

# 조도 분포 변수를 이용한 형상 알고리즘 개발 및 디자인 구현에 관한 연구

## A Study on the Shape Design Implementation and the Algorithm Development using the Illuminance Distribution

지 승 열\*                      전 한 중\*\*  
Ji, Seung-Yeul                Jun, Han-Jong

### Abstract

Algorithm-based architecture helps specifically dividing the environmental variables of a target space into individual factors to build object-oriented programming, classifying them into an individual object according to the environmental variables of each planning circumstance, and distributing each structure into small structures. In addition, each itemized matter of construction is set as a condition, and thus it is possible to respond to the space condition of various circumstances which occur in the architectural planning process.

This study is intended for predicting that a sketch role in the design process can be replaced by a design method utilizing an algorithm, through the external solar radiation and the illuminance value of indoor lighting device among the environmental variables of a target space, and for seeking a way to create a design alternative and improve the design quality by using computer-based algorithm design.

키워드 : 건축 실내 환경 분석, 알고리즘 기반 디자인, 어트랙터 알고리즘, 창발

Keywords : Architectural Indoor Environmental Analysis, Algorithmic Design, Attractor Algorithm, Emergence

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경

최근 전 세계 국가에서는 환경오염, 환경보전과 경제성을 동시에 이루기 위한 노력들이 이루어지고 있으며, 건축 분야에서도 에너지 절감에 대한 많은 대책과 연구를 진행하고 있다. 그에 따라 대다수의 선진국들은 친환경 디자인, 그린 빌딩 등 그린 에너지 정책을 펼치고 있다. 건축 산업 구조에서는 다수의 환경 분석, 에너지 성능 분석 등 3차원 모델링을 통한 시뮬레이션으로 추상적인 정보가 아닌 구체적인 분석 자료와 시각적인 분석으로 친환경 디자인의 객관적인 데이터들이 분석되고 있다. 그러나 기획 및 계획 설계 단계에서 설계자가 환경 분석 데이터를 직접 활용하기에는 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 환경 분석 정보를 적용하는 형상알고리즘을 통한 설계방법을 제안하고자 한다.

본 연구에서의 알고리즘 기반 디자인 프로세스는 건축 환경의 상황성에 따른 디자인 문제를 해결하기 위한 과정이다. 이와 같은, 디자인 과정은 일반적으로 주어진 디자인 문제의 중요 측면을 분석하고, 분석된 데이터를 기반으로

로 해결 가능한 대안들을 도출한 뒤 검증과정에서 문제들을 최종적으로 평가하는 과정을 거친다. Lawson은 디자이너들은 프로세스를 통한 순차적 접근 방식을 사용하지 않고 대부분 동시에 진행하면서 주어진 디자인 대안의 문제점을 파악하여 디자인 문제를 해결하고 있으며 이와 같은 현상을 “중합을 통한 분석(Analysis though synthesis)”이라고 설명하고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 현상에서, 설계자가 디자인 문제의 해결방안을 “중합을 통한 분석”하는 과정에서 사용되는 주요방법은 스케치이며, 이를 통해 머릿속에 있는 문제의 해결방법을 도출하고, 검토하면서 디자이너는 주어진 문제의 새로운 측면을 발견하게 되고, 새로운 아이디어를 생성하게 된다.

하지만 스케치만으로 다양한 대안을 만들고 검토하는 것에는 한계가 있으며, 이러한 한계는 인간의 정보처리 능력의 한계로써 다양한 대안을 만들어 내는 것을 구속하고 있다. 예를들어, 공간의 환경 분석 정보를 활용한 설계와 같이 보다 객관적이고 과학적인 과정을 필요로 하는 경우에 설계자는 스케치를 대신할 수 있는 새로운 매체를 필요로 할 것이다. 본 연구는 이러한 관점으로 공간의 환경 변수를 이용한 객관적이고 과학적인 디자인 프로세스를 모색하고자 한다.

\* 주저자, 한양대학교 건축환경공학과 석박사통합과정 (musicji83@hanyang.ac.kr)

\*\* 교신저자, 한양대학교 건축학부 교수 (hanjong@hanyang.ac.kr)

1) Lawson, How Designers Think : The Design Process 2nd Ed. Butterworth, London , 1990

따라서 본 연구는 디자이너가 구현하고자 하는 형태를 직관적 관점의 데이터가 아닌 환경변수를 이용한 객관적 데이터 기반 디자인대안을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 목적

본 연구는 대상 공간의 환경변수 중 외부의 일조량 및 실내의 조명기기의 조도 값을 통해, 디자인 과정에서 스케치 역할을 알고리즘을 활용한 디자인 방법이 보완할 수 있는지에 대한 예측과 컴퓨터 기반의 알고리즘을 이용하여 디자인 대안의 창출과 디자인 질의 향상에 도움을 줄 수 있는 방법을 모색하는 것을 목적으로 한다.

### 1.3 연구의 방법 및 절차

본 연구는 공간 환경 변수를 이용한 알고리즘을 개발하여 기존의 환경 분석 도구와 연동하여 디자인 형상을 구현하고자 한다. 기존의 분석 도구와 연동되는 방식을 채택함으로써 사용자를 위한 공간의 환경을 수치적으로 환산하고 설계자의 경험에 따른 기준으로 데이터를 분류하여 다양한 디자인 대안을 도출한다.

연동의 대상이 되는 환경 분석 도구의 조건으로는 환경 분석 비전문가인 설계자에게 적합한 업무의 적용 가능성 및 3차원 형상 구현의 용이성 등을 들 수 있다. 근래에 친환경 설계 및 환경에 대한 관심이 집중되면서 비전문가를 위한 환경 분석 도구들이 활용되고 있으며 오토데스크사의 바사리(Vasari), 에코텍트(Ecotect), 그린 빌딩 스튜디오(Green Building Studio), 그래픽 소프트웨어사의 에코디자이너(EcoDesigner) 등이 있다. 이 중 에코텍트(Ecotect)는 소프트웨어 자체적인 조도분석 지원 뿐만 아니라 세분화된 분석을 위해 레디언스(Radiance)프로그램을 확장형 모듈로 연동한 분석이 가능하며, 다른 프로그램과의 연동을 위한 결과 포맷을 제공하고 있어서 데이터 맵핑을 위한 시스템 환경 조건에 부합한다. 이에 본 연구에서는 연동 대상 분석 도구로서 오토데스크사의 에코텍트(Ecotect 2011)을 선정했다.

본 연구의 주요 절차는 다음과 같다.

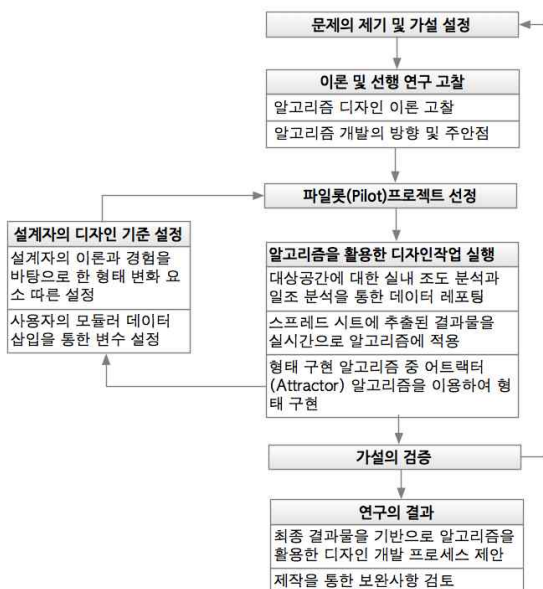


그림 1. 연구의 흐름도

첫째, 형상 디자인 구현에 활용되는 주요 알고리즘을 선정하고 개발의 방향 및 주안점을 정의한다.

