

태양광 적지분석에 기반한 친환경 주거단지 계획*

- 대구광역시를 대상으로 -

손정민¹ · 엄정희^{2*}

Eco-Friendly Residential District Plan Based on Site Suitability Analysis for Solar Energy*

- A Case Study of Daegu -

Jeong-Min SON¹ · Jeong-Hee EUM^{2*}

요 약

본 연구에서는 솔라시티를 지향하고 있는 대구광역시를 대상으로 GIS 프로그램을 이용한 태양광 적지분석을 통해 적지유형을 분류하고, 구군별 적지현황을 알아보고자 하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 실제 대상지를 선정하여 솔라에너지를 중심으로 한 친환경 주거단지를 계획하였다. 이를 위해서 기존 사례연구 고찰을 통해 태양광시설 설치 조건 및 기준을 확립하여, 적지 지표를 선정하였고, 선정한 지표를 입지조건, 배제조건, 등급조건으로 구분하였다. 분석 결과 대구광역시 태양광 적지면적은 총 153.95km²로 대구광역시 면적 대비 17.6%를 차지하고 있었으며, 달성군에서 가장 크게 나타났다. 적지 지도를 바탕으로 대구광역시 동구 신서동에 위치한 단독주택단지를 대상지로 선정하여 솔라에너지를 중심으로 한 단지계획을 제시하였다. 본 연구는 대구광역시 태양광 적지분석에 있어 다양한 지표를 고려하고, 분석함으로써 향후 대구광역시 태양광 사업 및 정책에 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 계획한 친환경 주거단지는 솔라시티 대구광역시의 이미지를 명확하게 홍보하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 태양광 에너지, 솔라시티, 친환경 주거단지, 적지분석, 지리정보시스템

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine a suitable site using GIS for solar energy harvesting for an administrative district in Daegu, which aims at becoming a solar-

2017년 8월 24일 접수 Received on August 24, 2017 / 2017년 9월 26일 수정 Revised on September 26, 2017 /
2017년 9월 27일 심사완료 Accepted on September 27, 2017

* 본 연구는 한국연구재단(과제번호 : 2015R1C1A2A01052513)의 지원으로 수행되었음.

1 계명대학교 건축학과 Department of Architecture, Keimyung University

2 계명대학교 도시학부 생태조경학전공 Department of Landscape Architecture, Keimyung University

* Corresponding Author E-mail : eumjh99@kmu.ac.kr

powered city. From this result, the ecological housing complex was planned on a solar theme in the real site. For this analysis, various indicators and standards were selected based on previous studies and the indicators were divided into the location, exclusion, and class condition. The results showed that the suitable area was 153.95km² and 17.6% for Daegu area, and the highest suitable area appeared to Dalseong-gun. Finally, using suitable site analysis results, we selected the site of Sinseo housing area in Dong-gu and we planned the ecological housing complex for solar energy. This study can be used as base data for the Daegu solar business and its establishment by considering various indicators for analysis of suitable areas in solar energy. Also, the result of the ecological housing complex plan would be helpful in promoting Daegu as a solar-powered city.

KEYWORDS : *Solar Energy, Solar City, Eco-Friendly Residential District, Site Suitability Analysis, Geographic Information System (GIS)*

서론

현재 전 지구적으로 기후변화로 인한 문제가 심각해지고 있는 상황에서 이에 대응하기 위한 신재생에너지의 개발이 활발해지고 있다. 특히 신재생에너지 중 하나인 태양광 발전은 태양전지를 활용하여 태양광 에너지를 전기 에너지로 직접 변환함으로써 전력을 생산하기 때문에 다른 신재생에너지 활용에 비해 발전효율이 비교적 낮고, 초기 높은 설치비 때문에 경쟁력이 낮은 것으로 인식되어 왔다. 하지만 최근 설비 기술이 발달하고 설치 규모가 증대됨에 따라 다른 신재생에너지에 비해 태양광발전시설의 원가가 뚜렷하게 감소하고 있고, 무한한 사용이 가능하다는 장점으로 크게 주목받고 있다(Kim and Han, 2007; Na, 2016). 이에 따라 태양광 에너지를 중심으로 하여 기후변화에 대응하기 위한 사업이 활발히 시행되고 있는데, 바로 솔라시티(Solar City) 사업이다.

“솔라시티”란 「대구광역시 솔라시티 조례」 제3조 제2호에 따라 지구의 온난화로 야기되는 지구환경변화를 안정시키기 위하여 태양에너지를 비롯한 신·재생에너지를 도입·활용하여 에너지의 효율성을 높이는 환경친화적인 도시를 말하며, 솔라시티 프로젝트는 태양광 시스템을 핵심으로 하여 온실가스 배출 감축과 이와 관련

된 정책 및 기술 등을 도시에 반영하고, 지역의 에너지 자립을 위한 기반을 마련하는 것을 의미한다(Joo and Choi, 2012). 세계적으로 많은 도시들이 이 솔라시티 사업에 참여하고 있는데, 그 중에서도 대구광역시도 우리나라 지방정부 최초로 솔라시티로 선정되어 사업에 적극적으로 참여하고 있다.

대구광역시는 2001년 대구솔라시티센터를 창립하여 솔라시티대구 50년계획 수립 및 솔라시티 포럼 개최를 한 이래로, 2004년에는 제1회 세계솔라시티총회 개최, 2006년에는 대구 솔라시티 조례 제정 등 솔라 산업을 위해 꾸준히 노력을 기울이고 있다(Daegu Metropolitan City, 2015). 특히 이러한 노력의 일환으로 태양광 주택 1만호 프로젝트, 솔라 빌리지 시범단지 조성사업, 솔라스쿨 확대 보급 등을 실시하면서 대구광역시는 솔라시티를 알리고 태양광 생산 및 보급을 위해 다양한 방식으로 힘쓰고 있다.

하지만 이러한 대구광역시의 솔라시티 프로젝트는 단순한 홍보 사업이나 태양광의 효율적인 생산에 대한 근거 없이 무조건적인 태양광 보급 확대에 치중되어 있어 효율적이지 않다는 지적을 받고 있으며, 태양광시설 설치 시 환경적인 측면과 입지성을 고려하지 않은 채, 일조량만을 고려하여 난개발의 사례도 발생하고 있다(Jung, 2008; Joo and Choi, 2012). 뿐만 아니라 Kim and Han(2007)은 대구광역시 태양광 발전시설

의 경제성이 비용편익비율에서 매우 낮게 나타났다고 밝히면서, 단순한 태양광 시범 보급과 홍보 차원에서 나아가 도시 차원에서 재원을 마련하여 솔라시티 사업의 장기적 지속성을 확보하도록 제안하고 있으며, Jung(2008) 역시 지역적 특색을 반영하고 시민 참여 등의 내용을 도입한 정책 및 계획 수립의 필요성을 강조하고 있다. Lee and Ahn(2012)는 대구광역시의 솔라에너지와 관련한 연구 및 정책이 주로 기술개발과 보급에만 초점이 맞추어 왔다고 지적하였다.

따라서 대구광역시가 추진하고 있는 솔라시티 사업의 체계적인 확대를 위한 전략이 필요한 상황으로, 이를 해결하기 위해 태양광을 효율적으로 활용할 수 있는 적지 분석이 요구되며, 단순한 솔라시티 대구의 이미지 홍보가 아닌, 사람들에게 명확히 인식될 수 있는 랜드마크적인 공간 또한 필요하다.

이에 본 연구에서는 대구광역시 태양광 보급 확대를 위한 객관적인 방안을 확보하고자 태양광 활용 적지를 분석하고, 적지분석 결과를 바탕으로 실제 대상지를 선정하여 솔라에너지를 중심으로 한 친환경 주거단지를 계획하고자 한다. 특히, 최근 산림 부지를 훼손하고 태양광 발전시설을 설치하는 사례가 태양광 발전시설의 보급 취지와 반대된다는 지적을 받고 있기 때문에(Joo and Choi, 2012), 본 연구에서는 자연환경을 훼손하지 않는 범위 내에서 사람들이 거주하는 친환경 주거단지를 적지분석의 목표로 하였으며, 이를 위해 시가화지역 및 농림지역과 같이 주거단지 입지가 가능한 지역을 중심으로 적지 분석을 실시하였다.

