
폭염대응시설 [상부차폐 관련 기술] 설치 · 관리 관련 성능 · 효과확보 방안

2023. 12.

1. 상부차폐 시스템의 정의 및 원리

- 상부차폐(sunshades) 시스템은 직사광선을 차단하여 다량의 일사 관류 열량(순복사량)의 유입을 효과적으로 낮춤으로써, 폭염 시 건물이나 실외 주변 온도를 낮추는 시스템을 의미함
- (온도감소) 물체에 다량의 복사에너지가 유입되면, 열전도율, 열용량, 초기 온도 조건에 따라 물체의 온도가 상승하므로 복사량 유입 차단을 통해 온도 저감 가능

- 열전도율이 0.2W/m·K인 공기에 1W/m²의 복사에너지가 1분 동안 가해지면 온도는 약 0.003°C 증가 (20°C → 20.003°C)
- 열전도율이 50W/m·K인 구리에 1W/m²의 복사에너지가 1분 동안 가해지면 온도는 약 0.1°C 증가 (20°C → 20.1°C)

- 태양에서 발산되는 단파복사열과 대기를 포함하여 온도를 지나는 모든 표면에서 발산되는 장파복사열은 표면에 닿을 때 흡수, 투과, 반사를 하는데 이러한 반응이 무수히 일어나 표면이 흡수하는 순복사열이 결정됨 (Krayenhoff et al., 2014)

$$Q^* = downS - upS + downL - upL$$

- 도시에서 발생하는 열을 순복사열과 인공열(사람이 인공적으로 만들어 내는 열)이라 할 때, 온도를 증가시키는 현열은 다음과 같은 열평형식을 통해 나타낼 수 있음 (Park et al., 2017)

$$Q_H = Q^* + Q_F - Q_L - \Delta Q_S = C_i \Delta T$$

Q^* : 순복사열 [kJ]

$downS$: 입사되는 단파복사열 [kJ]

upS : 위로 나가는 단파복사열 [kJ]

$downL$: 입사되는 장파복사열 [kJ]

upL : 위로 나가는 장파복사열 [kJ]

Q_F : 인공열 [kJ]

Q_H : 현열 [kJ]

Q_L : 잠열 [kJ]

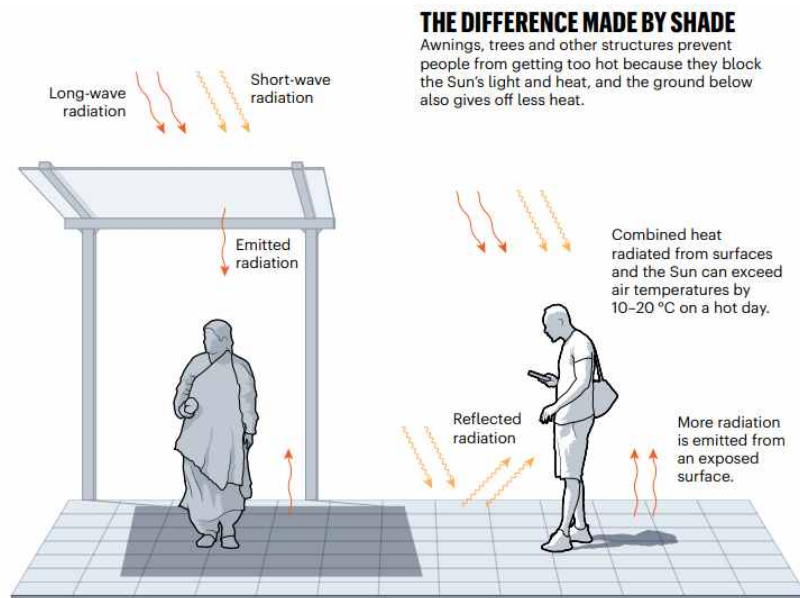
Q_S : 저장열 [kJ]

C_i : 물질 i의 열용량 [kJ/°C]

ΔT : 온도변화 [°C]

- 현열을 낮추기 위해서는 순복사열과 인공열을 낮추거나, 잠열이나 저장열을 증가시키면 되며, 상부차폐 시스템은 이 중 순복사열을 낮추는 시스템에 해당함

- 국제 학술지 ‘네이처(Nature)’에 따르면, 그늘을 통해 햇빛 노출을 자제하는 것은 실내나 실외에서 폭염으로 인한 건강 악화를 막는 가장 효율적이고 비용 효과적인 방법 중 하나임 (Turner et al., 2023)
- 그늘은 폭염과 같은 환경에서 인간의 열 쾌적성을 결정하는 주요 요인인 자외선·가시광선 등 태양의 단파 복사로부터 신체를 보호하기 때문에 냉각에 효과적이며, 뜨거운 표면과 표면에서 방출되는 열로부터 신체를 보호함



< 그늘막(sunshades) 시스템의 효과 >

[출처] Shade is an essential solution for hotter cities, Nature, 619, 694-697, 2023.

- 지표면에서 복사되는 뜨거운 열과 태양은 더운 날에 공기 온도를 10~20°C 높일 수 있으며, 이때 그늘막은 실외의 더운 조건에서 인간의 열 쾌적성을 결정하는 주요 요인인 자외선·가시광선을 포함하는 태양 방출 에너지로부터 신체를 보호하기 때문에 냉각에 효과적임
- 그늘은 공기 온도, 대기 습도, 풍속 및 총 태양복사(태양에서 방출되는 에너지) 노출을 줄여 사람에게 가해지는 열 부담의 총량을 줄일 수 있음
- 다른 모든 조건이 동일하다면 온·열대기후 지역에서 그늘이 있을 경우, 태양에 그대로 노출된 인근 지역보다 열 부담이 최대 20~40°C 더 낮은 것으로 밝혀짐
- ▶ 예를 들어 기온이 35°C인 날 뜨거운 여름 햇빛 아래 서 있는 사람은 직사광선에서 80°C의 열부하를 경험하는 반면 그늘에 있는 사람은 최대 40°C 까지 열 부담을 낮출 수 있음

2. 상부차폐 시스템의 구성 및 종류

① 실외 그늘막

- 그늘막은 일반적으로 폭염으로부터 사람들을 보호하고, 시원한 휴식 공간을 제공하기 위해 설치됨
- 그늘막에는 크게 천막형, 나무형, 조립식(스마트 그늘막 포함) 유형 3가지가 있으며, 이에 따라 단파복사(태양으로부터 나오는 복사선) 및 장파복사(지면이나 물체에서 발생하는 열 방사선)의 관측과 해석이 달라질 수 있음
 - 각 유형의 그늘막은 서로 다른 복사선 차단 효과를 가지며, 이를 통해 사용자의 편의성과 폭염 저감 효과를 달성함
 - 그늘막의 복사선 차단 효과는 설계, 재질, 위치, 크기 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있음
- ① 천막형 그늘막 : 천막형 그늘막은 거의 모든 단파 복사는 차단하나, 장파 복사는 대부분 통과시킴으로써 태양열을 효과적으로 차단하지만, 지면으로부터의 열 복사는 완전히 막지 못하는 단점을 지니고 있음
- ② 나무 그늘막 : 나무는 단파 복사를 일부만 차단하며, 장파복사는 대부분 흡수함으로써 비교적 시원한 편이나 더운 지면으로부터 열 복사를 흡수할 수 있어 완벽한 냉각 효과를 기대하기는 어려움
- ③ 조립식 그늘막 : 조립식 그늘막은 단파복사를 효과적으로 차단하며, 장파복사를 일부 흡수하는 성질을 가지고 있으며, 설치가 용이하고 이동이 가능하지만, 재질에 따라 열 효율이 달라질 수 있음
 - 기존 고정형 접이식 파라솔 그늘막은 폭염 발생 시 인위적으로 그늘막을 개폐함에 따라 시설 유지가 용이하지 않았음
 - 온도, 바람 등 주변 미기후 환경에 따라 그늘막이 자동으로 펼쳐져 햇빛을 가려주는 스마트 그늘막 설치가 필요
 - 스마트 그늘막 시스템은 일반적으로 태양광 패널 및 전지, 그늘막 원단, 환경감지센서(조도, 풍속, 온도, 우적 등), 자동제어장치로 구성됨



<스마트 그늘막 시스템의 구성>

(출처: bornature.com)

