

프로토타이핑 기법에 의한 키네틱 외피의 설계: 디지털-아날로그 모델의 상호작용과 BIM의 역할을 중심으로

A Prototyping Method for Kinect Facade Design: Focusing on the Role of BIM and the Interaction between Digital and Analog Models

김도영¹⁾, 김성이²⁾
Kim, Do-Young¹⁾ · Kim, Sung-Ah²⁾

Received March 13, 2015 / Accepted March 14, 2015

ABSTRACT: The kinetic façade system is an interactive building envelope which is adaptive to environmental condition by transforming the behaviour of its components. The design process of kinetic façade system calls for a novel approach. It needs to support designers to adopt technologies from multidisciplinary fields such as physical computing and robotics. In this paper, prototyping method is introduced as a useful technique for implementing kinetic façade systems. In order to incorporate prototyping method into architectural design process, two aspects are investigated in digital design studio: (1) The interactions between digital and analogue environments (2) The role of traditional design tools. Furthermore, the role of BIM is investigated by analyzing two aspects.

KEYWORDS: Kinetic Facade, Design Process, Digital Model, Design Tools, Building Information Modeling

키워드: 키네틱 외피, 설계 프로세스, 디지털모델, 설계 매체, 건물정보모델

1. 연구의 배경 및 목적

에너지 고갈 및 기후변화에 대응하기 위해서는 건물이 환경에 미치는 영향을 최소화하고 외부환경 조건에 적응할 수 있는 건축물의 설계방법이 필요하다(Wilde, 2012). 특히 건물의 외피는 구조체, 설비, 공간의 배치와 같이 건물의 전반적인 성능을 결정하며, 다른 요소들과 상호 유기적으로 연결되어 있기 때문에 건물성능에 결정적인 요소이다. 건물외피는 건물의 전반적인 에너지 효율과 탄소 배출량 감소에 영향을 미칠 뿐만 아니라 (Schittich, 2006, Bader, 2014), 건물의 이미지를 결정하는 부분으로서 건축가의 의도를 상징적으로 나타내는 수단이다. 건물 외피 중에서 환경조건 변화에 대응하여 형태 및 기능이 변화하는 시스템(Weng, 2013, Ron, 2012, Lee, 2012)을 스마트 외피(혹은 인터랙티브 외피, 리스펜시브 외피)라고 한다.

스마트 외피를 구현하기 위해서는 설계분야 외에 스마트 재료, 구동 알고리즘, 피지컬 컴퓨팅, 로봇틱스와 같은 이종분야

기술들 간의 융합이 필요하다. 이러한 기술융합은 건물외피가 내, 외부 환경과 연관된 무수히 많은 변인들과 상호작용하게 하고, 나아가 능동적인 행위변화를 통해 건물이 최적의 성능을 발휘할 수 있게 한다. 예를 들어 현재의 제너러티브 파라메트릭 디자인(Generative parametric design), 성능분석(Building performance simulation) 및 최적화(Optimization)기술은 스마트 외피를 물리적으로 실체화하는 과정에서, 초기단계부터 다양한 대안생성과 신속한 성능검토를 가능하게 함으로써 설계자가 요구성능에 근접한 디자인 대안을 선별할 수 있도록 한다 (Shelden, 2002, Oxman, 2008, Carpo, 2013). 스마트 외피는 실시간으로 변화하는 요구조건에 따라 구성요소들이 유기적으로 움직이는 복잡한 기계와 같은 시스템이기 때문에 내, 외부 환경조건과 상호작용하는 것에 대해 평가받는 것뿐만 아니라 재료들과 구성요소들의 조합이 설계자의 의도에 부합하는 것이 중요하다.

기존의 설계 프로세스는 주로 설계자가 이미 구축된 디자인

¹⁾학생회원, 성균관대학교 건축학과 박사과정 (doyoungkim@skku.edu)

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

사례를 분석하여 현재의 디자인 문제에 대해 해결법을 유추하는 귀납적 방법에 의해 이루어지며(Silver 2009), 공간의 형태를 만드는 데에 집중된다. 그러나 스마트 외피의 경우, 건축물에 적용된 사례가 비교적 드물기 때문에 디자인 의도에 의해 선택된 기술을 적용하는 것을 넘어서서 통합엔지니어링 관점에서 검증할 수 있는 설계 프로세스가 필요하다.

스마트 외피는 설계자의 의도에 따라 환경조건에 대응하는 방법이 달라져야 하며, 변화하는 스마트 기술을 활용하여 대응 방법이 진화해야 한다는 측면에서 기존의 외피 설계와는 차별화되어야 한다. 따라서 설계자가 이종분야의 실험 및 관찰을 통해 기술을 다양하게 적용하고 구성요소들을 조합함으로써 최적의 구성을 찾아낼 수 있는 실험적 설계 프로세스를 제안하고자 한다.

본 연구에서는 키네틱 외피를 구현하기 위해 설계프로세스에 프로토타이핑 기법¹⁾을 도입하고 나아가 키네틱 외피 설계방법의 발전을 위한 건물정보모델(Building Information Modeling, BIM)의 역할을 논의하고자 한다.

2. 디지털-아날로그 환경 간 상호작용

2.1 건축설계에서 프로토타이핑의 필요성

스마트 외피 중에서 센서와 액추에이터 등의 스마트 오브젝트와 사물네트워크, 피지컬컴퓨팅 기술을 통해 사용자 요구조건에 따라 외피의 거동이 변화하는 시스템을 키네틱 외피라 일컫는다(Rossi, 2012). 키네틱 외피를 구현하기 위해서는 단순히 고정된 형태와 환경조건에 대한 성능평가가 이루어지는 과정을 넘어서서 다양한 스마트 장비들과 기술, 환경요소들 간의 실시간 상호작용을 검토하는 설계 프로세스가 요구된다.

