

2018-CR-01-10

작은 연구 좋은 서울 18-10

효율성·형평성 고려한 폭염위험도 구성과 폭염저감시설 쿨링포그 최적입지 도출

심혜영

**효율성·형평성 고려한 폭염위험도 구성과
폭염저감시설 쿨링포그 최적입지 도출**



연구책임

심혜영 서울대학교 환경대학원 박사과정

이 보고서의 내용은 연구자의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

목차

01 연구개요	1
1_연구배경 및 목적	1
2_연구내용 및 방법	4
02 폭염위험도 평가 변수 도출	5
1_폭염위험도 관련 선행연구	5
2_평가변수 결정 및 구성	7
3_평가변수별 가중치 산정 및 시나리오 구성	9
03 평가변수별 가중치를 고려한 시나리오 분석 결과	10
1_평가변수별 결과	10
2_시나리오별 결과	15
3_비교 고찰 및 공통입지 상세 분석	18
04 폭염저감시설의 최적입지 제안 및 개선방향	19
1_4가지 시나리오 분석 결과를 통한 우선순위 도출	19
2_폭염저감시설의 최적입지 제안 및 개선방향	21
참고문헌	22

표 목차

[표 2-1] 폭염위험도 변수 구성 및 자료 출처	8
[표 2-2] 시나리오 구성표	9

그림 목차

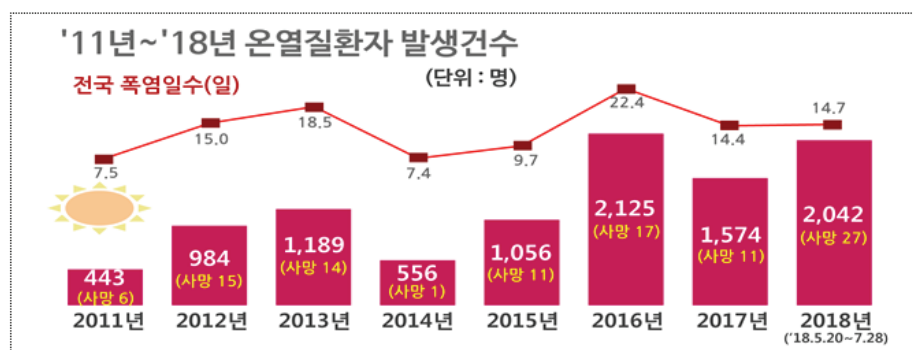
[그림 1-1] 연도별 온열질환자 발생건수	1
[그림 1-2] 서울시 폭염대책 사진	2
[그림 1-3] 2018년 쿨링포그 시범사업 사진	2
[그림 1-4] 연구의 흐름	4
[그림 3-1] 서울시 AWS 위치(왼쪽), 보간법 결과(오른쪽)	10
[그림 3-2] 서울시 수계(왼쪽), 수계 버퍼 결과(오른쪽)	11
[그림 3-3] 서울시 녹지(왼쪽), 녹지 버퍼 결과(오른쪽)	11
[그림 3-4] 최종 환경적 변수 결과	12
[그림 3-5] 버스정류장 승하차 밀도(왼쪽), 버스정류장 승하차 버퍼 결과(오른쪽)	13
[그림 3-6] 전철역 승하차 밀도(왼쪽), 전철역 승하차 버퍼 결과(오른쪽)	13
[그림 3-7] 노인 복지시설 위치(왼쪽), 노인 복지시설 커널밀도 결과(오른쪽)	14
[그림 3-8] 장애인 복지시설 위치(왼쪽), 장애인 복지시설 커널밀도 결과(오른쪽)	14
[그림 3-9] 기본 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)	15
[그림 3-10] 효율성 중시 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)	16
[그림 3-11] 형평성 중시 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)	16
[그림 3-12] 효율성과 형평성 중시 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)	17
[그림 3-13] 서울역 버스종합환승센터 일반지도(위), 위성사진(아래)	18
[그림 4-1] 폭염위험도에 따른 폭염저감시설 우선순위 지역 도출(상위 10곳)	20

01. 연구개요

1_연구배경 및 목적

1) 심각해지는 폭염에 따른 대응책 필요성 증가

매년 증가하는 온열질환자로 폭염의 심각성이 더욱 고조되고 있다. 2011년부터 2018년까지의 연도별 온열질환자 발생 현황을 살펴보면, 폭염일수가 2014년과 2015년에 줄어들었지만 전반적으로 증가추세를 보이고 있다. 특히 2018년에는 열사병에 따른 사망자가 27명으로 최대치를 기록해 폭염 대처가 크게 요구되는 시점이다.



출처: 보건복지부, 2018

[그림 1-1] 연도별 온열질환자 발생건수

2) 폭염 시 보행자를 위한 다양한 대책을 제시하고 있는 서울시

폭염에 따른 온열질환자가 매년 증가하고 있는 상황이고, 정부와 지자체는 다양한 대책을 내놓고 있다. 특히 서울시는 보행자를 위해 쿨링포그 시스템을 운영하고, 그늘막 설치, 폭염대피소 선정 등 다양한 대책을 제시하고 있다(서울특별시, 2018). 조항문·이윤혜(2018)에 따르면, 서울시는 시원한 도로 환경을 조성하기 위해 버스정류장의 차양

을 확대하고, 쿨링포그를 설치하며, 가로수를 조성하고, 물을 뿌려주는 사업 등을 추진하고 있다.



출처: 서울특별시, 2018

[그림 1-2] 서울시 폭염대책 사진

그중에서 서울시는 쿨 스팟(Cool Spot)을 조성하고자 광화문광장(도로와 인접한 보행로 난간 76m)에 2018년 5월 중순부터 9월까지 쿨링포그 시스템¹⁾을 가동하였다. 쿨링포그 시스템은 오전 11시부터 오후 7시까지 멈춤 없이 지속해서 가동하고, 기온이 25℃ 이하이거나 습도가 80% 이상일 때는 자동으로 가동을 멈춰 폭염 시 효율적으로 가동하도록 설정되어 있다(서울특별시, 2018).



출처: 박태훈, 2018

[그림 1-3] 2018년 쿨링포그 시범사업 사진

1) 물방울의 약 100만분의 1 크기인 20마이크론 이하의 물을 고압 분사하여 기화하면서 잠열을 흡수해 주변 온도를 낮추는 냉방장치로, 실내·외에 설치하여 운영 시 열섬현상 완화, 미세먼지 완화, 대기 공기질 개선, 해충방지 등의 효과를 볼 수 있다고 한다(서울특별시, 2018).