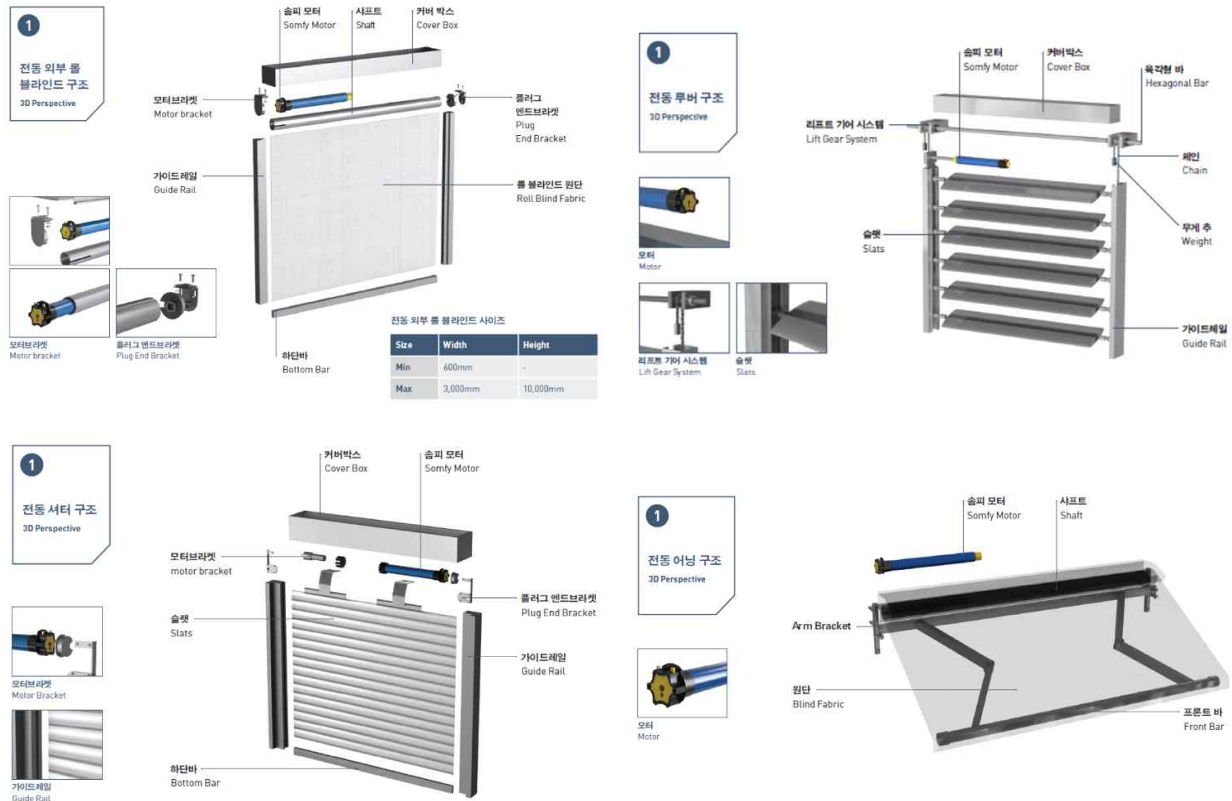
- ① 태양광 패널 및 전지 : 태양광을 활용하여 시스템 구동 전력을 생산하고 저장
- ② 그늘막원단 : 자외선과 복사열을 효과적으로 차단하고 방수 가능한 재질을 사용
- ③ 감지센서 : 조도, 풍속, 온도, 우적 등 그늘막 주변의 미기후데이터 정량측정
- ④ 자동제어장치 : 감지센서를 통해 측정된 데이터를 바탕으로 자동개폐 컨트롤

② 건물 차양막

- 내부 차양이 설치된 경우, 유리를 통과한 태양에너지는 내부 차양에 차단되거나 반사되지만 소재에 따라 많은 양의 에너지가 내부 블라인드에 흡수되었다가 열의 형태로 재방출됨
- 반면 외부 차양은 차양막이 에너지를 흡수했다가 열의 형태로 방출하더라도 거의 대부분 실외에서 흩어져서 유리를 통해 열이 투과되는 양이 적음
 - 외부차양으로 실내에 유입되는 태양에너지를 최소화하여 냉방부하를 효과적으로 줄일 수 있음
 - 외부 베네시안과 외부 루버 시스템은 대표적인 외부 차양시스템으로 사용됨

- ① 외부 베네시안 블라인드 (EVB, External Venetian Blind) : EVB는 외부의 악천후에 견딜 수 있도록 견고하고 부식 방지 처리되어 있으며, 폭이 넓은 슬릿(65~90 mm)을 태양, 비, 바람 센서와 연동하여 자동 조절함으로써 실내 적정 조도 조절이 용이하며, 탁월한 열 차단 효과로 냉방비 절감에 기여함

- 시스템의 구조에 따라 1) 전동 외부 롤 블라인드 구조, 2) 전동 루버 구조, 3) 전동 셔터 구조, 4) 전동 어닝 구조로 구분할 수 있음

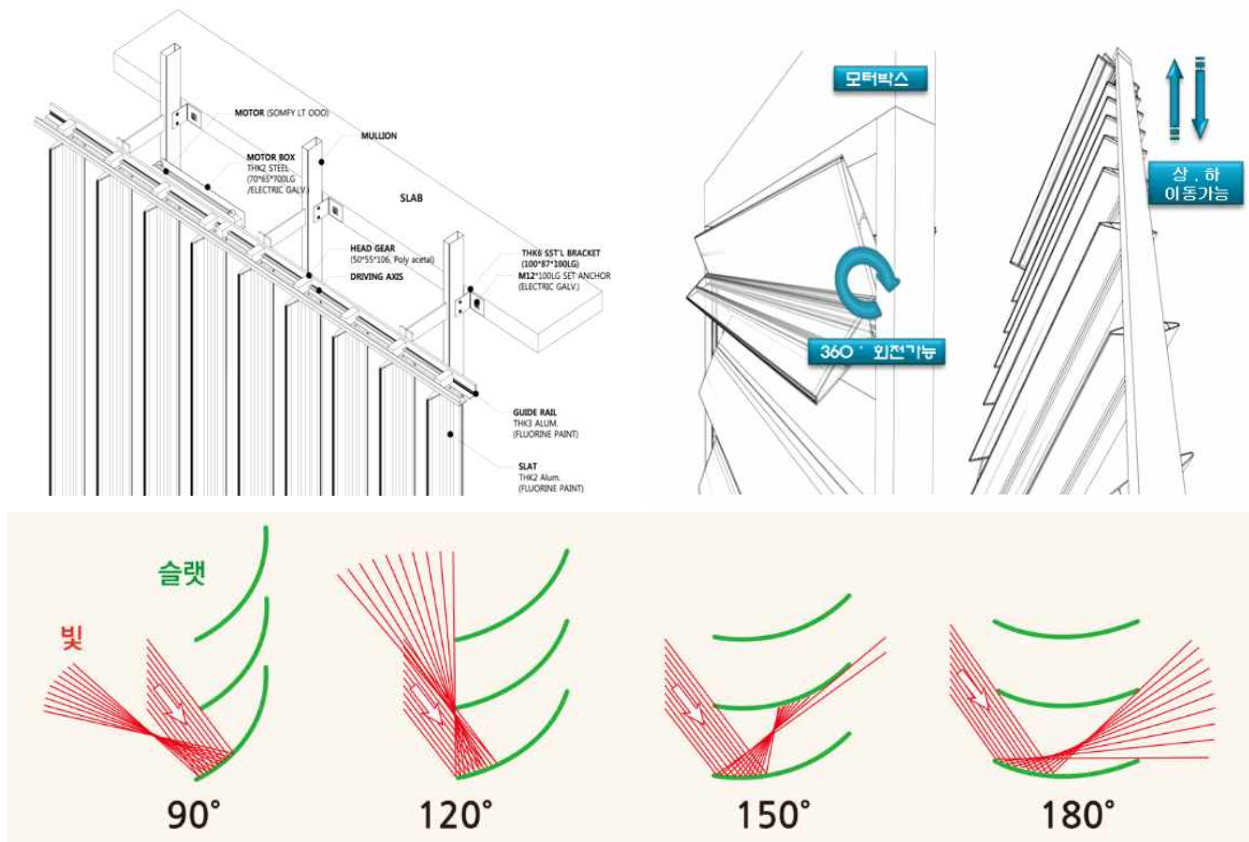


<외부 베니시안 블라인드 시스템의 구성>

(출처: somfypro.co.kr)

- 전동 외부 롤 블라인드 : 창호 외부에 설치하여 창호로 유입되는 직사 일광 및 빛을 외부에서 근원적으로 차단하여 실내를 쾌적하게 하고, 태양의 일사량을 최적으로 조절하기 위한 제어를 통해 건물의 유지·관리 비용을 최소화
- 전동 루버 : 블레이드의 각도 조절을 통해 유입 일사 조절 및 자연채광이 가능한 시스템 (블레이드의 색상을 통해 다양한 외부 입면 변화도 가능)
- 전동 셔터 : 전동 셔터는 빛 차단 기능이 매우 우수하며, 셔터의 슬랫에 따라 다양한 용도(방범, 방음, 단열, 사생활 보호 등)에 적용할 수 있으며, 우레탄 등의 충전을 통해 단열성능 향상 가능
- 전동 어닝 : 대표적인 외부 차양 제품인 어닝은 발코니와 테라스 등에 사용되어 공간효율적으로 태양 빛을 매우 효과적으로 차단해주며, 비, 바람, 태양 센터를 통한 자동제어를 통해 외부 기후변화에 따른 대응이 가능함

- ② 외부 루버 시스템 (ELS, External Louver System) : ELS는 건물 외부에 장착되어 건축물 일부분으로 차양 기능을 하는 구조물로서, 여름철 실내 온도와 빛 환경을 제어하고 겨울철 단열 기능을 발휘하여 냉난방 에너지 절감에 크게 기여할 수 있음



<외부 루버 시스템의 구성>

(출처: bnc.co.kr; dksm.co.kr)

- 통풍에 지장없이 부드러운 채광이 가능하도록 판자형의 재료(유리, 알루미늄, 우드 등)를 가지고 미늘형으로 짜맞추어 설치함
- 전동형과 고정형으로 분류할 수 있으며, 방위에 따라서 수직형(vertical)과 수평형(horizontal)으로 만들어서 지붕이나 창을 통한 광선을 조절하기 위해 설치
- 수직형 루버는 주로 동서향에 설치하고, 수평형 루버는 남향에 설치할 때 그 효과를 증폭시킬 수 있음
- 다양한 태양광 반사율을 지닌 블라인드의 활용을 통해 여름철에는 빛을 차단하여 실내 온도 상승을 방지하고, 겨울철에는 외부로 유출되는 열을 막아주어 단열 효과를 향상시킬 수 있음

