

Article

일조 모델과 측정을 통한 도시 지역 건물의 일조 시간과 표면 온도 분석

강정은¹, 노주환¹, 이지은¹, 김성희¹, 김채린¹, 손정민¹, 조민재¹, 조은서¹, 박수진², 김재진^{1,*}

¹부경대학교 지구환경시스템과학부

²Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, École des Ponts ParisTech

Analysis of sunshine duration and surface temperature of a building in urban areas using a sunshine duration model and measurements

Jung-Eun Kang¹, Ju-Hwan Rho¹, Ji-Eun Lee¹, Sung-hee Kim¹, Chae-Rin Kim¹, Jeong-Min Son¹, Min-Jae Jo¹, Eun-Seo Jo¹, Soo-Jin Park², Jae-Jin Kim^{1,*}

¹Division of Earth and Environmental System Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, École des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne 77420, France

Received: July 11, 2024 / Accepted: July 24, 2024

*Corresponding author: +82-51-629-6645 / E-mail: jjkim@pknu.ac.kr

요약: 본 연구는 대학 캠퍼스에 위치한 건물면(동, 서, 남, 북, 지붕)의 일조 시간과 건물 표면 온도를 분석하였다. 일조 시간은 태양 방위각과 고도각, 건물과 지형 자료를 이용하여 일조 여부를 판단하는 일조 모델을 1분 간격으로 수행하여 계산하였다. 한국천문연구원 제공 태양 방위각, 고도각과 현장 측정 자료를 사용하여 일조 모델 성능을 검증하였고, 검증 결과는 본 연구에서 사용한 일조 모델이 일조 시간을 분석하기에 적합함을 보였다. 열 화상 카메라를 이용하여 건물의 동, 서, 남, 북, 지붕면의 표면 온도를 측정하였다. 측정은 9시부터 18시까지 1시간 간격으로 2일간 수행하였다. 건물면의 일조 시간과 표면 온도는 밀접한 관계가 있었다. 일조 시간이 가장 짧은 건물면인 북쪽면 표면 온도가 가장 낮았고, 일조 시간이 가장 긴 옥상 표면 온도가 가장 높았다(평균 표면 온도 차 - 약 11°C). 또한 일조 시작 시간에 따라 최고 표면 온도가 나타나는 시각이 다르게 나타났다. 일조가 주로 오전에 나타나는 동쪽면은 11시, 오후에 나타나는 서쪽면은 15시에 가장 높았다.

주요어: 일조환경, 열환경, 일조 시간, 건물 표면 온도, 태양 방위각/고도각

ABSTRACT: This study analyzed the sunshine duration and building surface temperatures for various orientations (east, west, south, north, and roof) within a university campus. The sunshine duration was calculated using a sunshine model that determines sunshine presence based on solar azimuth and altitude angles, as well as building and topography data, performed at one-minute intervals. The performance of the sunshine model was validated using solar azimuth and altitude data provided by the Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and field measurement data. The validation results demonstrated that the sunshine model used in this study is suitable for analyzing sunshine duration. Building surface temperatures for the east, west, south, north, and roof surfaces were measured using a thermal imaging camera. Measurements were taken hourly from 9 AM to 6 PM over two days. There was a close relationship between sunshine duration and building surface temperatures. The north-facing surface, which had the shortest sunshine exposure, showed the lowest surface temperature, while the roof, with the longest sunshine exposure, had the highest surface temperature (average surface temperature difference: approximately 11°C). Furthermore, the time of the highest surface temperature varied according to the sunshine exposure time. The east-facing surface, which received sunshine primarily in the morning, peaked at 11 AM, while the west-facing surface, which received sunshine mainly in the afternoon, peaked at 3 PM.

Key words: sunshine environment, thermal environment, sunshine duration, building surface temperature, solar azimuth/altitude angle

1. 서론

도시에는 다양한 형태와 표면 재질의 건물들이 밀집되어 있다. 대부분의 건물은 도시 지역 열 환경을 악화시키는 요인 중 하나이다(Mathew *et al.*, 2018; Kang *et al.*, 2024). Mathew *et al.* (2018)은 인도의 도시 지역을 대상으로 위성 자료와 다양한 토지 피복의 표면 기온 측정을 통해 도시 표면 열섬(surface urban heat island, SUHI)에 대해 분석하였고, 도시 지역의 표면은 주로 건물과 인공적인 물질로 구성되어 있어 SUHI가 나타난다고 보고하였다. 또한 도로와 콘크리트의 표면 기온은 여름과 겨울, 주간과 야간 모두 식생보다 높았다고 보고하였다. 도시 지역 건물과 열환경에 대한 연구는 다양하게 수행되어왔다. 건물 표면 온도는 건물 상층이 하층보다 낮고, 건물 용적률, 밀도, 높이에 따라 변화한다(Kantzioura *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2020). 또한 나무의 증산과 바람 난류가 건물 표면 온도에 영향을 줄 수 있고, 나무 그늘은 건물 표면 온도 뿐만 아니라 실내 온도를 감소시킬 수 있다(Berry *et al.*, 2013; Morakinyo *et al.*, 2016). Huang *et al.* (2021)은 도시 열환경 개선을 위해 중국의 상업 거리를 대상으로 일조시간, 도로 너비와 높이의 비율, 도로 방향에 대해 분석하였고, 도로 너비와 높이의 비율을 활용하여 일조 시간을 감소시켜 열 환경을 개선할 수 있다고 보고하였다. 미기후 모델인 ENVI-met을 이용하여 도시 지역에서 나타날 수 있는 다양한 건물 밀도와 높이에 따른 열 환경을 분석한 연구 결과(Perini and Magliocco, 2014)에 따르면, 건물 밀도가 높은 지역에서는 건물 높이에 따른 열 환경 차이가 크게 나타나고, 건물이 높을수록 그림자 효과로 인해 열환경이 개선되었다. Chen *et al.* (2012)은 여름철 홍콩의 고층 건물이 밀집한 지역을 대상으로 하늘시계지수(Sky View Factor, SVF)와 기온의 관계에 대해서 조사하였고, 주간에 도시의 기온은 SVF에 반비례한다고 분석하였다. Middel *et al.* (2017)은 미국 아리조나 주립대학교를 대상으로 보행자 열 쾌적성 경로를 분석하였고, 건물과 나무로 인해 생긴 그림자 영역이 있는 도로가 보행자에게 가장 쾌적한 경로라고 보고하였다. 또한 태양 위치에 따라 건물과 나무에 의해 발생하는 그림자 영역과 쾌적한 경로는 시간에 따라 변화한다고 보고하였다. 도시 형태에 따라 자연광이 보행자에게 미치는 영향을 조사한 연구(Pan and Du, 2022)에 따르면, 건물과 나무에 의한 그림자는 보행자에게 시각적으로 편안함을 제공한다.

