

Analysis and Solution of Errors in 3D Modeling for 3D Printing Objects

3D 프린팅 출력물을 위한 3D 모델링의 오류 분석과 해결방안

Kyoung-Ju Seo · Kyunsuk Choi · Hoyoung Kim

서경주* · 최균석** · 김호영†

Abstract

Digital technology has attempted to blur the boundaries between architectural design and fabrication, which have been established since the Renaissance. However, these boundaries still exist, due to the discontinuity between digital modeling and fabrication, which often derives from errors encountered in the process of file conversion. To bridge this discontinuity, this study intends to identify and analyze the causes of errors during the process of converting 3D modeling to Standard Triangulated Language (STL) file, and then to provide solutions that fix the errors. The STL file errors are results of failing to understand or ignoring the difference between 3D modeling for 3D printing and for visual presentation. For this reason, this study conducted an error analysis using Materialize Magics (STL editing and repairing software) to investigate types of the errors and to suggest ways of repairing 3D modeling with such errors.

Key Words

3D Modeling, 3D Printing, STL, File Conversion, Fabrication

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

르네상스 문명의 등장 이후, 건축 프로세스는 설계와 시공/구축으로 분리되었고, 현재까지도 그 분리된 영역에서 각 주체는 자신의 내재화된 기술과 관습에 기반 하여 건축 행위를 하고 있다. 하지만, 지난 세기 후반부터 디지털 디자인과 테크놀로지의 발달로 인해, 이러한 근대적 건축 프로세스의 분리된 경계가 이미 일부에서는 희미해지거나 무너지고 있다. 이는 중세 장인의 수공예 정신과 열망을 디지털 디자인과 테크놀로지로 복원하려는 의지의 발로다. 다시 말해서, 중세 장인의 머리와 손은 컴퓨터와 기계로 대체되었고, 디지털 모델링 데이터에 기반 한 시각적 형태와 공간 디자인에서 실물 제작으로 이어지는 과정은 더 이상 분리된 프로세스가 아니다. 더욱이, 모델링 데이터에 의한 형태와 공간 디자인은 무한반복 되거나 무한 변형될 수 있고, 그것에 의한 실물 제작은 균질한 품질을 유지할 수 있다.

이러한 디지털 중세의 무한한 변형과 균질한 제작을 가능하게 만든 원동력은 항공우주와 자동차 산업 분야에서 수십 년간 쌓아온 3D 모델링과 3D 프린팅 테크놀로지다. 수잔 피드먼트-

팔라디노 (Susan Piedmont- Palladino)에 따르면, 건축 분야에서 상업적으로 사용할 수 있는 캐드 시스템은 1960년대에 이미 발명되었지만, 오토데스크 (Autodesk) 사의 오토 캐드(Auto CAD)는 1982년에 첫 출시되었고, 1987년에 이르러서야 비로소 3차원을 표현할 수 있는 오토 캐드 10 (Auto CAD 10)이 출시되었다. 이후, 3차원 모델링 소프트웨어는 속속 개발되었다. 1990년대에는 폼·지 (Form·Z)와 레빗(Revit)이 그리고 2000년대에는 SketchUp (SketchUp)이 개발되었다 [1].

그러나 이러한 3D 모델링 소프트웨어들은 컴퓨터 모니터에서만 시각적으로 구현할 수 있을 뿐, 바로 실물 제작으로 이어지지 못했다. 실물 제작을 가능하게 만들었던 것은 3D 프린팅 테크놀로지였고, 건축에는 오토 캐드 10이 발표된 이듬해인 1988년에야 소개되었다. 다시 말해서, 3D 모델링이 모니터에서 건축물을 시각적으로 구현했다면, 3D 프린팅은 현실에서 그 시각적 구현을 물리적 결과물로 제작할 수 있다. 하지만, 3D 모델링과 3D 프린팅의 관계는 불연속적이며, 변환(conversion) 혹은 번역(translation)의 과정을 거쳐야 한다.

다시 말하면, 3차원 모델링의 데이터들은 기하학적 형태의 폴리곤으로 구성되어 있어, 물리적 제작을 위해서는 3D 프린팅 장비가 인식할 수 있는 좌표 값으로 이루어진 Standard Triangulated

† Corresponding Author : Dept. of Architecture, Hanbat National University, Korea.
E-mail: hoyoung.kim0710@hanbat.ac.kr
http://orcid.org/0000-0001-5832-5033
* Dept. of Architecture, Hanbat National University, Korea.
http://orcid.org/0000-0002-3818-0612
** Dept. of Industry-Univ. Convergence, Hanbat National University, Korea.
http://orcid.org/0000-0002-7528-9924

