

길이 쌓기에 따른 벽돌건축의 곡면형태 생성방법에 관한 연구**

- 파라메트릭 디자인 프로세스를 중심으로 -

A Study on the Curved Form Generation Methodology of the Brick Architecture by Stretcher Bond

- Focused on the Parametric Design Process -

Author 조혜연 Cho, Heayon / 정희원, 연세대학원 실내건축학과 박사과정
이현수 Lee, Hyunsoo / 정희원, 연세대학원 실내건축학과 교수, 건축학박사*

Abstract Brick is not only aesthetically beautiful and emotional material, but also eco-friendly and good building commodity for human health. Nonetheless, the use of brick has declined, due to the difficulty of building high-rise buildings and the limitation of the free form implementation. However, modern society is increasingly interested in environmentally friendly finishing materials for solving environmental problems. From this point of view, the brick architecture is being reexamined as a material to improve the living environment and to provide comfort without destroying nature. In addition, the development of digital technology enables the implementation of various types of masonry method and curved forms. Parametric design is one of the ways to realize the curved forms and various architectural expressions for brick architecture. In this background, the purpose of this study is to develop algorithms that can easily generate curved brick walls through parametric design, enable various pattern designs, and respond to real-time feedback. The details of the study are as follows. First of all, we examine organic architecture, the trend of brick architecture, and the concept of parametric design. Secondly, In order to generate curved surface with complex curvature, major planning factors affecting form generation are examined. Finally, we develop a parametric design method that consists of generating a curved surface for brick arrangement, implementing a parametric algorithm, and generating a curved form using bricks. Consequentially, we propose an algorithm that can maximize the use of ready-made bricks without using cut bricks to design curved walls and present efficient and economical design alternatives.

Keywords 벽돌건축, 곡면 형태 생성, 파라메트릭 디자인, 길이쌓기
Brick Architecture, Curved Form Generation, Parametric Design, Stretcher Bond

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

벽돌건축의 가장 큰 문제점 중에 하나는 곡면 구현이 어렵다는 것이다. 역사적으로 벽돌건축의 시공기술은 재료 그 자체를 가장 쉽게 사용할 수 있는 직선적 형태이거나, 복잡한 곡률을 갖는 형태일 경우에는 숙련된 기술자에 의존했다.¹⁾ 따라서 곡면 형태의 유기적인 벽돌건축 시공은 인건비에 대한 부담을 가중시켰고, 점차 단순성,

효율성을 목표로 하는 모더니즘에 입각한 직선적 건축물들에 의해 도시의 획일화를 가져왔다. 현대 도시인들은 많은 스트레스 속에 살아간다. 힐링적 측면에서 스트레스를 완화시켜주고 심리적 안정감을 주는 감성적 공간이 무엇보다 필요하다. 과거 가우디(Gaudi), 훈데르트바서(Hundertwasser), 라이트(Wright), 알토(Aalto)와 같은 건축가들은 자연을 모방한 곡선 형태의 유기적 건축을 통해 심리적, 미학적 측면을 강조하였다.²⁾ 그러나 현대사회는 대량생산에 의한 효율성을 강조하고 기능주의 원리(functionalism)에 입각한 모더니즘

* 교신저자(Corresponding Author); hyunsl@yonsei.ac.kr
** 이 연구는 2017년도 BK21 플러스사업의 연구비 지원과 2017년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2015R1D1A1A09061276)

1) Andres Cavieres, Russell Gentry, Tristan Al-Haddad, Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: Conceptual design and preliminary structural analysis, Automation in Construction, Vol. 20, 2011, 716 - 728
2) 박형진, 라이트와 이토 건축의 유기적 개념과 해석 특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집, 제22권, 제4호, 2013, p.25

니즘 건축물들이 주를 이루고 있다.

현재 디지털 기술의 발전은 다양한 디지털 툴을 이용한 ‘비정형(irregular, non-orthogonal, non-linear, curved)’ 건축을 가능하게 한다. 이로 인해 자유로운 곡면 형태의 건축물들이 나타나고 있다. 디지털 건축의 또 다른 특징은 재료의 물성에 대한 새로운 해석을 가능하게 한다는 것이다. 다시 말해 재료의 특성을 살리면서 다양한 변용을 통해 시각적 촉각성과 감각적 표현을 구현할 수 있다.³⁾ 따라서 재료선택은 유기적 형태와 더불어 건축물의 외관과 실내 공간의 감성적 분위기를 만드는 중요한 요소로 작용할 수 있다. 이러한 감성적 건축을 충족시킬 수 있는 대표적인 예가 벽돌이다. 벽돌은 고대부터 사용된 가장 오래된 건축재료 중 하나로 자연을 파괴하지 않고 거주 환경을 개선하는 친환경적 마감재이다. 또한 심리적 편안함과 감성적 분위기를 통해 힐링적 공간을 제공한다. 그러나 벽돌은 이러한 장점에도 불구하고 콘크리트, 금속 패널, 유리와 같은 마감재에 비해 곡면 형태 구현이 제한적이었다. 따라서 벽돌을 활용해 곡면 형태를 구현할 수 있는 새로운 조적방법에 의한 유기적 건축을 추구할 필요가 있다. 현재 디지털 기술의 발전은 벽돌의 곡면 형태 구현과 다양한 건축적 표현을 가능하게 한다. 이러한 디지털 기술 중에 하나인 파라메트릭 디자인은 다양한 디자인을 가능하게 한다. 파라메트릭 디자인은 곡면 형태 구현과 다양한 패턴의 변화를 매개변수 조절을 통해 쉽게 디자인 할 수 있다.⁴⁾

이와 같은 배경 하에 본 연구는 디지털 기술을 활용하여 벽돌의 곡면 형태를 구현하는 파라메트릭 디자인 방법을 개발하려는 목적을 갖는다. 이와 관련된 세부 연구 내용은 다음과 같다. 첫째, 문헌 및 선행연구의 고찰을 통해 곡면 형태의 벽돌건축, 국내·외 벽돌건축의 최근 경향, 파라메트릭 디자인에 대한 개념을 살펴본다. 둘째, 벽돌 벽의 곡면 형태를 구현하기 위한 계획요소로서 곡면의 분류, 기준점 설정, 매개변수를 검토한다. 셋째, 새로운 벽돌의 배열과 길이쌓기 방식에 따른 디자인 프로세스를 바탕으로 파라메트릭 디자인 방법을 개발한다. 다시 말해, 곡면의 기하학적 특징을 이해하고, 형태의 유형을 검토하여 벽돌의 절단 없이 온장벽돌의 사용을 최대화하여 곡면 형태를 구현함으로써 설계자의 의사결정을 돕는 설계 방법을 제시하는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