둘째, 파일럿(Pilot)프로젝트 선정을 통해 스프레드 시트 기반으로 도출된 환경 분석 데이터를 형상 구현 알고리즘에 적용한다.

셋째, 알고리즘을 통해 대안을 추출한 후 설계자의 디자인 설정과정을 통해 분석된 데이터 변수의 기준을 설정한다.

넷째, 피드백 과정을 통해 얻은 최종 결과물을 기반으로 알고리즘을 활용한 디자인 개발 프로세스를 제안하고 그에 따른 보완사항을 검토한다.

## 2. 이론 및 선행연구

### 2.1 파라메트릭 디자인

파라메트릭 디자인(Parametric Design)은 컴퓨터상으로 표현되는 2차원 또는 3차원 객체를 효과적으로 통제하기 위한 기반기술이다.<sup>2)</sup> 이러한 파라메트릭 디자인은 컴포넌트(Component), 어셈블리, 컨트롤의 세가지 요소로 정의될 수 있다.

표 1. 파라메트릭 디자인의 3요소

구분	세부항목
컴포넌트(Component)	디자인 객체들의 속성, 제약사항, 관계등을 정의 - 벽돌, 바닥재, 사이즈, 무게, 가격, 색상, 재질, 드로잉 특성, 방음특성, 방화특성, 단열 특성등 다양한 매개변수
어셈블리(Assembly)	정의된 컴포넌트들의 상호관계를 정의할 수 있게 하며 컴포넌트간의 조합이 가능함
컨트롤(Control)	조합된 컴포넌트들은 파라미터 컨트롤에 의해 디자인 규범 및 상호 관계식에 기반을 둔 처리가능(Huw, 2004)

파라메트릭 디자인의 모델링 방법은 번식기반(Propagation-based)와 구속조건기반(Constraint-based) 두 가지로 구분될 수 있으며, 일반적으로 컴퓨터기반 건축 디자인 도구에서 사용되는 모델링 방법은 구속조건기반의 파라메트릭 모델링으로 주어진 조건하에서 파라미터를 조절하여 모델링하는 방식을 주로 사용하고 있다. 하지만 본 연구에서는 상황성에 따른 변화의 자유로움을 주고 형상 구현을 위한 데이터 호환의 효율성을 높이고자 번식기반 파라메트릭 방식을 사용한다.

### 2.2 알고리즘 기반 디자인(Algorithmic Design)

알고리즘은 주어진 조건에 따라 기계적 실행이 가능하고 유한한 지시사항의 리스트이며, 입력된 내용의 처리를 거쳐 출력을 하는 과정 중에서 처리를 담당하는 부분이다. 즉, 어떻게 입력내용을 처리할지를 지시하는 것이다. 디자인 알고리즘이란 디자인 요구에 대응하기 위해 디자인 의

2) McCormack, J., Dorin, A., Innocent, T., "Generative Design: A Paradigm for Design Research", Proceedings of Futureground, Design Research Society, Melbourne, 2004

도에 따른 디자인 결과물을 생성해내는 과정을 정리하는 것이다.<sup>3)</sup> 디자인 알고리즘은 디자인 과정으로 볼 수 있으며, 알고리즘 기반 디자인은 이를 모호한 형태가 아닌 논리적이고 수학적 형태로 정의하는 것을 의미한다.

번식기반 파라메트릭 모델링 방법을 구현하기 위한 방법으로 파라미터 간의 상관관계를 표현하고, 전체디자인의 논리적 구조를 수학적으로 표현하는 알고리즘 기반 디자인은, 생성디자인시스템에서 중요한 기술적 요소이다. 디자이너가 컴퓨터에게 자신의 디자인 의도를 전달하는 방법인 알고리즘 디자인을 통해, 컴퓨터는 디자인을 계산할 수 있게 되며 복잡하고 다양한 상황에 따른 변수 데이터를 설계자의 설정 기준에 따라 혼합하고 간소화하여 알고리즘에 적용하고 디자인 형태를 논리적이고 체계적으로 적용 및 정리하였다.<sup>4)</sup>

### 2.3 알고리즘 기반 건축(Algorithmic Architecture)

알고리즘 기반 건축은 대상 공간상의 환경 변수를 보다 개별 요소로 세분화하여 객체 지향 프로그래밍으로 표현되어지며, 각 상황별 쟁점에 대한 디자인 요소들을 위계적인 그룹으로 분류하여 체계화 시킨다. 그뿐만 아니라 건축 계획적 요구사항들을 조건으로 설정하여 건축 계획 프로세스에서 발생하는 다양한 상황의 공간 조건에 대응한다. 전체 디자인 과정을 설계자가 주관적으로 판단하고 처리하는 디자인프로세스 보다 신속하고 다양하게 디자인 대안을 창출하는 디자인 프로세스를 지향한다.

## 3. 환경변수를 이용한 형상 알고리즘 개발

본 연구에서는 대상 공간을 설정하고 Energy Plus기반의 공인된 환경 분석프로그램과 알고리즘 기반의 소프트웨어와 긴밀하게 연계, 연동되는 시스템을 구축하고, 분석된 변수들을 이용한 형태 알고리즘을 개발 하도록 한다. 연동의 대상이 되는 환경 분석 소프트웨어로는 오토데스크 에코텍트(Ecotect) 2011과 바사리(Vasari) Technical 2.1을 선정하였다.

### 3.1 개발의 방향 및 주안점

본 연구의 알고리즘 개발의 주요 방향은 기존 환경 분석 소프트웨어들의 기능을 활용하고, 설계자의 보조 수단으로, 설계의 참조 수준이었던 결과 값들을 알고리즘의 변수데이터로 변환하여 알고리즘을 개발하는데 있다. 본 연구에서의 구체적인 알고리즘 개발 방향 및 주안점은 다음과 같다.

첫째, 기존 환경 분석 소프트웨어와 긴밀하게 연동되도록

하여 건축 공간에서 사용자 중심의 설계 작업시 연계성 및 활용성을 높이도록 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 라이노(Rhino)의 확장 응용프로그램인 그래스호퍼(Grasshopper)를 형상 구현 플랫폼으로 설정하고 알고리즘을 개발하도록 한다. 이렇게 함으로써 본 개발 알고리즘의 형태 생성 기능을 정량적으로 산출된 분석 데이터와 즉각적인 데이터 호환을 통해 디자인을 이루는 다양한 설계조건에 대한 대응이 가능하게 된다.

