용한 경우 기온이 40℃일 때 지표면 온도는 69.4℃로 측정되었다. 이는 아스팔트 표면의 최고 온도인 73.5℃에 비해 4.1℃ 낮은 수치로, 녹화된 지표면이 태양으로부터 흡수되는 에너지를 줄여 온도 상승을 억제하는 것을 보여준다. 녹화된 표면에서는 식물의 증발산 작용과 그늘 형성 효과로 인해 지면의 온도가 낮아지는 경향을 보이며, 이러한 과정은 도시 열섬 현상 완화에 기여할 수 있다(표 5 참조).

차열포장 기술을 적용한 경우, 기온이 40℃일 때 표면 온도는 68.1℃로 측정되었다. 이는 아스팔트 표면 온도보다 5.4℃ 낮은 결과로, 열 반사 기술이 태양 복사 에너지를 반사하여 열 흡수를 줄임으로써 온도 상승을 막는 메커니즘을 반영한다. 열 반사 기술은 반사율이 높은 재료를 사용해 열전도를 억제하며, 주로 교차로나 차도와 같은 대규모 노출 지역에서 효과적으로 적용될 수 있다. 이 두

가지 기술 모두 지표면 온도를 낮추는 데 효과적이며, 도시 열섬 현상 완화에 중요한 역할을 한다. 지표면 녹화는 생태적으로도 긍정적인 효과를 가져오는 자연 기반 솔루션으로, 녹색 공간을 통해 도시 환경을 개선하는 데 기여한다. 반면, 차열 포장 기술은 비교적 빠르게 적용할 수 있는 기술로, 도로 및 인프라 시설에 효율적으로 도입될 수 있다. 따라서, 이러한 기술들을 도시 환경에서 폭염 저감 대책으로 적극 활용함으로써, 도시 거주자의 체감 온도를 낮추고 열환경 개선을 위한 전략으로 채택할 필요가 있다.

표 5

지상열 억제 및 냉각기술 (지표면 녹화, 차열 포장) 실측 효과값

저감기술	설정온도	측정온도	온도차
지표면 녹화	40.0℃ (기온)	69.4℃ (표면온도)	-4.1℃ (표면온도)
차열 포장	40.0℃ (기온)	68.1℃ (표면온도)	-5.4℃ (표면온도)

자료: 저자 작성.

3. 상부공간 일사차폐기술(인공차양, 녹음)

가. 상부공간 일사 차폐기술 폭염 저감 메커니즘

상부 공간의 일사 차폐에 따른 거주자의 체감 폭염을 기준으로 열전달 메커니즘 및 제어 기술을 정의하고, 이를 인공차양과 녹음으로 구분한다(그림 6 참조). 인공차양은 태양광 패널이나 가림막 등의 인공적인 차양과 식생을 활용한 자연 차양으로 나뉘며, 이러한 인공차양을 통해 그늘을 조성하여 일사를 차폐하는 대책이다. 녹음은 수목 차폐에 해당하며, 지표면 위에 식재를 조성하여 식재에 의한 열 흡수와 상부 공간에서의 직달 일사를 막아 일사를 차폐함으로써 기온을 저감한다. 특히 미국과 일본 등 해외 다양한 국가에서 도시 열섬

현상을 완화하기 위해 인공차양과 녹음 기술을 적극적으로 도입하고 있다.⁷⁾ 전술된 중앙정부 차원 뿐만 아니라, 미국 로스앤젤레스 지자체에서는 자체적으로 가로수 녹음 조성을 통한 폭염 대응책으로 제시하고 있다(표 6 참조).

그림 6

상부공간 일사 차폐기술 (a) 인공차양, (b) 녹음



(a)



(b)

자료: 저자 작성.

표 6

상부공간 일사 차폐기술 폭염저감 메커니즘 및 효과

기술분류		폭염 저감 메커니즘 및 효과
상부공간 일사차폐	인공차양	<ul style="list-style-type: none"> • 차양에 의한 일사 차폐로 그늘이 조성된 노면 벽면의 온도 상승이 억제되면서 적외 방사 저감 • 양지 쪽 아스팔트 표면온도가 60℃ 이상 상승함에도 불구하고 차양 및 지표면 온도는 기온에서 2~3℃ 정도만 높아짐
	녹음	<ul style="list-style-type: none"> • 증산작용 등을 통해 햇빛을 받아도 식물의 잎이 쉽게 뜨거워지지 않아 녹화 면에서의 적외 방사가 줄어 듭 • 낮에는 양지 쪽 아스팔트 면에 비해 녹화면의 온도를 10℃이상 저감 가능 • 저녁 이후 녹화면 온도는 기온보다 낮아지고 한낮의 아스팔트 면보다 3~4℃정도 저감 가능

자료: 저자 작성.

7) 環境省(2023), “まちなかの暑さ対策ガイドライン_令和4年度部分改訂版”, 검색일: 2024.9.5; EPA(2008), “Guide to Reducing Heat Islands”, 검색일: 2024.9.5.

