

부경대학교 주변 지역의 지리정보시스템 자료를 이용한 3차원 일조 환경 평가

김은령¹ · 박수진¹ · 김재진^{1*} · 남경엽²

Assessment of 3-Dimensional Sunshine Environment Using Geographical Information System Data around Pukyong National University

Eun-Ryoung KIM¹ · Soo-Jin PARK¹ · Jae-Jin KIM^{1*} · Kyung-Yeub NAM²

요 약

본 연구에서는 3차원 지형·지물의 일조 차단 효과를 반영한 일조 모델을 이용하여 도시 지역의 일조 환경을 분석하였다. 기존의 일조 모델은 격자셀 단위로 일조 차단 유무를 판별하기 때문에, 건물이나 지형물 모서리 부분의 일조 유무를 판단 할 때에는 오차가 유발될 수 있었다. 본 연구에서는 기존의 격자셀 단위의 일조 판별 알고리즘을 격자셀의 면 단위로 개선하였다. 개선된 일조 모델과 부산광역시 대연동 일부 지역에 대한 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 자료를 이용하여 계절별·시간별 일조 환경을 분석하였다. 3차원 지형 자료에 대한 계절별 일조 환경을 분석한 결과, 대상 지역 내에 위치한 아파트 단지, 고층 건물, 지형 등의 영향으로 일조량 변화가 발생하였다.

주요어 : 지리정보, 3차원 공간 일조 환경, 일조 모델, 고층 건물

ABSTRACT

In this study, sunshine environment in an urban area is analyzed using a numerical model which considers sunshine-duration blocking by topography and buildings. The numerical model used in this study has an improvement in the algorithm detecting sunshine duration in the model domain. The main improvement in the algorithm is to detect sunshine duration using all the surfaces of any grid cell(the previous model

2014년 6월 30일 접수 Received on June 30, 2014 / 2014년 8월 2일 수정 Revised on August 2, 2014 /
2014년 9월 11일 심사완료 Accepted on September 11, 2014

1 부경대학교 환경대기과학과 Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University

2 국립기상연구소 응용기상연구과 Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research

* Corresponding Author E-mail : jjkim@pknu.ac.kr

uses the center of any grid cell). The improvement in the algorithm gives more accurate evaluation of sunshine duration at corner surfaces of buildings. Using the improvement model and geographic information system(GIS) data, sunshine environment is analysed at an building-congested area in Busan for a week in four seasons. The results show that sunshine duration can be much changed by apartment complexes, high-rise buildings, topography in the model domain.

KEYWORDS : *Geographic Information, 3-Dimensional Sunshine Environment, Numerical Model, High-Rise Building*

서 론

운량과 날씨에 대한 지표로 사용되는 일조 시간은 천문학적 요인, 기상학적 요인, 지형적 요인 등의 영향을 받기 때문에 지역에 따라 다양하다. 공전궤도 상의 지구 위치, 위도, 경도에 의해 결정되는 태양 고도각과 방위각은 천문학적 요인으로 일조 시간에 대해 주기적으로 영향을 미친다. 대기 중의 에어로졸이나 구름은 기상학적 요인으로 일조 시간에 미치는 영향을 예측하기 쉽지 않지만, 지형이나 건물이 특정 지역의 일조 시간에 미치는 영향은 평가와 예측이 가능하다(Rebetez and Beniston, 1998; Kaiser and Qian, 2002; Liu *et al.*, 2002; Darula and Kittler, 2004; Hwang and Lee, 2006; Kandirmaz, 2006; Kim and Kim, 2006; Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2008; Park and Kim, 2014). 특히, 도시 지역의 대규모 건설 공사에 따른 지형 변화와 건물 변화는 인근 지역의 일조 환경에 영향을 미치고(Kim *et al.*, 2013; Park and Kim, 2014), 이에 따른 일조 시간과 일조량 변화는 국지 기상 현상에 영향을 미친다(Rebetez and Beniston, 1998; Du *et al.*, 2013). Du *et al.*(2013)은 일조 시간과 평균 풍속의 감소가 계기증발량 감소에 중요한 역할을 하는 것을 밝혔고, 일조 시간 증가는 지면의 수분 증발량 증가의 원인이 되어 지표 온도를 증가시키는 원인이 된다고 분석하였다. 지표 온도의 변화는 대기의 국지적 흐름과 기온에 영향을 미치기 때문에, 일조 환경 변

화에 따른 일조량 변화는 국지 기상에 직접적 영향을 줄 수 있다(Han *et al.*, 2010). 일조량은 인간 생활과 식물의 생육 환경에도 매우 중요한 영향을 미친다. 일조량이 부족하면 주거 공간 내부에 결로 현상이 발생하기 쉽고, 곰팡이 발생 확률이 높아지기도 하며, 세탁물 건조나 난방에 따른 에너지 소비량 증가를 야기할 수 있다. 또한, 일조는 식물의 광합성, 조직이나 기관의 분화, 종자 발달 등 식물의 생육에 큰 영향을 미친다(Kim, 2004; Um *et al.*, 2011). 따라서 대규모 건설공사가 예정되어 있거나 이미 마무리된 지역에 대해 지형이나 건물 변화에 따른 일조 환경 평가가 필요하다.

지형과 건물에 의한 일조 차폐에 대한 분석기법으로는 태양의 방위각과 고도각과 수평 일영도를 이용한 일조권 분석 기법(Ku *et al.*, 1997), 라이다(light detection and ranging, LIDAR) 자료와 수치지도를 이용한 지형자료 구축과 태양의 방위각과 고도각을 이용하여 그림자 영역을 계산하는 기법(Yun, 2005; Sin and Kim, 2009) 등이 있다. 대부분의 선행 연구들은 상용화된 프로그램을 이용하였는데, 주로 건물의 형태와 배치에 따른 일조 환경을 분석하였다(Kim and Kim, 2006; Hwang and Lee, 2006; Park and Kang, 2007). Park and Kim(2014)은 유인 기상관측소의 일조 환경을 분석하기 위해 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 자료를 이용한 일조 모델을 개발한 바 있다. 이 모델은 관측한 일조 시간과 모델이 계산한 일조 시간 비교를 목적으로 한 것으로 수치 도면 내에 위치한 특

정한 일조 관측점에 대한 일조 시간만을 예측할 수 있는 한계를 갖고 있다.

본 연구에서는 Park and Kim(2014)의 모델을 확장하여 수직 도면 내의 모든 3차원 공간에 대한 일조 환경을 평가할 수 있도록 개선하였다. 또한 격자셀 중심점을 이용한 일조 유무를 격자셀 면을 기준으로 판별함으로써 건물이나 지형의 모서리 부분에서 발생할 수 있는 오차를 제거하도록 개선하였다. 이 모델을 이용하여 부산광역시 부경대학교 인근 지역에 대해 일조 모델을 수행하고, 이 지역의 일조 환경을 분석하였다.