자동차나 항공기 등의 제품 디자인 분야에서는 설계자가 시작품을 제작하고 사용자참여에 의한 평가와 실험을 통해 디자인을 순환적으로 보완해가는 과정을 ‘프로토타이핑’이라 지칭한다. 키네틱 외피는 여러 가지 구성요소들의 유기적인 연결관계를 통해 거동변화가 일어나는 기계와 같은 통합적 시스템이다. 프로토타이핑 기법이 키네틱 외피설계에 도입될 경우 설계자가 키네틱 외피의 구동과 관련된 전반적인 작동원리나 모듈의 형태 변화를 모두 제어함으로써 내·외부환경 조건의 변화에 대한 대안의 성능평가가 요구된다.

프로토타이핑을 키네틱 외피설계에 도입하기 위해서는 목표 성능(설계자의 의도)과 프로토타입(물리적인 평가대상)을 연결

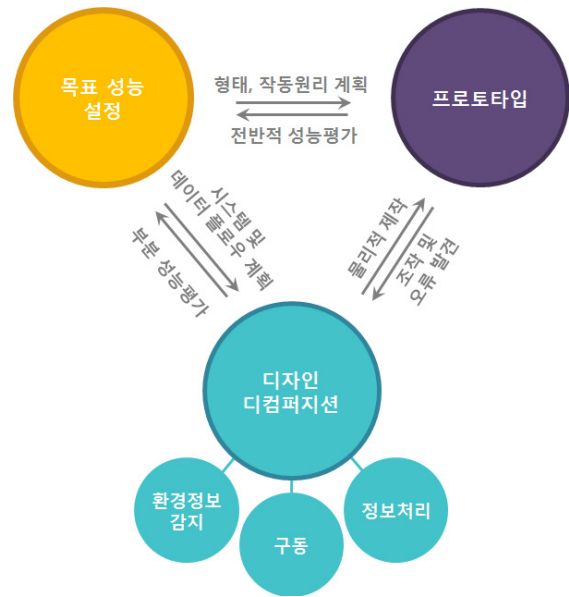


Figure 1 Prototyping for kinetic facade design

하는 방법으로, 대안을 기계적 시스템으로 정의하는 과정이 포함되어야 한다. 또한 설계자가 시작품을 구성요소로 분해, 구성함과 동시에 목표성능에 근접하는 최적의 조합을 완성할 수 있는 프로세스가 요구된다(Fig. 1). 설계자는 디자인 의도에 따라 디자인이 최종적으로 갖추어야 할 목표성능을 규정하고 거동변화를 중심으로 구성요소들의 유기적인 연결관계(물리적 연결관계)와 데이터 플로우(디지털 연결관계)를 계획한다. 이를 실제환경에서 물리적으로 제작하여 프로토타입을 구동시켜봄으로써 디자인에서 발견되는 오류를 기록하고 구성의 방법이나 요소를 대체하게 된다. 이 과정은 기존사례의 분석 및 유추만으로는 발견하기 어려웠던 디자인 문제와 오류를 발견하고 해결하는 방법을 제공하게 될 것이다.

2.2 디지털 환경-아날로그 환경의 상호작용의 필요성

키네틱 외피의 본질적 특성은 환경조건을 감지하고 정보처리를 통해 사용자 요구조건에 적합한 거동으로 연결하는 프로세스와 관련이 깊다. 환경조건을 감지하고 이를 해석하여 구동하는 일련의 과정은 디지털 환경과 아날로그 환경의 상호작용을 필요로 한다.

키네틱 외피가 다양한 수준의 외부환경과 사용자 요구조건에 대응할 수 있기 위해서는 설계자가 디지털정보를 활용하여 대안을 생성, 검토하는 과정이 필요하다. 다양한 디지털버전²⁾과 물

1) 프로토타이핑은 구체적인 공정과정의 개입을 통한 시제품을 제작하기 이전에, 제품의 원형(시작품)을 설계하는 단계로서 사용자 참여를 통해 형태의 적합성뿐만 아니라 전반적 기능에 대해 반복적이 평가를 받고 평가내용을 즉시 반영하여 시작품이 완성되어가는 과정을 일컫는다. 이 기법은 사용자의 요구를 극대화할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

2) 설계자가 설계 요구조건을 해결하기 위해 디자인을 구성하는 형태나 구성을 결정하는 요인들의 관계를 설정하는 논리를 의미함. 설계자의 논리의 변화에 따라 다양한 디지털버전이 도출될 수 있음

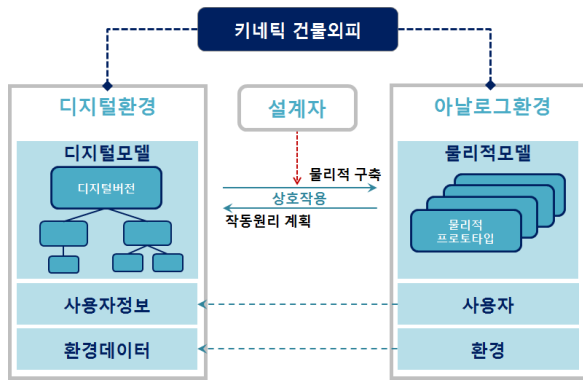


Figure 2 The roles of digital environment and analogue environment

리적 프로토타입³⁾간의 상호작용을 통해 설계자는 물질적 자원을 활용하여 대안을 구축하고 상태변화에 관한 작동원리를 계획할 수 있다. 디지털 환경은 설계자에 의해 생성되는 디지털버전 뿐만 아니라 실시간으로 감지, 축적되는 환경데이터와 사용자 요구조건과 관련된 정보를 포함한다. 이 정보들은 제너러티브 파라메트릭 도구의 활용을 통해 무수히 많은 대안을 생성하고 신속한 성능평가를 가능하게 한다.