태양광시설 적지와 관련한 국내 선행연구들을 살펴보면, Lee and Kang(2010)은 부산시를 대상으로 하여 GIS 기법을 활용한 태양광 시설 입지분석을 실시하였고, Choi *et al.*(2010)은 GIS를 활용하여 정확도 분석을 실시하였다. Park *et al.*(2012) 또한 GIS기반 태양광발전소 적지분석을 실시하였다. 이러한 기존 연구에서는 태양광발전 시설의 적지를 도출하는 데 있어 주요 분석방법으로 GIS 프로그램을 사용하고 있었으며, 입지 분석을 위해서는 다양한 지

표를 고려해야 함을 알 수 있었다. 하지만 대규모 태양광 발전시설 즉 발전소 입지를 위한 연구가 주를 이루어 왔으며, 분석을 위해 선정한 지표에서는 지형적 인자만 있거나 고려한 지표 개수가 적었다는 한계점이 있었다. 한편, Joo and Choi(2012)와 Lee and Lee(2015)의 선행연구에서는 각각 대구광역시와 경상북도를 중심으로 태양광 발전시설 최적입지를 도출하였는데, 시설의 입지요건 중 일부분을 고려하였으며, 각 입지요소에 대해 동일한 가중치를 두고 분석함에 따라 객관성에 대한 고려가 부족했다. 따라서 본 연구에서는 다양한 적지 지표를 선정하여 적지 분석을 체계적으로 수행하고자 하며, 최종적으로 솔라시티를 대표할만한 주거단지 계획을 위해서 솔라에너지 계획 요소를 살펴보고, 바람길 분석, 유수 분석 등을 추가하여 친환경적 주거단지 계획을 목표로 하였다.

연구 방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지인 대구광역시(그림 1)은 면적 884km²으로 인구 2,511,050명이 거주하는 지역(Daegu Metropolitan City, 2016)이다. 경남 진주, 경북 안동 등과 함께 우리나라에서 일사량이 풍부한 도시로서 태양광에너지의 확보가 뛰어난 지역으로 알려져 있다. 또한 대구광역시는 국내 최초의 솔라시티로 선정되어 태양광에너지 생산을 위해 태양광 발전시설 설치 및 보급을 확대하고 있지만 대구광역시의 태양광에너지 생산량을 살펴보면 2015년 기준 10,828 TOE로 전국합계 849,379 TOE 대비 약 1.3%에 그치고 있다(Korean Energy Economics Institute, 2016). 이는 전국에서 14위에 미치는 기록이며 태양광 잠재량에 비해 생산량은 현저히 낮은 상황이다.

2. 적지분석을 위한 지표 및 기준 선정

일반적으로 태양광시설의 적지를 분석하는 데 있어 중요한 지표는 일사량, 일조시간, 평균

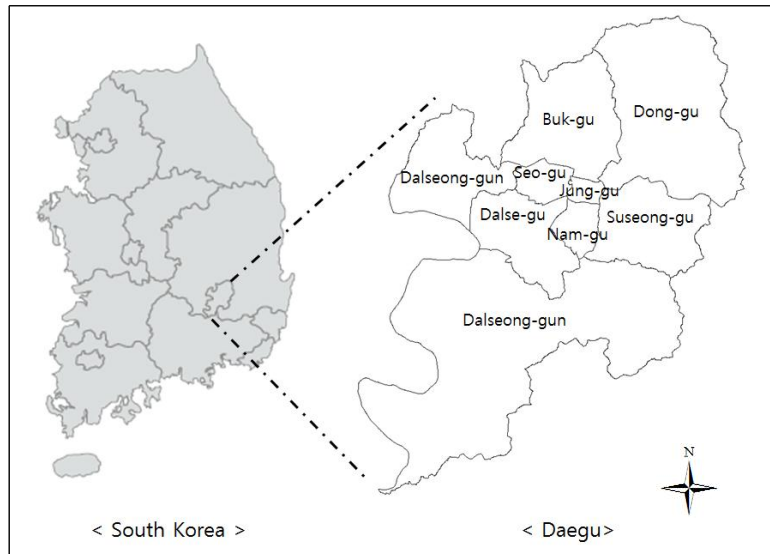


FIGURE 1. Study area

기온, 강수량, 상대습도 등의 기후조건이며, 그 중에서도 의존도가 높은 일사량과 온도조건이 최우선적으로 고려되어야 한다(Lee and Kang, 2010; Park, 2011). 그리고 수광장애 및 공해의 유무 등과 같은 환경조건이 중요한데, 수광장애의 유무는 산그늘, 건물그늘 등에 의해서 태양전지 모듈에 그늘이 발생할 수 있으므로 고려되어야 할 조건이며, 태양전지 모듈에 이종금속 접촉부식, 효율저감 등을 유발할 수 있으므로 공해 및 염해와 같은 오염도 고려되어야 할 조건이다(Lee and Kang, 2010; Park, 2011). 따라서 공간적으로는 도로와의 이격거리를 두어 공해가 적은 곳을 입지로 선정하고 하천 또한 발생하는 먼지 등 염해로 인해 이격거리를 고려하여야 한다(Park, 2011). 지형적으로는 경사도, 표고, 사면방향 등의 요소가 중요하게 판단된다. 이와 같이 태양광시설 입지에 있어서는 다양한 지표에 대한 고려가 필요하다.

대구광역시 태양광 적지 분석을 위하여 다음과 같은 선행연구 고찰을 통해 지표 및 기준을 선정하였다. Kwon *et al.* (2008)은 태양광발전소 입지선정을 위해 일반적으로 경사도 및 사면방향, 일조시간, 기온, 오염도 등의 조건을 입지

선정 지표 가이드라인으로 제시하였으며, Lee and Kang (2010)은 도로망, 하천, 토지이용인 지형요소와 함께 경사도, 향, 표고를 활용하여 최종 입지를 평가하였다. Jang (2011)은 고도, 경사, 사면방향, 도로와의 이격거리, 일조량 요소와 함께 건물면적을 고려하여 태양광시설의 적지를 분석하였다. Joo and Choi (2012)는 일사량, 고도, 경사, 사면방향, 도로와의 이격거리를 사용하여 태양광시설 최적입지를 선정하였다. 한편, Park (2011)은 태양광발전소 적지 지표에 대한 상관분석을 위해 고도, 사면방향, 경사도, 하천 및 도로와의 이격거리, 온도, 일조량, 풍속 등의 인자를 고려하였는데, 그 결과 사면방향, 경사도, 일조량, 표고 순으로 태양광 발전에 영향을 미쳤으며, 온도와 풍속은 큰 영향을 미치지 않는 요소로 나타났다고 밝혔다. 이에 대한 후속연구로써 Park *et al.* (2012)는 표고, 사면방향, 경사, 토지이용 등의 지표를 선정하여 요인별 상관분석을 실시하였고, 마찬가지로 사면방향, 경사도, 일조량, 표고 순으로 주요 영향을 미치고 있음을 밝혔다. Lee and Lee (2015)는 지형 인자로 경사도, 향, 음영기복도, 도로와의 이격거리를 고려하였고, 기후 인자로 일사량,

강수량, 일조시간 등을 선정하여 태양광 발전소 입지 분석을 실시하였다.

이와 같이 선행연구 고찰을 통해 살펴본 태양광 적지 분석에 활용된 지표를 종합하여 표 1로 정리하였다. 그 결과 연구 목적에 따라 사용한 인자가 달랐지만 태양광시설 입지 선정에 있어 표고, 사면방향, 경사, 토지이용, 도로와의 이격거리, 일조량, 일사량 등의 요소가 주요 인자로 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 위의 기존 사례 연구 고찰을 통해 분석된 주요 인자를 지표로 선정하고, 그 지표들을 입지조건, 배제조건, 그리고 등급조건으로 구분하였다. 선정한 지표는 총 8가지로 입지조건에는 3가지(고도, 경사도, 도로와의 이격거리), 배제조건에는 3가지(국토환경성평가지도, 생태자연도, 수환경), 그리고 등급조건에는 2가지(사면방향, 일사량)를 포함하여 선정하였다(표 2).

