

성능지향적 디지털 설계의 교육방법론 연구

- 키네틱 파사드 설계과정을 중심으로 -

Pedagogical Issues of Performance Oriented Digital Design

- Focused on Kinetic Facade Design -

장도진¹⁾, 김성아²⁾

Jang, Do-Jin¹⁾ · Kim, Sung-Ah²⁾

Received March 13, 2015 / Accepted March 14, 2015

ABSTRACT: Existing pedagogical issues of digital design including BIM have been focused not on potential of Digital Design but on skills of BIM or digital modeling tool. Kinetic facade can move or change material state to react surrounding environment conditions. It is a suitable design object for teaching principle of Performance Oriented Digital Design. Variables of movements affect multi-criteria of performances of kinetic facade, so different design approach from fixed facade design should be explored. Kinetic facade design process is proposed to study pedagogical issues of Performance Oriented Digital Design in this paper. Through Kinetic facade design process, students can understand conditions, variables, and performances of digital design.

KEYWORDS: Digital Design, Pedagogical Issues, Kinetic facade, Performance Oriented Design, BIM, Simulation

키워드: 디지털 설계, 교육, 키네틱 파사드, 성능지향적 디자인, 건물정보모델, 시뮬레이션

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물의 일차적인 기능은 거주자가 안전하고 쾌적하게 생활할 수 있는 공간을 제공하는 것이다. 건물 외피는 건물의 안과 밖을 구분하며, 실내 환경 질과 건물의 에너지 효율을 결정짓는 주된 요소이다. 또한 외부에 가장 많이 노출된 면으로써 건물의 이미지를 결정하며 도시경관을 형성한다.

건물 외피는 전통적으로 고정적인 시스템으로 디자인되어 왔으며, 시시각각 변화하는 건물의 내 외부 환경에 즉각적으로 대응하지 못하는 한계를 지닌다(Sharaidin *et al.*, 2012). 건물 외피의 성능은 설계자의 경험을 바탕으로 추측되거나 연 평균 환경 데이터를 기준으로 평가되었으며, 이로 인해 충족되지 못한 성능은 건물 내부의 설비로 보완되었다.

최근 전 세계적으로 에너지 고갈 및 기후변화에 대한 위기감이 고조되면서 건물은 에너지 사용량을 줄이기 위해 환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 외피를 필요로 하게 되었다. 이에 대한 해법으로 제시된 것이 실시간으로 감지된 환경조건 변화에

대응하여 기능이나 형태가 변화하는 키네틱 파사드이다. 키네틱 파사드는 스마트 재료(Smart material), 피지컬 컴퓨팅(Physical computing), 로보틱스(Robotics), 사물네트워크(IoT)와 같은 이종 분야 기술의 도입으로 구현될 수 있다(Lee & Yoo, 2012).

키네틱 파사드는 재실자의 요구에 반응하여 쾌적성을 증진하는 동시에 건물의 에너지 효율을 개선할 수 있으며 변화하는 입면 디자인을 통해 도시경관을 구성하는 새로운 미적 효과를 발휘할 수 있다. 키네틱 파사드는 건물 외피의 역할을 확장하였으며 내 외부 환경을 적극적으로 매개하는 역할을 수행할 수 있다(Jang *et al.*, 2013).

키네틱 파사드는 센서(Sensor), 프로세서(Processor), 액츄에이터(Actuator)로 구성된 시스템을 갖추며, 하나의 대안이 무수한 동작과 성능을 구현하기 때문에 기존의 고정된 파사드 디자인보다도 많은 디자인 변수를 다룬다. 기존의 고정된 파사드 디자인 방법론은 키네틱 파사드 디자인에 적합하지 않으며, 키네틱 파사드 설계자의 의사결정에 도움을 줄 수 있는 합리적인 방법론이 필요하다(Loonen, 2010).

일반적으로 파사드 디자인 프로세스에서 설계자는 대안 생성

¹⁾학생회원, 성균관대학교 건축학과 석사과정 (dojin721@skku.edu)

²⁾정회원, 성균관대학교 건축학과 교수 (sakim@skku.edu) (교신저자)

-분석-평가-선택-결정을 반복적으로 수행하여 최적의 안을 도출하는 성능 지향적 프로세스를 수행한다. 이 과정에서 디지털 모델을 활용한 직관적이고 효율적인 시뮬레이션이 가능하다. 특히, 설계안의 변경이 자주 발생하는 초기설계단계에서 그 효용성이 크다(Fermamdez, 2012).

하지만 현재의 기술적 한계를 비추어 볼 때, 디지털 모델을 활용한 키네틱 파사드의 성능지향적 프로세스는 다음과 같은 문제점을 지적할 수 있다.

첫째, 기존의 시뮬레이션 도구는 고정된 건물요소의 성능을 다루기 때문에 변화하는 조건에 반응하여 동작하는 키네틱 파사드의 성능을 분석하는 데에 적합하지 않다.

둘째, 기존의 시뮬레이션 도구는 패브리케이션, 구조, 환경 등 분야별로 특화되어 있어 분산된 성능 분석 과정을 거치게 되며 통합적인 성능분석을 바탕으로 한 신속한 대안검토를 저해한다.

셋째, 대부분의 설계자는 전문적인 시뮬레이션 도구를 다루는데 어려움을 느끼며, 디자인 의도에 직접적인 관계가 없는 정밀한 성능분석은 초기설계단계에 적합하지 않다.

이러한 문제점을 극복하기 위해서 키네틱 파사드 디자인 프로세스는 생성수법적 디자인이 가능한 통합 성능분석환경을 필요로 한다. 생성수법적 모델링은 어떤 유형(class)이 가질 수 있는 사례(instance)를 무한히 생성하며, 통합성능분석환경은 설계자가 여러 분야의 성능을 동시에 확인할 수 있게 한다. 특히, 건물 정보 모델(Building Information Modeling, 이하 BIM)을 중심으로 한 디자인 프로세스는 초기설계단계에서부터 건물의 성능과 시공성에 대한 충분한 사전 시뮬레이션을 수행함으로써 비용절감과 성능향상을 꾀할 수 있다(Kim, 2012).