도시 지역에서 건물과 나무에 의해 발생하는 그림자는 열환경을 개선시키기도 하지만, 자연광은 건물 내부에서 활동하는 사람들의 쾌적성을 높여주고, 충분한 일조 시간은 인간의 정신 건강에 긍정적인 영향을 준다(Choi *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2023). 따라서 도시 지역에 위치한 건물과

지형 등의 장애물에 의한 일조 차단에 따른 일조 시간에 대한 연구도 수행되었다. Kim *et al.* (2014)과 Kang *et al.* (2018)은 건물 형태와 배치, 고층 건물 건설에 따른 계절별, 시간별 일조 환경을 분석하였고, 근거리에서 위치한 장애물 뿐만 아니라 원거리에서 위치한 장애물에 의해서도 일조 차단이 나타남을 확인했다. 또한 일조 시간을 활용한 태양 복사를 추정하는 모델 개발, 일조 시간과 지형 표면 경사와 방향 등의 지형요소를 이용한 태양 복사 지도 개발, 딥러닝과 거리 사진을 활용한 일조 시간 계산 등 일조 시간과 관련된 다양한 연구가 수행되었다(Park *et al.*, 2015; Chang and Zhang, 2020; Du *et al.*, 2020; Cao *et al.*, 2023).

이처럼 도시 지역 건물에 의한 열 환경과 일조 차단에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 실제 도시 지역에서 건물 표면 온도와 일조 시간을 분석한 연구는 매우 드물게 수행되었다. 본 연구에서는 대학 캠퍼스에 위치한 건물의 동, 서, 남, 북, 지붕면에 대한 일조 시간과 건물 표면 온도를 분석하였다. 이를 위해, 일조 모델을 이용하여 일조 시간을 계산하였고, 현장 측정을 통해 건물 표면 온도를 수집하였다.

2. 연구 방법

2.1. 대상 지역(건물)과 기간

본 연구에서는 일조 환경을 분석하기 위해서 부경대학교 대연 캠퍼스 내에 위치하고 있는 건물(중심 위도: 35.1351°, 중심 경도: 129.1063°)을 대상 건물로 선정하였다(그림 1). 일조 환경은 원거리에서 위치한 장애물의 영향을 받을 수도 있으므로(Kang *et al.*, 2018), 본 연구에서는 대상 건물을 중심으로 하는 2 km × 2 km 영역을 대상 지역으로 선정하였다(그림 1). 대상 지역은 다양한 높이의 건물이 밀집된 지역이다. 대상 건물 주변에는 대부분 대상 건물보다 낮은 건물이 위치하고 있지만, 대상 건물의 북동쪽에는 고층 아파트가 건설 중이다. 남동쪽으로 약 80 m와 400 m 거리에는 각각 10층 높이의 건물과 69층 높이의 고층 아파트가 위치하고 있다. 대상 건물 남쪽에는 잔디 광장이 있고, 남서쪽으로 약 70 m 거리에는 9층 높이의 건물이 위치하고 있다. 서쪽으로 약 7 m 거리에는 3층 높이의 건물이 위치하고 있다. 분석 대상 건물은 6층 건물이고, 동서 방향 길이는 약 90 m이며, 남북 방향 길이는 약 40 m 이다. 본 연구에서는 건물면의 일조 시간과 건물 표면 온도를 분석하기 위해, 건물 5면(동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면과 건물 지붕)을 분석 지점으로 선정하였다. 건물의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면은 회색 석재로, 지붕은 초록색 방수재로 이루어져 있다. 본 연구에서는 2022년 10월 14일과 28일을 연구 대상으로 선정하여 분석하였다.

2.2. 측정 자료

본 연구에서는 일조 모델이 모의한 일조 시간을 검증하기 위해서 대상 건물의 일조 여부를 조사하였고 열 화상 카메라를 이용하여 건물 표면 온도를 측정하였다. 연구 대상 일인 2022년 10월 14일과 28일의 09시부터 18시까지 한 시간마다 분석 지점의 표면 온도와 일조 여부를 측정했다. 본 연구에서 사용한 열 화상 카메라는 $-20^{\circ}\text{C}\sim 1,500^{\circ}\text{C}$ 범위의 온도를 측정할 수 있고, 본 연구에서 측정한 온도 범위에서 측정값의 정확도는 $\pm 2\%$ 이다.

또한 부산 남구 자동기상관측장비(AWS 942)에서 측정된 기온을 건물 표면 온도를 분석에 이용하였다. AWS 942는 대상 건물 남동쪽으로 약 2.4 km 떨어져 있는 곳에 위치하고(위도: 35.1186° , 경도: 129.0884°), 해발고도 124.26 m에 설치되어 있다.

