도시지역 유인관측소 일조 관측환경 평가 모델 개발

김도용¹⁾ · 김도형²⁾ · 김재진^{2),*}

¹⁾부경대학교 지구과학연구소, ²⁾부경대학교 환경대기과학과

(접수: 2013년 3월 28일, 게재확정일: 2013년 5월 16일)

Development of Observational Environment Evaluation Model for Sunshine Duration at ASOSs Located in Urban Areas

Do-Yong Kim¹⁾, Do-Hyoung Kim²⁾, and Jae-Jin Kim^{2),*}

¹⁾Geo-Sciences Institute, Pukyong National University, Busan, Korea

²⁾Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan, Korea

(Received: 28 March 2013, Accepted: 16 May 2013)

Abstract In this study, the numerical model was developed to evaluate the observational environment of sunshine duration and, for evaluating the accuracy and utility of the model, it was verified against the observational data measured at Dae-gu Automated Synoptic Observing System (ASOS) located in an urban area. Three-dimensional topography and building configuration as the surface input data of the model were constructed using a Geographic Information System (GIS) data. First, the accuracy of the computing planetary positions suggested by Paul Schlyter was verified against the data provided by Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and the results showed that the numerical model predicted the Sun's position (the solar azimuth and altitude angles) quite precisely. Then, this model was applied to reproduce the sunshine duration at the Dae-gu ASOS. The observed and calculated sunshine durations were similar to each other. However, the observed and calculated sunrise (sunset) times were delayed (curtailed), compared to those provided by KASI that considered just the ASOS's position information such as latitude, longitude, and elevation height but did not consider the building and topography information. Further investigation showed that this was caused by not only the topographic characteristic (higher in the east and lower in the west) but also the buildings located in the southeast near the sunrise and the southwest near the sunset. It was found that higher building resolution increased the accuracy of the model. It was concluded that, for the accurate evaluation of the sunshine duration, detailed building and topography information around the observing sites was required and the numerical model developed in this study was successful to predict and/or the sunshine duration of the ASOS located in an urban area.

Key words: Sunshine duration, ASOS, observational environment, urban observatory, numerical model

*Corresponding Author: Jae-Jin Kim, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, 599-1, Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea.
Phone : +82-51-629-6645, Fax : +82-51-629-6638
E-mail : jjkim@pknu.ac.kr

1. 서 론

우리나라는 지난 수십 년간 지속적인 산업화를 이루어 왔고, 이로 인한 도시화는 도시 인구 밀도의 증가를 가져왔다. 인구 밀도 증가에 따라 주거와 생활 공간에 대한 수요가 급속히 증가하였고, 이를 충족시키기 위해 대규모의 고층 건물들이 건설되면서 도심지의 건물밀집도가 높아지고 있다. 이러한 도시권의 거대화 및 밀집화는 토지피복의 변화와 도시협곡의 형성을 야기하였고 도시지역에 위치한 기상관측시설의 관측환경에 영향을 미쳐왔다(이영수와 김재진, 2011; 양호진과 김재진, 2012). 대표적인 예로 관측소 주변의 고층 건물들에 의한 그림자 효과를 들 수 있다. 이는 일조, 일사, 지표면 온도, 바람, 기온, 습도 등 국지적 기상인자에 직·간접적으로 영향을 미친다. 특히, 일조와 일사 관측은 관측소 주변의 태양광 차폐 요소의 증가에 직접적인 영향을 받기 때문에, 태양광 차폐 요소가 많은 지역의 관측소에서는 관측자료가 왜곡될 가능성이 높다(김영도 등, 2008; 김유하 등, 2012). 따라서 관측환경으로부터 발생할 수 있는 기상 관측자료의 불확실성을 최소화하기 위해서는 일조차단의 영향 등 관측환경에 대한 적절한 평가 시스템의 개발과 연구가 필요하다.