둘째, 대상 공간 이용자의 정보를 설문조사에 기인하여 취합하였으며 이용자 1인의 대상공간의 면적은 국토해양부 1인 권장 사무공간 면적인 4.8m<sup>2</sup>로 설정하였으며 사용자 행동분석의 측정값 누적 측정의 어려움으로 해당인원의 팔길이, 앉은키, 손잡이를 파악하여 형상의 변수로 활용하였다.

셋째, 본 연구에서 사용된 분석 실내 조도값과 외부 일조량 분석데이터와의 연계를 위해 사무 환경에서 주로 사용되고 있는 스프레드시트 방식의 엑셀 활용을 위한 라이브러리(Microsoft. Office. Interop. Excel. dll)를 사용해 사용자 인터페이스의 직관성을 높이도록 한다. 본 개발 시스템 역시 하나의 컴퓨터 응용프로그램이므로 사용자의 편의성을 간과할 수 없다. 따라서 일반적인 컴퓨터 응용프로그램이 갖추어야 할 기본적인 항목들인 속도, 안정성, 직관성 등을 고려하여 개발하도록 한다.<sup>5)</sup>

### 3.2 개발 기술 및 주요 알고리즘

이와 같은 개발 주안점을 고려하여, 본 연구에서는 MIT 미디어랩의 Ben Fry와 Casey Reas에 의해 개발된 언어인 Processing을 주 개발언어로 선택 하였고, 마이크로소프트(이하 MS)사에서 제작한 닷넷 프레임워크(.NET Framework) 기반 프로그래밍 언어인 C#을 보조 개발언어로 선택하였으며, 최종적으로 모델링이 구현되기 위한 플랫폼으로 Macneel사의 Rhino와 VPL<sup>6)</sup>방식의 Grasshopper를 선택하였다. 응용프로그램 소스 작성에는 MS사의 비주얼 스튜디오 2010 통합개발환경(IDE)을 사용하였고, 소스의 컴파일에는 역시 MS사의 닷넷 프레임워크 3.5용 비주얼 C# 2010 컴파일러를 사용하였다.

### 3.3 주요 알고리즘 프로토타입(prototype) 개발

본 연구에서 적용된 어트랙터(Attractor)알고리즘은 사용자와 대상 객체간의 친밀도를 형상으로 구현하고자 사용되었으며, 형상을 이루는 절점 요소들의 자석과 같은 역할을 한다. 각 좌표의 절점들은 인력(引力)과 척력(斥力)의 특징을 가지고 있다. 형상 디자인을 구현하는데 적용한 가장 큰 특징으로는 분석되어진 변수데이터의 실시간 연동이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 다양한 변수들의 복합적인 적용에도 변수의 합성이 용이하여 효과적인 변수의 관리가 가능하며 최소한의 변수 변화로도 점진적인 형상들의 변형을 부각 시킬 수 있다. 그림 2에서 모든 변

3) Stiny, G. and Gips, J, "Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture", The Best Computer Models for Criticism and Design in the Arts, University of California Press, 1978

4) Mueller, P., Wonka, P., Haegler, S., ULMER, A., Gool, V. L., "Procedural Modeling of Buildings", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 / ACM Transactions Graphics Vol. 25, 3, pp. 614 - 623, 2006B

5) Mitchell, W. J., Computer-Aided Architectural Design, New York, Mensor/Chatter, 1997

6) VPL = Visual Programing Language의 약어.

수들의 기준점은 지정 좌표구역의 노드(Node)이다. 각 노드들의 움직일 수 있는 인력(引力)과 척력(斥力)의 영역을 초당 30번의 신호를 보내어 어트랙터(Attractor)의 위치 좌표를 거리값으로 환산하여 각 노드에 속도 벡터를 주어 이동시킨다.<sup>7)</sup>

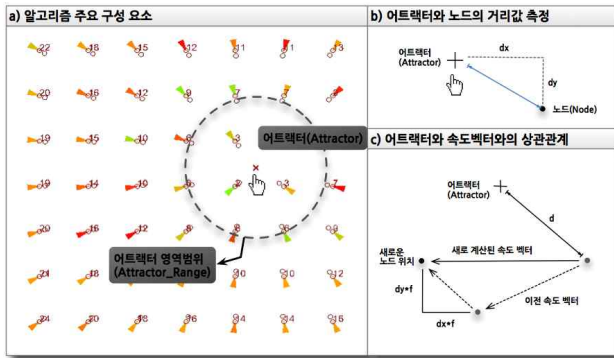


그림 2. 어트랙터(Attractor)알고리즘의 형상 구현 핵심요소

다음 알고리즘의 반응성을 높이기 위한 주요 수식 체계는 그림 2의 어트랙터를 기준으로 기존 노드와의 거리(d)를 구하고 어트랙터 영역범위를 삼입변수(input variable) 데이터 반지름(r)로 지정하여, 식(1)과 같이 계산하며, 그림 3의 그래프와 같이 f 값이 점진적으로 반비례하는 것으로 하였다. 따라서 어트랙터의 영역범위에 따라 각각 노드값에 속도벡터 값을 차등 부여했다. 또한 거리(d)값이 0에 가까워지거나 반지름(r)의 크기에 가까워지면 그들의 이동범위나 반응 속도는 현저히 낮아진다.

$$f = \frac{1}{s^{0.5}} - 1 \quad (s = \frac{d}{r}) \quad (1)$$

f : 속도 벡터의 세기  
 s<sup>0.5</sup> : 음수 방지를 통해 노드점의 역행 방지 역할  
 d : 어트랙터와 노드간의 거리  
 r : 어트랙터 영역의 반지름

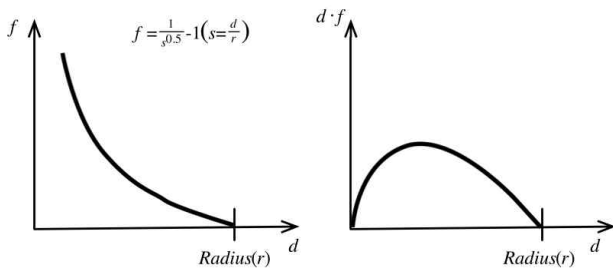


그림 3. 어트랙터(Attractor)알고리즘의 수학적 표현 정리

알고리즘 기반 디자인에 어트랙터의 힘으로 시뮬레이션을 통해 만들어져야 한다면 적어도 객체들은 두가지 타입이 필요하다.

7) Shea K., Aish R, Gourtovaia M. "Toward integrated performance-driven generative design tools", Automation in Construction Vol. 14, 2005

가) 다른 객체들을 끌어들이는 점인 어트랙터.

나) 어트랙터로 끌어들이는 객체인 노드.

두 가지 사항은 공통적으로 공간상의 절점들이고 가장 중요한 정보는 좌표체계인 (x,y,z)의 수치적 위치이다. 추가적으로 다음 요소들은 지속적으로 삼입되는 변수들에 계속해서 진화하는 특징과 기능들이 있다. 어트랙터가 배치되었을 때 노드가 (x,y)평면상에서 속도의 변화를 주며 이동하는 능력을 부여한다. 무수한 픽셀들의 위치는 각 프레임 상에서 이동되도록 속도벡터를 할당받는다.

