

관악구 내 무더위 그늘막의 폭염 해소 효과와 입지 적정성 분석 및 신규 입지 후보지 제안

지리학과 2020-17530 박지호

지리학과 2020-18793 김석현

지리학과 2020-10226 염수민

지리학과 2021-17057 한지원

I. 연구 배경 및 목적

올해도 때 이른 봄이 찾아온 한국을 비롯해 전 세계에서 이상고온 현상이 나타나고 있다. 유럽우주국에 따르면 지난 3월 전 세계의 기온이 관측 이래 2위를 기록했다. 한국의 경우 올해 3월 평균 기온은 관측이 시작된 이래 가장 높은 온도를 나타냈다. 기상청은 5월 기온이 평년보다 높을 확률이 50%, 비슷할 확률은 40%로 예측했다.¹⁾ 이에 폭염에 대응하기 위한 각 지자체의 대책이 매우 중요할 것으로 보인다. 서울은 도시화에 따른 태양열 저장량 증가, 열 흡수원의 감소, 인공열 배출 증가, 공기 흐름 저하 등의 현상이 나타나고 있으며 이 때문에 고온과 폭염에 특히 취약하다. 서울시는 폭염 적응을 위한 시민실천 홍보 강화, 취약계층 지원 강화, 시원한 도로 환경 조성, 그늘 형성과 물순환 촉진으로 폭염 완화 등의 폭염 정책을 시행하고 있다. 2018년 서울연구원에서 발표한 서울시민이 원하는 폭염 대응 정책 순위를 조사한 결과, 1순위는 전기요금 인하(54.9%), 2순위는 야외공간 그늘확보(47.7%)였다. 전기요금 인하 등 국가정책을 제외하면 그늘막 등의 그늘 확대 정책 요구가 가장 높았다.²⁾

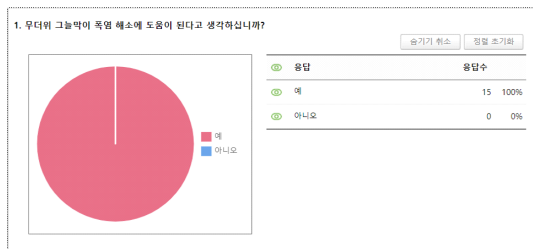
관악구는 폭염을 주요한 기후재난으로 인식하고 취약계층인 어린이나 어르신들이 이용하는 시설을 대상으로 2023년 1억원 상당의 예산을 투입해 ‘무더위 그늘막’(이하 그늘막)을 비롯해 ‘그린커튼’과 ‘쿨루프’와 같은 폭염 예방 시설을 설치했다.³⁾ 하지만 2022년 8월 기준 서울 지역의 그늘막 설치 현황을 보면 송파구 260개, 서초구 220개, 강남구 202개가 설치된 반면 관악구는 67개(현재 82개)로 종로구와 마포구 다음으로 가장 적은 그늘막이 설치되어있다. 관악구의 상주인구는 약 48만 명, 주간인구는 약 38만 명이라는 점에서 관악구에 추가적인 그늘막 설치가 필요해 보인다.⁴⁾ 그럴 뿐만 아니라 서울대입구역 횡단보도 그늘막 아래 신호 대기자 15명을 대상으로 설문조사를 진행한 결과, 응답자 전원이 그늘막의 효과를 체감하고 있으며 15명 중 13명이 그늘막 추가 설치를 원하고 있음을 알 수 있었다.

1) 홍준석. 2023년 5월 23일. “올 여름 덥다…평년보다 기온 높을 가능성 커”. 『연합뉴스』.

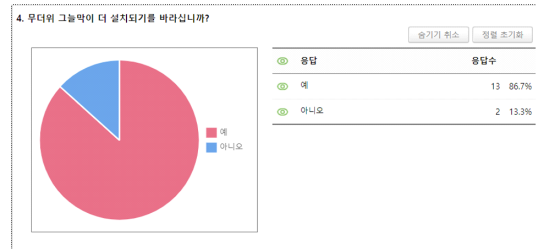
2) 조항문, 이윤혜. 2018. “서울시 폭염 대응력 향상 방안”. 『서울연구원 정책리포트』. 제257호. p.16.

3) 서울재정포털. “관악구 세출운용상황 - 사업 및 예산정보 - 안전관리과”.

4) 조운찬, 서강준. 2022년 8월 3일. “[썬 취재, 기자가 간다] 3. 재정 따라 '천차만별' 그늘막...대프리카'보다도 많은 수도권”. 『TheReport』.



▲ [그림 1] 그늘막의 효과 체감 여부



▲ [그림 2] 그늘막 추가 설치 희망 여부

이에 관악구는 2018년부터 스마트 그늘막 도입을 지속 추진해오고 있다. 스마트 그늘막은 기온, 바람에 따라 차양막이 자동 개폐되어 신속한 대처가 가능하고 밤에는 야간 보안등 기능을 할 수 있는 등의 장점이 존재한다. 하지만 스마트 그늘막 1개의 설치, 관리 비용은 약 천만 원으로 적지 않다. 따라서 폭염 대응책으로서 그늘막의 실질적인 실효성을 판단하고 한정된 수의 그늘막을 적절한 위치에 배치하는 것은 예산을 효율적으로 집행하는 데 있어서 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 현재 관악구에 설치되어있는 그늘막의 실질적인 실효성과 현재 설치되어있는 그늘막 입지의 적정성에 대해 분석할 것이다. 나아가 현재 설치되어있는 그늘막 입지에 대한 개선 방안과 그늘막 추가 설치를 위한 최적의 입지를 제안할 것이다. 이를 통해 관악구 주민들의 효과적인 폭염 대응에 기여하고 나아가 관악구의 폭염 예산이 효율적으로 사용될 수 있도록 이바지하고자 한다.

II. 선행연구 검토

세계적인 이상 기후 현상으로 인해 폭염에 대한 경각심이 증가함에 따라 폭염과 관련한 여러 연구들이 이어져 오고 있다. 김인혜 외 4인(2021)은 한국 7개 대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)를 중심으로 폭염과 열대야의 도시별 특성에 대해 분석했으며, 분석 결과 내륙도시인 서울, 대구, 광주, 대전에서는 2000년부터 2020년 21년 동안 폭염이 지속적으로 나타났으며 특히 서울과 광주에서 8월에 매년 8.44%, 8.09%만큼 증가했음을 밝혀냈다. 주요 도시별 폭염이 지속적으로 증가해옴에 따라 폭염 대응책과 관련한 다양한 연구들 또한 활발하게 이어져 오고 있다. 전용준 외 2인(2022)은 폭염 저감 시설 이용자를 대상으로 온열감 변화에 대한 설문조사를 실시했으며, 이를 통해 폭포시설, 차양막, 연못, 탄성포장도로 순으로 온열감 변화의 정도가 큼을 밝혀냈으며 나아가 집단의 특성(성별, 연령, 대수량)에 따라 온열감 변화의 정도가 다르게 나타남을 확인했다. 양호진 외 3인(2021)은 청주 도심 내 열 스트레스가 가장 높은 연구지역 산업단지를 대상으로 폭염 대응책 시나리오를 적용했으며, 시나리오 분석 결과 쿨링포그, 쿨루프, 도시 숲 조성 시나리오가 UTCI(Universal Thermal Climate Index)를 한 단계 낮은 수준으로 변화시켰음을 밝혀냈다. 또한, 권용석과 안유정(2020)은 시스템 다이내믹스 방법론을 사용하여 폭염 정책효과를 분석했으며, 폭염 취약계층 지원정책은 인적 피해를 감소시켜 취약계층이 보다 현실적으로 경제활동에 참여하는 것을 도우며 새로운 일자리 창출과 지역경제를 살릴 수 있는 피드백 과정이 있음을 파악하였다.

이와 같이 폭염 대응책과 관련한 다양한 연구가 존재하며, 구체적으로 시민들 사이에서 확대 정책 요구가 높은 그늘막에 대한 연구들 또한 몇몇 존재한다. 이춘석·류남형(2015)은 조경용 차양막의 명도 차이에 의해서 어느 정도의 태양 일사가 차단되고, 이에 따라서 어느

정도의 온열환경이 개선되는지를 객관적 물리량으로 검증했으며, 실제 옥외공간 차양시설 조성에 있어서 어두운 소재를 적용함과 동시에 통기성을 개선하는 것이 가장 효과적임을 밝혀냈다. 방승연(2019)은 여러 가지 통계자료를 바탕으로 여름철 그늘막 설치의 중장년층 서울시민 건강에 미치는 영향에 대해 연구했으나, 통계적으로 유의미한 결과를 얻지 못했다. 이처럼 그늘막과 관련한 연구가 몇몇 존재하긴 하나 이춘식·류남형의 연구는 현재 폭염 대응책으로서 실시되고 있는 그늘막이 아닌 조경용 차양막에 대한 연구라는 점에서 폭염대응책으로서의 그늘막에 그대로 적용할 수 없으며, 방승연의 연구는 그늘막 설치의 효과와 관련한 유의미한 결과를 도출하지 못했다는 점에서 실제 현장에서 그늘막의 효과를 직접 측정하려는 시도가 요구된다.

본 연구의 방향성과 가장 유사하다고 할 수 있는 그늘막 설치 적합 지역 분석과 관련한 연구로, 2018년 서울시 빅데이터캠퍼스, 서울시 서북병원, 홍익대학교가 협업하여 중랑구 지역을 대상으로 폭염 취약계층 인구, 유동인구 등의 지표와 위성영상 분석을 사용하여 폭염 그늘막 설치 후보 지역을 선정한 연구가 존재한다. 다만 이 연구는 그늘막이 거의 설치되지 않은 초창기에 진행된 것으로, 현 상태에서 신규 입지 후보지를 제안하기 위해서는 더 많은 공간 변수들을 고려하고, 구체적이고 정량적인 입지 평가 및 배치 기준을 도입해야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 그늘막의 온열감 완화 효과 검증이라는 환경공학적 측면과 입지 분석 및 제안이라는 공간통계학적 측면을 결합하여 그늘막의 폭염 대응책으로서의 실효성에 대한 복합적인 분석을 시도하고자 한다. 먼저 그늘막 내외부의 WBGT, UTCI의 변화를 현장에서 직접 측정하여 그늘막의 실질적인 실효성을 분석할 것이며, 취약계층인구, 유동인구 외에도 도로의 폭, 건물의 높이 등의 변수를 고려하여 입지의 적정성을 분석한다. 이후 MCLP 모델과 지리적 중첩 분석을 통해 최적의 그늘막 추가 설치지역을 제안하고자 한다.

