



## 고층건물의 디자인 생성 지원을 위한 알고리즘 구성 연구 - 태양에너지와 비틀림 형태를 중심으로 -

### *A Study of Algorithm Composition for Generative Design - Focused on Solar Energy And Twisted Form -*

정성엽\* · 김고원\*\* · 김동진\*\*\*

Sung-Yub Jung\* · Go-Won Kim\*\* · Dong-Jin Kim\*\*\*

\* Main Author, Graduate Student, School of Architecture, Gyeongsang National Univ., Jinju, South Korea (jsy2971@naver.com)

\*\* Coauthor, Graduate Student, School of Architecture, Gyeongsang National Univ., Jinju, South Korea (gw596@naver.com)

\*\*\* Corresponding Author, Professor, School of Architecture, ERI, Gyeongsang National Univ., Jinju, South Korea (dj@gnu.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The aim of this study is to develop generative algorithm of twisted-formed buildings concerning solar energy gain in early design stage. The rapid development of architectural design software and structural technology caused the rise of high-rise buildings in various forms. High-rise buildings consumes huge resources for their size and dignity. To solve this, environmental analysis needs to be done from early design stage. However, the emergence of parametric design concepts and the use of coding-based algorithm editors have allowed vast amounts of data to be processed and results obtained in a short period of time. **Method:** So this study constructed algorithms through Grasshopper, Ladybug, and Galapagos. The parameters used to obtain the design are set based on the literature review. **Result:** Thus, this study composed algorithms to achieve optimal designs in terms of solar energy efficiency in high-rise buildings. Using algorithms, even designers who are not familiar with environmental analysis can start simulation. Through simulation results produce design used in the early design stage.

© 2021. KIEAE all rights reserved.

#### KEYWORD

초기설계단계  
그래스호퍼  
레이디버그  
최적화Early Design Stage  
Grasshopper  
Ladybug  
Optimization

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 19, 2021  
Final revision received Feb. 24, 2021  
Accepted Feb. 26, 2021

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

디지털 툴과 건축구조 기술의 발달은 고층건물의 자유로운 형태 구현을 가능하게 했다. 고층건물 설계는 다양한 계획요소들을 고려해야 하고 그에 따른 기능을 충족할 때까지 수많은 디자인을 탐색하는 과정이 반복되어야 한다. 최근 파라메트릭 디자인개념을 바탕으로 다양한 계획요소들을 보다 효율적으로 다룰 수 있게 되었으며, 이를 통해 초기설계단계에서 비정형 고층건물의 계획요소들을 다루기 위한 연구들이 진행되었다. 코어, 구조, 리스스팬, 평면 등의 계획요소를 효율적으로 해결하기 위한 알고리즘 에디터 기반의 연구들은 상당수 진행되었지만, 국내의 에너지 효율 관련 알고리즘 에디터와 환경분석 툴 기반의 연구는 아직 미비하다 할 수 있다. 고층건물은 그 규모만큼 에너지 소모가 크고 2020년 제로에너지 빌딩 제도가 본격적으로 시행됨에 따라 신재생에너지로서의 태양에너지 활용의 필요성이 강조되고 있다. 건물의 형태는 태양에너지 효율에 직접적인 영향을 주므로 초기설계단계에서부터 환경성능을 고려한 설계를 진행하는 것이 중요하다.

과거의 건축물 환경분석은 진행되는 데에 상당한 시간이 소요될 뿐만 아니라 기술적 한계에 따라 임의의 매개변수들을 설정하고 가

정치를 입력하여 제한적인 결과값을 얻는 데에 그칠 수밖에 없었다 [1]. 하지만 최근 디자인 소프트웨어에서 알고리즘 에디터의 도입과 활용으로 짧은 시간 안에 방대한 데이터를 처리하고 결과값을 얻을 수 있게 되었다. 구성된 알고리즘에 유전알고리즘 기반의 도구가 더해져 단순 반복작업의 효율성을 높이고 역공학설계를 기반으로 환경분석 데이터 결과가 건물의 형태 디자인 요소로서 적용될 가능성 또한 가지게 되었다. 이와 같은 방법을 적용한 연구들을 해외의 사례를 중심으로 관찰할 수 있었으며, 이들은 초기설계단계에서 활용될 수 있는 다양한 환경분석 기반의 디자인을 얻는 연구를 중점으로 다루었다. 따라서 이번 연구는 해외의 환경분석 알고리즘 구성연구에서 보편적으로 사용되는 Grasshopper와 Ladybug, Galapagos 등의 3가지의 툴을 기반으로 알고리즘을 구성해 초기설계단계에서 활용할 수 있는 고층건물의 태양에너지의 효과적 획득을 위한 최적에 가까운 디자인을 얻어내고자 한다.