3) 보행자를 위한 폭염저감시설로서 쿨링포그 최적입지를 제안

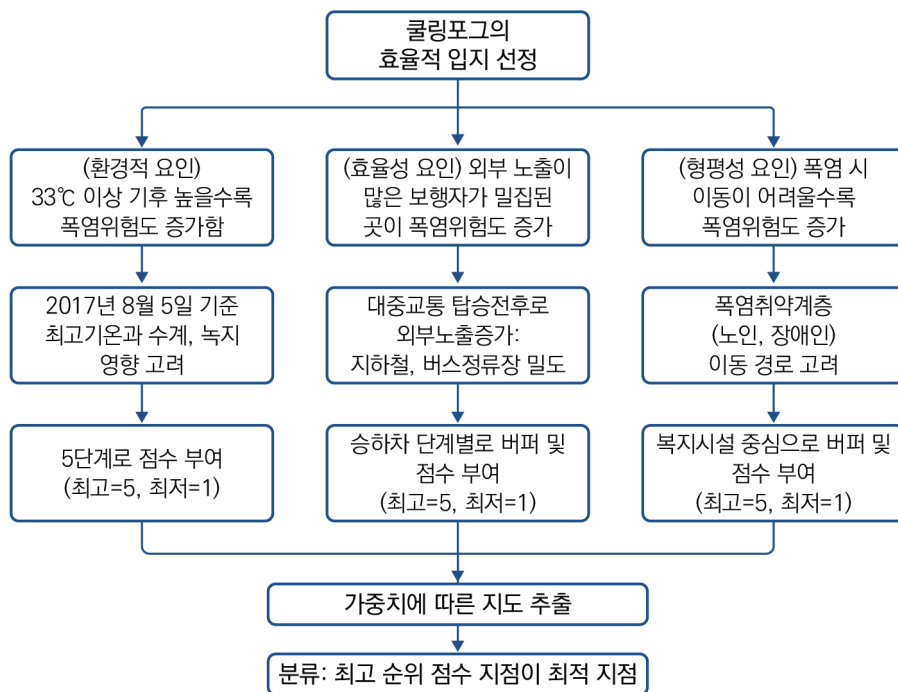
서울시는 2018년 쿨링포그 시범사업을 거쳐 2019년에 쿨링포그를 약 200m 길이에 2개소로 확장할 예정이라고 한다²⁾. 이에 따라 제한된 예산 속에서 폭염저감시설의 효과를 가장 크게 볼 수 있는 장소에 대한 고찰이 필요하다. 폭염 위험이 가장 높은 곳이 폭염 완화가 제일 필요하고 쿨링포그 시스템을 설치할 곳으로 적당할 것이다. 따라서 이 연구는 보행자를 위한 폭염저감시설로서 쿨링포그의 최적입지를 살펴보고자 서울시를 대상으로 폭염위험도(map)를 도출하고자 한다.

2) 서울시 기후환경본부 기후대기과 기후변화대응팀 클리프로그 담당자인 라인영 주무관과의 전화통화에서 확인하였다.

2_연구내용 및 방법

1) 연구내용의 구성

이 연구는 폭염에 따른 쿨링포그의 최적입지를 도출하기 위해 ‘폭염위험도’를 구성하고, 중시하는 측면(효율성, 형평성)에 따라 최적의 입지를 알아보고자 하였다. 이에 제2장에서는 폭염위험도를 구성하기 위해 선정한 변수를 알아보고, 평가변수별 가중치를 산정한 시나리오를 구성하도록 한다. 제3장에서는 폭염위험도를 구성하는 3가지 변수인 환경적 변수, 효율적 변수, 형평적 변수의 각 결과를 제시하려고 한다. 제3장 2절에서는 변수별로 가중치를 다르게 다룬 4가지 시나리오의 결과를 제시하도록 한다. 3절에서는 시나리오별 결과를 통해 최적의 입지를 제안하려고 한다. 제4장에서는 최적입지 도출 시 고려되어야 할 측면을 살펴보고, 향후 폭염 대책안을 제시할 때에 고려되어야 할 부분을 파악하도록 한다.



[그림 1-4] 연구의 흐름

02. 폭염위험도 평가 변수 도출

1_폭염위험도 관련 선행연구

1) 많은 연구가 진행된 폭염취약성 연구

폭염 취약성에 대해서는 많은 연구가 진행되었다. 폭염 취약성 관련 선행연구는 크게 폭염 취약성에 관한 프레임워크를 적용하여 측정하는 연구(Rinner et al., 2010; Savić et al., 2018), GIS를 이용하여 시각적으로 지도로 표현하는 연구(Aminipouri, Knudby, and Ho, 2016; Johnson, Depietri, and Breil, 2016), 폭염취약성에 관한 질적 연구(Reischl, Rauter, and Posch, 2018; Aminipouri, Knudby, and Ho, 2016) 등으로 나눌 수 있다. 또한, 그동안 폭염 취약성에 관련하여 연구결과가 축적되어 있었기 때문에 다양한 측면에서 메타분석이 이루어지기도 하였다.

2) 폭염대응 측면에서 접근성의 중요성

한국환경정책·평가연구원(2016)에 따르면, 더위를 피하고자 방문하는 시설을 이용하는 이유에 대해서는 ‘접근성이 좋기 때문에’가 32%로 응답률이 가장 높아, 더위를 피하고자 시설을 이용할 때 거리가 가장 중요시된다는 점을 알 수 있었다. 엄지연·윤수진(2016)은 폭염 대응정책이 저소득 노인계층에 적절한 시기에 전달되고 있는지를 분석했는데 그중 무더위쉼터의 심리적 접근성이 이용하는 데 제약사항으로 나타났다고 밝혔다. 즉, 앞선 선행연구들을 바탕으로 폭염을 피하기 위한 공간을 선택할 때 ‘접근성’이 매우 중요한 요소라는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 ‘접근성’이 심리적인 것 외에도 실질적인 거리도 포함되고 있음을 고려할 때, 과연 쿨링포그의 위치가 필요한 정책대상자의 현실적인 거리 안에 포함되어 있는지도 고려될 필요가 있다. 폭염 시 온열질환자는 야외활동을 금지하고 실내로 들어가 체온을

낮춰주는 등의 응급상황이 필요하다. 즉, 이동이 힘든 노인이나 장애인과 같은 사회적 약자뿐만 아니라 폭염취약계층에게 공간적인 접근성이 매우 중요한 변수로 고려돼야 한다.

3) 폭염취약계층인 노인과 장애인

선행연구를 통해 우리는 소득이 없는 노인이나 독거노인의 비율이 높을수록 폭염에 취약한 것을 알 수 있었다(이나영 외, 2014; 조항문·이윤희, 2018). 또한, 폭염이라는 자연재난 속에서 이동이 힘들 것으로 예상되는 장애인도 폭염취약계층으로 분류될 수 있다. 두오균(2009)에 따르면, 우리나라는 장애인에게 자유로운 이동이 가능하지 않은 환경이므로, 폭염 시 이동이 불편한 장애인도 폭염취약계층으로 고려되어야 할 것이다.

4) 폭염 시 온도저감효과를 갖는 하천과 녹지

도우곤 외(2010)는 하천 복원에 따라 지표면 넓은 부분에서 최대 2℃ 정도의 기온감소 효과가 있었다고 지적하였다. Chen et al.(2014)은 강으로부터 320 ~ 388m 사이에 기온저감 효과(cooling effect)가 있음을 확인하였다.