키네틱 파사드 디자인 프로세스는 성능지향적 디지털 설계 프로세스의 대표적인 사례로 차세대 설계 환경에서 역량을 발휘할 건축학도를 위한 교육방법론의 모델을 제공한다. 현재 대학을 중심으로 이루어지는 디지털 설계 및 BIM 교육은 실무적인 관점의 인력 양성을 목적으로 특정 프로그램의 기능을 습득하는데에 치중되어 있어 되고 있어 디지털 모델이 가진 잠재성을 활용할 수 있는 교육방법론 개발이 지적되고 있다(Kim, 2012).

따라서 본 연구는 키네틱 파사드 설계과정을 중심으로 한 성능지향적 디지털 설계의 교육방법론을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 학생들이 수행하는 키네틱 파사드 설계 과정에 활용할 수 있는 성능지향적 디지털 설계의 교육방법론을 제시하고 효과적인 대안 도출이 가능함을 검증하는 과정을 거친다.

본 연구는 건축학과 학생을 대상으로 키네틱 파사드 디자인 프로세스 중 동작 대안을 최적화하는 과정에 초점을 맞춘다.

이에 따른 본 논문의 구성은 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 이론적 배경을 살핀다. 성능지향적 디자인 프로세스, 생성수법적 디자인과 BIM, 디지털 설계교육에 대한 이론적 고찰을 통해 키네틱 파사드 디자인 프로세스가 성능지향적인 디지털 설계의 관점에서 다루어져야 하는 타당성을 제시한다.

둘째, 통합성능분석환경을 활용한 키네틱 파사드 디자인 프로세스 전반을 구성한다.

셋째, 학교 수업에 적용한 구체적인 수행내용을 통해 성능지향적 디지털 설계 교육방법론이 키네틱 파사드 디자인 프로세스에서 어떻게 활용되는지 관찰하고 분석한다.

2. 이론적 배경

2.1 성능지향적 디자인 프로세스

건물 성능이란 인간의 요구를 만족시키기 위해 외부의 압력에 대항하는 건물의 활동이다(CIB report, 1982). 외부의 환경적 조건과 건물의 반응사이에 건물의 사용목적에 맞는 동적인 균형이 이루어질 때 그 건물의 성능이 달성된다. 성능 평가란 어떤 기준에 비추어 목표 성능과 달성된 성능 수준 사이의 차이를 측정하여 수행될 수 있다. 건물 성능은 건물의 완공 후 거주 단계에서 가장 정확한 분석이 행해질 수 있으나 설계자는 시뮬레이션 환경에서 대안의 생성과 평가를 반복적으로 수행하여 목표 성능을 만족시키는 최적안을 도출할 수 있다(Ahn, 2003).

설계자는 적어도 2개 이상의 건물 성능을 동시에 고려하여야 하며, 성능간의 관계를 이해하고 조율할 필요성이 있다. 어떤 대안이 모든 성능을 모두 만족시키기는 어렵다. 대안에 따라 하나의 성능은 만족시키지만 나머지 성능을 감소시킬 수 있다. 따라서 제한 조건하에서 성능기준과 디자인 목표사이의 맵핑(mapping)이 이루어져야 한다(Schmitt, 1992).

성능지향적 디자인 프로세스는 시뮬레이션 모델, 생성 모델, 최적화 모델을 총체적으로 필요로 한다. 시뮬레이션 모델은 디자인 변수들의 집합 중 선택된 디자인 요소의 성능 결과를 예측하기 위해 사용되며, 디자인을 기술하는데 수학적 모델을 사용하게 된다. 생성 모델은 디자인 변수들을 선택하는 의사결정을 지원한다. 이 때, 생성 모델의 디자인 변수가 가진 범주에 따라 대안 탐색공간은 비효율적으로 커질 수 있다. 어떤 대안의 시뮬레이션 결과는 다음 대안 탐색공간의 범위를 선정하는데 반영될 수 있으며 이 때, 최적화 모델을 필요로 한다. 최적화 모델은 정의된 디자인 문제에 대한 최적 의사결정의 집합을 규명하기 위해 사용된다.

2.2 생성수법적 디자인과 BIM

생성수법적 디자인은 컴퓨터 프로그램을 활용, 알고리즘의 규칙에 따라 대안을 생성한다. 생성수법적 디자인은 매개변수적 모델링에 기반하며, 특정한 디자인 유형을 구성하는 변수를 조절하여 대안을 생성한다. 한정된 시간 내에 무수한 대안을 생성할 수 있으며, 변수가 복합적으로 구성될 경우, 예상치 못한 결과를 얻을 수도 있다. 최근 다양한 지오메트리 생성기법이 개발되고 비정형적인 건축 디자인이 시도되었지만 실제 시공단계에서 비용 및 품질관리 측면에서 검증되지 않는 사례가 많다(Kim, 2012). 생성수법적 디자인만으로는 합리적인 설계의사결정을 수행하는 건축 디자인 도구로서의 한계가 존재하는 것이다.

BIM은 건축물의 물리적 구성요소와 그것들의 상호관계, 즉 물리적 구성체계를 전산적으로 정의한 것이다. BIM은 어떤 디자인 유형의 범위 내에서만 건축물을 표현할 수 있지만 그 유형이 가지는 사례를 무한히 생성하는 발견적인 프로세스에서 그 건축물의 성능을 평가하고 변화의 흐름을 추적할 수 있는 기술이다.

따라서 BIM은 생성수법적 디자인과 결합되었을 때, 상호 보완을 통해 강력한 디지털 건축의 설계도구로 활용될 수 있다. 건축의 전체 형상에서 부재의 규격 및 재질에 이르기까지 변수를 설정하고 통제할 수 있다.

특히, 키네틱 파사드는 하나의 대안이 다양한 동작을 구사하며 실제 시공 후 활용단계에서도 변수의 통제가 가능하므로 물리적인 파사드와 BIM의 상호 대화가 필요하다.