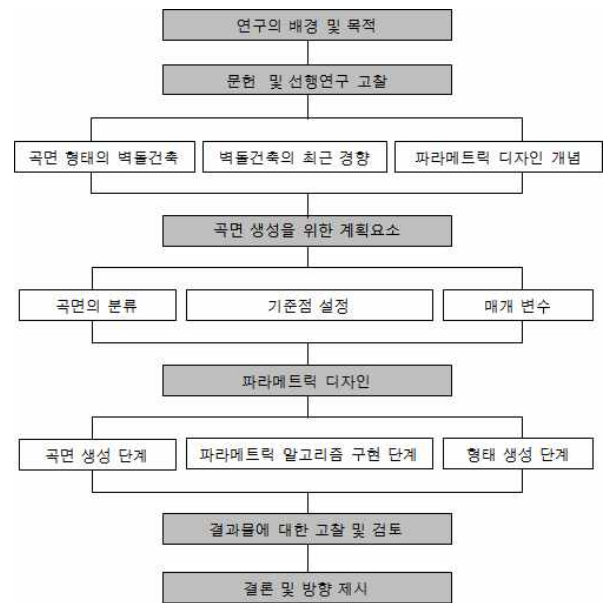
1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구는 벽돌의 곡면 형태를 구현함에 있어 초기 설계 단계의 디자인 계획요소들을 검토하고, 디자인 과정에 있어 매개변수적 접근을 통해 다양한 곡면 형태를 생성

3) 류호창, 디지털 건축에서 나타나는 재료의 기술적 표현 유형 및 특성, 한국디자인트렌드학회, 제33권, 2011, p.225

4) Kereshmeh Afsari 외 2명, Integrated Generative Technique for Interactive Design of Brickworks, Journal of Information Technology in Construction, Vol.19, 2014, pp.225-247

하고, 즉각적으로 수정이 가능한 파라메트릭 알고리즘 개발을 목적으로 한다. 파라메트릭 디자인 지원 도구로는 3차원 CAD 프로그램 중 시각적 프로그래밍 언어(Visual/Graphic Programming Language)를 기반으로 건축적 알고리즘의 구현을 가능하게 하는 그래스호퍼(Grasshopper)⁵⁾를 사용한다. 본 연구에서는 건물 외관의 내력, 비내력의 치장 등의 관점에서 벽돌의 조적 문제를 다루기로 한다. 또한 국내에서 주로 사용되고 있는 지지용 철물과 수직보강재를 사용하는 조적방법에 적합한 길이쌓기 방법에 대한 알고리즘을 개발한다. <그림 1>은 전체적인 연구의 진행 절차이다. 연구 진행 절차와 관련한 구체적인 내용은 다음과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름도

(1) 문헌 및 선행연구를 바탕으로 곡면 형태의 벽돌건축, 벽돌건축의 최근 경향, 파라메트릭 디자인에 관한 이론적 고찰을 한다. 벽돌건축의 최근 동향 및 특징을 파악하기 위해 국내의 경우에는 서울특별시 건축상 수상작 중 벽돌 건축 수상작을 중심으로 조사하고, 해외의 경우에는 세계적인 건축물을 소개하는 웹 사이트 중 하나인 아키데일리(Archdaily)에서 벽돌건축 관련 글을 중심으로 검토한다.

(2) 복잡한 곡면을 갖는 곡면 형태를 구현하기 위해서는 형태생성에 영향을 미치는 주요한 계획요소들을 검토

5) 그래스호퍼(Grasshopper)는 NURBS기반 3D 모델링 소프트웨어인 라이노(Rhino) 3D에서 구동되는 Plug-in의 일종이다. 주요 특징으로는 사용자가 필요에 따라 분석이 가능한 Plug-in들을 직접 개발하여 사용할 수 있는 추가 확장 기능이다. 또한 시각적 프로그래밍 언어(Visual/Graphic Programming Language)를 기반으로 작동하기 때문에 C/C++나 Java, VB와 같은 문자기반 프로그래밍에 비해 전문적인 컴퓨팅 지식을 요구하지 않는다. 따라서 건축설계 및 여타 디자인 전문가들이 어렵지 않게 배울 수 있어 최근 건축 설계에서 널리 활용되고 있고 확산되는 추세이다. 김민석, 건축설계과정에서 그래스호퍼 프로그래밍의 효율적 접근에 관한 연구, 한국 CDE학회논문집, 제21권, 제4호, 2016, p.454

할 필요가 있다. 우선 벽돌 배열을 위한 곡면의 유형을 분류하고, 벽돌의 배열시 기준점의 위치를 설정하는 것이 필요하다. 또한 곡면 벽돌 디자인 계획 시 구성 요소들에 영향을 미치는 매개변수들을 결정한다.

(3) 벽돌의 길이쌓기 방법을 적용한 곡면 형태생성을 위한 파라메트릭 디자인의 프로세스를 개발한다. 단계는 곡면 생성 단계, 파라메트릭 알고리즘 구현 단계, 벽돌 곡면 형태생성 단계로 구성된다. 이러한 파라메트릭 알고리즘을 바탕으로 생성된 벽돌 곡면 형태들을 분석하고, 시공성을 고려하여 온장벽돌을 최대한 활용하는 방안을 수립한다. 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 비정형적인 벽돌건축물의 형태를 종합적으로 검토할 수 있는 파라메트릭 툴 구축의 기반을 마련한다.

2. 선행연구

2.1. 곡면 형태의 벽돌건축

본 연구에서 모색하는 곡면의 벽돌건축과 관련한 연구 이슈를 도출하기 위해서는 벽돌건축에 대한 역사적 고찰이 필요하다. 역사적으로 벽돌건축의 곡면 형태는 고대건축의 볼트(vault)와 돔(dome)으로부터 최근의 자유 곡면에 이르기까지 시대에 걸쳐 구조체계와 조적기술의 변화를 가져왔다. 벽돌의 곡면 형태 구현에 대한 시대별 구조·기술 및 기능에 따른 특징을 나타낸 것이 <표 1>이다.

<표 1> 벽돌건축의 시대별 구조·기술 및 기능에 따른 특징

시대별	구조 및 기술	기능에 따른 특징
르네상스 이전	• 반원 아치, 원통형, 배럴 볼트 천장, 교차볼트, 점탑형 아치, 플라잉 버트레스	• 형태와 구조 일체 • 구조적 기능, 합리적 형태 • 힘의 작용에 의한 직관적 이해를 바탕으로 함
르네상스 - 19세기	• 수직방향의 방사형 리브, 수평방향의 원주형 석재링	• 구조로부터 자유로워진 형태 • 건축가의 조형의지 표출 가능
19세기 이후	• 구조틀 + 조적조 • 철제 콘크리트 + 석재	• 구조역학적 공학의 발전 • 형태와 구조사이 매개물 • 외피의 의장적 요소

* 위 표는 박정대(2005)의 박사학위 논문을 참고하여 정리하였다.

