

3차원 지형공간정보 기반 지붕형 태양광 어레이 배치 최적화 연구

A Study on Optimizing of Roof-Top Photovoltaic Arrays Arrangement Based on Three-Dimensional Geo-Spatial Information

김 세 종*
Kim, Se-Jong

구 교 진**
Koo, Kyo-Jin

Abstract

Due to the Korean government's renewable energy support policy such as the renewable energy utilization building certificate and enlarging the compulsory ratio of investment on the public building, the rooftop photovoltaic projects are expanding rapidly. It is very important for the rooftop photovoltaic projects to analyze the shading effect of the adjacent structures or own facilities. But, the photovoltaic arrangements are planned by the experience of the designers or simple graphic tools. The purpose of this study is to build the process model for optimizing of rooftop photovoltaic arrangement based on three-dimensional geo-spatial information.

Keywords : roof-top photovoltaic, array optimizing, GIS, genetic algorithm

1. 서론

정부는 2011년 4월 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법의 개정을 통해 신·재생에너지 이용 건축물 인증제도를 도입하였다. 이는 연면적 1천㎡ 이상인 민간 건축물을 소유한 자가 총에너지사용량의 일정 비율 이상을 신·재생에너지로 이용할 경우, 신·재생에너지 공급률에 따라 아래의 표1과 같이 건

표 1. 신·재생에너지 이용 건축물 인증등급

인증등급	신·재생에너지 공급률
1등급	20% 초과
2등급	20% 이하 15% 초과
3등급	15% 이하 10% 초과
4등급	10% 이하 5% 초과
5등급	5% 이하 3% 초과

축물 인증등급을 부여하여 인증함으로써 자발적으로 신·재생에너지 설비를 설치토록 유도하고 신·재생에너지 보급 활성화에 기여하고자 하는 제도이다.

공공기관이 신·중·개축하는 연면적 3천㎡ 이상의 건축물의 경우에는 예상되는 에너지 사용량 중 신·재생에너지 설치를 통한 투자 의무비율을 2011년 10%에서 2020년 20%까지 확대하기로 하였다. 또한, 2010년 12월 신·재생에너지 공급의무화 제도¹⁾ 관리 및 운영지침 제정을 통해 건축물 등 기존 시설물에 태양광 설비를 설치할 경우 아래의 표2와 같이 1.5의 가중치를 부여하는 등 건축물에 대한 태양광 설비 투자를 적극 지원하고 있다.

이러한 민간 및 공공 건축물에 대한 신·재생에너지 설비투자 확대정책에 따라 업무용 건물, 공장 건물의 지붕등을 활용한 태양광 설비 설치가 적극적으로 추진되고 있다. 건축물 지붕을 활용하여 태양광 설비를 설치하는 경우에는 태양광 모듈이나 어레

* 일반회원, 서울시립대학교 대학원 건축공학과 박사과정, zalophus@daum.net

** 중신회원, 서울시립대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), kook@uos.ac.kr

1) 신·재생에너지 공급의무화 제도는 일정 규모 이상의 발전사업자에게 총 발전량 중 일정량 이상을 신·재생에너지 전력으로 공급토록 의무화하고, 신·재생 에너지를 이용하여 직접 에너지를 공급하여 공급인증서를 발급받거나 타인의 공급인증서를 구매하도록 규정한 제도이다

표 2. 신·재생에너지 공급인증서 가중치

공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준		
	설치유형	지목유형	용량기준
0.7	건축물 등 기존 시설물을 이용하지 않는 경우	5개 지목 (전, 담, 과수원, 목장, 임야)	30kW 초과
1		기타 23개 지목	
1.2			30kW 이하
1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우		

이의 방위각과 경사도 뿐 아니라, 인근 건축물에 의한 음영이나 건축물 자체의 구조물, 시설로 인한 음영의 영향을 정밀하게 분석하여 모듈 및 어레이의 배치가 이루어져야 한다. 현재 건축물의 지붕을 활용한 태양광 설비의 배치는 대부분 수계산에 의한 음영분석이나 3차원 그래픽 툴을 활용하여 일정 시간대의 음영영역을 제외한 후 설계자의 경험에 의해 설계되는 경우가 많다. 본 연구에서는 신·재생에너지 이용 인증대상 건축물에서 소요되는 에너지의 일부를 지붕형 태양광 설비를 통해 생산된 전력으로 충당하고자 할 때, 특정 선정기준에 따른 태양광 어레이의 최적 배치안을 선정하는 프로세스 모델을 구축하고자 한다. 3차원 지형공간정보를 활용하여 건축물 지붕을 일정간격의 그리드로 나누고, 그리드별로 방위각, 경사도, 음영영역을 정밀하게 분석하여 일사량과 발전량을 산정하고, 유전 알고리즘을 사용하여 일정 크기의 태양광 어레이의 최적 배치안을 도출하고자 한다. 태양광 어레이의 배치안 선정기준으로는 발전량의 최대값 기준인 PG_{max} , 수익에서 비용을 차감한 순현재가치의 최대값 기준인 NPV_{max} , 그리고 인증등급을 만족시키는 발전량 수준에서의 최대 NPV 기준인 NPV_{need} 의 세가지 항목을 적용한다.