2.3. 실험 설계

일조 환경 평가를 위해 Kim *et al.* (2014)이 개발한 3차원 일조 평가 모델을 사용하였다. 태양 방위각과 고도각은 Schlyter (2010)의 행성위치계산법을 사용하여 계산하였다. 측정 지점(위도, 경도)과 대상일을 기준으로 태양 방위각과 고도각을 계산하여 태양 위치를 산출한다. Schlyter (2010)의 행성위치계산법을 이용하여 태양 궤도 요소를 계산하였고, 율리우스 일, 황도 기울기, 이심률, 평균근점이각, 근일점 경도, 평균 거리 등을 이용하였다. 이를 이용하여 황경, 황위, 태양 적경과 적위를 계산하고 좌표계 변환을 한 후,

대상 지점의 위도와 경도를 이용하여 방위각과 고도각을 산출한다(Park and Kim, 2014; Kang *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2020). 일조 모델은 계산한 태양 방위각과 고도각을 이용하여 태양 위치를 결정한다. 대상 지형/건물에 해당하는 격자와 태양 위치 사이에 다른 지형/건물이 위치하면 일조가 차단되는 것으로 판단하고, 다른 지형/건물이 위치하지 않으면 해당 격자에 일조가 미친다고 판단한다. 수치 도면 내의 모든 격자에서 이 과정을 반복하여 지형/건물 표면의 일조 영역과 그림자 영역을 계산한다.

국토지리정보원이 제공하는 수치지형도 Ver2.0 (1:5000 축척)의 건물, 등고선, 표고점 정보를 사용하여 일조 모델의 3차원 지형, 건물 입력자료를 구축하였다(그림 2). 수치 도면의 수평 격자 해상도는 10 m, 연직 격자 해상도는 5 m 이고, 크기는 수평 방향으로 2 km, 연직 방향으로 500 m이다.

3. 모델 검증

Schlyter (2010)의 행성위치계산법으로 계산한 태양 방위각과 고도각을 검증하기 위해, 한국천문연구원(Korea Astronomy and Space Science Institute, KASI)에서 제공하는 시간별 방위각/고도각, 일출/일몰 시각과 비교하였다(그림 3). 2022년 10월 14일(28일)에 방위각과 고도각의 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE)는 각각 $0.19^{\circ}(0.18^{\circ})$ 와 $1.04^{\circ}(0.82^{\circ})$ 이다. 일출과 일몰 시각을 비교하였을 때, 2022년 10월 14일에 Schlyter의 일출(일몰) 시각은 6시 32분(17시 47분)으로 KASI의 6시 28분(17시 50분)과 4분(3분) 차이가



Fig. 1. The satellite image of the target area and the picture of the target building. The white shading indicates the Pukyong National University campus. The red rectangle indicates the target building (satellite image source : Google Earth Pro).

나타났다(표 1). 2022년 10월 28일에도 Schlyter와 KASI의 일출과 일몰 시각은 모두 4분 차이로 크지 않았다. 본 연구에서 계산한 일출 시각은 늦고 일몰 시각은 빠르다. 두 결과 사이의 차는 두 가지 요인에 기인한다. 첫째, 본 연구에

구에서 계산한 일출 시각은 늦고 일몰 시각은 빠르다. 두 결과 사이의 차는 두 가지 요인에 기인한다. 첫째, 본 연구에

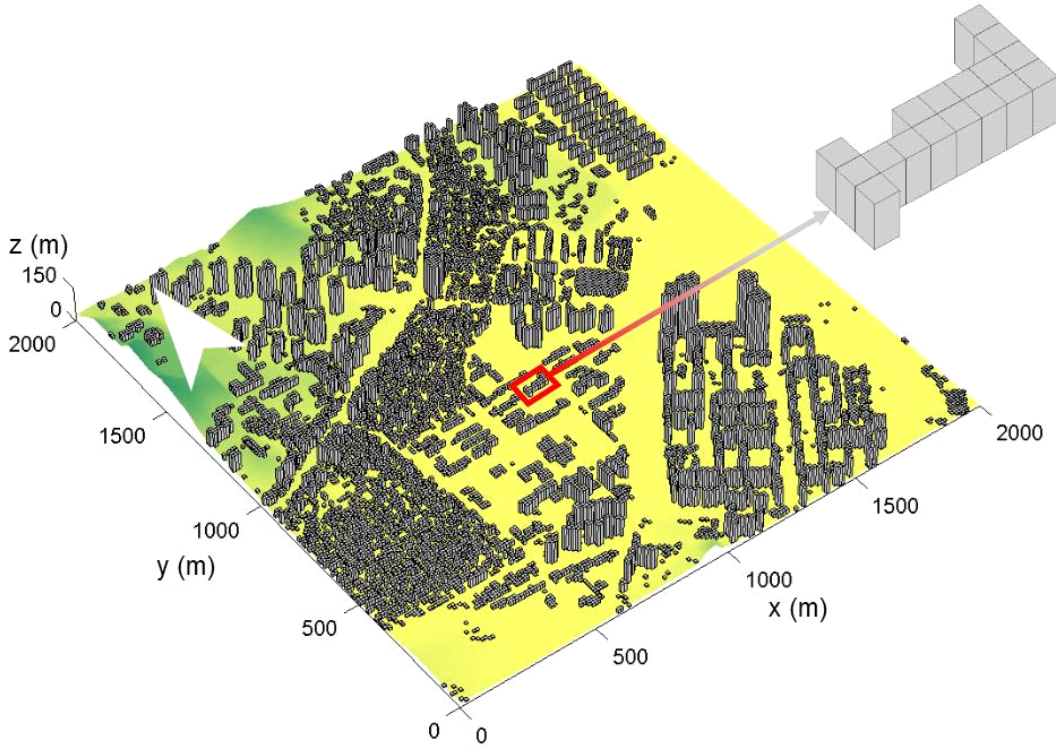


Fig. 2. The three-dimensional configuration of the buildings and topography constructed using geographic information systems (GIS) in the target area.