윤용한(2001)은 풍속의 크기에 따라 녹지의 기온 저감효과 영향범위를 살펴보고, 풍속이 가장 약할 때 녹지로부터 250 ~ 300m 떨어진 곳, 풍속이 강할 때는 320 ~ 360m의 거리가 있는 정도에 영향을 준다고 강조했다. 윤민호·안동만(2009)은 녹지의 기온저감영향이 녹지로부터 반경 500m까지 미친다는 선행연구를 바탕으로 500m 전후의 기온저감을 분석해보았다. 이나영 외(2014)는 서울시 25개 구의 1인당 녹지면적의 비중이 높을수록 온열로 말미암은 사망률을 줄이는 효과를 보았다고 밝혔다.

2_평가변수 결정 및 구성

이 연구는 폭염저감시설로서 쿨링포그의 공간적 입지를 제안하고자 ‘폭염위험도’를 구성할 것이다. 이 연구에서 폭염위험도는 ‘폭염을 나타내는 환경적 변수뿐만 아니라 보행자의 이동을 나타내 최적의 정책 효과를 고려하는 효율적 변수와 폭염취약계층을 고려하는 형평적 변수를 반영하여 상대적으로 폭염에 취약한 지역을 시각적으로 나타내 우선적으로 대안이 필요한 곳을 제시한 지도’라고 조작적으로 정의한다. 그러므로, 이 연구는 폭염위험도를 구성하기 위해 환경적 변수, 효율적 변수, 형평적 변수를 반영할 것이다. 또한, 2017년 8월 5일이 최고기온일이므로 이날을 대상으로 폭염위험도를 구성하고자 하며³⁾ ArcGIS 10.4를 사용한다.

환경적 변수는 폭염위험도 포함변수인 최고기온과 폭염위험도 제거변수인 수계, 녹지로 구성한다. 최고기온은 서울시 25개 구의 자동기상관측소(AWS: Automatic Weather Station) 자료를 활용할 것이며, 폭염위험도를 나타내주는 포함변수로 구성한다. 수계는 서울 한강과 그 외 하천의 폭염완화 효과와, 녹지는 북한산과 관악산 등의 산과 근린공원의 폭염완화 효과의 거리를 고려하도록 한다. Chen et al.(2014)에 따르면 강으로부터 320~388m 사이에 기온저감 효과가 있으므로 수계는 폭염위험도 제거변수로 구성한다. 이나영 외(2014)는 서울시 25개 구의 1인당 녹지면적의 비중이 높을수록 온열에 따른 사망률을 줄이는 효과를 보았다고 강조했으므로 녹지도 폭염위험도 제거변수로 구성한다.

효율적 변수는 버스정류장 승하차 밀도와 전철역 승하차 밀도로 구성한다. 폭염 시 이동이 불가피하게 필요하여 보행자 밀도가 많은 곳을 고려하는 것이 쿨링포그의 효과를 많은 사람에게 줄 수 있으므로 정책의 효율적 측면에서 적합하다고 판단된다. 그러므로 버스정류장과 전철역에서 승하차 밀도가 높을수록 버스정류장과 전철역을 기점으로 보행자의 이동거리가 짧을 것으로 가정하여, 승하차 밀도별로 버퍼를 부여하여 인구밀집도를 산정해보도록 한다. 버스정류장 승하차 밀도와 전철역 승하차 밀도는 서울열린데이터광장의 자료를 사용하며, 2017년 8월 5일 12시부터 17시⁴⁾까지의 자료를 쓰도록 한다.

3) 이 연구는 2018년 10월부터 시작하였기 때문에 모든 변수의 자료수집을 위해 2017년을 기준으로 작성되었다.

형평적 변수는 노인·장애인 복지시설 밀집도를 적용한다. 폭염 시 이동이 어려운 폭염취약계층인 노인과 장애인을 고려하고, 이들의 주요 이동목적지인 복지시설의 위치를 파악하고자 한다. 복지시설의 밀도가 높을수록 복지시설로부터의 이동거리가 넓을 것으로 가정하며, 커널밀도분석으로 서울시의 형평성 측면에서 폭염위험도 변수를 구성하도록 한다. 노인·장애인 복지시설의 좌표는 서울열린데이터광장의 자료를 바탕으로 한다.

[표 2-1] 폭염위험도 변수 구성 및 자료 출처

	평가변수	방법론	출처
환경적 변수	최고기온	보간법(krigging)	기상자료개방포털
	수계	제거(erase)	환경공간정보서비스
	녹지	제거(erase)	환경공간정보서비스
효율적 변수	버스정류장 승하차	버퍼(buffer)	서울열린데이터광장
	전철역 승하차	버퍼(buffer)	서울열린데이터광장
형평적 변수	노인 복지시설	커널밀도분석	서울열린데이터광장
	장애인 복지시설	커널밀도분석	서울열린데이터광장

4) 서울시의 폭염안전대피요령은 12시부터 17시까지 외부에 있지 않기를 권고하므로 이 시간에 이동하는 사람들은 폭염의 위험에 크게 노출되었으므로 이 시간만을 고려한다.

3_평가변수별 가중치 산정 및 시나리오 구성

이 연구는 폭염위험도를 구성할 환경적 변수, 효율적 변수, 형평적 변수를 설정하였으며, 각 변수의 비중을 다르게 주어 다양한 관점을 고려하고 최종적으로 최적의 입지를 도출하고자 한다. 분석할 시나리오는 총 4가지이다. 첫 번째는 모든 변수를 동일하게 비중을 두는 시나리오이다. 어느 변수가 가장 중요한지 정해지지 않는 상황에서 균등하게 고려하여 폭염위험이 가장 높은 곳을 알아보하고자 한다. 두 번째는 효율성 중시 시나리오이다. 폭염 시 보행자의 밀도를 더 고려하는 경우로 보행자를 대상으로 한 폭염저감시설의 정책적인 효과를 더 고려한다고 볼 수 있다. 세 번째는 형평성 중시 시나리오이다. 쿨링포그 설치 시 폭염취약계층의 이동거리를 더 고려한 경우로 이동이 불편한 폭염 취약계층을 고려한다고 볼 수 있다. 네 번째는 효율성과 형평성을 중시하는 시나리오이다. 폭염 시 보행자 밀집과 폭염취약계층을 동시에 고려한 경우이다.