다음 그림 4의 프로토 타입에서 참조된 제너레이티브 디자인(Generative Design)라이브러리<sup>8)</sup>는 2009년에 Hartmut Bohnacker에 의해 개발되었으며, 프로세싱기반 언어인 자바로 구동이 가능하고 다양한 형상 알고리즘을 구현할 수 있는 요소들인 노드(Node), 메쉬(Mesh), 스프링(Spring), 태블릿(Tablet)과 같은 클래스를 포함하고 있다. 그림 4에서는 클래스인 노드(Node)객체를 생성해 지정된 좌표평면상의 배열된 점들에 사용자가 임의로 어트랙터의 위치좌표에 영향을 주어 실시간으로 이미지의 업데이트 결과물을 도출 하였다. 결과물 Scene 1부터 Scene 4까지는 어트랙터의 위치좌표 변화량을 속도 벡터로 환산하여 좌표 점들에 위치 변화를 주었으며, 좌표 점들의 변환된 위치 변화량 수치는 형상의 패턴을 결정하는데 중요한 역할을 한다.

```

라이브러리 import
generativedesign.*;

어트랙터(점근자) 생성
Attractor myAttractor;
= new Attractor(0, 0);

노드 점 배열 정의
Node[] myNodes;
= new Node[xCount*yCount];

void draw()
myAttractor.x = mouseX;
myAttractor.y = mouseY;
//점진적인 작동이 되어지는 구간
for (int i = 0; i < myNodes.length; i++) {
    if (mousePressed) {
        //모든 인덱스의 점들에 어트랙트 적용
        myAttractor.attract(myNodes[i]);
    }
    myNodes[i].update();
    // draw nodes
    stroke(0);
    //변수명.x or 변수명.y
    point(myNodes[i].x, myNodes[i].y);
}

class Attractor
float radius = realtime variable
Attractor(float theX, float theY)
x = theX;
y = theY;
//거리값 계산
float dx = x - theNode.x;
float dy = y - theNode.y;
// mag(x,y) = dist(0, 0, x, y)
float d = mag(dx, dy);

if ( d > 0 && d < radius){
//세기 계산
// 거리값을 나누어 가까울수록
// 영향력이 적다
float s = d / radius;
// pow function은 거듭제곱
// s 값이 커질수록 음수값이 낮아짐(분모가 커짐)
float f = 1 / pow(s, 0.5) - 1;
f = f / radius;
// 노드에 속도인 힘을 적용한다.
theNode.velocity.x += dx * f;
theNode.velocity.y += dy * f;
}
    
```

그림 4. 어트랙터 알고리즘의 프로토타입(prototype) 개발

8) Hartmut Bohnacker에 의해 개발된 형태 생성 라이브러리를 참조하여 프로토 타입을 구성하였다.



#### 4. 알고리즘 적용 디자인

3장에서 개발한 알고리즘을 이용하여 연구 및 사무 공간의 책장을 디자인 하였다. 환경 조건으로서 연구 및 사무 환경의 권장 조도값인 1천~2천정도의 조도값(lux)을 확보할 수 있도록 해야 하며, 레이아웃이나 사무실의 용도 변경 등에도 빛의 질이 유지되어야 한다.

##### 4.1 환경 분석 도구 선정

Azhar의 BIM기반 환경 분석 도구 비교 연구에 따르면(Azhar, 2009), 친환경 분석 프로그램을 7개 기준(에너지, 온도, 태양, 조도, 음향, 유지비용, LEED)을 다양한 항목으로 비교하여 연구한 결과 Autodesk사의 Ecotect의 Solar와 Lighting and Daylighting에서 타 분석도구에 비해 2~3배 점수 차이로 월등한 평가 결과를 보여주었다.

이를 바탕으로, 대상 공간의 실내 자연 채광과 조명기구에 의한 조도값을 형상의 변수로 활용을 위하여 Ecotect를 주 분석도구로 선정하였으며 보조 분석도구로 레디언스(Radiance)와 DaySIM을 선정하였다.

자연 채광에 따른 수치 데이터 산출을 위해 레디언스(Radiance)가 지정된 시간의 시뮬레이션으로 실내 조도의 파악하고, 기상 데이터를 이용해 실내 조도 분석이 가능한 DAYSIM를 이용해 연 평균 실내 조도분석을 실시하였다. 다음 도출된 데이터를 디자인에 적용할 수 있는 스프레드시트 기반의 데이터베이스로 구축하였다.

형상 알고리즘을 통해 도출 대안의 신뢰성 확보와 건물 주변의 환경 조건을 위한 기상데이터의 정확한 적용을 위해 현재까지 국내에서 사용 되어진 출처가 불명확한 서울과 대전의 데이터, 미국에너지부(Department of Energy; 이하 DOE)에서 Energy Plus용으로 제공하는 인천, 강릉, 광주, 울산 4개 도시의 데이터의 특정 지점을 대변하는 기후데이터의 한계를 극복하기 위해 현재 국내에서 사용 가능한 미기후를 위한 기상데이터로 개발된 기법 중 미국 Autodesk사의 MM5 수치 기상 모델을 이용하여 제작된 Green Building Studio(이하; GBS)의 Virtual Weather Station(이하; VWS)의 기상데이터를 사용하였다.<sup>9)</sup> GBS VWS에서 사용된 MM5는 기상데이터 산출방법으로 중기후(mesoscale climate) 시뮬레이션용 기상 수치 모델을 사용하며 GBS에서는 MM5 모델을 오류나 누락데이터를 보정 또는 보간하는 용도로 사용하고 있다. MM5는 국내에서도 사용되어지고 있는 기상 예측용 수치모델이다.<sup>10)</sup> GBS VWS 기상데이터는 20km 그리드 간격으로 제공되며 국내에는 약 400여개의 데이터가 존재하며 국내의 어떠한 지점을 선택해도 주변에 8개의 기상데이터가 존재하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 서울지역의 대상 공간 지점을 선택한 후 표시되는 GBS VWS를 보여 주고 있다. 수치 기상 모델을 이용한 기상데이터인 GBS VWS기상데이

터의 추출은 다른 기상 데이터에 비해 복잡한 과정을 거치므로, GBS가 Energy plus같은 단독 실행형 소프트웨어가 아닌 Web기반 서비스인 관계로 관련 기상데이터가 별도로 제공되지 않으며, 또한 한번이상 대상 건물의 에너지 성능분석을 수행하여야만 기상데이터 접근이 가능하다. 본 연구에서는 다음과 같은 작업 수행의 단순화를 위해서 Autodesk사의 Vasari를 이용하여 건물의 매스를 작성한 후 에너지 분석을 실행하여 GBS프로젝트와 연동과정을 통해 기상데이터를 도출 하였다.<sup>11)</sup> 본 연구에서는 설정된 기상데이터를 활용한 실외의 일사 분석 데이터와 인공조명에 의한 실내의 조도 분석 데이터를 분석하여 합성 과정을 통해 형상을 변화시키는 변수 데이터를 구축하고자 하였다.