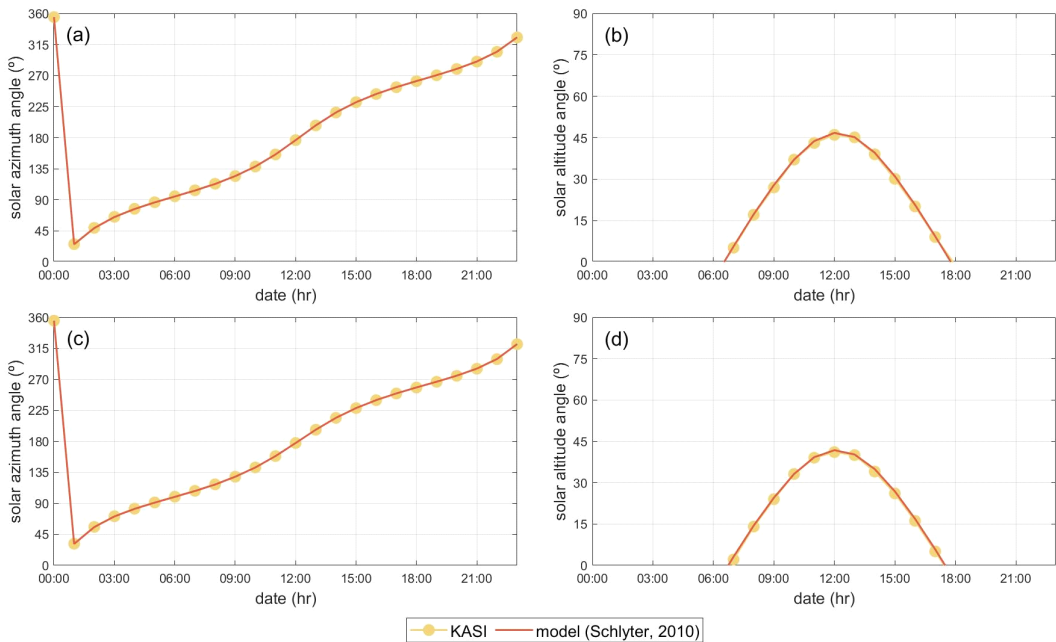


Fig. 3. Comparison of solar azimuth angles (left panels) and solar altitude angles (right panels) calculated by Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and the sunshine model used in this study (Schlyter, 2010) for October 14, 2022 [(a) and (b)] and October 28, 2022 [(c) and (d)].

Table 1. Sunrise and sunset times calculated by Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and the sunshine model used in this study (Schlyter, 2010).

Date	Sunrise/sunset	this study	KASI	Difference
2022/10/14	sunrise	06:32	06:28	00:04
	sunset	17:47	17:50	00:03
2022/10/28	sunrise	06:44	06:40	00:04
	sunset	17:30	17:34	00:04

서 사용한 행성위치계산법(Schlyter, 2010)과 한국천문연구원에서 사용한 행성위치계산법(Meeus, 1998)이 다르고 태양 방위각과 고도각 계산 방법 등의 차이에 기인한다. 둘째, 본 연구에서는 태양 중심을 기준으로 일출과 일몰 시각을 결정한다. 그러나 실제로 일출과 일몰은 각각 태양이 지평선 위와 아래로 출몰하는 시각을 기준으로 하기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 계산한 태양 방위각과 고도각은 전반적으로 정확하고, 일조 모델에서 사용하기에 적절한 것으로 판단된다.

일조 모델의 일조 시간 모의 성능을 검증하기 위해, 9시부터 18시까지 1시간 간격으로 대상 건물의 동·서·남·북·지붕면의 일조 차단 여부를 조사하였다(그림 4). 2022년 10월 14일 일몰 시간 전(18시)까지 지붕면은 일조가 측정되었고 일조 모델도 일조 영역으로 계산하였다. 반면, 건물 북쪽 벽면은 일조가 측정되지 않았고 일조 모델도 그림자

영역으로 계산하였다. 건물 동쪽 벽면은 측정과 일조 모델 계산 결과에서 모두 9시부터 12시까지 일조 영역이었고, 13시부터 17시까지는 그림자 영역이었다. 건물 서쪽 벽면의 경우, 측정과 일조 모델 계산 결과에서 모두 9시부터 11시까지는 그림자 영역이었고 13시부터 17시까지는 일조 영역이었다. 그러나 측정 결과에서는 12시에 일조 영역이었지만, 일조 모델은 그림자 영역으로 모의하였다. 건물 남쪽 벽면의 경우, 측정 결과에서는 9시부터 17시까지 일조 영역이었지만, 일조 모델 결과에서는 17시에 그림자 영역으로 모의하였다. 일조 모델은 건물 남쪽 벽면 상단을 일조 영역으로 모의하였지만, 건물 서쪽의 돌출 부분에 의해 그림자가 지면서 벽면 하단을 그림자 영역으로 모의하였다(그림 5a). 이는 GIS의 건물 정보가 실제 건물 형태를 부분적으로 잘못 표현한 결과에 기인한 것이다.

2022년 10월 28일은 건물 동쪽 벽면을 제외하고는 2022년 10월 14일과 동일한 결과가 나타났다. 건물 동쪽 벽면은 12시에 측정 결과에서는 그림자 영역이었지만, 일조 모델은 일조 영역으로 모의하였다. 일조 모델은 건물 동쪽 벽면 전체를 일조 영역으로 모의하였다(그림 5b). 일조 모델은 측정된 일조 영역을 비교적 잘 모의하였다. 따라서 본 연구에서 사용하는 일조 모델은 일조 환경을 분석하는데 사용하기 적합하다고 판단된다.

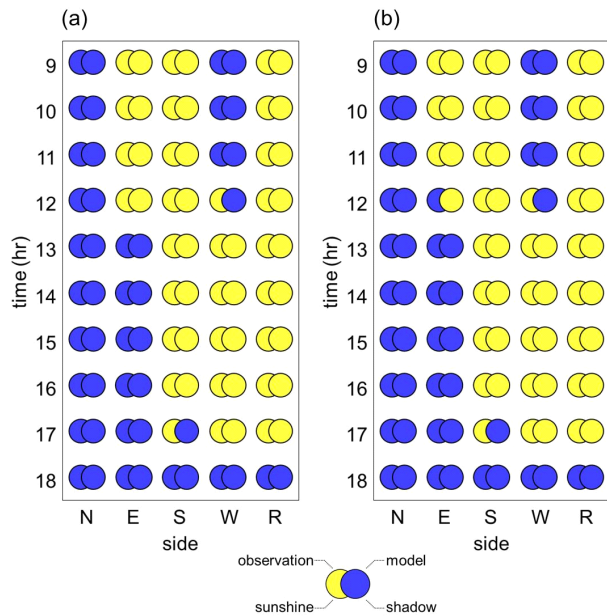


Fig. 4. Presence or absence of the sunshine and shadow measured and calculated on building surfaces and roof on (a) October 14, 2022 and (b) October 28, 2022. The left and right circles indicate the measurements and model calculations, respectively, and yellow and blue colors indicates sunshine and shadow, respectively.