‘입지조건’ 지표의 기준은 고도 100m 이하 및 경사도 10° 이내로 정하였으며, 태양광시설 설치시 먼지 등으로 인한 모듈의 부식 피해를 저감할 수 있도록 도로와의 이격거리를 50m 기

준으로 선정하였다. ‘배제조건’ 중 국토환경성평가지도는 국토의 친환경적 보전, 개발, 이용을 위해 환경성을 종합적으로 평가한 주제도로써 총 5개의 등급으로 지정되어 있는데, 1등급 및 2등급은 보전지역, 3등급은 완충지역, 4등급 및 5등급은 친환경적 개발 유도지역으로 구분되어 있어 개발이 제한되는 1등급 및 2등급을 개발을 위한 배제기준으로 설정하였다. 한편, 생태자연도는 국토환경성평가지도에서 고려할 수 없었던 환경보전지역을 배제조건으로 포함하였다. 생태자연도는 산, 하천, 내륙습지, 호소, 농지, 도시 등에 대하여 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관성 가치 등에 따라 등급화한 지도로써, 총 4개의 등급으로 구분되어 있다. 그 중 1등급, 2등급 및 별도관리지역을 제외하였는데, 1등급은 멸종위기 동·식물의 주된 서식지이자 생태계가 특히 우수하거나 경관이 수려한 지역, 생물의 지리적 분포한계에 위치한 생태계, 그리고 대표적인 주요 식생군락 등이 위치한 곳으로 보전을 해야 하는 지역이며, 2등급 또한 1등급에 준하는 지역으로써 훼손을 최소화 해야 하는 지역이기 때문이다. 그리고 별도관리지역은 자

TABLE 1. Indicators and standards for site suitability analysis of solar energy in previous studies

Indicator	Kwon <i>et al.</i> (2008)	Lee & Kang (2010)	Jang (2011)	Park (2011)	Park <i>et al.</i> (2012)	Joo & Choi (2012)	Lee & Lee (2015)
Elevation		0	≤100m	0	0	≤100m	0
Aspect	southern aspect	0	south-eastern ~ south western (112.5 ~ 247.5°)	0	0	south-eastern ~ south western (112.5 ~ 247.5°)	0
Slope	≤10°	0	≤30°	0	0	≤10°	0
Landuse		0		0	0	0	0
National environmental assessment map				0	0	except for 1 st and 2 nd class	
Separation distance of the river		0		0			
Separation distance of the road	0	0	≥50m	0		≥50m	0
Sunshine duration	≥3.5h						0
Number of days with precipitation	0	0		0	0		
Radiation	0		≥4,000MJ/m ²	0	0	≥4,000MJ/m ²	0
Temperature	25°C			0	0		0
etc.	Cumulus and snowfall		Building area	Wind velocity			Hillshade et al.

TABLE 2. Indicators and standards selected for site suitability analysis of solar energy in this study

Division	Indicator	Suitability standard
Location condition	Elevation	$\leq 100\text{m}$
	Slope	$\leq 10^\circ$
	Separation distance of the road	$\geq 50\text{m}$
Exclusion condition	National environmental assessment map	except for 1 st and 2 nd class
	Ecological naturalness	except for 1 st , 2 nd class and separate management area
	Water area	except for water area
Class condition	Aspect	112.5 ~ 247.5° (sout-eastern ~ south-western)
		1 st (112.5 ~ 247.5°)
		2 nd (90 ~ 112.5°)
		3 rd (247.5 ~ 270°)
	4 th (0 ~ 90° , 270 ~ 360°)	
Radiation	radiation $\geq 4,000\text{MJ}/\text{m}^2$	1 st (4700 ~ 4800MJ/m ²)
		2 nd (4600 ~ 4700MJ/m ²)
		3 rd (4500 ~ 4600MJ/m ²)
		4 th (4400 ~ 4500MJ/m ²)

연공원, 생태·경관보전지역 등 역사적, 문화적, 경관적으로 가치가 있는 지역으로 도시의 녹지 보전 등을 위해 법률적으로 관리되고 있는 지역이기 때문에 배제지역에 포함시켰다. ‘등급조건’으로 선정한 사면방향 및 일사량은 태양광 발전의 효율에 영향을 미치는 조건이다. 효율이 극대화 되는 사면방향은 남동·남서 방향(112.5~247.5°)이며, 일사량 또한 태양광발전에 충분한 기준으로 4,000MJ/m² 이상을 제시하고 있다(Kwon *et al.*, 2008; Jang, 2011). 모든 사면에 태양광 시설 설치가 가능하지만, 효율을 극대화 할 수 있는 방향과 비교적 효율이 떨어지는 방향을 구분하여 지도로 구축함으로써 적지분석 결과를 보다 체계적으로 제시하고자 하였다. 따라서 태양광 활용에 있어 적합한 방향인 112.5~274.5°(남동~남서)를 1등급으로 두고, 2등급(90~112.5°), 3등급(247.5~270°), 4등급(0~90°, 270~360°) 순으로 나누었다. 태양광 발전에 적합한 일사량의 기준은 4,000MJ/m²로, 대구광역시 모든 지역이 기준에 적합하였다. 본 연구에서는 상대적으로 더 많은 태양광 발전 가능지역을 구분하고자, GIS의 자연적 구분법(Jenks)에 의해 일사량을 1등급(4,700~4,800MJ/m²), 2등급(4,600~4,700MJ/m²), 3등급(4,500~4,600MJ/m²), 4등급(4,400~4,500MJ/m²)으로 구

분하였다. 따라서 태양광 발전 효율에 중요한 영향을 미치는 요인인 사면방향과 일사량은 등급을 구분하여 적지 내 분포를 파악하였다.

3. 적지분석 과정

본 연구를 위해 ESRI사의 ArcGIS ver.10.2를 사용하여 기본 데이터 구축 및 분석을 실시하였다. 국토환경성평가지도 및 생태자연도는 환경부에서 제공받아 사용했으며, 표고, 경사도, 사면방향은 국토교통부에서 제공하고 있는 대구광역시의 1/25,000 수치지형도를 활용하여 가공하였다. 수치지형도에서 주곡선 및 계곡선 레이어를 추출한 후 TIN(Triangulated irregular network)과 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 구축하였으며(Joo and Choi, 2012), 해상도는 25m×25m로 하여 분석하였다. 도로 및 수환경은 대구광역시에서 데이터를 제공받았는데, 도로의 경우 폭 10m 이상을 포함한 자료로 대구광역시에서 구축된 도로 자료 중 가장 세분화된 자료이며, 수환경의 경우 하천과 저수지를 포함한 자료이다. 도로의 이격거리 분석을 위해서 ArcGIS의 Buffer 기능을 활용하여 50m 반경을 산정하였다. 또한, 일사량 분석을 위해서 대구광역시 기상청에서 제작한 태양자원지도를 활용하였는데, 이 지도는 수치가상자원지도로 C

SV(Comma Separated Value) 형태로 제공되기 때문에 ArcGIS의 Geoprocessing을 이용해 가공할 수 있는 데이터로 1차 변환 후, IDW(Inverse Distance Weight) 보간법을 통해 대구시 일사량 자료를 구축하였다. 제공받은 태양자원지도는 해상도가 1,700m×1,700m이기 때문에, 다른 자료와 해상도를 일치시키기 위해 최종적으로 25m×25m의 해상도로 분석을 수행하였다.

이와 같이 구축된 기초데이터를 ‘입지조건’과 ‘배제조건’에 따라 중첩분석을 실시하여 태양광 적지를 1차적으로 파악하고, 적지지역에 해당하는 ‘등급조건’인 사면방향 및 일사량 분석을 통해 태양광 발전을 고려한 친환경 주거단지의 최종 적지를 선정하였다.

4. 솔라에너지 단지 계획

앞서 정의를 살펴보았듯이 솔라시티는 단순히 태양에너지만을 활용하는 도시가 아니며, 다른 재생가능한 에너지를 효율적으로 사용하는 도시를 의미한다. 그러므로, 솔라시티는 지속가능한 교통수단, 새로운 도시계획, 건축물의 혁신, 그리고 건강한 환경 등을 포함하게 된다(Jung, 2008).