3. 그늘막 성능 영향인자

① 그늘막의 구조

- 그늘막의 구조는 형태, 소재, 설치 방식 등을 포함함
 - 그늘막의 형태는 그늘을 만드는 방식에, 소재는 그늘막의 내구성, 자외선 차단 성능, 유지관리 용이성 등에 영향을 주고, 설치 방식은 그늘막의 안정성, 유지 관리 용이성 등에 영향을 미침

② 그늘막의 위치 및 각도

- 그늘막의 위치와 각도는 그늘막이 받는 태양광의 양과 방향에 영향을 미침
 - 그늘막이 태양광을 직접 받는 위치에 설치되면 더 많은 그늘을 만들고 더 많은 열을 차단하는 반면, 태양광을 간접적으로 받는 위치에 설치되면 그 효과가 감소함 (그늘막의 각도를 조절하여 태양광을 차단하는 효과 상승 가능)

③ 그늘막의 재질

- 그늘막의 재질은 그늘막의 내구성, 복사열 및 자외선 차단 성능, 유지 관리 용이성 등에 영향을 미치며, 일반적으로 재질은 다음과 같이 분류됨
- ① 식물(Fabrics) : 가볍고 설치가 간편하며, 다양한 색상과 디자인을 선택할 수 있는 반면, 내구성이 떨어지고 복사열 및 자외선 차단 성능이 낮은 편
- ② 비닐(Vinyl) : 내구성이 뛰어나고, 자외선 차단 성능이 뛰어난 반면, 무겁고 설치가 복잡하며, 유지관리가 필요함
- ③ 유리섬유(Glass Fiber) : 내구성이 뛰어나고, 자외선 차단 성능이 뛰어나며, 식물과 비닐의 장점을 모두 갖추고 있음
- ④ 알루미늄(Aluminium) : 내구성이 뛰어나고 유지관리가 용이한 반면, 자외선 차단 성능이 낮을 수 있음

④ 그늘막의 크기 및 설치 높이

- 그늘막의 크기는 그늘의 면적에 영향을 미치며, 그늘막의 크기가 클수록 더 많은 그늘을 만들 수 있음

- 「그늘막 설치·관리 지침」에 따르면 스마트 그늘막(지붕) 3.5m x 5m, 고정형 접이식 그늘막(지붕) 원형 3m 이상으로 규모를 지정하고 있음
- 그늘막의 설치 높이는 그늘막이 받는 태양광의 양과 방향에 영향을 미치며, 설치 높이를 높이면 더 많은 태양광을 차단할 수 있음

5 기타고려사항

- 「그늘막 설치·관리 지침」에 따르면 좁은 도로변에 그늘막 설치로 인해 보행자나 운전자의 시야 확보에 지장이 없도록 함으로써 사고를 예방하기 위한 기준을 제시하고 있음
- 가급적 대형교차로 및 사거리 등 도로 폭이 최소 4m 이상인 주요 간선도로변 횡단보도로 선정하되, 인도 폭이 최소 3.5m 이상인 곳에 설치하도록 규정

1. 실외 그늘막 시스템 온도저감 효과분석

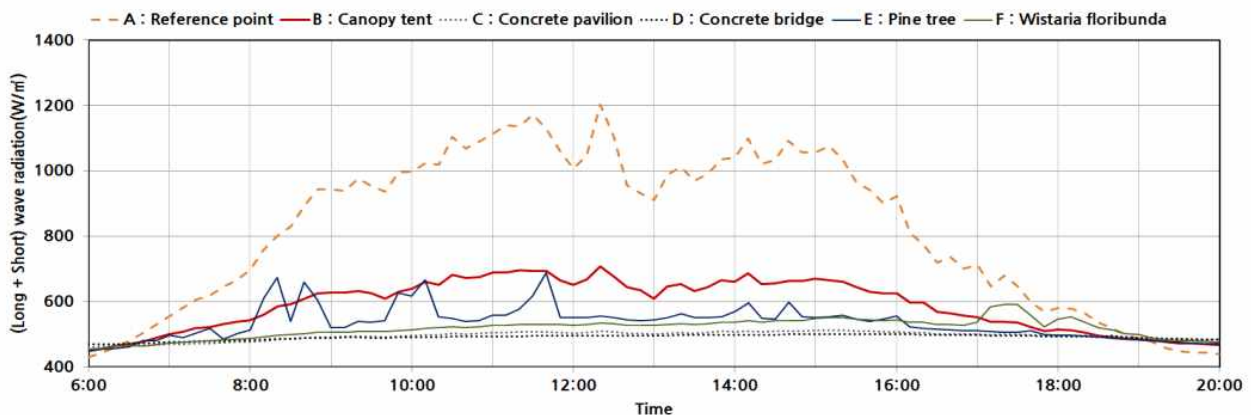
- 그늘막은 가장 직접적으로 태양복사를 차단하는 방법으로, 반사율이 높은 재료를 활용해 들어오는 태양복사의 상당한 부분을 도시협곡 외부로 반사하거나, 식생 그늘, 태양광 캐노피처럼 입사한 에너지의 일부를 전환하여 활용함으로써 지표에 입사하는 복사량을 최소화 할 수 있음 (Golden et al., 2007)
- 그늘이 없는 아스팔트, 태양광 캐노피 하부의 아스팔트, 나무 그늘 하부의 아스팔트 표면 온도를 측정하여 비교한 결과, 태양복사의 투과율 차이로, 그늘이 없는 곳보다 태양광 캐노피 하부는 약 13.2°C, 나무 그늘 하부는 약 6.2°C 온도가 낮아진 것을 확인함
- 온열 환경 평가 및 측정 데이터 분석을 통해 좁은 골목길 협곡 사이로 열기가 빠져나가지 못하고, 열용량이 큰 마감재로 인해 축열량이 증가함에 따라 열대야 가능성이 높은 지역이 발생함 (서울연구원, 2018)



<그늘막 형성을 위한 골목길 디자인 개선안> (서울연구원, 2019)

- 그늘막으로 도로 협곡으로 들어오는 태양에너지를 차단하고, 벽면 마감의 열용량을 줄일 수 있는 방안을 모색하는 것이 가장 중요한 디자인 요소임
- ▶ 밝은색 투수 블록을 사용하는 쿨 페이브먼트, 벽면 녹화 등 다른 폭염 대응 기술과 접목하여 활용할 경우 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 예상됨
- 겨울철에는 해가 들지 않는 문제가 있으므로 가변형 차양을 이용해 건물의 냉방부하도 낮추고 여름철 골목길 내의 입사도 조절할 수 있는 역할을 할 수 있도록 하는 것이 효과적임

- 그늘막 하부에서 시원함을 체감할 수 있는 것은 기온에 의한 영향이 아니라 단파복사 차폐에 따른 복사량 감소의 효과인 것으로 나타남 (Baek et al., 2019)
 - 열용량이 낮은 재료의 그늘막을 사용할 경우 표면온도 상승에 따른 효과로 비교기준에 비해 시간당 평균 16.7% 정도 더 높은 장파복사량이 관측됨
 - 열용량이 큰 재료의 그늘막은 단파복사에 의한 영향이 가장 적은 것으로 나타남
 - 그늘막의 유형에 따른 서열완화 효과는 그 지점에서의 장·단파복사량 총합의 크기에 의해 결정되므로 이를 고려한 효율적인 구조형태와 재료구성을 통해 쾌적한 무더위 쉼터를 조성할 수 있음
- ▶ 각 지점별 장·단파복사의 합은 비교기준점(A), 캐노피 텐트(B), 소나무(E), 팔각정(C), 등나무(F), 교량(D)의 순으로 분석되었으며, 이 값은 관측지점의 쾌적감을 나타내는 지표로 활용될 수 있음



<그늘막 유형별 장·단파복사량 총합 비교> (Baek et al., 2019)

- 폭염 기간에 도시 열을 저감할 수 있는 시설의 효과를 분석한 결과 그늘막 및 가로수 설치가 효과적인 것으로 나타남 (서울기술연구원, 2022)



<그늘막 및 가로수 설치에 따른 표면온도 저감 효과> (서울기술연구원, 2022)

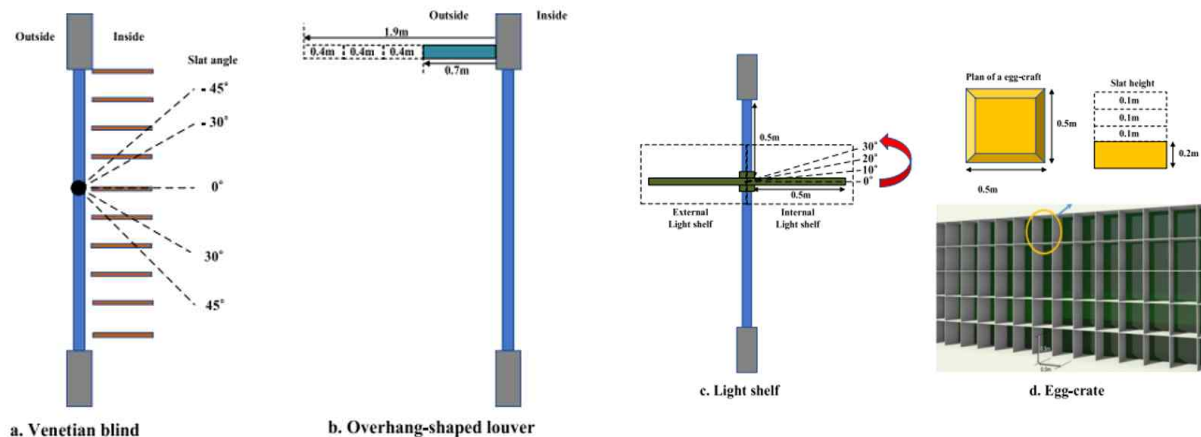
- 그늘막 그늘은 주변보다 8.4℃, 가로수 그늘은 주변보다 15.4℃ 표면온도가 더 낮아 열 저감에 효과적인 것으로 분석됨
- 가로수는 그늘막보다 표면온도가 7℃ 더 낮아 열 저감에 25% 더 효과적인 것으로 분석되었으나, 횡단보도 앞 식재가 일부 제한될 수 있어 추가적인 그늘막 설치가 요구됨
- ▶ 보행 규모를 고려한 그늘막 크기와 열 저감이 가능한 소재의 추가적인 검토 필요
- 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 기술 개발 연구에서 상부차폐 기술의 효과를 예측하기 위해 단파복사, 장파복사, 순복사, 저장열, 현열, 잠열, 그림자에 대한 모형을 개발함 (국토교통부, 2021)