이 디지털 환경과 아날로그 환경이 상호작용함으로써 키네틱 외피시스템의 사용성을 높이는 데 기여한다. 또한 설계자는 물리적 프로토타입을 제작함으로써 디자인의 구축방법을 이해하고 두 모델 간 상호작용을 통해 실시간으로 변화하는 외피의 성능을 전반적으로 파악할 수 있다. 즉, 프로토타입을 목표성능에 유기적으로 관계되어 있는 구성요소들의 거동을 중심으로 검토함으로써 작동원리를 수정하여 전반적인 성능을 개선할 수 있다(Fig. 2).

3. 키네틱 외피의 특성

3.1 키네틱 외피의 구현

키네틱 외피 설계 프로세스에 프로토타이핑을 도입하기 위해서는 키네틱 외피의 본질적인 특성 외에도 설계 프로세스의 고유한 특성을 반영해야 한다.

반복적인 시작품 제작과 검토는 다양한 대안의 가능성을 발견해낼 수 있는 계기가 된다. 그러나 정해진 기간 내에 결과물을 도출해야 하는 건축설계의 특성상, 초기단계부터 키네틱 외피의 반복적인 시작품 제작은 쉽지 않다. 그 이유는 키네틱 외피를 설계하기 위해서는 검증되지 않은 새로운 기술이나 컴퍼넌트를 도입해야 하며, 이는 많은 위험요소를 포함하고 있을 수 있기

3) 설계자가 대안의 성능을 검토하기 위해 선택적으로 실재환경에서 구체화된 형태나 재료로 제작하는 것

때문이다. 프로토타이핑을 도입하기 위해서는 건축설계 프로세스가 지닌 시간적, 물질적인 제약을 해결할 수 있는, 대안성능에 대한 신속한 검증방법을 필요로 한다.

디지털기술은 물리적 환경을 거의 동일하게 모사할 정도로 발전하였으며 실제 재료로 구축해보지 않고도 분석도구를 활용하여 대안이 가지는 성능을 예측해볼 수 있다. 이는 제작의 관점에서 시간적, 물리적인 비용을 절약하는 반면에 비용의 급격한 증가를 초래하는 이면을 지니고 있다. 예를 들어 설계자와 엔지니어, 이종분야의 엔지니어들 간에 디지털정보의 호환은 완벽하지 않기 때문에 협업 전문가들 간의 의사소통을 위해서는 추가 기술의 도입을 필요로 하게 된다. 또한 디지털모델은 데이터를 재사용하여 신속하고 정확한 결과를 도출해내기 위한 수단으로 활용되고 있으나, 디지털모델을 활용하여 다양한 대안검토를 수행하기 위해서 소프트웨어와 컴퓨터 시스템의 사양과 관련된 충분한 물질적인 지원이 필요하다.

설계 프로세스의 시간적, 물질적 제약을 해소할 수 있기 위해서 설계자들이 전통적으로 활용되어 온 디자인도구들을 디지털 도구와 상호보완적으로 활용할 수 있어야 한다. 물리적 모델의 경우 설계자가 구성부재를 회전, 이동시킴으로써 인위적인 힘에 의한 시뮬레이션이 가능하고 부재의 고유성질에 의한 탄성, 처짐 등을 적용하여 디자인의 성능을 검토할 수 있게 한다(Davis, 2011). 또한 스케치의 경우 교육수준에 관계없이 의사소통에 활용할 수 있는 보편적인 도구로서 건축설계자들에게 생각을 배열하고 영감을 불러일으킬 수 있는 수단이 될 수 있다(Cook, 2014). 건축설계 수업과 같은 디자인 스튜디오에서는 여전히 물리적모델과 스케치는 중요하게 다루어지고 있다. 따라서 디지털 도구만으로 테스트해보기 어려운 부분을 물리적 모델과 스케치와 같은 전통적 설계매체들을 상호보완적으로 활용함으로써 지정된 기간 안에 디자인을 발전시키는 것을 도울 것이다.

실무환경의 설계 프로세스가 지닌 시간, 물리적 자원 부족의 문제는 건축학과 설계스튜디오에서도 동일하게 나타나고 있다. 학생들의 디자인 수행능력에 영향을 미치는 결정적 요인은 교육 과정에 투입할 수 있는 절대적인 비용과 시간의 문제인데(Biggs, 2007, Biggs, 2011) 이와 같은 한계로 인해 학생들 또한 디지털 도구의 활용만으로는 설계 프로세스를 수행하기 어려움을 느낀다. 또한 설계수업 이외에 많은 시간과 노력을 투자해야 한다. 이 시간과 물리적 자원 부족의 문제는 개인의 디자인에 대한 자율성과 혁신성을 제한한다. 이 때문에 전통적인 설계매체들은 디지털 도구의 발전에도 불구하고 초보설계자들이 디자인 의도를 직관적으로 표현하고 타인(교사 혹은 팀원)과의 의사소통하기 용이한 수단으로서 꾸준히 활용되고 있다(Elsen, 2012).