2.3 디지털 설계 교육

BIM이 산업 현장에 도입되면서 BIM 교육의 수요가 급증하고 있다. 그런데 건축 설계와 BIM을 별도의 개념으로 이해하고 최종적인 프레젠테이션 용도로 사용하는 경우가 일반적이다. 이러한 작업양상은 건축 설계 사무소에서도 마찬가지로 나타난다.

BIM을 포함하는 디지털 디자인은 그 자체가 가지는 원리와 특성을 활용할 수 있는 방향으로 교육되어야 한다. 디지털 디자인이 전통적 디자인 도구가 담당해온 재현의 기능에 한정될 필요는 없다. 디지털 모델링이 가지는 학문적, 교육적 잠재성을 파악하고 특정 소프트웨어에서 독립된 디지털 설계 교육 방법론이 개발되어야 한다(Kim, 1997).

디지털 모델링은 3가지 개념적 차원으로 분류된다. 1차적 모델링은 전통적 모델의 제작과 표현방법이 컴퓨터 그래픽의 도구와 표현방법에 의해 이루어지는 것으로 재현을 목적으로 한다. 1차적 모델링의 표현방법을 채용하지만 그 생성방법에 있어서 자동화 혹은 지식기반화의 기법이 도입된 것이 2차적 모델링이다. 2차적 모델링은 1차적 모델링의 재현적인 역할을 벗어나 새로운 디자인을 창출하는 도구로서 그 역할을 하기 때문이다. 1차적, 2차적 모델링에 공유의 개념이 접목될 때 3차적 모델링이

이루어진다. 컴퓨터 모델은 공식적 혹은 통시적으로 공유 가능한데 이러한 공유 가능성을 모델 자체의 특성에 부여하거나, 그러한 모델을 공유할 수 있는 조작방법이 체계적으로 구성될 때 3차적 모델링이 가능하다(Kim, 1997).

현재의 생성수법적 디자인은 2차적 모델링에 해당하며, BIM은 클라우드 기술과 같은 정보통신의 발달로 3차적 모델링으로 점차 그 가능성을 확장하고 있다. 또한 대표적인 생성수법적 디자인 도구인 Rhino Grasshopper와 대표적인 BIM 저작도구인 Revit이 상호 연동되는 방안이 개발되고 있어 디지털 설계 교육이 이루어질 조건이 갖추어진 시기이다.

3. 디자인 프로세스 제안

이론적 배경에서 제시한 성능지향적 디자인 프로세스와 생성수법적 디자인을 결합하여 키네틱 파사드 디자인 프로세스를 제안한다.

디자인 프로세스는 주어진 설계목표에 대해 최적해에 도달할 때까지 분석, 종합, 평가의 세부과정으로 구성되는 의사결정의 반복이다(Markus *et al.*, 1972). 성능 지향적 키네틱 파사드 디자인 프로세스 또한 이러한 과정을 거치며 최종적인 대안을 도출한다. 설계자는 목표성능을 달성하기 위해 성능에 미치는 영향이 큰 요소부터 우선적으로 다루게 되며 디자인 프로세스가 반복될수록 디자인 변수는 증가하고 그 관계는 더욱 복잡해진다. 예를 들어 파사드의 성능은 기본적으로 건물의 형태 및 주변 건물, 방위에 크게 좌우되며, 키네틱 파사드는 형태, 크기, 재료, 동작원리에 따라 더 구체적인 성능을 발휘한다. 키네틱 파사드는 건물 전체의 디자인과 밀접한 상관관계를 가지지만 본 연구에서는 키네틱 파사드의 초기설계단계를 세분화하여 연구 범위를 한정하였다.

본 연구는 키네틱 파사드가 설치될 대상 건물의 매스 디자인과 키네틱 파사드의 기본적인 구상이 끝난 이후를 다룬다. 설계자는 키네틱 파사드의 디자인 의도에 따라 중점적으로 다룰 성능을 채택하고, 조건에 따른 목표 성능을 달성할 수 있는지 확인하고 결정하는 과정을 거친다.

기존의 환경 시뮬레이션 도구는 복잡한 변수와 공식으로 정밀한 분석이 가능하지만 시간과 노력이 많이 들어가기 때문에 신속한 대안 검토가 힘들다. 본 연구에서는 설계자가 성능을 측정하는 공식을 디자인 의도에 맞게 임의로 구성하는 것을 허용한다. 복수의 성능을 동시에 다루면서 성능간의 관계를 분석하고 동작에 대한 논리를 구성하는 데에 더 중점을 두었다.

설계자는 키네틱 파사드 디자인에 대한 기본적인 아이디어를 제안한다. 이 때, 스케치, 물리적 모델, 디지털 모델 등 다양한 디자인 도구가 활용될 수 있다.

설계자는 아이디어를 바탕으로 디자인 유형을 모델링하게 되는데 본 연구에서 디자인 유형은 디지털 모델이며, 변수가 구체적으로 설정될 때, 대안을 생성하는 개념적인 모델이다. 변수의 성격, 변수 간의 종속 관계를 파악하여 변수가 효율적으로 통제되도록 설정해야 중복적인 변수설정에 따른 시간낭비를 줄일 수 있다. 변수는 키네틱 파사드 시공 후 실제 활용 단계에서의 조절 가능 여부를 기준으로 비동작 변수와 동작 변수로 구분된다. 비동작 변수는 패널의 수량, 크기, 재질 등을 담당하며, 동작 변수는 이동, 회전, 속도 등 동작을 담당한다. 동작 변수는 키네틱 파사드를 고정된 파사드와 구분짓는 가장 특징적인 부분이다.

설계자는 디자인 아이디어에 내포되어 있는 의도와 기본적인 건물 성능평가요소를 바탕으로 성능 평가 요소를 추출한다. 건물의 외부환경과 관련한 성능을 외부적 성능, 건물의 내부환경 및 재실자와 관련한 성능을 내부적 성능이라 한다. 외부적 성능에는 에너지 생산성, 외관미, 반사광 등이 있으며, 내부적 성능에는 외부 가시성, 조도, 온도, 습도, 환기 등이 있다.