Received: Dec. 27, 2022 Revised: Jan. 09, 2022 Accepted: Jan. 10, 2022

Copyright © The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Language (이하 STL) 파일 형식으로 변환시켜 저장되어야 한다. STL은 3D 모델링의 표면을 세 개의 vertex와 normal에 의해 정의되는 삼각형의 집합으로 저장한다. 그리고 나서, 슬라이서 소프트웨어(Slicer Software)를 통해 3D 프린팅을 위한 출력 조건들은 조절되며, 고유 명령 체계(G-code)가 생성된다. 이러한 일련의 변환 혹은 번역의 과정은 피할 수 없는 위험에 직면하게 된다. 로빈 에반스(Robin Evans)는 일찍이 설계매체들 사이에서의 전이 과정에서 오역, 생략, 첨가 등으로 인해 필연적으로 발생하는 문제점들을 지적하고 있다 [2].

따라서 본 연구의 목적은 시각적 프리젠테이션을 위한 3D 모델링 파일 데이터에서 물리적 프린팅을 위한 3D 프린팅 파일 데이터로의 변환 과정에서의 발생하는 오류들을 분석하여, 이를 바탕으로 3D 프린팅 출력물을 위한 3D 모델링 오류 해결 방안을 제시하고자 한다. 일부 연구들에서도 3D 프린팅 출력 과정에서의 오류와 원인을 검토했으나, 내·외부적 측면들을 종합적으로 다루지 못하였던 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 기존 연구들에서 다루지 못한 부분들을 보완하고자 한다.

1.2 연구 대상 및 방법

본 연구에서는 3D 프린팅 제작을 위한 3D 모델링 파일 데이터에서 발생하는 오류들을 분석할 예정이므로, 3D 모델링 파일 데이터를 연구 대상으로 삼는다. 그리고 이러한 3D 모델링 데이터들로부터 발생 가능한 오류들의 유형을 내부적 측면과 외부적 측면에서 살펴본다. 내부적 측면에서는 구조 형태를 중심으로 오류 원인을 파악하고, 외부적인 측면에서는 사용하는 모델링 소프트웨어를 중심으로 살펴본다.

첫째, 3D 프린팅 출력물을 구현하는데 있어, 특정 구조 형태가 오류 발생에 주요한 요인이 되는지 확인하고자 한다. 이러한 목적 하에, 구조 형태를 선형, 평면형, 곡면형, 자유곡면형과 같이 네 가지로 분류하고, 이를 기준으로 수집한 3D 모델링 데이터에서 오류들의 발생량 변화를 비교 분석한다.

둘째, 제작 방식이 다른 소프트웨어들의 선택으로 인해, 주요한 오류가 발생하는지 살펴본다. 건축 분야에서 3차원 모델링 데이터를 생성하기 위해 사용하는 소프트웨어로는 SketchUp, Rhino, Revit 등이 있다. 이 소프트웨어들은 3D 모델링 데이터를 구현함에 있어서는 부족함이 없지만, 3D 프린팅 출력 시에 종종 오류들이 발생시키기도 한다 [3]. 이러한 측면을 고려하여, 주로 사용하는 3D 모델링 소프트웨어를 중심으로 동일한 구조 형태에서도 오류를 발생시키는지 분석한다.

이렇게 분류한 3D 모델링 데이터들을 3D 프린팅 출력에 앞서 STL 파일로 변환하고, Magics를 활용하여 오류 데이터 값을 분석하고 오류가 발생하는 원인을 파악한다. 그리고 수집한 모델링 파일의 각각의 항목별 오류 발생량을 백분율로 비교 분석한다. 마지막으로, 3D 모델링에서 발생하는 유형들을 파악하여, 각각의 오류 해결방안을 제시한다.

2. 선행 연구 및 이론 고찰

2.1 선행 연구

2.1.1 3D 모델링과 디지털 제작에 관한 연구

표 1에서 보는 바와 같이 지난 십여 년간, 국내에서 발표된 건축 3D 모델링과 디지털 제작에 관련한 선행 연구들을 살펴 보았다. 2000년대 후반부터는 BIM 기술과 CNC 가공의 도입으로 디지털 디자인 프로세스에 관한 연구가 본격화 되었다. 이재국과 이강복의 “비정형 건축 구현을 위한 디지털 디자인 프로세스에 관한 연구”(2011)에서는 비정형 건축물 구현에 디지털 디자인 프로세스가 적용된 배경과 사례 중심으로 분석하였고, 비정형 건축 구현을 위해 통합적인 디지털 디자인 프로세스 적용의 필요성을 강조하였다. 유정원의 “비정형 건축물 구현을 위한 디지털 기술의 변천에 관한 연구”(2011)에서는 디지털 기술이 적용된 비정형 건축물의 시대별 변천을 사례 중심으로 분석하였다.

