

## GIS 자료와 일조모델을 이용한 자연적 및 인공적 지형에 의한 일조차단 평가

### Assessment of Blocking Effect of Natural and Artificial Topography on Sunshine Duration Using GIS Data and Sunshine Model

김도용\* · 김재진\*\*

Kim, Do Yong · Kim, Jae Jin

#### 要 旨

본 연구에서는 하의도 남쪽 연안지역을 대상으로 자연적 및 인공적 지형에 의한 일조차단의 영향을 평가하였다. 지리정보시스템 자료를 이용하여 대상지역의 지형공간자료를 생산하고, 태양의 방위각과 고도각을 기반으로 3차원 일조환경평가 모델링을 수행하였다. 주간시간대에는 대상지역의 약 80~90% 이상의 영역에서 일조가 형성되었으며, 특히 하지(여름철)의 경우가 일조환경이 가장 우수한 것으로 평가되었다. 산악지형에 의한 일조차단의 영향은 일몰에 가까운 늦은 오후 시간대에 북쪽 주거지역에서 나타났다. 성토건설에 따라 형성되는 인공지형의 경우, 이른 오전 시간대에는 남쪽 주거지역의 일조환경에 영향을 미쳤으며, 늦은 오후 시간대에는 염전의 남서쪽 지역에 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 일조환경, 지리정보시스템 자료, 모델링, 인공지형

#### Abstract

The present study evaluated the blocking effect of natural and artificial topography on sunshine duration in the southern coastal area of Haei-do. The geospatial data for the target area was constructed by geographic information system(GIS) data. Three-dimensional modeling based on solar azimuth and altitude angles was conducted for the assessment of sunshine environment. The sunshine area was evaluated over 80~90% of the target area in the daytime, especially in summer. The blocking effect of mountainous terrain on sunshine duration was presented at the northern residential area in the late afternoon. There was also the effect of artificial topography by construction of fill-up bank on sunshine environment at the southern residential area early in the morning and the south-western part of salt field in the late afternoon.

Keywords : Sunshine Environment, GIS Data, Modeling, Artificial Topography

#### 1. 서 론

일조는 태양광선이 구름이나 안개에 의해 차단되지 않고 지표까지 도달하는 것으로 정의되며, 하루 또는 정해진 기간 동안 태양빛이 지상에 비춰진 지속시간의 합을 일조시간이라고 한다(Sin and Kim, 2009; Park and Kim, 2014). 일조시간은 태양의 방위각 및 고도각과 같은 천문학적 요인, 대기 중의 에어로졸이나 구름 등에 의한 기상학적 요인, 지형의 경사 및 지물의 형상

등과 같은 지형학적 요인 등에 영향을 받기 때문에, 계절 및 지역에 따라 다양하게 나타나며 운량과 일기 상태에 대한 지표로 사용되기도 한다(Kim and Um, 2013; Kim et al., 2014). 또한, 일조는 지표면 온도 및 수분 증발량 등에 관여하여 기온, 습도, 바람 등 국지 기상 인자에 영향을 미치기 때문에, 국지적 기상환경 평가에 있어서 매우 중요한 요소이다(Han et al., 2010; Du et al., 2013).

지속적인 국토개발로 인한 인공적 지형의 변화와 대

Received: 2016.07.12, revised: 2016.09.19, accepted: 2016.09.20

\* 정희원 · 목포대학교 환경공학과(기후변화연구소) 교수(Member, Professor, Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, [dykim1975@mokpo.ac.kr](mailto:dykim1975@mokpo.ac.kr))

\*\* 교신저자 · 정희원 · 부경대학교 환경대기과학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, [jjkim@pknu.ac.kr](mailto:jjkim@pknu.ac.kr))