연구 방법

1. 관측지점 및 대상일

본 연구에서는 산악 지형과 고층 건물이 다수 위치하여 일조 차단 영향이 클 것으로 예

상되는 부산광역시 부경대학교 주변 지역을 대상 지역으로 선정하였다. 대연동 자동기상관측기(automatic weather station, AWS)의 좌표인 위도 129° 6′ 20.31, 경도 35° 8′ 39.00을 중심으로 수평적으로 2km×2km의 지역을 대상 지역으로 설정하였다(그림 1). 대상 지역의 동쪽에는 바다가 위치하고, 북서쪽에는 최고 높이 427m인 황령산이 위치한다. 대상 지역 내에 포함된 황령산의 최고 높이는 147m이다. 대상 지역 중심에는 부경대학교와 주택가가 위치하고, 남동쪽과 북동쪽으로는 각각 최고 39층, 26층의 고층 아파트 단지(apartment complex A, B)가 대연 AWS를 중심으로 각각 960m, 500m 거리에 위치한다. 대연 AWS의 북북동쪽으로 500m 지점과 북북서쪽으로 550m 지점에는 각각 2개동(42층과 41층)으로 건축된 고층 건물(Tower A)과 최고 40층의 고층 아파트 단지(apartment complex C)가

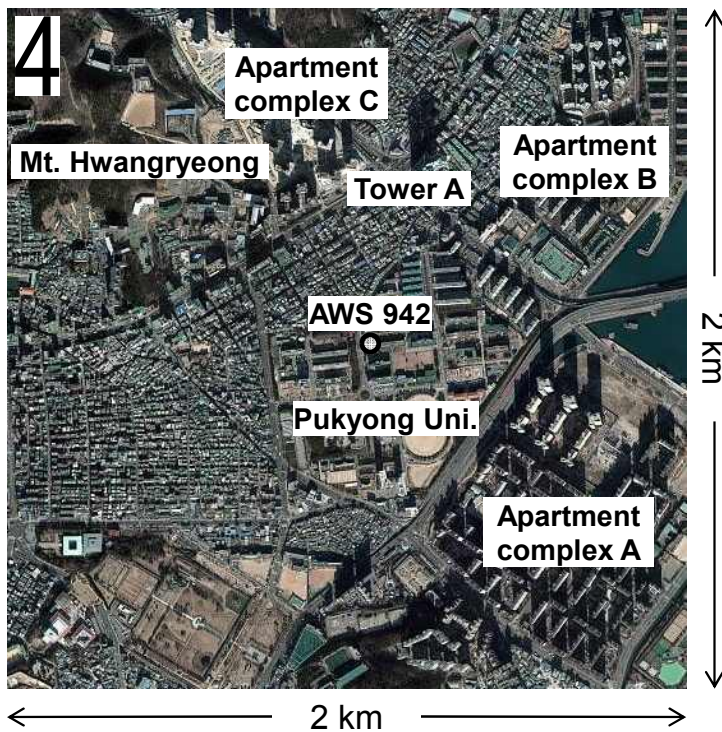


FIGURE 1. The picture of the target area

위치한다. 앞에서 언급하였듯이, 본 연구에서 선정한 부경대학교 인근 지역은 고층 건물과 지형에 의해 일조가 차단되는 영역이 많을 가능성이 높다. 특히, 겨울철과 여름철 일출 시간에는 각각 남동쪽과 북동쪽에 위치한 고층 건물에 의해 일조가 차단될 가능성이 크다.

본 연구에서는 GIS 자료를 이용하여, 지형과 건물에 대한 3차원 지표 경계 입력 자료를 구축하였다. 2009년에 제작된 1:5000 축척의 수치지도(version 2.0)를 사용하였기 때문에, 2013년 6월에 준공된 혁신지구(apartment complex C)는 포함되지 않는다. 본 연구에서는 건물과 지형에 의한 일조 환경을 평가하기 위해서 전운량을 0%로 가정하였고, 이 가정 하에서 계절별 영향을 고려하기 위하여 2013년 춘분(3월 20일), 하지(6월 21일), 추분(9월 23일), 동지(12월 22일)를 기준으로 각각 일주일 동안(3월 17~23일, 6월 18~24일, 9월 20~26일, 12월 19~25일) 일조 환경을 분석·예측하였다.

2. 일조 모델과 실험 설계

본 연구에서 사용한 일조 모델은 Schlyter (2010)가 제안한 계산 방법에 의해 태양 방위각과 고도각을 계산한다. 대상 지점(위도와 경

도)과 대상일을 기준으로 줄리안데이(Julian day)를 계산하고, 황도 경사각, 원일점, 근일점, 평균 근점이각, 승교점 경도 등의 태양궤도 요소 값을 계산하여 지구를 중심으로 황도면에서 회전하는 태양의 위치를 계산한다. 이심률과 이심 근점각을 사용하여 태양과 지구의 거리를 계산하고, 태양의 적경과 적위를 이용하여 태양 고도각과 방위각을 계산한다. 행성 위치 계산법에 대한 자세한 설명은 Schlyter(2010)에 기술 되어있다.

GIS 자료를 사용하여 대상 지점에 대한 3차원 지표 경계 입력 자료를 구축하였다. GIS 자료가 정확하고 상세한 지형 정보를 포함하고 있으므로, 실제 지역에 대한 3차원 지표 경계 자료를 구축하는데 사용되고 있다(Park *et al.*, 2004; Baik *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2009; Lee and Kim, 2011, Kim and Jung, 2013). ArcGIS(version 9.3)를 이용하여 GIS 자료로부터 대상 지역의 건물 자료와 등고선 자료를 추출하고, 등고선 자료에 대한 내삽법을 이용하여 모든 수평 격자점에 대한 높이 자료를 구축한다(그림 2). 생성된 등고선과 건물 높이 자료를 중첩하고 대상 지역의 3차원 지표 경계 입력 자료를 생성한다(그림 3). 3차원 지표 경계와 일조 차단 유무 판별을 위해 MATLAB

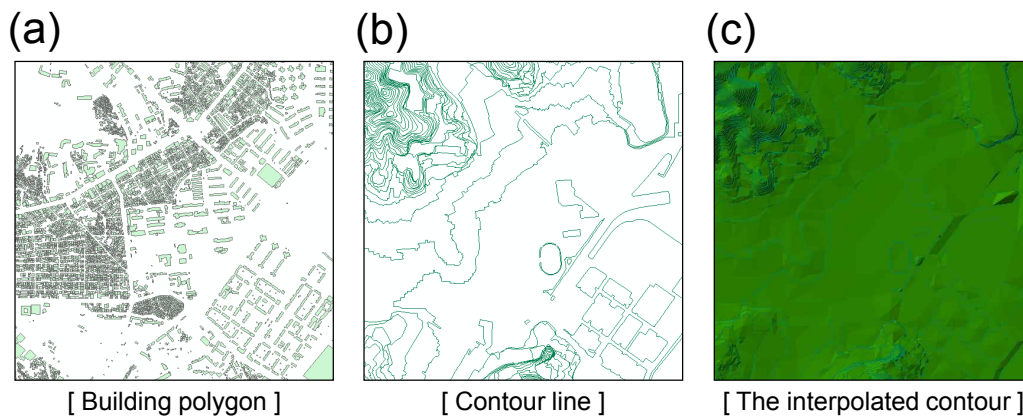


FIGURE 2. Data for (a) the building polygon and (b) topography and (c) topography constructed after bilinear interpolation for the target area