성능은 데이터의 형태에 따라 정량적, 정성적으로 평가될 수 있으나 본 연구에서는 비교 분석이 용이한 정량적 평가를 위주로 성능 평가를 진행하며 이미지와 같은 정성적 자료를 매개로 미적인 부분의 평가에 참고하였다. Figure 1은 키네틱 파사드의 조건과 변수, 성능의 구성을 나타낸 것이다.

대안 생성 단계에서 설계자는 디자인 유형이 내 외부 환경 조건에 반응하여 최적화된 성능을 발휘하도록 변수를 조절한다. 이 과정에서 환경 조건에 따른 목표 성능을 설정하게 된다. 적어도 2가지 이상의 성능을 다루기 때문에 기대하는 조건 및 성능이 서로 충돌하는 경우를 대비한 우선순위, 절충안, 가중치 적용과 같은 구체적인 시나리오가 필요하다. 목표 성능을 설정한다는 것은 어떤 특정한 조건에서 키네틱 파사드가 동작하는 논리를 만드는 것으로 성능간의 관계를 설정하는 것이 곧 대안을 생성하는 것이라 할 수 있다. 시시각각 변화하는 여러 조건의 조합에

따른 대안의 동작 변수를 개별적으로 설정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 조건을 받아들이는 민감도에 따라 예측할 수 없는 무한한 대안이 나오기 때문에 설계자는 이를 통제하기 힘들다. 키네틱 파사드의 프로세서가 센서를 통해 데이터를 받아들이고 빠른 시간 안에 합리적인 대응을 할 수 있도록 판단의 근거를 만들어주는 과정이 필요하다.

설계자는 대안 생성 및 분석 단계를 반복적으로 수행하여 구체적인 대안을 도출한다. 이 과정에서 성능에 영향이 큰 주요 변수를 우선적으로 조절하여 목표 성능에 근접할 수 있다. 동작 변수는 키네틱 파사드의 성능을 결정짓는 핵심적인 변수로, 비동작 변수가 결정되지 않은 상태에서 최적화를 할 경우, 조건마다 크기나 속성이 달라지는 비현실적인 안을 도출하기 때문에 본 연구에서는 비동작 변수를 결정한 이후의 동작 변수 조절을 통한 최적안 도출에 중점을 둔다. 표2는 본 연구에서 따르는 성능지향적 키네틱 파사드 디자인 프로세스를 도식화한 것이다.

키네틱 파사드는 실제 활용과정에서 조건에 따라 즉각적으로 반응해야 하는데 복합적인 성능의 최적화 과정을 실시간으로 거치게 되면 기동성이 떨어지게 된다. 사전에 키네틱 파사드의 동작에 따르는 개별 성능 데이터가 수집이 되어 있어야 한다. 개별성능데이터는 그래프의 방식으로 표현될 수 있는데 동작 변수와 성능 간의 관계, 성능과 성능간의 관계를 이해하는데 도움이 된다.

통합성능분석환경은 여러 성능이 동시에 분석 가능한 환경을 말한다. 환경 조건이 센서를 통해 입력되면 서버에 저장된 목표 성능과 개별성능데이터를 불러오게 된다. 개별성능데이터를 시뮬레이션 이전에 추출하는 이유는 키네틱 파사드의 실제 활용단계에서 최적화 과정을 수행하게 될 때, 환경에 따르는 즉각적인 대응을 하기 어렵기 때문이다. 통합성능분석환경에서 분석된 대안은 BIM 환경에서 더 구체적으로 분석될 수 있다. 본 연구에서는 통합성능분석환경의 지오메트리 정보를 BIM 저작도구와 연

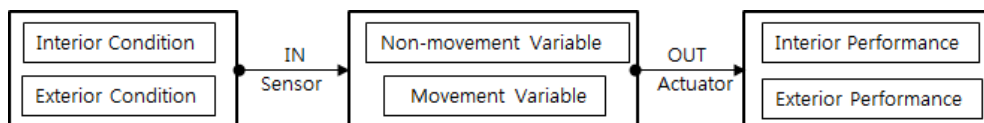


Figure 1 Performance method of Kinetic Facade

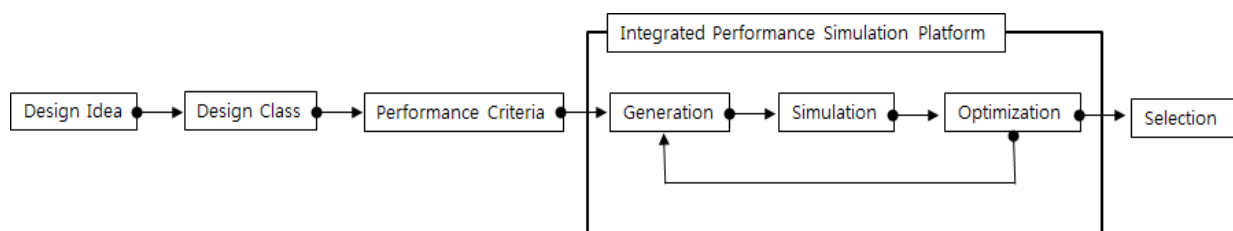


Figure 2 Performance Oriented Design Process for Kinetic Facade

동하는 단계까지 디자인 프로세스에 포함하였다.