따라서 본 연구에서 솔라시티 대구를 위해 계획하고자 하는 솔라에너지 중심의 친환경 주거단지는 태양광에너지를 적극 활용하면서 친환경

적인 요소를 도입한 주거단지를 의미한다. 이를 위해, 태양광 발전을 기초한 적지를 대상으로 바람길, 수문 등 다양한 환경요소를 분석하였고, 그 결과를 바탕으로 친환경 주거단지의 계획사례를 제시하였다.

이를 위해, 독일에서 개발된 찬공기 분석 모형인 KALM(Kaltluftabflussmodell)을 활용하여 바람길을 분석하였다. KALM 분석시 사용되는 입력자료로는 토지피복 및 지형 자료이며, ArcGIS를 이용하여 구축 및 가공하였다. 또한, 대상지 내 수문분석은 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 바탕으로 ArcGIS의 Hydrology 기능을 활용하여 수행하였다. 친환경 주거단지계획 분석시 사용한 자료의 해상도는 10m×10m이다.

적지분석 결과

1. 현황도 구축

대구광역시 태양광 적지분석을 위해 선정한 지표들의 현황도를 구축한 결과는 그림 2와 같다. 대구광역시는 고도가 0~1189.09m로 분포하고 있으며(그림 2(a)), 경사도는 0~20°의 분포가 가장 많이 나타났다(그림 2(b)). 국토환경성평가지도를 살펴볼 때, 보전지역인 1등급 및 2등급은 북쪽과 남쪽에서 주로 분포하고 있었으며,

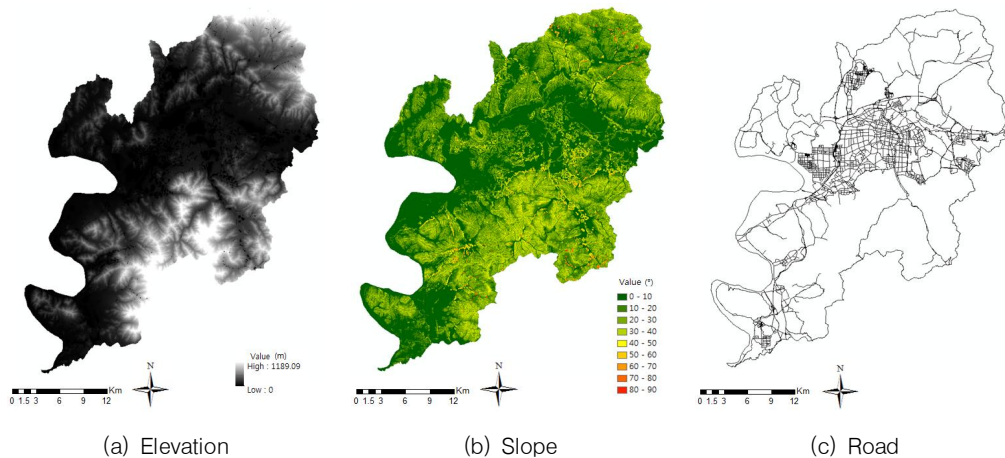


FIGURE 2. Basic maps for site suitability analysis of solar energy

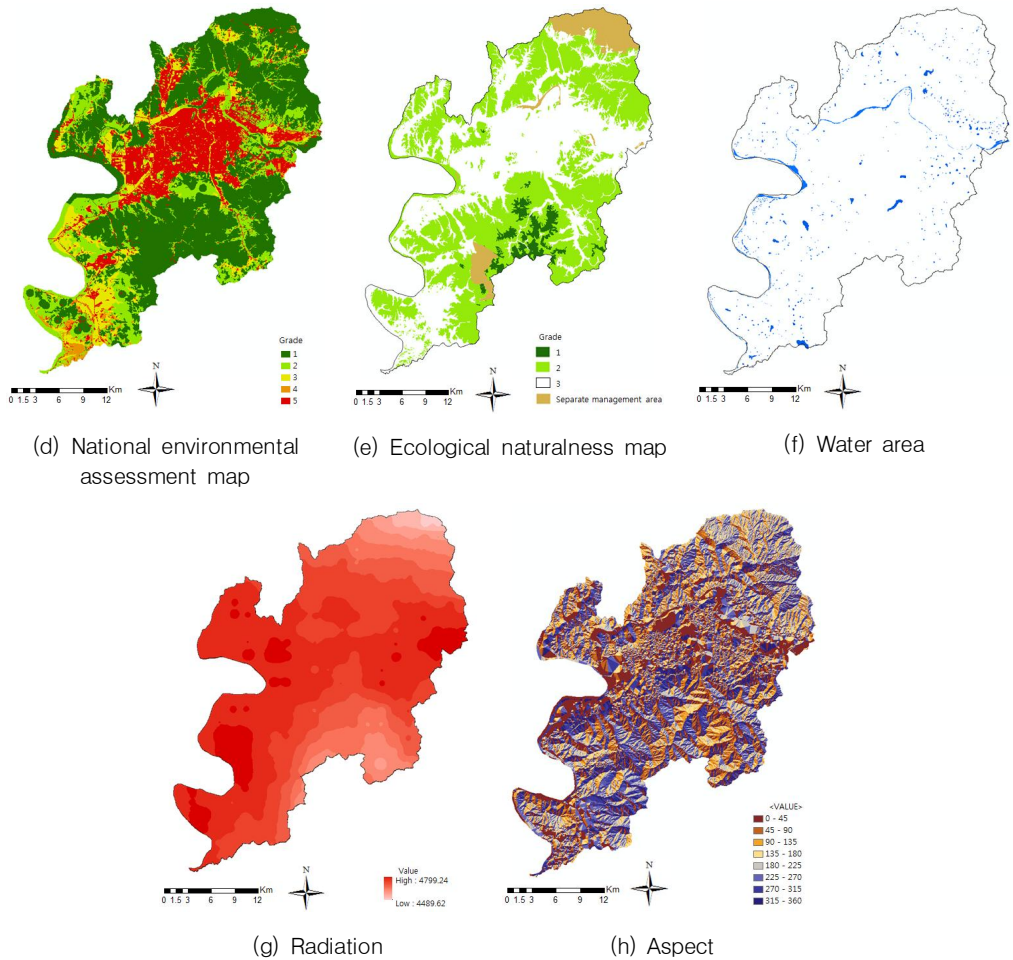


FIGURE 2. Continued

이는 산지가 위치한 결과로 나타난 것이라 판단되었다. 완충지역인 3등급은 대구광역시 외곽에서, 친환경적 개발 유도지역인 4등급 및 5등급은 중심부에 밀집하고 있었다(그림 2(d)). 생태자연도 역시 보전지역인 1등급 및 2등급, 별도관리지역은 산지가 주로 위치한 곳에서 분포하고 있었으며, 개발을 허용하는 등급인 3등급은 대구광역시 중심부를 기준으로 밀집되어 있었다(그림 2(e)). 일사량의 경우 4489.62~4799.24MJ/m²로 분포하고 있으며, 고도가 높을수록 일사량의 분포가 더 낮게 나타나 고도가 높아질수록 기온이 낮아지고 일조량이 줄어든 것으로 판단되었다.

2. 입지조건 및 배제조건을 통한 적지분석

입지조건으로 선정한 고도, 경사도, 도로와의 이격거리를 분석한 결과는 그림 3과 같고, 배제조건으로 선정한 국토환경성평가지도, 생태자연도, 수환경의 지표를 분석한 결과는 그림 4와 같이 나타났다. 최종적으로 입지조건 및 배제조건을 기준에 따라 중첩분석 하여 얻은 대구광역시 태양광 적지지역은 그림 5와 같이 나타났다.