벽돌건축에 있어 곡면을 구현하기 위한 조적 방식은 구조체계, 기술체계에 따라 크게 르네상스 이전, 르네상스부터 19세기, 19세기 이후로 나눌 수 있다. 19세기 이전까지 나타난 벽돌의 곡면 형태는 주로 아치나 돔에서 살펴볼 수 있다. 구조·기술에 따른 형태는 구조와 표현을 모두 고려한 것이었다. 르네상스 시대부터 19세기까지는 아치형에 의한 1차적 구조체로 인해 구조로부터 형태가 자유로워지면서 건축가의 조형의지를 표출할 수 있게 되었다. 19세기 이후에는 구조역학적인 공학의 발전으로 벽돌건축은 구조적 틀에 조적조가 합쳐져 형태와 구조사이의 매개물로서 작용하였다. 다시 말해 형태와 구조사이의 매개물로서 작용하며 외피의 의장적 요소로서 사

용되었던 것이다. 하지만 기술적 한계, 시공상의 문제, 경제적인 이유는 벽돌 형태의 제한을 가져왔다.

조형적, 심미적 측면에서의 곡면 형태의 건축은 외관의 역동성과 유연성을 보여주며, 실내 내부에 부드러운 느낌을 주어 감성적인 힐링 공간을 제공한다. 이러한 특징은 유기주의를 포함하는 표현주의 건축에서 살펴볼 수 있다. 특히 유기적 건축의 형태적 특징은 자연의 형상들을 근원으로 하여 유기체의 형태와 곡선적 양식을 조형적으로 표현하면서 역동적이고 연속적인 흐름을 보여준다.⁶⁾ 이는 20세기 후반 신표현주의와 지역주의 건축으로 이어지면서 비정형적으로 기울어진 벽체, 기하학적인 원형의 비정형적인 구성을 통해 자유로운 곡면 형태로 나타난다. 표현주의를 보여주는 벽돌 조적의 가장 초기의 시도는 에릭 멘델손(Erick Mendelsohn)의 아인슈타인트럼(Einsteintrum)을 들 수 있다. 곡면의 비정형성을 통해 역동적인 느낌을 주며, 벽돌 조적 위에 플라스틱 마감으로 처리하여 유동적 곡면을 형상화하였다.⁷⁾ 하지만 벽돌의 순수한 마감재의 느낌을 표현하기 보다는 구조적 기능을 수행하였다는 점에서 벽돌이 갖는 마감재 특유의 미적 감성을 충분하게 표현하지는 못하였다. <그림 2>는 디지털 건축 이전 곡면적인 벽돌 축조방식을 가장 잘 보여주는 사례인 엘라디오 디에스테(Eladio Dieste)가 디자인한 아틀란티다 교회(Atlantida Church)이다. 단면적으로는 현수 곡선을 사용하였고, 장변방향으로는 복잡한 곡률을 지니 형태 자체가 외피인 동시에 내력벽으로 구조적인 역할을 동시에 수행한다. 유연한 기하학적인 형태는 내외부에 동일하게 적용되면서 미학적, 구조적 속성을 드러낸다. 또한 곡면 구현에 있어 다루기 힘들고 한계가 있는 벽돌을 사용하여 섬세하고 정교한 효과를 표현하였다. 하지만 벽돌의 단위부재가 갖는 특성을 살리기 보다는 잘려진 벽돌을 사용하였으며, 구조 설계 원리에 대한 깊은 지식과 조적 기술에 많은 경험을 가진 건축가에 의존하여 설계되었기 때문에 경제성과 시공성 측면에서는 효율적이지 못하였다(Andres Cavieresb 외, 2011). 훈데르트바서(Hundertwasser)가 말한 것처럼 곡



<그림 2> Eladio Dieste가 디자인 한 Atlantida 교회, 1961

*참조:<https://www.architectural-review.com/rethink/archive/church-at-atlantida-uruguay-by-eladio-dieste/8683475.article>

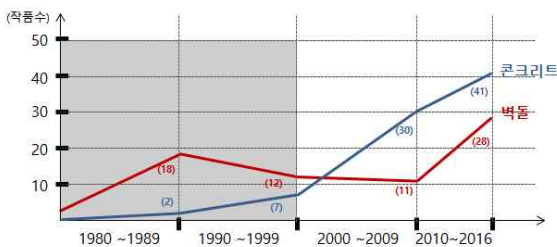
6) 황태주, 현대건축에 나타난 유기적 표현에 관한 연구, 과학과 문화, 제2권, 제3호, 2005, p.117

7) Lampugnani, Vittorio Magnago, Architektur und Städtebau Des 20, 1980

면은 자연의 속성을 내포한다. 자연과 교감하며 상상력을 키우는 인간의 입장에서 볼 때 곡면 벽돌건축은 많은 가치와 중요성을 갖는다.

2.2. 벽돌건축의 최근 경향

벽돌은 미적으로 아름답고, 친환경적인 마감재이며 손으로 쉽게 운반할 수 있다. 그러나 건축물의 고층화, 형태의 다양화, 시공의 신속함의 측면에서 활용가능성이 큰 콘크리트의 등장으로 벽돌의 사용이 급격히 감소했다. 최근 벽돌의 조적방식의 변화로 인해 고층화가 가능해졌고, 벽돌쌓기 방법의 응용과 디지털 기술의 접목으로 곡면의 형태 구현 및 패턴의 다양화가 가능해짐에 따라 벽돌건축물에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내의 경우 서울특별시 건축상 수상작에 나타난 외장재의 변화는 이러한 흐름을 잘 보여주고 있다. 이 중 본 연구와 밀접하게 관련이 있는 벽돌과 콘크리트의 동향을 살펴보면 <그림 3>과 같다. 건축물의 재료 사용 경향은 2000년대에 들어서면서 신속함과 경제성을 바탕으로 한 콘크리트 사용량이 급격히 증가하다가, 2010년 이후에는 벽돌의 사용이 급격히 증가했다. 건축물의 수에서는 콘크리트 건축물이 41개로 28개인 벽돌건축물에 비해 여전히 많으나, 2000년대 대비 2010년 이후 벽돌건축물은 154%의 증가율을 보여, 36%의 증가율을 보인 콘크리트 건축물에 비해 훨씬 높은 증가율을 보였다.