<상부차폐 기술 효과 예측을 위한 세부 모듈별 설명> (서울기술연구원, 2022)

세부 모듈명	모듈 설명
단파복사 모형	· 태양에 의한 복사량을 의미 · 직달복사량(direct solar radiation), 산란복사량(diffuse solar radiation) · 태양고도, 태양방위각, 운량 등의 입력자료 필요
장파복사 모형	· 대기 및 도시공간 구성요소의 표면온도에 의해 발생하게 되는 복사량 의미 · 대기온도와 표면온도, 방출율, 운량, 습도 등의 입력자료 필요
순복사 모형	· 단파복사와 장파복사의 인입(incoming), 유출(outgoing) 과정이 모두 진행된 후, 공간 내 남아있는 복사량을 의미함 · 반사율(albedo), 인입/방출 단파, 장파복사량 등의 입력자료 필요
저장열 모형	· 도시공간 내 요소들이 복사를 받았을 때 저장되는 열량을 의미함 · 수식 구성 중 변화량에 대한 고려로 인해 저장량의 방출 또한 산정 가능 · 순복사량과 각 구성요소의 재질에 대한 상수가 입력자료로 필요
현열 모형	· 공간 내 순복사량에서 저장열을 제외한 열량 중 온도를 올리는 열량을 의미 · 기온 상승과 직접적으로 연관 · 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의해 결정되며 순복사량과 저장열이 입력자료로 필요
잠열 모형	· 공간 내 순복사량에서 저장열을 제외한 열량 중 상태변화에 쓰이는 열량을 의미 · 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의해 결정되며 순복사량과 저장열이 입력자료로 필요
그림자 모형	· 도시공간의 협곡구조와 태양에 의한 그림자를 산정

2. 건물 차양막 시스템 온도저감 효과분석

- 다양한 그늘막 장치를 설치한 주거용 건물에서의 일조량 및 실내 온도 데이터를 수집하고, 그늘막 장치의 유무에 따른 주관적인 밝기와 실내 온도 차이를 분석하여 그늘막 장치의 일조량 차단 및 냉각 성능을 평가함 (Lim et al., 2020)
- 다양한 종류의 그늘막 장치 중 베네치안 블라인드(Venetian blind), 수평 루버(overhang-shaped louver), 라이트 셸프(light shelf), 에그크레이트(egg-crate)를 선택하여 건물 내 세 가지 다른 영역의 조도 수준을 측정하였으며, 그늘막 장치에 의한 연간 냉각 에너지 소비를 조사함



<건물 그늘막 장치의 종류> (Lim et al., 2020)

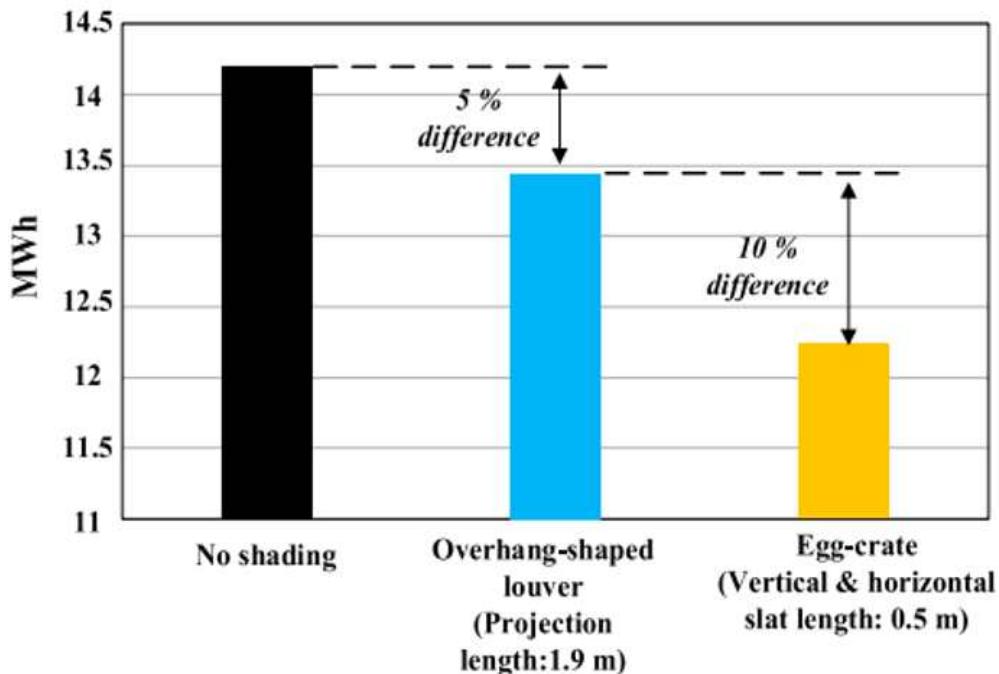
- 그늘막 장치의 설계 변수는 건물의 조도 수준 및 냉방 에너지 수요에 다른 영향을 미치는 것으로 나타남

<그늘막 장치별 설계 변수> (Lim et al., 2020)

그늘막 장치	설계 변수
베네치안 블라인드	Slat angles: -45°, 30°, 0°, 30°, and 45°
수평 루버	Projection length: 0.7m, 1.1m, 1.5m, 1.9m
라이트 셸프	Internal shelf angles: 0°, 10°, 20, and 30°
에그크레이트	Vertical and horizontal slat height: 0.2m, 0.3m, 0.4m, and 0.5m

- ▶ 채광 성능을 고려할 때 라이트 셸프 및 에그크레이트는 여름철 건물 전면 영역에서 태양광을 효과적으로 차단하는데 효과적이었으며, 수평 루버와 에그크레이트는 냉방 에너지 소비 감소에 큰 영향을 미침

- 채광 및 냉방 에너지 소비 간의 성능 차이는 중앙 및 후방 영역의 조도에 의해 발생하였으며, 이는 건물 내 다른 부하에 영향을 미칠 수 있음
- 냉방 에너지를 줄이기 위한 최고의 차양 장치는 수직 및 수평 슬랫 높이가 0.5m인 에그크레이트 차양이었으며, 두 번째로는 투영 길이가 1.9m인 수평 루버였음
- ▶ 수직 및 수평 슬랫 높이가 0.5m인 에그크레이트 차양을 사용하면 인공 조명 에너지에 대한 약 15%의 에너지 절약이 가능하였으며, 수평 루버는 약 5%의 인공 조명 에너지가 감소하였음
- ▶ 따라서, 에그 크레이트의 사용은 주택 건물에서 태양광을 차단하고 냉방 에너지 수요를 줄이는 데 있어서 수평 루버보다 더 효과적인 것으로 밝혀짐



<수평 루버 및 에그크레이트 사용에 따른 에너지 사용량 저감>

- 차양 장치별로 다양한 설계 변수에 의한 조도 수준 및 연간 냉방 에너지 절감을 분석한 결과, 차양 장치의 설계옵션에 따라 조도 및 냉방 에너지 성능이 변화하는 것이 관찰되어 이를 고려한 설계가 필수적인 것으로 나타남
- 차광막 변화에 따른 건물 내부온도 특성분석 결과 열반사율이 높은 재료의 차광막을 사용할 경우 건물 내부 온도가 가장 낮아지는 것으로 나타남 (Kim et al., 2018)

- K-type 열전대와 온도 데이터 로그를 사용하여 건설현장 최상층부 88m² 면적에 차광막(비닐차광막, 알루미늄 증착 버블시트)을 설치하여 표면노출 대비 현장 내부 공간의 온도 이력을 측정함

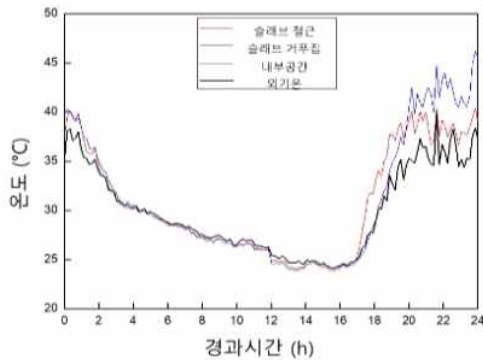


그림 1. 경과시간에 따른 온도이력 (표면노출)

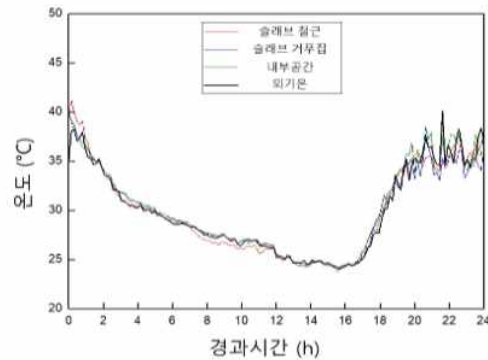


그림 2. 경과시간에 따른 온도이력 (인삼차광막)