디지털 모델링의 발전과 함께 디지털 모형 제작 프로세스에도 변화가 있었다. 송규만과 이경윤의 “비정형 건축형태 구현을 위한 통합적 디지털 디자인과 제작프로세스에 관한 연구”(2012)에서는 디지털 디자인 제작 기법으로 재료에 따른 공작기 가공 특성을 분류하고, 디지털 프로세스로 CAM 스크립트를 설계 하였다. 여기에 나타난 디지털 공작기는 CNC와 커팅기 등이다. 이후 디지털 제작기법의 하나로 3D프린팅이 등장하며, “디지털 제작 기술을 이용한 건축 설계”(2014), “3D 프린팅 기술을 이용한 건축물 모형 제작”(2015)과 같은 3D 프린팅 기술을 적용한 사례를 보여주는 사례 중심의 연구가 진행되었다. 대부분의 선행 연구들에서는 사례 분석 및 프로세스 적용의 필요성에 대한 연구가 대부분으로 실제 건축 모델링의 3D 프린팅 출력 시 실무에 필요한 데이터 호환 오류 및 한계에 대한 실험적 연구는 부족했다. 박삼미외 3인의 “3D 프린터 출력을 위한 토목구조물의 3D 모델링 구성 및 활용방안”(2017)에서 토목구조물에서 모델링 BIM 데이터의 프린팅 출력 오류와 원인을 검토하는 연구는 진행 되었으나, 더 큰 규모의 건축 모델링까지 포함되지 않았다.

그리고 전기 시설 분야에서도 3D 프린팅 테크놀로지를 활용한 부재의 제작과 생산에 대한 관심을 증대하고 있고, 이를 반영한 연구들을 진행해왔다 [4,5]. 최근 연구로는 “3D 프린터의 출력 품질 향상에 대한 연구”(2019)와 “철도 전철 부품의 스마트 제조 기술 기초연구”(2020), 그리고 “3차원 프린팅을 활용한 부분적 빈 공간 기관 집적 도파관과 1:2 진행파 전력합성기”(2021) 등이 있다. 이 연구들에서 디지털 제작 과정을 설명하면서, 3D 프린팅 출력의 품질 향상에 대한 연구의 필요성을 강조한다.

표 1 3D 모델링과 디지털 제작에 관한 연구

Table 1 Researches on 3D modeling and digital fabrication

	Author(s)	Title (Year)	Summary
3D Modeling	J. K. Lee, K. Lee	“A Study on Digital design process of the materialization of Free for Design Architecture,” (2011)	To analyze the cases of free-form building construction and explain the necessity of applying integrated digital design process for them
	J. Ryu	“The Transition of Digital Technologies for Irregular Shaped Buildings,” (2011)	To investigate cases showing the historical changes of free-form architectural objects based on digital technologies
Digital Fabrication	K. M. Song, K. Y. Lee	“Integrated Digital Design & Fabrication Methods for Complex Architectural Forms,” (2012)	To suggest the mechanical setting and digital scripting for experimenting with various forms and materials, utilizing tools of digital fabrication such as Laser cutter and CNC machine
	D. Hwang	“Architectural Design through Digital Fabrication,” (2014)	To examine several cases that digital fabrication technologies have been used in architecture and its corresponding areas and suggest new ways of designing objects
	Y. J. Lee, S. Jang, I. H. Lee	“Fabrication of Structure Miniature using 3D Printing,” (2015)	To suggest a digital fabrication process, utilizing 3D printing technology
	S. M. Park, H. S. Kim, S. J. Han, L. S. Kang	“3-Dimensional Modelling of Civil Engineering Structures for 3D Printing and Its Application,” (2017)	To analyze problems occurring in 3D printing process of 3D BIM-based modeling, and propose ways of reducing these problems
3D Printing Quality	D. H. You, G. B. Park	“A Study on the Improvement for Printing Quality of 3D Printer,” (2019)	To suggest optimized 3D-printing conditions to thickness set by the slice program, while using FDM-type 3D printer
	K. Choi, J. U. Kim, K. Lee, K. J. Seo, Y. Park	“A Basic Study on Digital Manufacturing Technologies for Catenary System in Railway,” (2020)	To demonstrate that the use of 3D modeling technology for fabricating particular components used for electrification in electric railways are essential
	S. H. Han, H. W. Sung, D. W. Kim	“Partially Hollow Substrate Integrated Waveguide and 1:2 Traveling-Wave Power Combiner using 3D Printing,” (2021)	To demonstrate that structures utilizing 3D printing technologies are effective for small customization production of microwave components