4. 연구결과와 토의

4.1. 일조 시간

2022년 10월 14일과 28일에 대해 대상 건물의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면과 지붕면의 일조 시간을 분석하였다.

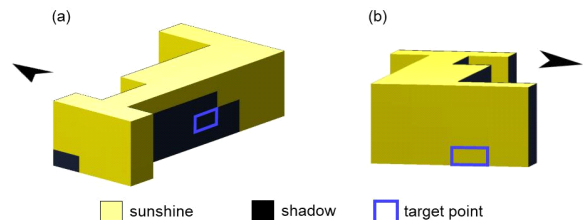


Fig. 5. The sunshine and shadow areas calculated by the sunshine model for the target building at (a) 17:00 on October 14, 2022 and (b) 12:00 on October 28, 2022.

일조 시간 분석을 위해, 1분 간격으로 수행한 일조 모델 결과를 1시간 간격으로 평균(hh시 평균값 = hh-1시 01분부터 hh시 00분까지의 평균)하여 일조 비율을 계산하였다(그림

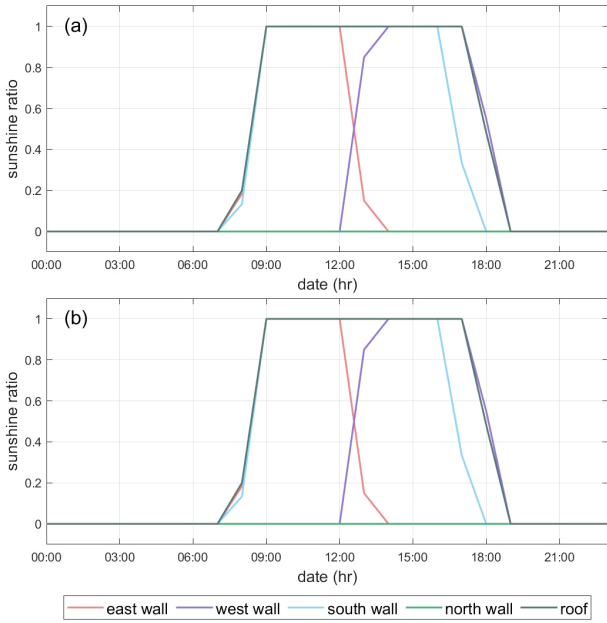


Fig. 6. Sunshine ratios of the building surfaces and building roof on (a) October 14, 2022 and (b) October 28, 2022.

6). 일조 비율이 1인 경우는 1시간 내내 일조가 발생했다는 것을 의미하고, 0인 경우는 1시간 내내 그림자가 졌다는 것을 의미한다. 2022년 10월 14일의 경우, 동쪽, 남쪽 벽면과 지붕면에서 8시의 일조 비율은 각각 0.18, 0.13, 0.20이었다. 남쪽 벽면과 지붕면에서는 7시 31분부터 일조가 시작했지만, 7시 33분부터 일조가 차단되었다. 남쪽 벽면은 7시 55분, 지붕면은 7시 51분부터 일조가 다시 발생하였는데, 남쪽 벽면은 16시 20분, 지붕면은 17시 29분까지 일조 차단없이 일조가 지속되었다. 남쪽 벽면과 지붕면의 일 중 일조 시간은 각각 508분, 567분이다. 동쪽 벽면은 남쪽 벽면과 지붕면보다 15분 늦은 7시 46분에 일조가 시작되었다. 7시 52분부터 7시 55분까지 일조가 차단되었고, 7시 56분부터 12시 9분까지 일조가 다시 발생하였으며, 일 중 일조 시간은 260분이었다. 서쪽 벽면은 12시 10분부터 17시 33분까지 일조가 발생했고, 일조 시작 후에는 차단 없이 일조가 계속 지속되었으며, 일 중 일조 시간은 306분이다. 북쪽 벽면은 하루 내내 일조가 차단되었다.

건물 동쪽, 남쪽 벽면과 지붕면의 일조와 그림자가 변갈아 나타나는 시간(7시 31분 ~ 7시 55분) 동안 태양 방위각과 고도각 범위는 각각 108.2688°~112.1486°, 11.7576°~16.3621°이다. 이 시간 동안 대상 건물의 일조는 대상 건물 남동쪽에 위치한 고층 아파트 단지(그림 7a의 A)의 영향을 받았다. 태양 고도각이 높지 않을 때, 태양과 대상 건물 사