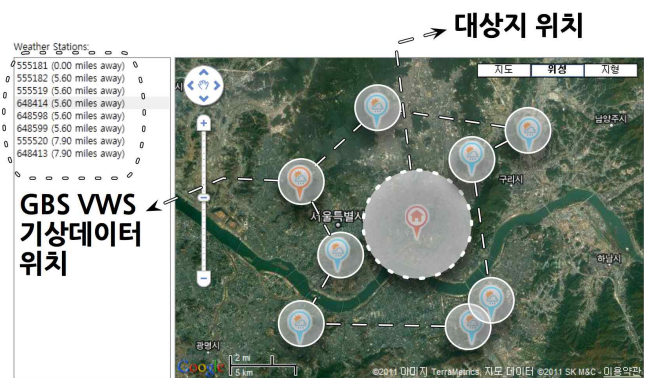


그림 5. 서울시의 대상지 에 대한 GBS VWS기상데이터 위치

##### 4.2 환경 분석 데이터 구축

알고리즘이 적용되어질 대상공간으로 그림 5와 같이 H대학교 과학기술관 연구실로 선정하였고 대상 건물은 남측 면도를 남서쪽 방향의 기준으로 배치되어 있다. 다음 대상 건물은 BIM 모델링 도구를 통하여 공간 구획을 통해 모델링 되었으며, 환경 분석 도구의 호환 포맷인 'gbxml' 변환 되었다. 대상 공간의 일조 분석을 위해 외부 조도 값은 해당 지역의 위도를 고려하여 7,000Lux를 설정하였다.

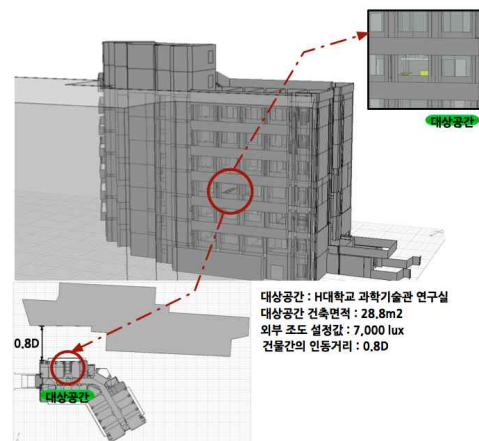


그림 6. 대상공간에 대한 환경 조건

9) Stuart Malkin, Weather Data for Building Energy Analysis, Autodesk Green Building Studio White Paper, Autodesk, 2008  
 10) 조수민, 권오경, 기상수치시뮬레이션을 위한 그리드 포털 시스템 개발, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 2007.10

11) 김언용, 전한중, 건물 성능디자인을 위한 미기후 기반 기상데이터의 기존 기상데이터와 비교를 통한 활용 가능성 연구, 한국 생태 건축 학회 논문집, 2011.12

그림 7은 측정 기간 및 범위를 하절기인 7월부터 동절기인 12월까지 오전 9시부터 오후 5시까지의 음영분석을 실시하여 대상 공간이 영구 음영지역에 위치함을 확인 할 수 있다. 하지만, 수평적으로 배치된 건물 사이에 대상 공간이 위치하여 반사 채광을 실내로 유입되는 특징을 가지고 있다.

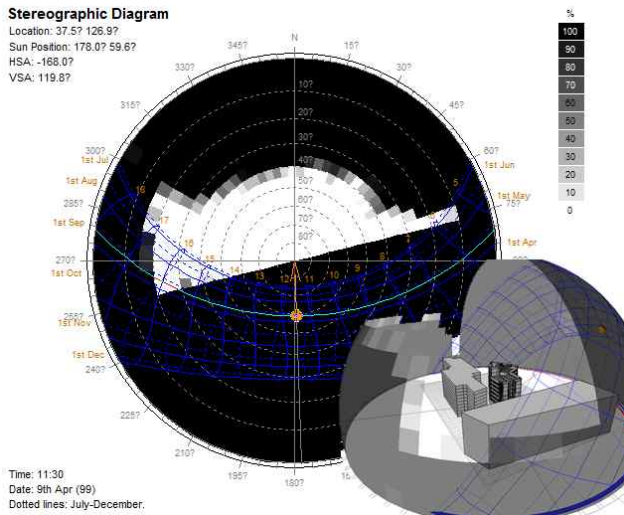


그림 7. 대상지에 대한 영구 음영 분석

본 연구에서는 일조 분석과 실내의 조도 분석의 변수를 활용해 형태 변화를 위한 변수기간 선정을 위해 그림 8과 같이 반사채광을 연간 분석을 실시하였으며, 반사채광이 1시간 이상 지속되는 기간이 동절기(11월~1월)로 국한되어, 다음 기간을 기준으로 일조 분석을 실시하고 실외로부터 유입되는 조도값을 포함하여 실내 인공조명을 포함한 종합 분석(Overall Daylight and Electric Light Level)을 실시하였다.

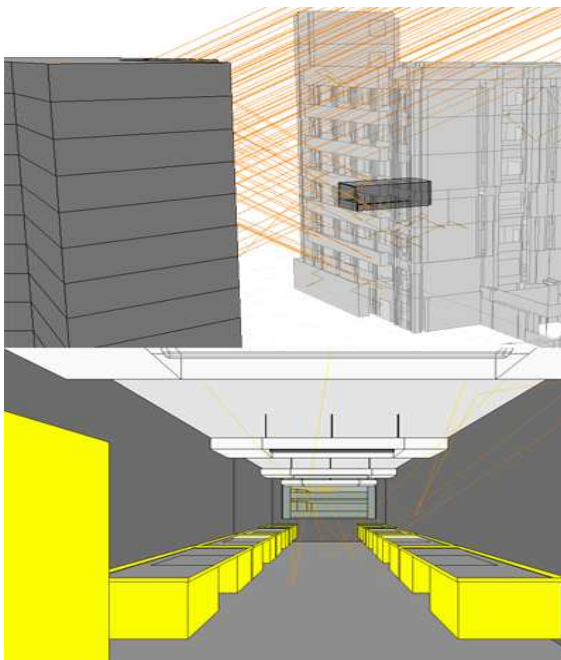


그림 8. 대상 공간 유입 반사 채광 분석

그림 9는 반사채광이 유입되는 기간인 동절기(11월~1월)중 12월 5일 11시로 지정하여 레디언스를 통해 실내로 유입되는 자연채광 조도 분포 정도를 판단하였다.

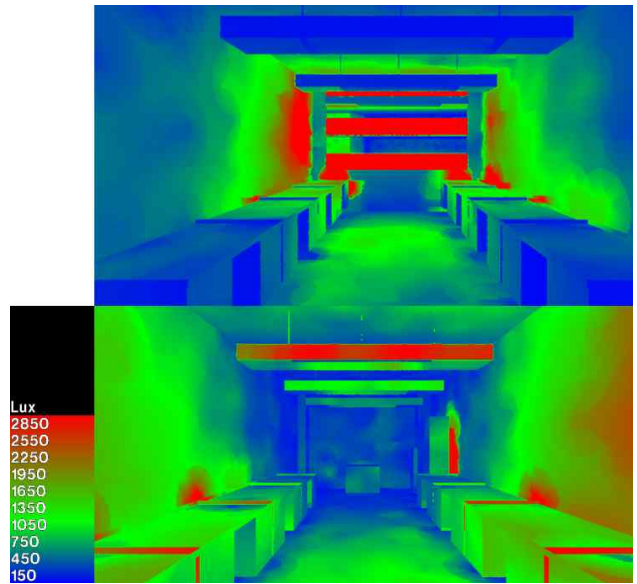


그림 9. 레디언스(Radiance)기반 동절기(12월) 실내 조도 분석

표 2는 기상데이터를 이용하여 연간 실내 평균 조도 분석이 가능한 DAYSIM을 통해 실내 조도분석을 실시하였고, 대상공간을 작업면(책상높이)부터 천정(ceiling)까지의 높이를 16개의 간격으로 나누어 3차원 공간상에 분석 그리드가 배치되며, 다음 표는 주작업 면에 배치된 분석면의 각 좌표 절점들의 조도값의 일부 이다. 표 하단의 분석 이미지는 제시된 조도값들을 이루고 있는 그리드이다. 다음 수치값들은 상단의 조건식에 부합되는 좌표를 추출하여 어트랙터 알고리즘의 어트랙터로 활용하였다.