III. 이론적 고찰

1. 온열체감지수

본 연구에서는 실제 그늘막 이용자들이 느끼는 더위를 수치화하기 위해서 온열체감지수를 사용하였다. 온열체감지수란 기온에 더해 습도와 일사량 등의 다양한 요소를 고려해 계산한 수치로 기온만을 이용해 나타낼 때보다 실제 느끼는 더위를 더 정확하게 나타낼 수 있으며, 본 연구에서 사용한 온열체감지수는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)와 UTCI(Universal Thermal Climate Index)이다.

WBGT는 미국 국방성에서 야외 훈련시 열사병 방지를 위해 개발한 온열체감지수로, 열사병 위험 작업 현장에서는 측정이 의무화되어있는 지수이다. 기온, 습구온도, 복사온도를 이용해 야외에서의 WBGT를 구할 수 있다.⁵⁾

$$WBGT_{outdoor} = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_a$$

$$T_w = \text{습구온도}, T_g = \text{흑구온도}, T_a = \text{건구온도}$$

5) 조우리. 2021. 『폭염피해 저감시설의 온열체감지수 개발에 관한 기초연구』, 동의대학교 석사학위논문. p.25.

UTCI는 열 교환 과정을 고려해 범용성 높은 열 스트레스 지수를 만들기 위해 고안되었으며, 기온, 평균복사온도, 상대습도, 풍속을 이용해 구할 수 있다.⁶⁾ 상대습도는 WBGT 계산식의 습구온도로부터 역산하였으며, 평균복사온도(MRT)는 여러 가지 계산 방법이 있으나, 본 연구에서는 흑구온도와 기온을 이용하는 방식으로 아래 공식⁷⁾에 따라 계산하였다, 이후 UTCI 계산 공식에 따라 UTCI를 최종적으로 산출하였다.

$${}_{globe}MRT = [(T_g + 273)^4 + \frac{(0.25 \times 10^8)}{0.95} (\frac{|T_g - T_a|}{D})^{-4} (T_g - T_a)]^{-4} - 273$$

D = 흑구온도계의 흑구 지름

UTCI (℃) 범주	상태
+ 46 초과	극심한 열 스트레스가 발생함
+ 38 ~ + 46	매우 강한 열 스트레스가 발생함
+ 32 ~ + 38	강한 열 스트레스가 발생함
+ 26 ~ + 32	열 스트레스가 발생함
+ 9 ~ + 26	열 스트레스가 발생하지 않음
0 ~ + 9	약간의 추위를 느낌
-13 ~ 0	한랭 스트레스가 발생
-27 ~ -13	강한 한랭 스트레스가 발생
-40 ~ -27	매우 강한 한랭 스트레스가 발생
-40 미만	극심한 한랭 스트레스가 발생

▲ <표 1> UTCI의 값에 따른 온열 스트레스의 정도

위의 표는 UTCI 지수에 대한 해석을 돕기 위해 만들어진 표이며, 아래에 나올 측정 결과를 대입해보면 5월부터 열 스트레스가 발생하는 날들이 있음을 확인할 수 있다.

2. MCLP(Maximum Covering Location Problem) 모형

MCLP는 예산 등의 현실적 제약으로 정해진 개수만큼 시설의 입지를 결정해야 할 때, 시설의 커버리지(coverage)에 포함되는 수요가 최대가 되도록 하는 지점을 찾는 공간 최적화 모형이다.⁸⁾ 그늘막과 같은 공공 서비스의 경우, 주어진 예산 내에서 시민의 편익을 극대화하기 위해서는 가장 많은 수요를 커버할 수 있는 지점, 즉 가장 많은 시민이 오고 가는 지점에 우선하여 설치해야 하므로 MCLP의 적용이 적절하다. 이때 1부터 N 까지 해의 개수를 늘려가면서 찾은 MCLP의 최적해는 수요라는 하나의 기준에 기반한 신규 그늘막 입지 우선 순위라고도 해석할 수 있다.

6) 위의 글. pp.27-28.

7) 송영란. 2016. 『옥외공간의 평균복사온도 측정방법에 관한 연구. 경남과학기술대학교 석사학위논문. p.12.

8) 김감영. 2021. “공간 최적화 모형을 이용한 자동심장충격기(AED)의 커버리지 평가: 강남구를 사례로”. 『한국지리학회지』. 10-1. p.160.

목적함수: Maximize $Z = \sum_{j \in J} x_j$

(1) $x_j = (0, 1)$ for $\forall j \in J$

(2) $y_i = (0, 1)$ for $\forall i \in I$

(3) $\sum_{i \in I} y_i = N$

(4) $x_j \leq \sum_{i \in I} a_{ij} y_i$ for $\forall j \in J$

I = 그늘막 입지 후보지의 집합 (i 로 인덱싱)

J = 수요 지점의 집합 (j 로 인덱싱)

N : 설치 가능한 그늘막의 개수

y_i : i 지점에 그늘막을 설치하면 1, 그렇지 않으면 0

a_{ij} = i 의 커버리지에 j 지점이 포함되면 1, 그렇지 않으면 0

본 연구에서는 R의 maxcovr 패키지를 이용해 MCLP를 구현하였으며, 이를 수식으로 표현하면 위와 같다. 니콜라스 티어니(Nicholas Tierney)에 의해 개발된 이 패키지는 MCLP를 R에서 구현하기 위해 리처드 처치(Richard Church)와 찰스 리벨(Charles ReVelle)이 최초로 고안한 MCLP의 목적함수와 제약조건을 변형하여 사용하고 있다. 전통적인 MCLP에서는 수요 지점마다 수요량이 할당되어 있고 커버리지에 속하는 수요 지점의 총수요가 최대가 되도록 하는 최적해를 도출한다.⁹⁾ 반면, maxcovr 패키지의 목적함수는 수요 지점의 ‘개수’를 최대화하는 것으로, 제약 조건식이 간단하여 업데이트가 비교적 편리하다. 제약조건 (1), (2)는 x_j 와 y_i 가 이진 변수임을 의미한다. 제약조건 (3)에 의해서는 그늘막의 개수가 지정된다. 제약조건 (4)는 수요 지점 j 가 한 번 이상 커버되면 x_j 가 1, 그렇지 않으면(모든 j 에 대해 a_{ij} 가 0이거나 y_i 가 0이면) 0이 됨을 의미한다. 이때 a_{ij} 는 i 와 j 지점 간의 최단 거리 행렬¹⁰⁾과 커버리지 반경을 비교하여 0 또는 1로 나타낼 수 있다. 위 식을 바탕으로 선형정수계획법을 사용하여 찾은 $i = 1$ 인 지점들이 커버되는 수요 지점의 수를 극대화하는 최적해가 된다.¹¹⁾

IV. 그늘막의 실제 폭염 해소 효과 분석

1. 그늘막 이용 시민 대상 설문조사

먼저 시민들이 체감하는 그늘막의 폭염 해소 효과를 알아보기 위해 횡단보도에서 대기하면서 그늘막을 이용하는 보행자들을 포함해 실제 그늘막 이용자들을 대상으로 온열감 개선 정도에 대한 설문을 진행하였다.

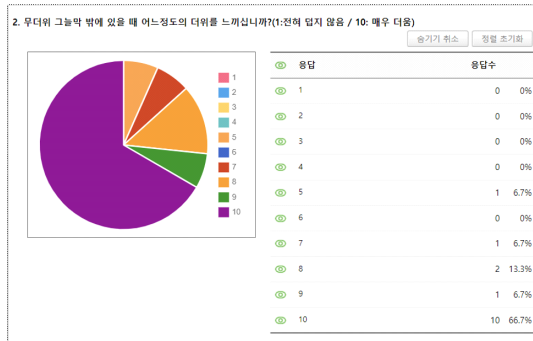
15명의 응답자 전원이 그늘막이 폭염 해소 대책으로서 도움이 된다고 응답하였는데, 구체적으로 그늘막 밖에 있을 때 10 정도의 폭염을 느낀다고 답한 사람이 응답자의 66.7%로

9) Richard Church and Charles Revelle. 1974. “The maximal covering location problem”. *Papers of the Regional Science Association*. 32. pp.102-104.

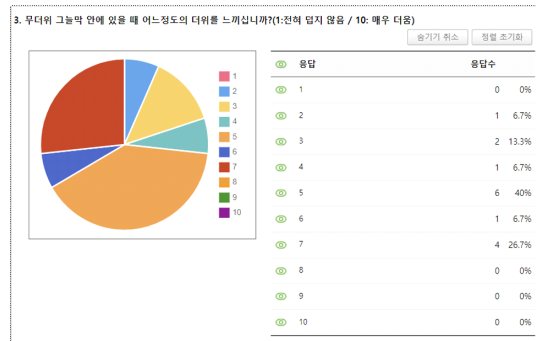
10) a_{ij} 는 0과 1로 이루어진 (I 의 원소 개수) $\times$ (J 의 원소 개수) 행렬의 i 행 j 번째 값이다.

11) Nicholas Tierney et al. 2018. “Novel relocation methods for automatic external defibrillator improve out-of-hospital cardiac arrest coverage under limited resources (Appendix A)”. *Resuscitation*. 125. pp. 5-6.

가장 많았으며, 응답자 중 75.4%가 그늘막 안에서는 더위가 5~7 정도로 경감된다고 응답하였다. 이를 통해 시민들이 온열감 개선 효과를 실제로 체감하고 있음을 알 수 있었다.