### 1.2. 연구의 범위 및 방법

이번 연구는 초기설계단계에서 적용 가능한 환경성능 기반의 디자인 생성을 위한 알고리즘 구성연구이며, 태양에너지와 고층건물의 비틀림을 중심으로 디자인을 탐색하는 알고리즘을 구성한다. 이를 위해 알고리즘 에디터인 Grasshopper를 활용하여 고층건물의 형태를 구성하고 Grasshopper의 환경분석 Add\_on인 Ladybug을 활용해 환경분석 알고리즘을 구성했다. 알고리즘은 크게 3단계로

나누어진다. 첫째, Grasshopper를 이용하여 고층건물의 형태를 구성하는 단계 둘째, Grasshopper의 Add\_on 중 환경분석 툴로 사용되는 Ladybug의 컴포넌트를 활용해 환경분석단계의 알고리즘을 구성하는 단계, 셋째 유전알고리즘을 기반으로 하는 툴인 Galapagos를 활용하여 디자인을 탐색하는 단계이다. 이를 통해 고층건물의 초기설계단계에서 태양에너지 활용 측면에서의 디자인을 생성 및 추출하는 알고리즘을 구성하고자 했다.

## 2. 연구의 이론적 배경

### 2.1. 고층건물의 현황분석

현재의 고층건물의 경향은 디지털 기술의 발전에 따라 산업제품 디자인에 이용되었던 3차원 모델링의 디지털 도구(Catia, Rhino, From-Z, 등) 다양한 3D 모델링 프로그램이 건축에 응용되며 다양한 비정형 형태들이 출현하기 시작했다[2]. 고층건물의 비정형 형태는 크게 Taper, Morph, Twist, Rotors, Mcf 등으로 나뉜다. 고층건물의 특성상 많은 계획요소를 동시에 다루어야 하는데 고층건물의 비정형화에 따라 계획요소들의 복잡성이 더욱 증가하게 되었다. 또한, 고층건물은 그 규모와 위엄만큼 에너지 소모량도 상당하다. 그래서 고층건물의 성능 관련 요소는 초기설계단계에서부터 체계적이고 합리적인 평가가 이루어져야 한다. 하지만 초기설계단계에서 에너지 성능분석 수행을 위한 평가 기준이 미비하며 건축물의 비정형화에 따라 객관적인 에너지 성능분석이 어려워졌으며 디자인 본연의 설계 기법보다 단열성능과 HVAC(Heating ventilation air conditioning) 시스템에 의존한 에너지 시뮬레이션이 주를 이루고 있다[3]. 또한, 전 세계적 탄소 문제에 따라 국내의 제로에너지 빌딩 제도가 2020년 본격적으로 시행되며 고층건물의 지속가능성, 에너지 효율에 관한 논의가 계속됨에 따라 고층건물의 에너지 효율성이 더욱 강조되고 있으며 신재생에너지로서 태양에너지의 활용이 필요하다.

### 2.2. 선행연구분석

#### 1) 고층건물

알고리즘 구성에 있어 태양에너지에 유의미한 영향을 가지는 건축물의 형태변수를 도출하기 위해 관련 선행연구들을 분석하였다. 문현준 외 1명(2012)은 태양에너지 효율 측면에 있어서 비틀림 정도와 방위각이 초기설계단계에서 고려해야 하는 요소임을 확인하였다[4]. 김진철 외 1명(2018)은 태양광 에너지 효율에 있어 최적의 방위각은 건설현장에서 공식처럼 적용하는 정남향과는 상이하며 태양광 발전 효율에 있어 방위각은 경제성에 지대한 영향을 미치기 때문에 방위각의 최적 설계가 필요하다고 하였다[5]. 1990년 이후에는 고층건물의 고도가 높아지고 기술의 발전에 따라 공기저항에 적합한 비틀림 형태가 나타나고 있다. 문현준 외 1명(2012), 김진철 외 1명(2018), 김자은(2020) 등의 선행연구 분석을 통해 초기설계단계에서 고층건물의 태양에너지에 유의미한 영향을 미치는 요소들을 파악하였고 이를 알고리즘의 형태변수로써 활용하고자 하였으며 Table 1.과 같이 정리하였다.

Table 1. Form parameter by literature review

Parameter	Author	Summary	Column
Azimuth of building	Moon Hyun-Jun et al. (2012)	The degree of azimuth in terms of solar energy efficiency are significant factors	-
	Kim Jin-Chul et al. (2018)	The azimuth has a significant impact so optimal design of the azimuth is needed.	
Degree of torsion	Moon Hyun-Jun et al. (2012)	The degree of Torsion in terms of solar energy efficiency are significant factors	-
	Im Ja-Eun (2020)	The development of structural technology and the elevation of high-rise buildings have led to the appearance of twisting patterns	
Area of upper and lower	-	-	For diversity