본 연구는 키네틱 외피시스템의 설계 프로세스를 제한하기 위해 디지털 환경과 아날로그 환경의 상호작용(①), 전통적 설계

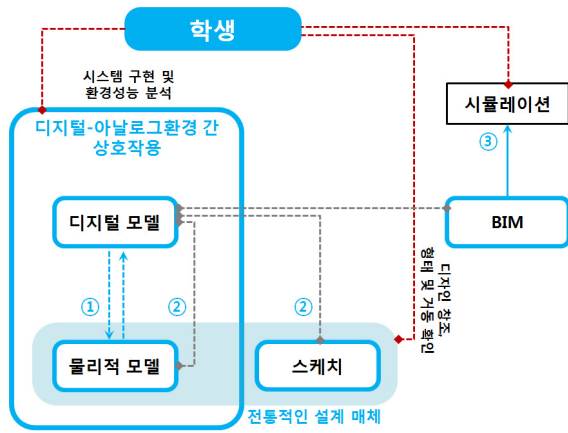


Figure 3 Research scope

매체의 상호보완적 활용(②)을 디지털디자인 스튜디오에 적용하고 이 두 가지 요소를 통해 키네틱 외피 구현이 가능함을 검증하고자 한다(Fig. 3). 디지털도구에 비해 전통적인 설계매체는 초보설계자의 관점에서 아이디어를 구체화하거나 형태, 거동변화를 실제환경에서 확인하기 위해 다루기 용이한 수단이며 디지털도구에 상호보완적으로 활용됨으로써 본 설계프로세스에서 긍정적 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이와 더불어 건물정보모델은 통합모델정보로서 최신경향의 기술동향을 반영하여 확장되어 가고 있으며(IAI 2013), 건축구성요소를 추출하는 데에 활용(③)될 수 있을 것이다. 건물정보모델은 단순히 건축 구성요소에 대한 물리적 정보를 포함하는 것을 넘어서서 각 설계단계별 의사결정과 관련된 대안분석 및 평가, 대안 선택 등의 설계행위 등의 요소들이 다루어질 필요가 있다. 이는 기존의 디지털 모델의 발전에도 불구하고 전통적 디자인 도구(스케치, 물리적 모델)가 여전히 활용되고 있는 이유와 관련이 있다.

4. 키네틱 외피의 구조

4.1 디지털-아날로그 환경의 상호작용과 프로토타이핑

키네틱 외피는 환경조건을 감지, 감지된 정보를 해석, 외피의 움직임 변화에 관한 기기들의 기능 간 상호소통을 통해 실시간 환경변화에 대응한다(Fig. 4). 키네틱 외피를 움직임을 중심으로 구성요소를 분류하였을 경우, 크게 '구동부'와 '비구동부'로 나뉜다. 이 두 가지 요소를 환경조건과 상호소통하는 것으로 기준을 능동적 부분과 수동적 부분으로 구분할 수 있다. 예를 들어 '구동부'는 부재의 이동과 회전을 담당하는 부분으로서 액추에이터와 같은 능동부와 액추에이터와 연결되어 움직이게 되는 구성부재와 같은 수동부로 나뉜다. '비구동부'는 환경조건에 관계없이 고정된 부분으로서, '구동부'의 센서, 정보처리 기기와 같이 움직임을 유발하는 환경조건을 직접 감지 및 처리하는 능

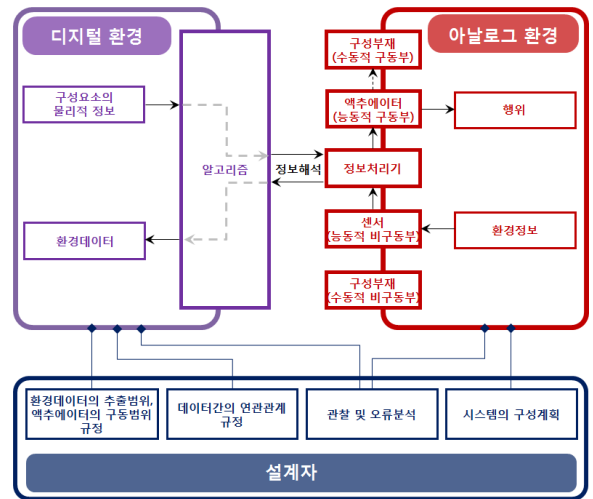


Figure 4 Interactions between digital and analogue environment

동부와 고정된 상태로 환경조건과 상호소통하지 않는 수동부로 나뉜다.

키네틱 외피시스템의 움직임을 구현하기 위해서는 센서에서 감지한 정보를 해석(정보처리)하고 이를 액추에이터의 행위로 연결하는 것이 필요하다. 이는 디지털 환경은 센서에서 처리한 데이터들이 모이고 유기적으로 연결되는 환경으로서 정보출력을 통해 실시간으로 연결된 아날로그 환경과 상호소통하게 된다. 디지털 환경은 구성요소의 물리적정보와 센서로부터 할당 받은 환경데이터, 이들을 액추에이터로 연결할 알고리즘으로 이루어져 있으며, 알고리즘이 내장된 마이크로컨트롤러를 통해 아날로그 환경의 액추에이터의 행위가 수행될 수 있다. 이에 비해 아날로그 환경은 키네틱 외피의 물리적인 거동변화가 발생하는 환경으로서, 변화하는 환경조건을 감지하고 구성부재들이 가동됨으로써 사용자 요구조건에 대응하는 일련의 과정이 수행된다.