4. 수행내용

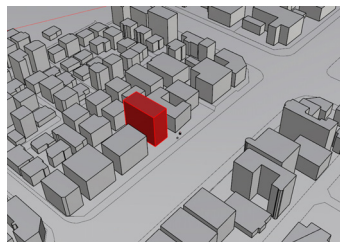
3장에서 제안된 성능지향적 디자인 프로세스는 성균관대학교 건축학과 학부생을 대상으로 한 디지털디자인 수업의 키네틱 파사드 프로젝트에 적용되었다. 본 수업은 2014년 2학기에 총 16주 동안 진행되었으며, 건축학과 5학년이 수강하였다. 학생들은 인체, 자연물, 종이접기 등에서 작동원리를 발견하고 키네틱 파사드 디자인을 발전시키는 과정을 거쳤다. 디자인 도구로는 스케치, 물리적 모델, 디지털 모델이 활용되었으며, 최종적으로 센서, 프로세서, 액츄에이터로 구성된 키네틱 파사드 안을 제안할 수 있었다. 본 장에서 다루는 디자인 안은 디지털 디자인 수업에서 도출된 7개의 안 중의 하나이다. 성능지향적 디자인과 생성수법적 디자인이 생소한 학생들의 디자인 진행을 돕기 위해 저자가 개입하였다.

4.1 디자인 개요

키네틱 파사드는 건물과 건물 내 외부환경조건의 구체적인 정보를 바탕으로 디자인된다. 키네틱 파사드가 설치될 대상 건물은 서울에 위치하는 6층 규모의 오피스 건물로 가정하였다. 오피스 건물은 주로 대로변에 위치하기 때문에 파사드의 미적인 중요성이 두드러지며, 태양광, 소음, 전망 등 다양한 분야의 성능을 적용하기에 타당한 조건을 가진다. 또한 인접 건물과의 거리가 가깝기 때문에 다양한 외부 환경 조건의 변화가 발생할 수 있기 때문에 다양한 시나리오를 구성할 수 있다. Table 1은 키네틱 파사드 디자인에 필요한 건물 정보를 나타낸다.

Table 1 Building Information

Contents	Information
Location	Seoul
Latitude	north latitude 37°
Longitude	east longitude 126°
Facade Orientation	South
Facade length	10m
Floors	6F
Floor Height	4m



4.2 디자인 유형과 변수

본 연구에 활용된 키네틱 파사드는 종이접기를 응용하여 디자인되었으며, 각 유닛은 4개의 패널로 구성된다. 수평적으로 연결된 여러 개의 유닛은 하나의 유닛 라인을 형성하며 파사드에 이중외피로 설치된다. 하나의 유닛 라인은 한 쪽 끝에 설치된 하나의 서보모터의 동력으로 접힘과 펼침이 가능하다. 본 디자인 유형은 물리적 모델로도 제작되어 작동방식에 대한 검증이 되었다.

키네틱 파사드는 접힘과 펼침을 통해 4개의 패널이 서로 다른 각도를 가지는 동시에 위아래 패널 사이의 개폐정도가 달라진다. 패널이 PV패널로 구성될 경우, 일사각에 따라 최적화된 각도를 유지하여 태양열 생산을 하는 동시에 개폐와 관련한 부가적인 기능을 수행할 수 있다.

본 연구는 생성수법적 설계 및 최적화에 용이한 Rhino Grasshopper를 활용하여 디자인 유형 생성에서 대안 결정에 이르는 전 과정을 수행하였다. Rhino Grasshopper는 BIM 저작 도구는 아니지만 생성된 대안의 지오메트리 정보가 대표적인 BIM 저작도구인 Autodesk Revit에 연동되어 BIM환경에서의 구체적인 분석이 가능하다.

디자인 유형에서 비동작 변수는 유닛의 크기 및 개수이며, 동작 변수는 유닛의 각도이다. 유닛의 각도는 0°일 때 완전히 닫히고, 90°일 때 완전히 열린다. 유닛의 개수는 4m 층고를 기준으로 동일한 크기의 유닛 라인이 설치되는 수를 말한다. 유닛의 크기는 4m 층고를 유닛의 개수로 나눈 값이다. 유닛의 개수는 유닛의 크기와 반비례하며 하나의 변수로 취급가능하다.

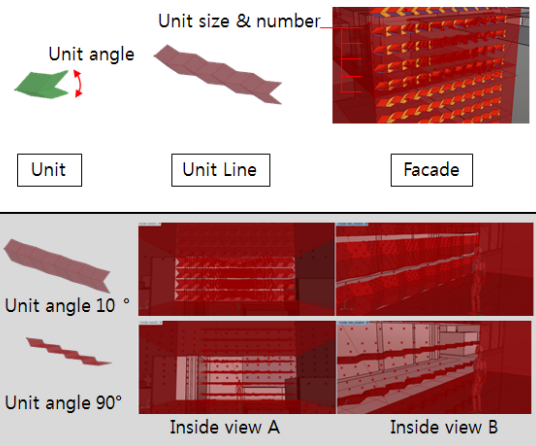


Figure 3 Design Class of Kinetic Facade

Table 2 variables of Design Class

	Variable	Value or Domain
non-kinetic variable	Unit Number	n
	Unit Size (cm)	400/n
kinetic variable	Unit angle (°)	0~90

4.3 성능평가요소 채택 및 통합성능분석환경 구성

본 키네틱 파사드의 디자인 의도와 관련지어 성능 평가요소를 채택하고 Rhino Grasshopper로 통합성능 분석환경을 구성하였다. 본 키네틱 파사드의 가장 큰 특징은 에너지 생산을 하는 동시에 가시성을 확보해 줄 수 있다는 점이다. 따라서 건물의 외부적 성능으로 PV패널에 의한 에너지 생산성(이하 에너지 생산성)을, 건물의 내부적 성능으로 재실자의 외부 가시성(이하 가시성)을 채택하였다.

에너지 생산성은 PV패널의 각도와 일사각의 일치 정도를 수치화하여 측정하였으며, 에너지 생산량의 상대적인 정도를 색으로 표시하였다. 일사각 데이터는 Rhino Grasshopper의 add-on인 Heliotrope를 통해 제공받았다. Heliotrope는 위도, 경도와 같은 지역정보와 시간정보를 입력값으로 태양의 위치를 시뮬레이션 할 수 있다. 가시성은 파사드 중심에서 1m 떨어진 재실자 한명이 조망할 수 있는 시야 범위를 측정하였다. 전체 시야 범위를 점으로 표시하고 그 중 건물 외부에 있는 점의 개수의 비율을 측정하였다. 에너지 생산성과 가시성은 모두 이미지로도 저장 가능하며 수치로 이루어진 정량적인 데이터를 보완하는 정성적 데이터로 대안 결정 과정에서 활용할 수 있다.