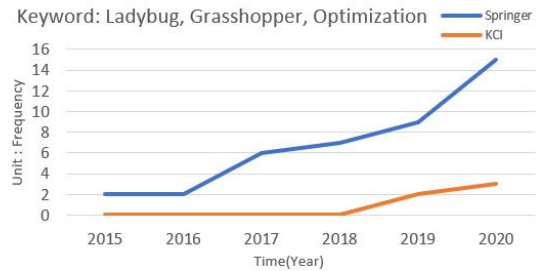


Fig. 1. Comparison of domestic and international academic journal

#### 2) 환경분석 관련 국내의 연구 동향 비교

디지털 기술의 발달에 따라 환경분석 관련한 새로운 소프트웨어들이 생겨났으며 초기설계단계에서 에너지 관련 분석방법의 변화를 가져왔다[6]. 대표적인 툴에는 Ladybug, Diva, Geco 등이 있으며, 그중 오픈소스로 제공되며 사용자의 수가 많고 접근성이 좋은 Ladybug을 중심으로 연구 동향을 파악하고자 했다. 해외 학술논문 검색기관인 Springer에서 Ladybug, Grasshopper, Optimization 3가지의 키워드로 검색한 결과 2015년부터 2020년까지 총 41편이 도출되었다. 하지만 국내의 경우 KCI 기준 2019년 2편 2020년 3편 총 5편만을 확인할 수 있었다. 이를 Fig. 1.을 통해 비교하였다.

Ladybug을 활용한 분석방법의 효율성이 다수의 해외 사례를 통해 검증되었지만, Grasshopper와 Ladybug을 활용한 국내의 연구들은 그 수가 상대적으로 적었다.

해외의 환경성능기반 알고리즘 관련 연구와 비교했을 때 국내의 환경성능기반 관련 연구의 부족함은 이태경(2019)과 고성학(2020)에서도 확인할 수 있었다[7][8]. Springer를 통해 추출한 논문데이터베이스 이외에도 ELSEVIER와 Science Direct와 같은 해외 전자저널 데이터베이스와 해외 학위논문에서 Ladybug와 Grasshopper를 활용하여 최적화 문제를 해결하기 위한 논문들을 고찰하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

건축 분야에서 환경분석을 통한 고성능 디자인이 필요함을 인식

하고 Rhino와 Grasshopper에 사용되는 환경분석 툴의 장단점을 비교하여 Ladybug와 Honeybee의 기존 환경분석툴들과의 차별성을 확인하였다[9].

초기설계단계에서 일조와 일사획득, 열 손실의 모델링 관련 분석을 실행하기 위해 Dynamo를 활용해 알고리즘을 구성하고 Ladybug와 Honeybee를 활용하여 DF, DA, UDI의 기준으로 비교 분석하였다. 이를 통해 Revit-Dynamo와 Ladybug의 워크플로우가 특정 프로젝트의 환경분석 관련 개발에 매우 효과적인 것을 확인하였다[10].

오피스의 열 성능과 빛 환경의 균형을 위해 Ladybug를 활용하여 태양열 스크린 형태를 최적화하는 알고리즘을 구성했다. 태양열 스크린의 매개변수를 도출하고 그에 따른 다중 최적화 문제를 해결하기 위해 알고리즘 에디터와 유전알고리즘을 활용하였다[11].

건물의 환경분석 관련하여 최적화 문제에서 발생하는 다중목표 최적화(MOO)문제를 인식하고 Rhino의 Grasshopper를 통해 진화 알고리즘과 에너지 시뮬레이션을 통합하는 새로운 디자인 워크플로우 방법론을 제시하여 건축설계에 초점을 맞춘 성능 지향 프로세스를 위해 건물 규모 관련 성능기반 디자인들을 포괄적으로 탐색하고 이를 통해 얻은 이점을 검토했다[12].

이처럼 Ladybug가 개발된 이후 알고리즘 에디터와 Ladybug를 활용한 알고리즘 구성 연구가 진행된 것을 해외의 사례를 중심으로 알 수 있었다. 이들은 초기설계단계에서 활용 가능한 환경성능 기반의 디자인 생성과 분석을 중점으로 다루었다.

### 2.3. 시뮬레이션 툴

#### 1) Ladybug

Ladybug는 Grasshopper나 Dynamo의 Add\_on으로 사용할 수 있는 환경분석 플러그인으로 표준 기상 데이터(EnergyPlus Wheater)를 불러들여 일조, 음영 및 조망 분석을 실행할 수 있게 해준다. 분석한 결과값은 시각적인 데이터로 변환되며 초기설계단계에서의 환경분석 관련 의사결정의 용이성을 높인다.

#### 2) Galapagos

Galapagos는 Grasshopper의 유전알고리즘 기반의 최적화 문제 해결 Add\_on이다. 목표치로 삼은 기준값을 설정하고 파라미터를 연결해 설정한 목표치에 일정 수준 수렴하는 형태와 결과값을 탐색한다.

#### 3) Human-UI

Human UI는 Grasshopper의 사용성을 보완해주기 위해 출시된 인터페이스 Add\_on이다. Grasshopper를 통해 구성한 알고리즘을 Windows 환경에서 사용할 수 있게 해준다. 알고리즘의 직관성을 높여 Grasshopper를 다루지 못하는 디자이너도 구성한 알고리즘을 사용할 수 있게 한다.