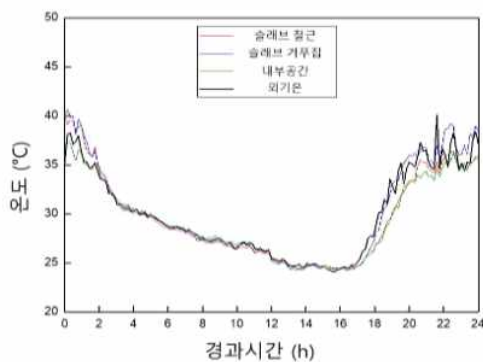


그림 3. 경과시간에 따른 온도이력 (알루미늄 증착 버블시트)

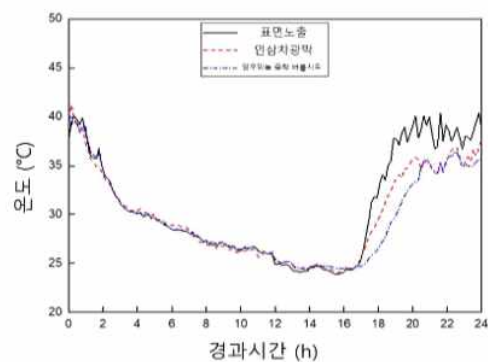
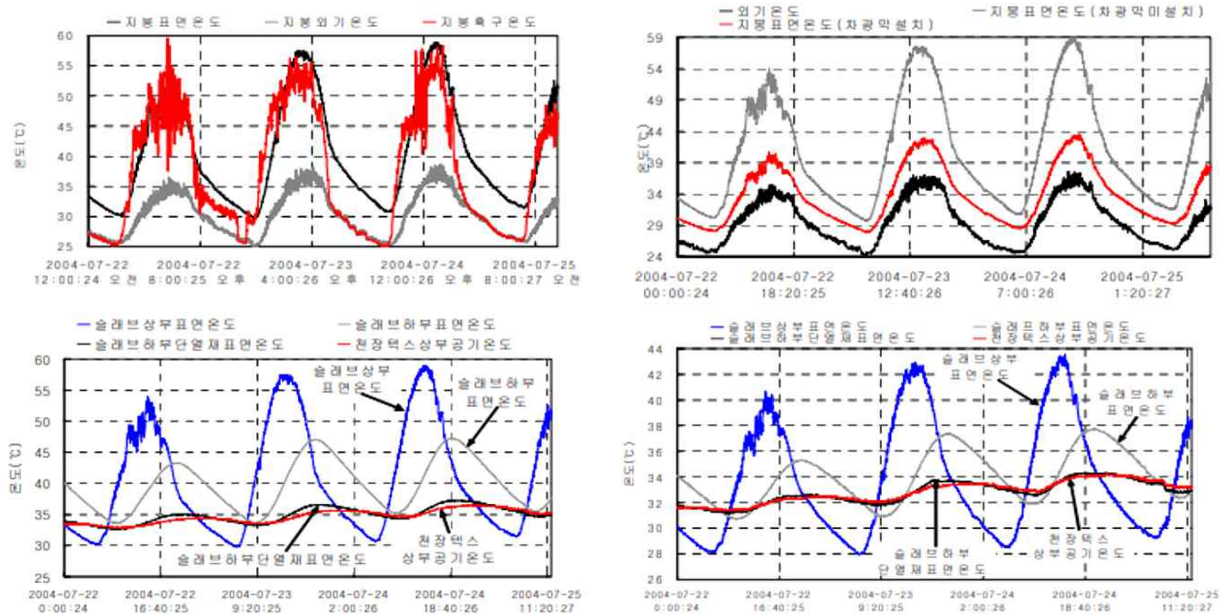


그림 4. 경과시간에 따른 바닥철근의 온도이력

<차광막 설치에 따른 건물 최상부 온도변화 이력>

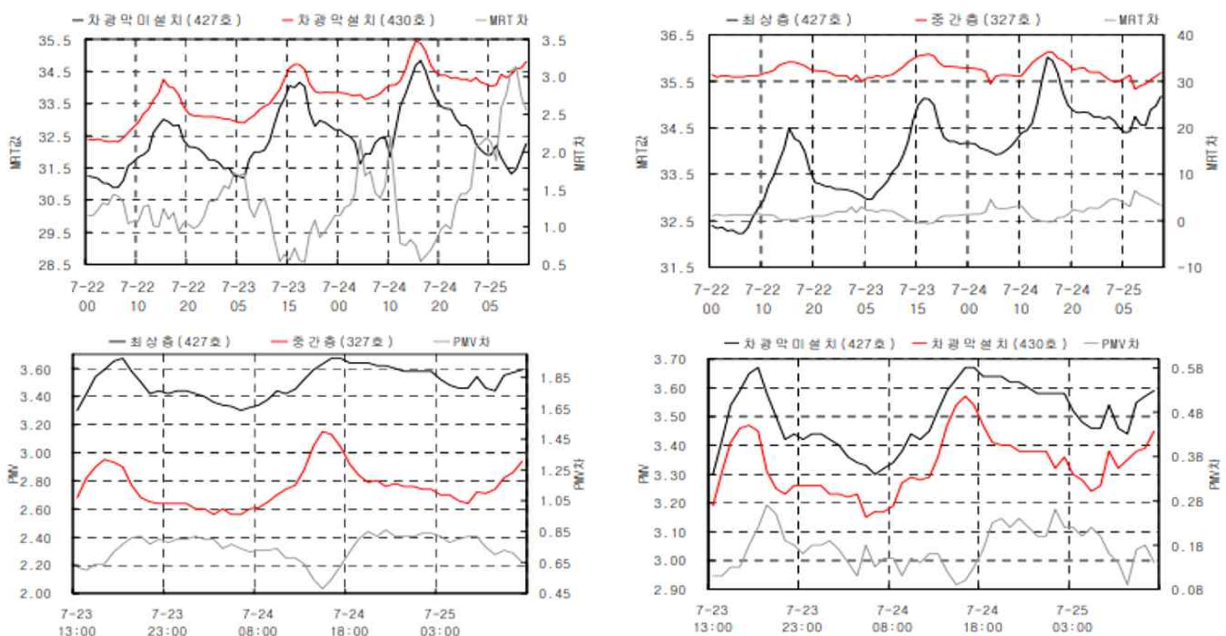
- ▶ 표면노출, 비닐차광막, 알루미늄 증착 버블시트 순으로 높은 온도분포를 나타내었으며, 표면 노출의 최고 온도와 알루미늄 증착 버블시트의 최고 온도가 약 8°C 정도의 차이를 나타냄
- 건축물 상부에 일사차폐용 차광막을 설치함으로써 이에 따른 최상층의 신온 변화 추이와 실온상승 억제 효과를 실측실험을 통해 파악하고 일사조절에 따른 패시브 냉각 효과를 정량화하여 유효성을 평가함 (Choi & Lee, 2006)
- 차광막 설치를 통해 하절기 지붕을 통해 유입되는 다량의 일사관류 열량을 효과적으로 차단함으로서 최상층의 열적 불균형을 해소할 수 있음
- 개구부 밀폐조건에서 실시된 실험결과 차광막 설치시의 최상층 실내온도가 미 설치시보다 0.3~0.7°C 낮게 평가되었으며, 일사차광막 설치에 따라 중간층과의 온도차 대비 약 20~30% 정도의 실온 상승억제 효과가 확인됨

- 지붕슬래브를 매개로 한 슬래브 하부의 각 위치별 온도분포에서는 지붕에 차광막을 설치한 경우가 미설치시보다 슬래브 하부 표면온도 최고치기준 9.5℃, 최저치기준 3.3℃ 저온을 나타냄



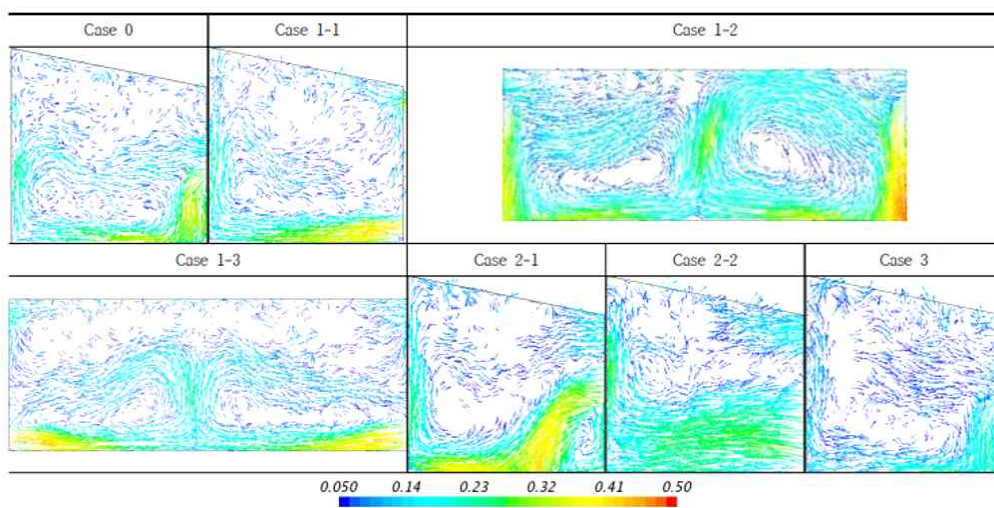
<차광막 설치 전후 외기, 지붕, 지붕슬래브 및 천장상부 위치별 온도분포>

- 실내 온열 환경지표로서 평균복사온도(MRT, Mean Radiant Temperature), 인체 열적 중립온도 예측값(PMV, Predicted Mean Vote)를 사용하여 분석한 결과 차광막 설치에 따른 열 환경 개선 효과가 유효하게 나타남