본 연구는 키네틱 파사드와 관련된 복수의 성능을 통합적으로 분석하여 최적의 움직임이 설계될 수 있도록 하는 것이 목적이므로 개개의 성능을 측정하는 해석 알고리즘은 임의로 간소화하였다. 에너지 생산성의 경우, PV패널의 재질 속성과 반사광을 고려하지 않았으며, 가시성의 경우, 재실자의 수가 많아지고 움직임까지 고려하게 되면 군중 시뮬레이션(Crowd Simulation)을 필요로 하게 되어 재실자를 고정된 한명으로 설정하였다. 특히, 본 연구는 설계안의 변경이 자주 발생하는 초기설계단계를 대상으로 하기 때문에 엄밀한 환경분석을 요하지 않으며, 해석 알고리즘이 복잡해질수록 시뮬레이션 속도가 느려져 신속한 대안 생성 및 분석이 불가능해짐을 고려하였다. Table 3은 성능별 시뮬레이션 알고리즘과 이미지를 나타낸 것이다.

4.4 대안 생성

본 연구에서 대안 생성은 비동작 변수가 결정된 이후, 동작 변수와 관련된 대안 생성에 초점을 맞춘다. 따라서 층당 세로로 쌓이는 유닛의 크기가 80cm, 유닛의 개수를 5개로 설정하였다. 대안 생성 단계는 개별 성능 데이터를 구하고 목표성능을 설정하는 과정을 포함한다.

4.4.1 개별 성능 데이터

연월일시로 구성된 특정 시각은 특정 일사각과 1대1 대응되며, 시뮬레이션을 통해 에너지 생산성 그래프와 최대에너지를 생산하는 유닛의 각도는 데이터로 저장될 수 있다.

Table 3 Performance Criteria and Simulation

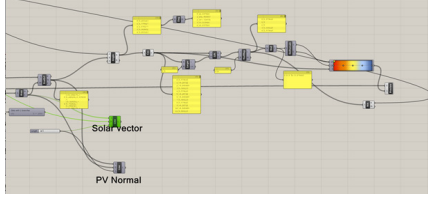
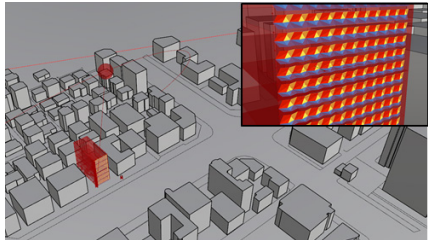
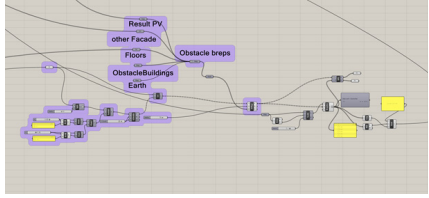
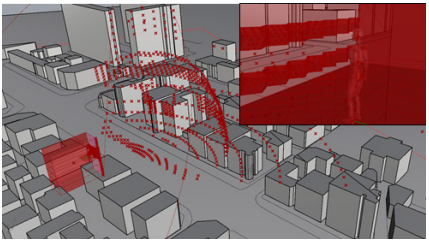
Performance Criteria	Performance Simulation Image (upper: Grasshopper Algorithm/ lower: Rhino viewport)
Solar Energy Productivity	 
Visibility	 

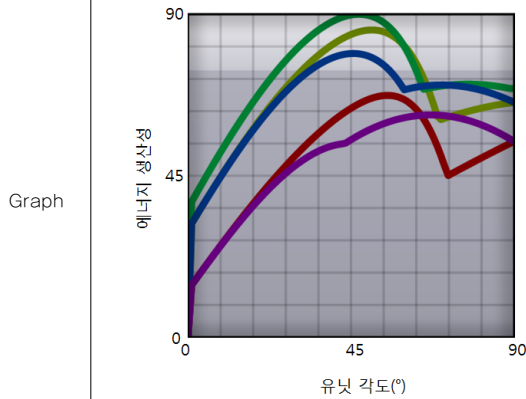
Table 4는 하지(2015년 6월 22일)의 일출 시간과 일몰시간 사이 5개의 시간대(1시간 30분 간격)를 기준으로 각도별 에너지 생산성 그래프와 최대 에너지를 생산하는 각도를 구한 표이다. 키네틱 파사드는 각 시각별로 유닛 각도에 따른 고유의 에너지 생산성 그래프를 가진다. 하지만 각 그래프는 종이접기 특유의 형태에 의해 40°와 50° 사이에서 에너지를 최고로 생산하고 급감하다 60°와 70° 사이에서 다시 증산하는 공통적인 변화 양상을 보였다.

유닛의 각도는 가시성과 1대1 대응되며 가시성 그래프는 시뮬레이션을 통해 가시성 그래프는 데이터화 될 수 있다. 가시성은 일사각과 파사드의 각도에 따라 눈부심(glare)을 발생시킬 수 있으나 본 연구에서는 눈부심을 목표 성능에서 배제한다. 즉, 특정 유닛 각도는 일사각 혹은 시각과 관계없이 특정한 가시성을 가진다.

유닛의 각도는 90°일 때, 최대 가시성 70%를 가지며 대체로 비례하는 경향을 가진다. 각도에 따른 가시성은 1° 단위로 측정

Table 4 Unit angle & Solar Energy Productivity (22/6/2015)

Time	Unit angle (°)	Maximum Solar Energy Productivity	Curve color
10 : 37	56	66,11	Red
12 : 05	51	84,01	Green
13 : 33	48	88,30	Green
15 : 02	46	77,57	Blue
16 : 30	67	60,78	Purple



하여 그래프화되었으며, Table 5에는 10° 단위로 표시하였다.