## 3. 알고리즘 구성 및 시뮬레이션

이번 연구는 고층건물의 초기설계단계에서 태양에너지 활용 측면에서 최적에 가까운 디자인 생성을 위한 알고리즘 구성 방법론에 관한 연구로 태양에너지 최대화를 목표로 알고리즘을 구성한다.

### 3.1 알고리즘의 매개변수

Grasshopper에서 초기 모델의 형태를 구성하고 Ladybug를 활용하여 환경분석 알고리즘을 작성한다. 이후 Galapagos를 통하여 디자인을 탐색하는 과정을 거친다. 아래의 Table 2.와 같은 매개변수를 입력하여 그에 따라 출력되는 결과값을 얻고자 했다.

### 3.2. 알고리즘의 구성

알고리즘은 Fig. 2.와 같이 크게 3단계로 구성된다. 첫째 모델 형태 구성단계, 둘째 환경분석 알고리즘 구성단계, 셋째 유전알고리즘 적용단계이다.

#### 1) 모델 형태구성

Grasshopper의 컴포넌트를 조합해 고층건물의 형태를 구성하는 단계이다. Rhino는 단순 뷰 포트로만 활용하고 Fig. 3.과 같이

Table 2. Algorithm parameter classification

Classification	Element	Input value	Column	
Rhino	As view port	-	-	
Grasshopper	Modeling form composition	Floors	30	-
		Height	4	-
		Base plan form	3	-
		Base plan area	30m	By radius
		Azimuth of building	0-360°	Galapagos
		Degree of torsion	0-180°	Galapagos
		Upper area	0.20-0.60	Galapagos
	Lower area	0.20-0.60	Galapagos	
	Environment analysis	EPW file	Busan	-
		Month	1-12	-
		Date	1-31	-
		Time	09-18	-
		Grid size	1000	-
Grid place		0.01	-	

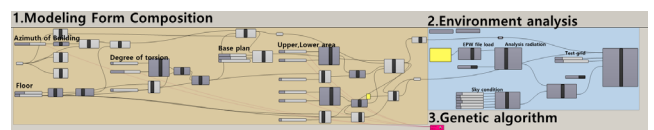


Fig. 2. Entire algorithm composition

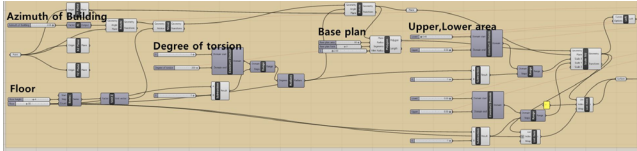


Fig. 3. Model form algorithm composition

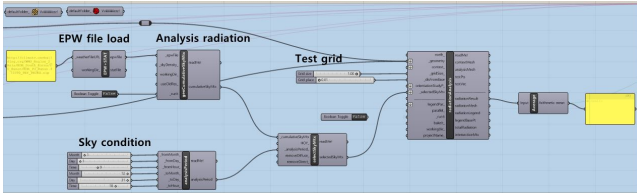


Fig. 4. Environmental analysis algorithm composition

Grasshopper만을 사용하여 모델의 형태를 구성하였다.

매개변수는 고층건물의 최소기준인 30층을 입력, 층고는 4m를 입력하였다. 건물의 방위각, 비틀림 정도, 상하부의 면적 값은 추후 Galapagos와 연결해서 사용할 독립변수로서 초기 모델 구성단계에서는 Table 2.와 같이 범위만 설정해주었으며 초기 입력값은 각 파라미터의 최소값으로 설정하였다.

2) 환경분석

Ladybug을 활용하여 환경분석 알고리즘을 구성하고 이를 통해 태양에너지 시뮬레이션을 실행한다. 알고리즘의 실행순서는 다음과 같다. 먼저 EnergyPlus Weather file(.EPW) 파일을 로드하고 이후 기준월, 기준일, 기준시 입력을 통해 천공상태를 설정한다. 이후 그리드의 크기, 그리드의 생성 위치 입력을 통해 분석단위 크기를 설정한다. 이후 Geometry 값과 연결해준다. 환경분석은 크게 세 단계로 나눌 수 있다.

첫째, EPW 파일을 로드하는 단계이다. EPW 파일을 로드하는 방법은 File path를 사용하는 방법, Ladybug\_Epw file load 컴포넌트를 사용하는 방법, Panel 컴포넌트에 EPW 파일의 URL을 입력하는 방법 보편적으로 3가지가 있다. 위의 방법 중 재사용성을 고려하여 Fig. 4.와 같이 URL을 입력하는 형태로 구축하였으며, 국내에서 고층건물의 수가 가장 많은 부산시의 기상데이터 파일을 로드 하였다.

둘째, 천공상태 설정 단계이다. 기준월, 일, 시의 데이터입력을 통해 천공상태를 설정한다. 연평균 기상데이터를 기준으로 하기 위해서 1월 1일부터 12월 31일을 입력하였으며 DA 기준의 유효조도 범위 시간인 09시-18시를 기준 시간대로 설정하였다.