2. 관련 연구 고찰

2.1 3차원 지형공간정보 시스템

3차원 지형공간정보시스템(Geospatial Information System, GIS)은 2차원의 x, y 위치정보와 높이 또는 심도의 z값으로 표현되는 공간정보와 각 개체에 따른 속성정보를 저장하여 구축한 시스템이다. 속성정보에 토지, 자원, 환경, 도시, 해양, 수산, 군사, 교통, 통신, 상하수도 등 다양한 특성값들의 저장을 통해 현실 세계와 유사하게 표현할 수 있고, 다양한 용도의 분석에 적용할 수 있다. 기존 2차원 기반의 GIS 사용이 활성화된 이후, 컴퓨터 그래픽 및 고해상도 위성영상의 공급 등 기술의 비약적 발달에 따라 3차원 GIS가 등장하게 되었다. 3차원 GIS는 크게 영상 획득·추출 기법, 3차원 데이터 모델링 및 3차원 시각화 기법을 통해 구축되어 진다. 3차원 GIS는 기존 2차원 GIS에서 불가능했던 세밀한 계획이나 관리, 분석이 가능해져, 대국민 서비스를 위한 공

공분야에의 활용 뿐 아니라, 차세대 정보통신 및 민간시장에서 새로운 산업의 창출이 가능한 민간분야, 군사 및 생활과학 분야에서 다양하게 활용되고 있다(최종현 외 2003).

2.2 일사량 산정 방법론

태양에너지 시장의 폭발적인 성장에 따라 일사량 맵핑 기술이 비약적으로 발전하였다. 가정용 소규모 설비 뿐 아니라, 대규모 발전설비를 구축하는 태양광 모듈 업체나 발전사업자, 재무적 투자자, 그리고 공공부문에 이르기까지 일사량 맵핑 기술을 적극적으로 활용하고 있다. 세계적인 금융위기 이후 보수적인 입장을 견지하고 있는 투자자 입장에서 정밀한 사업성을 판단하기 위한 장치로서의 일사량 맵핑의 중요성은 더욱 높아지고 있다(Adel 2010).

3차원 GIS 솔루션의 하나인 ArcGIS는 미국 ESRI사가 개발한 GIS 어플리케이션 상용프로그램으로 공간데이터에 대한 뷰, 편집, 분석, 출판, 서비스 등에 대한 기능을 제공하는 소프트웨어이다. ArcGIS는 GIS의 속성값들을 효율적으로 활용하기 위하여 다양한 툴들을 내장하고 있으며, 이중 일사량 맵핑이 가능한 툴은 일사량(Solar Radiation) 툴이다. 일사량 툴은 태양의 직사광, 산란광, 반사광의 합계를 통하여 일사량을 산정하는 방법론을 사용하고 있다. 일사량은 대기중에서 일부가 소실되고, 지형 및 지표면에 의해 추가적으로 소실되어 최종적으로 지구표면 상에 직사(direct), 산란(diffuse), 반사(reflected)의 형태로 지표면에 도달한다. 직사광은 중간에 장애물이 없이 태양으로부터 직접 도달하며, 산란광은 구름과 먼지 등 대기성분에 의해 흩어지고, 반사광은 표면 상태에 따라 반사된다. 직사, 산란 및 반사되는 일사량을 합하면 총일사량이 된다. 일사량 툴은 점 기반 계산과 면적 기반 계산의 두가지 방법을 선택할 수 있으며, 4단계로 진행된다. 우선 지형 상태를 기반으로 위로 바라보는 형태의 반구체 가시영역(Viewshed)을 만든 후, 직사 일사량 산정을 위한 썬맵(Sunmap)과 산란 일사량 산정을 위한 스카이맵(Skymap)을 오버레이하는 작업을 각 지점마다 반복하여 일사량맵을 만들게 된다(ESRI 2009).