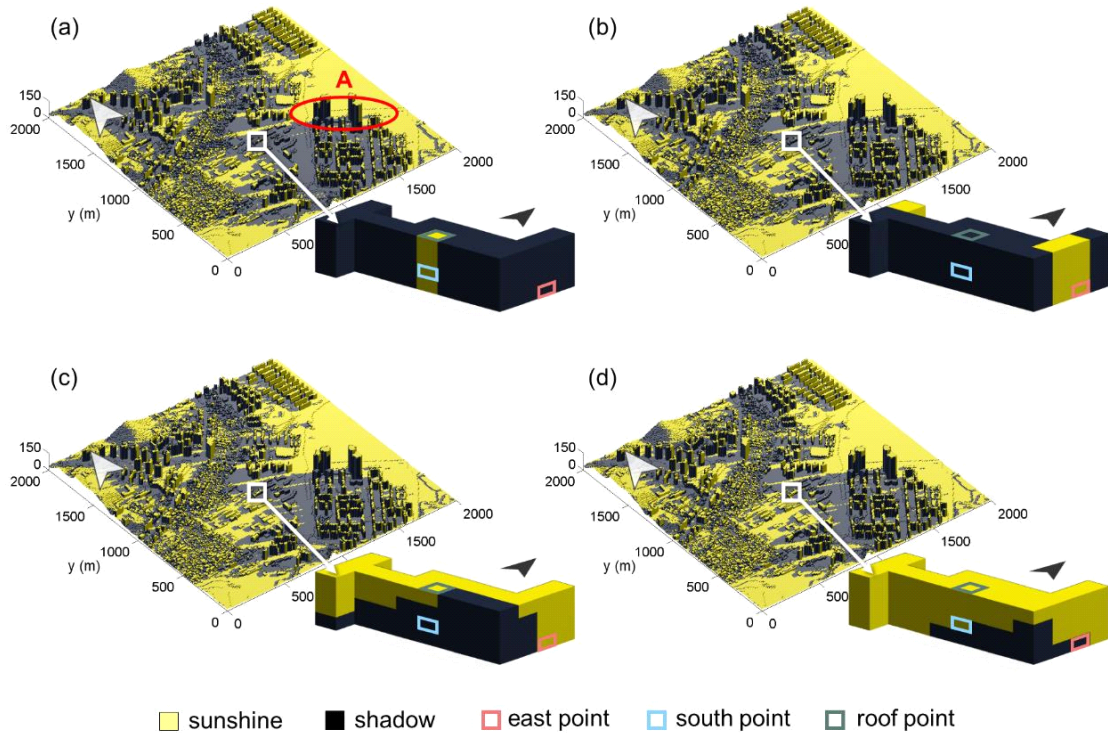


Fig. 7. The sunshine and shadow areas calculated by the sunshine duration model for the target area at (a) 07:31, (b) 07:46, (c) 07:51, and (d) 07:55 on October 14, 2022.

이에 높은 건물이 위치하면 대상 건물의 일조가 차단되었고 높은 건물이 위치하지 않으면 일조가 나타났다. 7시 31분에는 낮은 태양 고도각(11.76°)으로 인해 대상 지역의 넓은 영역에서 건물에 의한 그림자가 발생하였다(그림 7). 지붕면, 남쪽 벽면 분석 지점의 상단과 하단 격자에서 일조가 발생하였다(그림 7a). 7시 46분에는 남쪽 벽면 전체와 지붕면 대부분 영역에서 일조가 차단되었고, 동쪽 벽면에서 일조가 나타나기 시작했다(그림 7b). 7시 51분에는 남쪽 벽면의 서쪽 상단 부분에서 일조 영역이 나타나기 시작했고, 대부분의 옥상면에서 일조가 나타났다(그림 7c). 7시 55분에는 지붕면 전체에서 일조가 나타났고, 남쪽 벽면의 동쪽 하단과 동쪽 벽면의 남쪽 하단에서 일조가 차단되었다(그림 7d).

2022년 10월 28일의 일조 상황은 2022년 10월 14일과 유사하였다. 남쪽 벽면의 일조 시간은 10월 14일에 비해 25분 길었고, 서쪽, 동쪽 벽면과 지붕면의 일조 시간은 각각 18분, 21분, 14분 짧았다. 본 연구 대상일이 하지와 동지 사이의 기간이므로 남쪽 벽면을 제외한 모든 건물면에서 10월 14일에 비해 10월 28일의 일조 시간이 감소하였다. 남쪽 벽면 분석 지점의 일조 시간은 10월 28일이 10월 14일보다 일출 직후 4분, 일몰 직전 21분 더 길었다. 일몰 시간은 10월 14일(17시 47분)이 10월 28일(17시 30분)보다 늦지만, 10월 14일은 16시 21분, 10월 28일은 16시 42분부터 그림자가 드리웠다. 10월 14일 16시 21분과 10월 28일 16시 42분의 태양 방위각은 각각 246.9469°, 246.8153°로 유사하였지만, 태양 고도각의 경우 각각 16.8064°, 9.2215°로 10월 28일 16시 42분의 태양 고도각이 다소 낮았다. 10월 14일과 28일 모두 남쪽 벽면 분석 지점은 대상 건물 서쪽 부분의 돌출 부분에 의해 일조가 차단되었다(그림 8a의 A). 남쪽 벽면 분석 지점에서 일조가 차단 되기 직전인 10월 14일 16시 20분과 10월 28일 16시 41분의 태양 방위각은 각각 246.7786°, 246.6581°이다. 남쪽 벽면 분석 지점은

태양 방위각이 246.7786°보다 클 때 건물 서쪽 A 부분의 영향을 받는 것으로 판단된다. 10월 14일의 일몰 시간은 10월 28일보다 늦지만 건물 서쪽 A 부분에 의해 더 이른 시간에 일조가 차단되기 때문에 10월 28일보다 일조 시간이 더 짧았다. 그러나 태양 고도각 차로 인해 10월 14일에는 대상 지역의 넓은 영역에서 일조가 발생되었지만, 10월 28일에는 대부분의 영역에서 일조가 차단되었다(그림 8).

4.2. 표면 온도

그림 9는 대상 건물의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 건물 벽면과 지붕면에서 측정한 표면 온도와 AWS 942에서 측정한 기온이다. AWS 942 지점에서는 2022년 10월 14일은 강수가 없었고, 일 평균 기온과 주간 평균 기온(07시~17시)은 각각 18.00°C와 20.09°C이다. 10월 28일은 20시에 0.5 mm의 강수가 측정되었고, 일 평균 기온(주간 평균 기온)은 16.11°C(18.53°C)이다. 일 최고 온도는 10월 14일과 28일 모두 13시에 측정되었고, 각각 39.5°C와 21.8°C였다. AWS 942 지점에서 측정된 기온은 북쪽 벽면의 표면 온도와 유사하였다. 10월 14일(28일)의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면과 지붕면의 평균 표면 온도(9시~18시)는 각각 21.8°C(20.6°C), 29.2°C(25.3°C), 28.2°C(28.2°C), 20.0°C(18.3°C), 31.2°C(29.4°C)이다. 지붕면 온도가 가장 높고 북쪽 벽면 온도가 가장 낮았는데(두 건물면의 온도 차: 10월 14일 - 11.2°C, 10월 28일 - 11.1°C), 이는 일조 시간과 관련된다고 판단된다. 지붕면 일조 시간은 5개 건물면 중에서 가장 길었고, 북쪽 벽면은 일조가 발생하지 않은 건물면이다. 북쪽 벽면 다음으로 일조 시간이 짧은 동쪽 벽면의 평균 표면 온도는 10월 14일과 28일 모두 북쪽 벽면 다음으로 낮았다. 지붕면 다음으로 남쪽 벽면, 서쪽 벽면 순으로 일조 시간이 길었다. 10월 28일 평균 온도는 남쪽 벽면이 서쪽 벽면보다 2.9°C 높았지만, 10월 14일에는 서쪽 벽면이 남쪽 벽면보다 약간 높게(1.0°C) 나타났다.