셋째, 그리드 설정 단계이다. 태양에너지 해석 시뮬레이션과 Galapagos의 가동 시간을 고려하여 그리드의 크기는 1000, 생성 위치는 바닥 면으로 설정하여 설정한 단위면적(1m<sup>2</sup>)당 떨어지는 태양에너지양(kWh/m<sup>2</sup>)을 분석하고자 하였다. 환경분석 단계에서 사용되는 주요 내용은 다음의 Table 3.과 같이 정리했다.

3) 유전알고리즘 적용

유전알고리즘 기반의 Galapagos를 활용하여 태양에너지 활용 측면에서 최적에 가까운 모델의 형태를 탐색하는 단계이다. 태양에너

Table 3. Components summary for radiation simulation

Components	Components Image	Summary
EPW file load		There are various ways to load an EPW file. It was constructed by entering the EPW file URL into the Panel component in consideration of reuse.
GenCumulative SkyMtx		This component Based on Radiance engine. Use direct normal radiation and diffuse horizontal irradiance to find total radiation. calculate 8,760 solar radiation doses for each time of year. The output unit is kWh/m <sup>2</sup> .
Analysis period SelectSkyMtx		Input reference time to set the analysis range. The parameters were entered to analyze the annual average. Select how many of the values generated by genCumulativeSkyMtx. All values analyzed were extracted.
Radiation Analysis		Analyze the solar radiation that is trapped in the Geometry with the value obtained from selectSkyMtx. The Geometry value is determined by the size of the grid you set. The size of the grid was set to 1m and analyzed.

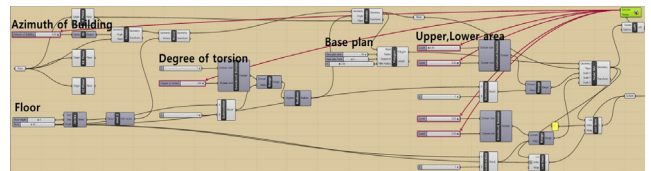


Fig. 5. Parameters connection with galapagos

Table 4. Parameter value connected with galapagos

Parameter	Input value	Column
Azimuth of building	0-360°	Building form
Degree of torison	0-180°	
Upper area	0.20-0.60	
Lower area	0.20-0.60	

Upper,Lower area : Scale adjustment ratio in the X-axis and Y-axis directions of base plan

지의 최대값에 수렴하는 형태의 디자인을 얻기 위해 Table 4.와 같은 매개변수에 따라 디자인 탐색이 진행되며, 디자인 탐색 과정은 Table 5.와 같이 결과값이 '설정된 기준값'에 수렴할 때까지 변수를 조절하여, 최적에 가까운 매개변수들을 도출하고 그에 따른 건물의 디자인을 만드는 과정을 거친다고 할 수 있다.

Table 5. Configuration of applied algorithms

Base value	Parameters	Result
Maximize solar energy	Azimuth of building	Building form
	Degree of torison	
	Upper area	
	Lower area	

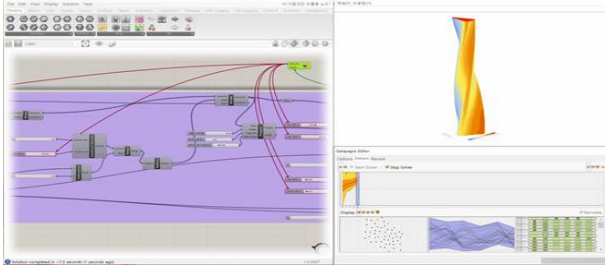


Fig. 6. Galapagos real-time calculation results



Fig. 7. Extracted result design 1

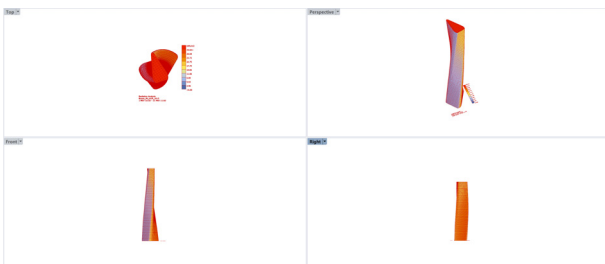


Fig. 8. Extracted result design 2

### 3.3 알고리즘 결과값

구성된 알고리즘에 따라 Galapagos를 실행하면 실시간으로 변화하는 형태변수(방위각, 비틀림 정도, 상하부의 면적)에 따라 변화하는 건물의 형태가 Fig. 6.과 같이 Rhino에 출력된다. 일정 시간이 경과해 설정한 형태변수들의 값이 기준값에 일정 수준 수렴하게 되면 알고리즘 연산이 종료되고 다양한 디자인 결과값을 추출할 수 있다.

출력된 결과값 중 Galapagos 편집 창에서 Reinstare 버튼을 통해 아래의 Fig. 7. 과 같은 디자인 형태를 추출했으며 그와 유사한 값을 보인 모델의 형태변수의 결과값은 Table 6.와 같다.