표 2. DaySim기반 연간 실내공간 조도 분석데이터

x좌표(m)	y좌표(m)	z좌표(m)	light exposure [lux]
-0.393	2.633	1.254	721.60
-0.208	2.633	1.283	1520.80
-0.023	2.633	1.323	1520.80
0.162	2.633	1.366	1520.80
0.347	2.633	1.398	1520.80
0.532	2.633	1.409	1591.91
0.717	2.633	1.388	1552.79
0.902	2.633	1.066	1592.96
1.087	2.633	1.031	1664.07
1.272	2.633	0.995	1664.07
1.457	2.633	0.961	1520.80
-2.058	3.125	0.735	1591.91
-1.873	3.125	0.744	721.60
-1.688	3.125	0.754	513.24
-1.503	3.125	0.767	509.21

중 략



그림 10에서는 대상 공간의 실내 조도 시뮬레이션을 통해 주요 시간대를 기준으로 한 환경 변수 데이터를 산출하고 건축 계획시 권장 설계 기준인 사무 환경 권장 조도값 2000(lux)을 확보하기 위해 대상 공간의 3차원 좌표 전체의 조도 값을 산출하여 주요 작업 공간 레벨인 1.1m부터 1.6m를 기준범위로 하고, 조도값 조건 식(2)와 같이 설정하여 조건식에 부합하는 절점들을 선정한다.

$$0 < L_{lux} < 500(\text{lux}), 1800(\text{lux}) < L_{lux} < 2000(\text{lux}) \quad (2)$$

(사무 환경 권장 조도값인 2000(lux) 기준으로 영역 설정)

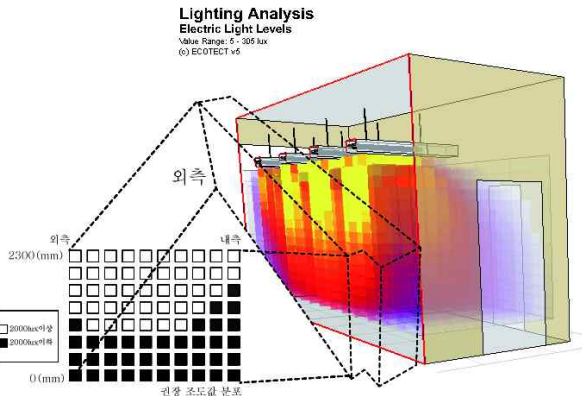


그림 10. 실내공간 조도분석을 통한 기준설정

건축 계획 기준을 기반으로 조명 기기 및 외부 채광에 대한 시뮬레이션을 정리한 후, 계획된 형상의 이용자에 대한 행동 패턴을 형상에 반영하기 위해서 해당 인원의 팔 길이, 앉은키, 손잡이를 이용한 기본 정보들로 제한을 두고 사용자의 행동 회전 반경의 위치 변위 값을 일정한 절점에 배치하여 디자인에 반영하였다. 그림 11은 8명의 공간 사용자에게 대한 키, 앉은키, 팔 길이를 다이어그램으로 표현하였으며, 특히 팔 길이의 회전 반경을 식(3)으로 정리하여 수식에 적용하였다.

$$(x,y)_{\text{userpattern}} = (r(\sin a+b), r(\cos a+b)) \quad (3)$$

(x,y)<sub>userpattern</sub> : 사용자의 주요 행동 좌표  
 r : 사용자의 팔 길이  
 a : 사용자의 팔이 책상 위 놓이위치(책상높이)  
 b : 사무중 불편함 없이 올릴수 있는 팔의 각도

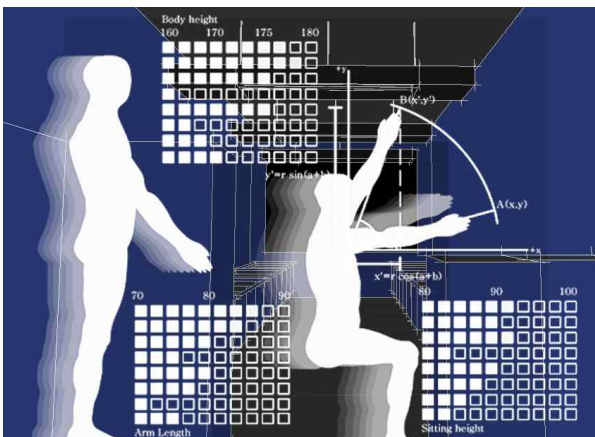


그림 11. 대상 공간 전체 사용자 모델러 측정 및 변수처리

팔의 회전반경을 통해 추출된 절점은 사용자의 행동 패턴을 반영한다. 각 절점은 어트랙터로 대상 공간 좌표들의 노드로 설정된다. 사용자의 행동 패턴의 발생 분포빈도수가 높은 지점은 인력이 발생되어 볼록면 형상이 되고, 빈도수가 낮은 부분은 척력이 발생되어 오목면 형상이 된다. 그리고 조도값이 설정 조건식에 포함되는 부분 또한 인력이 발생되고 벗어나는 부분은 척력이 발생된다.

표 3. 연구공간에 대한 사용자 기본적인 행동분석

디자인에 적용될 요소 구분	사용자								비고	
	A	B	C	D	E	F	G	H		
기본적용요소	성별	남	여	남	여	남	여	남	남	
	주사용손 (왼손, 오른손)	오른손	왼손	오른손	오른손	오른손	오른손	오른손	오른손	
수치적용요소	주요책 배치위치	왼쪽	왼쪽	오른쪽	왼쪽	오른쪽	오른쪽	왼쪽	왼쪽	
	키	178	164	176	177	158	162	164	175	
부가적용요소	앉은키	93	87	92	93	85	83	78.5	89	
	팔길이	86	78.5	84	80.5	69.5	74	76	80.5	
	어깨높이	144.25	132.5	141.5	142.5	128	130.5	132.5	139	
부가적용요소	평균 연구실 상주시간	12h	10h	10h	12h	12h	12h	10h	10h	책 최대크기
	보유권수	30	20	15	20	15	10	20	25	A3 이상 지정
	일일책 이용횟수	1	3	5~10	1	5~10	3	3	5~10	