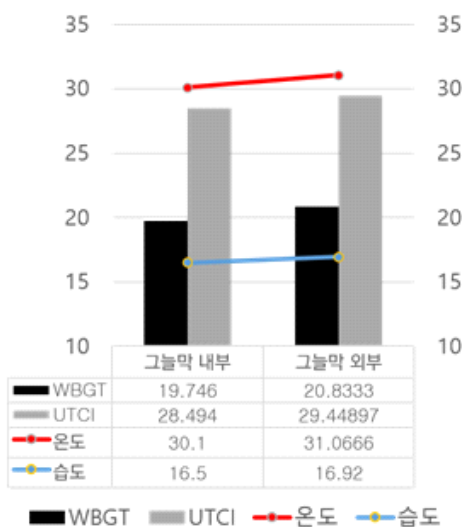
▲ [그림 3] 그늘막 밖의 더위 체감 정도



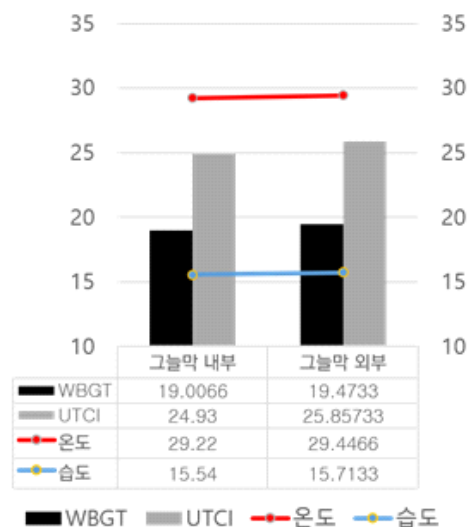
▲ [그림 4] 그늘막 안의 더위 체감 정도

2. WBGT, UTCI 측정

다음으로 폭염 해소 효과에 대한 정량적 분석을 위해 관악구에 위치한 15곳의 서로 다른 그늘막을 대상으로 2023년 5월 23일과 5월 28일 오후 2시~4시 두 번에 걸쳐 그늘막 내외부의 온열체감지수를 조사했다. WBGT 측정은 AZ사의 WBGT 측정기(87784)를 이용하였으며, 그늘막에 의해 일사가 차단되는 지점에서 3분, 그늘막 바로 옆의 외부에서 3분 간 1.5m 높이에서 측정하였다. 습구온도-상대습도 변환을 위해 R의 psychrolib 패키지를, UTCI 계산을 위해 rBiometeo 패키지를 사용하였다. 풍속은 기상청 데이터를 활용하여 각 날짜의 시간당 평균 풍속인 3.0m/s, 5.1m/s으로 가정하였다. 측정 결과 두 날 모두 온도, 습도 등 온열감에 영향을 미치는 요소와 WBGT, UTCI가 모두 그늘막 외부에서 측정했을 때 내부 측정치보다 높은 것으로 드러났다. 다음은 측정 결과를 나타낸 그래프이다.



▲ [그림 5] 5월 23일 측정 결과



▲ [그림 6] 5월 28일 측정 결과

3. 대응 비교 t-검정 (Paired t-Test)

그늘막 내외부의 온열체감지수의 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위해 내외부의 측정값 쌍에 대하여 대응 비교 t-검정을 실시하였다. 엄밀한 의미의 대응 비교를 위해서는 동일한 모집단을 가정하므로 내외부에서 동시에 측정해야 하지만, 3분간에 그늘막 내외부의 순복사량이 거의 동일할 것으로 예측되어 대응 비교 t-검정을 사용해도 무리가 없을 것이라고 판단하였다. 가설 및 검정 결과는 아래와 같다.

$$\text{귀무가설 } H_0 : \mu_{out} - \mu_{in} = 0$$

$$\text{대립가설 } H_1 : \mu_{out} - \mu_{in} > 0$$

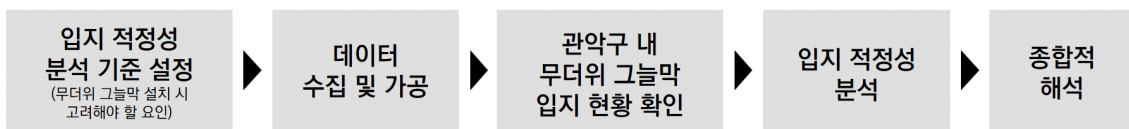
		검정통계량	자유도	p-value	평균의 차
5월 23일	WBGT	6.0668	14	1.451e-05	1.08667
	UTCI	5.5629	14	3.496-e05	1.90933
5월 28일	WBGT	6.718	14	4.907e-06	0.46667
	UTCI	3.7257	14	0.00113	0.92733

▲ <표 2> 대응 비교 t-검정 결과

5월 23일의 내외부 WBGT의 대응 비교 검정 결과 검정통계량은 6.0668, p-value가 1.451e-05로 유의수준 5%에서 모평균의 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 있었다. UTCI의 대응 비교 검정 결과 검정통계량은 5.5629, p-value가 3.496e-05로 마찬가지로 유의수준 5%에서 그늘막 내부와 외부 온열감의 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 있었다. 5월 28일에 대해서도 모두 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각할 수 있었다. 즉, 실제 시민들이 체감하는 것과 같이 그늘막의 온열감 완화 효과가 통계적으로 유의미하게 있음을 확인하였다.

V. 관악구 그늘막 입지 적정성 분석

1. 분석 기준 및 분석 방법

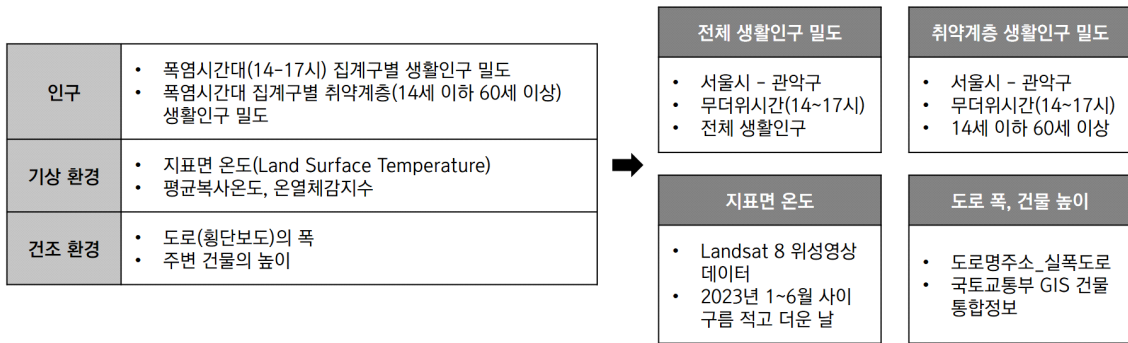


▲ [그림 7] 관악구 그늘막 입지 적정성 분석 진행 순서

다음 단계로 폭염 해소 효과가 있음을 확인한 그늘막이 적절하게 배치되어 있는지 살펴보고자 한다. 관악구에 설치되어 있는 그늘막의 현황(2023년 6월 기준)을 살펴보고 그늘막 설치 시 고려해야 할 공간적 변수들을 바탕으로 입지 적정성을 평가하기 위한 기준을 설정했다. 이 기준은 크게 인구, 기상 환경, 건조 환경의 세 가지 측면으로 나눌 수 있다. 인구 측면에서는 전체 생활인구와 취약계층 생활인구를 기준으로 이용하고자 했다. 이때, 서울 생활인구는 서울의 특정 지역과 특정 시점에 존재하는 모든 인구를 의미하며, 취약계층은 인구 특성 및 사회경제적 요인으로 인해 건강에 취약한 인구이자 기후 변화에 민감한 집단으로, 60세 이상 노인과 14세 이하 어린이로 정의했다. 기상 환경으로는 지표면 온도(LST)

를, 건조 환경으로는 그늘 형성, 복사열, 알베도 감소 등 체감 더위에 영향을 줄 수 있는 요소로써 도로 폭과 건물 높이를 기준으로 이용하였다.

선정한 분석 기준을 바탕으로 서울시 생활인구 데이터, 서울시 Landsat 위성 데이터, 도로명주소 실폭도로 데이터, GIS 건물 통합정보 데이터, 관악구 그늘막 설치 위치 데이터 등을 활용하여 관악구 내의 그늘막 입지에 적합한 지역에 대한 분석을 진행했다.

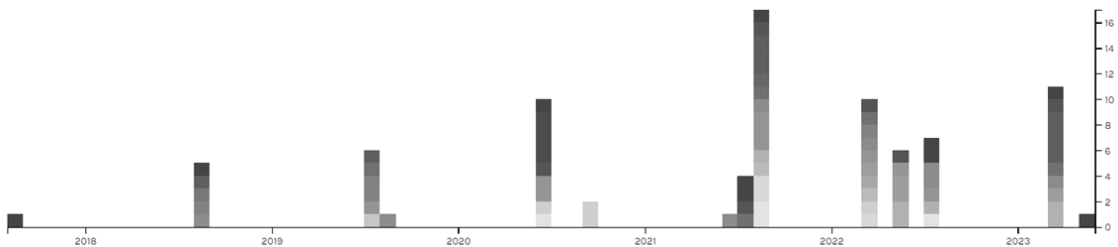


▲ [그림 8] 분석 기준 및 이용 데이터

2. 관악구 내 무더위 그늘막 입지 현황

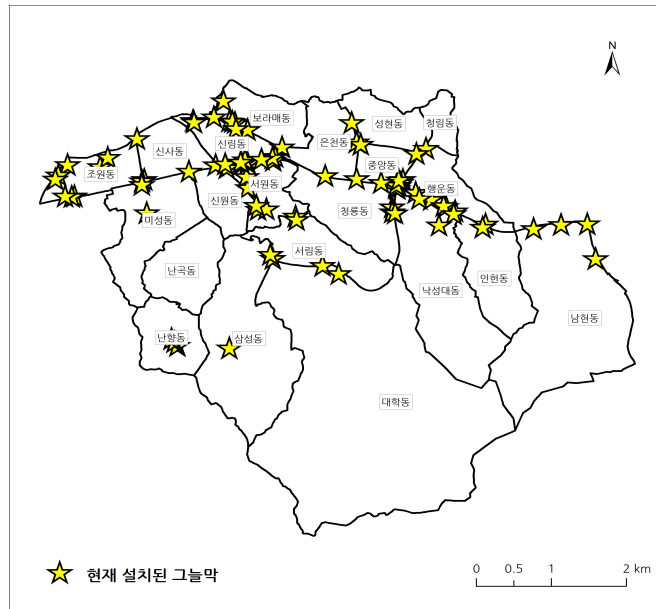
입지 적정성 분석을 하기에 앞서 분석 대상 지역인 관악구에 대해 조사하였다. 관악구는 서울시 남서부에 위치한 자치구로 약 49만 명의 주민(내국인)이 거주하고 있다(2023년 6월 기준). 이 지역은 남고북저 지형을 가지고 있으며, 남쪽에는 산지가 있고 북쪽으로는 남부순환로 및 지하철 2호선과 신림선이 지나 서울대학교를 제외한 건물과 변화가는 주로 북부에 밀집되어 있다는 특징이 있다.