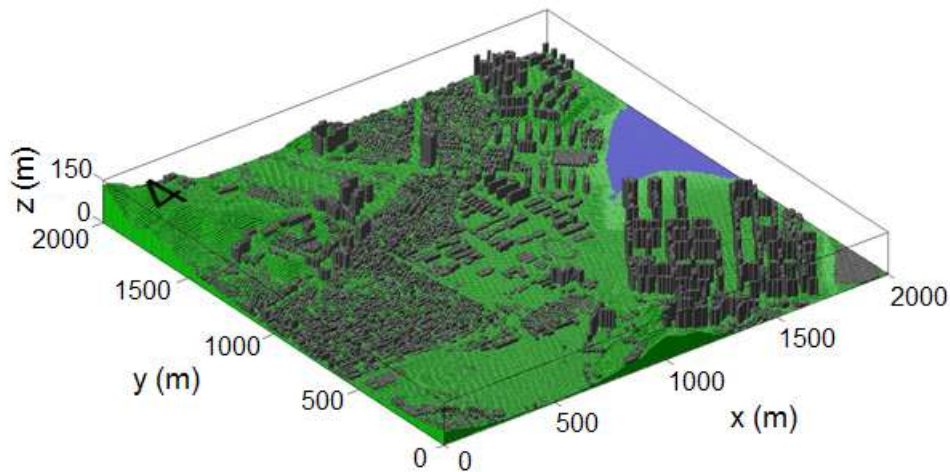


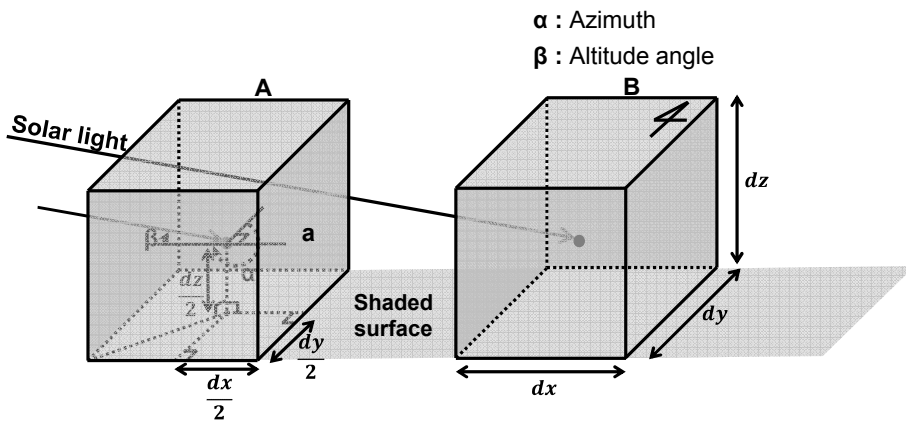
FIGURE 3. Three dimensional numerical topography and buildings for the target area

(version 7.1)을 이용하여 가시화 하였다.

Park and Kim(2014)이 개발한 일조 모델은 Fortran 90 프로그램을 이용하여 다음 단계를 거치면서 대상 영역 내의 특정 지점에 대한 일조 여부를 결정한다. 먼저, Schlyter(2010) 방법으로 계산한 태양 방위각과 고도각 자료와 GIS 자료로부터 만들어진 3차원 지형 자료를 이용하여 일조 차단 영역을 계산한다. 모든 격자점에 대해 격자점 중심을 잇는 태양의 방위각과 고도각을 계산하여 건물의 방위각과 고도각을 비교한다. 건물이나 지형을 구성하는 격자점 내에 태양 방위각이 위치하고, 태양 고도각이 건물이나 지형 고도각보다 작으면, 해당 격자점에서 일조가 차단되는 것으로 판단한다. 이 과정을 반복적으로 계산하여, 각 격자점에 대한 일조 차단 여부를 결정한다. 이 일조 모델은 건물이나 지형을 구성하는 기본 단위인 격자셀의 중심점을 기준으로 일조 유무를 판별하기 때문에, 격자셀의 서로 다른 면에 일조와 일조 차단이 동시에 발생하는 경우에는 이들을 구분할 수 없다는 한계를 갖는다. 그림 4(a)는 1개의 격자셀로 표현된 건물의 일조 차단 유무를 판단하는 과정을 기술한다. 태양 쪽에 위치한 건

물 A의 경우, 태양 방위각과 고도각을 기준으로 판별한 경우에는 일조 차단이 일어나지 않지만, 태양 반대편 건물 표면 a는 일조가 차단되기 때문에, 모든 건물면에서 일조가 차단되는 것으로 판별된다. 태양 반대쪽에 위치한 건물 B의 경우, 건물 옥상면은 일조가 차단되지 않지만, 건물 A에 의해 일조가 차단되는 것으로 판별되기 때문에, 모든 건물면에서 일조가 차단되는 것으로 판별된다. 그림 4(b)는 여러 개의 격자셀로 표현된 건물면의 일조 차단 여부와 건물에 의한 일조 차단 여부를 판별하는 예를 나타낸다. 일조 차단이 일어나지 않은 건물 C의 옥상 모서리 부분과 건물 D의 옥상 모서리 부분에서 일조가 차단되는 것으로 잘 못 판별된 것을 확인할 수 있다. 개선된 일조 모델은 셀 단위가 아닌 각 셀의 면 단위로 일조 여부를 결정함으로써 기존의 일조 모델이 갖는 한계를 극복하였다. 그림 5(a)는 1개의 격자셀로 표현된 건물에서 각 면에 대해 일조 차단 유무를 판단하는 과정을 기술한다. 각 셀의 5개 면(윗면 1개 면, 옆면 4개 면)에 대하여 Park and Kim(2014)와 같은 방법을 사용하였다. 태양 쪽에 위치한 건물 A의 경우, 태양 반대편

(a)



(b)

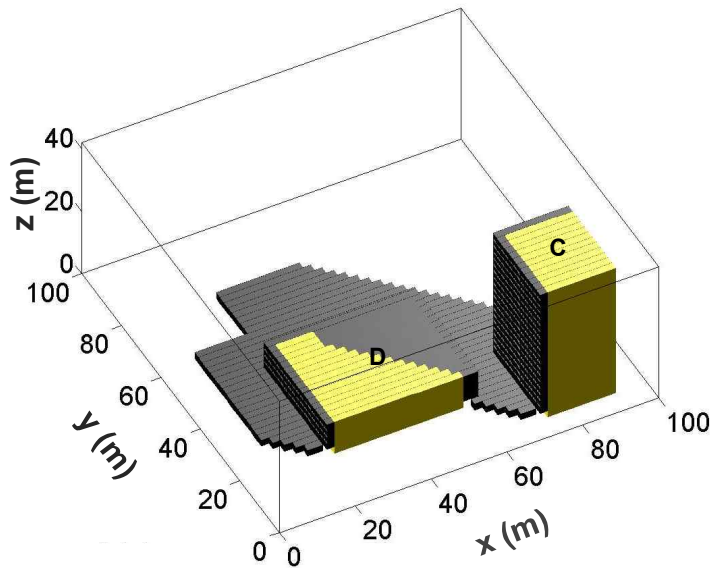
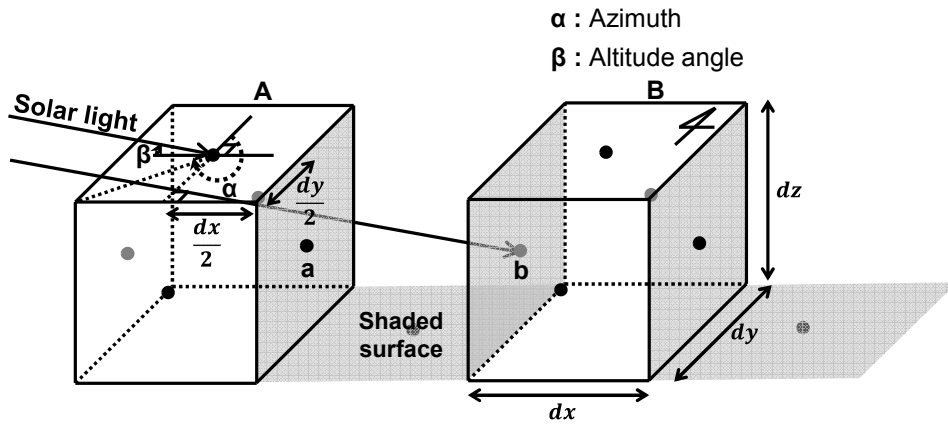