[표 2-2] 시나리오 구성표

시나리오	가중치 비율 (환경적: 효율성: 형평성)
1. 기본: 3가지 변수를 동등하게 고려한 경우	1 : 1 : 1
2. 효율성 중시: 폭염 시 보행자의 밀도를 더 고려하는 경우	1 : 2 : 1
3. 형평성 중시: 폭염취약계층을 더 고려한 경우	1 : 1 : 2
4. 효율성과 형평성 중시: 보행자와 폭염취약계층을 고려한 경우	1 : 2 : 2

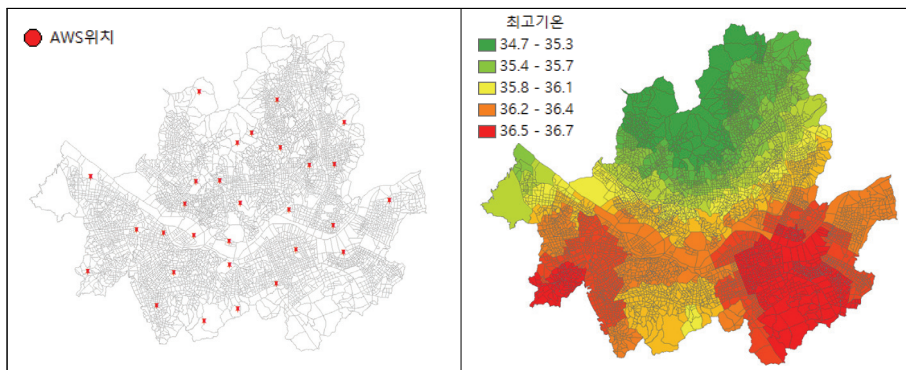
03. 평가변수별 가중치를 고려한 시나리오 분석 결과

1_평가변수별 결과

1) 환경적 변수

(1) 최고기온을 고려한 지역별 최고기온 분포 결과

25개 자치구에 위치한 자동기상관측소(AWS)⁵⁾의 최고기온에 대한 기본적인 통계를 알아본 뒤 보간법을 이용해 서울시 전체의 기온을 추측한다. 가장 낮은 기온을 기록한 곳은 북악산점으로 해발고도가 333.8m이고 33.4℃이다. 산을 제외한 지역에서는 은평점(해발고도 57.9m)이 34.0℃로 나타났다. 가장 높은 기온을 보인 곳은 강남(해발고도 59.2m)으로 37.2℃였다. 총 29개 지점의 평균기온은 35.9℃로 분석되었다. 보간법을 이용해 서울시 전체적으로 강북보다 강남이 기온이 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었다.

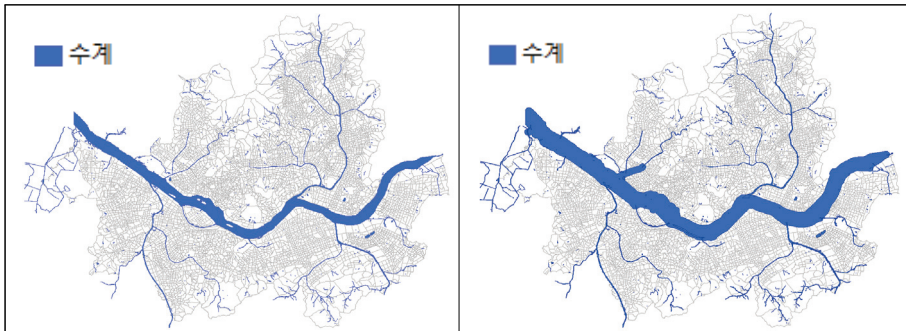


[그림 3-1] 서울시 AWS 위치(왼쪽), 최고기온 분포 결과(오른쪽)

5) 영등포구는 영등포점, 한강점의 2곳, 관악구는 관악점, 남현점의 2곳이고 관악산점과 서울점은 중간기상관측소로 총 29개의 기상관측점의 자료를 이용한다.

(2) 수계의 넓이·길이에 따른 지역별 폭염완화효과 분포 결과

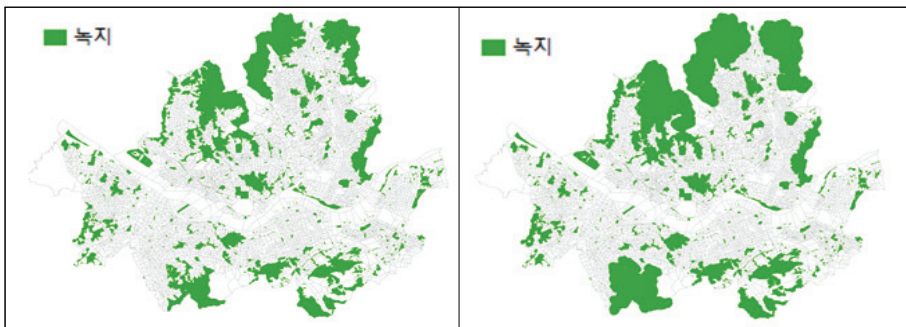
수계의 넓이와 길이에 따라 폭염완화효과가 다를 것이므로 버퍼를 다르게 부여하였다. Chen et al.(2014)이 강으로부터 320 ~ 388m 사이에 기온감소 효과가 있다고 했으므로 이 연구는 한강만을 300m의 폭염완화효과가 있을 것으로 가정하여 300m 버퍼를 부여하였다. 하천의 넓이가 10,000㎡ 이상인 곳은 살펴보았을 때 가장 인접한 도로의 넓이가 최소 10m로 나타나 10m의 버퍼를 제공하였다. 그 외의 넓이가 10,000㎡ 이하인 곳(청계천)은 면적 그대로의 버퍼를 부여하였다.



[그림 3-2] 서울시 수계(왼쪽), 수계 버퍼 결과(오른쪽)

(3) 녹지 넓이·길이에 따른 지역별 폭염완화효과 분포 결과

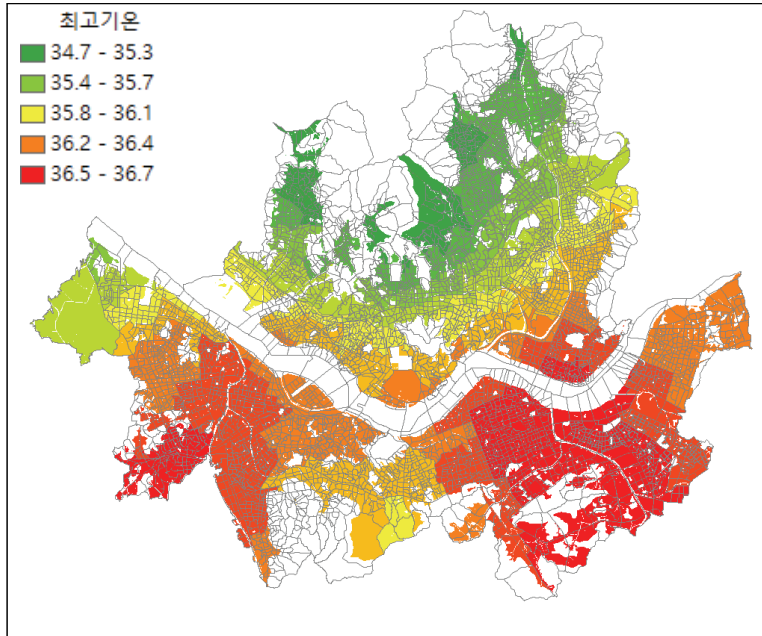
녹지의 넓이와 길이에 따라 폭염완화효과가 다를 것이므로 버퍼를 다르게 부여하였다. 윤용한(2001)은 풍속이 가장 약할 때 녹지로부터 최소 250 ~ 300m 떨어진 곳에 기온감소 영향을 준다고 하였으므로 관악산과 북한산을 300m의 폭염완화효과가 있을 것으로 가정하여 300m 버퍼를 제공하였다. 그 외의 산(우면산, 구룡산)은 가장 인접한 도로의 넓이가 50m로 나타나 50m의 버퍼를 부여하였다. 그 외의 공원은 면적 그대로 버퍼를 제공하였다.