이러한 관악구는 2017년 8월 1일에 무더위 그늘막을 처음 설치한 것을 시작으로 현재 총 82개의 그늘막(강감찬 스마트 그늘막 62개, 접이식 그늘막 20개)을 운영하고 있으며, 하반기에는 주민 의견을 수렴해 강감찬 스마트 그늘막을 13개 이상 추가 설치할 계획이라고 선언한 바 있다.¹²⁾ 구체적인 그늘막 설치 위치 현황은 관악구청에 직접 유선 문의하여 자료를 수집하였고 이를 바탕으로 지오코딩을 실시하여 [그림 10]과 같이 시각화하였다.



▲ [그림 9] 시기별 관악구 내 무더위 그늘막 설치 현황

12) 이강훈. 2023년 6월 9일. “서울 관악구, 여름철 폭염 비상대응체계 가동...”그늘막 확대”. 『TBS』



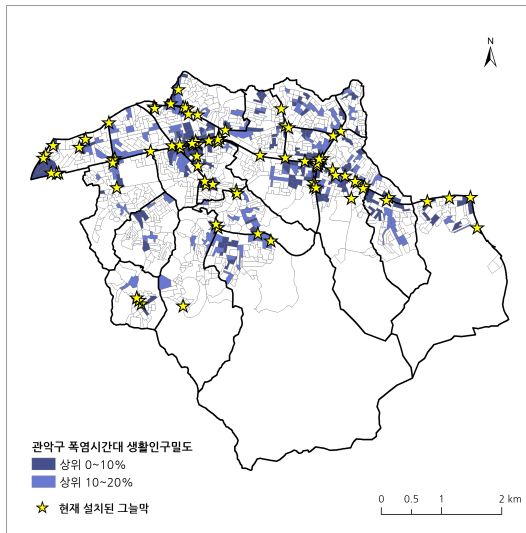
▲ [그림 10] 관악구 내 무더위 그늘막 설치 현황

[그림 10]과 같이 관악구 내 무더위 그늘막 설치 현황 위치를 관악구 행정동 지도와 중첩하여 시각화한 결과, 남부순환로나 지하철 2호선, 신림선이 지나는 교통 노드를 포함하여 대로변이나 결절지를 중심으로 그늘막이 입지해 있는 것을 확인할 수 있다. 행정동 단위로 현황을 살펴보면, 행운동, 서원동, 조원동 순으로 많은 수의 그늘막 입지를 보여주며, 난곡동과 청림동과 같이 행정동 내에 그늘막이 전혀 설치되어있지 않은 지역도 있어 행정동 간의 지역 불균형이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

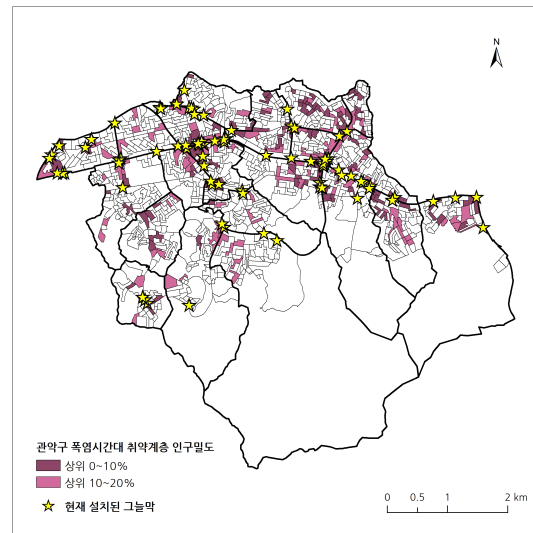
3. 입지 적정성 분석 (1) : 전체 생활인구 및 취약계층 생활인구 밀도 분포

무더위 그늘막의 목적 자체가 주민들의 여름철 폭염 피해를 최소화하기 위함이므로 생활인구가 많은 지역 중에서도 특히 취약계층 생활인구가 많이 분포하는 곳에 그늘막을 설치하는 것이 적절하다고 할 수 있다. 이에 따라 서울시 생활인구 데이터를 활용하여 생활인구와 취약계층 생활인구가 가장 많은 지역을 파악하였다. 이때, 서울 생활인구 데이터는 서울시와 KT가 공공빅데이터와 통신데이터를 이용하여 추계한 데이터이며, 서울 열린데이터 광장에서 openAPI로 제공되는 자료 중 2023년 5월 28일 데이터를 활용하였다. 해당 데이터는 RStudio를 사용해 기상청이 제시한 무더위 시간대인 오후 2시에서 오후 5시까지 약 3시간의 데이터를 합산 및 가공하여 이용하였다. 취약계층 생활인구 데이터는 동일한 생활인구 데이터 중 14세 이하와 60세 이상 데이터를 추출한 후 합산 및 가공하여 이용하였다. 이때 데이터는 집계구 단위로 제공되기 때문에 ArcGIS에서 집계구 면적으로 표준화하여 생활인구 밀도를 조사하였다. 그중에서 상위 20% 지역을 추출하고 관악구 그늘막 현황 지도와 중첩하여 [그림 11]과 같이 시각화한 결과, 주로 생활인구 밀집 지역 근처에 그늘막이 밀집 분포되어 있는 경향을 확인할 수 있었다. [그림 12]는 취약계층 생활인구 밀도 상위 20% 지역을 시각화한 것이다.¹³⁾ 전체 생활인구 지도와 비슷한 분포를 나타내는 것으로 보여진다. 그러나 [그림 11]과 [그림 12]를 중첩하여 나타낸 지도인 [그림 13]을 확인해보면 생

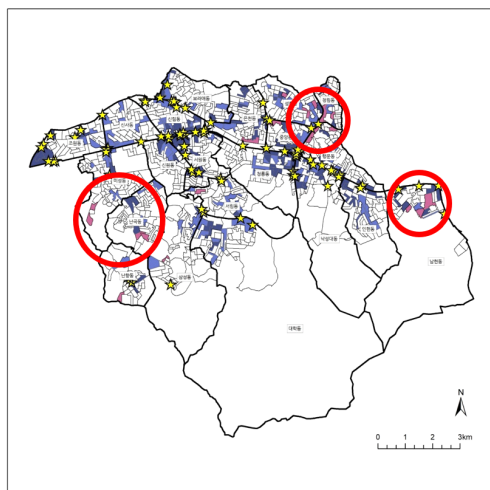
활인구는 적지만 취약계층 인구가 많은 숨겨진 ‘그늘막 수요 지점’들을 찾아볼 수 있다.



▲ [그림 11] 생활인구 밀도 상위 20% 분포도



▲ [그림 12] 취약계층 생활인구 밀도 상위 20% 분포도



▲ [그림 13] 그림 11과 그림 12를 중첩한 지도 (생활인구에 비해 취약계층 인구 밀도가 높은 지역 예시)

- 생활인구는 적지만 취약계층 인구가 많은 지역
 - 1) 청림동 관악우성아파트 부근
 - 2) 남현동 사당역 인근
 - 3) 미성동, 난곡동 주택가

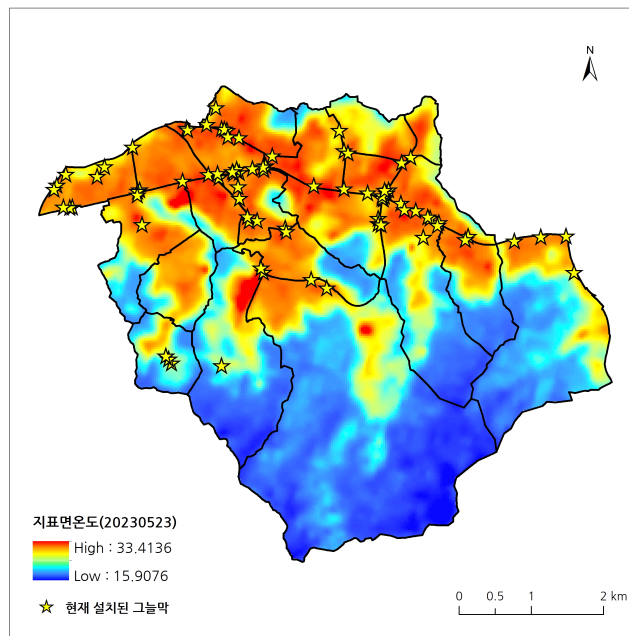
4. 입지 적정성 분석 (2) : 지표면 온도 분포

지표면 온도가 높아 시민들의 체감 더위가 심한 지역일수록 무더위 그늘막 입지에 적합하다고 할 수 있다. 따라서 서울시 여름철 지표면 온도 및 정규 식생 지수(Normalised Difference Vegetation Index)를 추출하기 위해 미국지질조사국(USGS)에서 Landsat 8 위성영상을 다운로드 받고 ArcGIS에서 지표면 온도 계산 공식을 활용하여 분석 자료를 구축했다. Landsat 8 위성은 한국을 촬영하는 시간이 매일 오전 11시 10분으로 정해져 있으며, 촬영 주기는 16일이다. 따라서 올해(2023년) 1월부터 연구 진행 시점까지의 서울시 위성 자료 중, 영상이 촬영된 날짜의 구름량 비율이 2% 미만인 날들 중에 제일 더운 날인 2023

13) 음영이 더 진한 부분이 상위 0~10%, 연한 부분이 상위 10~20%에 해당하는 집계구이다.

년 5월 23일 오전 11시 10분에 촬영된 위성 자료를 데이터 분석 연구에서 활용하였다.

분석 결과를 시각화한 [그림 14]에서는 도심 열섬 효과로 인해 생활인구가 많은 북부 도심 지역을 중심으로 높은 기온이 나타나는 것을 직관적으로 확인할 수 있다. 그중에서도 특히 진한 붉은색으로 표시된 지역은 다른 지역보다 상대적으로 지표면 온도가 높은 지역으로, 기상청 폭염특보 발표기준에 의거한 폭염 온도(33℃ 이상)를 웃도는 것으로 보인다. 이러한 지역들은 현재 설치되어 있는 그늘막 위치와 비교하여 추가적인 설치지역을 선정할 때 고려해야 할 필요가 있다.