<그림 3> 서울특별시 건축상 수상작 재료사용 동향

* 위 그림은 건축도시정책정보센터에서 제공하는 자료와 김형범(2017)의 석사학위논문 참조하였고, 서울특별시 건축상 수상작에 나타난 외장재 중 본 연구와 밀접하게 관련이 있는 벽돌과 콘크리트를 중심으로 재정리하였음.

벽돌에 대한 관심은 한국 뿐 만 아니라 전 세계적으로 높아지고 있다. 해외의 경우 벽돌 재료 자체의 개발과 더불어 쌓는 방식의 진화로 활발한 연구가 진행되고 있다. 영국 벽돌 개발 협회(UK Brick Development Association)와 오스트리아 위너버거 (Wienerberger AG)에서는 세계적인 벽돌건축물을 선정하여 수상작을 발표하고 있다. 디지털 기술을 사용하여 벽돌건축의 새로운 가능성을 보여주는 대표적인 설계 회사에는 스위스의 그 Gramazio Kohler Architects와 중국의 Archi-Union

Architects가 있다. 이 회사들은 로봇 암을 사용하여 비정형적인 벽돌 벽을 구현하고, 혁신적인 디지털 제작을 시도하고 있다. 또한 미국의 SHoP Architects의 경우에는 CNC장비를 사용하고, 벽돌 벽을 단위 모듈로 구성하여 조적벽의 새로운 가능성을 보여주고 있다. 다시 말해 해외의 경우 디지털 기술을 적극적으로 활용하여 비정형적인 벽돌건축물의 형태를 구현하고, 이에 따른 다양한 시공 방식에 대한 연구가 꾸준히 증가하고 있다. 이에 반해 국내 벽돌건축은 관심의 증가에 비해 그 연구가 미흡하고, 시공 방법 또한 제한적이다. 이러한 점을 미루어볼 때 파라메트릭 디자인을 통한 벽돌 벽의 형태생성은 그동안 시공성의 측면에서 제한적이었던 벽돌의 곡면 형태 구현과 다양한 시공 방식의 변화를 가져올 것이다. 따라서 친환경적인 측면과 감성적인 측면을 감안해볼 때 벽돌건축에 대한 다양한 측면에서의 연구와 노력이 필요하다.

2.3. 파라메트릭 디자인

벽돌은 오랜 세월동안 사용된 전통의 건축 재료로서 오늘날까지 지속적으로 사용된 데에는 분명한 이유가 있다. 그 이유로 벽돌은 친환경적이며 감성적인 건축 재료라는 것을 들 수 있다. 벽돌의 조적방법을 개발할 수 있는 방법으로 본 논문에서 채택한 디자인 접근 방법은 파라메트릭 디자인이다. 파라메트릭 디자인은 수학적 공식에 대입된 매개변수 값을 조정하여 모델을 생성하는 방식으로, 자동적으로 모델의 수정과 변경이 가능하다.⁸⁾ 다시 말해 디자이너가 특정한 형태를 직접 고안하는 전통적인 방식이 아닌, 형태를 생성하는데 필요한 수치나 오브젝트 사이의 관계를 정의한 수식에 대입되는 매개변수 값을 결정하여 형태생성을 가능하게 한다.⁹⁾ 특히 복잡한 곡률로 이루어진 비정형 형태를 치수와 변수로 이루어진 수식을 적용하여 매개변수 값을 입력하면, 복잡한 형태를 신속하게 생성할 수 있다. 또한 자동적인 피드백을 통해 빠른 수정이 가능하다. 효과적인 파라메트릭 모델을 생성하기 위해서는 설계 초반 단계부터 디자인 구성요소의 특징을 파악하고, 객체들 사이의 관계를 설정해야 한다. 이를 위해서는 매개변수적 접근을 필요로 하며, 최종 결과물에 영향을 주는 변수들을 추출하는 것이 무엇보다 중요하다. 추출된 변수들은 건축물의 특정한 목적이나 디자이너가 원하는 조건에 부합되게 재조정되면서 결과물을 생성하고 통합적인 디자인 프로세스의 제어를 가능하게 한다. 문성우(2011)는 디자인을 결정하는 요소인 매개변수의 특징을 히스토리를 통한 피드

8) 박중하 외 2명, 비정형 초고층건축물의 곡면분할을 위한 파라메트릭 디자인 프로세스 제안, 대한건축학회논문집 계획계, 제31권, 제3호, 2015, p.50

9) 김종국, CGI 소프트웨어를 기반으로 한 파라메트릭 건축 디자인의 형태 형성 프로세스에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 제16권, 제6호, 2014, p.12

벽, 변수의 정의(제약), 변수와의 관계, 데이터의 표현과 생산으로 분류하였다. 디자인 과정동안 피드백이 필요로 할 때는 기록된 명령어를 재실행 할 수 있어야하며, 변수의 제약을 통해 필요 이상의 데이터로 인한 오류를 줄인다. 이러한 변수들은 연속적인 상호작용이 가능하게 연결되며, 변경 및 수정을 통해 생성되는 결과물에 대한 데이터 값을 추출하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 파라메트릭 디자인의 장점을 활용하여 벽돌 건축의 곡면 형태를 생성할 때 곡면의 유형에 따라 벽돌의 배열과 쌓기 방식을 쉽게 변형, 수정할 수 있는 파라메트릭 디자인 방법을 사용하여 다양한 디자인 안을 생성할 수 있는 조적 방법을 개발하기로 한다.

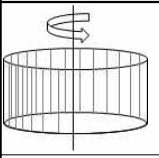
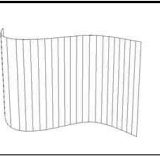
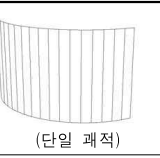
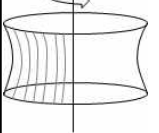

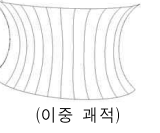
3. 곡면 생성을 위한 계획요소

파라메트릭 디자인 방법을 적용하여 벽돌건축의 곡면 형태를 구현하기 위해서는 형태생성에 영향을 미치는 주요한 계획 관련 이슈들을 살펴보아야 한다. 본 연구에서 고려한 계획요소는 3가지이다. 첫째, 벽돌 배열과 곡면 유형과의 상관관계를 어떻게 설정하느냐에 관한 문제이다. 둘째, 디자인된 곡면에 벽돌을 배열할 때 벽돌의 기준점의 설정과 관련된 이슈이다. 셋째, 파라메트릭 디자인에 필요한 매개변수들을 결정하는 문제이다. 이러한 이슈와 관련된 해결점을 찾으려는 것이 본 연구의 주요 내용이다.