[그림 3-3] 서울시 녹지(왼쪽), 녹지 버퍼 결과(오른쪽)

(4) 3가지 환경적 변수의 종합 결과

위의 결과를 토대로 폭염위험 포함변수인 최고기온지도와 제거변수인 수계와 녹지지도를 중첩(overlay)하였다. 제거변수지도를 제외한 부분은 하얀색으로 나타나 추후에 고려되지 않는다. 최종적으로 합친 환경적 변수는 아래 그림과 같다.

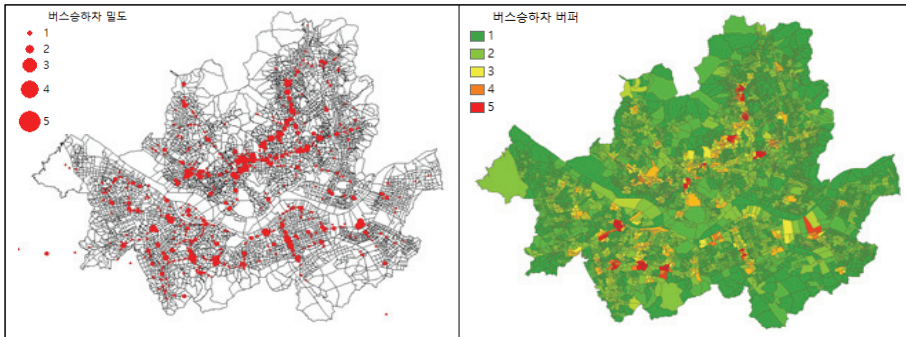


[그림 3-4] 최종 환경적 변수 결과

2) 효율적 변수

(1) 버스정류장 승하차를 고려한 지역별 버스 승하차 밀도 분포 결과

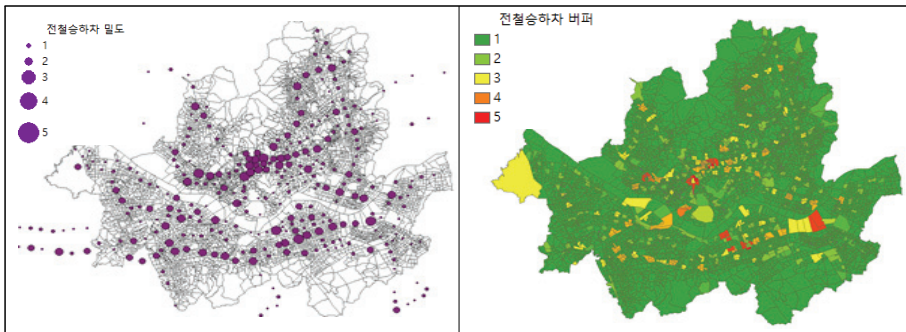
2017년 8월 5일의 12시부터 17시까지의 승하차인원을 기준으로 하였다. 각 승하차인원을 Natural Break 5단계로 분류하고, 밀도가 낮은 순서대로 각각 5m, 50m, 100m, 200m, 300m의 버퍼를 부여하였다. 분석결과 버스정류장 승하차가 높은 곳은 영등포역, 대림역(구로구청), 구로디지털단지, 삼성역·은마아파트, 송실대입구역, 신도림역 정류장 순으로 나타났다.



[그림 3-5] 버스정류장 승하차 밀도(왼쪽), 버스정류장 승하차 버퍼 결과(오른쪽)

(2) 전철역 승하차를 고려한 지역별 전철 승하차 밀도 분포 결과

2017년 8월 5일의 12시부터 17시까지의 승하차인원을 기준으로 하였다. 각 승하차인원을 Natural Break 5단계로 분류하고, 밀도가 낮은 순서대로 각각 5m, 50m, 100m, 200m, 300m의 버퍼를 제공하였다. 분석결과 전철역 승하차가 높은 곳은 삼성역, 압구정로데오역, 강변(동서울터미널역), 영등포역, 신도림역 순으로 나타났다.



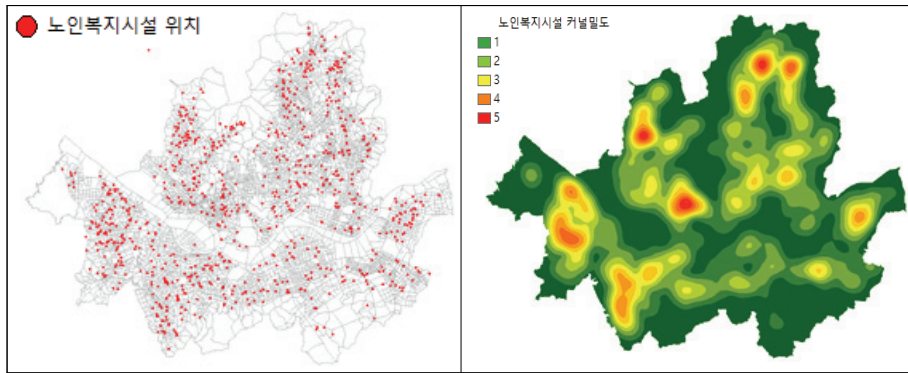
[그림 3-6] 전철역 승하차 밀도(왼쪽), 전철역 승하차 버퍼 결과(오른쪽)

3) 형평적 변수

(1) 노인 복지시설을 고려한 지역별 노인 복지시설 밀도 분포 결과

노인 복지시설은 노인복지주택, 노인요양공동생활가정, 노인요양시설, 돌봄시설, 노인교실 등으로 구성되어 있다. 노인복지주택은 사회복지시설이면서 유료시설인 실버타운과 비슷한 성격을 띠고 있다. 노인요양공동생활가정은 10인 미만의 노인이 거주하는 의료 복지 시설이고, 노인요양시설은 10인 이상의 노인이 거주하는 시설이다. 돌봄시설은 시간별로 돌봄관리를 받는 복지시설이고, 노인교실은 노인을 대상으로 교육을 진행하는 복