FIGURE 4. Shadow detection by Park and Kim(2014): (a) a schematic diagram (b) a simulated example

건물 표면 a에서만 일조가 차단된다. 태양 반대쪽에 위치한 건물 B의 경우, 건물 A에 의해 일조가 차단되는 건물 표면 b와 태양 반대쪽에 위치한 건물 표면 b에서 일조가 차단된다. Park and Kim(2014)의 방법과 비교하여, 건물 C와 D의 옥상 모서리 부분에서 발생하는 일

조 차단 오류는 수정된 방법에서 나타나지 않는다(그림 5(b)). 이러한 수정된 방법은 기존의 일조 모델에서 나타났던 단점을 극복하여 보다 상세한 일조 차단 영역의 판별을 가능하게 하였다.

(a)



(b)

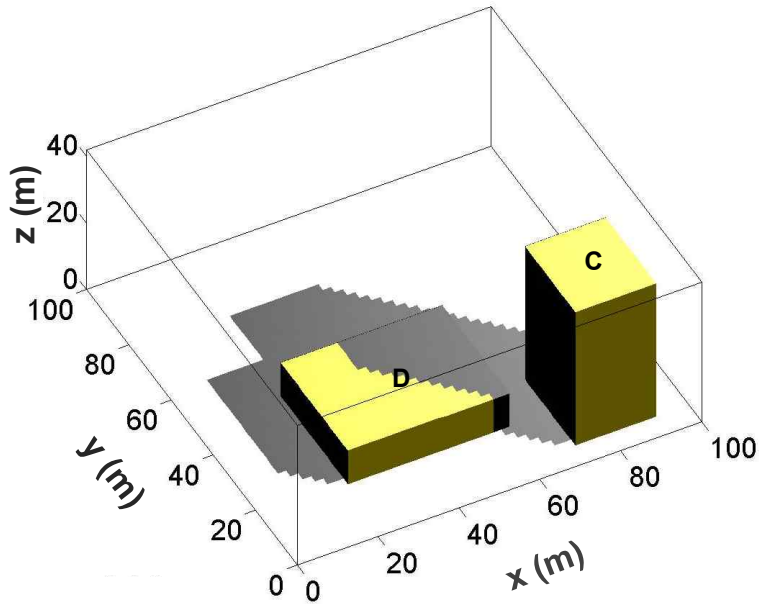


FIGURE 5. Shadow detection by the proposed method: (a) a schematic diagram (b) a simulated example

대상 지점에 대한 격자 해상도는 동서, 남북, 연직 방향으로 10m, 10m, 5m이다. 부경대학교 내의 대연 AWS를 중심으로 동서, 남북 방향으로 200개의 격자를 고려하였다. 연직 방향

의 경우, 대상 지역 내의 건물과 지형 높이를 고려하여 53개의 격자를 고려하였다. 수치 계산은 1시간 간격으로 수행하였다.

3. 일조 모델 검증

태양 방위각과 고도각에 대한 검증을 위해 한국천문연구원(Korea Astronomy and Space Science Institute, KASI)에서 제공하는 시간별 자료를 이용하여, 태양 방위각과 고도각에 대한 계산 결과를 검증하였다. 검증 대상 기간은 2013년 3월 17일부터 23일까지, 6월 18일부터 24일까지, 9월 20일부터 26일까지, 12월 19일부터 25일까지로 각각 00시부터 23시까지 1시간 간격이다. 그림 6은 대연 AWS 위치(위도 129° 18' 20.31, 경도 35° 8' 39.00)에서 검증 대상 기간에 대하여, 한국천문연구원 자료와 일조 모델로 시뮬레이션한 태양 방위각과 고도각 차이를 나타낸다. 검증 대상 기간 동안 태양 방위각과 고도각 차이는 각각 최대 0.14°, 0.98° 로 1° 이하의 오차가 나타났다. 태양 방위각과 고도각의 평균제곱근오차(Root

Mean Square Error, RMSE)는 각각 0.18°, 0.33° 이다. 낮(07시~18시)과 밤(00시~06시, 19시~23시)에 대한 태양 고도각의 평균제곱근 오차는 각각 0.15°, 0.45° 로, 낮 시간에 더 정확하게 시뮬레이션 되었다. 본 연구에서 사용한 행성위치계산법(Schlyter, 2010)과 한국천문연구원에서 사용한 행성위치계산법(Meeus, 1998)이 다르기 태양 방위각과 고도각 계산 결과에 오차가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 계산한 태양 방위각과 고도각은 전반적으로 정확하고, 일조 모델에서 사용하기에 적절한 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2013; Park and Kim, 2014). 본 연구에서는 개선된 일조 모델을 이용하여 대상 지역의 전체적인 일조 환경 및 고층 아파트 단지의 일조 환경을 분석하였다.

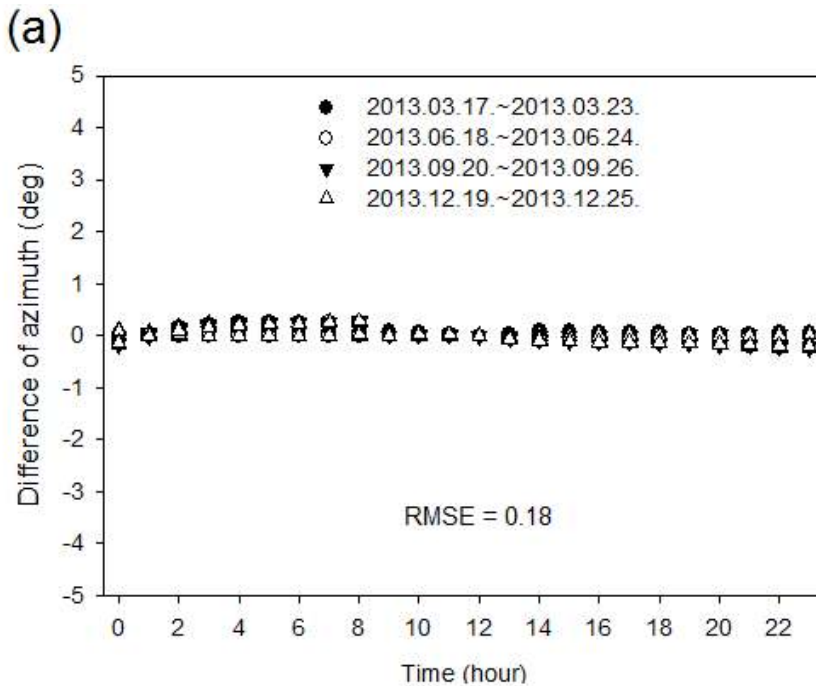


FIGURE 6. The difference in (a) solar azimuth and (b) altitude angles calculated by KASI and this study at Deayeon AWS. RMSE means a root mean square error