나. 상부공간 일사 차폐기술 실측 효과

초기 기온을 50℃로 설정한 후, 전천공일사에너지가 750W/m²일 때 수목 아래와 인공차양 안에서의 기온을 측정하였다. 4시간의 측정 구간 동안 최댓값을 기준으로 결과를 분석한 결과, 두 환경 모두에서 기온 저감 효과가 나타났다. 인공차양 아래에서 측정된 기온은 39.3℃로, 설정 기온인 50℃에 비해 10.7℃ 낮은 결과가 나타났다. 이는 인공차양이 태양 복사열을 효과적으로 차단하여 지면에 도달하는 열을 감소시킴으로써 주변 기온을 낮추는 원리로 작용한 것이다. 인공차양은 설치 및 유지 관리가 용이하여 도심에서 특정 공간의 온도를 신속하게 저감하는 데 유용한 대책으로 사용될 수 있다. 수목 아래에서 측정된 기온은 32.2℃로, 설정 기온에 비해 17.8℃ 낮은 수치를 기록하였다. 수목은 그늘을 제공함과 동시에 증산작용을 통해 주변 열을 발산하여 기온을 더욱 크게 저감하는 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 녹음이 인공차양에 비해 기온 저감 효과가 더 크다는 것을 보여준다. 수목의 자연적인 냉각 효과는 도시 환경에서 열섬 현상을 완화하고 기온을 낮추는 중요한 역할을 한다. 이와 같은 결과는 도심에서의 기온 저감 대책으로서 수목과 인공차양이 모두 효과적임을 입증하였으며, 특히 녹지를 조성하는 것이 더 높은 기온 저감 효과를 기대할 수 있음을 시사한다.

표 7

지상열 억제 및 냉각기술 (지표면 녹화, 차열 포장) 실측 효과값

저감기술	설정온도	측정온도	온도차
인공차양	50.0℃	39.3℃	-10.7℃
녹음	50.0℃	32.2℃	-17.8℃

자료: 저자 작성.

4. 횡방향 벽면 냉각기술(벽면녹화, 냉각 루버)

가. 횡방향 벽면 냉각기술 폭염 저감 메커니즘

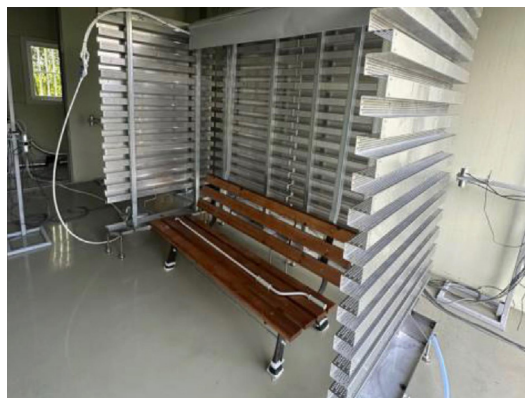
횡방향 벽면 냉각기술에 의해 거주자가 느끼는 폭염을 기준으로 열전달 메커니즘 및 제어 기술을 정의하고, 이를 벽면녹화와 냉각 루버로 구분한다(그림 7 참조). 벽면녹화는 건물의 벽면을 덩굴식물이나 녹화패널 등으로 감싸 벽면의 온도 상승을 억제하는 대책이며, 냉각 루버는 루버 등에 물을 분사하여 표면을 냉각시킴으로써 방사 환경을 개선하고 주변 기온을 낮추는 대책으로, 일본에서 주로 실제 폭염 저감을 위해 대책을 활용되고 있다(Misawa Homes Institute of Research and Development, 2019). 국내에서는 현재 실제 도심지에 적용된 사례가 없어, 본 연구에서는 실내 실험실에서 해당 기술을 직접 구현하여 효과 실험을 진행하였다.

그림 7

횡방향 벽면 냉각기술 (a) 벽면녹화, (b) 냉각루버



(a)



(b)

자료: 저자 작성.

표 8

횡방향 벽면 냉각기술 폭염저감 메커니즘 및 효과

기술분류		폭염 저감 메커니즘 및 효과
횡방향 벽면 냉각	벽면 녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 건물이나 구조체 등 횡방향으로 전달되는 열을 제어하여 폭염피해 저감 • 바람이 부는 곳에서 활용되면 효과가 더욱 상승 됨
	냉각루버	<ul style="list-style-type: none"> • 횡방향으로 전달되는 고온의 기온을 냉각하여 차가운 기온을 전달될 수 있도록 전환 • 송풍팬, 일사차폐기술 등과 연계 시 효과가 높아질 수 있음

자료: 저자 작성.

나. 횡방향 벽면 냉각기술 폭염 저감 실측 효과

벽면녹화의 경우, 남향 기준으로 표면 온도를 40℃로 설정하고 실험을 진행한 결과 벽면의 표면 온도는 32.2℃로 측정되었다(표 9 참조). 이는 표면 온도가 6.8℃ 감소한 수치로, 벽면녹화가 태양 복사열을 차단하고 표면 온도 상승을 효과적으로 억제함을 보여준다. 벽면녹화는 자연적인 냉각 효과를 제공하며, 특히 여름철 폭염에 대한 건물의 열 부하를 줄이는 데 효과적이다. 냉각 루버의 경우, 기온 설정을 38℃, 35℃, 33℃로 각각 달리한 조건에서 실험을 진행하였으며, 상부 일사 차폐(인공차양)의 적용 여부에 따른 실험군과 대조군의 결과 중 온도 차이가 가장 큰 조건을 기준으로 했다. 이때 냉각 루버를 적용한 조건에서 측정된 온도는 33.1℃로 나타났으며, 설정 온도인 36℃에 비해 2.9℃ 낮은 결과가 나왔다. 냉각 루버는 벽면에 흐르는 공기의 흐름을 촉진하고 열을 분산시킴으로써 표면 온도 저감에 기여한다.

표 9

지상열 억제 및 냉각기술 (지표면 녹화, 차열 포장) 실측 효과값

저감기술	설정온도	측정온도	온도차
벽면녹화	40.0℃ (표면온도)	32.2℃ (표면온도)	-6.8℃ (표면온도)
냉각 루버	36.0℃	33.1℃	-2.9℃

자료: 저자 작성.