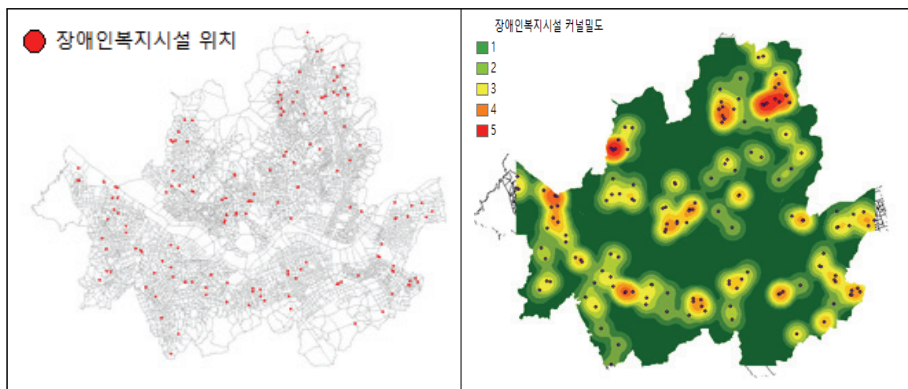
지시설이다. 돌봄시설과 노인교실만이 이동성이 있고, 그 외의 시설은 거주하는 시설이므로 이동성이 상대적으로 없다고 볼 수 있다. 그러므로 돌봄시설과 노인교실만을 가중치 2로, 그 외의 시설은 1로 설정하여 커널밀도분석을 수행하였다. 분석결과 도봉구, 노원구, 은평구, 중구, 양천구 등에 폭염취약계층이 밀집해 있는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 3-7] 노인 복지시설 위치(왼쪽), 노인 복지시설 커널밀도 결과(오른쪽)

(2) 장애인 복지시설을 고려한 지역별 장애인 복지시설 밀도 분포 결과

장애인 복지시설은 장애유형별, 중증장애인, 장애영유아, 단기거주시설, 공동생활가정 등의 거주시설과 교육, 재활 시설 등으로 분류된다. 거주시설을 제외하고는 교육을 듣거나 재활하는 등의 활동을 위해 시설로 이동 시에 이동성이 있는 것으로 가정하여, 거주시설은 1, 나머지 시설은 2로 가중치를 두어 커널밀도분석을 수행하였다. 분석결과 폭염취약계층인 장애인들이 노원구, 도봉구, 은평구, 중구 등 강북에 주로 밀집하는 것을 알 수 있었다.

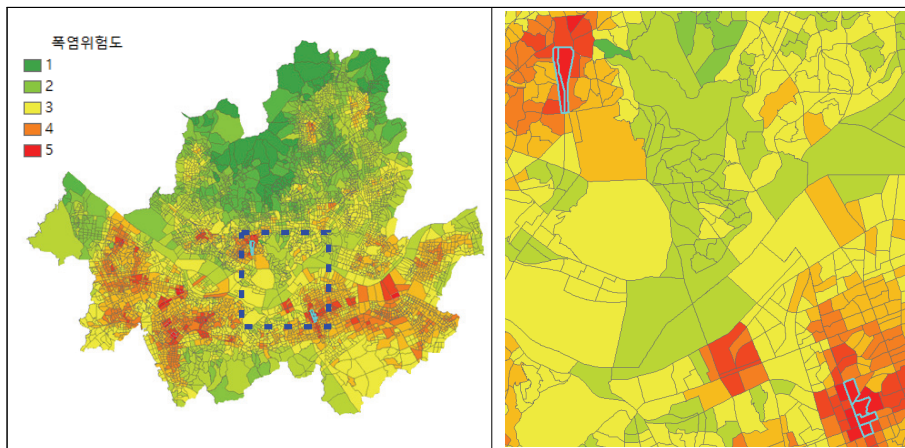


[그림 3-8] 장애인 복지시설 위치(왼쪽), 장애인 복지시설 커널밀도 결과(오른쪽)

2_시나리오별 결과

1) 기본 시나리오(동일한 가중치 부여) 결과

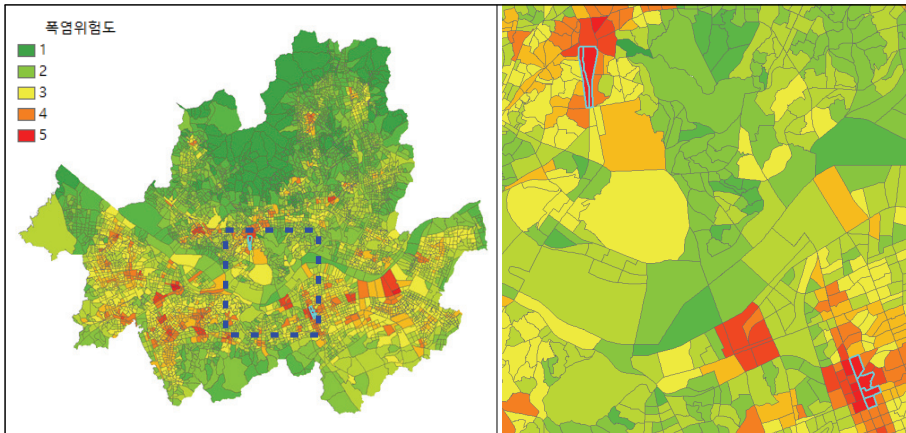
분석결과 폭염위험이 가장 높은 곳은 강남구 강남역 부근과 용산구·중구 서울역 버스종합환승센터 부근으로 나타났다. 그 외 높은 곳은 강서구 강서구청 부근, 구로구 대림역, 구로디지털단지역 부근, 동작구 신대방삼거리 부근, 서초구 신분당선 강남역 부근, 송파구 잠실역 부근, 영등포구 신도림역(디큐브시티), 영등포역(타임스퀘어) 부근으로 분석되었다.



[그림 3-9] 기본 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)

2) 효율성 중시 시나리오 결과

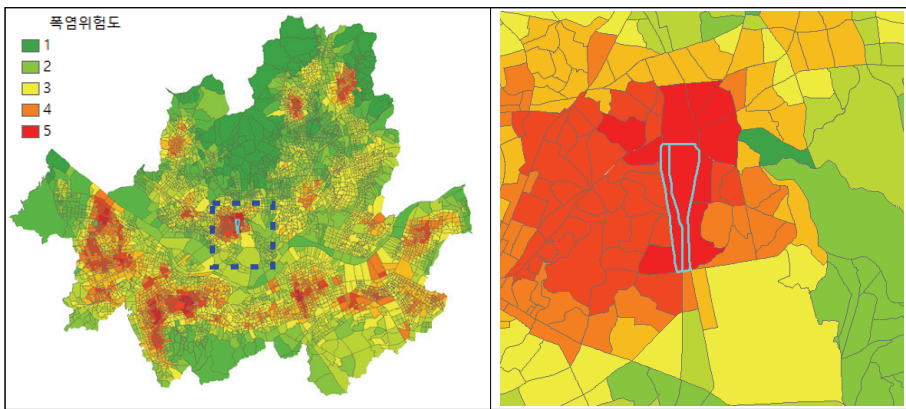
분석결과 폭염위험도가 가장 높은 곳은 강남구 강남역 부근과 용산구·중구 서울역 버스 종합환승센터 부근으로 나타났다. 그 외 폭염위험도가 높은 곳은 서초구 신분당선 강남역 부근, 송파구 잠실역 부근, 영등포구 영등포역(타임스퀘어) 부근, 중구 서울역과 회현역 사이로 분석되었다.