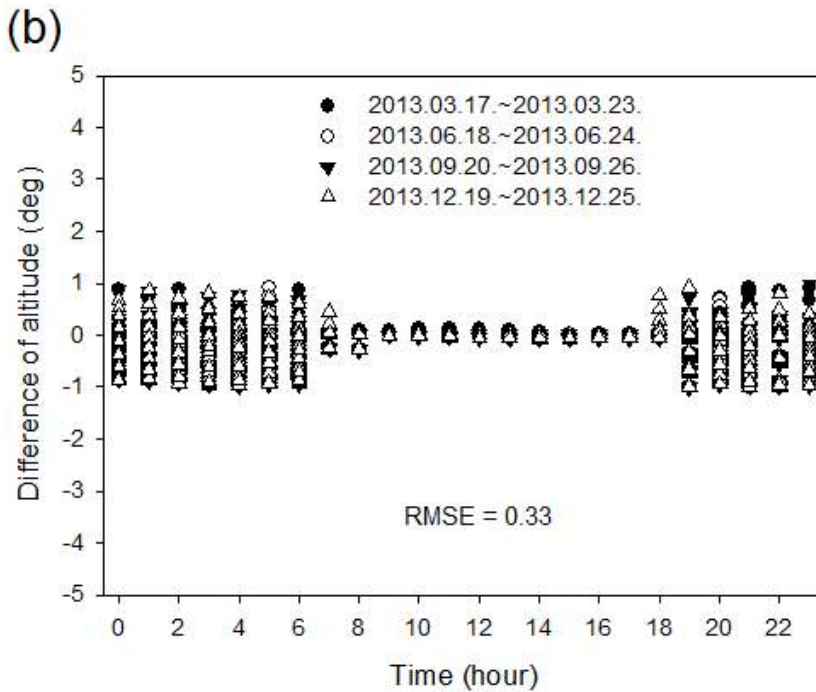


FIGURE 6. Continued

결과 및 고찰

본 연구에서는 부산광역시 부경대학교 내에 위치한 대연 AWS를 중심으로 설정한 대상 지역에서 일조 차단 영역을 중심으로 일조 환경 특성을 분석하였다. 그림 7은 각 계절별로 일주일 동안, 대상 지역 내의 일조 차단 영역 비율을 나타낸다. 2차원 그림 영역 비율은 지면(x-y 평면)에서 조사한 그림자의 표면적 비율을 나타내고, 3차원 그림자 비율은 건물 표면에 생기는 그림자까지를 모두 포함한 비율을 나타낸다. 태양의 남중 고도가 가장 높은 여름철 낮 시간대에는 지면에 발생하는 그림자 비율은 5% 미만이지만, 건물 표면에 생기는 그림자를 포함하면 30% 이상이다. 반면, 겨울철에는 낮 시간대에도 지면을 기준으로 10%의 그림자가 발생하고 건물 표면에 생기는 그림자를 포함하면 40%로 일조량 차단이 가장 많음을 확인할 수 있다. 계절적으로 지면에 생기는 그림자 비

율은 평균적으로 겨울-봄-가을-여름(40%-34%-29%-19%) 순으로 높게 나타났다. 건물 표면에 생기는 그림자까지를 포함한 경우에도 겨울-봄-가을-여름(60%-55%-45%-52%) 순으로 높게 나타났으며, 그 변동성은 지면의 그림자 비율보다 낮다. 태양 입사 방향 반대편 건물 표면에 발생하는 일조 차단 영역 때문에 건물 표면의 그림자 비율이 지면에 생기는 그림자 비율보다 항상 높게 나타난다. 고층 건물이 많은 지역일수록, 건물 밀도가 높을수록 두 비율의 차이는 크게 나타난다. 여름철에 일조 차단이 가장 많이 발생한 시각은 6월 22일 5시(일출 시각: 5시 8분)이고, 2차원과 3차원 표면적에 대하여 대상 영역 대비 각각 57.46%, 73.96%의 일조 차단이 발생하였다. 겨울철에 일조 차단이 가장 많이 발생한 시각은 12월 19일 17시(일몰 시각 17시 13분)이고, 2차원과 3차원 표면적에 대하여 각각 86.85%, 90.57%이다.

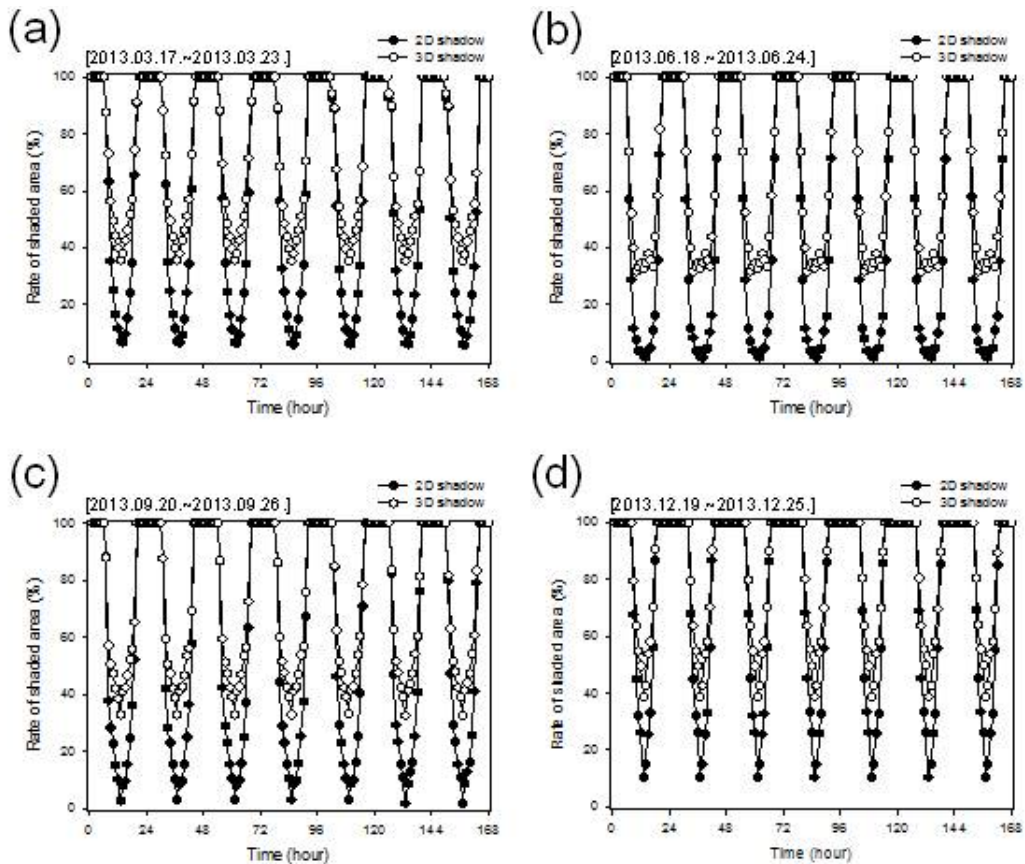


FIGURE 7. The 2D and 3D shadows for the periods of (a) March 17~23, 2013 (b) June 18~24, 2013 (c) September 20~26, 2013 and (d) December 19~25, 2013.

2D shadow means the ratio of the shadow area on the horizontal domain surface to whole domain area and 3D shadow means the ratio of the shadow area on building walls as well as the horizontal domain surface to whole domain area.