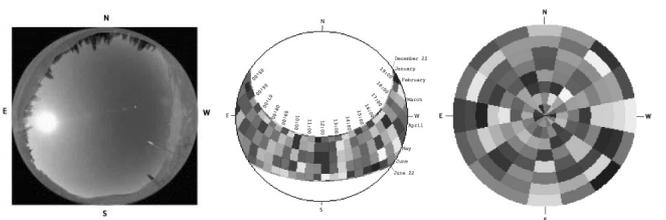


그림 1. 가시영역, 썬맵, 스카이맵

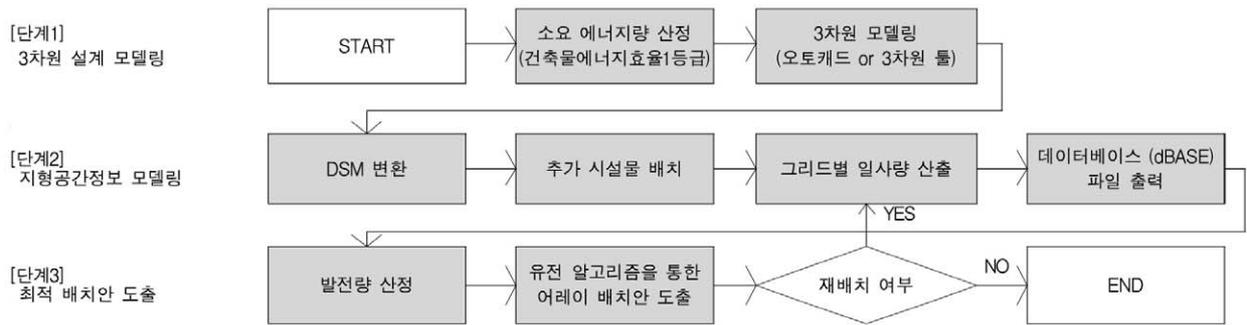


그림 2. 태양광 어레이 배치 최적화 모델 흐름도

2.3 유전 알고리즘

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 진화의 원리를 문제풀이 또는 모의실험에 이용하는 연구방법인 '진화연산'의 대표적인 한 분야로서(문병로 2003), John Holland에 의해서 1975년에 개발된 전역적인 최적화 알고리즘이다. 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 두며 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로서, 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아 남는다는 다윈(Darwin)의 적자생존(Survival of the fittest)의 이론을 기본 개념으로 한다. 풀고자 하는 문제에 대한 가능한 해들을 정해진 형태의 자료구조로 표현한 다음 이들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해들을 만들어 낸다. 즉, 미지의 함수 $Y=f(x)$ 를 최적화하는 해 x 를 찾는 모의 진화(Simulated evolution)형의 탐색 알고리즘이다. 최근에 생물의 진화과정을 모방한 진화 알고리즘으로 진화전략(Evolution strategies), 유전 프로그래밍(Genetic programming) 등 여러 형태의 이론과 기법들이 활발히 연구되고 있다. 유전 알고리즘은 이 중에서 가장 기본이 되고 대표적인 알고리즘으로, 자연과학, 공학 및 인문사회과학 분야에서 비선형 또는 계산 불가능한 복잡 문제를 해결하는데 널리 응용되고 있다(위키백과 2011).

2.4 태양광 모듈 및 어레이 배치 최적화 연구

태양광 모듈 및 어레이의 배치를 최적화하고자 하는 연구는 주로 설치부위나 경사각, 방위각에 따른 발전량의 변동을 전제로 하여 최적 배치안을 산정하는 모델 위주로 진행되었다. 기존의 연구들은 주로 모듈이나 어레이의 경사각이나 방위각의 변화에 따른 발전량의 증감을 전제로 최적안을 도출하거나, 건축물의 지붕, 외벽, 캐노피 등 부위별로 태양광 설비를 설치했을 경우 발전량의 변화를 예측하여 최적안을 도출하는 형태로 진행되었다.

박을수(2006)는 서울특별시과학전시관에 설치된 50kWp 태양광발전시스템의 출력데이터와 비교하여 건물일체형 태양광(BIPV, Building Integrated Photovoltaic) 시스템의 최적 설계를 위한 태양전지 어레이의 경사각과 방위각에 대한 파라미터를 연구하였다. BIPV 시스템을 전제로 한 태양광 설비의 발전량을 시뮬레이션하여 최적 설계안을 도출하고자 하였으나, 인접 건물 또는 건물 자체의 음영분석을 고려하지 않았다. 박재성(2008)은 국내 공동주택 배치형태를 4가지로 유형화하여 지붕과 전면부의 태양 접근성(Solar Access) 분석을 실시하고, 단지규모 태양광 발전 시스템의 성능평가를 실시하였다. 단지규모의 공동주택을 대상으로 동간 상호 음영분석을 실시하였으나, 실제 음영 분석 결과를 바탕으로 모듈이나 어레이의 최적 배치안을 도출하지는 못하였다. 한재경(2010)은 공동주택을 대상으로 태양광 시스템의 적용 디자인 패턴을 5가지로 분류하고, 설치경사각, 음영, 모듈 온도 등을 고려한 경제성 분석을 시행하였다. 태양광 시스템의 디자인 패턴별로 경제성 분석을 시행하는데 있어, 태양광 모듈 면적과 방위각, 경사각만을 고려한 발전량 분석만을 시행하여, 디자인 패턴별로 음영에 따른 영향을 고려하지 못하는 한계가 있었다.

3. 배치 최적화 프로세스 모델

건물 지붕을 활용한 태양광 설비의 최적 배치안을 도출하는데 있어서는 태양광 모듈 자체의 특성값이나 방위각, 경사각 외에 건물 자체 시설물 간의 음영이나 인접 건축물에 따른 음영을 종합적으로 고려하여 발전량 산정 및 경제성을 분석하여야 한다. 본 연구에서 구축하고자 하는 지붕형 태양광 어레이 배치 최적화 모델은 3차원 지형공간정보 모델을 기반으로 하여 시설물 및 인접 건축물에 의한 음영분석을 통해 어레이의 최적 배치안을 산출하는 모델이다. 3차원 지형공간정보 모델링을 통해 지붕의 각