2.1.2 3D 프린팅 소프트웨어에 관한 연구

표 2에서 보는 바와 같이 타 분야에서는 3D 프린팅을 위한 모델링 소프트웨어에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히, 본 연구에서 다루고 있는 SketchUp은 손쉽게 접근할 수 있는 3D 모델링 도구이지만, 3D 프린팅을 위한 STL 파일을 지원하지 않는 단점을 가지고 있다. “SketchUP 3D 모델로부터 STL 파일 생성”(2015)과 “3D 프린팅 지원을 위한 SketchUp 개선 연구”(2015)에서는 이러한 문제점을 개선할 수 있는 방안을 모색하고 있거나, 새로운 모델링 도구 개발을 제안하고 있다. 더불어, 민가영 외 3인의 “3D 프린터를 위한 STL 파일 모델링 도

구”(2017)에서는 별도의 변환 과정을 거치지 않고 오브젝트에서 STL로 변환할 수 있는 모델링 도구를 제시하려고 하고 있다.

표 2 3D 프린팅을 위한 소프트웨어에 관한 연구

Table 2 Researches on software for 3D printing

Author(s)	Title (Year)	Summary
W. Y. Park, D. G. Lee, S. K. Kim	“Generation STL File from SketchUp 3D Model,” (2015)	To discuss software implementation methods converting from SketchUp 3D Modeling data to STL File data
J. M. Yang, D. G. Lee, S. K. Kim	“A Study on Improvement of SketchUp for 3D printing support,” (2015)	To search solutions to improve SketchUp for digital design optimized 3D printing
G. Y. Min, S. H. Choi, Y. G. Kim, K. H. Yoo	“A Tool for STL file modeling for 3D Printer,” (2017)	To suggest a 3D modeling tool that can covert from object to STL, without additional conversion process
C. Yeo, D. Mun	“Procedure to Convert a 3D Model in STL to OBJ File,” (2017)	To explain the characteristics of OBJ file, different from STL file, and suggest the procedure to convert form STL file to OBJ file

하지만, 기존의 선행 연구들에서는 3D 프린팅을 위한 모델링 데이터에서 발생하는 데이터 자체의 오류를 검사하고 수정하려는 시도가 활발하게 이루어지지 않고 있음을 알 수 있었다.

2.2 3D프린팅과 모델링의 기초 이론

2.2.1 3D 프린팅의 제작 공정

3D 프린팅은 기계의 움직임을 제어하여 그 출력물을 얻는다. 이를 위해, 공간 좌표와 이동 방향 등의 정확한 정보를 가진 모델링 데이터는 필수적이다 [6]. 그리고 3D 프린팅의 제작 공정에서 활용되는 데이터는 3D 출력물 제작을 위한 모델링 파일 데이터 이외에도, 물리적 공간을 인식할 수 있는 STL 파일 데이터와 레이어 슬라이싱을 통해 생성된 G-Code 파일 데이터가 추가적으로 필요하다 [7]. 그림 1에서 보는 바와 같이, 세 종류의 파일들이 일련의 제작 과정에서 변환을 거치며, 3D프린팅

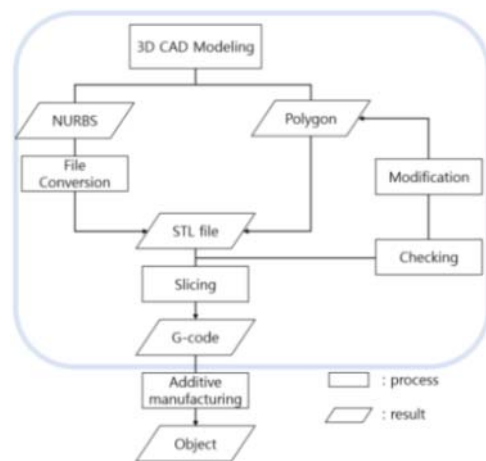


그림 1 3D 프린팅 제작 공정표(전처리 공정 중심) Fig. 1 3D printing fabrication process (centered on the pretreatment process)

출력물로 이어진다. 3D 프린팅의 일반적인 제작 공정, 즉 전처리 공정은 3D 모델링으로부터 시작된다. 제작된 3D 모델링은 STL이라는 일종의 메쉬모델로 파일 변환이 이루어진다. 이 메쉬 모델은 레이어 슬라이서를 통해 3D 프린터 작동을 위한 기계 공작 언어인 G-Code로 변환된다. 이와 같은 3D 모델링에서 G-Code까지의 일련의 변환 과정 가운데서 3D 프린팅 출력의 실패 원인은 발생하곤 한다.