### 4.3 알고리즘에 변수데이터 적용 원리

분석을 통하여 정리된 데이터는 조도값에 의한 데이터와 사용자의 행동 패턴에 의한 가이드 라인으로 설정하였다. 사용자의 행동 패턴은 본 연구에서는 신체적 치수에 의한 고정 패턴으로 설정하여 범위를 한정하였다. 인력과 척력의 조합으로 형상을 구축하는 어트랙터 알고리즘의 특성을 살려 사용자의 주 작업 공간인 책상면을 기준으로 조도 확보에 영향을 주지 않는 조도값을 4.2에 제시된 조건 범위를 토대로 추출하고 해당 좌표는 인력을 침해하는 조도값의 좌표는 척력을 주어 볼록면의 비정형 형태를 구축했다. 추가적으로, 사용자의 행동패턴을 중심으로 신체적 조건을 기반으로 행동 반경을 설정하여 인력을 주어 사용자를 위한 기능성을 향상 시켜 주었다.(그림 12)

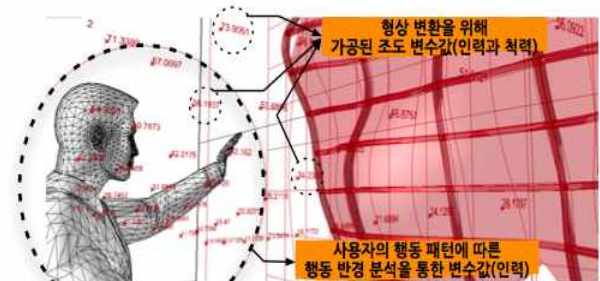


그림 12. 어트랙터 알고리즘의 변수데이터 적용 원리

### 4.4 알고리즘에 변수데이터 적용

도출된 데이터를 스프레드시트에서 닷넷기반(C#)기반으로 코딩된 데이터 변환 시스템을 실행해 데이터베이스에서 리스트의 인덱스를 통해 변수데이터를 어트랙터 알고리즘으로 삽입하여 형상디자인을 구현하고 웹 서버로 데이터를 공유하는 구조로 실행되어 불특정 다수에게 검증을 받는 시스템으로 이루어져 있다. 하지만 현재 초당 30번에 이르는 데이터 전송으로 인해 트래픽다운 되는 현상이 발생하고 있는 문제는 수정 보완이 요구되어진다.(그림 13)

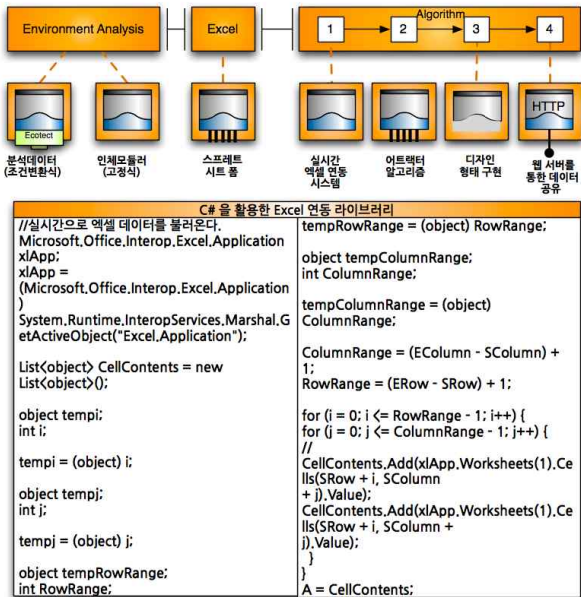


그림 13. 닷넷기반(C#)의 분석데이터와 알고리즘간의 연동시스템

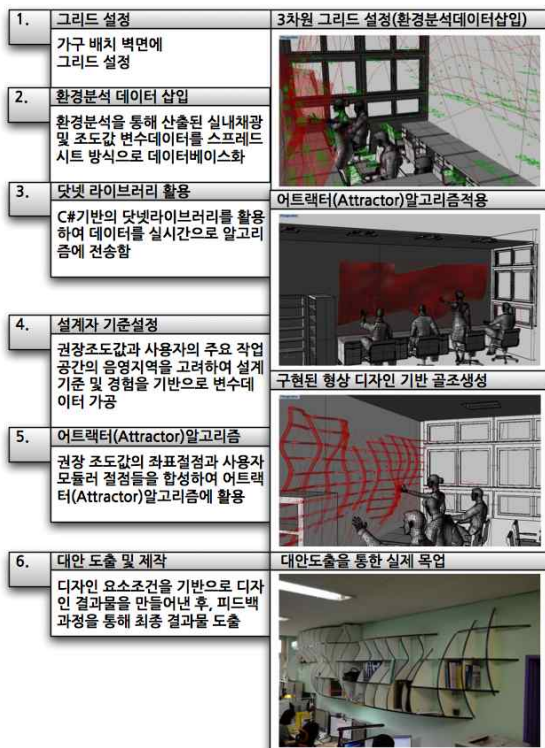
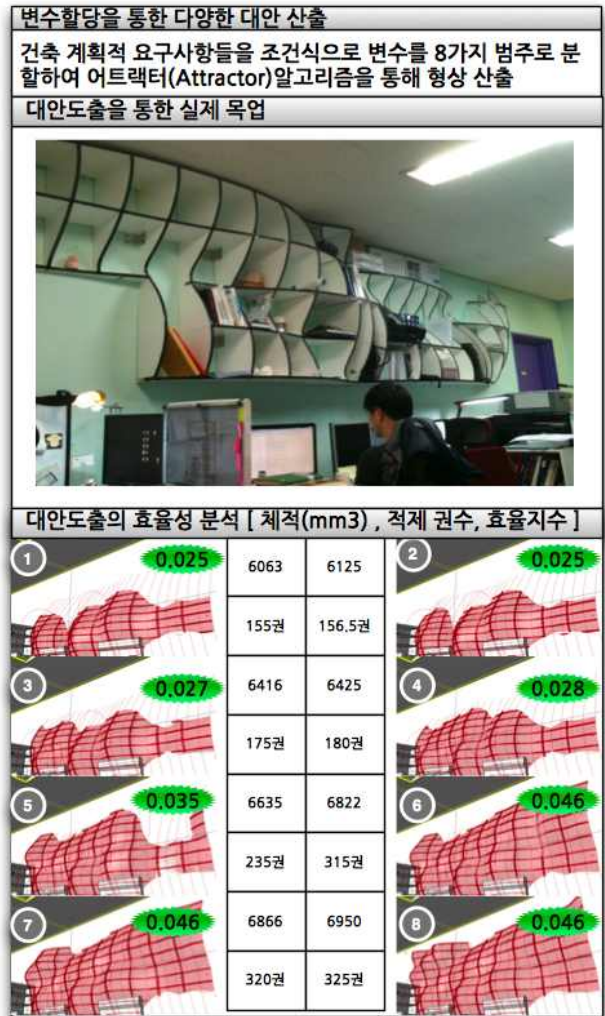


그림 14. 어트랙터 알고리즘을 활용한 디자인 프로세스

그림 14는 알고리즘 기반 디자인과 환경변수를 활용하여 계획한 전체 프로세스를 표현한 것으로 형상을 구현함에 있어 알고리즘의 주요 역할에 대한 항목을 6가지로 나누어 최종 실제 목업이 이루어진 전체 디자인 과정을 정리하였다.