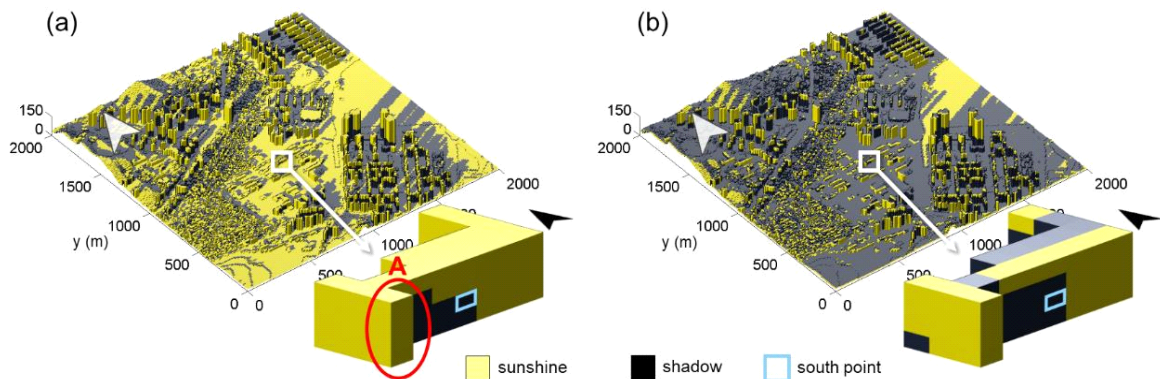


Fig. 8. The sunshine and shadow areas calculated by the sunshine duration model for the target area at (a) 16:21 on October 14, 2022, and (b) 16:42 on October 28, 2022.

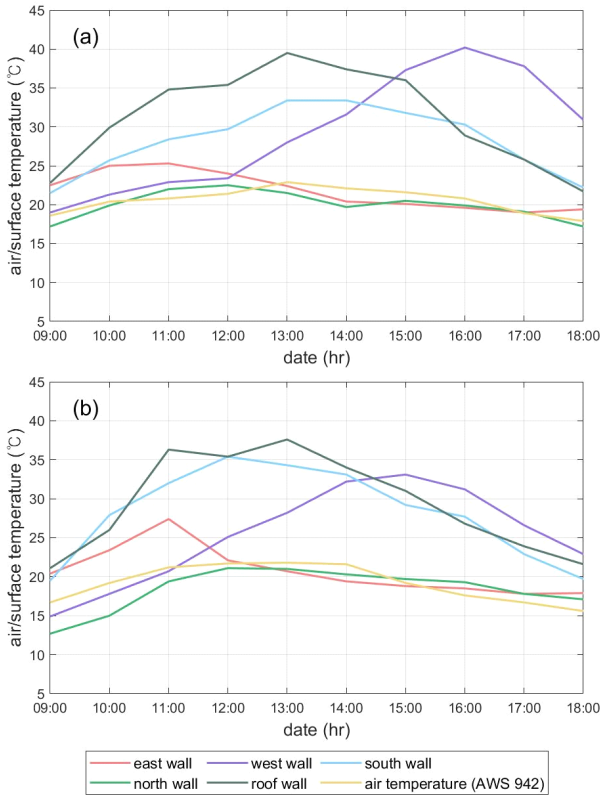


Fig. 9. Building surface temperatures of the target building and air temperatures measured at AWS 942 on (a) October 14, 2022, and (b) October 28, 2022.

지붕면 일 최고 표면 온도는 10월 14일과 28일 모두 13시에 나타났고, 각각 39.5°C와 37.6°C로 측정되었다. 북쪽 벽면은 12시에 일 최고 표면 온도가 나타났다(14일: 22.5°C, 28일: 21.1°C). 남쪽 벽면의 경우, 10월 14일에는 13시에, 10월 28일에는 12시에 일 최고 표면 온도가 나타났고, 각각, 33.4°C와 35.4°C이다. 일조가 지속된 지붕면, 남쪽 벽면과 일조가 나타나지 않은 북쪽 벽면에서는 11시 또는 12시에 최고 온도가 나타났다. 남쪽 벽면은 8시부터 17시, 지붕면은 8시부터 18시까지 일조가 나타났다. 동쪽 벽면에서는 10월 14일과 28일 모두 11시에 일 최고 표면 온도가 나타났고, 서쪽 벽면에서는 10월 14일에는 16시에, 10월 28일에는 15시에 최고 표면 온도가 측정되었다. 이는 동쪽 벽면은 7시와 13시 사이에, 서쪽 벽면은 13시와 18시에 일조가 발생하기 때문으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 대학 캠퍼스에 위치한 건물의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면과 지붕면에 대한 일조 시간을 건물 표면 온도와 함께 2일간 분석하였다. 일조 시간을 분석하기 위해서 태양 방위각과 고도각을 계산하고, 건물과 지형 자료를 이

용하여 1분 간격으로 일조 여부를 판단하는 일조 모델을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 일조 모델 성능은 한국천문연구원에서 제공하는 자료를 이용하여 태양 방위각과 고도각을 검증하였고, 시간별 일조 발생 여부에 대한 측정 자료를 이용하여 일조 모델을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 일조 모델은 일조 시간을 분석하기에 적절한 결과를 나타내었다. 또한 건물 표면 온도는 열 화상 카메라를 이용하여 건물의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽 벽면과 지붕면을 9시부터 18시까지 1시간 간격으로 측정하였다.