2.2.2 3D 모델링 소프트웨어의 파일 변환

건축 설계에서 많이 사용하는 3D 모델링 소프트웨어인 CAD(.dwg), Rhino(.3dm), Revit(.rvt), SketchUp(.skp)은 각각의 파일 포맷으로 저장하여 사용된다. 이렇게 제작된 CAD 모델링의 3D 프린팅 출력을 위해서는 STL이라는 하나의 메쉬모델로 파일 변환이 필요하다. STL은 Stereolithography, Standad Triangulated Language의 약어로 3D 모델링의 표면을 삼각형 단위로 표현하며, 세 개의 vertex와 normal을 가지고 있다 [8]. STL은 데이터 처리 속도가 빠르고 외곽선이 뚜렷하여 적층제조 3D 프린팅에 일반적으로 사용되는 파일 포맷으로 자리 잡았다.

본 연구에서는 건축 모델링의 3D 프린팅 출력 오류발생과 모델링 소프트웨어에서의 STL 포맷 파일 변환의 관계에 대해 검증하고, 모델링 오류 종류를 분석하여 이를 해결하고자 하였다. 폴리곤 방식인 SketchUp과 넵스 방식인 Rhino, 그리고 솔리드 방식인 Revit에서 STL 포맷으로 변환하였을 때, 3D 프린팅 출력 오류와의 관계에 대해 알아보하고자 한다. 이를 통해 3D 프린팅에 적합한 3D 모델링 소프트웨어를 분석하고자 한다.

2.2.3 3D 모델링 오류 패턴

3D 모델링에서 발생하는 일반적인 오류 패턴들은 그림 2에 서 보는 바와 같이 여섯 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 모델링의 표면이 뒤집혀 있는 경우다. 폴리곤 메쉬 방식은 여러개의 삼각형들의 집합으로 구성되어있다. 각 삼각형은 세 개의 정점과 법선 벡터를 가진다 [9]. 이 때, 모든 법선벡터의 방향은 모델의 바깥을 향하여야 한다. 그러나 모델링 표면의 일부에서 노멀 방향이 내부를 향하는 경우가 발생하는데, 프린터가 이 모델링의 내부와 외부를 정확하게 인식하지 못하여 오류가 발생한다.

둘째, 모델링의 두께가 0인 경우다. 3D 프린터 사양에 따라 제작 가능한 모델 두께는 다르다 [10]. 노즐의 두께보다 작은 모델 두께는 제작이 되지 않으며, 이를 오류로 인식한다. FDM은 약 0.4~0.6mm, SLA, SLS는 약 0.1~0.2mm 미만의 두께를 인식하지 못하여, 출력물을 생산하지 못 한다. 따라서, 사용할 3D 프린터의 제작 가능한 두께를 파악한 후, 모델링 작업을 필요로 한다. 또한, 3D 프린팅을 위한 모델링은 부피를 가진 솔리드 형태여야 한다. 예를 들면, 건축 모델에서 철골조와 같은 두께가 얇은 건축 부재를 면으로 모델링 하는 경우는, 3D 프린

터는 그 건축 부재를 두께가 0으로 솔리드로 인식하지 못하여 출력물로 생산하지 못한다.

셋째, 모델링에서 폴리곤이 닫혀있지 않은 경우다. 3D 모델링은 폴리곤이 완전히 닫힌 워터타이트 구조여야 한다 [11]. 폴리곤 모델은 다각형의 폴리곤을 이어 붙여서 3D형상으로 만들어진다. 특히, 모델링의 보이지 않는 부분에서 이러한 오류가 많이 발생하였다. 예를 들면, 벽의 밑면과 같이 땅에 가려지는 부분을 생략하거나, 건축 모델의 내부에 위치한 가구 등에서 오류가 발생한다.

넷째, 둘 이상의 부재가 교차하여 중첩되는 경우다. 일반적으로 셀은 내부와 외부로 구분하는 하나의 객체를 말한다. 하나의 셀 또는 여러 개의 개별 셀들에는 오류가 발생하지 않는다. 그러나, 셀이 중첩되는 경우 3D프린터가 모델링의 내부와 외부로 구분하지 못해 오류가 발생했다. 건축의 부재를 표현하는 여러 개의 셀들이 생성 될 때, 종종 셀이 중첩되는 경우가 발생한다. 예를 들면, 커튼월이 반복되는 그리드에서 부재가 교차되어 중첩되는 오류가 발생한다.