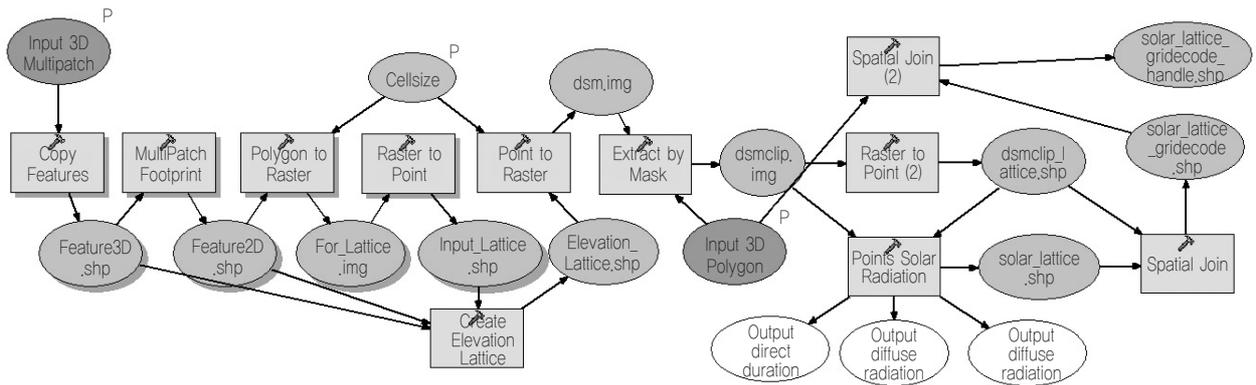


그림 4. ArcGIS 9.3.1의 모델빌더를 통한 일괄처리 설계

그리드별 일사량을 산정하고, 기온 데이터를 반영하여 그리드별 발전량을 산정한 후, 일정 크기의 태양광 어레이를 그리드에 배치하고자 할 때, 선정기준에 따른 태양광 어레이의 최적 배치안을 도출하는 프로세스 모델을 구축하였다.

프로세스의 첫 번째 단계는 대상 건축물의 3차원 설계 모델링 단계이다. 두 번째 단계는 지형공간정보 모델링을 통한 일사량 산정 단계로 ESRI사의 ArcGIS를 사용해 DSM (Digital Surface Model)을 구축하고 건축물 지붕의 각 그리드별 일사량을 산출한다. 세 번째 단계는 MS 엑셀 기반의 유전 알고리즘 솔루션인 Palisade사의 Evolver 5.7 소프트웨어를 통해 선정기준에 따른 최적 어레이 배치안을 도출하는 단계이다. 단계별 작업을 3차원 지형공간정보 모델 기반 태양광 어레이 최적 배치 프로세스 모델로 구축하면 위의 그림2와 같다.

3.1 3차원 설계모델링 : 단계 1

단계1에서는 대상 건축물의 3차원 설계모델링을 통해 태양광 어레이 배치 최적화를 위한 기초 설계 데이터를 구축하고, 소요 에너지량 산정을 통해 지붕이나 옥상에 설치될 태양광 설비로부터 생산될 목표 발전량을 도출한다.

1차에너지 소요량주 (kWh/m ² ·년)	에너지효율등급
300 미만	1
300 이상 350 미만	2
350 이상 400 미만	3
400 이상 450 미만	4
450 이상 500 미만	5

주 : 1차에너지 소요량은 연료의 채취, 가공, 운송, 변환, 공급 과정 등의 손실을 포함한 단위 면적당 에너지량을 의미한다.

그림 3. 건축물의 에너지효율등급

우선 3차원 오토데스크사의 오토캐드 2009를 활용하여 3차원 설계도면을 구축한다. 다음 건축물의 연면적을 근거로 건축물 에너지효율 1등급에 해당되는 소요 에너지량을 산출한다. 건축물 에너지효율등급 인증제도는 위의 그림3과 같이 표준건축물 대비 에너지절감율에 따라 등급을 부여하고 자금 등을 차등 지원하는 제도이다.

대상 건축물의 3차원 설계모델링은 건축설계 단계에서 오토캐드나 3차원 설계 툴을 사용하여 구축한다. 최근의 건축설계에서는 대부분 3차원 설계툴이 적용되는 추세로 3차원 설계모델링의 구축은 용이하게 진행될 수 있다.

3.2 지형공간정보 모델링 : 단계 2

단계2는 GIS분석 소프트웨어인 ESRI사의 ArcGIS 9.3.1을 사용하여 대상 건축물의 지형공간정보 모델을 구축한 후, 지붕 면적을 일정 간격의 그리드로 분할하고, 각 그리드별로 그림자, 방위각, 경사각을 고려하여 일사량을 분석하는 단계이다.

3.2.1 3차원 오토캐드 파일의 DSM 변환

ArcGIS 9.3.1에서는 단계1에서 생성된 오토캐드 2009의 3차원 설계모델 파일을 읽어 온 후 래스터²⁾ 형태인 DSM (Digital Surface Model) 파일로 변환하여 일사량을 분석하도록 되어 있다. 3차원 오토캐드 2009 설계모델의 DSM으로의 변환은 ArcGIS 9.3.1의 다양한 명령어들과 툴들을 사용하는 복잡한 과정으로, 위의 그림4와 같이 ArcGIS 9.3.1의 모델빌더(Model Builder)를 통해 일괄처리토록 프로그래밍되었다. 여기서는 1단계에서 구축한 오토캐드 2009의 3차원 DXF 파일을 멀티패치 (Mutipatch) 형식으로 읽어 온다. 멀티패치 형식은 3차원 공간에서 개별 면적이나 부피를 차지하는 외부면등을 표현하기 위해

2) 화상형태로 나타나는 2차원 배열로 격자형 행렬방식을 취하면서 GIS의 여러 속성값들을 저장한 데이터 구조이다.

구축된 데이터 형식이다(ESRI 2008). DSM 파일로 변환 시에는 래스터의 셀 크기를 미리 정하여 적용하도록 되어 있다.

다음의 표3은 단계1의 3차원 설계모델링에서 반영되지 않은 환기·통신, 냉난방, 급배수 및 전기통신 시설 등으로 설계자의 판단에 따라 필요시 래스터 형태로 반영하여 동 시설의 위치 및 음영에 따른 영향이 반영된 최종 일사량을 산출한다. 이러한 추가 시설물들은 단계1의 3차원 설계모델링에서 고정되어 설계되는 건축물 자체 부위와는 달리 설계자나 사용자의 판단에 따라 일정수준에서 그 위치나 설치여부 등의 변경이 가능한 형태로 반영된다.