지금까지 건물과 지형에 의한 태양광 차폐와 이로 인한 일조환경을 평가하기 위한 다양한 방법이 연구되어 왔다. 예를 들어, 점분석법(태양궤적도법, Solar Chart)과 면분석법(음영면적 시간환산법)을 이용하여 건물 높이(층수)와 지붕 형태에 따른 일조시간을 계산하고 일조환경을 평가하는 기법(이덕형 등, 2004), 라이다(light detection and ranging, LiDAR) 자료와 수치지도를 이용하여 도심지 일조환경과 그림자 효과를 분석하는 기법(윤공현, 2005; 신동윤과 김진수, 2009) 등이 있다. 또한, 이형석 등 (2005)은 지리정보시스템(Geographical Information System, GIS)을 기반으로 하여 인터그래프사의 마이크로스테이션(MicroStation V8)과 MTA(MGE Terrain Analyst)를 이용하여 도로 지역에 대한 일조영향을 분석하였고, 박은태와 강병근(2007)은 한국 CIM(주)에서 개발한 Sunlight V2.0을 이용하여 아파트 단지의 주동형태별 일조환경을 분석한 바 있다. 그러나 상기의 연구들은 대부분 아파트 단지, 고층 건물, 도로 건설 등 도시개발에 따른 일조장애 및 일조권 확보를 위한 일조환경 영향 평가를 목적으로 수행되었다. 이들 연구에서는 자료의 전처리를 위해서 고가의 시스템과 복잡한 프로그램 사용하였다.

본 연구에서는 기상관측환경의 개선과 관측자료의 품질향상을 위한 기상관측환경 영향평가를 목적으로, 주변 지형지물이 기상관측소의 일조시간 관측환경을

평가할 수 있는 방안을 강구하고자 한다. 이를 위하여 보다 간편하고 유용하게 기상관측소의 일조 관측환경을 예측하고 평가할 수 있는 모델을 개발하고 검증하고자 한다. 이 논문은 총 4장으로 구성되며, 연구의 배경 및 필요성에 대하여는 상기의 제1장에서 이미 서술하였다. 제2장에서는 이 연구에서 개발한 일조 관측환경 평가 모델에 대하여 서술하고, 제3장에서는 개발된 모델을 관측자료와의 비교를 통하여 검증한다. 마지막 장에서는 이 연구의 전반적인 요약 및 결론에 대하여 서술한다.

2. 모델 개발

일조란 태양빛이 내리쬐는 것으로, 태양광선을 총체적으로 지칭하는 의미로도 이해 할 수 있다(금기정 등, 2009). 그리고 태양광선이 구름이나 안개로 가려지지 않고 지상까지 도달하는 것으로도 이해되며, 태양광선이 비친 시간을 일조시간이라고 한다(신동윤과 김진수, 2009). 이 연구에서는 일조 관측의 측면에서 일조의 개념을 태양광선에 의한 음영효과와 유무로 정의하고, 일중 태양의 위치에 따라 주변 장애물에 의해 기상관측소에 형성되는 음영(일조차단) 여부, 즉 일조 관측환경을 평가할 수 있는 모델을 개발하였다.

Figure 1은 이 연구에서 개발한 일조 관측환경 평가 모델의 알고리즘을 도식적으로 나타낸 것이다. 이 알고리즘은 평가대상 기상관측소를 선정하는 것으로부터 시작한다. 관측지점의 정확한 지리적 위치정보(위·경도, 해발고도)를 기준으로 관측지점의 일조 관

Fig. 1. Flow chart on the numerical model for sunshine duration.

측환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 주변 장애물들을 포함하도록 관측지점을 중심으로 설정하여 수치 영역의 지표자료(지형과 건물)를 구축한다. 이 연구에서는 수평 해상도 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 의 GIS 자료로부터 취득한 상세 공간정보(등고선, 건물 정보 등)에 기반하여 초고해상도의 3차원 지표자료를 구축한다(Baik *et al.*, 2009; 이주현 등, 2009; 이영수와 김재진, 2011; 최희욱 등, 2012). 이를 기반으로 고층 건물 등 일조에 영향을 미치는 장애물들을 최대한 상세하고 정확하게 묘사하였다.