대구광역시 내 태양광 적지면적은 총 153.95 km²로, 대구광역시 면적 대비 17.67%를 차지하였다. 구군별 면적으로 비교해 본 결과, 달성군 56.65km², 달서구 23.04km², 북구 20.66km², 동구

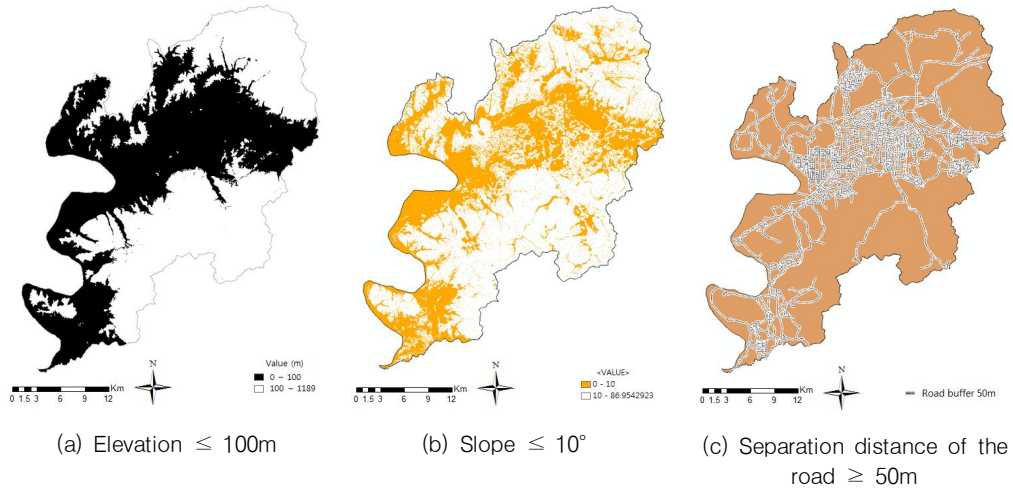


FIGURE 3. Suitable areas for locating solar energy residential district

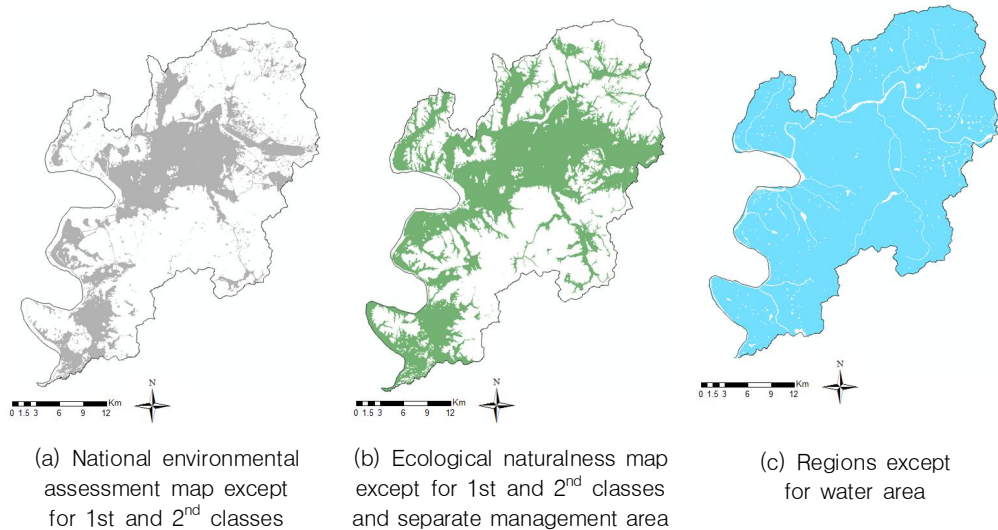


FIGURE 4. Exclusion areas for solar energy residential district

18.52km², 수성구 13.51km², 서구 10.57km², 남구 6.79km², 중구 4.21km² 순으로 적지면적이 많은 것으로 나타났다(표 3).

3. 적지지역 내 등급조건 분포

앞서 분석한 대구광역시 태양광 적지에 등급 조건인 사면방향 및 일사량에 대한 분석 결과는

그림 6으로 나타났으며, 각 등급별 면적은 표 4와 같이 나타났다. 먼저 사면방향의 등급 분포를 살펴보면, 가장 낮은 등급인 4등급(0~90°, 270~360°)이 84.07km²로 가장 많이 차지하고 있었으며, 그 다음으로 1등급(112.5~247.5°)이 46.36km²로 높게 면적이 나타났다. 일사량의 경우 1등급(4700~4800MJ/m²)이 139.85km²로 높았다.

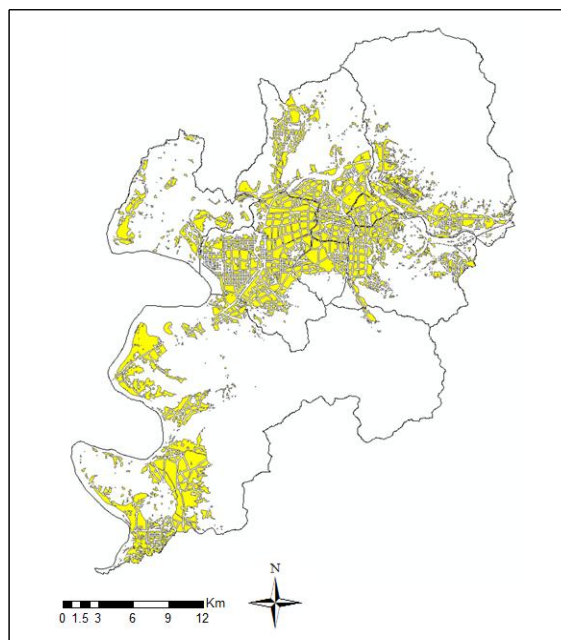


FIGURE 5. Suitable sites for solar energy plan in Daegu

TABLE 3. Suitable site ratio for solar energy plan in each administrative district of Daegu

	Area		Suitable site for solar energy plan	
	km ²	%	km ²	% ¹⁾
Nam-gu	17.44	1.97	6.79	38.93
Dalseo-gu	62.34	7.06	23.04	36.96
Dalseong-gun	426.6	48.29	56.65	13.28
Dong-gu	182.17	20.62	18.52	10.17
Buk-gu	94.08	10.65	20.66	21.96
Seo-gu	17.33	1.96	10.57	60.99
Suseong-gu	76.47	8.66	13.51	17.67
Jung-gu	7.06	0.80	4.21	59.63
Total	883.49	100	153.95	17.67

1) Percentage of each administrative area to suitable area for solar energy plan

TABLE 4. Area of aspect and radiation class in suitable area (unit: km²)

Radiation class \ Aspect class	Aspect class				Total
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	
1 st	42.11	7.22	9.86	80.66	139.85
2 nd	4.25	2.15	2.25	3.41	12.06
3 rd	0	0	0	0	0
4 th	0	0	0	0	0
Total	46.36	9.37	12.11	84.07	151.91