형 구조물의 건설 등 지형공간정보의 변화는 국지적 일조환경에 직·간접적으로 영향을 미친다. 예를 들어, 도시개발에 따른 대규모 고층 구조물의 건설은 인접 지역에 그림자를 형성하여 일조를 차단하고, 이는 결로, 건조, 난방 등 인간의 주거생활 전반에 걸쳐 영향을 미친다(Yun, 2005; Park and Kang, 2008; Sin and Kim, 2009; Kim and Yang, 2011). 또한, 일조환경의 악화는 식물의 광합성 및 종자 발달 등에 영향을 미치기 때문에, 식생 및 농작물의 생육을 저해하는 요인으로 작용한다(Um et al., 2011; Kim and Um, 2013; Joo et al., 2014). 따라서 인위적 요인에 의한 태양광 차폐와 이로 인한 일조장애의 영향을 최소화하기 위해서는 지형공간정보의 변화에 따른 국지적 일조환경의 평가가 필요하다.

국지적 일조환경의 평가를 위해서는 대상지역을 기준으로 한 태양의 위치, 즉 태양의 방위각과 고도각을 정확히 계산하여야 하며, 또한 대상지역의 자연적 및 인공적 지형공간정보를 상세히 고려하여야 한다. 최근에는 상세공간정보로써 지리정보시스템(geographic information system, GIS) 자료의 보급과 활용이 보편화되면서, 일조환경 평가에 있어서 GIS 자료를 기반으로 한 모델링 기법이 이용되고 있다(Kim et al., 2013; Park and Kim, 2014; Kim et al., 2014). 따라서 본 연구에서는 GIS 자료와 일조모델을 이용하여 자연적 및 인공적 지형이 인접한 주변지역의 일조환경에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1 대상지역 및 지형자료

본 연구에서는 교량건설에 따라 경사지의 절개 및 성토건설 등 인공적 지형변화가 이루어지고 있는 신안군 하의도의 남쪽 연안지역을 대상으로 하였다. Fig. 1에 보인 바와 같이, 평가 대상영역은 성토건설 구간과 인근 염전 및 주거지역 등이 포함되도록 동서 방향으로 625m와 남북 방향으로 625m로 설정하였으며, 연직 크기는 대상영역에 포함되는 지형의 높이를 고려하여 125m로 설정하였다. 일조모델의 지표경계조건으로 입력되는 지형자료는 일조환경 평가에 있어서 정확하고 세밀한 지형공간정보를 반영하기 위하여 GIS 자료를 기반으로 격자 간격 2.5m의 공간 해상도를 적용하여 구축하였다.

Fig. 1(a)는 성토건설에 의한 인공지형이 형성되기 전에 해당하는 대상지역의 3차원 지형을 나타낸 것으로, 2014년도에 제작된 1:5000 축척의 수치지도로부터

추출된 대상영역의 등고선, 건물, 도로, 해안선 자료 등을 중첩하여 구축하였다. 해안선을 기준으로 남쪽은 바다, 북쪽은 육지부로 구분되며, 남쪽 연안과 북서쪽은 산악지형으로 각각 봉도산과 망매산이 위치하고 있다. 대상지역의 북쪽(망매산 동쪽 및 남동쪽)과 남쪽(봉도산 북서쪽)에는 주로 단일 주택으로 구성된 주거지역이 위치하고 있으며, 일조환경을 저해할 만한 고층건물은 존재하지 않는다. 또한, 이 지역은 천일염 생산지로 염전이 넓게 자리하고 있으며, 염전의 남쪽(봉도산 북쪽)에는 소금 보관창고 등 관련 시설물들이 위치하고 있다. 기온, 일조, 운량, 바람 등의 국지적 기상요소는 소금 생산에 있어서 직·간접적인 영향을 미친다. 특히, 일조는 바닷물의 증발에 직접적으로 관여하기 때문에, 염전지역의 경우 일조환경은 소금 생산에 있어서 매우 중요한 요소이다.