설계자는 이 순환적인 두 환경 간 상호소통을 통해 환경요소와 디자인 구성요소 간의 유기적 연결관계를 규정할 수 있고 설계 요구조건에 적합한 시스템으로 보완할 수 있다. 첫째, 설계자는 디지털 환경에서의 관찰 및 오류분석을 거쳐 알고리즘의 수정을 통해 환경정보의 추출범위, 액추에이터의 구동범위를 규정할 수 있고 데이터간의 연관관계에 변화를 줄 수 있다. 둘째, 아날로그 환경에서 발견된 오류를 해결하거나 새로운 발견에 의해 디자인을 구체화하기 위해 시스템의 구성계획을 바꿀 수 있게 된다.

그러나 이 두 환경 간 상호소통이 설계자의 디자인의도에 부합하는 무수히 많은 디지털버전과 제작을 필요로 하는 물리적 프로토타입의 생산을 용이하게 하는 환경이 요구된다. 따라서 설계자가 데이터의 추출범위, 행위의 구동범위, 데이터와 행위의 연관관계뿐만 아니라 성능목표 및 성능목표를 결정하는 변수

들을 규정하고 조정할 수 있는 통합적인 환경이 필요하다.

4.2 전통적 설계매체와 프로토타이핑

키네틱 외피를 구현하기 위해서는 감지된 외부환경의 상태에 대한 분석, 구성요소 간의 유기적 연결관계, 구동 확인, 움직임 을 조절하여 전반적인 디자인의 성능을 검토하는 것이 필요하다. 디지털 환경에서 디자인 성능과 관련된 요소를 모두 검토하 기 위해서는 분석요소에 적합한 소프트웨어와 이 소프트웨어들 의 활용이 가능한 컴퓨터 사양이 지원되어야 한다.

설계자는 실제 물리적인 환경에서 디자인 컴퍼넌트와 스마트 기기들을 통합적으로 구축하고 조작함으로써 부재간의 충돌이나 알고리즘의 오작동을 발견하고 즉각적으로 구성요소를 조작 해봄으로서 설계를 구체화시킬 수 있다. 또한 스케치를 통해 아 이디어 기록, 생각을 타인과 공유하고 영감을 얻는 데에 활용할 수 있다. 따라서 설계자가 설계 프로세스에서 물리적모델의 작 동오류나 현상의 요인을 분석, 혹은 아이디어 개선, 기록 및 정 보공유를 위해 스케치가 활용될 수 있고 반대로 스케치만으로는 확인이 어려운 부재간의 충돌 및 하중에 의한 처짐 등을 물리적 모델을 통해 확인할 수 있다(Fig. 5).

그러나 이 두 가지 요소의 상호보완성을 단계별로 차별화한 다. 첫째, 물리적모델의 구성요소의 기능과 연결관계를 파악하 기 위한 스케치 방법이 필요하다. 이를 위해서는 키네틱 외피의 구동을 위해 기초가 되는 기술요소와 장비 및 소프트웨어에 대 한 정보를 제공받는다. 또한 시스템의 움직임과 관련된 구성요 소들의 위계를 파악한 시스템 구성도와 정보의 입출력 및 연산 과정을 포함한 데이터플로우를 그림으로써 움직임에 관한 인과 관계를 파악할 수 있다. 둘째, 전문가들 간의 협업이나 의사소통 이 필요한 부분을 스케치한 것을 물리적 모델에서 확인하고 전 반적인 성능의 구현여부를 반복 검토할 수 있는 환경이 필요하

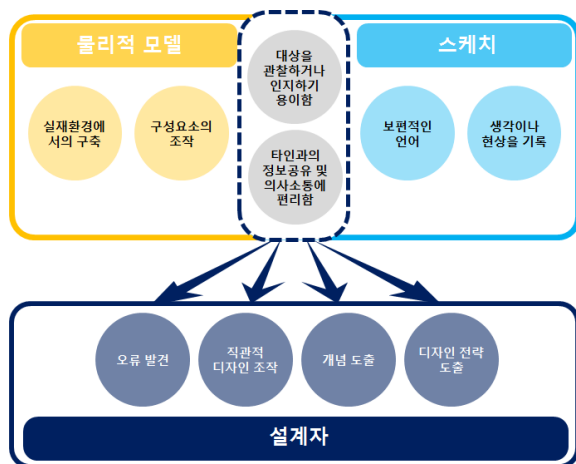


Figure 5 Using physical models and sketches

다. 물리적 모델은 기록하는 수단이 없으므로 이를 사진, 동영상 등의 보조수단을 통해서 디자인 히스토리를 기억하고 이전버전 의 디자인을 보완할 수 있다.

5. 수행내용

5.1 디지털디자인 스튜디오

본 연구는 디지털디자인 스튜디오를 대상으로 사례분석, 개념제안/프로세스 수행/ 프로세스의 실효성 평가와 같이 세 단계 의 순서로 진행하였다(Fig. 6).

첫째, 사례분석, 개념제안 단계(1단계-①)에서 학생들은 키네틱 외피 시스템 사례들을 분석하고 이 시스템을 통해 달성하고자 하는 디자인 의도(설계 요구조건)를 설정한다. 학생들이 키네틱 외피를 구성요소별로 분석하여 거동변화를 구현할 수 있기 위해서 필요한 기초 기술 정보를 제공함으로써 목표성능을 달성 하기 위한 디자인 형태변화, 움직임 등의 작동원리를 계획하게 된다.