5. 소결

본 연구에서는 김해시 장유무계지구에서 8가지 폭염 저감기술(옥상녹화, 인공차양, 지표면 녹화, 지표면 열반사, 벽면녹화, 냉각루버, 송풍팬, 미세 분무장치)의 실증적 효과를 분석하였다. 기술별로 온도 저감 효과와 적용 가능성이 명확히 도출되었으며, 지역적 특성과 공간적 맥락을 반영한 기술 적용의 중요성을 확인하였다. 이러한 분석 결과는 폭염저감 정책 수립 및 사업선정 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

폭염저감 기술의 정량적 효과와 현장 적용 사례 분석은 지역적 특성을 고려한 정책 우선순위를 정립하는 데 있어 과학적 근거를 제공한다. 8가지 저감 기술 중 상부공간 일사 차폐 기술인 녹음이 설정 온도 대비 17.8℃ 감소하여 가장 큰 저감 효과를 나타냈다. 도시열섬현상 완화를 위해, 녹음 저감기술을 우선순위로 사업선정 할 수 있으며, 상부공간 차폐가 불가능한 지역에서는 지상열, 횡방향 및 신체냉각 등 기술을 적용하여 지역적 특성을 고려한 의사결정이 가능하다.

그러나, 현재 폭염저감 정책 및 사업은 범정부 차원에서 부처별로 시행되고 있으나 기술과 대상지 선정 등이 정책입안자의 주관적 견해로 결정되어 과학적 근거를 강화할 필요가 있다. 또한, 정형화된 프로세스의 부재로 기관별 다르게 시행됨에 따라, 정책입안자의 의사결정에 과학적 근거를 마련할 수 있는 사업선정 프로세스를 개발하였다. 전술된 내용의 과학적 분석 결과를 바탕으로 기술의 우선순위 정립 및 효과적인 사업 진행을 위한 체계적인 접근 방안을 제시한다.

04

폭염 저감 정책 및 사업 선정 프로세스

1. 폭염 저감 정책 및 사업 목록화

정부의 폭염 저감 정책은 행정안전부, 환경부, 산업통상자원부 등 20개 중앙부처, 17개 시·도 등 관계기관과 합동으로 폭염 취약분야 인명피해 최소화를 위해 대응 마련을 추진하고 있다(행정안전부 보도자료, 2024.5.16, p.2). 범정부 차원에서 부처별 폭염 저감 기술을 적용하여 시행하고 있으나, 정형화된 프로세스의 부재로 인해 부처별 지자체(광역 및 기초 등) 사업 시행이 상이하며, 폭염 저감 기술과 사업 대상지 선정 등이 정채입안자의 주관적 견해로 결정되고 있다(표 10 참조). 또한, 중앙부처별 지자체를 지원하는 사업의 재원은 지방교부세, 국고보조금, 정부지원연구개발비 등으로 구분되어 시행하고 있어 재원의 유형과 지급 주체가 다양하게 시행중이며 이에 대한 부처별 폭염 저감 기술을 적용한 프로세스 현황 파악이 필요하다.

이에, 전술된 폭염 저감 적정기술 사업에 대한 목록화와 프로세스 현황 분석을 통해 문제점을 파악하고, 부처별 상이한 사업선정 프로세스를 통합한 체계화된 프로세스 개발이 필요하다. 이를 통해 사업 대상지 및 폭염 저감 적정기술의 우선순위 선정에 대한 과학적 근거를 보강할 수 있으며, 지역 특성을 반영한 맞춤형 폭염 저감 적정기술을 적용할 수 있다.

표 10
중앙부처별 폭염 저감 정책 및 사업 목록화

구분	연도	정책 및 사업명	예산	재원
행정안전부	2023	• 폭염 저감시설 설치 및 무더위쉼터 운영 사업(대구광역시)	3.68억원	지방교부세(특별)
	2023	• 지역맞춤형 재난안전 문제해결 기술개발 지원사업(대구광역시)	16.5억원	정부지원연구개발비
환경부	2019	• 폭염 특화 기후변화 취약성 개선 시범사업(경상남도 김해시)	10억원	국고보조금
	2022	• 폭염으로부터 안전하게, 기후위기 취약계층 지원	47.5억원	국고보조금
보건복지부	2023	• 지자체별 노숙인 및 쪽방주민 폭염 보호대책	29.4억원	국고보조금
산업통상자원부	2023	• 에너지효율 개선사업	996억원	국고보조금

구분	연도	정책 및 사업명	예산	재원
국토교통부	2021	• 공공건축물 그린리모델링 지원사업	2,276억원	국고보조금
농림축산식품부	2021	• 폭염대비 농업인 안전 및 농업피해 최소화(축사 냉방기 등 지원)	200억원	국고보조금
교육부	2022	• 그린스마트스쿨 사업	943억원	국고보조금

자료: 관계부처합동(2021), p.885; 국토교통부(2021), p.3; 교육부 보도자료(2022.1.12), p.5; 환경부 보도자료(2022.6.22), p.7; 대구광역시(2023.1.16); 행정안전부 보도자료(2023.5.8), p.1; 보건복지부 보도자료(2024.5.13), p.4; 농림축산식품부 보도자료(2024.7.24), p.2; 한국에너지재단, “저소득층 에너지효율개선사업 추진실적 및 사업성과 소개”, 검색일:2024.12.14.