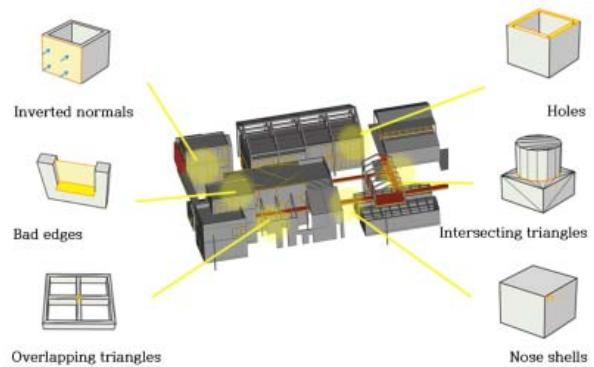














그림 2 6가지 오류 패턴
Fig. 2 Six error patterns

표 3 3D 프린팅을 위한 3D 모델링에서의 흔한 오류 현상과 정의

Table 3 Common Error Phenomenons and Definitions of 3D Modeling for 3D Printing

1. Inverted normals		2. Zero Wall Thickness	
Error Phenomenon		Error Phenomenon	
In the process of creating the inner/outer surfaces of objects, several polygons can be inverted, when some normal vectors of surfaces are not taken into consideration.		When creating a 3D modeling of a component that thickness is thin, such as steel, several surfaces of the 3D modeling are not recognized as solid because their thickness is almost equal to zero.	
Error Definition		Error Definition	
Polygons are made up of a group of triangles and each triangle has three vertices and normal vectors. The directions of normal vectors for the surfaces of 3D modeling should face outside.		In a 3D modeling, the thickness of components able to manufacture varies depending on the specifications of 3D printer. A components possessing thickness smaller than a threshold value can not be manufactured.	

3. Bad Edges		4. Overlapping triangles	
<p>Error Phenomenon</p> <p>In the process of visually modeling the outer surface of objects, invisible surfaces from the screen are not precisely represented. Due to this convention, bad edges occur.</p> 		<p>Error Phenomenon</p> <p>In a 3D modeling, various components are made, interacting with and mutually supporting each other. When the components are intersected, some errors occur.</p> 	
<p>Error Definition</p> <p>In a 3D polygon-type modeling, polygons are stitched each other. At this moment, polygons of the 3D modeling should be closely stitched.</p> 		<p>Error Definition</p> <p>When several shells are intersected, their contours are not recognized. At this moment, some errors occur.</p> 	
5. Intersecting triangles		6. Noise Shells	
<p>Error Phenomenon</p> <p>In a 3D modeling, various components are interacted with each other, and thereby contacted one another. At this moment, several polygons contacted one another are overlapped and then they make an error.</p> 		<p>Error Phenomenon</p> <p>In a 3D modeling, building is made up of a large number of data. Due to this extensive data, some noise shells are easy to occur. Specifically, furniture possessing refined details may cause a error.</p> 	
<p>Error Definition</p> <p>When several polygons are overlapped, they are related to more than two shells or a single shell.</p> 		<p>Error Definition</p> <p>In a process of converting from nurbs model to mesh model, some objects below a threshold value are recognized as a noise shell.</p> 	

다섯째, 둘 이상의 부재가 맞닿아 중첩되는 경우다. 건축 부재들 사이(기초-기둥, 기둥-보, 보-슬래브)의 맞닿은 면에서 폴리곤들이 중첩되어 오류가 발생한다. 폴리곤이 중첩되는 경우는 둘 이상의 셀에서 각각의 면이 중첩되는 경우다. 셀을 구성하고 있는 폴리곤이 겹친 경우에 오류가 발생한다.

여섯째, 노이즈 셀이 있는 경우다. 3D 모델링에서는 건축물의 부재 형태들이 복잡하고 다양하여, 노이즈 셀이 발생하기 쉽다. 특히, 너스 모델을 메쉬 모델로 변환하는 과정에서, 노이즈 셀이 자주 발생한다. 또한, 임계값 이하의 셀은 노이즈 셀로 인식 된다. 특히, 건축물 내부의 작고 세밀한 가구들에서 다양한 오류들이 발생한다.

3. 데이터 수집과 오류 분석 도구

3.1 데이터 오류 분석 도구

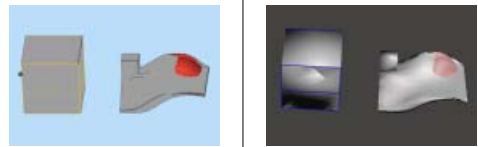
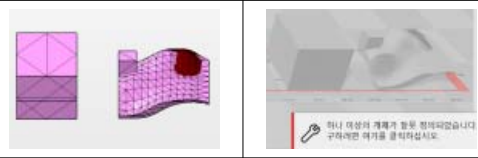

3D 모델링 데이터의 오류를 분석하는 STL 편집 소프트웨어로는 1992년 Materialise사에서 의료분야의 CT 모델링 위해 개발한 Magics, 2009년 Autodesk사에서 메쉬 모델의 수정 편집을 위해 출시한 Meshmixer, 같은 해 FIT AG(FIT Additive Manufacturing Group)사에서 기계 시뮬레이션 및 제어를 위해 출시한 Netfabb (2015년 Netfabb은 Autodesk사에 인수되어 그 기능이 Fusion360에 포함되었다.), 그리고 2013년 Microsoft 사에서 3D 프린트

사용자들의 간단한 수정과 출력을 위해 출시한 의 3D Builder가 있다. 이 네 종류의 STL 편집 소프트웨어는 3D 프린팅 출력에 앞서 3D 모델링의 오류를 분석하고 편집할 수 있는 기능을 포함한다 [12].