4.4.2 목표 성능 설정

목표 성능은 특정 시각의 일사각과 프로그램으로 구성된 환경조건에 따라 달라진다. 키네틱 파사드가 항상 에너지 생산성과 가시성을 모두 최대로 만족하는 대안을 제공할 수는 없다. 따라서 설계자는 조건에 따라 두 성능을 절충하는 안이나 어느 한 성능이 우선순위를 가지는 안을 제안하고 그에 적합한 대안을 생성하게 된다.

실험의 대상은 4층에 국한하며, 프로그램은 회의, 휴식시간, 개인업무1, 개인업무2, 휴무 중 하나가 선택된다. 각 프로그램이 필요로 하는 에너지 생산성과 가시성은 각각 다르게 설정되었다. 프로그램이 바뀌는 구체적인 스케줄은 정해져 있지 않으며, 재실자는 버튼을 눌러 현재의 프로그램을 입력할 수 있다고 가정한다.

회의 시에는 보안상 완전히 닫아 외부에서 보이지 않도록 한다. 휴식 시에는 완전히 열어 재실자가 외부 전망이 가능하도록 한다. 즉, 회의 시와 휴식 시에는 가시성을 우선적으로 고려한다. 휴무 시에는 재실자가 없으므로 가시성을 고려할 필요 없이 에너지 생산성을 우선적으로 고려한다. 개인업무1에는 30% 이상의 가시성이 확보된 상태에서 에너지를 최대로 생산하고, 개인업무2에는 65% 이상의 가시성이 확보된 상태에서 에너지를 최대로 생산한다.

Table 5 Unit angle & Visibility (22/6/2015)

Angle 10°	Angle 20°	Angle 30°
Visibility 1,13%	Visibility 3,17%	Visibility 8,84%
Angle 40°	Angle 50°	Angle 60°
Visibility 22,22%	Visibility 33,33%	Visibility 42,17%
Angle 70°	Angle 80°	Angle 90°
Visibility 53,96%	Visibility 65,75%	Visibility 70,67%

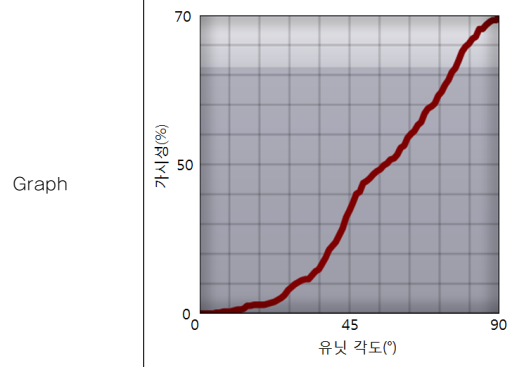


Table 6 Program&Target Performance

Program	Solar Energy Productivity	Visibility
Meeting	Ignore	Close
Resting	Ignore	Open
Working1	Maximum Productivity	Over 30%
Working2	Maximum Productivity	Over 65%
Holiday	Maximum Productivity	Ignore

4.5 통합 성능 분석과 대안 선택

개별 성능 데이터와 목표 성능 설정을 통한 대안생성이 이루어지면 구체적인 시나리오에 따른 통합 성능 분석이 가능하다. 통합 성능 분석은 어떤 조건에서 개별적으로 구해진 두 데이터를 조합하여 최적의 성능을 가지는 각도를 찾고 그 성능을 확인하는 과정이다.

개별 성능 데이터 추출 단계에서 에너지 생산성을 측정할 시각에 특정 프로그램을 대입한 시나리오를 구성하였다. 개별 성

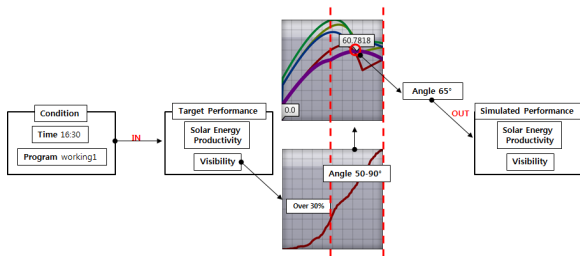


Figure 4 Process of optimization by using performance graphs

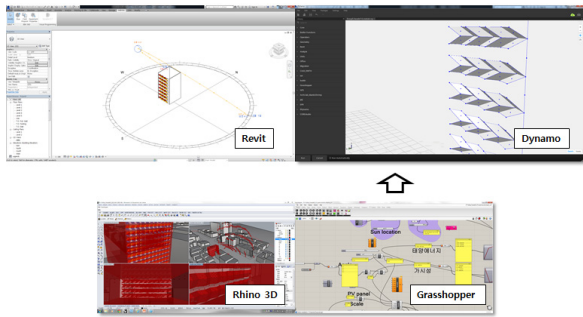


Figure 5 Transferring Geometry data from non-BIM to BIM

능 데이터가 짧은 시간 간격을 두고 많이 저장되어 있을수록 키네틱 파사드는 환경 조건에 민감하게 반응할 수 있다.

실제 키네틱 파사드의 활용 시, 시각과 프로그램이 입력되면 프로세서는 목표 성능과 개별 성능 그래프를 서버에서 연쇄적으로 불러온다. 에너지 생산성과 가시성의 두 개별 성능 그래프는 최적의 각도를 찾는데 활용된다. 두 성능 중 우선시 되는 성능을 먼저 만족시키고 가능한 범주에서 다른 성능 기준에서 최적 각도를 찾는다. 최적 각도가 적용된 디지털 모델은 통합성능분석 환경을 통해 시뮬레이션되어 최종적으로 성능이 도출된다.

16시 30분은 13시 33분과 동일한 목표성능을 가지지만 가시성을 더 확보하면서 가능한 범위의 각도에서 최대의 에너지 생

산성을 가질 수 있었다. Figure 4는 16시 30분의 개별성능 데이터 그래프를 활용하여 최적 각도를 구하는 과정을 도식화한 것이다. Table 7은 시나리오에 따른 통합 성능분석 결과를 나타낸 표이다.