2. 폭염 저감 정책 및 사업 프로세스 현황

폭염 저감 정책 및 사업 프로세스 현황을 분석하기 위해 현재 적정기술 관련 사업을 진행하고 있는 지자체 6곳(서울특별시, 대구광역시, 대전광역시, 청주시, 세종특별자치시, 강릉시) 방문 및 전문가 자문을 통해 내부 자료 검토를 거쳐 전반적인 사업 선정 프로세스 현황을 파악하였다. 이를 통해 지방자치단체에서 시행 중인 재원별 폭염 저감 적정기술 사업의 정책 입안 및 추진 절차를 분석하였다.

다양한 폭염 저감 정책 중, 폭염 저감 적정기술 관련 사업을 시행한 부처는 행정안전부, 환경부, 국토교통부 등이 있으나 행정안전부와 환경부가 폭염 저감 시설 설치를 대표적으로 시행 중이다. 폭염 저감 적정기술로는 그늘막, 무더위 쉼터, 쿨루프, 쿨 페이브먼트, 벽면녹화, 쿨링포그 등이 있으며 행정안전부와 환경부 등의 수요조사 공고 및 결과 제출 내역, 사업계획서, 폭염 저감 적정기술별 설치 및 추진 체계, 폭염 종합대책 관련 내부자료 및 예산 편성 계획서 등을 검토하여 프로세스를 분류하였다. 또한, 정책개발 전문가 자문을 통해 지자체 국고보조사업 공모지침 및 기후위기 취약계층·지역 지원사업 시행 가이드를 검토하였다.

가. 행정안전부 특별교부세 중 폭염 저감 관련 사업

사업비 재원 유형은 행정안전부의 지방교부세(특별교부세) 및 정부지원연구개발비, 환경부의 국고보조금으로 구분하여 분석하였다.

특별교부세는 지역주민들이 제공받는 공공 서비스의 격차를 완화하기 위해 재정력이 취약한 지방자치단체를 지원하는 제도로, 행정안전부에서는 재난 등 예측하기 어려운 특별한 재정수요를 대처하기 위해 시행하고 있다(그림 8 참조). 행정안전부는 특별교부세 교부를 통해 폭염 저감 시설 중 그늘막 및 무더위 쉼터 설치를 지원하며, 광역 지자체에 수요조사를 공고하여 진행한다. 광역지자체는 기초 지자체에 사업 대상지 및 시설에 대한 수요조사와 사업계획서를 취합하여 보고 후 예산 재배정을 통해 시설별(마을회관, 보건소 등) 소관부서(재난부서, 복지부서 등)를 지정 후 총괄 관리를 진행한다.

그림 8

행정안전부 폭염 저감 적정기술 사업(특별교부세) 추진 절차



자료: 대구광역시(2023), pp.64-79를 바탕으로 저자 재구성.

나. 행정안전부 정부연구개발비 중 폭염 저감 관련 사업

행정안전부는 지역맞춤형 재난안전 문제해결 기술개발 지원사업의 일환으로 정부연구개발비 지원을 통해 지자체와 협업하여 관련 사업 수요조사를 공고한다(그림 9 참조). 지자체에서는 기술개발 지원사업에 대한 공모계획을 알리고, 서류심사·기획컨설팅·전문가 평가 및 중앙-지방 재난안전 연구개발 협의체의⁸⁾ 조정을 거쳐 최종 결정을 진행한다. 이후 연구개발 목표 및 세부 연구내용이 담긴 사업계획서 제출 및 연구수행기관을 선정 후, 행정안전부와 지자체가 협업하여 수행기관과 협약 체결 후 사업을 추진한다.

8) 중앙-지방 재난안전 R&D 정보공유, 협력사업 발굴 등을 위한 협의·조정 기구(2019년, 4월) (21개 중앙부처, 17개 지자체 참여)

그림 9

행정안전부 폭염 저감 적정기술 사업(정부연구개발비) 추진 절차



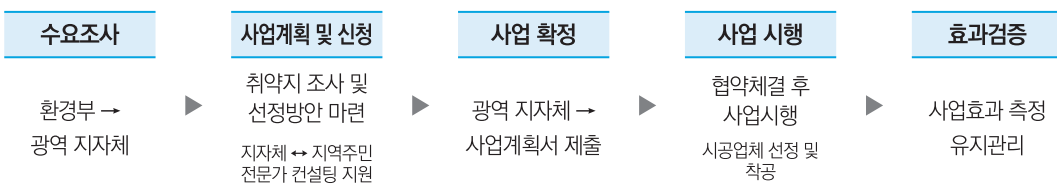
자료: 대구광역시(2023), pp.80-86을 바탕으로 저자 재구성.

다. 환경부 국고보조금 중 폭염 저감 관련 사업

환경부는 국고보조금을 통해 기후위기 취약계층을 대상으로 지역에 적합한 적응기술 및 시설 설치를 지원한다. 특별교부세와 같이 광역 지자체에서 수요조사를 공고하고, 기초 지자체의 사업 대상지에 대한 수요조사를 실시한다. 반면, 행정안전부의 추진 절차와 다르게 사업 대상지 및 대상가구 선정에 있어 지자체 뿐만 아니라 전문가 컨설팅을 지원받아 선정한다. 지자체가 지역주민과 전문가를 통해 지역 내 폭염 취약가구(아동, 고령자 등) 및 시설(취약계층 주거환경) 현황을 종합 고려하여 대상지 및 대상가구 선정방안을 마련하며, 광역 지자체는 사업계획서 신청서 및 구·군별 시설 설치 수요조사서를 취합하여 제출한다. 이후 기초 지자체는 시공업체 선정 및 공사계획, 공사현장 점검 진행을 통해 사업을 시행하고 사업 시행 전과 후의 온도저감 측정 및 이용자 만족도 조사를 통한 효과 검증 및 모니터링을 통해 유지·관리한다.