▲ [그림 14] 지표면 온도

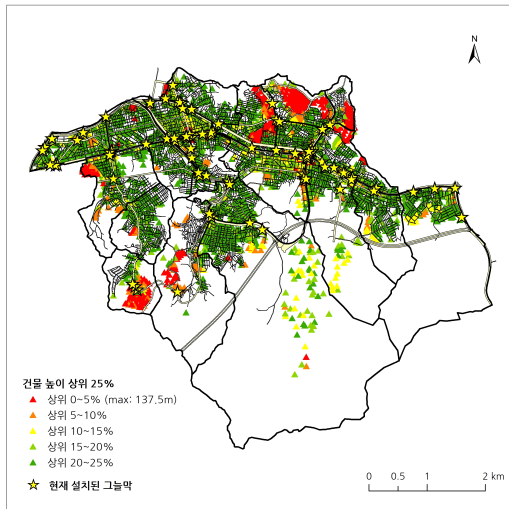
5. 입지 적정성 분석 (3) : 도로 폭 및 건물 높이 검토

도로 폭과 건물 높이는 신호등 앞에서 신호를 기다리는 시민의 체감 더위에 영향을 다소 미칠 수 있기 때문에 입지 적정성 분석의 기준으로 포함되었다. 도로 폭이 넓을수록 유동인구가 많고 알베도(표면의 빛 반사 정도)가 낮아 지표의 열 흡수율이 증가하며 신호 대기 시간은 길어지는 경향이 있으며, 건물 높이가 낮을수록 그늘의 영향력이 작아진다는 점에서 일반적으로 인근 도로 폭이 넓고 건물 높이가 낮은 지역에 무더위 그늘막을 우선적으로 입지시키는 것이 적절하다고 할 수 있다.

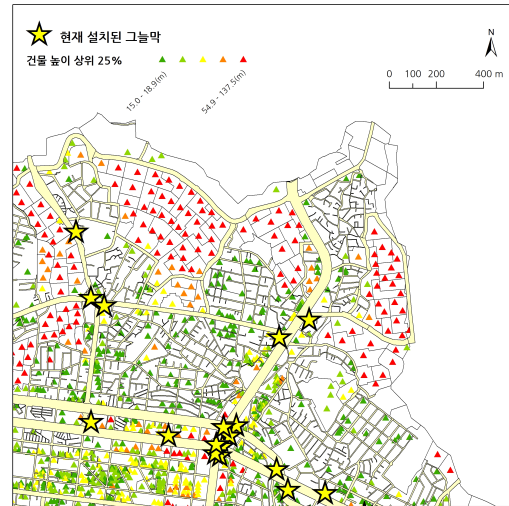
이에 따라 건조 환경 조건을 검토하고자 국가공간정보포털에서는 벡터 데이터 형식의 도로명주소 실폭도로 데이터를, 공공데이터포털에서는 국토교통부 GIS 건물 통합정보 조회 서비스 자료를 다운로드 받아 추출한 건물 높이 데이터를 이용해 ArcGIS로 시각화하였다.

실폭 도로 시각화 자료는 생활인구 분포와 큰 상관성을 보였다. 건물 높이 데이터의 경우 상위 20% 지점을 시각화하여 고층 건물을 피해 그늘막 입지 대상지를 선정할 수 있도록 분석 자료를 만들었다. 예를 들어, 관악구 북부의 성현동, 청림동, 서부의 난향동 등지에서 붉은색으로 표시된 고층 건물의 밀집지가 확인되는데, 이는 아파트 단지로 인한 것이다.

그러나 이 자료들은 [그림 15]와 같은 소축척 지도에서는 의미가 제한적일 수 있다. 따라서 더 구체적인 정보를 얻기 위해서는 [그림 16]과 같이 축척을 확대하여 상대적인 인근 도로 폭이나 건물 높이 등을 비교 분석하는 과정이 필요하다. 이는 특정 후보 지점을 상세 분석하거나 여러 후보지들을 비교할 때 높은 활용도를 가질 것이다.



▲ [그림 15] 건물 높이 상위 20% 지점
및 실폭 도로 시각화 (소축척)



▲ [그림 16] 건물 높이 상위 20% 지점
및 실폭 도로 시각화 (대축척)

6. 종합적 해석

관악구 내 무더위 그늘막 설치 현황을 분석한 결과, 전반적으로 생활인구가 많고 지표면 온도가 높은 지역에 그늘막이 적절하게 배치되어 있는 것을 확인하였다. 다만 일부 지역에서는 취약계층 생활인구의 밀도가 높거나 건물 높이가 낮아서 그늘이 충분하지 않은 지역임에도 불구하고 그늘막이 없거나 적게 분포하는 소외지역이 존재한다는 사실을 발견하였다.

이에 따라 신규 입지지를 선정할 때에는 취약계층 생활인구의 밀도 분포나 건물 높이 등 다양한 요소를 추가적으로 고려해야 할 필요가 있다. 또한 일부 그늘막은 생활인구가 적은 지역에 배치되어 이용률이 저조한 경우도 있음을 현장 조사를 통해 확인하였다. 따라서 생활인구, 즉 확실한 수요를 고려하여 신규 설치를 제안할 필요성도 확인하였다.

이러한 고려 사항들을 반영하여 신규 그늘막 설치 위치를 선정하고, 추가 현장 조사를 통해 지역적 특성과 생활인구의 실제 수요를 확인하면 더욱 효과적인 입지 선정이 가능할 것이다.

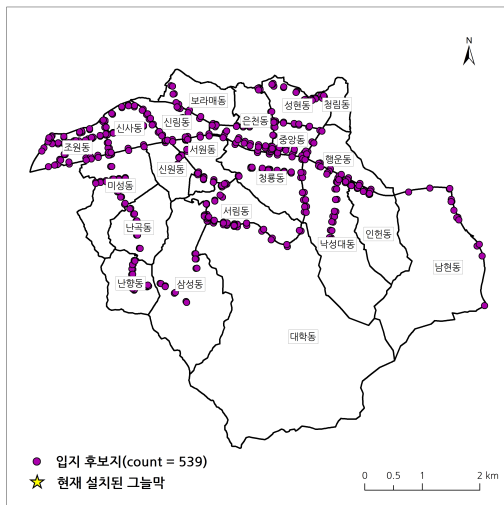
VI. 그늘막 신규 입지 후보지 제안

1. 입지 후보지와 수요 지점의 공간적 재현 및 현재 커버리지 평가

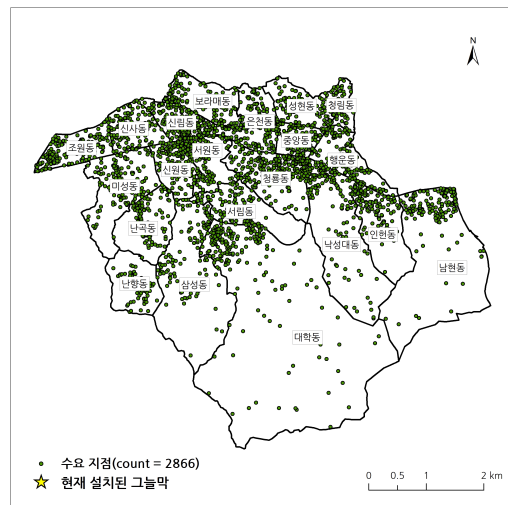
본 연구의 마지막 단계로, 가장 먼저 MCLP를 이용하여 수요(생활인구) 기반 입지 최적해를 찾은 뒤, 취약계층 인구, 건물 폭, 지표면 온도 등 다른 요인을 복합적으로 고려해 우선순위를 조정하는 작업을 거쳐 최종적으로 그늘막의 필요성이 가장 높은 5곳의 신규 입지

후보지를 제안하고자 한다.

MCLP 모델을 구축하기 위해서는 먼저 입지 후보지와 수요 지점을 정의하는 작업이 필요하다. 그늘막의 신규 입지 후보지는 서울 열린데이터 광장의 ‘서울시 대로변 횡단보도 위치 정보’ 중 관악구 관내에 있는 539개 지점으로 선정하여 지오코딩(geocoding) 하였다. 수요 지점선정에는 2023년 5월 28일자 오후 2시~5시의 서울시 생활인구 데이터를 활용하였다. 생활인구의 측정 스케일(measurement scale)이 집계구 단위이기 때문에 ArcMap의 Create Random Points 도구를 이용하여 집계구별 폭염 시간대 평균 생활인구에 비례하는 수만큼의 포인트를 각각의 집계구 폴리곤 내에 무작위로 생성하였다. 본 연구에서는 가장 인구가 많은 집계구¹⁴⁾가 50개의 포인트를 갖도록 하여 총 2,866개의 수요 지점을 선정하였다. 2023년 5월 28일 관악구의 폭염 시간대 평균 생활인구가 436,124명이므로 한 개의 포인트는 약 150명의 시간당 수요를 의미한다. 다만 이동자의 패턴이나 배후 수요 등이 고려되지 않았기에 수요량 자체가 큰 의미를 지닌다기보다는 지역의 수요를 나타내는 하나의 척도로 해석할 필요가 있다.



▲ [그림 17] 관악구 내 그늘막 입지 후보지



▲ [그림 18] 무작위로 샘플링된 수요 지점

그늘막의 커버리지 반경은 도로교통법 시행규칙 제12조에 규정된 횡단보도 간 이격거리를 고려하여 150m로 정의하였다. 이 기준에 따르면 현재 관악구에 설치된 83개의 그늘막은 전체 수요 지점 중 33.0%인 945개를 커버하고 있다. 신규 입지 선정에는 아직 어떤 그늘막에 의해서도 커버되지 않은 1,921개의 수요 지점에 대해서 고려한다.

2. 최대 커버리지를 갖는 입지 최적해

R의 maxcovr 패키지를 이용하여 N=1, 5, 10, 20으로 늘려가면서 최대 커버리지를 갖는 입지 최적해의 분포를 파악하였다. 다음은 입지 후보지를 파란색 점으로, 최적해를 빨간색 원으로 나타낸 결과이다.¹⁵⁾

14) 서원동, 1121064010002번 집계구(신림역 2번출구 부근)

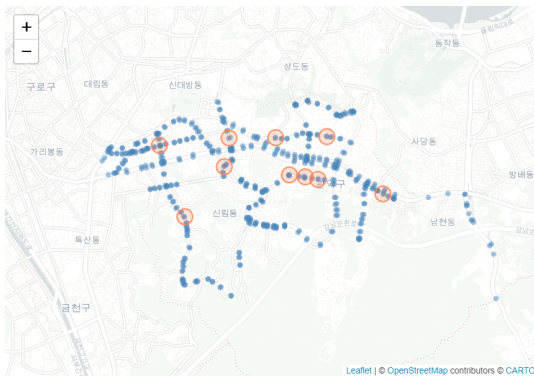
15) 본 연구가 갖는 특수성으로, 그늘막은 횡단보도의 양쪽에 한 쌍으로 설치되는 경우가 많다. 따라서 실질적으로 N은 설치 가능한 그늘막 개수의 절반 내외이다. MCLP 모델의 목적함수와 제약조건 (4)에 의해 건너편의 입지 후보지는 N이 상당히 커진 다음에야 최적해로 포함될 것이다.