Fig. 1(b)는 앞서 구축된 Fig. 1(a)의 지형자료에 현재 건설이 진행 중인 성토에 의한 인공지형의 형성을 반영한 것으로 건설 도면 및 조감도 등을 참고하여 수치적으로 구현하였다. 성토에 의한 인공지형은 기존 도로의 연장선에서 남쪽 연안에 위치한 봉도산 중턱까지 약 180m의 구간에 대하여 높이 약 5~10m, 폭 약 20m

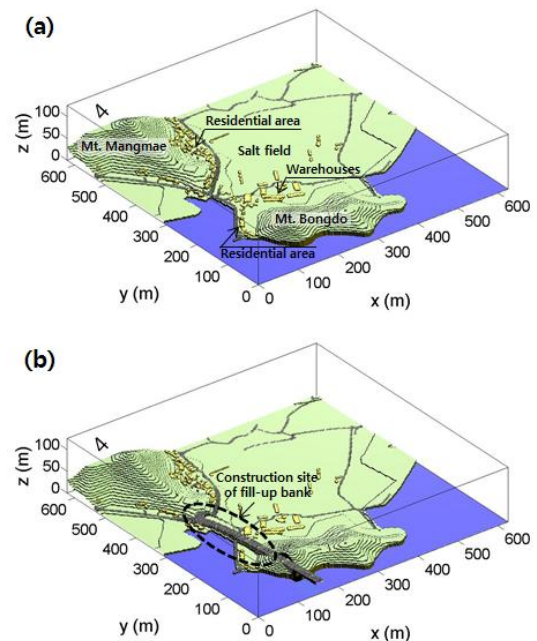


Figure 1. Three-dimensional topography for the target area : (a) before and (b) after construction of bridge and fill-up bank

의 규모로 건설될 예정이다. 따라서 성토건설에 의한 인공지형의 형성은 인접하여 위치한 남쪽 주거지역 및 일부 염전지역 등에 일조차단을 유발할 우려가 있기 때문에, 이에 대한 평가가 필요하다.

## 2.2 일조모형 및 실험설계

본 연구에서는 일조환경 평가를 위하여 Kim et al.(2014)에 의해 개발된 3차원 일조차단 평가모형을 사용하였다(Fig. 2). 이 모델에서는 Schlyter(2010)가 제안한 행성 위치 계산법과 GIS 자료를 기반으로 구축된 격자형식의 지형자료를 이용하여 지형지물에 의한 일조차단 영역을 계산한다. 그 과정을 요약하면 다음과 같다. 먼저, 대상지점의 위·경도와 대상일(Julian day)을 기준으로 황도 경사각, 원일점, 근일점, 이심률, 평균 근점이가, 승교점 경도 등의 태양계요소와 태양의 적경 및 적위를 계산하여 태양의 위치를 산정한다. 다음으로 대상영역의 3차원 지형자료를 이용하여, 각 격자의 5개면(윗면 1개면, 옆면 4개면)에 대하여 중심을 잇는 태양의 방위각과 고도각을 계산한다. 마지막으로, 각 격자별로 계산된 태양의 방위각과 고도각을 지형지물의 위치와 비교하여, 태양의 방위각이 지형지물을 구성하는 격자 내에 위치하고, 태양의 고도각이 지형지물의 고도각보다 작으면, 격자의 해당 면에서 일조가 차단(그림자 형성)되는 것으로 판단한다.

일조환경 평가는 본 연구에서 사용한 GIS 수치지도의 제작연도와 동일한 2014년을 대상으로 하였다. 태양의 남중고도가 가장 높은 여름철에는 그림자가 짧게 형성되고, 태양의 남중고도가 가장 낮은 겨울철에는 그림자가 길게 형성되기 때문에, 일조환경 평가에 있어서 이러한 계절별 영향을 고려하기 위하여, 춘분(3월 21일), 하지(6월 21일), 추분(9월 23일), 동지(12월 22일)를 평가 대상으로 선정하였다. 일조차단 평가 모델링은 각 평가 대상일에 대하여 1시간 간격으로 수행하였다. 본 연구에서는 대상지역의 자연적 및 인공적 지형에 의한 일조차단의 영향을 평가하기 위하여, 전운량을 0%

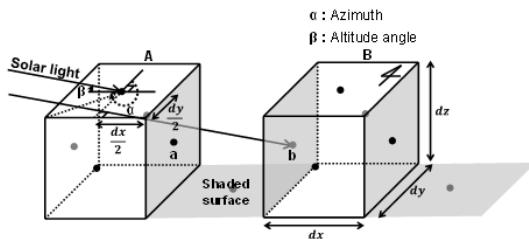


Figure 2. A schematic diagram for shadow detection by Kim et al.(2014)