4.6 BIM과의 연동

Rhino Grasshopper에서 도출된 지오메트리 정보는 BIM 저작도구인 Revit으로 연동될 수 있다. Revit의 패밀리 활용하면 단순한 지오메트리에 키네틱 파사드의 구조 및 재료 속성을 디테일하게 모델링 할 수 있으며, 이러한 BIM은 설계단계는 물론 유지관리단계에서도 활용할 수 있다. 현재 Revit은 생성수법적 디자인 add-in인 Dynamo를 제공하여 BIM과 생성수법적 디자인 도구간의 상호연동에 용이한 환경을 제공한다. 하지만 지오메트리 생성 및 환경 시뮬레이션과 관련된 오픈 소스(Open Source)가 많이 구축된 Rhino Grasshopper가 설계자에게 더욱 유용한 환경을 제공하기에 본 연구에서는 non-BIM과 BIM의 연동과정을 거치게 되었다.

5. 결론

본 연구는 성능지향적 디지털 설계의 교육방법론 연구의 일환으로 키네틱 파사드 디자인 프로세스를 제안하였다. 학생들은 키네틱 파사드의 최적화된 동작 대안을 생성하는 과정을 통해 성능지향적 디자인 프로세스를 구성하고 수행해 나갈 수 있었다. 디자인 유형을 도출한 의도를 분석하여 성능평가요소를 채택하고 성능을 평가하는 간소한 알고리즘을 구성할 수 있었다. 또한 다양한 성능간의 관계를 이해하고 조건에 따른 목표 성능을 구체화할 수 있었다. 개별성능 데이터를 추출하고 목표 성능을 설정하는 과정을 통해 다양한 환경 조건에 유연하게 대응할 수 있는 키네틱 파사드의 동작 논리를 구성할 수 있었다. 동작변

Table 7 Integrated Performance Simulation

Condition		Target Performance		Unit angle (°)	Performance	
Time	Program	Solar Energy Productivity	Visibility		Solar Energy Productivity	Visibility(%)
10 : 37	Meeting	Ignore	Close	0	14,26	0
12 : 05	Rest	Ignore	Open	90	64,22	70,67
13 : 33	working1	Maximum Productivity	Over 30%	50	88,16	33,33
15 : 02	working2	Maximum Productivity	Over 65%	80	67,53	65,75
16 : 30	working1	Maximum Productivity	Over 30%	65	60,78	43,53

수에 따른 개별 성능 그래프는 학습자의 의사결정을 용이하게 했다.

본 연구에 따르는 추후 연구는 다음과 같다.

첫째, 디자인 유형을 구성하는 변수의 영향 정도를 평가하는 방법론이 필요하다. 초기설계단계의 의사결정은 최종적인 디자인의 성능에 매우 큰 영향력을 행사하기 때문에 어떤 변수를 우선적으로 결정하느냐에 따라 디자인의 잠재성이 발휘되는 정도가 달라 질 수 있다.

둘째, 디지털 모델의 성능분석을 분담할 수 있는 물리적 모델의 활용이 필요하다. 디지털 모델의 한계는 알고리즘이 복잡해지고 많아질수록 그 수행 속도가 느려진다는 점이다. 직관적이고 즉각적인 물리적 모델과 연동된 디지털 모델의 활용은 가상의 모델에서 다루기 힘든 현실적인 대안을 찾는 효율적인 도구가 될 것이다. 디지털 모델에서 분석된 건물 성능이 피지컬 컴퓨팅을 활용하여 물리적 모델 상에 조명 등으로 가시화된다면 설계자가 성능지향적 디자인 프로세스를 직관적으로 이해하는데 큰 도움이 될 것이다.

셋째, 성능지향적 디자인의 가장 예측하기 어려운 변수인 재실자를 고려할 수 있는 모델이 필요하다. 따라서 통합성능분석 환경이 균중 시뮬레이션과 연동될 필요가 있다.

넷째, 본 교육방법론의 정량적인 평가 기준이 필요하다. 기존의 고정된 파사드 디자인의 방법론과의 대조를 통해 본 연구의 실효성이 정밀하게 분석될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(13AUDP-C067809-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Ahn, B.W., (2003), "A Study on the Application of Optimization to Architectural Design Process for Development of Integrated Performance Evaluation CAAD System", Youngsan

University Collection of theses, Vol. 12 (pp. 429-442.)
CIB Report No.32, (1982), "The Performance Concept and The Terminology".

Fernandez, I., (2012), "Designing with Responsive Building Envelopes: Beyond passive and active: integrating adaptive elements in building envelopes", VI International Congress on Architectural Envelopes June 20, 21, 22, Donostia-San Sebastian, Spain.

Jang, S. Y., Lee, S., & Kim, S. A. (2013), "Collaborative Responsive Façade Design Using Sensor and Actuator Network", Cooperative Design, Visualization, and Engineering, (pp. 11-18). Springer Berlin Heidelberg.

Kim, S.A. (1997), "On the Role of Modeling in the Education of Computer-Aided Architectural Design", Journal of AIK 13(7), pp. 37-43. (in Korea)

Kim, S.A. (2012), "Digital Architecture and BIM", Review of Architecture and Building Science 56(11), pp. 16-23.

Lee, K.S., Yoo, D.E. (2012), "A Study on the Sustainability of the Environmentally Responsive Kinetic Facades", Journal of AIK 28(6), pp. 85-96. (in Korea)

Loonen, R.C.G.M. (2010), "Climate adaptive buildings shells- What can we simulate", Master Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.

Markus, T.A., Building Performance Research Unit Building Performance Research Unit, (1972), "Building Performance, John Wiley & Sons.

Schmitt, G., (1992), "Design for Performance, in Evaluating and Predicting Design Performance", ed Kalay, Y.E., John Wiley & Sons.

Sharaidin, K., Burry, J., & Salim, F. (2012). "Integration of digital simulation tools with parametric designs to evaluate kinetic facades for daylight performance", In Digital Physicality-Proceedings of the 30th eCAADe Conference (Vol. 2, pp. 701-709).