3.1. 곡면의 분류

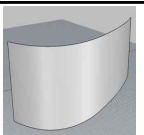
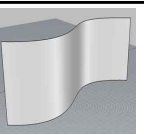
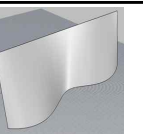
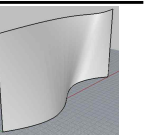
벽돌을 배열하여 곡면 형태를 구현하기 위해서는 곡면 유형을 살펴보고, 적용할 곡면의 특징을 검토하여야 한다. 기하학적 관점에 따라 곡면을 분류한 것이 <표 2>이다. 곡면의 형태를 구성하는 요소는 단일곡면과 이중곡면으로 구분된다. 곡면의 생성 방식에 따라서는 회전곡면, 이동곡면, 선직면이 있다. 벽돌건축의 활성화를 위해서는 이와 같은 다양한 곡면에 대한 검토가 필요하다.

<표 2> 기하학적 관점에 따른 곡면 분류

곡면에 따른 구분	곡면 생성 방식에 따른 구분		
	회전곡면	이동곡면	선직면
단일곡면			 (단일 패적)
이중곡면			 (이중 패적)

<표 3>은 벽돌로 곡면을 조적할 때 면의 생성 방법이 복합적으로 나타나는 곡면의 유형과 그 특징을 보여준다. 이와 같은 곡면의 유형 중에 본 연구에서는 이동곡면과 선직면의 특징이 복합적으로 나타나는 이중곡률 곡면을 중심으로 벽돌의 파라메트릭 디자인에 대해 다루기로 한다. 다양한 곡면 유형 중에 이동곡면과 선직면의 특징이 복합적으로 나타나는 이중곡률 곡면을 다루는 이유는 다양한 곡률을 갖는 곡선을 추출할 수 있어, 벽돌 디자인 시 파생되는 난이도 있는 문제를 다룰 수 있기 때문이다. 따라서 벽돌을 배열하는 방법을 종합적으로 검토하기에 적합하다. 이중곡률 곡면의 조적 방법을 반영한 파라메트릭 디자인에 대해서는 4장에서 자세히 논의한다.

<표 3> 곡면의 생성 방식에 따른 유형과 특징

곡면 생성에 따른 분류			
Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
			
<ul style="list-style-type: none"> • 단일곡면+이동곡면 • 곡선의 평행이동 	<ul style="list-style-type: none"> • 단일곡면+선직면+이동곡면 • 다른 곡률을 갖는 곡선의 평행이동 	<ul style="list-style-type: none"> • 이중곡면+이동곡면 • 다른 곡률을 갖는 곡선이 직선의 패적을 따라 이동 	<ul style="list-style-type: none"> • 이중곡면+이동곡면+선직선 • 다른 곡률을 갖는 곡선이 또 다른 곡선의 패적을 따라 이동

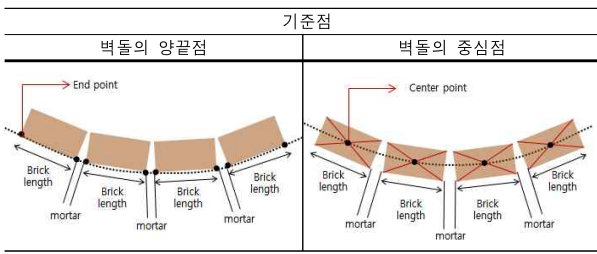
3.2. 기준점 설정

(1) 길이쌓기와 기준점

벽돌의 배열은 건물 외관에 심미적 아름다움을 표현하는데 영향을 미친다. Campbell(2003)에 따르면 벽돌 벽은 균일한 사각형 형태의 개별 단위를 연속적으로 배열하여 만들어진다고 하였다. 벽돌은 심미적 선호 여부에 따라 다양한 쌓기 방법이 있다. 다양한 쌓기 방법 중에 길이쌓기는 길이방향으로 벽돌을 배열하는 방법으로 비교적 시공이 쉽고 경제적이다. 본 연구에서는 다양한 쌓기 방법 중 길이쌓기에 의한 벽돌 조적 방법에 대해 다루기로 한다. 복잡한 곡률을 갖는 곡면에 길이쌓기 방법으로 벽돌을 배열하기 위해서는 곡면의 곡률을 조정하거나 벽돌을 절단해야 한다. 하지만 이는 디자인적 사고를 제한하거나 시공비를 상승시키는 요인이 된다. 따라서 본 연구는 벽돌의 절단 없이 곡면에 벽돌을 배열하는 조적방법을 개발하고자 한다. 이를 위해서 벽돌을 배열할 때 벽돌을 위치시키는 기준점을 어디에 설정하느냐가 중요하다. 기준점의 설정이 벽돌 벽의 표면적 특징을 표현하는데 영향을 미치기 때문이다. <표 4>는 벽돌을 배열할 때 벽돌의 기준점을 결정하는 두 가지 방법이다. 첫 번째 방법은 추출된 곡선과 벽돌의 양끝점이 만나는 점점에 벽돌을 놓는 것이다. 두 번째 방법은 벽돌의 중심점과 곡선이 만나는 점점에 벽돌을 놓는 것이다. 이는

파라메트릭 알고리즘을 구성할 때 곡면에 따라 추출된 곡선에 벽돌을 쌓는 기준점이 된다.

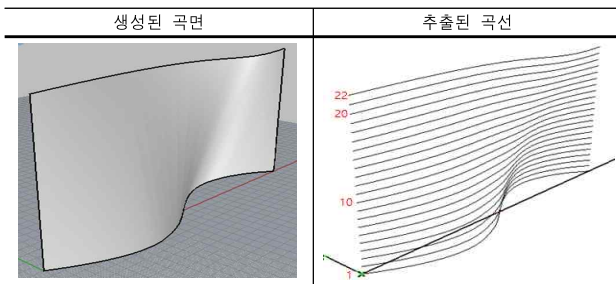
<표 4> 벽돌 배열시 기준점



(2) 곡선 유형에 따른 기준점

서로 다른 곡률을 갖는 이중곡면에서는 벽돌을 배열하는 기준선이 되는 곡선을 추출하는 것이 필요하다. 추출된 곡선들은 서로 다른 곡률을 갖는다. <표 5>는 본 연구에서 적용할 곡면에서 추출된 다양한 곡선의 유형을 보여준다. 곡면에서 곡선을 추출하기 위해서는 곡면과 벽돌의 크기를 설정한 후 벽돌을 위치시킬 수 있게 면을 분할해야 한다. 곡면을 분할하기 위해서는 곡면의 세로축을 기준으로 간격을 설정해야 한다. 세로축으로 분할되는 간격은 벽돌의 높이 + 세로 모르타르의 간격이다. 이와 같은 기준으로 곡면을 분할한 결과 총 22개의 곡선이 추출되었다. 추출된 22개의 곡선은 모두 다른 곡률을 갖는데, 다양한 곡률의 곡선 중에 이중곡률 곡선이 12개, 단일곡률 곡선 혹은 곡률에 영향을 받지 않는 이중곡률 곡선이 10개로 나타났다.