[그림 3-10] 효율성 중시 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)

3) 형평성 중시 시나리오 결과

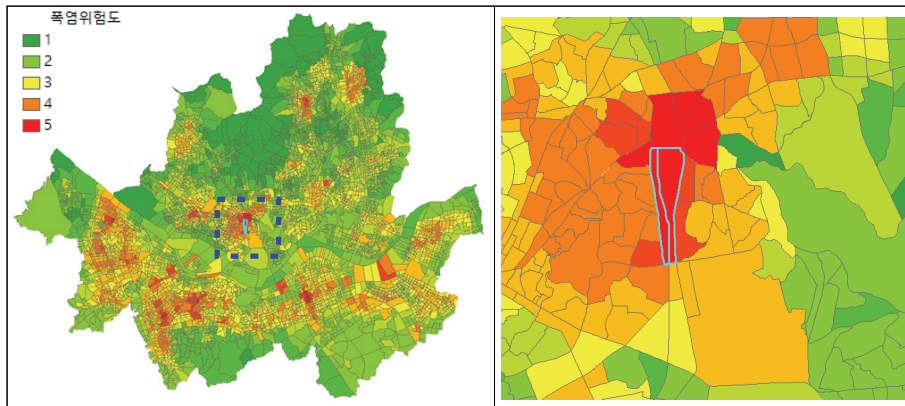
분석결과 폭염위험도가 가장 높은 곳은 용산구·중구 서울역 버스종합환승센터 부근으로 나타났다. 그 외 폭염위험도가 높은 곳은 강남구 강남역 부근, 강서구 강서구청 부근, 구로구 대림역, 구로디지털단지역 부근, 동작구 신대방삼거리 부근, 영등포구 신도림역 (디큐브시티), 영등포역(타임스퀘어) 부근, 중구 서울역과 회현역 사이로 분석되었다.



[그림 3-11] 형평성 중시 시나리오 결과(왼쪽), 폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)

4) 효율성과 형평성 중시 시나리오 결과

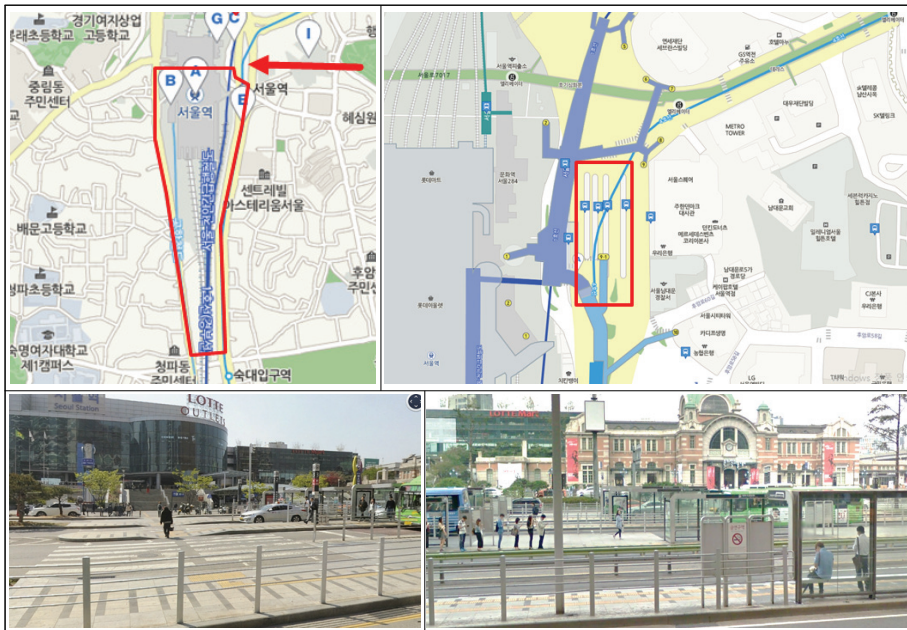
분석결과 폭염위험도가 가장 높은 곳은 용산구·중구 서울역 버스종합환승센터 부근으로 나타났다. 그 외 폭염위험도가 높은 곳은 강남구 강남역 부근, 강북구 수유역(강북구청) 부근, 구로구 구로디지털단지 부근, 서초구 강남역과 신논현 사이, 영등포구 구로디지털 단지역 부근, 중구 서울역과 회현역 사이로 분석되었다.



[그림 3-12] 효율성과 형평성 중시 시나리오 결과(왼쪽),
폭염위험도가 가장 높은 곳 확대(오른쪽)

3_비교 고찰 및 공통입지 상세 분석

4가지 시나리오에서 서울역 버스종합환승센터가 공통적으로 폭염취약지로 도출되었다. 이곳을 상세하게 알아보고, 구체적인 쿨링포그 설치 장소를 제안하고자 한다. 서울역 버스종합환승센터의 버스정류장과 근처 서울역에서 승하차가 많아 보행자가 많았다. 근처에 해돋이마을 노인교실, 동성교회 경로대학, 염천교회 늘푸른대학 등의 노인복지시설과 용산구 수화통역센터가 밀집되어 폭염취약계층인 노인과 장애인의 이동이 많아 폭염취약지로 도출된 것으로 보인다. 정류장의 상태를 보면 차양이 설치되어 있지만 면적이 매우 협소하고 기다리는 사람들이 많아 대부분 이용자가 직사광선에 노출되는 것을 알 수 있었다. 그러므로 서울역 버스종합환승센터 정류장에 쿨링포그 설치가 가장 시급할 것으로 판단된다.



출처: 네이버맵

[그림 3-13] 서울역 버스종합환승센터 일반지도(위), 위성사진(아래)

04. 불염저감시설의 최적입지 제안 및 개선방향

1_4가지 시나리오 분석 결과를 통한 우선순위 도출

이 연구는 불염의 심각성이 높아지면서, 불염저감시설의 최적입지를 고려하고자 수행되었다. 서울시가 올해 불염저감시설로서 쿨링포그를 2곳에 설치할 예정인 상황에서 제한된 예산과 정보 속에서 최적입지를 도출할 필요로 이 연구가 진행되었다. 불염취약 지도를 구성할 때 환경적 변수뿐만 아니라 불염 시 보행자 밀집을 고려하는 효율적 변수, 불염취약계층을 감안하는 형평적 변수를 구성하고 변수별 가중치를 달리하여 다양한 측면을 고려하여 최적의 입지를 제안해보았다.

연구 결과 2017년 최고기온일인 8월 5일을 기준으로 12시부터 17시까지 인구이동이 가장 많은 곳을 고려했을 때(효율성), 서울역 부근, 강남역 부근이 불염 시 보행자에게 가장 취약한 것으로 나타났다. 그러나, 이동이 어려운 불염취약계층인 노인과 장애인을 감안했을 때(형평성), 서울역 부근, 강서구청 부근, 신대방삼거리 부근이 가장 취약한 것으로 분석되었다. 효율성과 형평성을 모두 고려했을 때는 서울역 부근, 회현역 근처, 강남역 부근이 보행자에게 불염에 가장 취약한 곳으로 확인되었다. 쿨링포그 설치에 따른 기온감소 효과를 많은 사람에게 제공하는 것을 고려한다면 효율성을 중심으로 최적입지를 찾을 필요가 있다. 아니면 사회정의 실현하에서 불염취약계층을 고려한다면, 형평성을 중심으로 최적입지를 찾을 필요가 있다.