다음으로 관측지점을 기준으로 대상일(관측일자)에 대해 태양 방위각과 고도각을 산정하여 태양 위치를 결정한다. 여기에서 태양 방위각과 고도각 산정은 Paul Schlyter의 행성위치계산법을 이용하였다(Schlyter, 2010). 이 방법은 TDT(Terrestrial Dynamical Time)를 기준으로 한 일수(Day Number)로부터 근일점 경도, 이심률, 평균근점이각, 황도 기울기 등 태양 위치를 찾는 데 필요한 태양궤도요소를 계산하고, 이를 이용하여 태양 적경과 적위를 구한 후, 좌표계 변환을 통하여 태양 방위각과 고도각을 산정한다. 각 요소에 대한 계산식 등은 Schlyter(2010)에 자세히 기술되어 있다.

상기에서 구축한 3차원 지표자료, 태양 방위각, 고도각을 적용하여 관측지점의 일조차단 여부를 평가하는 방법은 수평계산과 연직계산으로 구분하여 진행된다. 수평계산에서는 관측지점을 중심격자로 하여 관측지점과 주변 수평격자 사이의 최소각과 최대각을 Fig. 2와 같은 방법으로 모든 수평 격자에 대하여 계산한다. 계산된 최소각과 최대각을 기반으로 태양 방

Fig. 3. Schematic diagram for the algorithm vertically detecting the buildings which potentially affects sunshine duration at an observatory.

위각을 적용하여 식 (1)과 같이 관측지점의 일조에 영향을 미치는 격자를 탐색한다.

$$\left. \begin{array}{l} r_{min}(i,j) \leq \alpha_{sun} \leq r_{max}(i,j) : \text{Shadow_Grid} \\ r_{min}(i,j) > \alpha_{sun} \text{ or } r_{max}(i,j) < \alpha_{sun} : \text{Pass} \end{array} \right\} (1)$$

여기서 r_{min} 과 r_{max} 는 각각 관측지점과 주변 수평격자 사이의 최소각과 최대각이며, α_{sun} 은 태양 방위각이다. i 와 j 는 각각 x 와 y 방향의 수평격자이다. 즉, r_{min} 과 r_{max} 사이에 태양 방위각이 존재하는 격자들은 관측지점의 일조에 영향을 미치는 격자로 판단하고(Shadow_Grid), 그 외의 경우에 해당하는 격자들은 영향이 없는 것으로 간주한다(Pass). Shadow_Grid로 판단된 격자들에 대하여는 다음의 연직계산을 수행한다.

연직계산에서는 관측지점과 장애물 사이의 고도각 (Fig. 3)과 태양 고도각을 이용하여 식 (2)와 같이 관측지점의 일조차단 여부를 판별한다.

$$\left. \begin{array}{l} \theta(i,j) \geq \beta_{sun} : \text{Obstructed by building} \\ \theta(i,j) < \beta_{sun} : \text{Sunshine} \end{array} \right\} (2)$$

여기서 θ 는 장애물 고도각이고, β_{sun} 은 태양 고도각이다. 즉, 관측지점을 기준으로 장애물 고도각이 태양 고도각보다 큰 경우는 해당 격자에 존재하는 장애물에 의해 관측지점의 일조가 차단되고, 반대 경우는 일조차단이 없는 것으로 판단한다.

마지막으로, 계산시간 간격(초, 분, 시간 등)에 따른 반복계산을 통하여, 대상일의 일중 태양 방위각과 고도각 변화에 따른 주변 장애물에 의한 관측지점의 일조차단 여부를 계산한다. 따라서 이 연구에서 개발한 일조 관측환경 평가 모델은 상기의 일련 과정을 통하여 기상관측소 일조환경에 영향을 미치는 건물 등 장애물의 위치, 일조차단 여부, 일조차단 시간 등을 예측하고 평가할 수 있다. 다음 장에서는 이 모델의 정확성과 유용성을 진단하기 위하여 관측자료와 비교검

Fig. 2. Schematic diagram for the algorithm horizontally detecting the buildings which potentially affects sunshine duration at an observatory.