Table 6. Form value result by galapagos

Result	Solar energy result	Azimuth of building	Degree of torison	Upper area	Lower area
1	13.36 kwh/m <sup>2</sup>	83.7°	178.2°	0.20	0.60
2	13.35 kwh/m <sup>2</sup>	85.6°	178.2°	0.20	0.60
3	13.34 kwh/m <sup>2</sup>	85.6°	180°	0.20	0.60
4	13.33 kwh/m <sup>2</sup>	85.6°	180°	0.20	0.59

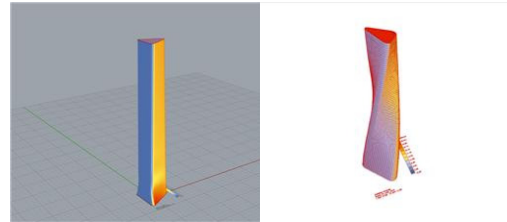


Fig. 9. Comparison with applied to Galapagos

## 4. 시뮬레이션 결과분석

이번 연구는 “태양에너지의 최대값을 가지는 형태를 방위각, 비틀림 정도, 상하부의 면적을 통해 찾아라”를 실행하는 알고리즘을 구성하여 초기설계단계에서 환경분석 측면에서의 당위성을 가지는 다양한 디자인을 탐색하는 것이라고 할 수 있다.

### 4.1 유전알고리즘 적용 비교

출력된 결과값들 중 설정한 단위면적당 가장 높은 태양에너지의 평균값을 보인 모델과 Galapagos를 실행하기 전의 모델의 설정한 단위 면적당의 태양에너지 값과 형태를 Fig. 9.에서 비교하였다.

설정한 단위면적 당 태양에너지 평균값이 유전알고리즘 적용 전 10.05kWh/m<sup>2</sup>으로 출력되었고 유전알고리즘 적용 후 가장 높은 값을 보인 형태는 13.36kwh/m<sup>2</sup> 으로 출력되었으며 이와 유사한 결과값을 보이는 모델의 형태를 다수 얻어낼 수 있었다.

### 4.2 형태변수 고찰

첫째, 출력된 상하부 면적에 관한 논의이다. 설정한 단위면적당 높은 태양에너지 값을 보이는 모델의 형태들은 변수로 설정한 상부의 면적, 하부의 면적의 범위에 내에서 상하부의 형태가 동서쪽으로 길고 북쪽으로 짧은 형태를 중심으로 남쪽의 태양에너지를 가장 많이 접할 수 있는 형태들이 도출되었다. 둘째, 비틀림 정도이다. 비틀림 정도는 83.7°가 가장 높은 태양에너지 값을 가지는 것으로 나타났다. 셋째, 건물의 방위각은 178.2°가 가장 높은 태양에너지 값을 가졌으며 그에 준하는 단위면적당 태양에너지 값을 보이는 건물의 방위각은 178.2° ~ 181°의 분포를 보였다. 이는 김진철 외 1명(2018)의 연구의 결과로 부산지역의 BIPV 최대 발전량을 가지는 건물의 방위각이 179°로 도출된 것과 비교했을 때 상당히 유사한 결과값이 도출된 것을 알 수 있었다. 김진철 외 1명(2018)의 연구에서는 SAM을 활용해 방위각과 경사각을 1°씩 조절해가며 최대의 발

전량을 가지는 방위각과 경사각을 찾으려 했으며 이는 상당한 시간이 소요될 수밖에 없었다. 하지만 이번 연구에서는 Grasshopper의 알고리즘을 구성하는 방식을 적용해 비교적 적은 시간을 소모하여 결과값을 도출했다. 이를 통해 김진철 외 1명(2018)의 연구 결과값 중 방위각과 유사한 결과값을 얻을 수 있었으며 이와 동시에 비틀림 정도와 상부의 면적, 하부의 면적이라는 디자인 형태에 관련된 변수를 설정하여 환경분석 관련하여 디자인 요소로 활용될 수 있는 형태 또한 얻어내었다.

### 4.3 SD 단계에서의 활용성

#### 1) Ladybug을 적용한 알고리즘 구성의 장점

Ladybug은 결과값이 Visualization(시각화) 되어 출력되며 기존의 환경분석 틀들과는 차이를 가진다. Ladybug은 결과값이 태양에너지의 양에 따라 빨간색, 노란색, 파란색의 직관적인 데이터로 출력된다. 직관적인 데이터로 출력되기 때문에 환경분석에 익숙하지 않은 건축 디자이너도 결과값을 이해하기 쉽고 추후 초기설계단계에서 디자인의 수정, 보완에 용이하게 작용할 수 있다.

또한, 건축물의 환경분석을 진행하려면 기존의 Radiance, GreenBuildingStudio Daysim, EnergyPlus, 등의 검증된 상세조도 해석프로그램에 대한 기본적인 지식이 필요하였지만 구성된 알고리즘을 활용하면 위와 같은 상세조도해석 프로그램에 관한 지식이 전무 하더라도 이들을 기반으로 하는 일정 수준 이상 신뢰할 수 있는 결과값을 얻을 수 있다.