\*효율지수 = 적제권수 / 제적

그림 15. 다양한 대안 산출 및 선정

그림 15은 권장 조도값에 따른 변수와 사용자의 행동 분석에 따른 변수를 합성한 후, 조건식에 대입하여 적정한 변수 범위를 산출하였다. 산출된 데이터를 기반으로 전체 범주로 8등분하여 숫자 범위를 재생성하고 각 범주의 대표변수를 어트랙터(Attractor)알고리즘에 삽입하여 8가지 대안을 산출하였다. 산출된 대안을 기반으로 변수의 부수적 환경의 조건에 따른 미세조정을 통해 결과물을 도출한 후, 각 대안의 체적을 산출 하였다. 체적 치수는 현재 가공 산업 분야에서 품셈의 척도 및 효율성을 판단하는 기준으로 사용되어 본 연구에서 도출된 대안 역시 품셈 기준에 맞추어 효율성을 판단하는 기준으로 각 대안의 적제 권수를 예측하여 효율지수로 환산 한 후, 효율성을 비교 분석하여 최종 대안을 선정하였다. 다음 결과물에서는 보기 6,7,8의 효율지수가 0.046으로 유사하게 도출되어 체적



대비 적제 권수를 판단하여 보기 6을 최종 안으로 선정하였다. 하지만 도출된 최종안은 설계를 위한 보조 의사 결정안으로써 완성도나 만족도와 같은 정성적인 분석은 향후 설문조사를 통해 분석되어야 할 것으로 판단되어진다.

## 5. 결론

본 연구에서는 건축 공간에서 환경 변수를 활용한 알고리즘에 요구되는 요소조건을 정리하고 설계 작업에 적용하였다. 이를 통해 디지털 목업의 활용성이 충분함을 확인하고, 설계 초기 단계에 실제 환경을 고려한 시뮬레이션을 직관적으로 디자인에 적용해 봄으로써 디지털 공간의 설계와 실존 공간 설계 간의 디자인의 효율성, 다양한 대안을 통한 최종 결과물의 품질 향상, 관련 실무자들의 계획안에 대한 이해도 및 신뢰도 향상의 효과를 가져 올 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 알고리즘 디자인상에 설계자가 디자인을 위한 필요조건 범위 정의와 디자인 작업 과정에서 적용한 디자인을 분석 프로그램과 디지털 목업 과정을 통해 충분히 검증 가능함을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 연구는 계획 초기단계에서의 알고리즘 적용에 대한 비전을 제시하였다는 점에서 의의를 가질 수 있다. 즉, 본 연구를 통해 공간 디자인 설계상에서 공인된 분석 소프트웨어로 구체화하고 발전시키며 이를 평가 및 수정하는 것이 가능하고, 실효성을 가진 데이터를 산출했다. 본 연구를 계기로 환경 분석데이터가 계획 초기 단계에서, 보다 긍정적이고 적극적으로 시도 될 수 있도록 상황성에 따른 적용 알고리즘의 다양성 확충과 신뢰성 높은 설계를 기대한다.

그러나 실제 상황을 고려한 알고리즘 활용 설계과정에도 불구하고 실질적인 가공 과정 중 부재에 대한 재료적 특성과 가공 공장의 공작기에 대한 자원 및 해당 재료의 물성 치에 대한 사전 파악의 미흡으로 계획 공정 기간의 오차로 인해 예상치 못한 문제점이 발생했다. 공간내의 설계 문제뿐만 아니라 전체적인 공정 측면에서 실무자간 협업 환경 및 공정에 관련한 변수에 대한 부분에 까지 개선할 예로 판단되어진다.

향후 연구에서는 첫째, 통합 설계 프로세스(IPD)를 기반으로 계획상에서의 고려사항 뿐만 아니라 공정 및 조달시 고려되어야 할 생산과 조립에 관한 사항들까지 포함한 알고리즘의 확장성을 통한 각각의 분석 모듈들을 구현하는 것이 요구된다. 둘째, 본 연구에서는 이용자의 신체 크기를 기준으로 인체 모듈을 고정식으로 상황성을 한정하여 적용하였지만 모션 센서링 기반의 인지 과학 측정 장비를 통해 사용자의 행동 패턴 분석 및 행동 선호를 회귀 분석을 통해 효과적인 형상을 구현하고자 한다.

## 후 기

이 연구는 한양대학교 건축학부 BK21 SAPEC(Sustainable

Architecture Professional Education Center) 지원의 결과임.

## 참고문헌

1. 지승열, 전한중, 수식 알고리즘을 활용한 건축 표현에 관한 연구, 학술발표대회 논문집, 2010.
2. 지승열, 전한중, 환경분석에 기반한 생성디자인 시스템 설계에 관한 연구, 한국CAD/CAM학회논문집, 2010.
3. 고동환, 친환경 건축물 설계, 계획 및 분석, 문운당, 2011.
4. 지승열, 전한중, 환경분석에 기반한 생성디자인 시스템 설계에 관한 연구, 한국CAD/CAM학회논문집, 2010.
5. 조수민, 권오경, 기상수치시뮬레이션을 위한 그리드 포털 시스템 개발, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 2007.10
6. 김연용, 전한중, 건물 성능디자인을 위한 미기후 기반 기상데이터의 기존 기상데이터와 비교를 통한 활용 가능성 연구, 한국생태 건축 학회 논문집, 2011.12
7. Huw W. R, "The Importance of Parametrics in Building Information Modeling", AECbytes Viewpoint#5, May13, 2004
8. Javier Monedero, "Parametric Design: A Review and Some Experiences", 15th eCAADe - Conference Proceedings, Vienna University of Chicago Press, Chicago. 1996
9. Lawson, B. How Designers Think, Butterworth Architecture, Oxford, UK, 1990
10. McCormack, J., Dorin, A., Innocent, T., "Generative Design: A Paradigm for Design Research", Proceedings of Futureground, Design Research Society, Melbourne, 2004
11. Mitchell, W. J., Computer-Aided Architectural Design, New York, Menson/Chatter, 1997
12. Mueller, P., Wonka, P., Haegler, S., ULMER, A., Gool, V. L., "Procedural Modeling of Buildings", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 / ACM Transactions Graphics Vol. 25, 3, pp. 614 - 623, 2006
13. Shea K., Aish R, Gourtovaia M. "Toward integrated performance-driven generative design tools", Automation in Construction Vol. 14, 2005
14. Stiny, G. and Gips, J, "Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture", The Best Computer Models for Criticism and Design in the Arts, University of California Press, 1978
15. Azhar, S. and Brown. J, and Farooqui. R. "BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software". Proceedings of the 45th ASC Annual Conference, Gainesville, Florida, 2009
16. Stuart Malkin, Weather Data for Building Energy Analysis, Autodesk Green Building Studio White Paper, Autodesk, 2008

투고(접수)일자: 2011년 10월 25일

수정일자: (1차) 2011년 12월 12일

(2차) 2012년 1월 4일

(3차) 2012년 1월 30일

게재확정일자: 2012년 2월 2일