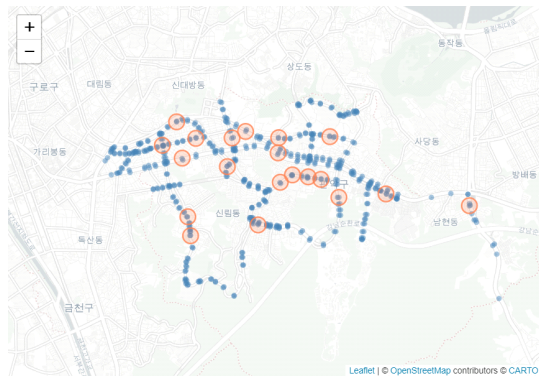
▲ [그림 19] N=1일 때의 MCLP 최적해
(34.2% covered, 현재 대비 +1.2%p)



▲ [그림 20] N=5일 때의 MCLP 최적해
(38.1% covered, 현재 대비 +5.1%p)



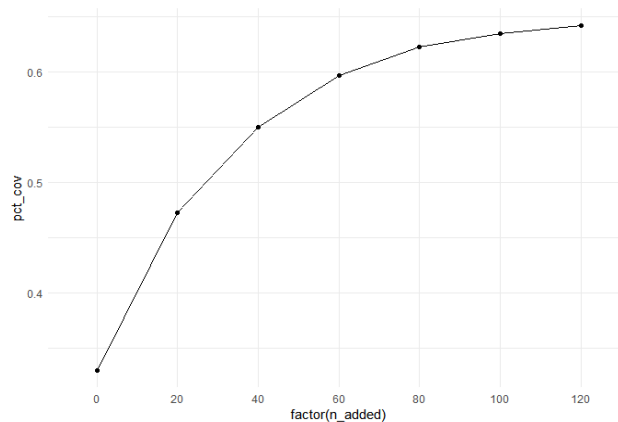
▲ [그림 21] N=10일 때의 MCLP 최적해
(41.7% covered, 현재 대비 +8.7%p)



▲ [그림 22] N=20일 때의 MCLP 최적해
(41.7% covered, 현재 대비 +8.7%p)

N이 증가함에 따라 커버된 수요 지점의 수가 증가함을 확인할 수 있다. N=20인 경우 기존에 비해 410개가 증가한 1355개의 수요 지점이 커버되는 것으로 나타났다. 이때 커버리지를 평가하는 또 다른 기준 중 하나인 ‘최근린 그늘막까지의 평균 거리’ 역시 기존의 302m에서 249m로 감소하는 것으로 나타났다.

한편, MCLP는 그늘막의 배치 문제뿐만 아니라 몇 개의 그늘막을 더 설치할지 계획을 수립하는 데에도 도움을 줄 수 있다. [그림 23]은 추가되는 그늘막의 개수(n_{added})에 따라 커버되는 수요 지점의 비율(pct_{cov})의 변화를 나타내는 그래프로, N=40 이후부터는 ‘한계 커버리지’(추가되는 그늘막이 커버하는 수요 지점의 수)가 체감하는 것을 확인할 수 있다.



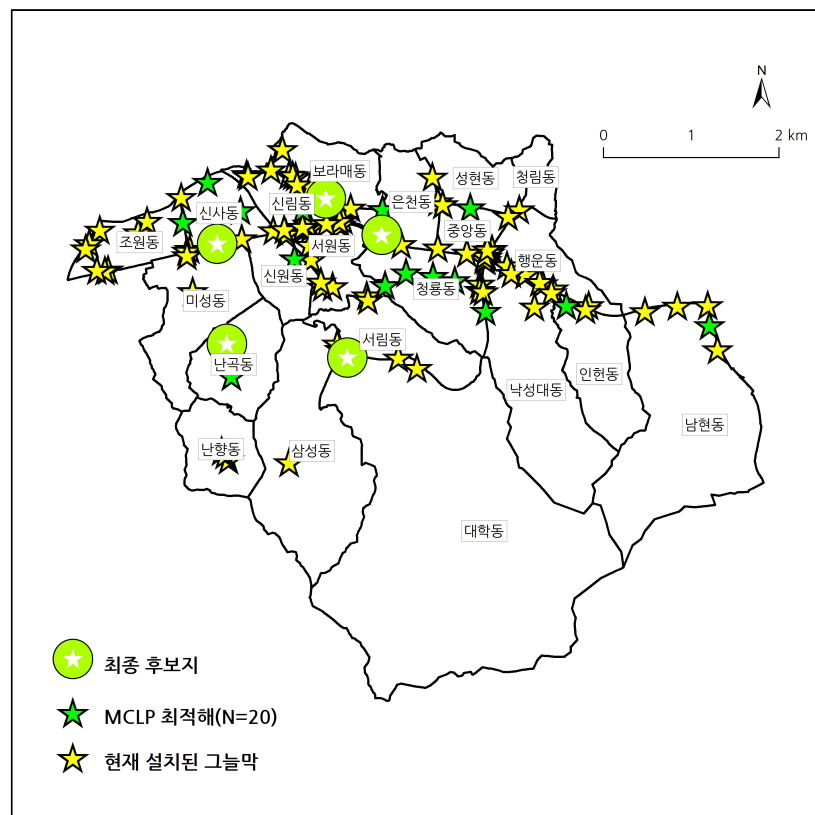
▲ [그림 23] MCLP에서 N의 증가에 따른 커버 비율의 변화

3, 최종 입지 후보지 제안

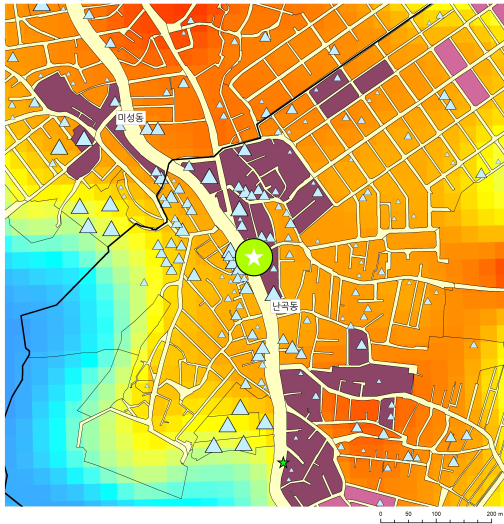
(1) 최종 입지 후보지 선정 과정

마지막으로 N=20일 때의 MCLP 최적해와 V장에서 언급한 그늘막 입지 선정 시 고려해야 할 요인 간의 중첩 분석을 실시하여 설치의 우선순위가 높다고 판단되는 최종 후보 지역을 선정하였다. 우선 실폭도로 shp파일과 네이버 지도 거리뷰를 참고하여 횡단보도에 신호등이 설치되어있는지 확인한 뒤, 폭염 취약계층 인구 밀도, 주변 건물의 높이, 지표면 온도, 향후 토지이용계획 등을 종합적으로 고려하여 후보지를 선정하였다.

2023년 관악구의 예산 지출 현황에 따르면 ‘폭염·한파 대책 사업’ 항목 중 ‘2023 강감찬 스마트 그늘막 설치’ 예산으로 99,960,000원을 지출한 것으로 나타났는데, 스마트 그늘막의 개당 단가가 약 천만 원임을 고려할 때, 각각의 횡단보도 양쪽에 최대 10대를 설치할 수 있는 예산이라고 판단하여 최종 입지 후보지로 5곳을 제안하고자 한다. 이 외에도 취약계층 인구 밀도가 높은 남현동의 사당역 4번출구 앞 횡단보도나 지표면 온도가 높은 청룡동 관악경찰서 앞 횡단보도 역시 유력한 설치 후보지이나 지면 관계상 생략하였음을 밝힌다.



(2) 입지 후보지 ①¹⁶⁾: 난곡동 임광관악파크 아파트 앞 횡단보도



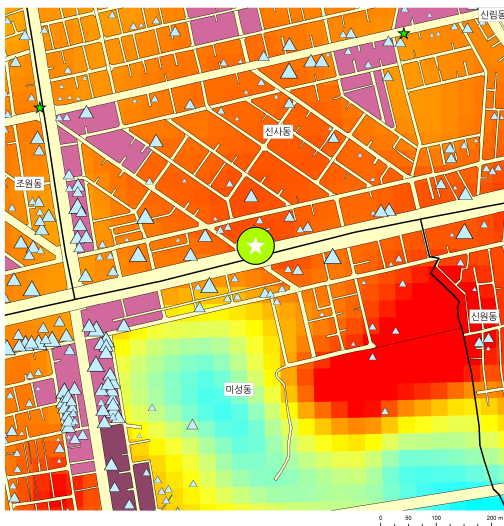
▲ [그림 25] 입지 후보지 ① 중첩 분석

중첩 분석 결과 해당 지역 인근에는 난곡초등학교와 주택가가 위치하여 폭염 시간대의 폭염 취약계층의 인구 밀도가 높은 것으로 나타났다. 특히 난곡동은 관악구 내에서도 취약계층 인구의 비중이 높은 행정동에 속함에도 불구하고 현재 그늘막이 1개도 설치되어있지 않기 때문에, 형평성의 측면에서도 설치의 우선순위가 높다고 할 수 있다. 도로의 폭 역시 왕복 6차선으로 신호 대기 시간이 길고 차량 통행에 따른 복사열이 높아 그늘막이 입지하기에 적절한 조건이라고 생각된다.



▲ [그림 26] 입지 후보지 ①의 모습
(출처: 네이버 지도 거리뷰)

(3) 입지 후보지 ②: 신사동 호림박물관 버스정류장 옆 횡단보도



▲ [그림 27] 입지 후보지 ② 중첩 분석

중첩 분석 결과 해당 지역 인근에 ‘호림박물관’ 버스정류장이 위치하여 수요가 높게 도출된 것으로 추정되었다. 이 지역 인근은 관악구 내에서 가장 지표면 온도가 높은 지역 중 하

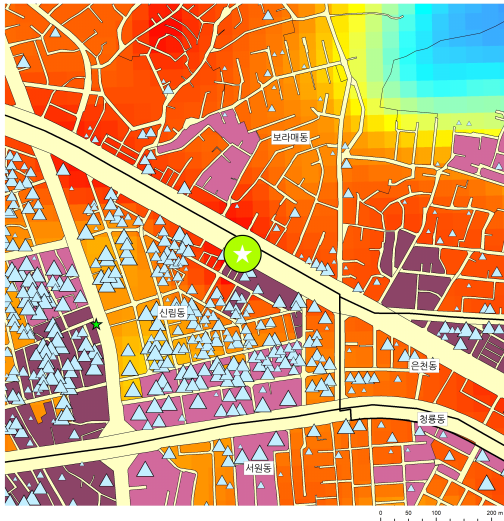


▲ [그림 28] 입지 후보지 ②의 모습
(출처: 네이버 지도 거리뷰)

16) 입지 후보지 ①~⑤의 순서가 그늘막 설치의 우선순위를 의미하는 것은 아니다.