증을 수행하였다.

3. 모델 검증

3.1 평가대상 관측지점 및 대상일

이 연구에서는 일조관측을 포함하는 기상청 산하의 ASOS(Automated Synoptic Observing System) 관측지점 중, 도심지에 위치하여 주변 고층 건물들로 인한 관측소의 일조차단이 우려되는 대구 ASOS 지점을 대상으로 앞의 2장에서 개발한 일조 관측환경 평가 모델을 검증하였다. 우선, 관측지점(35°53'N, 128°37'E)을 중심으로 1 km × 1 km의 수평영역을 설정하고, GIS 자료를 기반으로 수평 해상도 10 m, 연직 해상도 1 m ($x \times y \times z = 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 \text{ m}$)의 3차원 지표자료를 구축하였다(Fig. 4). Figure 4에 보인 바와 같이, 대구 ASOS 지점을 중심으로 한 대상영역은 건물 밀집도가 매우 높고, 관측소 주변에 다수의 고층 건물들이 존

Fig. 4. Three-dimensional topography and building configuration for the target area. Dot represents Dae-gu ASOS (Automated Synoptic Observing System).

재하고 있음을 알 수 있다. 따라서 태양 고도각이 낮은 일출 직후와 일몰 직전 시간대에는 태양 방위각 상에 위치한 고층 건물들이 관측지점의 일조에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한, 일조 관측환경 평가에 있어서 지표자료의 해상도에 따른 예측 정확도를 분석하기 위하여, GIS자료와 동일한 1 m 해상도($x \times y \times z = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$)의 매우 상세한 지표자료에 대해서도 추가적인 검증을 수행하였다.

일조는 구름이나 안개에 영향을 많이 받기 때문에 건물과 같은 장애물에 의한 영향을 평가하기 위해서는 구름이 없는 맑은 날(전운량 = 0)을 선정하여야 한다. 또한, 지속적인 도시개발 등으로 인해 지형 및 건물자료가 변화하기 때문에, 모델의 정확한 검증을 위해서는 GIS 자료의 제작 년도(2008년)가 고려되어야 한다. 2008년 중에 구름이 없는 맑은 날은 총 36일이 관측되었다. 이 연구에서는 장애물에 의한 관측지점의 일조차단 영향을 잘 볼 수 있도록, 태양 남중고도가 낮아서 그림자 길이가 가장 긴 시기인 동지에 가까운 2008년 12월 19일을 대상으로 선정하였다. 시간 간격을 1분으로 하여 00시부터 24시까지 계산하였고, 일출 후부터 일몰 전까지의 일중 시간대를 중점적으로 분석하였다.

3.2 태양 방위각과 고도각

태양 위치를 결정하는 태양 방위각과 고도각 계산 결과를 한국천문연구원(Korea Astronomy and Space Science Institute, KASI)에서 제공하는 시간별 관측자료와 비교·검증하였다. 태양 방위각은 0°에서 360°(Fig. 5a), 고도각은 -90°에서 90° 사이의 값으로 나타낸다(Fig. 5b). 평가 대상일(2008년 12월 19일 00시부터 24시) 자료를 검증한 결과, Fig. 5에서 보인 바와 같이,

Fig. 5. Comparison between the observed and calculated hourly solar angles [(a) azimuth and (b) altitude angles] on 19 December 2008 for the target area. MAE and RMSE indicate the mean absolute error and root mean square error, respectively.

Fig. 6. (a) Observed and (b) calculated solar positions from 0800 LST to 1700 LST on 19 December 2008.