<차광막 설치 전후 실내 온열 환경지표 변화>

- 최근 건축물의 냉방부하에 대응하기 위해 다양한 외부 차양 장치가 적용되어 지고 있으며, 비교적 저렴한 재료와 간단한 설치 방법으로 구성된 차양막의 일사 차단 성능을 평가할 필요가 있음 (Choi et al., 2019)
 - 외부 차양에 의한 일사 차단 성능은 주로 열효율성과 빛투과율을 통해 평가됨
 - ▶ 열효율성은 외부 차양이 얼마나 효과적으로 열을 차단하는지 나타내는 지표로 일사차단률과 열전달율을 고려하여 열효율성을 평가함
 - ▶ 높은 일사차단률과 낮은 열전달율을 가진 외부 차양은 더 많은 열을 차단하고 실내 온도를 조절하는 데 도움이 됨
 - ▶ 빛투과율은 외부 차양이 얼마나 많은 자연광을 실내로 투과시키는지 나타내는 지표로 높은 외부 차양을 가진 외부 차양은 자연광을 충분히 활용하여 쾌적하고 밝은 실내 환경을 조성할 수 있음
- 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 통해 차양막의 유무에 따른 건물 내부 기류 흐름, 내부 평균 온도, 벽면 평균 온도, 실내로 유입되는 열류량을 통해 결과를 해석함 (Seo et al., 2016)
 - 지붕을 통한 일사를 통해 벽면이 직접적으로 가열된 경우 건물 내부 온도에 비해 벽면의 온도가 20℃ 이상 높았으나, 차양막을 통해 일사량을 차단한 경우 벽면 평균 온도가 낮고 열류량은 50% 감소하는 것으로 나타남
 - ▶ 냉방부하 감소 측면에서 차양막 설치가 타 해결책에 비해 매우 효과적임



<차광막 설치에 따른 건물 내부 온도 및 기류변화>

3. 스마트 지속가능 그늘막 시스템

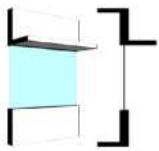
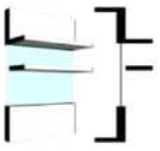
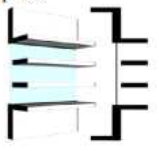
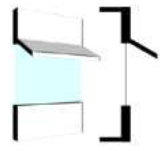
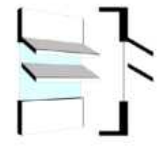
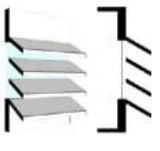
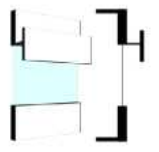
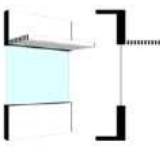
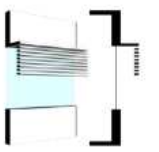
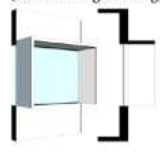
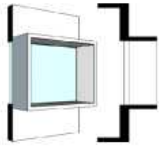
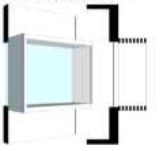
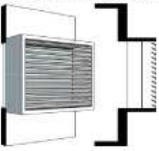
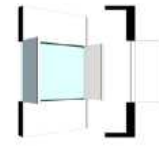
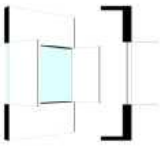
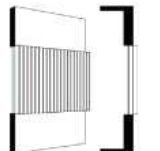
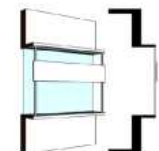
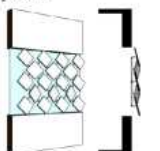
- 스마트 그늘막은 기온과 바람, 그리고 시간 등 설정값에 따라 그늘막의 개폐가 자동으로 작동돼 시민들의 이용 편의성과 안전을 확보함은 물론 그늘막 관리에 있어서도 인력 관리 문제를 최소화 할 수 있음
- 그늘막 자동제어의 핵심인 외부 기온에 맞추어 그늘막이 자동으로 개폐되도록 시스템화되어 있으며, 바람의 영향에 따라서도 즉각적으로 접힘으로써 강풍 등에 의한 시민 안전을 확보하고 그늘막의 파손을 예방하는 장점이 있음



<스마트 그늘막 설치 사례>

- 그늘막은 아크릴 발수 원단으로 자외선을 최대 80%까지 차단하며, 밤에는 조명이 켜져 도심 속 야간 보안 등 역할을 담당함
- 스마트 그늘막은 태양광을 이용해 전원을 공급함으로써 설치 시 전기 인입에 대한 시설공사비와 유지관리비가 특별히 필요하지 않은 친환경 청정에너지 시설물로 평가받고 있음
- 스마트폰 앱을 활용한 연동시스템을 도입하여 그늘막의 정상작동 여부와 관리 정보를 전달해주는 편의성을 지니고 있으며, 관리자 전용 게시판을 운영하여 제품 관리 관련 정보를 올리기하고 구역별 운영체제로 전문성을 강화함

- 태양광 패널과 그늘막 장치를 통합한 PVSDs(Photovoltaic integrated shading devices)는 건물의 일조량을 활용하고 동시에 그늘을 제공하는 장치로써 건물의 에너지 효율성을 향상시키는 중요한 기술임 (Zhang et al., 2018)

Type NO.	01	02	03	04	05	06
Name	Horizontal single panel	Horizontal double panels	Horizontal multiple panels	Inclined single panel	Inclined double panels	Inclined multiple panels
Diagram						
Type NO.	07	08	09	10	11	12
Name	Vertical panel	Louvres in horizontal plane	Louvres in vertical plane	Unfilled eggcrate (Surrounding shading)	Full eggcrate	Full eggcrate with horizontal louvres
Diagram						
Type NO.	13	14	15	16	17	18
Name	Semi eggcrate	Semi eggcrate with louvres in horizontal plane	Semi eggcrate with louvres in vertical plane	Eggcrate with louvres in vertical plane	Vertical fin	Slanted vertical fin
Diagram						
Type NO.	19	20	21	22	23	24
Name	Horizontal louvres outwards	Horizontal louvres inwards	Horizontal louvres between double layers	Vertical louvres outward	Movable vertical panel	Moveable Diamond pattern
Diagram						

<건물에 적용 가능한 그늘막 장치 구조>

- 일반적으로 에너지 생산과 관련된 네 가지 유형의 최적 기울기 각도가 있으며, 그 중 연중 전력 생산을 위한 고정 태양 패널의 최적 기울기가 가장 중요하다고 여겨짐
- ▶ 최적 기울기 각도는 기상 및 지형적인 요인에 의해 변할 수 있으며, 대한민국 서울(37.25°N)의 경우 연간 전력 생산면에서 32°가 최적인 것으로 나타남

1. 실외 그늘막 시스템 설치·관리 단계별 고려사항

① 설치 전

- 「그늘막 설치·관리 지침(21.04)」에 의거하여 폭염 피해를 예방하고 줄이기 위해 설치하는 고정형 접이식 그늘막 및 스마트 그늘막 설치 전, 1) 그늘막 설치 관련 수요조사, 2) 위치선정 관련 사전협의, 3) 도로점용 관련 협의, 4) 영조물 배상 공제보험 가입 등이 이루어져야 함

단계	시기	방법 또는 목적	내용
그늘막 설치 관련 수요조사	그늘막 위치 선정 전	읍·면·동 수요조사 및 해당 지역 주민 의견 반영	협의회 등을 통해 지역 주민과 설치 장소 협의
위치선정 관련 관할 경찰서 사전 협의	그늘막 설치 장소 결정 전	설치장소별 관할경찰서에 공문으로 협의 실시	그늘막이 보행자나 운전자의 통행에 방해 여부를 검토
점용 소관 부서 협의	설치장소 결정 후 그늘막 설치사업 시행 전	도로관리 및 도시경관 부서 등과 협의 실시	협의와 점용허가 방법* 중 결정 (도시경관 협의)
영조물 배상 공제보험 가입	그늘막 설치 후 운영 전까지 (연중 보험 적용)	그늘막으로 인한 안전사고 발생 시 원활한 배상조치	시·군·구 설치 그늘막 전체

※ 도로법 제30조(도로구역내 시설의 설치) 및 도로법 제61조(도로의 점용 허가)

② 설치 시

① 설치 장소

- 시설의 이용률 제고를 위해 이용자가 많은 곳에 그늘막 설치
- 가급적 대형교차로 및 사거리 등 도로 폭이 최소 4m 이상인 주요 간선도로 변 횡단보도로 선정하되, 인도의 폭이 최소 3.5m 이상인 곳
- 차량 운전자와 보행자의 시야 확보에 지장이 없는 곳
 - 차량의 흐름방향(좌→우)을 반영, 가능하면 보행자의 오른쪽에 설치 고려

- 도로점용의 최소화 및 주민 보행에 지장이 없는 곳
 - 장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 및 자전거 이용 활성화에 관한 법률 등 타 법령에 저촉되지 않도록 설치
- 주변 상가시설물(간판 등)에 장애가 없는 곳
- 기둥 설치 시 점자블록과 60cm 이상 이격하고, 음향신호기와 인접하여 설치하는 가급적 금지해야 함
- 남향 방향 빌딩이 있어 빌딩 그늘이 생길 수 있는 곳은 가급적 제외해야 함
- 지하 매설물에 영향을 주지 않는 곳에 설치해야 함
 - 지하 매설물(전기, 통신, 가스, 상·하수관거 등) 존재 시 매설물의 유지·관리에 영향을 주지 않는 범위 또는 겹치지 않는 곳으로 설치