나로 나타났으며, 건물 높이 15m 이하의 낮은 건물이 왕복 8차선의 대로변에 위치하여 일
 사량이 많을 것으로 예측됨에 따라 입지 후보지로 선정하였다.

(4) 입지 후보지 ③: 신림동 신림성모교회 앞 횡단보도



▲ [그림 29] 입지 후보지 ③ 중첩 분석

중첩 분석 결과 위 지점의 배후 지역은 취약계층 인구 밀도가 높은 지역으로 나타났으며,
 왕복 12차선으로 도로의 폭이 매우 넓고 인근의 건물 높이가 높지 않으며 지표면 온도 역
 시 높은 것으로 도출되었다. 또한, 인근에 보라매동 주민센터와 버스정류장이 위치하여 기
 본적으로 수요가 많기에 그늘막 설치의 필요성이 높은 지역이다.



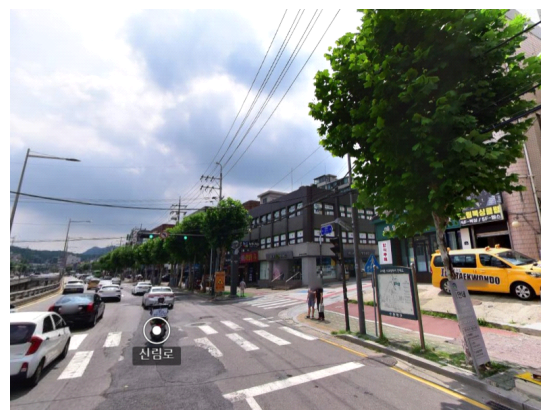
▲ [그림 30] 입지 후보지 ③의 모습
 (출처: 네이버 지도 거리뷰)

(5) 입지 후보지 ④: 대학동 동방2교 횡단보도



▲ [그림 31] 입지 후보지 ④ 중첩 분석

중첩 분석 결과 위 지점의 배후 지역은 취약계층 인구 밀도가 높은 지역으로 나타났다.
 도림천을 건너는 동방2교에 설치되어 있어 도로의 폭이 넓고 주변에 마땅한 그늘이 없다.



▲ [그림 32] 입지 후보지 ④의 모습
 (출처: 네이버 지도 거리뷰)

또한 차량 통행이 많고 알베도가 낮아 주간 순복사량이 많다. 배후 지역의 지표면 온도 역시 높게 나타났음을 확인할 수 있다. 인근에 신림선 서울대벤처타운역이 위치하여 유동인구 역시 많아 그늘막 설치의 필요성이 충분한 지점이라고 할 수 있다.

(6) 입지 후보지 ⑤: 은천동 봉천역 4번출구 앞 횡단보도



▲ [그림 33] 입지 후보지 ⑤ 중첩 분석

중첩 분석 결과 해당 지점은 지표면 온도가 높고 도로의 폭이 넓어 그늘막 설치의 필요성이 높은 것으로 나타났다. 특히 남부순환로 상의 다른 횡단보도에 비해 배후 건물의 높이가 낮은 편에 속하여 그늘막의 필요성이 더욱 요구된다.



▲ [그림 34] 입지 후보지 ⑤의 모습
(출처: 네이버 지도 거리뷰)

VII. 요약 및 결론

그늘막 설치는 시민들에게 선호도가 높은 폭염 대응책 중 하나이다. 본 연구에서는 관악구 내의 그늘막 개수가 다른 서울의 자치구에 비해 부족함을 확인했으며, 관악구 주민을 대상으로 한 설문조사를 통해 관악구의 주민들이 그늘막의 추가 설치를 원하고 있음을 확인했다. 특히 현재 관악구에서 설치해온 대부분의 그늘막은 스마트 그늘막으로 적지 않은 예산이 소요되기 때문에 현재 설치되어 있는 그늘막이 실질적인 온열 저감 효과를 지니는지 분석하고 현재 설치되어 있는 그늘막이 적절한 위치에 설치되어 있는지 분석하려는 시도가 요구되었다.

이에 WBGT 측정 기구를 통해 관악구 내의 그늘막 15곳을 대상으로 그늘막 내외부의 WBCT와 UCI를 측정했으며, 대응 비교 t-검정을 통해 사람들이 체감하는 대로 그늘막이 실질적인 온열 저감 효과를 지니고 있음을 확인했다. 이후 관악구의 생활인구, 지표면 온도, 관악구 취약계층 인구, 도로 폭, 건물 높이 등의 지표를 활용하여 현재 설치되어 있는 그늘막 입지의 적절성을 평가했으며, 그 결과 현재 설치되어 있는 그늘막은 전반적으로 생활인구가 많고 지표면 온도가 높은 지역에 적절하게 배치되어 있으나, 취약계층인구가 많거나 건물 높이가 낮아 그늘막이 필요함에도 그늘막이 없거나 적게 분포하는 지역이 일부 존재함을 확인했다. 또한, 현장 답사를 통해 일부 그늘막은 생활인구가 적은 지역에 배치되어 이

용률이 저조함을 확인했다.

이에 MCLP를 통해 1차적으로 수요(생활인구) 기반 최적 입지 후보지 20곳을 도출하였다. 이는 커버리지 반경 150m 내 수요를 가장 많이 커버할 수 있는 20곳의 입지 후보지를 뜻하며, 비용 대비 편익을 증가하고자 하는 공공 서비스의 목표에 부합하는 결과라고 할 수 있었다. 또한 MCLP의 ‘커버리지’ 개념을 사용하면 차후 그늘막 배치 계획을 수립하는 데 도움을 얻을 수 있음을 확인하였다. 다음으로는 단순 수요뿐 아니라 취약계층 인구밀도, 도로 폭, 건물 높이 등 다른 요인들을 추가적으로 고려하기 위해 중첩 분석을 실시하였고, 최종적으로 설치 우선 순위가 높은 5곳의 구체적인 입지 후보지를 선정하였다.

본 연구는 설문조사를 통해 관악구의 그늘막에 대한 시민들의 만족도를 확인한 뒤 직접적으로 그늘막 내외부의 WBGT, UCI를 측정함으로써 그늘막의 실질적인 실효성을 입증했다는 점에서 의의가 있다. 그뿐만 아니라 무더위 그늘막의 입지 요인을 도출하고 이를 바탕으로 관악구 내의 그늘막의 입지 현황을 분석 및 평가하여 현재의 그늘막 설치 정책에 대해 종합적으로 평가하고, 장래에 그늘막 설치 사업을 진행할 때 적용 가능한 개선점을 제시했다는 의의가 있다. 무엇보다 본 연구는 최대 수요 커버리지 모델과 기타 요인 간 중첩 분석을 통해 실현 가능성 높은 최적 그늘막 입지 후보지를 제안함으로써 효과적인 폭염 대응, 효율적 예산 사용 등의 측면에서 관악구 지역사회에 실질적으로 기여할 수 있다는 의의를 지닌다.

다만 본 연구는 폭염이 시작되지 않은 5월에 진행되어, 실제 여름철 폭염 기간에 그늘막이 가지는 실질적인 온열 저감 효과를 파악하지 못했으며 입지 후보지 선정에 활용한 대로 변 횡단보도 데이터 중 누락된 데이터가 일부 존재했다는 점에서 아쉬움이 존재한다. 따라서 후속 연구에서는 여름철 폭염기간에 연구를 진행하여 여름철 폭염 기간에 그늘막이 지니는 실질적인 실효성에 대해 파악하고, 누락된 데이터를 보완하여 보다 정확한 그늘막 설치 우선순위를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

VIII. 참고문헌

1. 논문

- 김감영. 2021. “공간 최적화 모형을 이용한 자동심장충격기(AED)의 커버리지 평가: 강남구를 사례로”. 『한국지리학회지』. 10-1. pp.153-166.
- 김인혜, 김재민, 이그림, 임철희, 이윤곤. 2021. “최근 한반도 폭염 및 열대야의 도시별 특성 분석”. 『한국기상학회 학술대회 논문집』. 2021년 가을학술대회 초록집. p.385.
- 권용석, 안유정. 2020. “시스템 다이내믹스를 활용한 폭염대응 정책효과 분석: 대구시 사례 연구”. 『국토연구』. 제106호. pp.41-64.
- 방승연. 2019. 『여름철 그늘막 설치가 중장년층 서울시민 건강에 미치는 영향』. 중앙대학교 석사학위논문.
- 송영란. 2016. 『옥외공간의 평균복사온도 측정방법에 관한 연구. 경남과학기술대학교 석사학위논문.』
- 양호진, 이광진, 배민기, 이채연. 2021. “도시내 폭염 대응사업의 온도저감 효과 추정에 관한 연구”. 『한국기후변화학회지』, 12-6. pp.777-795.
- 이건학. 2018. “공공 CCTV의 공간 분포 특성과 가시 커버리지에 기반한 최적 입지”. 『대한지리학회지』. 53-3. pp.405-425.

- 이춘석, 류남형. 2015. “조경용 차양막 재료의 명도가 하절기 옥외공간의 평균복사온도에 미치는 영향”. 『한국조경학회지』. 43-5. pp.65-73.
- 전용준, 박률, 박경순. 2022. “국내 폭염 저감 시설의 온열 만족도에 대한 연구”. 『한국지열·수열에너지학회논문집』, 18-1. pp.1-11.
- 조우리. 2021. 『폭염피해 저감시설의 온열체감지수 개발에 관한 기초연구』, 동의대학교 석사학위논문.
- 조항문, 이윤희. 2018. “서울시 폭염 대응력 향상 방안”. 『서울연구원 정책리포트』. 제257호. pp.1-29.
- Nicholas Tierney et al. 2018. “Novel relocation methods for automatic external defibrillator improve out-of-hospital cardiac arrest coverage under limited resources (Appendix A)”. *Resuscitation*. 125. pp. 5-6.
- Richard Church and Charles Revelle. 1974. “The maximal covering location problem”. *Papers of the Regional Science Association*. 32. pp.102-104.