계산된 태양 방위각과 고도각은 관측자료와 거의 일치하였다. 방위각의 경우, 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE)가 0.04° , 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)가 0.07° 이었고, 고도각의 경우, MAE가 0.03° , RMSE가 0.05° 로 나타났다. 상기의 관측 및 계산된 태양 방위각과 고도각을 이용하여 대구 ASOS 지점을 중심으로 한 대상영역에 대한 태양 위치를 도식화하였다(Fig. 6). 평가 대상일의 일출 시간은 07시 31분이고 일몰 시간은 17시 14분이므로, 일출 후부터 일몰 전까지의 시간대인 08시부터 17까지의 일중 태양의 위치를 나타내었다. 앞에서 기술한 바와 같이, 계산된 태양 방위각과 고도각으로부터 산정된 일중 시간별 태양 위치는 관측자료와 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서, 이 연구에서 Paul Schlyter의 행성위치계산법을 기반으로 개발한 일조 관측환경 평가 모델은 대상지역에 적용한 태양 위치(태양 방위각과 고도각)를 매우 정확하게 계산하고 있음을 알 수 있다.

3.3 일조 관측환경 평가

기상청에서 제공하는 일조 관측자료는 1시간 평균값으로 0과 1 사이의 값(1시간 동안 일조가 전혀 없는 경우 = 0, 1시간 내내 일조가 있는 경우 = 1)을 갖는다. 본 연구에서는 관측자료와 비교하기 위하여, 일조 관측환경 평가 모델에 의한 계산결과도 1시간 평균값으로 출력하여 관측자료와 비교·검증하였다.

Table 1. The observed and calculated sunshine index from 0800 LST to 1700 LST on 19 December 2008 at Dae-gu ASOS.

Time (LST)	Observed Sunshine	Calculated Sunshine	
		10 m Resolution	1 m Resolution
0800	0.00	0.00	0.00
0900	0.70	0.75	0.73
1000	1.00	1.00	1.00
1100	1.00	1.00	1.00
1200	1.00	1.00	1.00
1300	1.00	1.00	1.00
1400	1.00	1.00	1.00
1500	1.00	1.00	1.00
1600	0.90	0.28	0.53
1700	0.10	0.18	0.05

Table 1은 평가 대상일 중에서 일출 후부터 일몰 전까지의 시간대(08시부터 17까지)에 대해, 대구 ASOS 지점의 일조 관측자료와 계산결과를 나타낸다. 수치 모델의 경우, 지표자료의 해상도가 각각 10 m와 1 m 인 경우에 대해 모두 계산하였다. 먼저, 일중 시간대별 일조를 살펴보면, 08시와 09시, 16시와 17시에 1보다 작은 값이 관측되었고, 모델 계산에서도 동일한 결과를 보였다. 지형이나 건물을 고려하지 않고 대구 ASOS 지점의 위치 정보(위·경도, 해발고도)만을 이용했을 경우의 일출 시간과 일몰 시간이 각각 07시 31분과 17시 14분임을 고려했을 때, 일조가 시작되는 시간은 08시 18분으로 약 47분 지연되었고 일조가 끝나는 시간은 16시 6분으로 약 1시간 8분이 단축되었음을 확인할 수 있다. 또한, 대상일이 구름이 없는 맑은 날이었음을 상기하였을 때, 16시와 17시 사이에도 건물에 의한 일조 차단(6분)이 존재함을 알 수 있다. 이는 태양 고도각이 낮고 그림자 길이가 가장 길어지는 일출 후 오전이나 일몰 전 오후 시간대에 주변 장애물들에 의한 관측지점의 일조차단이 발생함을 의미한다.