본 연구에서는 표 4에서 보는 바와 같이 네 가지 소프트웨어의 성능을 객관적으로 비교하기 위해 같은 데이터를 입력한 후 나타내는 오류의 값을 확인하였다. 그 결과 Magics에서는 Inverted normals, Bad edges, Holes, Shells, Intersecting triangles, Overlapping triangles 여섯 가지 항목으로 상태를 점검했다. Netfabb에서는 Inverted orientation, Border Edges, Holes, Shells 네 가지 항목으로 상태를 점검했으며, Meshmixer는 Res phere, Blue sphere, Magenta sphere 세 가지 항목으로 상태를 점검했다. 3D Builder는 ‘하나 이상의 개체가 잘못 정의되었습니다. 복구하려면 여기를 클릭하십시오’라는 문구를 이용하여 오류의 존재를 알려주었다. 이와 같은 결과를 바탕으로, Magics 소프트웨어가 오류를 더 세분화하여 정교하게 나타내고 도구라는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 3차원 모델링의 오류 데이터양을 검사하고 분석하기 위해 Materialise사의 Magics 소프트웨어를 활용하였다.

표 4 소프트웨어별 오류 검진 항목

Table 4 Items on Software-specific error screening

	Magics	Netfabb	Meshmixer	3D Builder
Checkup List	Inverted normals	Inverted orientation	N/A	N/A
	Bad edges	Border Edges	Red sphere	N/A
	Holes	Holes	Blue sphere	N/A
	Shells	Shells	Magenta sphere	N/A
	Intersecting triangles	N/A	N/A	N/A
	Overlapping triangles	N/A	N/A	N/A
Visualize errors				
				
				





3.2 구조 형태별 3D 모델링 데이터

건축에서 일반적으로 형태별 구조는 선형, 평면형, 곡면형, 자유곡면형으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 이를 대표할

수 있는 건축물을 대상으로 삼았고, 그 데이터를 수집하였다. 표 5에서 보는 바와 같이, 선형 구조로는 철골을 사용한 구스 타브 에펠의 에펠탑(Eiffel Tower)을, 평면형 구조에서는 철근-콘크리트를 사용한 르 꼬르뷔지에의 빌라 사보아(Villa savoye)를, 곡면형 구조로는 철골과 철근콘크리트를 사용한 요른 옷존의 시드니 오페라 하우스(Sydney Opera House)를, 그리고 자유 곡면형 구조로는 철골과 티타늄을 사용한 프랭크 게리의 월트 디즈니 콘서트홀(Walt Disney Concert Hall)을 선정하였다.

표 5 3D 프린팅을 위한 건축 구조 형태별 분류

Table 5 Classification by architectural structure type for 3D printing

	line	plane
construction		
	Eiffel Tower	Villa savoye
	Surface	Freeform
construction		
	Sydney Opera House	Walt Disney Concert Hall

이렇게 선정한 건축물의 3D 모델링 데이터들은 ‘3D Warehouse’ 사이트에서 수집할 수 있었다. 이 3D Warehouse는 모델링 데이터를 무료로 일반인에게 공개하고 있어, 일반인들이 자유롭게 업로드와 다운로드하며, 건축 모델링 소스를 공유하고 있다 [13]. 여기서 수집한 데이터는 SketchUp으로 제작되어 SKP 확장자를 가지고 있으며, STL 파일과 같은 폴리곤 모델이다. 전처리 과정을 수행하기 위해 STL 파일 포맷으로 변환하였다. 본 연구에서 수집된 3D 모델링 데이터는 표 6에서 보는 바와 같으며 파일명, 제작자, 폴리곤 수, 파일 크기, 작성일에 대해 정리하였다.

표 6 구조별 3D 모델링 수집 목록

Table 6 List of structural 3D modeling data

	No.	Name	Polygon	STL Size	Date
Eiffel Tower	Ei_01	Fadhzi M	390	501KB	2021
	Ei_02	R-NO J.	6,174	1MB	2021
	Ei_03	klip	28	295KB	2020
	Ei_04	Tbi P.	88	817KB	2020
	Ei_05	Dennis D.	27,287	1MB	2020
	Ei_06	Brian C.	4,655	1MB	2020
	Ei_07	theOnlyAaron	99,128	3MB	2020
	Ei_08	Myles Zhang	64,842	35MB	2019
	Ei_09	Rizwan A.	125,662	7MB	2019
	Ei_10	Cicero Melo	17,948	1MB	2018