둘째, 프로세스 수행단계(2단계-②)는 설계 요구조건에 대응 하는 개념을 실재화하는 과정으로서, 재료의 물성과 기성 컴퍼넌트를 조합, 활용하여 전반적인 외피시스템 성능을 평가한다. 대안에 대한 성능평가는 디지털 환경과 아날로그 환경의 상호작용을 활용하도록 하였으며, 토론을 통해서 키네틱 외피시스템에 관한 이미지 스케치와 시스템 구조에 관한 다이어그램, 데이터 플로우를 도출하도록 유도하였다. 이미지 드로잉과 다이어그램

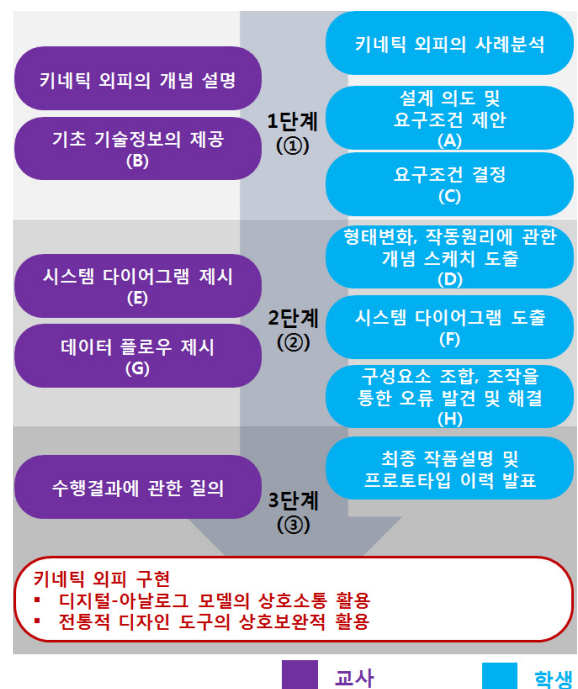


Figure 6 Educational process

은 디자인의 작동과 조작에 대한 오류를 발견할 경우, 구성요소들의 연결관계 파악을 통해 문제의 원인을 찾을 수 있는 디자인의 분석방법에 해당한다. 학생들은 거동에 영향을 미치는 변인을 통합디자인환경에서 변경함으로써 환경(사용자)정보와 키네틱 외피시스템의 성능을 최적화시킬 수 있다. 또한 부품을 교체하거나 시스템 다이어그램과 스크립트 자체를 보완할 수 있다.

셋째, 프로세스의 실효성 평가(3단계-③)에서는 최종 결과물의 완성 및 시작품의 이력에 관하여 팀별 발표를 진행한 후, 학생들의 시작품에 관한 데이터와 수행결과물의 이력을 분석하여 키네틱 외피구현에 관하여 디지털-아날로그 환경 간 상호소통의 활용과 전통적 설계매체의 상호보완적 활용을 검토한다.

키네틱 외피를 구현하기 위한 아두이노 보드 및 기초가 되는 코딩파일을 제공하고, 센서, 액추에이터 등의 스마트 장비에 관한 기초정보와 배경지식을 제공(B)한다. 나아가 시스템 다이어그램 및 데이터 플로우의 예시를 제공해줌으로써 설계자가 초기에 결정하였던 설계의도와 요구조건(A, C)을 실제의 거동을 고려한 구체적인 개념스케치와 시스템 다이어그램으로 도출하도록 유도한다. 이 과정은 물리적 시작품의 구동을 통해 설계자가 오류와 해결(H)을 반복적으로 경험하도록 하기 위한 것이다.

5.2 수행결과물

학생들의 수행내용은 하나의 모듈에 하나의 목표성을 설정 및 대응시키고, 요구조건을 추가하고 모듈을 통합하는 과정, 즉 세 가지 단계로 구성된다(Fig. 7).

첫째, 한가지의 모듈 타입을 계획하여 개념단계에서 설정하였던 디자인 요구조건(예: 차양)에 대응하여 구체적인 목표성(예: 특정 시간대에 일조량 유지)을 규정한다(A). 시작품의 모듈 구성은 시스템 구조해석을 통해 디자인을 구성해봄으로써 목표성(설계자가 가장 중요하게 생각하는 성능요소, 예: 일조변화에 대응한 빛 차단)과 기본 성능(전반적인 성능에 중요한 역할을 하나 목표성은 아니며 기본적으로 갖추어야 하는 성능, 예: 부재간의 충돌 여부)을 중심으로 프로토타입을 보완하도록 하였다

둘째, 모듈에 대한 프로토타입이 완성되면 다른 요구조건을 추가하여 상충되는 요소를 찾고 이에 대한 해결책을 모색하기 위해 목표성 수준을 변경하거나 시스템 구조에 변화를 준다(B).

셋째, 새로운 모듈 타입을 추가 계획(A)하거나 동일한 모듈을 확장하였을 경우(C) 발생하는 문제를 발견하고 전체시스템이 최적의 성능을 발휘하도록 시스템을 보완하여 결과물을 완성한다(D).

프로토타이핑의 결과물은 디자인 의도의 관점에서 환경조건 변화에 재실자의 쾌적성을 고려한 경우(①)와 외부 사용자를 대상으로 정보제공을 목표로 한 경우(②), 두 가지로 분류되었다.