일조 관측환경 평가 모델로부터 관측지점의 일조환경에 영향을 미치는 장애물들을 해당 시간대별로 탐색하여(장애물의 일부분이 일조를 차단하는 경우 포함), Fig. 7에 음영으로 나타내었다. 3.1절에서 서술하였듯이, 본 연구에서는 태양 남중 고도가 낮은 시기인 겨울 중 하루를 평가 대상으로 선정하였기 때문에, 오전 시간대에는 남동쪽에 위치한 건물들이, 오후 시간대에는 남서쪽에 위치한 건물들이 관측지점의 일조에 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 08시에는 태양 고도각이 매우 낮고 대상지역이 서쪽보다 동쪽이 약간 높은 지형이기 때문에, 태양 방위각 상에 존재하

Fig. 7. Buildings (shaded in black) blocking sunshine toward Dae-gu ASOS.

는 남동쪽의 많은 건물들이 관측지점의 일조차단을 유발하는 장애물로 평가되었다. 09시에는 태양 고도각이 서서히 커짐에 따라 관측지점과 가까운 일부 건물들에 의해 일시적인 일조차단이 발생하는 것으로 평가되었다(1시간 평균 관측 일조 = 0.7). 16시에는 관측지점의 남서쪽에 위치한 고층 건물에 의해 일시적

인 일조차단이 발생하였고(1시간 평균 관측 일조 = 0.9), 일몰에 가까워 지는 17시에는 더 많은 건물들이 일조를 차단하는 장애물로 평가되었다.

지표자료의 해상도 차이에 따른 예측 정확도를 살펴보면(Table 1), 고해상도의 지표자료를 사용한 경우, 계산결과가 관측 일조에 더 근사하였다. 예를 들어,

Fig. 8. Building blocking sunshine at 1600 LST shown in Fig. 7c with (a) 10 m and (b) 1 m horizontal resolutions.

예측 오차가 가장 크게 나타난 16시의 경우를 살펴보면, 10 m 해상도의 지표자료를 사용한 경우의 예측 오차(관측-예측)는 0.62이었으나, 1 m 해상도의 지표자료를 사용한 경우에는 0.37로 예측 정확도가 향상되었다. 이는 수평 해상도 10m의 지표자료를 구축함에 있어서, 하나의 수치 격자 내에 수평 해상도 1m의 GIS 자료로부터 추출한 건물이 55% 이상을 차지할 경우, 그 격자를 수치 건물로 인식하도록 하였기 때문이다(이주현 등, 2009; 이영수와 김재진, 2011). 즉, Fig. 8에 보인 바와 같이, 관측지점의 일조에 영향을 미치는 건물의 외관이 구축된 지표자료의 해상도에 따라 실제와 다소 다르게 평가되어 일조차단의 예측 정확도에 영향을 미친 것이라 할 수 있다. 따라서 일조 관측환경을 정확하게 예측하고 평가하기 위해서는 관측지점을 중심으로 한 주변 건물 등 지표자료의 정확하고 상세한 구축이 선행되어야 한다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 고층 건물 등 주변 장애물들이 도시 지역에 위치한 기상관측소의 일조환경에 미치는 영향을 예측하고 평가하기 위해, 일조 관측환경 평가 모델을 개발하였다. 수치 모델은 다음과 같은 일련의 과정을 통하여 주변 장애물들에 의한 관측지점의 일조 차단 여부를 평가하도록 구성되었다. 1) GIS 자료로부터 취득한 공간정보에 기반하여 평가 대상 관측지점을 중심으로 한 일정 영역의 지형 및 건물 등 3차원 상세 지표자료를 구축한다. 2) 관측지점을 기준으로 평가 대상일의 태양 방위각과 고도각을 산정하여 태양의 위치를 결정한다. 3) 3차원 지표자료에 태양 방위각과 고도각을 적용하여 관측지점의 일조에 영향을 미치는 주변 장애물들을 탐색하고 일조차단 여부를 평가한다.