Ladybug은 EPW 파일을 기반으로 시뮬레이션 된다. EPW 파일은 Department of Energy(DoE)에서 개발한 실제 기상데이터를 기반으로 구성되어있다. 이번 연구에서는 Direct Normal radiation과 Diffuse Horizontal Irradiance를 통하여 전천 일사량을 구하는 방식을 적용했다. 1시간 단위로 365일의 모든 태양에너지를 계산하여 8760(365×24)가지의 데이터를 출력한다. 기존의 천천공, 담천공 등의 가정치를 설정하여 분석하였던 방식과는 차이를 가진다.

#### 2) Galapagos를 적용한 연산의 한계

Galapagos는 설정한 형태변수와 Fitness 값에 따라 분석이 시작된다. 유전알고리즘을 기반으로 하는 Galapagos의 특성상 완벽한 결과값을 연산하는 것이 아닌 그 해답의 일정 수준 근접하는 결과값을 도출한다. 그러므로 알고리즘을 실행할 때마다 매번 유사하지만 다른 결과값이 도출된다. 또한, 일정 수준 수렴하게 되면 상당히 유사한 형태가 다수 출력된다. 초기설계단계에서는 태양에너지의 최적화 이외에도 다양한 조건들을 고려하여 디자인이 수정될 수밖에 없다. 이점을 고려하면 상하부 면적과 비틀림 정도, 건물의 방위각의 1% 이내의 값의 차이를 분석하기 위해 소요되는 시간들은 상당히 비효율적이고 큰 의미를 가지지 못할 수도 있다.

#### 3) Human UI를 통한 보완

이번 연구는 초기설계단계에서 디자인을 생성의 지원을 위한 연구이며 알고리즘의 사용성을 높이는 것이 요구된다. 초기설계단계에서의 디자인은 상당한 가변성을 가진다. 따라서 수정 보완의 용이

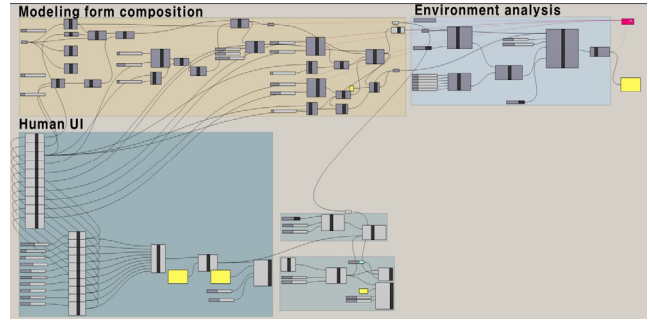


Fig. 10. Algorithm for adding human UI



Fig. 11. Human UI out put

성이 필요하다. 하지만 Grasshopper로 구성된 알고리즘 내에서 파라미터를 조절하기가 쉽지만은 않다. 또한, Grasshopper의 특성상 라이노를 뷰 포트에 활용해야만 하므로 라이노의 기본지식 또한 요구된다. 따라서 출력된 결과값의 형태를 용이하게 수정, 보완하기 위하여 Fig. 10.와 같이 Human UI를 활용하여 알고리즘을 재구성했으며 Fig. 11.과 같이 출력되며 생성한 Window 캔버스에서 파라미터 조절에 따른 변화를 실시간으로 확인할 수 있다.

## 5. 결론

이번 연구는 고층건물의 태양에너지 활용 측면에서 최적에 가까운 형태를 찾기 위한 알고리즘 생성 방법론의 기초연구이다. 비정형 고층건물의 형태 중 비틀림을 중심으로 디자인 형태를 탐색하고자 했다. 이번 연구는 Grasshopper와 Grasshopper의 확장 프로그램 중 Ladybug, Galapagos, Human UI를 활용해 태양에너지 효율 측면에서 최적화된 고층건물의 형태를 생성하는 알고리즘을 구성했으며, 문헌 고찰을 통하여 태양에너지에 영향을 주는 고층건물의 형태 변수를 규정하였고 이를 기반으로 제로에너지 빌딩 제도 신설과 그에 따른 에너지 건축물 의무화 기준을 충족하기 위한 신재생에너지로서의 태양에너지의 활용과 효율을 목표로 시뮬레이션하였다. 구성된 알고리즘을 활용하면 태양에너지 분석 관련 지식이 적은 설계 디자이너도 직관적인 파라미터를 조절하는 것을 통하여 환경분석 기반의 디자인 생성 시뮬레이션 시작이 가능하다.

현재까지 국내에서 많이 사용되는 환경 성능기반의 분석은 이미 만들어진 건물에 대한 평가를 진행하는 분석형 툴을 활용하는 것이 대부분이었으며, 이는 이미 만들어진 디자인이 환경성능 관련하여

합리적인지를 판단하는 방법으로써 활용되었다는 것을 의미한다. 하지만 이번 연구는 초기설계단계에서 Grasshopper와 그의 확장 프로그램을 바탕으로 환경분석 시뮬레이션을 실행하고 유전알고리즘 기반의 프로세스를 통해 환경분석 데이터 결과를 수집하여 환경분석 측면에서 당위성을 가지는 수많은 디자인 형태를 탐색하고 추출할 수 있다. 이는 환경분석 데이터 결과가 수치에 그치지 않고 디자인 요소로써 활용될 가능성을 제시하는 의미를 가지며, Grasshopper 기반의 알고리즘과 확장 프로그램을 활용하는 방법을 통해 기존 태양에너지 분석방법의 한계점을 보완했다.