표 3. 추가 시설물

구분	시설물	비고
환기·통신 시설	모니터(Monitor), 환기팬(Roof Fan), 벤티레이터(Ventilator), 배수통기관	
냉난방 시설	냉각탑, 냉각팬	
급배수 시설	저수조, 물탱크	
전기통신 시설	변전실, 통신안테나	

3.2.2 일사량 산출

ArcGIS 9.3.1에 포함된 일사량 툴은 DSM형태 래스터 파일의 각 그리드별로 일정 기간 동안의 일사량을 산정하여 데이터베이스의 형태로 저장한다. 대상 래스터 파일의 각 그리드에서 하늘을 바라볼 때의 가시영역을 반구체로 표현하는 가시영역을 구성하고, 반구체 투영면 상에 하루 중 특정 시간대 및 일년 중 특정 시간대에 따라 변화되는 태양의 경로를 나타내는 썸맵 구성을 통해 직사광을 산출한다. 또한, 반구체상 모든 지점들의 섹터분류인 스카이맵 구성을 통해 산란광을 산출한 후, 직사광과 산란광을 합하여 각 그리드별로 일사량을 산정한다. 1년 중 매월별로 태양의 위치 및 고도가 조금씩 달라지기 때문에, 월별 일사량을 별도로 산정한 후 12개월의 일사량 총합을 계산하여 그리드별 연간 일사량을 최종 산출한다.

일사량 툴을 사용한 그리드별 일사량 산정 단계도 앞의 그림4에서 볼 수 있듯이 모델빌더를 통한 일괄처리 프로그래밍에 통합되어 있다.

3.3 최적 배치안 도출 : 단계 3

단계3에서는 ArcGIS 9.3.1에서 분석된 그리드별 일사량 데이터를 사용하여 엑셀 2007에서 발전량을 산정하고, 엑셀 기반

의 유전 알고리즘 프로그램인 Evolver 5.7을 사용하여 태양광 어레이의 최적 배치안을 도출한다.

3.3.1 발전량 산정 및 어레이 중첩체크

태양광 전지는 최소단위인 셀을 패키지로 모아 모듈 단위로 생산되며, 실제 설치시에는 이들 모듈의 직병렬 어레이 배치를 통한 패널로 설치된다.

태양광 모듈은 기온에 따라 발전량이 민감하게 변화되는 특성을 가지고 있어, 월별 평균기온 및 모듈별로 각기 다른 온도계수를 적용하여 발전량을 산정한다.

ArcGIS 9.3.1에서 산출된 그리드별 좌표와 일사량 데이터를 엑셀 2007로 불러 온 후, 매크로와 함수를 사용하여 일정 크기의 태양광 어레이가 배치될 수 있는 모든 경우의 수를 도출하고 상호 중첩여부를 체크한다. 지붕이나 옥상에는 사용자의 요구나 설계자의 의도에 의해 조형물, 조형수, 통로나 휴게공간 등 경관편의 시설이 설치되는 경우가 있다. 이러한 경관편의 시설 역시 태양광 어레이의 최적 배치안에 따라 위치가 정해지도록 엑셀 2007 매크로와 함수를 적용하여 배치될 수 있는 모든 경우의 수와 태양광 어레이와의 중첩여부를 체크한다.

3.3.2 유전 알고리즘을 통한 어레이 배치

어레이 및 경관편의시설의 배치 경우의 수를 바탕으로 하여 Evolver 5.7의 유전 알고리즘을 적용하고 일정 크기의 어레이와 경관편의시설들의 최적 배치안을 도출한다. 어레이의 최적 배치를 위한 선정기준으로 발전량의 최대값 기준인 PG_{max} , 수익에서 비용을 차감한 순현재가치의 최대값 기준인 NPV_{max} , 그리고 인종등급을 만족시키는 발전량 수준에서의 최대 NPV 기준인 NPV_{need} 의 3가지 기준을 설정하였다. 순현재가치를 산정하기 위해서 태양광 설비의 투입비용으로 김세중(2010)이 분석한 고정형 박막형 태양광 시스템의 공사비 평균³⁾을 적용한다. 발전수익 산정을 위해서 2012년부터 도입되는 신·재생에너지설비 설치의무화 제도(RPS, Renewable Energy Portfolio Standard)에 따른 신·재생에너지인증서(REC, Renewable Energy Certificate) 구입가격과 한전거래소에서 거래되는 전력 시장거래가격(SMP, System Marginal Price)을 아래 표4와 같이 적용한다.

표 4. 수익산정을 위한 가정

REC (원/kWh)	SMP (원/kWh)	가중치	판매단가 (원/kWh)	판매기간	할인율
270	100	1.5	370	15년	6%

3) 지붕형 태양광 설비의 경우 대용량으로 설치되는 경우가 많지 않기 때문에 김세중(2010)의 연구 중 30kWp 용량에 해당되는 공사비 평균을 적용하였다.

4. 모델의 적용 및 검증

구축된 모델의 적용과 검증을 위한 대상 건축물은 서울 여의도 지역에 위치한 연면적 1,991㎡의 공공빌딩이다. 다음 그림5는 건축물 에너지효율 1등급을 전제로 대상 건축물의 소요 에너지량을 산정한 결과이다.