로 가정하고 인공지형 형성 전과 후에 대하여 예측 및 비교·분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 모델 검증

앞서 서술하였듯이, 본 연구에서 사용한 3차원 일조모형은 대상지역을 기준으로 한 태양의 방위각과 고도각을 계산하고, 이를 기반으로 지형지물에 의한 일조차단 영역을 평가한다. 따라서 국지적 일조환경의 평가를 위해서는 우선적으로 태양의 방위각과 고도각에 대한 일조모형의 계산 정확도를 검증하여야 한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 일조모형에서 계산된 대상지역의 태양의 방위각과 고도각을 한국천문연구원(Korea astronomy and space science institute, KASI)에서 제공하는 시간별 자료와 비교·검증하였다.

Fig. 3은 모든 평가 대상일(2014년도 춘분, 하지, 추분, 동지)에 대하여 대상지역(북위 34.57072°, 동경 126.0546°)에서 계산된 시간별(0000LST~2400LST) 태양의 방위각과 고도각을 KASI 자료와 비교한 결과이다. 태양의 방위각은 0°~360°(Fig. 3a), 고도각은 -90°~90° 사이의 값(Fig. 3b)으로 표시되며, 본 연구에서 1시간 간격으로 평가한 대상지역의 태양의 방위각은 5°~350°, 고도각은 -80°~80°의 범위에 해당된다. 본 연구에서 계산된 태양의 방위각과 고도각은 KASI 자료와 비교하여, 거의 일대일대응선 상에 위치하였으며, R<sup>2</sup>값은 0.99로 매우 우수한 상관을 보였다. 또한, 본 연구에서 사용한 일조모형은 대상지역을 기준으로 한 태양의 방위각과 고도각을 각각 0.04°와 0.25° 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE)의 수준에서 계산하고 있음을 알 수 있었다.

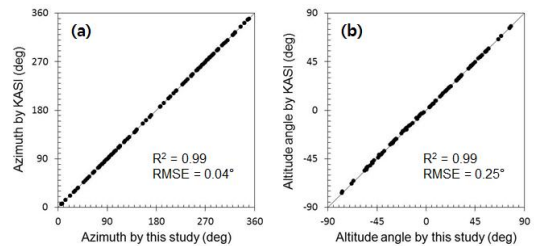


Figure 3. Comparison of hourly solar angles calculated by this study and provided by KASI : (a) azimuth and (b) altitude angles

3.2 일조차단 평가

대상지역의 일조환경 및 인공지형에 의한 일조차단의 영향은 일조모델에서 계산된 성토건설 전과 후에 대한 시간대별 그림자 영역을 비교하여 평가하였다(Figs. 4 to 7, Table 1). 먼저 춘분(봄철)의 경우를 살펴보면 (Fig. 4), 일출 후 오전 시간대인 09시에는(태양의 방위각 111.0°, 고도각 27.7°), 망매산과 봉도산의 북쪽과 서쪽 사면에서 산악지형에 의한 그림자가 형성되나, 대상지역의 동쪽에 높은 지형이나 건물이 존재하지 않기 때문에 염전 및 주거지역에는 일조차단이 나타나지 않았고, 염전지역의 경우 일조영역이 96.11%이었다. 동일 시간(09시)에 대하여 인공지형 형성 후의 경우에는 인공지형의 서쪽에서 그림자 영역이 증가하여, 인접한 남쪽 주거지역의 일부분에 일조차단이 나타났으나, 염전지역에는 영향을 미치지 않았다. 태양의 고도각이 높은 주간 시간대(12시 및 15시)에는 대상지역 전반에 걸쳐 일조환경이 매우 우수하였으며, 교량 건설에 따라 남쪽 해상에 형성되는 그림자를 제외하고 인공지형 형성에 따른 염전 및 주거지역의 일조차단은 거의 나타나지 않았고, 염전지역의 일조영역은 15시에 0.1% 감소하였다. 일몰 시간에 가까운 18시의 경우(태양의 방위각 263.9°, 고도각 8.9°), 인공지형 형성 전에는 망매산과 봉도산의 동쪽으로 산악지형에 의한 그림자가 형성