개발된 모델의 정확성과 유용성을 진단하기 위하여, 본 연구에서는 대구 ASOS 지점을 대상으로 관측자료와의 비교·검증을 수행하였다. 먼저, 일조 관측환경 평가 모델에 적용된 Paul Schlyter의 행성위치계산법의 정확성을 검증한 결과, 계산된 태양 방위각과 고도각은 관측자료와 비교하여 대상지역의 태양 위치를 매우 정확하게 산정하였다. 일중 시간대별 일조를 살펴보면, 태양 고도각이 낮고 그림자 길이가 길어지는 일출 후 오전이나 일몰 전 오후 시간대에 1보다 작은 값이 관측되었고, 모델 계산에서도 동 시간대에 태양 방위각 상에 존재하는 주변 장애물들에 의해 관측지점의 일조가 차단되는 것으로 평가되었다. 또한, 보다 고해상도의 지표자료를 사용할 경우, 관측지점의 일조에 영향을 미치는 장애물의 외관이 보다 상세하고 정확하게 묘사되어, 예측 정확도가 향상됨을 확인하였다.

결론적으로, 기상관측소의 일조환경에 대한 정확한 진단과 개선을 위해서는 관측지점의 일조차단 여부, 일조차단 시간, 장애물의 위치 등을 정확하게 예측하고 평가하는 것이 필요하다. 본 연구에서 개발한 일조 관측환경 평가 모델은 이를 위한 간편하고 유용한 수단이 될 수 있으리라 기대된다. 더 나아가 향후 전산유체역학모델 등 미세규모 국지기상 예측모델과의 접합을 통하여 주변 건물에 의한 그림자 효과와 이에 따른 지표 및 건물 외벽의 차등 가열 등을 고려함으로써 보다 현실적인 국지기상 예측에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 기상청 “관측환경 시뮬레이터 활용 기반 연구”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

- 금기정, 김종보, 최용길, 김영준, 2009: 도시부 고가구조물에 의한 일조환경 영향분석. *한국도로학회 논문집*, **11**, 49-58.
- 김영도, 이규태, 지준범, 이원호, 조일성, 2008: 남한에서 지표면의 태양복사 분포. *한국기상학회 가을 학술대회 논문집*, 272-273.
- 김유하, 조일성, 서화정, 이규태, 지준범, 최영진 2012: 일사 관측환경 개선 및 일사계 비교 관측. *한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 70-71.
- 박은태, 강병근, 2007: 친환경 건축물 인증 아파트 단지 일조환경 분석에 관한 연구. *대한건축학회논문집*, **23**, 3-13.
- 신동윤, 김진수, 2009: 3차원 도시모델에 의한 일조권 분석. *한국지적정보학회지*, **2**, 117-125.
- 양호진, 김재진, 2012: 도시지역에서 건물과 지형이 자동 기상관측자료에 미치는 영향. *한국기상학회 봄 학술대회 논문집*, 30-31.
- 윤공현, 2005: 도심지에서 그림자효과의 분석. *대한토목학회논문집*, **25**, 937-941.
- 이덕형, 최창호, 이현우, 2004: 건물 일조시간 계산방법(점, 면)에 관한 비교연구. *한국태양에너지학회 논문집*, **24**, 9-17.
- 이영수, 김재진, 2011: 도시 지역에서 아파트 단지가 흐름과 확산에 미치는 영향. *대기*, **21**, 95-108.
- 이주현, 최재원, 김재진, 서용철, 2009: 도시 재개발이 도시 지역 상세 대기 흐름에 미치는 영향. *한국지리정보학회지*, **12**, 69-81.
- 이형석, 김중식, 박준규, 2005: GIS를 이용한 도로의 일조 영향 분석. *한국GIS/RS 공동 춘계학술대회*, 419-425.
- 최희욱, 김도용, 김재진, 김기영, 우정현, 2012: CFD-WRF

집합 모델을 이용한 도시 지역 화재 시나리오별 확산
특성 연구. *대기*, **22**, 47-55.

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. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **48**,

1667-1681.

Schlyter, P., 2010: Computing planetary positions - a tuto-
rial with worked examples. Available on-line at [http://
www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html](http://www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html).