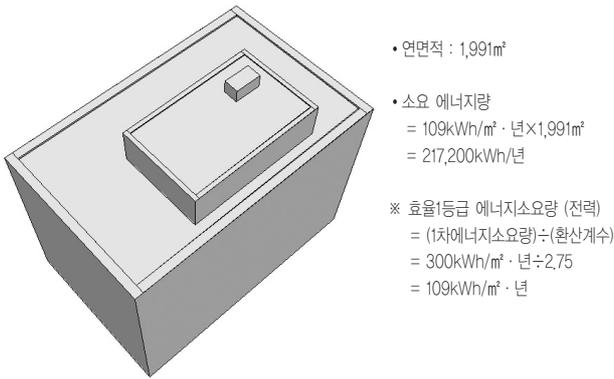


그림 5. 3차원 설계 모델링

대상 건축물의 연면적에 효율 1등급의 단위면적당 에너지 소요량인 300kWh/㎡ · 년 및 환산계수 2.75를 적용하여 산정된 소요 에너지량은 217,200kWh/년이다. 환산계수는 건축물 에너지효율등급 인증제도 운영규정에 따라 전력생산 및 연료의 운송 등에서 손실되는 손실분을 고려하기 위해 적용하는 계수로 연료 1.0, 전력 2.75, 지역난방 0.614, 지역냉방은 0.937로 정해져 있다.

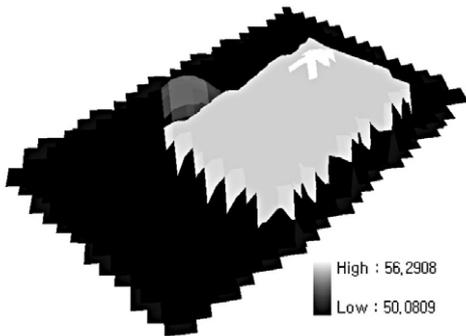


그림 6. 대상 건축물의 DSM 변환 결과 (단위:m)

위의 그림6은 직경 4.7m, 높이 2.6m의 물탱크가 추가 시설물로 반영되어 최종 변환된 대상 건물에 대한 1m×1m 해상도의 DSM 파일이다.

그림7은 건물의 DSM을 구축한 후 ArcGIS 9.3.1의 일사량 툴을 사용하여 그리드별로 연간 일사량을 산정한 결과의 분포도이다. 대상 건축물의 일사량이 분석되어 저장된 그리드는 1m×

1m 크기로 모두 1,825개이다. 그리드별로 분석된 일사량은 데이터베이스(dBASE) 포맷으로 저장되어 MS 엑셀 2007과 호환이 가능하다.

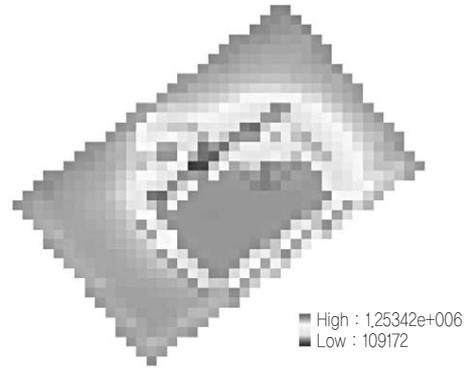


그림 7. 일사량 분포도 (단위:Wh/㎡)

아래의 표5는 본 연구에 적용된 모듈 및 모듈의 배치 최소단위인 어레이의 특성 값이다. 모듈을 직렬로 6개, 병렬로 2개 연결하여 1개의 어레이를 구성하였다.

표 5. 그리드별 모듈 및 어레이 특성값

모듈길이	모듈폭	발전용량	발전효율	온도계수
1m	1m	240Wp	12.00%	-0.40%
구성 모듈수	직렬모듈수	병렬모듈수	어레이면적	발전용량
12개	6개	2개	12㎡	1440Wp

다음의 표6은 대상 건축물이 위치한 서울 여의도 지역의 연간 월평균 기온 데이터이다.

표 6. 연간 월평균 기온 데이터 (°C)

1월	2월	3월	4월	5월	6월
-3.4	-1.1	4.5	11.8	17.4	21.5
7월	8월	9월	10월	11월	12월
24.6	25.4	20.6	14.3	6.6	-0.4

본 연구에 적용된 경관편의시설은 2m×13m 크기의 조형물로 태양광 어레이의 최적 배치에 맞추어 임의의 위치에 배치되도록 설정하였다.

다음의 그림8은 최대 발전량 기준인 PG_{max}에 따라 도출된 최적 배치안 결과이다.

모두 18개의 어레이와 조형물의 배치에 따라 27,179kWh의 예상 발전량이 산출되었으며, 이는 총에너지사용량 대비 11.12%의 신·재생에너지 공급률이다. 재무적 분석결과를 보여 주는 NPV값은 -6,764,221원으로 경제성은 매우 낮음을 알 수 있다. 신·재생에너지 공급률에 따른 신·재생에너지 이용 건축물 등

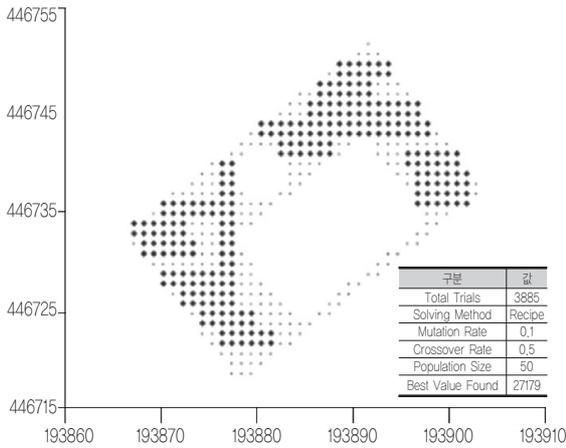


그림 8. PG_{max}에 따라 도출된 최적 배치안

급은 3등급에 해당한다. 각 어레이의 선택여부가 상호간 독립적으로 결정되도록 레시피(Recipe) 계산 방식을 적용하였으며, 모집단 크기(Population Size)는 50, 돌연변이율(Mutation Rate) 0.1, 교배율(Crossover Rate) 0.5를 적용하여, 총 유효 반복회수가 3,885회로 시뮬레이션 되었다.