되어 북쪽 주거지역 및 염전의 북서쪽 일부 영역에서 일조차단이 나타났으며, 염전의 내부에서도 시설물에 의한 그림자가 형성되었다. 또한, 동일 시간(18시)에 대하여 인공지형 형성 후의 경우에는 전과 비교하여 봉도산의 북쪽 사면 및 염전의 남서쪽 일부 지역에서 그림자 영역이 증가하였다. 이로 인한 염전지역의 일조영역은 0.58% 감소하였다.

하지(여름철)의 경우(Fig. 5), 오전 시간대인 09시에는 태양의 방위각과 고도각이 각각 88.1°와 41.8°로 이미 대상지역의 대부분의 영역에서 일조가 형성되었으며, 오후 시간대까지 유지되었다. 심지어 18시의 경우에도 태양의 방위각과 고도각이 각각 285.0°와 20.4°로 다른 계절에 비해 그림자 영역이 좁게 나타나며, 산악지역의 동쪽 사면과 망매산에 인접한 북쪽 주거지역의 일부를 제외하고는 전반적으로 일조환경이 우수하였고, 염전지역의 일조영역은 90% 이상이였다. 또한, 성토건설에 따른 인공지형의 형성이 인근 염전 및 주거지역의 일조환경에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았으며, 염전지역의 일조영역은 18시의 경우에 0.03% 감소하였다.

Fig. 6에 보인 추분(가을철)의 경우, 시간대별 그림자 영역은 춘분의 경우(Fig. 4)와 비교하여 유사한 결과가 나타났다. 09시에는 태양의 방위각과 고도각이 각각

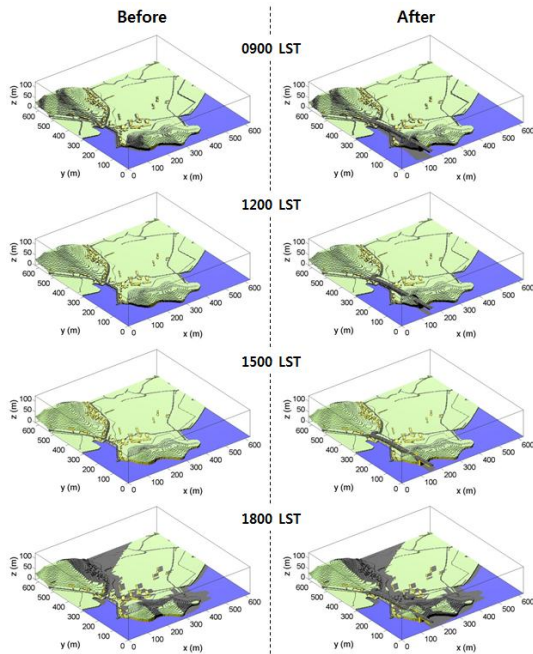


Figure 4. Shadow areas before and after construction of artificial topography on 21 March, 2014

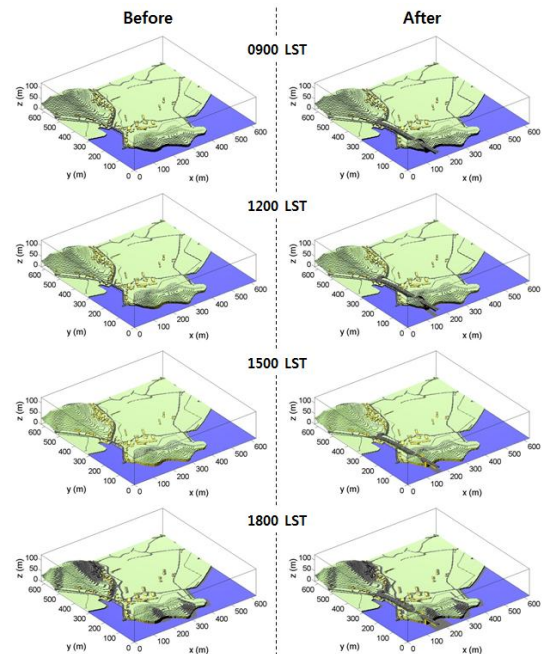


Figure 5. Shadow areas before and after construction of artificial topography on 21 June, 2014