4가지 시나리오를 표준화⁶⁾하여 상위 10곳을 아래 그림과 같이 도출해보았다. 가장 높은 점수로 도출된 지역은 서울역 부근 ‘서울역 버스종합환승센터’ 정류장이다. 즉, 불염위험도가 가장 높은 곳으로 분석된다는 의미이다. 그다음으로 불염위험도가 높은 곳은 강남역과 신논현역 사이의 거리로 나타났다. 그다음은 구로디지털단지 부

6) 시나리오별로 1점 만점으로 변환하고 각 점수를 더하여 지역별로 총 4점 만점으로 계산한다.

근, 서울역과 화현역 사이, 영등포역 부근, 신도림역 부근, 남구로역 부근, 홍대입구역 부근, 서울대입구역 부근 순으로 분석되었다.



[그림 4-1] 폭염위험도에 따른 폭염저감시설 우선순위 지역 도출(상위 10곳)

2_폭염저감시설의 최적입지 제안 및 개선방향

표준화하여 우선순위를 도출했을 때와 같이, 4가지 시나리오에서 모두 폭염위험도가 가장 높은 곳은 서울역 부근 ‘서울역 버스종합환승센터’ 정류장으로 나타났다. 이 연구는 서울역 버스종합환승센터에 쿨링포그를 설치할 것을 제안한다. 향후 폭염저감시설의 입지를 분석할 때 정책의 효율성뿐만 아니라 사회정의 측면에서 형평성까지 고려할 필요가 있다.

또한 선행연구를 통해 발견했던 지역적 특성을 변수에 반영하여 사회취약성을 고려한 분석을 수행할 수 있었다. 이제까지 입지를 제안하는 연구들은 형평성보다 효율성을 더 고려하는 측면이 높았다. 하지만 이 연구는 폭염에 취약한 사회계층을 좀 더 고려하기 위하여 노인·장애인 복지시설 밀집도를 증시한 시나리오를 고려한 접근법을 사용했다는 데에 의미가 있다. 이는 단 2개소만 설치된다는 쿨링포그의 최적 입지 선정 시 정책의 효과성뿐만 아니라 폭염취약계층을 고려하는 사회정의적 측면을 포함하였다는 점에서 의미가 있다고 볼 수 있다.

그러나 이 연구도 몇 가지 한계점이 있다. 첫째는 각 변수의 버퍼 선정이 임의적이라는 것이다. 수계나 녹지는 선행연구를 통해 약 300m의 폭염완화효과를 찾아볼 수 있었지만, 그 세부적인 영향은 찾을 수가 없었다. 이 연구는 수계와 녹지의 면적과 길이에 따라 임의적으로 10m, 50m로 버퍼를 부여하였다. 그러나 실질적으로 이 영향거리가 정확한지는 알 수 없으므로 미시적인 관측의 결과가 필요한 지점이다. 둘째는 자료 수집의 문제로 2017년만을 기준으로 연구를 진행하였다. 2017년이 폭염위험도를 구성하는 데 예외적인 해가 아닐지, 폭염 시 보행자의 이동을 대표할 수 있을지 알 수 없으므로 연도별 패널분석을 진행하여 분석의 정확도를 더욱 높이는 것을 추후 과제로 남긴다.

참고문헌

도우곤·조정구·유평중, 2010, “도심 하천 복원에 따른 기온 저감 효과 연구”, 『보건환경연구원보』, 20(1): 168~177.

두오곤, 2009, “한국 장애인 인권의 현실과 재난관리”, 『국가위기관리연구』, 3(1): 26~50.

엄지연·윤수진, 2015, “저소득 노인계층에 대한 폭염대응대책 연구: 서울시 관악구를 중심으로”, 『공간과 사회』, 54: 317~342.

윤민호·안동만, 2009, “위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석”, 『한국조경학회지』, 37(3): 46~53.

윤용한, 2001, “녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구-풍속과의 관련성에 관해서”, 『대한국토·도시계획학회지』, 국토계획 제36권 2호.

이나영·조용성·임재영, 2014, “폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석: 서울을 중심으로”, 『보건사회연구』, 34(1): 456~484.

조항문·이윤혜, 2018, “서울시 폭염 대응력 향상 방안”, 『서울연구원 정책리포트』 257.

한국환경정책·평가연구원, 2016, “폭염 대비 무더위쉼터의 실효성 제고 방안”, 『KEI 포커스』 VOL.4 No.1.

Aminipouri, Mehdi, Anders Knudby, and Hung Chak Ho, 2016, “Using Multiple Disparate Data Sources to Map Heat Vulnerability: Vancouver Case Study”, *Canadian Geographer* 60 (3): 356~68.

Chen, Y. C., Tan, C. H., Wei, C., & Su, Z. W., 2014, “Cooling effect of rivers on metropolitan Taipei using remote sensing”, *International journal of environmental research and public health*, vol. 11,2 1195~1210.

Johnson, Katie, Yaella Depietri, and Margaretha Breil, 2016, “Multi-Hazard Risk Assessment of Two Hong Kong Districts”, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 19: 311~323.

- Reischl, Christiane, Romana Rauter, and Alfred Posch, 2018, “Urban Vulnerability and Adaptation to Heatwaves: A Case Study of Graz (Austria)”, *Climate Policy* 18 (1): 63~75.
- Rinner, Claus, Dianne Patychuk, Kate Bassil, Shiraz Nasr, Stephanie Gower, and Monica Campbell, 2010, “The Role of Maps in Neighborhood-Level Heat Vulnerability Assessment for the City of Toronto”, *Cartography and Geographic Information Science* 37 (1): 31~44.
- Savić, Stevan, Vladimir Marković, Ivan Šećerov, Dragoslav Pavić, Daniela Arsenović, Dragan Milošević, Dragan Dolinaj, Imre Nagy, and Milana Pantelić, 2018, “Heat Wave Risk Assessment and Mapping in Urban Areas: Case Study for a Midsized Central European City, Novi Sad (Serbia)”, *Natural Hazards* 91 (3): 891~911.
- 박태훈, 2018.07.04., “시원한 여름, ‘쿨링포그’의 광화문 광장에서”, 세계일보, <http://news.dreamwiz.com/NEWSAWRj6Z0eQi9FNMj9yiHA>
- 서울특별시(안전총괄본부), 2018.05.16., “2018년 폭염종합대책 추진계획”, 서울시 정보소통광장, <https://opengov.seoul.go.kr/sanction/15266173>
- 보건복지부(질병관리본부), 2018.07.29., “올해 온열질환자 작년 발생 초과, 휴가철 주의 당부”, 대한민국 정책브리핑, <http://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156284123>

작은연구 좋은 서울 18-10

**효율성·형평성 고려한 폭염위험도 구성과
폭염저감시설 쿨링포그 최적입지 도출**

발행인 서왕진

발행일 2019년 5월 1일

발행처 서울연구원

비매품

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

이 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.