다음의 그림9는 수익에서 비용을 차감한 순현재가치의 최대 값 기준인 NPV_{max}에 따라 도출된 최적 배치안이다.

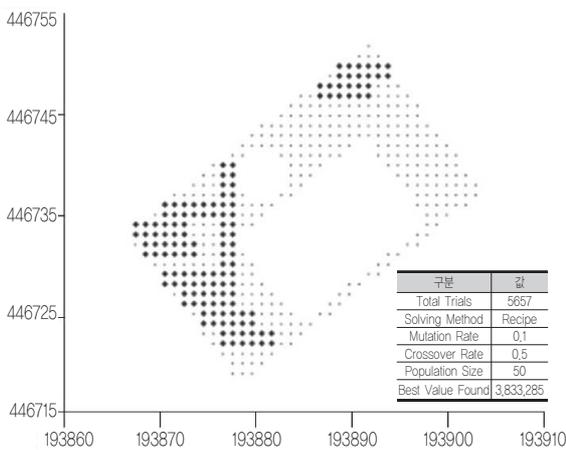


그림 9. NPV_{max}에 따라 도출된 최적 배치안

모두 7개의 어레이와 조형물이 배치됨에 따라 3,833,285원의 NPV값을 나타내고 있다. NPV값을 최대로 하여 배치안을 산정함에 따라 15,061kWh의 예상 발전량과 총에너지 사용량 대비 6.48%의 신·재생에너지 공급률로 낮은 발전량 수준을 보이고 있다. 6.48%의 신·재생에너지 공급률은 신·재생에너지 이용 건축물 인증등급에 따르면 4등급에 해당하는 수치이다. 최대 발전량 기준인 PG_{max}와 동일하게 레시피계산 방식과, 모집단 크

기 50, 돌연변이율 0.1, 교배율 0.5를 적용하여, 총 유효 반복회수가 5,657회로 시뮬레이션 되었다.

다음 그림10은 요구되는 발전량을 만족시키는 수준에서의 최대 NPV 기준인 NPV_{need}에 따라 도출된 최적 배치안이다. 현행 공공건축물의 신·재생에너지 사용 의무비율 10%를 신·재생에너지 공급률로 설정하였다. 총에너지 사용량의 10%를 충족시키기 위해 모두 16개의 어레이와 조형물이 배치되었으며, 발전량은 25,038kWh, NPV는 -1,703,132원으로 분석되었다. 신·재생에너지 공급률은 10.34%로 산출되었으며, 이는 신·재생에너지 이용 건축물 인증등급 3등급에 해당되는 수치이다. PG_{max} 및 NPV_{max}와 동일하게 레시피계산 방식과, 모집단 크기 50, 돌연변이율 0.1, 교배율 0.5를 적용하여, 총 유효 반복회수가 2,546회로 시뮬레이션 되었다.

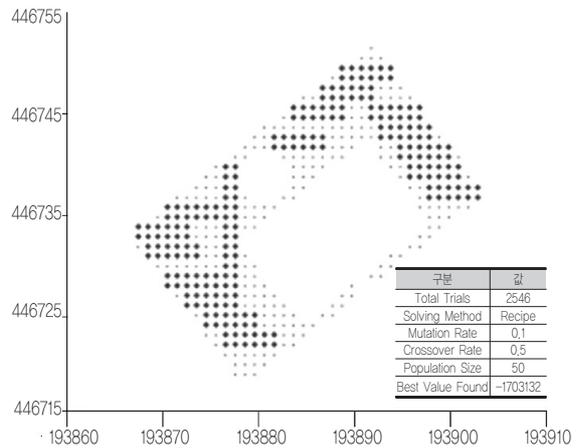


그림 10. NPV_{need}에 따라 도출된 최적 배치안

태양광 어레이의 최적 배치를 위한 세 가지 선정기준, 즉 PG_{max}, NPV_{max}, 그리고 NPV_{need}을 각각 적용하여 도출된 최적 배치안 결과를 상호 비교하면 다음의 표7과 같다.