그림 10

환경부 기후변화 취약계층 지원사업(국고보조금) 추진 절차



자료: 국가기후변화적응센터(2021), pp.1-10을 바탕으로 저자 재구성.

라. 폭염 저감 적정 기술 선정 프로세스 현황 보완점

폭염 저감 적정 기술 사업은 대표적으로 행정안전부의 특별교부세, 정부지원연구개발비 및 환경부의 국고보조금을 지원받아 시행되고 있으나, 정형화된 프로세스의 부재로 인해 부처별 사업 프로세스는 다르게 진행되고 있다. 또한, 중앙부처의 폭염 저감 기술 선정 시 지역적 특성 및 기술별 효과를 고려하지 않고 일괄적으로 진행되어, 기술 서정에 대한 효과분석 및 지역 특성별 기술 근거 제시가 필요한 실정이다.

현재 지자체의 사업 대상지 선정은 취약 지역의 객관적인 근거보다 정책 입안자의 경험 및 의견을 반영하여 선정하고 있다. 환경부의 경우, 전문가 컨설팅을 통해 취약지 조사 및 사업 대상지 선정 방안을 마련하고 있으나, 폭염 저감 사업을 시행 중인 다른 부처에서는 관련 선정 방안이 부재하여 객관적 근거 보강이 필요하다. 또한, 행정안전부의 프로세스는 사업 시행 이후 모니터링 및 유지관리의 부재로 폭염 저감 시설의 지속적인 효과를 판단하기 어려워 사업 운영과 모니터링 및 유지관리를 위한 가이드라인이 필요하다. 종합적으로, 정형화된 체계의 부재로 인해 부처별로 다른 절차로 추진됨에 따라 과학적 근거 기반 의사결정과 프로세스의 통합·체계화를 위한 폭염 저감 사업 선정 프로세스 개발이 필요하다.

3. 폭염 저감 정책 및 사업 선정 프로세스 개발

이러한 현황 및 보완점을 바탕으로 <그림 11>과 같은 사업선정 프로세스 보완 및 개선방안을 수립하였다. 수립한 프로세스는 중앙부처 및 지자체 프로세스와 전문가 자문을 통해 크게 수요조사, 계획 수립 및 예산 배정, 사업 시행 및 관리의 3단계로 구분하여 체계화를 진행하였다.

가. 수요조사 단계

중앙부처가 지자체에 폭염 저감 사업 수요조사에 대한 공고 후, 지자체가 제출한 사업대상지와 사업계획서를 기반으로 대상지 선정 및 예산(특별교부세, 국고보조금 등)을 지급하는 단계이다. 중앙부처는 폭염 저감 시설 설치 및 물품 지위 등 폭염 저감 사업에 대한 수요조사 공고 및 예산을 지원한다.

광역시방자치단체(시·도)는 기초 지자체별 사업 대상지 수요조사를 실시하고, 이를 취합하여 중앙부처에 보고한다. 선정된 사업에 대해 예산을 보조하고 사업을 총괄한다. 또한, 중앙-지방 정부 간 협력을 통해 지역 맞춤형 사업 공모계획을 알리고, 전문가 컨설팅을 통해 협약 체결을 지원한다.

기초지방자치단체(시·군·구)의 경우, 각 지역의 취약 가구와 취약 여건을 고려해 사업 대상지를 선정하고, 세부 운영방안이 포함된 사업계획서를 작성하여 제출한다. 또한, 시공업체를 선정하고 운영을 위탁하는 절차를 수행한다. 또한, 광역지자체와 기초지자체 모두 전문가 컨설팅을 통해 지자체와 협력하여 사업 대상지를 선정하고, 현장 답사 및 컨설팅을 통해 의사결정을 지원한다. 시행 후에는 사업 유형별 모니터링과 효과 분석을 통해 연차별 지원전략을 마련한다.

나. 계획수립 및 예산 배정 단계

계획 수립과 예산 배정 단계는 선정된 사업에 필요한 예산을 확보하고, 폭염 저감 사업의 기본계획 및 실시계획을 수립하여 공사 추진에 따른 설계 및 발주를 위한 부서별 예산 재배정을 진행하는 단계이다.

예산확보는 중앙부처(행정안전부, 환경부, 교육부 등)가 폭염 저감 사업에 필요한 예산을 지자체에 지급할 수 있도록 특별교부세, 정부지원연구개발비, 국고보조금 등을 통해 예산을 확보하는 단계이다. 이후 지자체와의 협조를 통해 기본계획을 수립하는데, 폭염 저감 시설

설치 공사를 위한 사업 기본계획과 실시계획을 수립한다. 이 과정에서 사업시행 가이드라인을 참고하여 사업의 세부사항을 조사하고 조정한다. 설치공사 발주 및 운영에 필요한 계획 수립 후 부서별 예산을 재배정하여 사업의 시행 관리 및 운영을 위한 예산을 확보한다. 이후 설치 공사 발주를 통해 입찰, 시행 등 회계절차를 진행하고 시공업체 선정, 공사계획 및 안내 등을 통해 사업을 실행한다.

다. 사업시행 및 관리 단계

사업 시행 및 관리 단계에서는 실제 사업이 진행되고 그 효과를 분석하는 과정이다. 폭염 저감 사업의 공사 준공 및 착공과 시험 가동 및 교육 등의 운영준비를 거쳐 사업을 시행하며, 사업 효과 분석 및 모니터링·유지관리가 진행된다.