그림 8은 2013년 춘분(3월 20일), 하지(6월 21일), 추분(9월 23일), 동지(12월 22일)의 08시에 시뮬레이션한 2차원 일조 분포를 나타낸 것이다. 춘분(일조 시간: 6시 26분)에는 남동쪽에 위치한 아파트 단지(apartment complex A)에 의해 서북서쪽으로 약 200m 떨어진 지역까지 일조가 차단된다. 대연 AWS의 동북동쪽에 위치한 아파트 단지(apartment complex B)에 의해 아파트 단지의 북서쪽에 위치한 주거 지역에 일조가 차단되었다(그림 8(a)). 춘분에는 대상 지역에 대하여 32.82%

(1,312,900m²)의 일조 차단이 발생하였다. 하지(일조 시간: 5시 8분)에는 다른 세 날과 비교하여 태양 고도가 가장 높기 때문에, 다른 세 날에 비해 그림자가 짧고, 일조 차단 영역도 상당 부분 감소하였다. 남동쪽에 위치한 아파트 단지(apartment complex A)는 부경대학교까지 영향을 미치지 못함을 알 수 있다(그림 8(b)). 하지는 대상 지역에 대하여 11.72%(468,900m²)의 일조 차단이 발생하였다. 추분(일조 시간: 6시 11분)에는 일조 차단 영역이 대상 지역의 29.04%(1,161,500m²)로 춘분 때

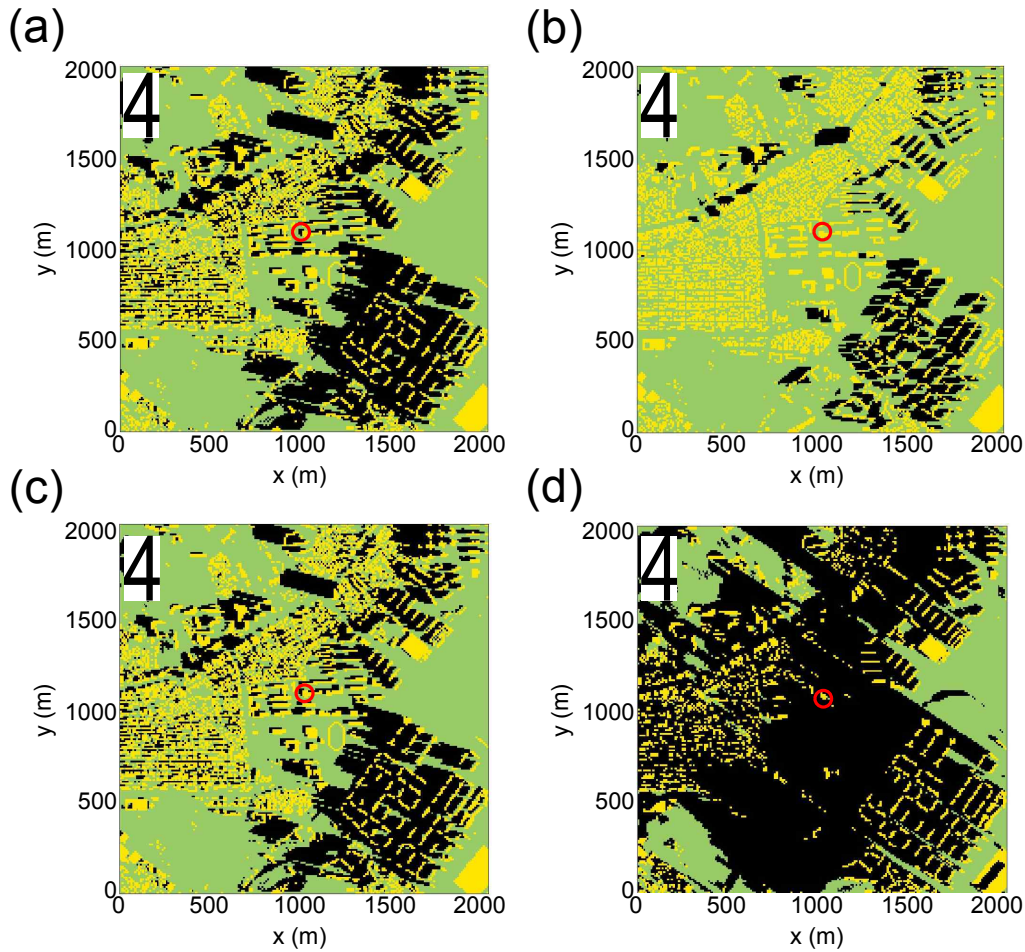


FIGURE 8. 2D shadow areas at 8:00 AM on (a) March 20, 2013 (b) June 21, 2013 (c) September 23, 2013 and (d) December 22, 2013. The circle indicates Deayeon AWS

와 비슷하다(그림 8(a)와 8(c)). 동지(일조 시간: 7시 27분)에는 태양의 고도가 세 날과 비교하여 가장 낮기 때문에, 다른 세 날에 비해 그림자가 가장 길고, 대연 AWS의 남동쪽에 위치한 아파트 단지(apartment complex A)에 의해 부경대학교 대부분 지역에서 일조가 차단되었다. 그러나 대연 AWS 지점은 아파트 단지에 의한 일조 차단이 발생하지 않음을 알 수 있다. 또한, 대연 AWS의 남쪽에 위치한 언덕에 의해 대연 AWS의 남서쪽에 위치한 주거 지역에서 일조가 차단되었다(그림 8(d)). 동지에

는 대상 지역에 대하여 68.41%(2,736,200m²)의 일조 차단이 발생하였다.

2차원 일조 분포의 경우, 지형 고도를 판별하기 어렵고, 건물 측면에 대한 일조 영역을 판별하는데 한계가 있다. 따라서 빛의 입사 방향에 따른 건물 측면의 일조 차단 영역을 분석하기 위하여, 2013년 춘분(3월 20일), 하지(6월 21일), 추분(9월 23일), 동지(12월 22일)의 8시에 시뮬레이션한 3차원 일조 분포를 나타내었다(그림 9). 건물 측면에 대한 일조 분포를 고려하기 위하여, 대연 AWS의 남동쪽에 위치한

아파트 단지(apartment complex A)를 자세히 분석하였다. 춘분날 8시(방위각: $103^{\circ} 47' 23.28$)는 태양이 아파트 단지의 동남동쪽에 위