2. 인터넷 자료

- 서울재정포털. “2023년 관악구 세출운용상황 - 사업 및 예산정보 - 안전관리과 사업내역”. https://lofin.mois.go.kr/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/ui/portal/stat/local/apply/sd002_be202_01.xml&accnutYear=2023&sfrndCode=1131000&detailBsnsCode=320000020143000E&excute=20231221.
- 서울특별시 빅데이터 캠퍼스. 2018년 12월 13일. “서울시 그늘막 설치적합지역 분석”. http://bigdata.seoul.go.kr/noti/selectNoti.do?r_id=P260&bbs_seq=274&ac_type=A2&sch_type=&sch_text=¤tPage=1.
- 이강훈. 2023년 6월 9일. “서울 관악구, 여름철 폭염 비상대응체계 가동...“그늘막 확대””. 『TBS』. http://tbs.seoul.kr/news/newsView.do?typ_800=7&idx_800=3498792&seq_800=20491482.
- 조윤찬, 서강준. 2022년 8월 3일. “[전 취재, 기자가 간다] 3. 재정 따라 '천차만별' 그늘막...‘대프리카’보다도 많은 수도권”. 『TheReport』. <https://www.thereport.co.kr/news/articleView.html?idxno=22319>
- 홍준석. 2023년 5월 23일. “올 여름 덥다...평년보다 기온 높을 가능성 커”. 『연합뉴스』. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20230523084600530>.
- Nicholas Tierney. “maxcovr 0.1.3.9200”. <http://maxcovr.njtierney.com/>.

3. 분석에 활용된 데이터

- 국가공간정보포털 오픈마켓. “(도로명주소) 실폭도로”. <http://data.nsdi.go.kr/dataset/20180918ds00072>.
- 국가공간정보포털 오픈 API. “서울시 GIS 건물통합정보”. <http://openapi.nsdi.go.kr/nsdi/ei/os/ServiceDetail.do?svcSe=F&svcId=F010>.
- 기상청 기상자료개방포털. “중관기상관측(ASOS)”. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/select>

[AsosRltmList.do?pgmNo=36.](#)

서울 열린데이터 광장. “집계구 단위 서울 생활인구(내국인)”. <http://data.seoul.go.kr/dataList/OA-14979/S/1/datasetView.do>.

USGS, “LC08_L1TP_116034_20230523_20230602_02_T1”. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81160342023143LGN00/>.

IX. 부록

1. WBGT, UTCI 계산 및 paired t-test를 위한 R 스크립트

```
# 라이브러리 불러오기, 분석 준비
library(readxl)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(psycholib)
library(rBiometeo)

setwd("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo")
SetUnitSystem("SI")

# 저장할 데이터프레임 생성
temp <- read_xlsx("그늘막 측정 결과.xlsx")
names(temp) <- c("LOC", "WBGT_OUT", "TEMP_OUT", "RH_OUT", "WBGT_IN",
"TEMP_IN", "RH_IN", "etc")

# 5월 23일자 측정 결과에 대한 지표 계산
temp[8] <- temp %>%
  reframe(Tw_OUT = GetTWetBulbFromRelHum(TEMP_OUT, RH_OUT*0.01,
101325))
temp[9] <- temp %>%
  reframe(Tg_OUT = (WBGT_OUT - 0.7 * Tw_OUT - 0.1 * TEMP_OUT) * 5)
temp[10] <- temp %>%
  reframe(Tw_IN = GetTWetBulbFromRelHum(TEMP_IN, RH_IN*0.01, 101325))
temp[11] <- temp %>%
  reframe(Tg_IN = (WBGT_IN - 0.7 * Tw_IN - 0.1 * TEMP_IN) * 5)
temp[12] <- temp %>%
  reframe(MRT_OUT = ((Tg_OUT+273)^4 + 0.25 * 10^8 / 0.95 * (abs(Tg_OUT
- TEMP_OUT) / 0.04)^(1/4) * (Tg_OUT - TEMP_OUT))^(1/4) - 273)
temp[13] <- temp %>%
  reframe(MRT_IN = ((Tg_IN+273)^4 + 0.25 * 10^8 / 0.95 * (abs(Tg_IN -
TEMP_IN) / 0.04)^(1/4) * (Tg_IN - TEMP_IN))^(1/4) - 273)
temp[14] <- temp %>%
```

```

    reframe(WV = 3)
temp[15] <- temp %>%
  reframe(UTCI_OUT = utci(TEMP_OUT, RH_OUT, WV, MRT_OUT))
temp[16] <- temp %>%
  reframe(UTCI_IN = utci(TEMP_IN, RH_IN, WV, MRT_IN))

# WBGT, UTCI paired t-test
t.test(temp$WBGT_OUT, temp$WBGT_IN, paired = T, alternative = "greater")
t.test(temp$UTCI_OUT, temp$UTCI_IN, paired = T, alternative = "greater")

```

2. 생활인구 open API 호출 및 폭염 시간대 데이터 가공을 위한 R 스크립트

```

# 라이브러리 불러오기, 분석 준비
library(tidyverse)
library(XML)
library(foreign)

setwd("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo")
options(scipen = 999)

# 샘플 데이터
myKey <- "4a6852676132333236394663435556"
sampleURL <- paste0("http://openapi.seoul.go.kr:8088/sample/xml/ppsLocalResd/1/5/")
sampleres <- xmlTreeParse(sampleURL, useInternalNodes = T, encoding = "UTF-8")
samplern <- xmlRoot(sampleres)
sampledf <- xmlToDataFrame(nodes = getNodeSet(samplern, "//row"))
a <- colnames(sampledf)
reqURL <- "http://openapi.seoul.go.kr:8088"
myKey <- "4a6852676132333236394663435556"
type <- "xml"
service <- "ppsLocalResd"
start_index <- 1
end_index <- 1000

# 데이터 저장할 데이터프레임 생성
df0 <- setNames(data.frame(matrix(vector("character"), ncol = 33, nrow=0)),
names(sampledf))
df0 <- df0[NULL, ]
gw <- seq(11620525, 11620775, by = 5)

```

```

for (i in 14:17){
  tmzon <- i
  for (j in gw){
    emd <- j
    values <- paste(myKey, type, service, start_index, end_index, tmzon, emd,
sep = "/")
    req <- paste(reqURL, values, "", sep = "/")

    response <- xmlTreeParse(req, useInternalNodes = T, encoding = "UTF-8")
    rn <- xmlRoot(response)
    df0 %>%
      bind_rows(xmlToDataFrame(nodes = getNodeSet(rn, "//row"))) -> df0
  }
}

# 데이터 정제
date <- as.character(xpathApply(rn, "//STDR_DE_ID", xmlValue)[1])
df0 <- as.data.frame(df0)
for (x in 6:33){
  df0[, x] <- ifelse(df0[, x] == "*", 0, df0[, x])
  df0[, x] <- sapply(df0[, x], as.numeric)
}

# 폭염시간대 평균
df0 %>%
  mutate(TOT_LVPOP_CO = as.numeric(TOT_LVPOP_CO)) %>%
  group_by(OA_CD) %>%
  summarise(total_mean = mean(TOT_LVPOP_CO)) -> df.total

# 취약계층
df.vul <- df0[, c(1:4, 6:7, 17:21, 31:33)]
df.vul %>%
  mutate(Total = rowSums(df.vul[, 5: 14])) %>%
  group_by(OA_CD) %>%
  summarise(vul_mean = mean(Total)) -> df.vul.total
df.vul.top <- subset(df.vul.total, vul_mean >= quantile(df.vul.total$vul_mean, 0.8))

```

3, MCLP 모델 구현을 위한 R 스크립트

```
# 라이브러리 불러오기, 데이터 준비
library(maxcovr)
library(dplyr)
library(foreign)
library(maptools)
library(leaflet)
library(purrr)
library(ggplot2)

setwd("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo")
options(scipen = 999)

pop <- read.csv("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo/randpop1.csv", header = T)
gyo <- read.csv("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo/서울시 대로변 횡단보도 노드.csv", header = T)
gnm <- read.csv("C:/Users/zeeho/Documents/phygeo/gnm1.csv", header = T)

# 지리적 시각화 함수
geovis <- function(potential_loc, selected_loc){
  leaflet() %>%
    addCircleMarkers(data = potential_loc,
                     radius = 0.01,
                     color = "steelblue") %>%
    addCircles(data = selected_loc,
               radius = 100,
               stroke = TRUE,
               fill = NULL,
               opacity = 0.8,
               weight = 2,
               color = "coral") %>%
    addProviderTiles("CartoDB.Positron") %>%
    setView(lng = median(gnm$long) + 0.005,
            lat = median(gnm$lat) - 0.005,
            zoom = 13)
}

# 현재 커버리지 평가
geovis(gyo, gnm)
coverage(gnm, pop, distance_cutoff = 150)
```

```

# MCLP (N=20)
mc_20 <- max_coverage(existing_facility = gnm,
                      proposed_facility = gyo,
                      user = pop,
                      n_added = 20,
                      distance_cutoff = 150)
summary(mc_20)    ## 커버리지 비율, 최근린 그늘막 평균 거리 확인
-----
Model Fit: maxcovr fixed location model
-----
Distance Cutoff: 150m
Facilities:
  Added:      20
Coverage (Previous):
  # Users:    1355    (945)
  Proportion: 0.4728 (0.3297)
Distance (m) to Facility (Previous):
  Avg:        249 (302)
  SD:         315 (326)
-----
## 실행결과

new_20 <- as.data.frame(mc_20$facility_selected)
geovis(gyo, new_20)
write.dbf(new_20, "MCLP_20.dbf")    ## ArcMap으로 import하기 위해 .dbf로 저장

# N=1, 5, 10일 때도 동일하게 수행한다.

# 한계 커버리지 그래프
n_add_vec <- c(20, 40, 60, 80, 100, 120)
map_mc_model <- map_df(x = n_add_vec,
                      .f = ~max_coverage(existing_facility = gnm,
                                          proposed_facility = gyo,
                                          user = pop,
                                          distance_cutoff = 150,
                                          n_added = .))
map_cov_results <- bind_rows(map_mc_model$model_coverage)
bind_rows(map_mc_model$existing_coverage[[1]],
          map_cov_results) %>%
  ggplot(aes(x = factor(n_added),
                y = pct_cov)) +
  geom_point() +
  geom_line(group = 1) +
  theme_minimal()

```