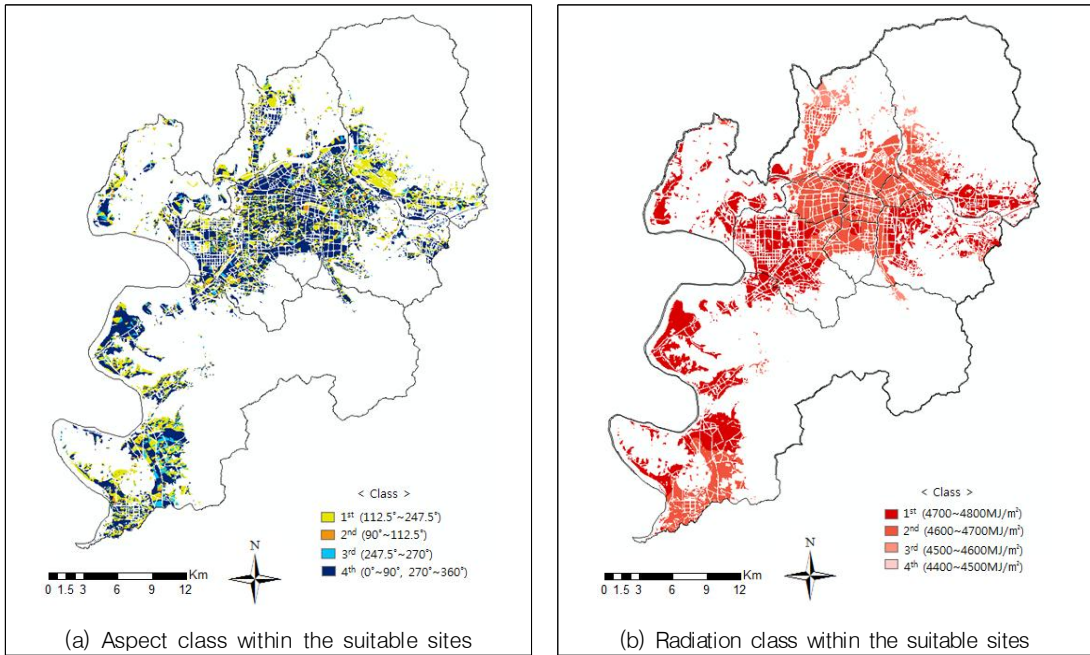


FIGURE 6. Class distribution within the suitable sites

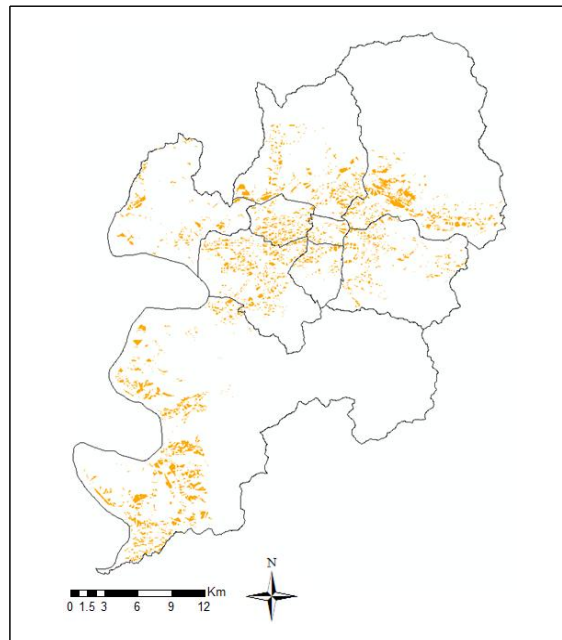


FIGURE 7. Final result of suitable sites for eco-friendly residential district based on solar energy

친환경 주거단지 선정을 위한 최종적지 선정 을 위해 사면방향과 일사량 모두 1등급으로 나타난 지역을 대상으로 최종 적지를 분석하였다 (그림 7). 최종 적지는 42.11km²로 전체 대구광역시 4.77%를 차지하며, 동구와 달성군 지역에 넓은 면적으로 위치하고 있다. 이 결과를 바탕으로 1등급 내에 분포하는 곳 중 본 연구에서 계획하고자 하는 솔라에너지 단지의 대상지를 선정하여 친환경 주거단지를 계획하였다.

친환경 주거단지 계획

1. 단지계획 적지 선정

대구광역시 태양광 적지분석 결과를 바탕으로 선정한 친환경 주거단지 계획의 대상지는 동구 신서동 신서혁신도시 내 단독주택단지이다(그림 8). 적지인 대상지 내 사면방향 및 일사량의 분포가 모두 1등급으로 대부분 차지하고 있으며, 이곳은 친환경 주거지구로 지정이 되어 향후 새롭게 개발될 예정으로, 본 연구에서 계획하고자 하는 솔라에너지를 중심으로 한 친환경 주거단지를 실질적으로 계획할 수 있는 대상지로 판단이 되었다. 신서혁신도시는 11개의 공공기관이 입주하고, 총 이전 인구가 22,000여 명에 달할 것으로 기대되는 대규모 신도시로 쾌적하고 친자연적인 환경조성을 목적으로 하고 있다. 특히 녹지면적이 신도시 전체의 26.7%를 차지함으로써 풍부한 자연환경을 활용하고, 태양광에너지를 이용하는 솔라시티를 지향하고 있다는 점에서, 신서혁신도시 내 위치한 단독주택단지를 솔라에너지를 중심으로 한 친환경 주거단지로

확하는 대상지로써 적합하였다. 대상지는 가로 470m, 세로 380m, 면적 약 100,000m²이다.

2. 대상지 현황 분석

대상지 현황을 분석한 종합 결과는 그림 9(a)와 같다. 현재 대상지는 남쪽에서 출입이 가능하며 필지를 따라 자동차 이동 및 보행이 가능한 도로로 계획되어 있으며, 사람들이 생활하는 주거지역 및 어린이공원이 들어설 예정이다. 그리고 산으로 둘러싸여 있으며, 하천이 하나 흐르고 있다.

대상지에 대한 환경적 특성을 알아보기 위하여 표고 분석을 실시하였다. 그 결과, 대상지는 50~120m의 분포가 나타났다. 특히 실제 사람들이 이용할 예정인 주요 지역은 주변보다 낮고 평평한 지형을 가지고 있으며, 주변을 둘러싼 산 중 가장 높은 산이 120m 높이로 남쪽에 위치하고 있었다(그림 9(b)). 이러한 지형적 특성을 이용하고자 바람, 즉 찬 공기 분석 및 유역 분석을 실시하였다. 주변 산지에서 생성된 찬공기가 주거지역 내로 흘러들어와 남동쪽으로 그 흐름이 강해지고 있었으며, 전반적으로 원활한 흐름을 보이고 있었다(그림 9(c)). 찬공기가 비교적 약한 곳에서는 향후 들어설 건물 등의 높이와 배치가 중요할 것으로 판단되었고, 현재 찬공기의 흐름을 유지할 수 있도록 설계하는 것이 중요할 것으로 판단되었다. 하천이 위치한 곳은 약 10°의 경사가 나타나 실개천 쪽으로 유역이 형성되고 있는 것을 알 수 있었는데(그림 9(d)), 이를 통해 찬 공기, 우수 등 친환경적 설계를 위한 요소를 설계에 적극 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