<표 5> 곡선 추출 예시



생성된 곡면으로부터 추출된 각각의 곡선에 벽돌을 배치할 때 벽돌과 벽돌 사이에 가로 모르타르 간격은 중요하다. 벽돌의 가로 모르타르 간격은 벽돌과 함께 건물 표면에 직접 드러나는 요소이기 때문이다. 가로 모르타르 간격은 벽돌을 배열하는데 있어, 기준점의 설정에 따라 그 간격이 상이하다. 이는 곡면에서 추출된 곡선에 따른 벽돌의 배열을 통해 확인할 수 있다. <표 6>은 곡선별 두 가지 기준점 설정에 따른 벽돌 배열의 특징을 보여준다. 그 특징을 살펴보면 이중곡률 곡선일 경우에는 양끝점을 기준으로 벽돌을 배열하면 가로 모르타르 간격은 동일하나 그 간격이 넓어진다. 중심점을 기준으로 벽돌을 배열하면 좁은 모르타르 간격을 유지할 수 있

으나 그 간격이 일정하지 않다. 단일곡률 곡선이거나 곡률에 영향을 받지 않는 이중곡률 곡선에 경우에는 벽돌 배열시 양끝점을 기준으로 벽돌을 배열하면 동일한 모르타르 간격을 갖고 그 간격도 좁다. 하지만 중심점을 기준으로 벽돌을 배열하면 불규칙한 모르타르 간격을 갖는다. 따라서 곡면의 유형에 따라 다른 기준점을 설정하는 것이 합리적이다. 이러한 분석을 바탕으로 파라메트릭 알고리즘을 구성할 때 곡면에 유형에 따라 기준점을 다르게 선택하는 방법이 필요하다.

<표 6> 추출된 곡선에 따른 기준점과 특징

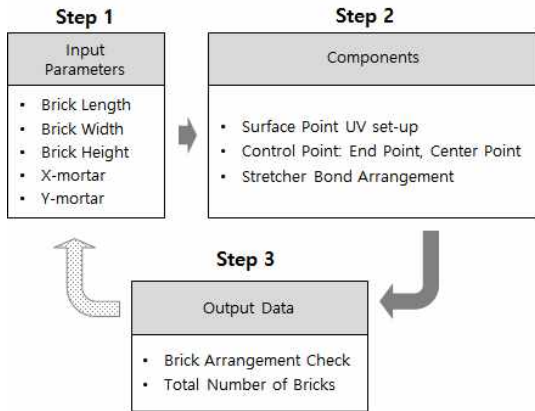
이중곡률 곡선 (12개)	양끝점 기준		- 모르타르 간격은 동일하나 간격이 너무 넓음.
	중심점 기준		- 모르타르 간격에 차이는 있으나 간격이 양끝 기준점에 비해 간격이 좁음.
단일곡률 곡선 + 곡률에 영향을 받지 않는 이중곡률 곡선 (10개)	양끝점 기준		- 모르타르 간격이 동일하고 좁음.
	중심점 기준		- 1,2번 벽돌과 5,6번 벽돌 사이의 간격을 비교해보면 간격의 차이가 있다는 것을 알 수 있음.

3.3. 매개변수

본 연구에서 다양한 곡면을 생성하기 위해 채택한 방법이 파라메트릭 디자인 방법론이다. 파라메트릭 디자인 방법론을 적용하여 특정한 디자인을 계획하는데 가장 중요한 요소는 매개변수이다. 매개변수들은 구성인자들 간의 관계를 결정하고 재조정하는 역할을 한다.¹⁰⁾ 구성인자들은 독립적이면서 동시에 다른 요소들에 영향을 준다. 본 연구에서는 벽돌 곡면 디자인을 계획함에 있어 계획 요소에 영향을 주는 인자들을 매개변수로 정의한다. 입력(Input)되는 매개변수는 벽돌의 가로, 세로, 높이, 모르타르 가로간격, 세로간격이다. <그림 4>는 각각의 요소들의 상호 연결 관계를 바탕으로 입력(Input)되는 매개변수를 정의하고, 양방향의 피드백이 가능한 과정을 보여준다. 벽돌 형태 생성에 영향을 주는 요소들은 독립적인 컴포넌트로 구성되어 필요에 따라 연결과 분리가 가능하다. 이와 같은 과정을 거쳐 생성된 최종 결과물은 벽돌의 배

10) Burry, Mark, Paramorph, AD Profile 139: Hypersurface Architecture II, London: Academy Editions, 1999, pp.78-83

열을 확인하고 벽돌의 개수를 산정하며, 피드백을 통한 수정과정을 거쳐 최종적인 계획안을 도출한다.



<그림 4> 매개변수, 구성요소, 데이터간의 상호연관성

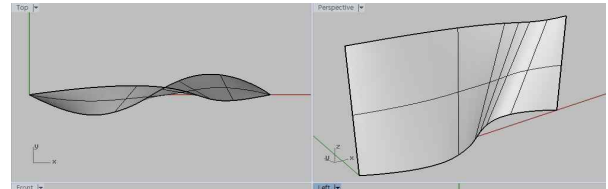
4. 파라메트릭 디자인

디자이너가 초기 디자인 아이디어를 최종적인 설계 안으로 발전시키기 위해서는 다양한 계획요소를 파악해야 한다. 또한 계획요소 간의 상관관계를 이해하는 것은 디자인 과정에서 일어나는 반복적인 피드백에 효율적으로 대응할 수 있기 때문에 무엇보다 중요하다(임진규·박정대, 2013). 이러한 계획요소를 바탕으로 벽돌 곡면 생성을 위한 알고리즘을 구축한다. 본 연구에서는 벽돌의 곡면 생성을 위해 파라메트릭 디자인 방법론을 적용하며, 이에 적합한 디자인 툴로 라이노(Rhino)와 그래스호퍼(Grasshopper)를 사용한다. <그림 5>는 알고리즘 구축을 통한 벽돌 곡면 형태 생성을 위한 단계별 과정을 보여주며, 세부 사항은 다음과 같다.