건물면의 일조 시간과 표면 온도는 높은 상관 관계가 있었다. 일조 시간이 가장 짧은 건물 북쪽 벽면의 표면 온도가 가장 낮았고, 일조 시간이 가장 길었던 건물 지붕면 표면 온도가 가장 높았으며, 두 건물면의 평균 표면 온도 차는 약 11°C이다. 또한 일조 시간에 따라 최고 표면 온도가 나타나는 시간도 변화하였다. 일조 영향을 지속적으로 받은 지붕면과 남쪽 벽면, 일조가 나타나지 않은 북쪽 벽면의 표면 온도는 11시~12시에 가장 높았고, 일조가 주로 오전에 나타나는 동쪽 벽면의 표면 온도는 11시에, 일조가 오후에 나타나는 서쪽 벽면의 표면 온도는 15시에 가장 높았다.

본 연구에서는 2일 동안 일조 시간과 지표면 온도를 분석하여 두 기상 요소의 유의미한 관계가 있다는 것을 확인하였다. 다만, 일조 시간과 지표면 온도는 계절에 따라 특성이 크게 달라지므로 계절별 분석을 수행하고, 더 많은 지점을 분석한다면 두 요소의 관계를 더 자세히 밝힐 수 있고, 도시 열환경에 대한 이해를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 수평 해상도를 10 m로 수행하였지만, 더 높은 해상도로 모의한다면, 일조 모델의 성능이 더 개선될 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(RS-2024-00341302). 또한 이 논문은 2024학년도 국립부경대학교의 글로벌 공동연구 지원을 받아 수행된 연구입니다(202412150001).

REFERENCES

- Berry, R., Livesley, S.J. and Aye, L., 2013, Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and environment*, 69, 91-100.
- Cao, Q., Yang, L., Liu, Y. and Wang, S., 2023, Development criterion of estimating hourly global solar radiation for all sky conditions in China. *Energy Conversion and Management*, 284, 116946.
- Chang, K. and Zhang, Q., 2020, Development of a solar radiation model considering the hourly sunshine duration for all-sky con-

- ditions-A case study for Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 234, 117617.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U. and He, Z., 2012, Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32, 121-136.
- Chen, Y., Wu, J., Yu, K. and Wang, D., 2020, Evaluating the impact of the building density and height on the block surface temperature. *Building and Environment*, 168, 106493.
- Choi, B., Jeon, H.S., Yoon, S., Kim, S., Lee, S.J. and Kim, S., 2012, Effects of daylight and solar radiation on indoor thermal environment according to space structures in multi-complex cultural center. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 24, 751-758 (in Korean with English abstract).
- Du, K., Ning, J. and Yan, L., 2020, How long is the sun duration in a street canyon?—Analysis of the view factors of street canyons. *Building and environment*, 172, 106680.
- Huang, X., Li, C. and Zhuang, Z., 2021, Analysis of height-to-width ratio of commercial streets with arcades based on sunshine hours and street orientation. *Applied Sciences*, 11, 1706.
- Kang, J.E., Lee, S.H., Hong, J.K. and Kim, J.J., 2024, Computational Fluid Dynamics Simulation of High-Resolution Spatial Distribution of Sensible Heat Fluxes in Building-Congested Area. *Atmosphere*, 15, 681.
- Kang, J.E., Park, S.J. and Kim, J.J., 2018, A Study on the Sunshine Environment Around Urban Redevelopment Area Using a GIS Data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 34, 749-762 (in Korean with English abstract).
- Kantzioura, A., Kosmopoulos, P. and Zoras, S., 2012, Urban surface temperature and microclimate measurements in Thessaloniki. *Energy and buildings*, 44, 63-72.
- Kim, E.R., Park, S.J., Kim, J.J. and Nam, K.Y., 2014, Assessment of 3-Dimensional Sunshine Environment Using Geographical Information System Data around Pukyong National University. *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies*, 17, 116-131 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.I., Kim, D.Y. and Kim, J.J., 2020, Assessment of Sunshine Environment for Construction of High-rise Buildings. *Journal of the Korean Society for Environmental Technology*, 21, 259-266 (in Korean with English abstract).
- Liu, L., Wu, Q., Li, X., Song, R., Wei, N., Liu, J., Yuan, J., Yan, S., Sun, X., Liang, Y., Li, Y., Jin, X., Wu, Y., Mei, L., Song, J., Yi, W., Pan, R., Cheng, J. and Su, H., 2023, Sunshine duration and risks of schizophrenia hospitalizations in main urban area: Do built environments modify the association?. *Science of The Total Environment*, 871, 162057.
- Mathew, A., Khandelwal, S. and Kaul, N., 2018, Analysis of diurnal surface temperature variations for the assessment of surface urban heat island effect over Indian cities. *Energy and Buildings*, 159, 271-295.
- Meeus, J., 1998, *Astronomical Algorithms*. William-Bell, Richmond, Virginia, USA.
- Middel, A., Lukaszcyk, J. and Maciejewski, R., 2017, Sky view factors from synthetic fisheye photos for thermal comfort routing-a case study in Phoenix, Arizona. *Urban Planning*, 2, 19-30.
- Morakinyo, T.E., Dahanayake, K.K.C., Adegun, O.B. and Balogun, A.A., 2016, Modelling the effect of tree-shading on summer indoor and outdoor thermal condition of two similar buildings in a Nigerian university. *Energy and Buildings*, 130, 721-732.
- Pan, W. and Du, J., 2022, Effects of neighbourhood morphological characteristics on outdoor daylight and insights for sustainable urban design. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21, 342-367.
- Park, J.K., Das, A. and Park, J.H., 2015, A new approach to estimate the spatial distribution of solar radiation using topographic factor and sunshine duration in South Korea. *Energy conversion and management*, 101, 30-39.
- Park, S.J. and Kim, J.J., 2014, Blocking Effects of Buildings on Sunshine Duration at Seoul and Daegu ASOSs. *Atmosphere. Korean Meteorological Society*, 24, 17-27 (in Korean with English abstract).
- Perini, K. and Magliocco, A., 2014, Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 495-506.
- Schlyter, P., 2010, Computing planetary positions - a tutorial with worked examples, <http://www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html> (June 10, 2024).