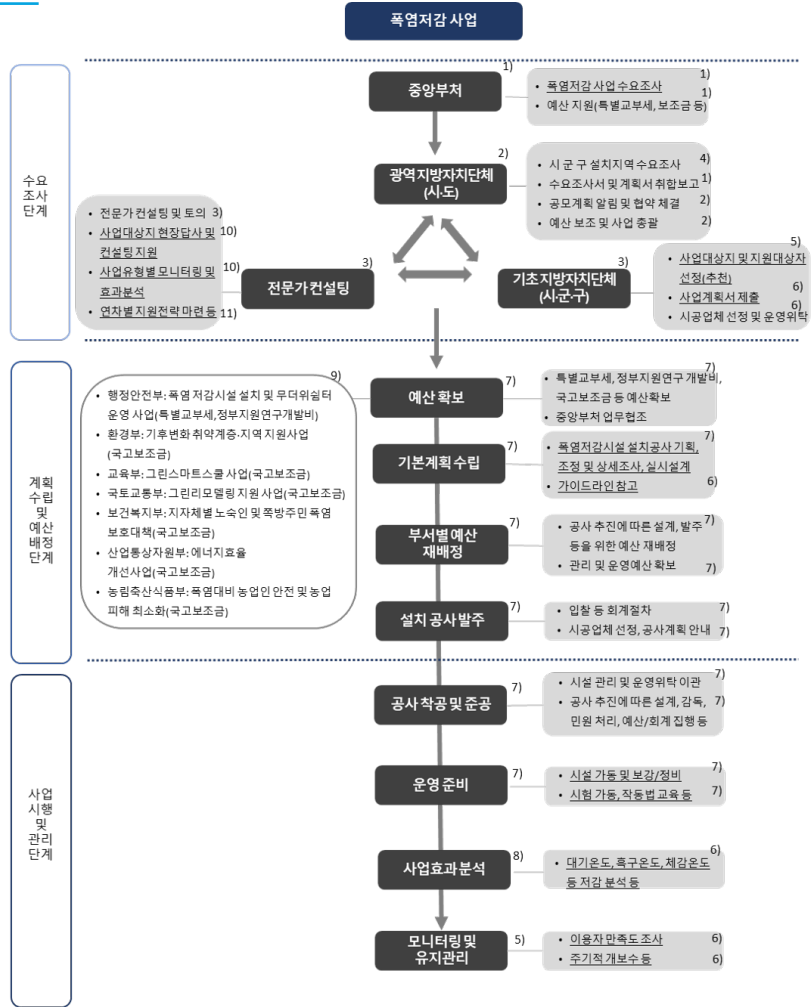
공사 착공 및 준공·운영위탁은 시설 관리와 운영을 위탁하며, 공사가 준공되면 시설을 시험 가동하고, 필요한 정비와 교육을 시행한다. 사업 효과 분석의 경우, 지역별로 맞춤형 폭염 저감 적정기술이 적용된 사업이 시행된 후, 대기 온도, 흑구 온도, 체감 온도 등의 저감 효과를 측정하고 분석한다. 이후 모니터링 플랫폼을 통해 온도 저감 효과를 측정하고 이용자 만족도 조사를 시행하여 모니터링 및 유지관리를 진행하여 시설의 장기적 효과를 유지를 목표로한다.

라. 종합

폭염 저감 사업 선정 프로세스는 중앙부처와 지자체 간의 협력을 통해 체계적으로 진행되며, 수요조사, 계획 수립, 사업 시행 및 관리의 각 단계를 과학적 근거에 기반하여 수행한다. 특히 사업 유형별 모니터링과 효과 분석을 통해 사업의 실효성을 평가하고, 지속적인 유지관리를 통해 사업의 장기적 성공을 도모한다. 이 같은 프로세스의 통합 및 체계화를 통해 폭염 저감 정책의 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

그림 11

폭염저감 정책 및
사업선정 프로세스 개발



자료: 대구광역시(2015, p.8; 2017, p.3; 2023, p.15, p.65, p.75); 대구광역시 자연재난과(2023a, pp.1-9; 2023b, pp.1-2); 부처별 보도자료; 국가기후변화적응센터(2019, p.5; 2021, p.8; 2023, p.5)를 바탕으로 저자 재구성.

- 주: 1) 대구광역시(2023), p.15.
 2) 대구광역시(2023), p.75.
 3) 대구광역시 자연재난과(2023b), pp.1-2.
 4) 대구광역시(2023), p.65.
 5) 대구광역시 자연재난과(2023a), pp.1-9.
 6) 국가기후변화적응센터(2023), p.5.
 7) 대구광역시(2015), p.5.
 8) 대구광역시(2017), p.3.
 9) 국토교통부(2021), p.3; 교육부 보도자료(2022.1.12), p.5; 환경부 보도자료(2022.6.22), p.7; 행정안전부 보도자료(2023.5.8), p.1, 보건복지부 보도자료(2024.5.13), p.4; 한국에너지재단, “저소득층 에너지효율개선사업 추진실적 및 사업성과 소개”, 검색일: 2024.12.14; 농림축산식품부 보도자료(2024.7.24), p.2.
 10) 국가기후변화적응센터(2021), p.8.
 11) 국가기후변화적응센터(2019), p.5.