4.1. 곡면 생성

디자이너가 복잡한 곡률을 갖는 3차원적 곡면을 보다 쉽게 생성하기 위해서는 디자인 툴이 필요하다. 본 연구에서는 비정형적인 형태를 디자인하기 위해 디지털 툴을 사용한다. 다양한 디지털 툴 중에 쉽게 이중곡률 곡면을

생성하기 위해 사용한 프로그램이 라이노(Rhino)이다. <그림 6>은 본 연구에서 적용한 이중곡률 곡면을 보여준다. 이중곡률 곡면을 선택한 이유는 다양한 곡률을 추출하고, 이에 따른 벽돌의 배열을 검토하기에 적합하기 때문이다. 생성된 곡면은 그래스호퍼(Grasshopper)를 통해 구축된 알고리즘과 연결되어 형태를 생성하고 변경한다.

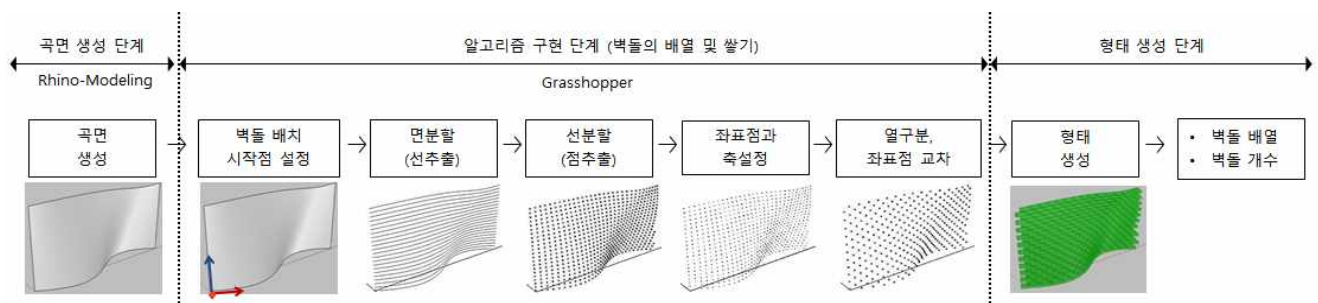


<그림 6> 라이노(Rhino)에서 생성된 이중곡률 곡면

4.2. 파라메트릭 알고리즘 구현

벽돌 곡면 벽은 곡면을 형성하는 곡선에 벽돌을 배열하고, 이를 열에 따라 쌓음으로 생성된다. 벽돌의 곡면 형태를 생성하기 위해 벽돌 자체를 모델링하고 곡률에 따라 벽돌을 회전시키는 전통적인 작업은 많은 시간이 요구된다. 따라서 생성된 곡면에 벽돌을 배열하여 곡면 형태를 쉽게 구현하기 위해서는 디자인과 수정과정을 자동적으로 제어할 수 있는 파라메트릭 디자인이 효과적이다. 본 연구에서는 파라메트릭 디자인 툴 중 하나인 그래스호퍼(Grasshopper)를 사용하며, 개발한 알고리즘의 세부내용 및 절차는 다음과 같다.

- (1) 생성된 곡면에 벽돌을 배열하기 위해 벽돌의 시작점을 설정한다.
- (2) 시작점으로부터 벽돌을 배열하기 위해 곡면을 분할하여 벽돌을 배치할 곡선들을 생성한다.
- (3) 추출된 선을 분할하여 벽돌을 위치시킬 좌표점을 생성한다. 본 연구에서는 벽돌의 위치를 지정할 때 두 가지 기준점을 사용한다. 첫 번째는 벽돌의 중심점을 생성된 좌표점에 위치시키는 방법이고, 두 번째는 벽돌의 넓이만큼의 원을 그려가며 벽돌의 양끝점이 곡면에 맞는 지점에 벽돌의 앞부분을 위치시키는 방법이다. 이러한 두 가지의 기준점을 곡면의 유형에 따라 선택할 수 있다



<그림 5> 벽돌 곡면 생성을 위한 알고리즘 구축 과정

록 컴포넌트로 구성한다.

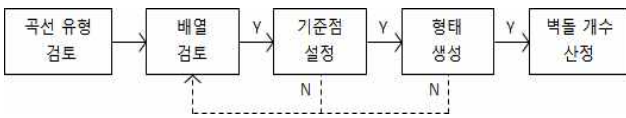
(4) 벽돌을 위치시킬 축을 설정한다.

(5) 길이쌓기 방법을 적용하기 위해 홀수열과 짝수열을 구분한 후, 벽돌이 엇갈려 배치 될 수 있게 짝수열의 좌표점을 홀수 열과 교차되게 이동한다.

(6) 교차된 좌표점에 벽돌을 위치시켜 형태를 생성한다.

4.3. 벽돌 곡면 형태 생성

파라메트릭 알고리즘으로 구현된 벽돌 곡면은 다양한 형태를 빠르게 생성하고 수정할 수 있다는 점에서 합리적이다. 이러한 벽돌의 곡면 형태 생성 과정을 보여주는 것이 <그림 7>이다. 그 과정을 살펴보면, 곡면에서 추출된 곡선의 유형과 그에 따른 벽돌의 배열을 확인한 후 기준점을 설정한다. 기준점을 설정한 후 형태를 생성하고, 생성된 형태의 모르타르 간격을 재조정하고, 벽돌사이의 간격을 확인한 후 벽돌 곡면 형태를 재생성 한다. 마지막으로 결과물에 대한 벽돌의 개수를 산정하여 대략 견적의 기준으로 삼는다.



<그림 7> 형태 생성 프로세스

<표 7>은 파라메트릭 디자인 방법으로 이중곡률 곡면에 벽돌을 배열하여 곡면 형태를 생성하는 과정이다. 우선 추출된 곡선의 유형에 따라 벽돌의 배열을 검토하고 기준점을 설정한 후 벽돌 곡면 형태를 생성한다. 곡면으로부터 추출된 곡선의 유형을 살펴보면 단일곡률 곡선은 10개, 이중곡률 곡선은 12개로 이중곡률 곡선의 비중이 높다. 따라서 모르타르 간격이 불규칙하게 나타나기는 하지만 좁은 간격으로 벽돌을 배열 할 수 있는 중심점 기준으로 결과물을 생성한다. 또한 추출된 이중곡선 중 곡률이 가장 심하게 나타나는 1열의 이중곡선을 바탕으로 벽돌의 배열과 모르타르의 간격을 조절한다. 이와 같은 방법으로 생성한 벽돌 곡면 형태의 예시를 보여주는 것이 <표 8>이다. 이처럼 복잡한 곡률을 갖는 벽돌 벽의 디자인을 쉽고 빠르게 구현할 수 있는 것이 파라메트릭 디자인의 장점이다.