② 설치 사양

1) 고정형 접이식 그늘막

- 원단은 mesh 재질 종류로 내구성은 10년 이상, 방수 효과는 80% 이상, 자외선 차단은 90% 이상 처리된 것을 사용
 - mesh 재질 : 그늘망처럼 구멍이 뚫려있는 원단으로 통풍이 원활하여 시원함을 느낄 수 있고, 오염에 강한 편이며, 오염 시 물로 닦아낼 수 있는 관리가 쉬운 재질
- 일몰 후 보행자의 안전을 위하여 가로등이 없는 지역은 가급적 그늘막 내 조명시설을 설치하는 것이 바람직함
- 규모(크기, 높이)는 보행환경을 고려하여 현장 상황에 맞게 선택해야 함
- 지지대는 강풍에도 견딜 수 있도록 견고하게 설치해야 함
 - 접은 상태에서는 풍속 21 m/s 또는 순간풍속 26 m/s, 펼쳐진 상태에서는 순간풍속 10 m/s에도 안전하도록 설치 필요
- 그늘막 기초부는 구조 검토를 통해 안전성을 확보해야 함
- 기둥과 기초 간 탈부착이 가능해야 하며, 핸드 원치 등 이와 유사한 것을 사용하고 개폐가 용이해야 함

2) 스마트 그늘막

- 환경적인 요인(풍속, 기온 등)을 분석하는 감지 센서, 자동 제어장치가 설치되어 자동으로 개폐가 가능해야 함
 - 기온 15°C 이상 또는 풍속 7 m/s 미만 시 자동으로 펼쳐지고 풍속 7 m/s 이상이거나, 기온 15°C 미만 또는 일몰 후에는 자동으로 접힘
- 자외선·복사열 차단 및 방수 가능한 아크릴 원단을 사용해야 함
- 태양광 패널과 태양광 축전지가 설치되어 전원을 공급해야 함
- 규모(크기, 높이)는 보행환경을 고려하여 현장 상황에 맞게 선택해야 함
- 그늘막 기초부는 구조 검토를 통해 안전성을 확보해야 함

③ 운영 및 유지관리

- 폭염대책기간 중(5.20~9.30)에는 상시 운영을 하되, 시설 파손으로 안전사고가 예상되는 경우, 태풍의 영향권으로 강풍이 예상될 경우, 강풍 특보 및 주의보 이상 등 센 바람이 부는 경우 그늘막을 접는 것을 원칙으로 함
 - 강풍주의보 : 풍속 14 m/s 이상 또는 순간풍속 20 m/s 이상
 - 태풍주의보 : 태풍으로 인하여 강풍 등 주의보 기준에 도달할 것으로 예상될 때
- 폭염대책기간 이후(10.1~)에는 현장에서 접은 후, 보호덮개를 설치하여 보관하는 것을 원칙으로 함
- 현장에서 분리하여 별도 장소에 보관할 경우, 해체 후 잔여 구조물로 인해 보행자 안전에 지장이 없도록 안전조치를 철저히 해야 함

④ 모니터링

① 기상 데이터 수집 및 분석

- 그늘막이 설치된 지역의 기상 데이터를 수집 및 분석하여 폭염저감 효과분석
 - 기온, 풍속, 습도, 일사량 등의 기상 데이터를 분석하여 그늘막 설치 전후의 기상 조건을 비교함으로써 폭염 저감 효과를 정량적으로 산출함

② 온도센서 설치

- 그늘막 설치 구역에 온도 센서를 설치하여 그늘막 설치 전후의 온도를 비교
 - 온도 센서는 그늘막 설치 구역의 지상, 공중, 그늘막 하부 등 다양한 위치에 설치하여 폭염 저감 효과를 입체적으로 평가할 수 있음

③ 열 스트레스 지수 측정

- 열 스트레스 지수는 기온, 습도, 풍속 등을 종합적으로 고려하여 사람의 체감 온도를 나타낼 수 있음
 - 그늘막 설치 구역에 열 스트레스 지수 측정 장비를 설치하여 그늘막 설치 전후의 열 스트레스 지수를 비교함으로써 폭염 저감 효과를 평가할 수 있음

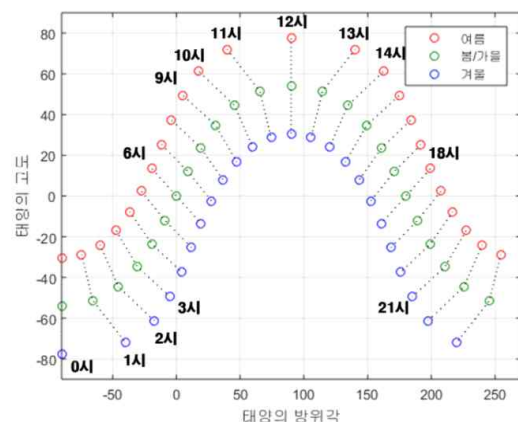
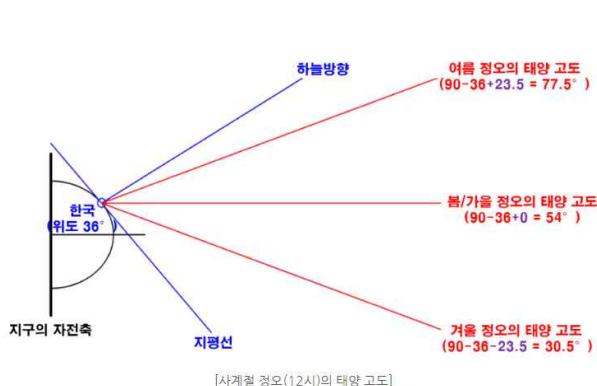
④ 실험 및 시뮬레이션

- 그늘막 설치에 따른 온도 저감 효과를 실험실이나 현장에서 직접 실험하거나 시뮬레이션을 통해 정량적인 효과 예측
 - 그늘막의 설치 위치, 크기, 형태, 재질 등에 따라 적합한 모니터링 방안을 수립하고 기간은 최소 1년 이상으로 설정하여 장기적인 효과를 평가함

2. 건물 차양막 시스템 설계 시 고려사항

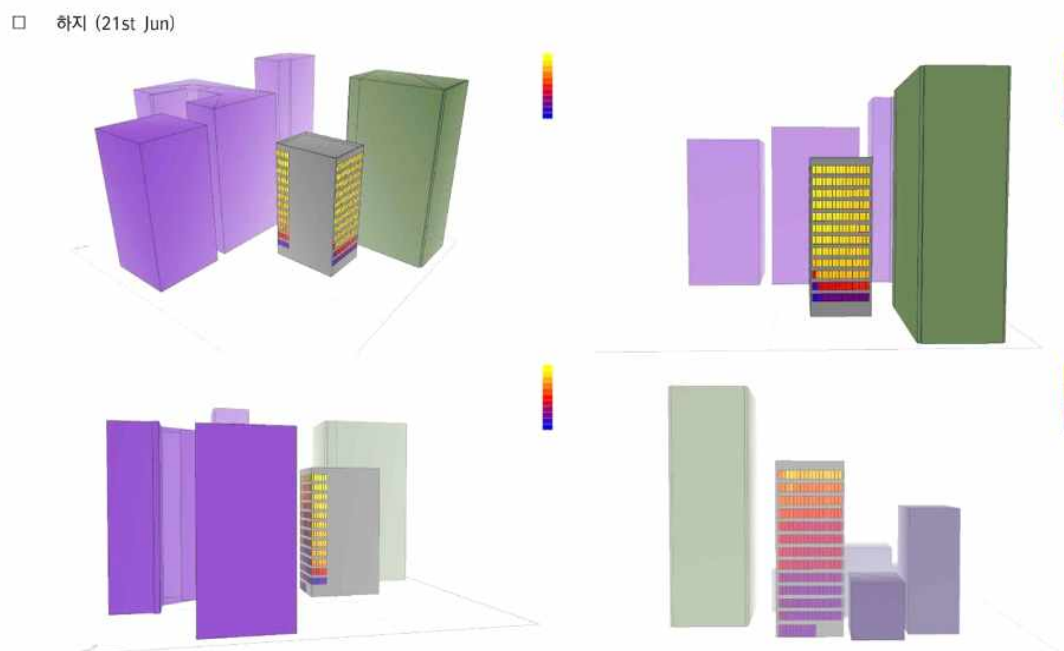
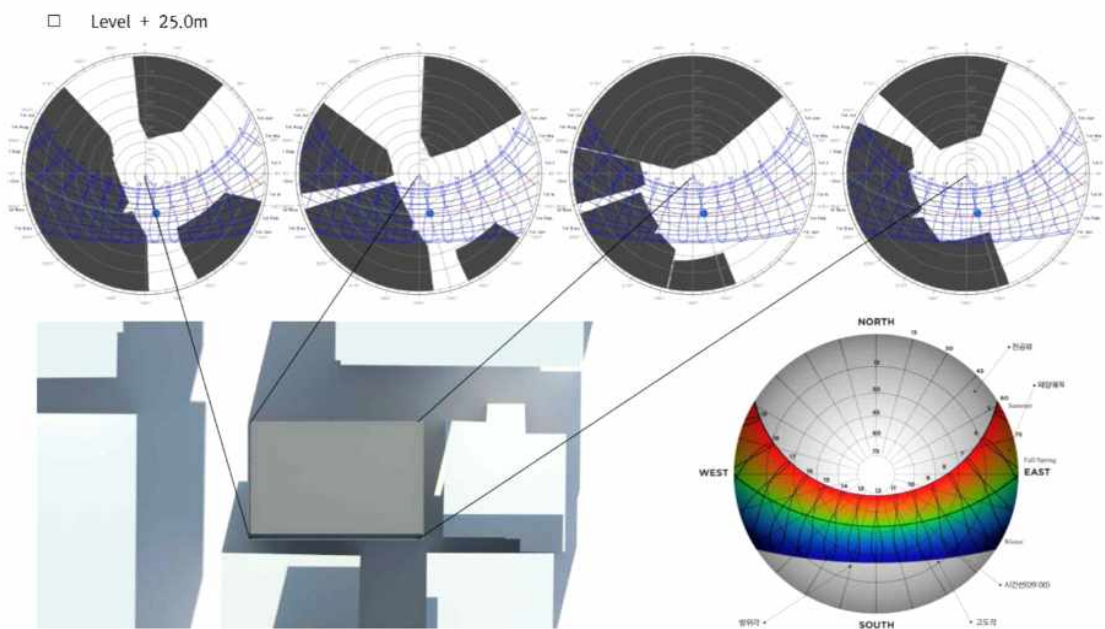
① 태양의 고도와 방위각