05

맺음말 및
제언

본 연구는 우리나라 지자체에서 기후위기로 발생하는 '폭염' 피해 저감을 위한 기반기술을 실제 연구지역에 적용된 사례, 실험 분석을 통한 저감효과 및 지자체에서 폭염 피해 저감을 위한 실증 사업 선정 과정 등을 기술기반으로 정책화까지 다양한 각도로 분석하였다. 이를 보다 구체적으로 정리하면 다음과 같다. 첫째, 기후위기에 의해 발생하는 폭염 현황을 분석하고, 교외지역에 비해 도시지역에서 보다 많은 폭염 피해가 발생하는 원인을 검토하였다. 이를 통하여 본 연구가 도시 폭염 저감 기술 및 정책화를 연구하는 목적을 정의하였다. 둘째, 일본 환경성 등의 거리더위대책 가이드라인 등을 기반으로 도시 폭염에 의한 열전달 메커니즘과 측정 물리 지표를 설정하였다. 이를 통하여 '인체냉각', '상부공간 일사차폐', '지상열 제어' 및 '횡방향 벽면냉각'의 4로 기술분류를 진행하고, 송풍팬, 미세 분무장치, 지표면 녹화, 지표면 열반사 차단, 녹음, 인공차양, 벽면녹화 및 냉각루버 등 8개의 요소기술로 정리하였다. 셋째, 전술된 4개 기술분류별 폭염 저감 메커니즘을 정리하고, 각 4개 기술별 2개씩, 총 8개 요소기술별 이론적 효과와 폭염 저감 실측 효과를 연구진의 실험을 통하여 실측 효과값을 각각 제시하였다. 넷째, 실측 효과값을 기반으로 연구지역(김해시 장유무계지역)에 적용한 현장에서 효과를 검토하였다. 다섯째, 전술된 요소기술이 실제 광역 및 기초 지자체에서 폭염 피해 현장에 적용되는 정책 사례를 분석하고, 관련 사업을 목록화 하였다. 여섯째, 실제 각 유관 부처별(행정안전부 및 환경부 등) 폭염 저감 관련 사업의 선정 프로세스를 각각 분석하였다. 마지막으로 선정 프로세스에서 전술된 요소기술이 적용 가능한 단계별 특징 및 적용 방안을 검토하였다.

폭염 저감기술의 효과 분석 결과, 8가지 저감기술 모두 도시열환경 개선에 기여하였으나 상부공간 일사차폐 기술의 녹음이 설정온도 대비 최대 17.8℃를 저감하여 가장 큰 효과를 보였다. 가장 효과가 적은 기술은 2.9℃ 저감의 실측값을 보인 지상열 억제 및 냉각기술의 냉각 루버이나, 공간 제약 없이 건물 내에 설치할 수 있어 즉각적인 사업화에

용이하다는 장점이 있다. 기술별 저감 효과 분석은 도심 내 적용 우선순위를 결정하는 과학적 근거를 보강하며, 지역의 기후 및 환경 특성에 따라 기술 선택을 다르게 적용할 수 있다.

이러한 연구결과를 바탕으로, 본 연구에서는 도시 폭염피해 저감을 위한 실증 사업에 적용 가능한 정책 사항을 정리하였다. 세부적으로 폭염 피해 저감 사업선정을 위한 '수요조사', '계획수립 및 예산 배정' 및 '사업시행 및 관리' 등 전체 과정에 폭염 요소 기술별 저감효과의 정량적 분석을 적용하는 방안으로 정리하였다. 특히, 현재까지의 정책 및 사업 선정 프로세스는 정책 입안자의 주관적 견해에 따라 대상지 및 사업을 선정하는 경우가 있어 '수요조사 단계'의 광역 및 기초 지자체와 전문가의 컨설팅을 받는 단계가 추가된다면 보다 과학적 근거를 보강하여 효율적인 폭염저감 정책 마련에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 정형화된 프로세스의 부재로 기관별 다르게 운영되던 사업 프로세스를 체계화함으로써 중앙정부와 지자체 간 절차의 효율성도 증가할 것으로 사료된다.

본 연구는 김해시 장유무계지구를 사례로 특정 지역에서의 실증적 효과를 중심으로 폭염 저감기술효과 분석 및 프로세스 정립을 제시하였으나, 다른 기후 및 환경 조건을 가진 지역에서 동일한 결과를 기대하기에는 한계가 있다. 기술별 효과가 지역적 특성, 환경 조건, 사회적 수용성 등에 따라 달라질 수 있음을 고려할 때 보다 심층적인 연구가 필요하다. 또한, 기후변화로 인해 장기적인 폭염이 더욱 심화될 것으로 예상됨에 따라, 효과가 장기적으로 지속 가능한지에 대한 평가가 미흡하여 지속가능한 기술의 방안에 대한 연구도 필요하다. 마지막으로, 본 연구는 주로 기술적 측면과 정책적 연계성을 강조하였으나, 법적·제도적 제약 및 부처 간 협력의 실행 가능성에 대한 심층 분석이 부족한 한계가 있다. 기술 효과의 경제적 타당성 분석 및 다양한 기술 조합의 최적화 방안에 대한 연구가 추가적으로 진행된다면 지자체 단위의 폭염을 실질적으로 줄이는 과정을 보다 정량적 효과 기반으로 전환하는 데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