치하기 때문에, 아파트 건물의 북쪽면과 서쪽면은 모두 일조가 차단되고, 아파트 단지 내부 건물의 동쪽면과 남쪽면은 남동쪽에 위치한 아파

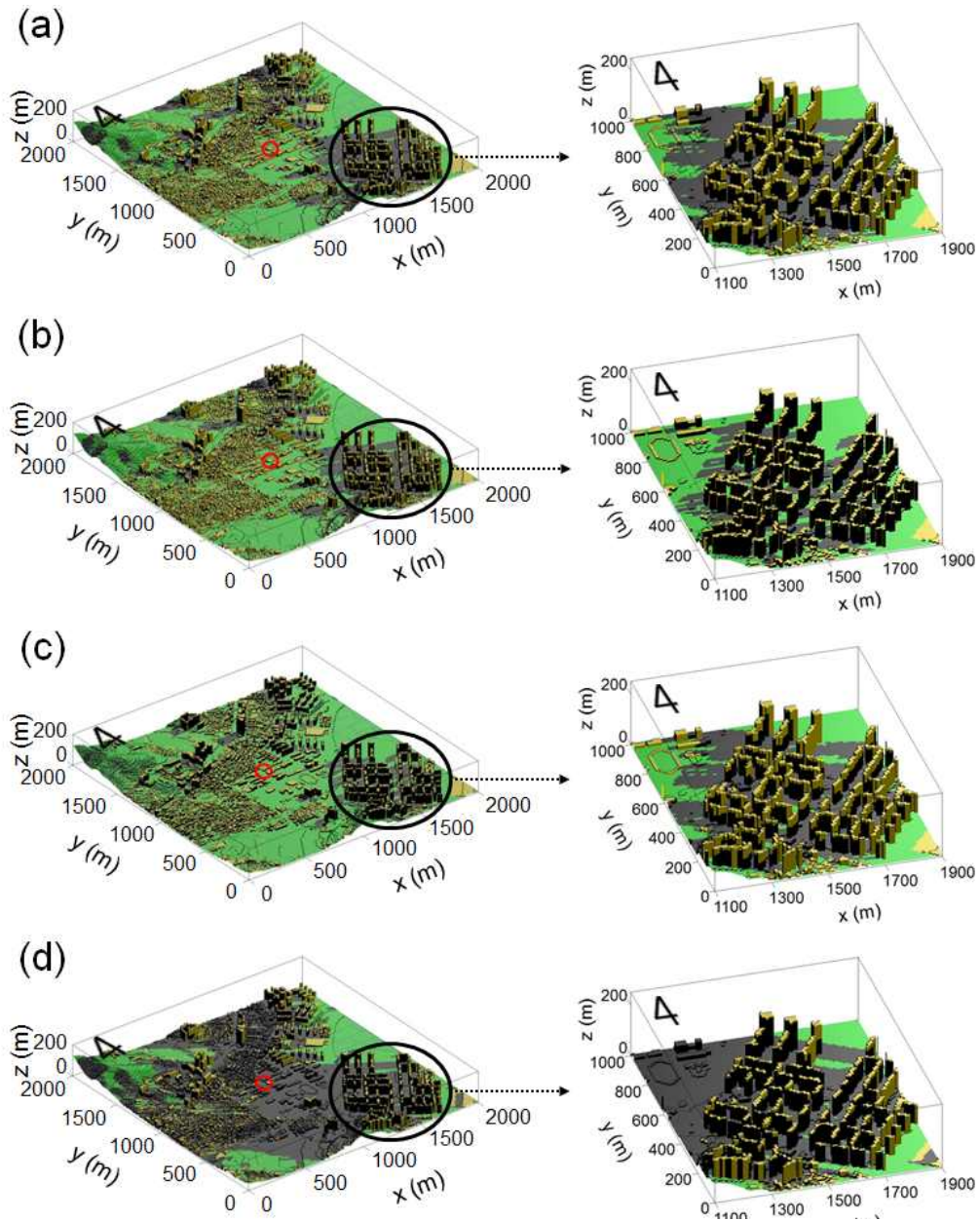


FIGURE 9. The same as in FIGURE 8 except for 3D shadow area. The figures in the right panel are magnified around apartment complex A for clarity

트 건물에 의해 아파트 건물 중간 높이 층까지 일조가 차단된다(그림 9(a)). 아파트 단지에 의한 일조 차단 면적은 $1,545,750\text{m}^2$ (73.39%)이다. 하지날 8시(방위각: $82^\circ 25' 54.59$)는 태양이 아파트 단지의 동북동쪽에 위치하기 때문에, 아파트 건물의 서쪽면과 남쪽면은 모두 일조가 차단된다(그림 9(b)). 다른 계절과 비교하여, 아파트 단지 내 일조 영역이 많음을 알 수 있다. 하지날 아파트 단지에 의한 일조 차단 면적은 $1,106,200\text{m}^2$ (54.32%)로 다른 세 날에 비해 가장 작게 일조가 차단되었다. 추분날 8시(방위각: $105^\circ 49' 59.16$)는 춘분날의 일조 차단 영역과 비슷한 분포를 나타내고, 일조 차단 영역도 $1,468,900\text{m}^2$ (70.13%)로 춘분 때와 비슷하다. 동지날 8시(방위각: $123^\circ 17' 53.16$)는 태양이 아파트 단지의 동남동쪽 지평선 부근(고도각: 4.94°)에 위치하기 때문에, 아파트 단지 내 아파트 건물은 아파트 꼭대기 층 부근까지 일조가 차단된다(그림 9(d)). 동지의 경우, 부경대학교 내부까지 아파트 단지에 의한 일조 차단이 발생함을 알 수 있다. 동지에 아파트 단지에 의한 일조 차단 면적은 $1,828,250\text{m}^2$ (86.62%)로 다른 세 날에 비해 가장 높은 일조 차단이 발생하였다.

결 론

본 연구에서는 3차원 공간에 대한 일조 환경을 평가할 수 있는 일조 모델을 개선하고, 부산광역시 대연동 일대를 중심으로 일조 환경을 분석하였다. 이를 위해 격자셀 중심점을 기준으로 기존에 수행하였던 일조 유무 판별 과정을 격자셀의 면 단위로 수행하도록 개선하였다. 이를 통해 하나의 격자셀의 서로 다른 면에서 일조와 일조 차단이 동시에 발생하는 경우를 구분하였다. 개선된 일조 모델을 이용하여 부산광역시 대연동 일부 지역의 일조 환경을 분석하였다. 부산광역시 대연동 일대의 GIS 자료로부터 건물 자료와 등고선 자료를 추출하여 3차원 지표 경계 입력 자료를 생성하였다. 개선된 일조 모델과 생성된 3차원 지표 경계 입력 자료


를 이용하여 대연 AWS를 중심으로 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 영역에 대한 계절별·시간별 일조 차단 영역을 분석하였다.

동시간대에 대한 계절별 일조 환경을 분석한 결과, 남중 고도가 가장 낮은 겨울철에 일조 차단 영역이 가장 많고, 남중 고도가 가장 높은 여름철에 일조 차단 영역이 가장 적었다. 고층 아파트 단지에 대한 3차원 일조 차단 분포를 분석한 결과, 계절 변화에 따른 태양의 위치에 따라 고층 아파트 단지 내의 일조 차단 영역이 다양하게 변화하였다. 봄철과 가을철의 경우에는 고층 아파트 단지 내부 건물은 아파트 건물의 중간 높이까지 일조가 차단되었고, 겨울철에는 고층 아파트 단지의 꼭대기 층까지 일조가 차단되었으며, 여름철의 경우에는 고층 아파트 단지 내부까지 일조가 도달하였다. 시간별로는 일출 시간과 일몰 시간에 일조 차단 영역이 가장 넓고, 태양 남중 고도가 가장 높은 시간대에 일조 차단이 영역이 가장 좁았다.

본 연구를 통하여, 기존에 개발하였던 일조 모델의 한계를 개선하였고 개선된 일조 모델이 도시 지역에서 지형과 건물에 의한 일조 차단 영향을 분석하는데 적절함을 보였다. 그리고 본 연구 결과는 GIS 자료가 일조 환경을 분석·예측하는데 매우 유용하게 사용될 수 있음을 시사한다. 본 연구에서 사용한 일조 모델과 GIS 자료를 사용하면 어느 지역의 과거·현재·미래의 일조 환경을 분석할 수 있다. 본 연구에서는 계산 시간의 제약 때문에 1시간 간격의 일조 자료를 사용하였으나, 1분 단위의 상세한 분석을 수행한다면 더욱 정확한 예측 및 분석을 할 수 있을 것으로 판단된다. 더 나아가, 일조 영역과 시간에 영향을 받는 지면의 수분 증발량, 지표 온도의 변화 등을 통해 복잡한 국지적 기상 현상 변화의 분석에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 국립기상연구소 주관의 『차세대 도시·농림 융합스마트 기상 서비스

개발』 사업 지원 하에 수행되었습니다. 