- 태양의 고도와 방위각은 매시간 달라지므로 차양막이 효과적으로 기능을 수행하면서 최대한 자연채광을 실내로 유입하여 불필요한 인공조명 부하를 줄이기 위해서는 건물의 입지에 따라 차양이 선택되어야 함



<태양의 고도와 방위각>

- 남향창에는 캐노피타입의 루버가 여름철 열차단 기능을 효과적으로 수행하나, 태양의 고도가 낮은 봄, 가을, 겨울에는 실내 눈부심 현상을 유발할 수 있으며, 하절기에도 입면이 동서향의 경우 많은 태양열이 유입될 수 있음
- 태양을 따라 각도가 조절되는 자동제어 시스템(solar tracking system)을 이용하면 차양이 항상 태양광의 유입을 최적으로 제어하는 각도로 움직이게 할 수 있으며, 이를 통해 하절기 냉방부하, 동절기 난방부하 절감에 기여할 수 있음



<태양궤도 및 궤적, 집광채광 시뮬레이션>

(출처: dksm.co.kr)

② 외부환경

- 건물 차양막 시스템의 폭과 span의 선정은 풍압 및 설압, 경우에 따라서는 지진계수에 따라 다르게 디자인됨

<루버 설계에 적용하는 설계 풍압>

단위: kg/m^2

건물의 높이 (m)	기본풍속(m/s) 및 노풍도					
	35(A)	35(B)	35(C)	40(C)	45(C)	50(C)
0	30	60	100	140	190	240
10	40	70	110	150	200	250
20	50	80	120	160	210	260
30	60	90	130	170	220	270
40	70	100	140	180	230	280
50	80	110	150	190	240	290
60	90	120	160	200	250	300
70	100	130	170	210	260	310
80	110	140	180	220	270	320
90	120	150	190	230	280	330
100	130	160	210	240	290	340
100~150	140	170	220	250	300	350
150~200	150	180	220	270	320	390

※ 주변 지역의 지표면 상태에 따른 노풍도

A : 대도시 중심부에서 10층 이상의 대규모 고층 건축물이 밀집해 있는 지역

B : 높이 3.5 m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층건물이 산재해 있는 지역

C : 높이 1.5~10 m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 저층건축물이 산재해 있는 지역

D : 장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5 m 이하인 지역, 해안, 초원, 비행장

<지역별 적설 하중>

지역	kN/m^2
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 울진, 이천	0.5
인천	0.8
속초	2.0
강릉	3.0
울릉도, 대관령	7.0

상부차폐(그늘막) 기술 적용 체크리스트

Sunshades Check List
법적사항
☐ 그늘막 설치 관리 지침 만족 여부 ☐ 관계법령 및 규정 : 건축법, 건설기술관리법, 빛공해방지법, 근로안전관리규정 등 ☐ 녹색건축 관련 인센티브 : 취득세, 재산세 감면, 건축기준 완화 등 우대사항
유지보수관리
☐ A/S 계획 수립 및 이행 여부 ☐ 제조, 판매업체 A/S 부품 보유 여부 ☐ A/S 보유 인력 및 장비 확보 여부 ☐ A/S 기록 및 관리 여부
상부차폐 시스템 안전기능
☐ 풍압, 풍속, 지진 등의 자연재해에 대한 내구성 여부 ☐ 강우, 폭염, 폭설 등의 기상 상황에 대비한 적정 설계 및 구조 여부 ☐ 부상이나 사고의 위험을 예방할 수 있는 사용 안전성 여부 ☐ 화재 발생 시 위험을 최소화 할 수 있는 그늘막 소재 내화성 여부 ☐ 모터 과열 방지 기능 여부 ☐ 진동 및 소음 발생 여부
시공비용 및 목표 적용효과
☐ 저전력 에너지 사용 여부 ☐ 복사열 차단에 적합한 그늘막 크기 및 재질 선정 여부 ☐ 경제성을 고려한 시스템 설계 여부 ☐ 기상 상황에 따른 자동 제어시스템 탑재 여부
상부차폐 성능인증 및 품질기준 만족 여부
☐ 5년간 설치 실적(지자체, 관공서 등) ☐ 구조적 안정성 검증 성적서 ☐ 복사열 차단 시험 성적서 ☐ 자외선 차단 시험 성적서 ☐ 진동 및 소음 시험 성적서 (65 dB 이하) ☐ 온/습도 연동을 통한 자동운전 테스트
입찰제도
☐ 상부차폐 시스템 직접설계 가능 여부 ☐ 기존 시공 시스템 장기간 (3년 이상) 가동 여부 ☐ 준공검사를 통한 시스템 안전 및 필수 기능 반영

- [1] Kosugi, T. Role of sunshades in space as a climate control option, *Acta Astronautica*, 67, 241-253, 2010.
- [2] Lim T, Yim WS, Kim DD. Evaluation of Daylight and Cooling Performance of Shading Devices in Residential Buildings in South Korea. *Energies*. 13(18):4749, 2020.
- [3] Ralegaonkar, R.V., Gupta, R. Design development of a static sunshade using small scale modeling technique. *Renewable Energy*, 30(6), 867-880, 2005.
- [4] Turner, V. K., Middel, A., Vanos, K. Shade is an essential solution for hotter cities, *Nature*, 619, 694-697, 2023.
- [5] Zhang, X., Lau, S. K., Lau, S. S. Y., & Zhao, Y. Photovoltaic integrated shading devices (PVSDs): A review. *Solar Energy*, 170, 947-968, 2018.
- [6] Xue, P., Li, Q., Xie, J., Zhao, M., Liu, J. Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements. *Applied Energy*, 233-234, 62-70, 2019.
- [7] 권태경, 조현민, 임영신. 도시 그늘막 효과 측정을 위한 시뮬레이션 장비 개발에 관한 연구. *한국환경기술학회지*, 23(3), 169-176, 2022.
- [8] 김태우, 이영준, 이재진, 현승용, 경영혁, 한민철. 현장적용된 차광막 변화에 따른 현장 내부온도 특성분석. *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, 38(2), 496-497, 2018.
- [9] 박채연, 이동근, 권유진, 허민주. 도시열섬현상 완화를 위한 그린인프라 전략. *한국환경복원기술학회지*, 20(50), 67-81, 2017.
- [10] 방승연, 김정인. 여름철 그늘막 설치가 온열질환에 미치는 영향: 서울시 노·장년층을 대상으로. *한국환경경제학회 경제학 공동학술대회논문집*, 207-214, 2019.
- [11] 백창현, 최동호, 이부용, 이인규. 하계 그늘쉼터 유형별 장·단파복사 관측과 해석. *한국태양에너지학회 논문집*, 39(6), 127-135, 2019.
- [12] 서형주, 이선우, 여명석, 김광우. CFD 해석을 통한 여름철 부착온실 과열현상 해결 방안 탐구. *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, 543-548, 2016.
- [13] 조소운, 이민재, 김서현, 김한돈, 정민철, 김지민, 장현승. 비닐하우스에서의 차광막 사용에 따른 여름철 온도 분석. *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, 42(2), 1223-1224, 2022.

- [14] 오규식, 이동근, 정승현, 이승일, 정응호, 김석철, 김유진. 기후변화 적응형 도시 열 환경 설계시스템 기술 개발 최종보고서, 2021.
- [15] 추소연, 이우주, 김준오. 걷고 싶은 골목길이 만드는 시원한 우리 동네, 2019.
- [16] 최동호, 이부용. 지붕면 일사차광막 설치에 따른 일사차폐가 최상층 실내온열환경에 미치는 영향 분석. 대한건축학회 논문집-계획계, 22(5), 271-278, 2006.
- [17] 최현중, 강재식, 최경석, 이수인. 저가 보급형 외부 차양의 일사 차단 성능평가. 대한 설비공학회 학술발표대회논문집, 517-518, 2019.
- [18] 한승원, 박준성, 장하경. 도시열섬완화를 위한 경사지붕 옥상녹화 식재설계기법에 따른 온도저감분석. 한국생활환경학회지, 27(1), 38-45, 2020.
- [19] “그늘막 스마트시대, 기온 따라 스스로 펼치고 접는다.”, 강진일보, 2021.
<http://www.nsori.com/news/articleView.html?idxno=17517>
- [20] “폭염시 가로수가 그늘막보다 25% 효과 높아”, 라펜트, 2022.
https://www.lafent.com/inews/news_view.html?news_id=131189
- [21] [https:// bnc.co.kr](https://bnc.co.kr)
- [22] [https:// bornature.com](https://bornature.com)
- [23] [https:// dksm.co.kr](https://dksm.co.kr)