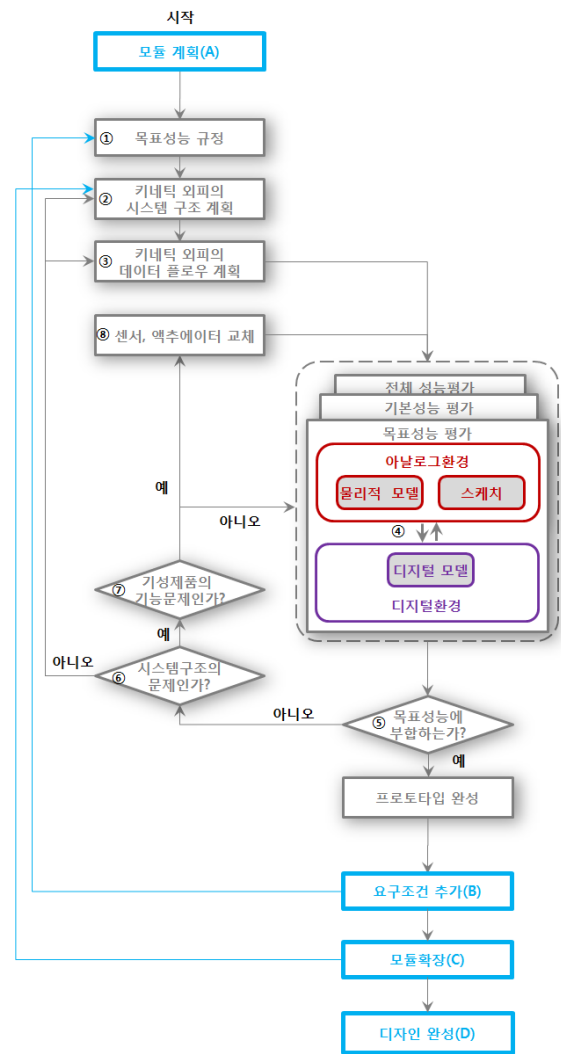


Figure 7 Steps of prototyping

Table 1 Implementation results

① □	① □	① □
② □	① □	② □

또한 Fig. 7에서 제시한 절차를 통해서 본 결과로는 모듈 계획, 요구조건 추가, 모듈확장을 모두 수행한 경우(□)와 요구조건은 유지한 채로 모듈 계획 및 확장만 수행한 경우(○)로 분류되었다(Table 1).

5.3 결과 분석

본 연구에 의해 수행된 키네틱 외피의 설계 프로세스는 설계자가 디지털-아날로그 환경의 상호작용과 물리적모델, 스케치와 같은 전통적인 설계매체를 상호보완적으로 활용할 수 있게 하여 다양한 디자인 컴퍼넌트를 계획하고 평가하는 과정을 경험하게 하였다. 디자인 초기 단계에 융합설계의 특성을 고려하여 몇 가지 사항을 설정하였다. 첫째, 키네틱 외피설계가 융합적 기술과 다학제적 협업을 토대로 한다는 점을 고려하여 구현에 기초가 되는 기술, 시스템에 대한 해석방법에 대한 배경지식을 제공할 필요가 있었다. 둘째, 교사는 학생들의 최종결과물보다는 시스템의 합리적 구성, 구현의 완성도를 중심으로 평가하였으며, 팀작업은 명확한 엔지니어와 설계자로 분리하여 진행되었

다. 이 두 가지는 프로토타이핑의 속도를 높이는 데에 중요한 요소로 작용할 수 있었다.

전 설계과정에서 프로토타이핑을 수행하는 데에 디지털-아날로그 환경의 상호작용과, 전통적인 설계매체는 표 2와 같이 활용되었다. 프로토타이핑 과정에서 물리적모델은 키네틱 외피의 움직임의 시연(①)해보거나, 실제 구동컴퍼넌트의 도입하여 제작 및 충돌테스트(②)에 활용되었다. 또한 스케치의 경우 아이디어를 표현 및 실재화(□), 성능계획(□), 거동계획(□), 제작계획(□), 정보처리계획(□)에 활용되었다(Table 2).

6가지(Table 1)의 수행결과 중, 상대적으로 다양한 프로토타입을 계획하고 Table 2에서 제시한 요소를 고루 갖춘 2팀을 선정하여 수행내용을 분석하였다. 사례 1(Table 3)의 경우 디지털

Table 2 Analysis of design process

프로토타이핑 요소		사진
디지털-아날로그 환경의 상호작용		
전통적 설계매체	제작 및 거동테스트 (①)	
	프로토타입 제작 및 충돌테스트 (②)	
	아이디어 표현 및 실재화 (□)	
	성능계획 (□)	
	거동계획 (□)	
	제작계획 (□)	
정보처리 계획 (□)		

Table 3 Analysis of implementation: Case 1

전통적 설계 매체	사진	디지털 환경과 연동	디지털모델과 연동	
물리적 모델		①	×	×
		①	×	△ (제작을 위한 일방향 연동)
		②	×	×
스케치		②	○	○
		□	×	×
		□, □	×	×
		□, □	×	×
		□	×	×
		□	×	×

Table 4 Analysis of implementation: Case 2

전통적 설계 매체	사진	디지털 환경과 연동	디지털모델과 연동	
물리적 모델		①	×	×
		②	○	○
		②	○	×
		②	○	○
스케치		□	×	×
		□, □	×	×
		□, □	×	×
		□	×	×

모델을 프로토타입을 실제로 제작하는 데에 활용하였고, 물리적 모델, 스케치를 활용하여 거동에 관한 정보처리과정, 구성부재의 접합부분을 개선하였다. 사례 2(Table 4)의 경우 디지털모델을 소리분석 알고리즘과 연결함으로써 가시화 패턴을 분석하였으며, 디자인 의도에 맞는 액추에이터의 회전과 유연한 재료의 조합을 찾기 위해 디지털 환경과 물리적환경의 연동을 추가적으로 수행하였다.