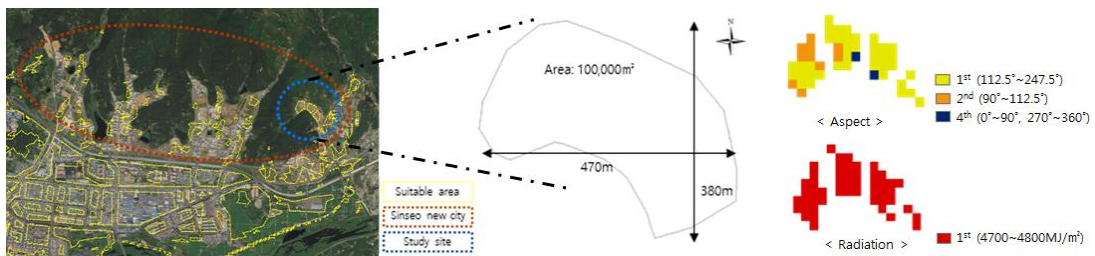


FIGURE 8. Site for eco-friendly residential district based on solar energy

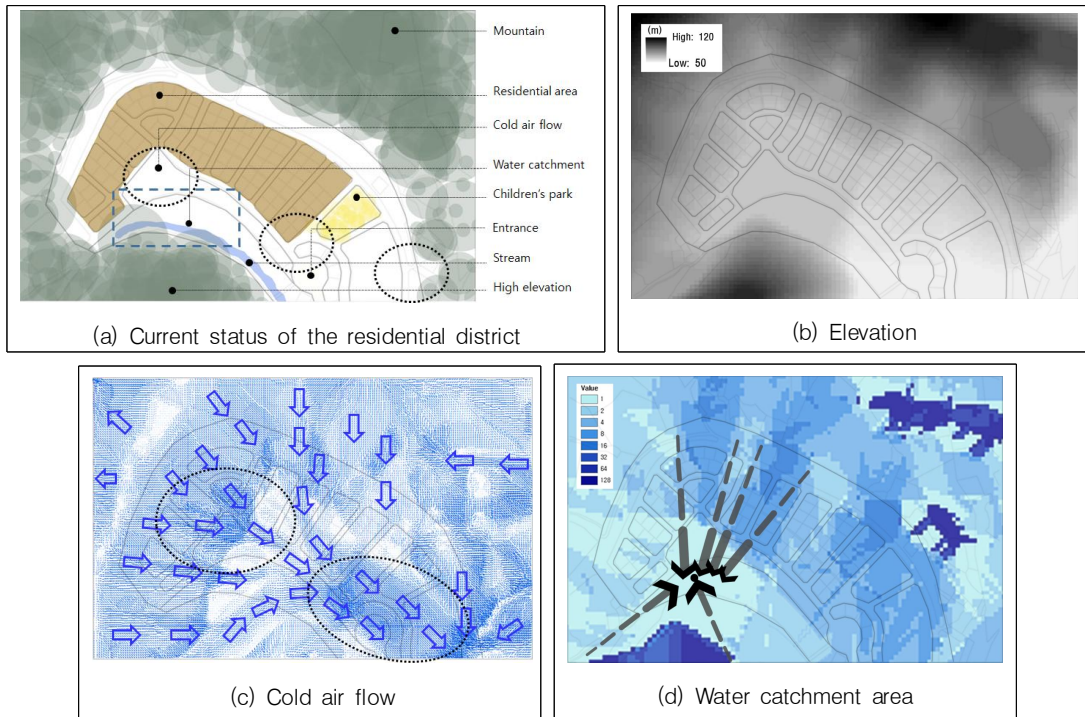


FIGURE 9. Environmental analysis of the residential district

3. 부문별 계획방향

본 연구에서 계획하고자 하는 주거단지의 방향은 솔라에너지를 적극 활용하면서 솔라시티의 요소인 지속가능한 교통수단, 건축물의 혁신, 친환경적 디자인, 그리고 새로운 도시계획의 개념을 목표로 하였다. 이에 따라, 앞서 분석한 현황을 바탕으로 하여 부문별 계획방향을 제시하였고, 공간 및 활동 프로그램, 동선 및 포장, 건축배치, 에너지 활용 및 시설물로 구분하여 계획을 마련 후 최종 마스터플랜을 제시하였다(그림10(a))

첫 번째, 공간 및 활동프로그램 계획이다. 솔라시티 대구를 대표하는 친환경 주거단지가 실질적으로 계획이 될 때, 단지 내 거주하는 사람들과 단지를 관광목적으로 방문하는 사람들을 모두 고려하여 계획에 반영하였으며, 주거자 및 방문자들의 공간 구분과 다양한 활동프로그램을 마련하는 데에 중점을 두었다. 상세 계획은 다음과 같다. 완충 녹지 설치를 통해 녹지를 기준

으로 위쪽은 주거자를 위한 공간, 아래쪽은 방문자를 위한 곳으로 설계하면서 공간을 분리시켜 주거자의 사적 생활 보호를 가능하게 하였다. 앞서 분석한 결과로 나타난 환경조건에 부합하면서, 다양한 활동프로그램을 구성하였다. 주거자들을 위한 공간으로 광장, 어린이공원, 산책로 등을 조성하였고, 관광목적인 방문자를 위한 공간으로는 태양광을 체험할 수 있는 시범주택 및 방문자 센터를 두어 친환경 주거단지에 대한 정보를 얻을 수 있도록 하였고, 생태단지의 조성을 통해 다양한 활동을 할 수 있도록 하였다. 바람이 모이는 곳에 광장을 설치하고, 완충녹지를 선형으로 배치함으로써 현재 대상지의 원활한 바람 흐름을 유지할 수 있도록 설계하였다. 기존 실개천이 위치한 곳이자 유역이 형성된 곳을 생태하천으로 조성하였으며, 표고가 가장 높은 남쪽의 산지에 전망대를 설치하고, 비교적 낮은 표고차를 가진 북동쪽에는 산책로를 설치하였다. 한편 지속가능한 교통수단

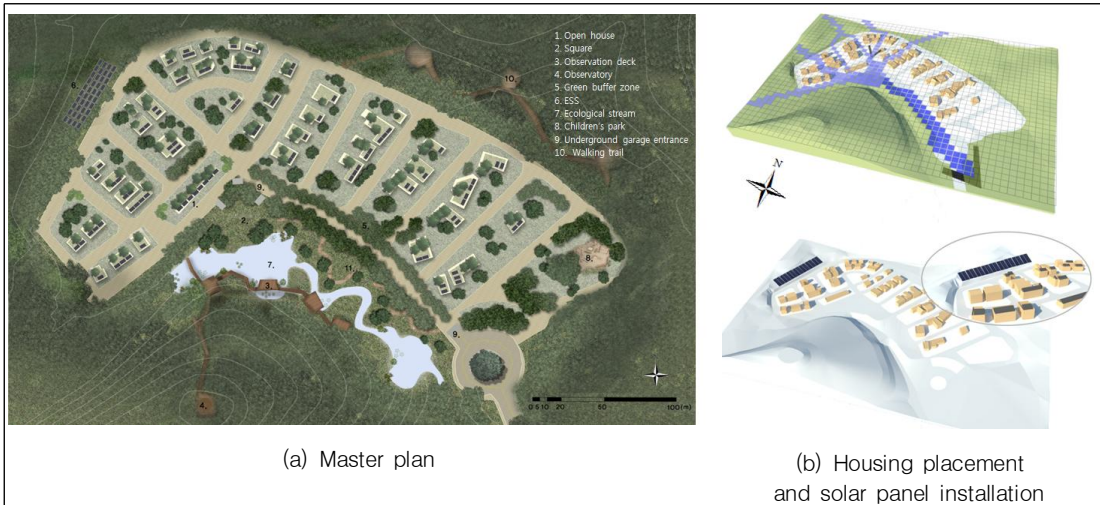


Figure 10. Final plan

을 위해서는 단지 내 지하주차장을 설치하여 차량의 진입 및 이동을 최소화하였다.

두 번째, 동선 및 포장계획으로는 먼저 기존의 필지를 따라 설계되어 있는 길을 보행자 전용도로로 지정하고, 투수성 포장을 하여 빗물 등 유수가 저장되는 친환경적 설계를 지향하였다. 지하에서 지상으로 올라오는 출입구는 중심 광장에 설치하고 동선을 최소화 할 수 있도록 세 군데로 설계하였다.

세 번째, 건축배치계획으로 주거지역 내 건축물은 태양광을 가장 효율적으로 받아들일 수 있고, 바람이 원활하게 통과하는 남향 배치를 하였다(그림 10(b)).

마지막으로 에너지 활용 및 시설물 계획으로는 건축물에 태양광 패널을 설치하는 방법, 태양광 에너지를 저장하여 밤에 활용할 수 있는 태양광 가로등, 태양광 벤치 등을 설치하는 방법을 통해 에너지를 확보하였고, 단지의 북서쪽 부근에 추가 패널 설치 장소를 마련하여 대규모 태양광 패널인 ESS 설치를 통해 부족한 전력을 해결하고자 하였다.

이와 같이, 태양광에너지의 활용, 바람흐름을 고려한 건축 배치, 친환경적인 설계 등을 통해 체계적인 단지계획을 마련함으로써 솔라시티 대구를 대표할만한 실질적인 친환경 주거단지의

역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 대구광역시의 솔라시티 정책 및 사업의 효율성을 높이고, 지방정부 최초로 선정된 솔라시티의 이미지를 명확히 하고자 대구광역시 태양광 적지 분석을 수행하고, 실제 대상지에 솔라에너지를 중심으로 한 주거단지를 계획하였다.

적지분석을 위한 방법으로 국내의 기존사례 연구 고찰을 통하여 적지지표 및 기준을 선정하고, 입지조건, 배제조건, 등급조건으로 구분하여 분석하였다. 입지조건은 지표로써 고도, 경사도, 도로와의 이격거리를 선정하였고, 배제조건은 지표로써 국토환경성평가지도, 생태자연도, 수환경을 선정하였으며, 등급조건으로 사면방향 및 일사량을 선정하여 분석을 수행하였다.

분석 결과 대구광역시 태양광 적지는 총 153.95km²로 대구광역시 면적 대비 17.6%를 차지하고 있었다. 또한 달성군에서 56.65km²로 가장 많이 나타났으며, 그 다음으로 달서구 23.04km², 북구 20.66km², 동구 18.52km², 수성구 13.51km², 서구 10.57km², 남구 6.79km², 중구 4.21km² 순으로 나타났다. 적지내 사면방향 및 일사량의 분

포는 각각 4등급, 1등급이 가장 높게 나타났으며, 모두 1등급으로 나타난 적지의 면적은 총 4 2.11km²였다.