113.8°와 30.4°로 산악지역의 북쪽과 서쪽 사면에 그림자가 형성되었고, 인공지형 형성에 따라 남쪽 주거지역의 일부분이 다소 일조차단의 영향을 받았고, 염전지역의 일조영역은 95.71%이었다. 12시 및 15시에는 대상지역의 전반에 걸쳐 일조환경이 우수하였고, 인공지형에 의한 일조차단 현상도 거의 나타나지 않았으며, 염전지역의 일조영역은 15시에 0.11% 감소하였다. 18시의 경우에는(태양의 방위각 266.0°, 고도각 5.9°), 춘분의 경우보다 태양이 고도각이 더 낮아 산악지형에 의한 그림자 영역이 더 넓게 형성되었다. 이에 따라 북쪽 주거지역 및 염전의 북서쪽 지역이 그림자 영역에 포함되었으며, 염전 내부의 시설물들에 의한 그림자 영역도 넓게 형성되어, 염전지역의 일조영역은 59.43%로 나타났다. 또한, 18시의 경우, 인공지형 형성에 따라 봉도산의 북쪽 및 염전의 남서쪽 지역에서 일조차단 영역이 증가하였고, 이로 인한 염전지역의 일조영역은 1.15% 감소하였으며, 이 지역에 위치하는 소금 보관창고 등 관련 시설물의 대부분이 그림자 영역에 포함되었다.

동지(겨울철)의 경우, 09시에는 태양의 방위각과 고도각이 각각 130.8°와 12.9°로 태양의 위치가 매우 낮기 때문에, Fig. 7에 보인 바와 같이, 망매산과 봉도산의 남동쪽 일부 사면을 제외하고 대부분의 대상지역에

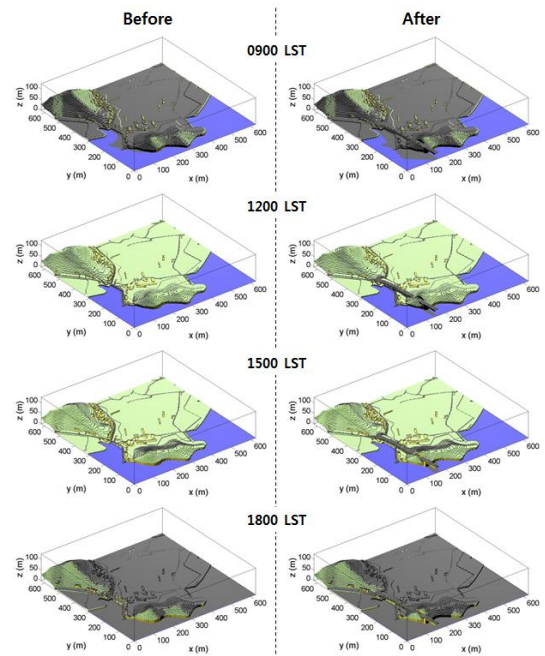


Figure 7. Shadow areas before and after construction of artificial topography on 22 December, 2014