프로토타이핑을 도입한 키네틱 외피 설계 프로세스를 통해서 본 결과, 물리적 모델이나 스케치와 같은 전통적인 설계매체들은 디지털도구가 지원하지 못하고 있는 무수히 많은 설계행위에 관여하고 있음을 발견하였다. 설계자는 키네틱 외피 설계 프로세스에 건물정보모델을 활용하는 경우, 건축구성요소(예: 벽, 바닥, 천정, 창문)의 물리적 정보(예: 중량, 재질 등의 세부정보)에 감지된 환경조건 정보를 더하여 키네틱 외피의 성능을 평가해볼 수 있을 것이다. 그러나 실시간으로 변화하는 거동변화를 관찰하고 보완하기 위해서는 전통적인 설계매체를 통해 수행된 아이

디어의 직관적 표현 및 구체화, 구성요소들 간 관계의 설정 등, 단계별로 변화하는 디자인 요구조건을 고려한 건물정보모델의 확장이 필요하다.

6. 결론

본 논문에서 제안한 키네틱 외피 설계 프로세스는 설계자가 디지털-아날로그 환경의 상호작용과 전통적 설계매체의 상호보완적 활용을 통해 이종분야의 컴퍼넌트를 시험적으로 도입할 수 있을 뿐 아니라, 디자인 의도에 부합하고 사용자 요구조건 변화에 대응할 수 있는 최적의 건축구성요소의 조합을 찾을 수 있게 하였다. 특히 전통적인 설계매체의 역할은 초보설계자가 디지털 도구만으로 파악하기 어려운 거동과정에서의 오류발견, 혹은 아날로그 환경에서의 전문가들 간의 의사소통을 용이하게 함으로써, 디지털도구의 역할을 보완하고 있음을 발견하였다. 현재의 건물정보모델을 활용하여 키네틱 외피를 설계하기 위해서는 단계별 설계행위의 의미론적 확장을 필요로 한다. 추후 키네틱 외피 설계 과정에서 수행되는 전반적인 설계행위에 대한 분석을 통해 건물정보모델의 데이터구조의 개선 및 확장이 필요하다. 또한 실무에서 프로토타이핑을 도입하기 위해서는 설계대상을 어떤 구조로 해석하여 적용한 것인지에 대한 구체적인 기술이 필요하며, 프로세스를 구성하는 목표 및 가설설정, 목표에 따른 설계대상의 해석 및 구성, 명확한 평가기준 및 방법에 대한 제시가 필요하다.

감사의 글

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

References

- Bader S. and Lang W. (2014), "High performance facades for commercial buildings", The University of Texas at Austin, School of Architecture, Center for Sustainable Development.
- Biggs J. and Tang C. (2007, 2011), "Teaching for quality learning at University—What the student does", Society for research into higher education & open university press, the Mc-Graw Hill companies.
- Carpo M. (2013), "The ebb and flow of digital Innovation: from form making to form finding and beyond", Journal of Architectural Design, Special Issue: The Innovation of Imperative: Architectures and Vitality, Vol. 83, No. 1, pp.

- 56–61.
- Cook S. P. (2014), "Drawing: The motive force of architecture", Wiley.
- Davis D. (2011), "Designing responsive architecture", Proceeding of 16th International Conference on Computer Aided Architectural Design in Asia (CAADRIA).
- Elsen C, Darses F. and Leclercq P. (2012), "What Do Strokes Teach Us about Collaborative Design?", International conference of Cooperative Design, Visualization and Engineering, pp. 114–125, LNCS.
- International Alliance for Interoperability (2013), IFC 2x4, <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>
- Lee, K.S. and Yoo, D.E. (2012), "A Study on the Sustainability of the Environmentally Responsive Kinetic Facades", Journal of AIK, Vol.28, No. 6, pp.85–96 (in Korea).
- Oxman R. (2008), "Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium", Design Studies, Vol. 29, No. 2, pp. 99–120.
- Oxman R. (2008), "Performance-based Design: Current Practice and Research Issues", International Journal of Architectural Computing, Vol. 6, No. 1, pp. 1–17.
- Ron R. (2012), "Exploration of eco-kinetic systems in architecture-development of dynamic interactive building elements", Proceedings of the 30th Conference on Education of Computer Aided Architecture Design in Europe, Vol. 2, pp.381–389.
- Rossi, D., Nagy, Z. and Schlueter, A. (2012), "Adaptive Distributed Robotics for Environmental Performance, Occupant Comfort and Architectural Expression", International Journal of Architectural Computing, 10(3), 341–360.
- Schittich C. (Ed.), Schittich C, Lang W. and Krippner R. (2006), "In detail: building skins", Detail edn, In Detail, Birkhäuser, Basel, Switzerland.
- Shelden D. R. (2002), "Digital surface representation and the constructability of Gehry's architecture", Massachusetts Institute of Technology.
- Silver M. (2009), "Pattern deposition: from scripts to applications", Architectural Design – pattern of architecture, Vol. 79, No. 6, pp. 94–99.
- Weng Y. S., Chen Y.P., Ma Y. P., Pan C. A. and Jeng T. S. (2013), "Eco-machine: a green robotic ecosystem for sustainable environments", Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, pp. 925–934.
- Wilde P. D. and Coley D. (2012), "The implications of a changing climate for buildings", Journal of Building Environment, Vol.55, pp.1–7.