표 7. 최적 배치안 비교

구분	PG _{max}	NPV _{max}	NPV _{need}	비고
어레이개수	18개	7개	16개	
NPV(원)	-6,764,221	3,833,285	-1,703,132	
태양광발전량(kWh)	27,179	15,061	25,038	
총에너지 사용량(kWh)	244,379	232,261	242,238	소요에너지량(217,200kWh)+태양광발전량
신·재생에너지 공급률	11.12%	6.48%	10.34%	
신·재생에너지 이용 건축물 인증등급	3등급	4등급	3등급	

배치안 선정 결과에 따르면 대상 건축물의 지붕을 활용한 2m × 6m 어레이를 기준으로 한 태양광 설비의 최대 발전 가능량은

참고문헌

27,179kWh/연이며, 이는 11.12%의 신·재생에너지 공급률값을 가진다. 경제성을 판단하는 NPV가 3,833,285원으로 최대값을 확보할 수 있는 배치안의 경우에는 발전량이 낮아 신·재생에너지 공급률이 6.48% 수준에 그치는 것으로 분석되었다. 현행 공공건축물 신·재생에너지 에너지 의무할당 비율인 10%를 만족하면서 경제성을 최대 확보할 수 있는 배치안인 NPV_{need} 기준의 결과값의 경우 NPV가 -1,703,132원으로 PG_{max} 대비 75%를 절감할 수 있는 반면, 발전량은 8% 이하로 감소되어 최적의 대안으로 분석되었다. 경관편의시설로 어레이 배치와 연동되어 그 위치가 결정되는 조경물 시설의 경우 세 가지 선정결과 모두 발전량이 가능 낮게 확보되는 지점에 위치되는 것으로 도출되었다.

5. 결론 및 향후과제

신·재생에너지 이용 인증대상 건축물에서 소요되는 에너지의 일부를 지붕형 태양광 설비를 통해 생산된 전력으로 충당하고자 할 때, 특정 선정기준에 따른 태양광 어레이의 최적 배치안을 선정하는 프로세스 모델을 구축하였다. 동 모델에서는 오토캐드 2009를 사용해 신·재생에너지 이용 인증대상 건축물의 3차원 설계 모델링을 수행하고, ESRI사의 ArcGIS를 사용한 지형공간정보 모델링을 구축하여 건축물 지붕의 각 그리드별 일사량을 산출하였다. 산출된 일사량을 MS 엑셀 기반의 유전 알고리즘 솔루션인 Palisade사의 Evolver 5.7 소프트웨어를 통해 불러 온 후 선정기준에 따른 최적 배치안을 도출하였다. 발전량을 최대로 하는 PG_{max}에 따른 배치안은 인증등급이 3등급인 반면 NPV가 너무 낮고, 경제성을 최우선으로 하는 NPV_{max}에 따른 배치안은 반대로 인증등급이 4등급으로 낮아지는 것으로 분석되었다. 요구되는 발전량을 만족시키는 수준에서의 최대 NPV 기준인 NPV_{need}에 따른 배치안은 적정수준의 NPV가 확보되고, 인증등급도 3등급으로 유지할 수 있어 최적의 대안으로 평가되었다.

본 연구에서는 저사양 컴퓨터의 사용과 컴퓨팅에 소요되는 시간의 제약으로 인하여 지형공간정보 모델의 해상도가 1m×1m로 적용되어, 지붕 구조물간의 미세한 음영 영역이나 태양광 어레이나 지형공간 시설물의 정밀한 치수 반영을 통한 상호 중첩 분석에 한계가 있었다. 또한, 인접 시설물이나 건축물을 같이 모델에 반영하여 인접 시설물이나 건축물에 의한 음영분석이 이루어지지 못했다. 향후, 고해상도 기반의 3차원 지형공간정보 모델 구축 및 인접 시설물이나 건축물의 반영을 통해 태양광 어레이 및 시설물의 정밀한 음영분석 및 배치안 선정이 필요하다.

김세종·구교진 (2010), “비용·수익 리스크 기반 태양광 사업 발전차액지원 기준가격 산정 프로세스 모델”, 한국건설관리학회 논문집, 제11권 제1호, pp.113~121.

문병로 (2003), “유전 알고리즘”, 두양사, 서울, pp. 34.

박을수 (2006), “건물일체화 태양광발전(BIPV)시스템의 최적설계에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문

박재성 (2008), “단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급방안 연구”, 한밭대학교 석사학위논문

최종현 외 (2003), “3차원 공간정보구축 추진계획 수립연구”, 건설교통부, <<http://www.codil.or.kr>> (2011.7.6).

한재경 (2010), “환경 친화적 공동주택 태양광 적용 디자인 계획에 관한 연구”, 동국대학교 석사학위논문

위키백과 (2011), “유전 알고리즘”, <<http://ko.wikipedia.org/wiki>> (2011.7.).

Adel, G. and Yassine, C. (2010), “Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), pp.790~797.

Environmental Systems Research Institute(ESRI), Inc. (2009), “ArcGIS Desktop 9.3 Help.”

Environmental Systems Research Institute(ESRI), Inc. (2008), “The Multipatch Geometry Type”, ESRI White Paper.

논문제출일: 2011.07.08

논문심사일: 2011.07.15

심사완료일: 2011.09.28

요 약

신·재생에너지에 대한 건축물 인증제도, 공공건축물 신·재생에너지 투자의무비율 확대 등 다양한 건축물 신·재생에너지 설비투자 지원정책으로 건축물 지붕을 활용한 태양광 사업 추진이 빠르게 확대되고 있다. 이러한 건물 지붕을 활용한 태양광 설비는 인접 건축물 또는 자체 구조물이나 시설에 의한 정밀한 음영분석이 필요함에도, 설계자의 경험이나 단순 그래픽 툴에 의해 배치 설계가 이루어지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 건축물에 소요되는 에너지 일부를 지붕형 태양광 설비에 의한 생산전력으로 대체하고자 할 때, 특정 선정기준에 따른 태양광 어레이의 최적 배치안을 선정하는 프로세스 모델을 구축하고자 한다.

키워드 : 지붕형 태양광, 배치 최적화, 지형공간정보, 유전 알고리즘