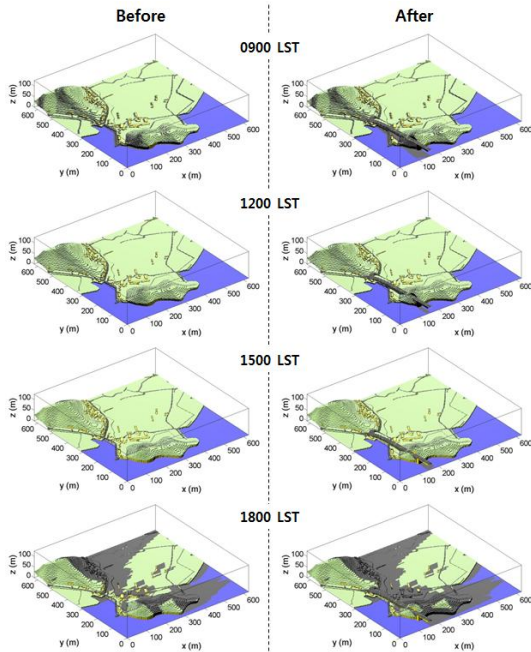


Figure 6. Shadow areas before and after construction of artificial topography on 23 September, 2014

Table 1. Sunshine area for the salt field before and after construction of artificial topography

Date (mm/dd)	Time (LST)	Sunshine area(%)		
		Before	After	Difference
03/21	0900	96.11	96.11	0.00
	1200	99.43	99.42	-0.01
	1500	94.76	94.66	-0.10
	1800	77.67	77.09	-0.58
06/21	0900	99.75	99.75	0.00
	1200	99.79	99.79	0.00
	1500	99.68	99.68	0.00
9/23	0900	95.71	95.71	0.00
	1200	99.32	99.31	-0.01
	1500	94.37	94.26	-0.11
	1800	59.43	58.28	-1.15
12/22	0900	3.07	3.07	0.00
	1200	98.93	98.92	-0.01
	1500	92.79	92.78	-0.01
	1800	0.00	0.00	0.00

서 아직 일조가 형성되지 않았고, 염전지역의 일조영역은 3.07%이었다. 12시의 경우는 다른 계절과 마찬가지로 대부분의 영역에서 그림자 영역이 나타나지 않았으

며, 염전지역의 일조영역은 98.93%이었고, 인공지형 형성에 따른 일조차단의 영향도 0.01%에 불과하였다. 15시의 경우는 태양의 방위각과 고도각이 각각 216.2°와 22.4°로 망매산과 봉도산의 북쪽 사면에서 산악지형에 의해 그림자가 형성되었고, 염전지역의 일조영역은 92.79%로 나타났으며, 인공지형에 의한 일조차단 영향은 0.01%에 불과하였다. 18시의 경우는 태양의 방위각과 고도각이 각각 246.0°와 -6.53°로 태양이 지면 아래에 위치하기 때문에, 망매산과 봉도산의 남서쪽 사면을 제외하고 대부분 영역에서 일조영역이 사라졌으며(염전지역 일조영역 0%), 인공지형 형성에 따른 일조차단의 영향은 봉도산 남쪽 사면에서 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 하의도 남쪽 연안지역을 대상으로 일조환경 및 인공지형 형성에 따른 일조차단의 영향 등을 평가하였다. 대상지역의 지형자료는 GIS 자료를 이용하여 정확하고 세밀한 지형공간정보를 반영하여 구축하였으며, 태양의 방위각과 고도각을 기반으로 3차원 일조환경평가 모델링을 수행하여 대상지역의 자연적 및 인공적 지형에 의한 일조차단의 영향을 예측 분석하였다.

대상지역의 일조환경을 분석한 결과, 주간시간대에는 약 90% 이상의 영역에서 일조가 형성되어 염전 및 주거지역의 일조차단은 나타나지 않았다. 태양의 고도가 낮은 일출 및 일몰 시간대의 경우, 대상지역은 일조차단의 우려가 있는 고층 건물이 존재하지 않으므로 주로 산악지형에 의한 그림자가 형성되었고, 북쪽 주거지역이 일몰 시간대에 형성되는 그림자의 영향을 받는 것으로 나타났다.

성토건설에 따른 인공지형의 형성이 인근 염전 및 주거지역 등의 일조환경에 미치는 영향을 살펴보면, 주간 시간대에는 태양의 고도가 높고 인공지형이 거의 남북 방향으로 건설되기 때문에 인공지형에 의한 일조차단의 영향은 나타나지 않았으나, 일출 후 이른 오전 시간대에는 남쪽 주거지역 일부에 영향을 미쳤으며, 일몰 전 늦은 오후 시간대에는 염전지역의 남서쪽 영역에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 성토건설에 따라 형성되는 인공지형은 높이가 10m 이하로 전체 규모 대비 높지 않기 때문에, 이로 인한 염전지역의 일조영역 감소는 2% 미만으로 나타났으며, 결론적으로 인공지형이 대상지역의 일조환경에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 평가되었다.