본 연구는 가상 모델을 기반으로 태양에너지의 효율적인 측면만을 고려하여 알고리즘을 구성했다. 이는 알고리즘의 신뢰성과 다양한 변수를 고려하지 못한 한계점을 가진다. 그래서 이를 보완하기 위해 후속연구에서는 첫째, 실제 건물을 대상으로 시뮬레이션 전·후 결과값을 비교 고찰하여 실제로 환경성능 측면에서 더 우수한 설계안이 생성되는지를 비교하는 과정을 가질 것이다. 둘째, 고층건물의 다중최적화문제를 해결하기 위해 연면적, 코어의 면적, 기능별 층고, 유효면적 비 등 다양한 변수들을 반영한 알고리즘을 구성할 계획이다.

## Acknowledgement

This study rewrites and revises the contents Jung, Sung-Yub's 『A Study of Algorithm Composition for Generative Design Focused on Solar Energy and Twisted Form』 (Gyeongsang National University Master Thesis, 2021).

## Reference

- [1] Touloupaki E, Theodosiou T, Optimization of building form to minimize energyconsumption through parametric modelling. *Procedia Soc. Environ. Sci.* vol. 38, 2017, pp.509-514.
- [2] 박상민, 뒤틀림 형태의 초고층 건물 기하학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회지, 제11권 제2호 2009, pp.47-56. // (S.M Park A Study on the Geometric Characteristics of Tall Buildings in the form of Distortion, the Architectural Institute of Korea, 11(2), 2009, pp.47-56)
- [3] 임자은, 비정형 초고층 건물의 형태생성을 위한 통합형 파라메트릭 디자인 프로세스에 관한 연구, 2019 영남대학교 박사학위 논문. // (J.E. Lim A study on The Integrated Parametric Design Process for The Form Generation of Irregular-Shaped High-Rise Buildings, The Department of Architecture Graduate School, Yeungnam University)
- [4] 문현준, 김사겸, 초기 설계단계에서 비틀림 형태 건물의 BIM 기반 에너지 성능 평가 기술 개발, 대한건축학회 논문집, 제28권 제7호, 2012 pp.289-296. // (H.J. Moon S.K Kim, Development of a BIM based Energy Performance Evaluation Method for Buildings with a Twisted Shape in Early Design Stage the Architectural Institute of Korea, 28(7), 2012, pp.289-296.)
- [5] 김진철, 김정남, 태양광 시스템의 지역별 최적 방향 및 각도연구-SAM을 활용한 시뮬레이션 사례 분석, 신재생에너지학회, 제14권 제56호, 2018, pp.9-20. // (J.C. Kim, K.N. Kim, Study on the Regional Difference of Optimal Orientation and Tilt Angle for Photovoltaic Systems : Simulations by a System Advisor Model, Journal of the New Renewable Energy Vol. 14, No.56, 2018, pp.9-20.)
- [6] Jordi Torner Ribe, 3D Energy Modeling Optimization Using Computational Design Software, 2016, iversitat Politecnica De Catalunya Department of EGE
- [7] 고성학, 파라메트릭 디자인 틀을 이용한 루버 디자인과 파라미터 고찰 한국생태환경건축학회 논문집, 제20권 제2호, 2020. pp.93-101. // (S.H. Ko A Louver Design Method Using Parametric Design Tool and Consideration for Parameters KIEAE Journal 20(2), 2020, pp.93-101.)

- [8] 이태경, 생성과 분석을 결합한 환경 성능기반 설계 프로세스에 관한 연구, 2019, 서울대학교 박사학위 논문. // (A Study on Environmental Performance Based Design Process to Integrate Generation and Analysis Department of Architecture The Graduate School of Seoul National University 2019.)
- [9] M. Roudsari, M. Pak, Ladybug: a Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design, BS 2013 Conference Paper, 2013, pp.3128-3135.
- [10] Nicolas Baker, Modeling and Analysis of daylight, Solar Heat Gains and Thermal losses to inform the Early stage of the Architectural Process, KTH Royal Insitute of Technology School of Architecture and The Built Environment, 2017.
- [11] Asmaa Gamal Abdellfattah Elsayed Hassan, Parametric Design Optimization For Solar Screens: An Approach For Balancing Thermal And Daylight Performance For Office Buildings In Egypt, Faculty of Engineering, Cairo University Giza, Egypt, 2016.
- [12] Hanie Omid\* Mahmood Golabchi, Survey of Parametric Optimization Plugins in Rhinoceros Used in Contemporary Architectural Design, Fourth International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Conference Paper, 2019.