최종적으로 대구광역시를 대표할만한 솔라에너지 중심의 친환경 주거단지를 계획하기 위해 앞서 분석한 적지 결과를 바탕으로 하여 대구광역시 동구 신서동 신서혁신도시 내 단독주택단지를 대상지로 선정하였다. 이곳은 친환경 주거지구로 지정되어 향후 개발될 예정인 곳으로 본 연구의 설계 목적과 부합하였으며, 친환경 주거단지 계획을 위하여 고도, 바람 흐름, 유역 등의 환경 분석을 실시하였다.

분석을 근거로 한 상세 계획은 다음과 같다. 먼저 공간 및 활동프로그램으로는 크게 주거자를 위한 공간, 방문자를 위한 공간으로 구분하였고, 완충 녹지를 통해 이를 분리시켜 주었다. 표고가 높은 남쪽에 전망대를 설치하고, 비교적 높은 북동쪽에는 산책로를 설치하였으며, 바람이 모이는 곳에 광장을 조성하였다. 유수가 모이는 곳은 생태하천을 조성하였다. 또한 단지 내 지하주차장을 설치하여 차량의 진입 및 이동을 최소화 하였다. 동선 및 포장계획으로는 기존 필지를 따라 보행자 전용도로를 지정하고 투수성 포장을 통해 유수 확보가 가능하도록 하였다. 지하 및 지상 출입구는 광장 부근에 세 군데를 마련하여 편리함을 도모하였다. 건물배치 계획으로 주거지역 내 건축물은 남향의 배치를 통해 태양광 확보 및 현재의 원활한 바람흐름을 유지할 수 있도록 하였다. 마지막으로 에너지 활용 및 시설물 계획으로 건물에 기본적으로 태양광 패널을 설치하고, 다양한 태양광시설물을 배치하고자 했으며, 부족한 전력 해결을 위해 단지 북서쪽 부근에 대규모 태양광 설치 장소를 마련하였다.

한편, 본 연구에서는 태양광 적지 분석을 수행하기 위하여 관련한 기존 사례 연구 고찰을 통해 다양한 지표를 선정하였지만, 국외 사례 연구를 고찰하지 못한 데에 한계가 있다. 또한 각 지표별 동일한 가중치를 두고 분석을 수행함으로써 객관성에 대한 고려가 부족하다고 판단된다. 향후 연구에서는 국외 사례 고찰을 통해

더 다양한 지표를 고려하고, AHP 기법과 같이 중요도에 따라 가중치를 부여해 분석하는 방법이 필요할 것이다. 뿐만 아니라 등급조건으로 선정한 일사량 지표에서 있어서 국가에서 구축한 태양광 자원지도는 격자크기가 다른 자료에 비해서 크기 때문에 더 높은 해상도의 자료가 구축된다면 태양광 적지에 영향을 미치는 일사량 비교에 있어 더 효과적일 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 과학적이고 체계적인 근거를 바탕으로 대구광역시 태양광 적지 분석을 수행하고, 적지지도를 구축함으로써 대구광역시의 효율적인 태양광 사업을 위한 기초 자료 및 정책 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단한다. 이와 더불어 본 연구에서 계획한 솔라에너지를 중심으로 한 친환경 주거단지는 태양광 에너지의 활용, 바람흐름을 고려한 건축 배치, 친환경적인 설계 등을 계획에 도입함으로써 실질적인 주거단지계획의 한 사례로써 그 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 기초 자료와 사례연구를 바탕으로한 친환경 주거단지 계획이 활성화된다면, 솔라시티를 지향하고 있는 대구광역시의 이미지를 구축하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, B.G., Y.W. Na, J.I. Lee, and S.D. Jang. 2010. Location analysis for new renewable energy facilities in Incheon using GIS. Proceedings of the Korean Society for Geospatial Information Science Conference. pp.33-34 (최병길, 나영우, 이정일, 장성덕. 2010. GIS를 이용한 인천지역의 신재생에너지시설 적지분석에 관한 연구. 한국지형공간정보학회 학술대회논문집 33-34쪽).
- Daegu Metropolitan City. 2015. Daegu solar city master plan. p.174 (대구광역시. 2015. 대구광역시 제2차 솔라시티 기본계획. 174쪽).
- Daegu Metropolitan City. 2016. Daegu statistical yearbook (대구광역시. 2016. 대구통

- 계연보) Available at: <http://statistics.daegu.go.kr>(Accessed July 3, 2017).
- Jang, S.D. 2011. A site selection for new and renewable energy facility using GIS in Incheon. Master's Thesis, Univ. of Incheon, Incheon, Korea. p.60 (장성덕. 2010. GIS를 이용한 인천지역 신재생에너지 시설의 최적입지선정에 관한 연구. 인천대학교 대학원 석사학위논문. 60쪽).
- Joo, S.M. and J.H. Choi. 2012. A study on the selection of optimal location for the photovoltaic power generation facilities in Daegu Metropolitan City. Journal of Daegu Gyeongbuk Development Institute 11(2):173-183 (주승민, 최진호. 2012. 솔라 시티 대구를 위한 태양광 발전시설의 최적 입지선정에 관한 연구. 대구경북연구원 11(2):173-183).
- Jung, H.J. 2008. Human-ecological approach on solar project of Daegu city. Academia Koreana 36:65-90 (정혜진. 2008. 대구시 솔라시티 프로젝트에 대한 인문생태적인 접근. 한국학논집 36:65-90).
- Kim, J.D. and D.H. Han. 2007. Economic-environmental analysis of solar city Daegu projects. Korean Regional Development Association 19(4):49-62 (김중달, 한동희. 2007. 솔라시티대구 사업의 경제성·환경성 분석. 한국지역개발학회지 19(4):49-62).
- Korea Energy Economics Institute. 2016. Yearbook of regional energy statistics. p.298 (에너지경제연구원. 2016. 지역에너지 통계연보. 298쪽).
- Kwon, Y.H., J.Y. Kim, and M.J. Lee. 2008. Environmental considerations in the siting of solar and wind power plants. Korea Environment Institute Policy Report 2008(2):1-157 (권영환, 김지영, 이민주. 2008. 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인. 한국환경정책평가연구원 정책보고서 2008(2):1-157).
- Lee, J.Y. and I.J. Kang. 2010. A study of PV system facilities using geo-spatial information system. Korean Society for Geospatial Information System 18(2):99-105 (이지영, 강인준. 2010. GIS 기술을 활용한 태양광시설 입지선정에 관한 연구. 한국지형공간정보학회지 18(2):99-105).
- Lee, K.R. and W.H. Lee. 2015. Solar power plant location analysis using GIS and analytic hierarchy process. Journal of Korean Association of Geographic Information Studies 18(4):1-13 (이기림, 이원희. 2015. GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석. 한국지리정보학회지 18(4):1-13).
- Lee, S.K. and S.J. Ahn. 2012. A study on the structural characteristics for the photovoltaic industry in Daegyeong economic region. Korean Association for Local Government Studies 13(4):1-23 (이성근, 안정조. 2012. 대경광역경제권 태양광산업의 구조적 특성에 관한 연구. 한국지방자치연구 13(4):1-13).
- Na, M.J. 2016. Deduction of construction standards and assessment of post environment change for eco-friendly PV power plants using abandoned salt field. Ph.D. Thesis, Univ. of Kyungpook, Korea. p.1 (나명진. 2016. 폐염전을 활용한 친환경 태양광 발전소 설치기준 도출 및 환경변화 예측. 경북대학교 대학원 박사학위논문. 1쪽).
- Park, J.I. 2011. A study on the suitability analysis of new and renewable energy power plant using correlation analysis and GIS. Ph.D. Thesis, Univ. of Mokpo, Mokpo, Korea. pp.34-36 (박정일. 2011.

상관분석기법과 GIS를 이용한 신·재생에너지 발전소 적지분석 연구. 목포대학교 대학원 박사학위논문. 34-36쪽).

Park, J.I., M.H. Park, and S.Y. Choi. 2012. A study on GIS based suitability analysis of solar photovoltaic power generation

using correlation analysis. The Korean Society of Cadastre 28(2):91-107 (박정일, 박민호, 최승영. 2012. 상관분석을 이용한 GIS기반 태양광발전소 적지분석 연구. 한국지적학회지 28(2):91-107). [KAGIS](#)