본 연구를 통하여 GIS 자료가 일조환경을 예측·분석

하는데 있어서 기반이 되는 3차원 지형공간자료의 생산에 매우 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한, 일조모델을 이용한 고해상도 일조환경평가 모델링 기법은 자연적 및 인공적 지형에 의한 일조차단과 그림자의 형성 등 국지적 일조환경의 평가에 있어서 간편하고 유용한 수단이 될 수 있으리라 기대된다. 더 나아가, GIS 자료와 일조모델을 이용한 일조환경 평가기법의 활용성 측면에서, 향후 국지기상 예측성 향상 등에 기여할 수 있도록, 대상기간 동안의 일조시간대의 관측정보 및 인공구조물의 3D 렌더링 자료의 반영 등을 통한 일조환경평가 모델링의 개선과 일조 및 그림자 영역에 따른 지표면 온습도 정보의 생산 등을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상산업 지원 및 활용기술개발 사업(KMIPA2015-5042)의 지원으로 수행되었습니다. 논문에 대해 유익한 지적을 해주신 심사위원님께 감사드립니다.

#### References

1. Du, Y. D., Al, H., Duan, H. L., Hu, Y. M., Wang, X. W., He, J., Wu, H. Y. and Wu, X. X., 2013, Change in climate factor and extreme climate events in South China during 1961–2010, *Advances in Climate Change Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 1–11.
2. Han, B. H., Kim, H. S. Jung, T. J. and Hong, S. H., 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*, Vol. 24, No. 6, pp. 751–762.
3. Joo, S. M., Choi, J. H., Shin, H. J. and Um, J. S., 2014, Evaluating cross-correlation between officially land price and solar radiation for agricultural field parcels, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 3, pp. 31–37.
4. Kim, D. Y., Kim, D. H. and Kim J. J., 2013, Development of observational environment evaluation model for sunshine duration at ASOSs located in urban areas, *Atmosphere*, Vol. 23, No. 3, pp. 275–282.
5. 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 Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 17, No. 3, pp. 116–131.
6. Kim, J. M. and Yang, S. W., 2011, Analysis on the sola environmental changes according to the amendment of apartment planning indexes in Seoul, Journal of the Architectural Institute of Korea: Planning & Design, Vol. 27, No. 5, pp. 203–210.
  7. Kim, J. W. and Um, J. S., 2013, Exploring NDVI gradient varying across landform and solar intensity using GWR: A case study of Mt. Geumgang in North Korea, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 21, No. 4, pp. 73–81.
  8. Park, E. T. and Kang, B. K., 2008, A study on the change of sunlight environment impact on the neighboring areas following the layout plans of apartment complexes: Focusing on green building certified apartment complexes, Journal of the Architectural Institute of Korea: Planning & Design, Vol. 24, No. 3, pp. 11–22.
  9. Park, S. J. and Kim, J. J., 2014, Blocking effects of buildings on sunshine duration at Seoul and Daegu ASOSs, Atmosphere, Vol. 24, No. 1, pp. 17–27.
  10. Schlyter, P., 2010, Computing planetary positions – a tutorial with worked examples, <http://www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>
  11. Sin, D. Y. and Kim, J. S., 2009, Analysis of sunshine access right by 3D city model, Journal of the Korean Cadastre Information Association, Vol. 11, No. 2, pp. 117–125.
  12. Um, Y. C., Seo, T. C., Jang, Y. A., Lee, S. G., Lee, J. G., Choi, C. S. and Oh, S. S., 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, Vol. 20, No. 4, pp. 269–276.
  13. Yun, K. H., 2005, Analysis of shadow effects in urban areas, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 25, No. 6, pp. 937–941.