국내문헌

- 관계부처합동(2021), 「제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025) 세부시행계획」, p.885.
- 국가기후변화적응센터(2019), 「19년도 취약성 개선사업 모델 보고서」, p.5.
- 국가기후변화적응센터(2021), 「2021년도 기후변화 취약계층 지원사업 사업시행 가이드라인」, p.8.
- 국가기후변화적응센터(2021), 「2021년도 기후변화 취약계층 지원사업 사업시행 가이드라인(초안)」, pp.1-10.
- 국가기후변화적응센터(2023), 「2024년도 기후변화 취약계층·지역 지원사업 지자체 국고보조사업 공모지침」, p.5.
- 국토교통부(2021), 「공공건축물 그린모델링 지원사업 가이드라인」, p.3.
- 대구광역시(2015), 「환경부 기후변화 적응대책 시범사업-쿨링포그 시스템」, p.8
- 대구광역시(2017), 「17년 기후변화적응 선도 사업 추진계획」, p.3
- 대구광역시(2023), 「2023년 폭염 종합대책」, p.15, pp.64-79, pp.80-86.
- 대구광역시 자연재난과(2023a), 「2023년 폭염대책에 따른 예산 집행 계획」, pp.1-9.
- 대구광역시 자연재난과(2023b), 「'23년 폭염저감시설 설치 및 무더위쉼터 운영 사업(특별교부세) 수요조사 알림」, pp.1-2.
- 대구광역시(2023.1.16), 내부자료.
- 박성우 외(2019), “2018년 온열질환 응급실감시체계 운영 결과”, 「주간 건강과 질병」, 12(20), pp.630-638.
- 배민기, 김보은, 이채연(2020), “폭염 시 위험지역과 취약계층 거주지역 간의 공간관계 분석”, 「환경정책」, 28(3), 한국환경연구원, pp.243-280.
- 정주희, 오병철(2022), “폭염 저감기술에 따른 외부공간의 기온저감효과에 대한 연구 Part1: 쿨페이브먼트와 잔디블럭의 열체감효과를 중심으로”, 「한국기후변화학회지」, 13(1), 한국기후변화학회, pp.23-32.

국외문헌

- Habitat, U. N.(2018), “Tracking Progress Towards Inclusive, Safe, Resilient and Sustainable Cities and Human Settlements”, *SDG 11 Synthesis Report-High Level Political Forum 2018*, pp.18-21.
- Misawa Homes Institute of Research and Development(2019), “水滴の下垂と落下を利用した蒸発冷却ルーバーの開発”. *Misawa Homes Institute of Research and Development Report*, Vol.80, pp.1-5.

Schmidt, P. and B. T. Lawrence(2022), "Association between Land Surface Temperature and Green Volume in Bochum", *Germany. Sustainability*, 14(21), p.14642.

Xu, Z. et al.(2016), "Impact of Heatwave on Mortality Under Different Heatwave Definitions: A Systematic Review and Meta-analysis", *Environment International*, Vol.89, pp.193-203.

온라인 자료

교육부 보도자료(2022.1.12), "소통과 참여를 통해 더욱 안심되는 미래학교 조성" p.5, <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&boardSeq=90367&lev=0&searchType=null&statusYN=W&page=1&s=moe&m=020402&opType=N>, 검색일: 2024.11.28.

기상청 보도자료(2024.9.5), "2024 여름철 기후특성", p.45, <https://www.kma.go.kr/kma/news/press.jsp?mode=view&num=1194405>, 검색일: 2024.10.28.

기상청(2024.8.23), "열대야일수", <https://data.kma.go.kr/climate/tropicalNight/selectTropicalNightChart.do>, 검색일: 2024.10.28.

농림축산식품부 보도자료(2024.7.24), "호우·폭염 대비 농작물 생육관리에 총력 대응", p.2, <https://www.mafra.go.kr/home/5109/subview.do;jsessionid=HRwsh75bt0Mh29U9uEiRybfo.inst21?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGaG9tZSUyRjc5MiUyRjU3MDkyNiUyRmFydGNsVmllY5kbyUzRg%3D%3D>, 검색일: 2024.11.28.

보건복지부 보도자료(2024.5.13), "폭염대비 노숙인·쪽방주민 보호를 위한보건복지부·지자체 합동 안전관리 회의", p.4, https://www.mohw.go.kr/boardDownload.es?bid=0027&list_no=1481421&seq=2, 검색일: 2024.11.28.

한국에너지재단, "저소득층 에너지효율개선사업 추진실적 및 사업성과 소개", https://www.koref.or.kr/web/intropage/intropageShow.do?page_id=5bfe395dbd024bb3954a3b4e2b3bcaf5, 검색일: 2024.12.14.

환경부 보도자료(2022.6.22), "폭염으로부터 안전하게, 기후위기 취약계층 지원", p.7, <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1532470&menuId=10525>, 검색일: 2024.11.28.

행정안전부 보도자료(2023.5.8), "선제적 폭염 대비를 위해 지자체에 특교서 124억 조기 지원", p.1, <https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=238314&pg=&pp=20&topic=C>, 검색일: 2024.11.28.

행정안전부 보도자료(2023.5.16), “2024년 폭염 대책 기간 돌입, 관계부처와 지자체 준비상황 점검”, p.2, https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156630680&call_from=rsslink, 검색일: 2024.11.28.

환경省(2023), “まちなかの暑さ対策ガイドライン_令和4年度部分改訂版”, https://www.env.go.jp/air/life/heat_island/machi_guidelineR04_00001.html, 검색일: 2024.9.5.

City of New York(2024), “NYC Cool Roofs”, <https://climate.cityofnewyork.us/initiatives/nyc-cool-roofs/>, 검색일: 2024.10.28.

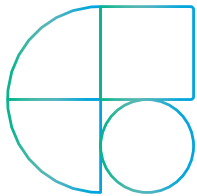
EPA(2008), “Guide to Reducing Heat Islands”, <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>, 검색일: 2024.10.28.

Korea JoonAng Daily(2024.8.23), “Korea Reports More than 3,000 Heat-Related Cases, 28 Deaths This Year”, <https://koreajoongangdaily.joins.com/news/2024-08-23/national/socialAffairs/Heatrelated-patients-exceed-3000-claims-28-live-KDCA/2119209>, 검색일: 2024.10.28.



환경포럼

www.kei.re.kr



FORUM



제28권·제6호

통권 제281호

도시폭염 저감기술 적용 효과 및 지자체 적용을 위한 사업선정 프로세스 개발