REFERENCES

- Baik, J.J., S.B. Park and J.J. Kim. 2009. Urban flow and dispersion simulation using a CFD model coupled to a mesoscale model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48(8): 1667-1681.
- Darula, S. and R. Kittler. 2004. Sunshine duration and daily courses of illuminance in Bratislava. *International Journal of Climatology* 24(14):1777-1783.
- Du. Y.D., H. Al, H.L. Duan, Y.M. Hu, X.W. Wang, J. He., H.Y. Wu and X.X. Wu. 2013. Change in climate factor and extreme climate events in South China during 1961-2010. *Advances in Climate Change Research* 4(1):1-11.
- Han, B.H., H.S. Kim, T.J. Jung and S.H. Hong. 2010. The related research with the land cover state and temperature in the outer space of the super-high-rise building. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(6):751-762 (한봉호, 김홍순, 정태준, 홍석환. 2010. 초고층 건축물 외부공간의 토지 피복 상태와 온도와의 관계 연구. *한국환경생태학회지* 24(6):751-762).
- Hwang, H.Y. and J.W. Lee. 2006. The analysis of the sunshine condition of tower-type apartment houses. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 22(1):219-226 (황혜영, 이종원. 2006. 탑상형 아파트 일조환경 분석. *대한건축학회논문집 계획계* 22(1): 219-226).
- Kaiser, D.P. and Y. Qian. 2002. Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954-1998: indication of increased haze pollution?. *Geophysical Research Letters* 29(21):1-4.
- Kandirmaz, H.M. 2006. A model for estimation of daily global sunshine duration from meteorological geostationary satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 27(22):5061-5071.
- Kim, D.S. and S.A. Jung. 2013. Developing analytical model for locating preferred ecovillage sites using GIS: the case study of Bukgu, Pohang. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(2):30-46 (김두순, 정선아. 2013. GIS를 이용한 생태마을 입지분석 모델 개발: 경북 포항시 북구를 사례로. *한국지리정보학회지* 16(2):30-46).
- Kim, D.Y., D.H. Kim and J.J. Kim. 2013. Development of observational environment evaluation model for sunshine duration at ASOSs located in urban areas. *Atmosphere* 23(3):275-282 (김도용, 김도형, 김재진. 2013. 도시지역 유인관측소 일조 관측환경 평가 모델 개발. *대기* 23(3):275-282).
- Kim, K.A. and K.S. Kim. 2006. Evaluation of solar access for an individual apartment unit according to different types of building blocks and its layout. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 22(9):275-282 (김경아, 김강수. 2006. 아파트 배치형태에 따른 일조환경 평가에 관한 연구. *대한건축학회논문집 계획계* 22(9):275-282).
- Kim, K.S. 2004. The effect of light intensity on the development of ground

- cover plant in *Hosta clausa*. *Weed & Turfgrass Science* 18(1):15-27 (김광식. 2004. 일조량이 참비비추(*Hosta clausa*)의 생육에 미치는 영향. *Weed & Turfgrass Science* 18(1):15-27).
- Ku, H.D., Y.S. Lee, J.S. Moon and I.C. Song. 1997. A study on the computer graphic protraction on the solar shadow mask applicable to the solar impact evaluation. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 13(9):185-195 (구현덕, 이영섭, 문장수, 송인춘. 1997. 일조영향평가를 위한 컴퓨터 그래픽 일영작도에 관한 연구. *대한건축학회 논문집* 13(9):185-195).
- Lee, J.H., J.W. Choi, J.J. Kim and Y.C. Suh. 2009. The effects of an urban renewal plan on detailed air flows in an urban area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 12(2):69-81 (이주현, 최재원, 김재진, 서용철. 2009. 도시 재개발이 도시 지역 상세 대기 흐름에 미치는 영향. *한국지리정보학회지* 12(2):69-81).
- Lee, Y.S. and J.J. Kim. 2011. Effects of an apartment complex on flow and dispersion in an urban area. *Atmosphere* 21(1):95-108 (이영수, 김재진. 2011. 도시지역에서 아파트 단지가 흐름과 확산에 미치는 영향. *대기* 21(1):95-108).
- Liu, S.C., C.H. Wang, C.J. Shiu, H.W. Chang, C.K. Hsiao and S.H. Liaw. 2002. Reduction in sunshine duration over Taiwan: causes and implications. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 13(4):523-546.
- Meeus, J. 1998. *Astronomical Algorithms*, Second Edition, William-bell, Richmond, Virginia, USA.
- Park, E.T. and B.K. Kang. 2007. A research on analysis of sunlight environment impact of certified green building apartment complexes. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 23(9):3-13 (박은태, 강병근. 2007. 친환경 건축물 인증 아파트 단지 일조환경 분석에 관한 연구. *대한건축학회논문집 계획계* 23(9):3-13).
- Park, S.E., W.J. Choi, W.C. Lee, J.H. Koo, R.H. Jung and J.S. Park. 2004. Construction of the fishing grounds information management system using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 7(3):90-98 (박성은, 최우정, 이원찬, 구준호, 정래홍, 박종수. GIS를 이용한 양식어장 정보관리 시스템 구축. *한국지리정보학회* 7(3):90-98).
- Park, S.J. and J.J. Kim. 2014. Blocking effects of buildings on sunshine duration at Seoul and Daegu ASOSs. *Atmosphere* 24(1):17-27 (박수진, 김재진. 2014. 서울·대구 ASOS 지점에서 건물에 의한 일조 차단 영향. *대기* 24(1):17-27).
- Rebetez, M. and M. Beniston. 1998. Changes in sunshine duration are correlated with changes in daily temperature range this century: An analysis of Swiss climatological data. *Geophysical Research Letters* 25(19):3611-3613.
- Sanchez-Lorenzo, A., J. Calbo and J. Martin-Vide. 2008. Spatial and temporal trends in sunshine duration over Western Europe(1938-2004). *Journal of Climate* 21(22):6089-6098.
- Schlyter, P. 2010. *Computing planetary*

- positions - a tutorial with worked examples. Available on-line at <http://www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>.
- Sin, D.Y. and J.S. Kim, 2009. Analysis of sunshine access right by 3D City Model. *Journal of the Korean Cadastre Information Association* 11(2):117-125 (신동윤, 김진수. 2009. 3차원 도시모델에 의한 일조권 분석. *한국지적정보학회지* 11(2):117-125).
- Um, Y.C., T.C. Seo, Y.A. Jang, S.G. Lee, J.G. Lee, C.S. Choi and S.S. Oh. 2011. Effects of some environment-friendly farming materials on growth of Pepper and Tomato seedings under low solar radiation conditions. *Journal of Bio-Environment Control* 20(4):269-276 (엄영철, 서태철, 장운아, 이상규, 이준구, 최장선, 오상석. 2011. 저일조 조건에서 몇 가지 친환경농자재가 고추와 토마토의 유묘 생육에 미치는 영향. *생물환경조절학회지* 20(4):269-276).
- Yun, K.H. 2005. Analysis of shadow effects in urban areas. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 25(6):937-941 (윤공현. 2005. 도심지에서 그림자효과의 분석. *대한토목학회논문집* 25(6):937-941). 