5. 결론

벽돌은 친환경적이고 감성적인 마감재일 뿐만 아니라 실내 환경의 질을 높여주기 때문에 매우 유용한 건축 재료이다. 최근 디지털 기반의 건축기술의 발달은 전형적인 직선적 형태를 벗어나 비정형적이고 유기적인 형태의 건축 디자인을 가능하게 한다. 이는 단순한 형태적 접근

<표 7> 곡면 형태 생성 과정

	생성 이미지	속성 값
곡선 유형		<ul style="list-style-type: none"> - 총 22개 곡선 추출 - 이중곡률 곡선: 12개 - 단일곡률 곡선 혹은 곡률에 영향을 받지 않는 이중곡률 곡선: 10개
배열 검토		<ul style="list-style-type: none"> - 각각의 열에 따른 가로 모르타르간격 조절
기준점 설정		<ul style="list-style-type: none"> - 중심점 기준 - 가로 모르타르 간격 결정: 10mm
형태 생성		<ul style="list-style-type: none"> - 곡면 크기: 가로3m x 세로1.5m - 벽돌 크기: 가로 19cm x 세로 9cm x 높이 5.7cm - 총 벽돌 개수: 363개

에서 벗어나 다양한 디자인의 기회를 디자이너에게 제공하고, 복잡한 곡면을 형상화하여 설계단계에서 효율성을 높여준다. 하지만 국내의 경우 벽돌건축에 대한 관심은 증가하였으나, 여전히 기존 설계방식을 고수하고 있고, 경제성과 시공성을 이유로 직선적 형태를 벗어나지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 파라메트릭 디자인 방법론을 적용하여 다양한 벽돌 곡면 형태를 생성하고 실시간 피드백에 자동적으로 대응할 수 있는 파라메트릭 디자인 방법을 제안하였다. 이에 따라 본 연구가 기여하는 바는 다음과 같다.

첫째, 벽돌곡면을 디자인하기 위한 파라메트릭 디자인 방법은 초기 설계 단계부터 활용이 가능하며, 다양한 형태를 빠르게 생성할 수 있어 효율적인 설계를 돕는다. 이는 비정형적인 벽돌건축물의 형태를 생성하는 기반을 마련할 것으로 기대한다. 둘째, 벽돌을 절단하는 대신 곡면의 유형을 분석하여 벽돌을 배열하는 방법은 비용 절감 측면에서 합리적이다. 또한 본 연구에서 길이쌓기에 초점을 맞추어 개발한 방법론은 다양한 쌓기 방법에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 셋째, 곡면의 유형에 따라 벽돌을 배열할 때 모르타르의 간격이 미치는 조형성을 고려하여 벽돌을 위치시키는 기준점을 두 가지 방법으로 개발하였다. 이는 곡면 벽돌건축의 표면을 유연하게 하고 다양한 심미적 표현을 가능하게 한다.

<표 8> 벽돌 곡면 형태 예시

	기본 유형	변형 1	변형 2	변형 3
Type 1				
Type 2				
Type 3				
Type 4				

본 연구는 벽돌을 자르지 않고 온장 벽돌을 그대로 사용하여 다양한 곡면의 디자인을 구현할 수 있는 방법을 개발하였다는 점에서 그 의미가 크다. 본 연구에서 개발한 조적 방법을 사용함으로써 벽돌 곡면의 형태 생성을 신속하게 할 수 있다는 것이 곡면 조적 디자인 방법론의 장점이다. 또한 벽돌을 배열할 때 곡선의 유형에 따라 기준점을 다르게 설정할 수 있게 하여 곡면 형태의 조형적 표현을 가능하게 한다는 점에서 차별성을 갖는다. 향후 본 연구의 방법론을 사용하여 다양한 쌓기 방법에 적용하고, 벽돌의 화학적 특성, 공법, 예산, 환경적 요인을 분석하는 연구를 진행할 것이다. 또한 본 연구의 결과를 바탕으로 곡물에 의한 구조분석과 시공단계에서 발생할 수 있는 문제점들에 실시간으로 대응할 수 있는 효율적인 설계 방법을 개발하는 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 김민석, 건축설계과정에서 그래스호퍼(그래스호퍼(Grasshopper) 프로그래밍의 효율적 접근에 관한 연구, 한국CDE학회논문집, 제21권, 제4호, 2016
- 김종국, CGI 소프트웨어를 기반으로 한 파라메트릭 건축 디자인의 형태 생성 프로세스에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 제16권, 제6호, 2014
- 김형범, 2010년대 서울의 중·소규모 건축에서 나타난 벽돌쌓기와 구축성에 관한 연구, 서울시립대 석사논문, 2017
- 류호창, 디지털 건축에서 나타나는 재료의 기술적 표현 유형

- 및 특성, 한국디자인트렌드학회, 제33권, 2011
- 문성우, 페리메트릭 기술을 이용한 건축 디자인 체계화에 관한 연구, 아주대 석사논문, 2011
- 박정대, 곡면형상의 구축을 위한 디지털 기술과 건축 디자인 프로세스, 서울대 박사논문, 2005
- 박중하 외 2명, 비정형 초고층건물의 곡면분할을 위한 파라메트릭 디자인 프로세스 제안, 대한건축학회논문집 계획계, 제31권, 제3호, 2015
- 박형진, 라이트와 이토 건축의 유기적 개념과 해석 특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집, 제22권, 제4호, 2013
- 임진규, 박정대, 파라메트릭 디자인을 활용한 비정형 형태생성 기법에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제29권, 제8호, 2013
- 황태주, 현대건축에 나타난 유기적 표현에 관한 연구, 과학과 문화, 제2권, 제3호, 2005
- Andres Cavieres 외 2명, Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: Conceptual design and preliminary structural analysis, Automation in Construction, Vol.20, 2011
- Burry, Mark, Paramorph, AD Profile 139: Hypersurface ArchitectureII, London: Academy Editions, 1999
- Campbell, J. W, Brick: a world history, London, UK: Thames & Hudson, 2003
- Kereshmeh Afsari 외 2명, Integrated Generative Technique for Interactive Design of Brickworks, Journal of Information Technology in Construction, Vol.19, 2014
- Lampugnani, Vittorio Magnago, Architektur und Städtebau Des 20, 1980

[논문접수 : 2017. 10. 31]
 [1차 심사 : 2017. 11. 18]
 [2차 심사 : 2017. 12. 05]
 [게재확정 : 2017. 12. 26]