	No.	Name	Polygon	STL Size	Date
Villa savoye	Ei_11	TOMYYTV N.	10,140	7MB	2018
	Ei_12	Sami S.	5,233	1MB	2017
	Ei_13	manoj A.	1,085	1MB	2017
	Ei_14	Robbie S.	10,140	7MB	2017
	Ei_15	Yankai L.	3,387	1MB	2016
	Ei_16	lan R.	16,641	7MB	2016
	Ei_17	Mohammad Kh	7,439	1MB	2016
	Ei_18	james L.	10,183	7MB	2016
	Ei_19	Benjamin L.	23,942	4MB	2014
	Ei_20	3dHH	297	292KB	2014
	Ei_21	Ferry K.	288	701KB	2014
	Ei_22	zdujmo	50,711	2MB	2014
	Ei_23	Ryan lumintang	1,085	1MB	2014
	Ei_24	Gabri G.	59,109	2MB	2014
	Ei_25	Antoine75	1,265	1MB	2014
	Ei_26	Nicolas A.	1,242	1MB	2014
	Vi_01	benjamin M.	44,323	3MB	2021
	Vi_02	Corey H.	718,551	31MB	2020
	Vi_03	Fabien M.	5,877	1MB	2020
	Vi_04	Philip G.	798,652	37MB	2019
	Vi_05	FroteZ_G.	2,533	836KB	2019
	Vi_06	Rui Z.	25,760	4MB	2019
	Vi_07	AYBUKE K.	1,156	382KB	2018
	Vi_08	Dulce R.	81,777	7MB	2018
	Vi_09	Gian R.	5,877	1MB	2017
	Vi_10	Rovert KOR	35,779	9MB	2017
Vi_11	klip	713	1MB	2017	
Vi_12	Efren M.	783,357	46MB	2016	
Vi_13	Derryck D.	61,576	13MB	2014	
Vi_14	Benedict Q.	11,093	2MB	2014	
Vi_15	Dorian Chirat	2,533	780KB	2014	
Vi_16	keka	2,102	1MB	2014	
Vi_17	Pjames	674	503KB	2014	
Vi_18	Fza	1,166	312KB	2014	
Vi_19	lelexx	77,427	9MB	2014	
Vi_20	Philipp K.	3,683	1MB	2014	
Sydney Opera House	Sy_01	jw_n_mo	31,517	871KB	2014
	Sy_02	jacko	32,192	1MB	2014
	Sy_03	isabelle123	35,166	6MB	2014
	Sy_04	Andrew X.	771	163KB	2014
	Sy_05	ilan	35,139	6MB	2014
	Sy_06	emiel	31,841	948KB	2014
	Sy_07	Klip	31,841	953KB	2014
Walt Disney Concert Hall	Wa_01	Tbi6 P.	1,286	1MB	2021
	Wa_02	crazy canuck	30426	4MB	2014
	Wa_03	3D Warehouse Staff	6,415	1MB	2014
	Wa_04	3D Warehouse Staff	1,286	1MB	2014

3.3 소프트웨어별 3D 모델링 데이터

모델링 소프트웨어별 STL 포맷으로 변환 시 3D 프린팅 출력

오류에 미치는 영향을 비교 분석하기 위하여, 건축 전공 학부생 대상으로 실험군을 모집하였다. 수집한 데이터는 총 33점으로 12명의 학생에게서 제공받았다. 최근 5년 이내(2017~2021년)에 제작된 모델링으로 건축 3D 프린팅을 위한 오류분석 시편으로 적합하다고 판단된다. 수집한 3D 모델링 데이터는 제작된 소프트웨어(SketchUp, Revit, Rhino)별로 분류하였고, 각각 SketchUp 20개 파일, Rnino 11개 파일, Revit 2개 파일에 담겨 있었다.

전처리 과정을 수행하기 위해, 수집된 3D 모델링 파일을 STL 파일 포맷으로 변환되었다. 우선, 분석의 오차를 줄이기 위하여 각 3D 모델링의 대지 및 주변 매스와 조정 등 불필요한 요소를 삭제하여 파일의 크기를 축소하는 작업을 수행하였다. STL 파일 포맷으로 변환하여 저장하였을 때 파일의 크기가 달라지는 것을 확인할 수 있다. SketchUp은 STL 파일과 같은 폴리곤 모델로 변환 절차가 간단한 반면에, Rhino는 넉스 모델로 STL로 변환하기 위해서는 메쉬를 재작성하는 과정이 필요하였다. 메쉬를 작성하는 과정에서 메쉬 크기를 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 일정한 비율로 메쉬를 작성하여 데이터를 정리하였다. 본 연구에서 수집된 3D 모델링 데이터는 표 7에서 보는 바와 같으며 파일명, 소프트웨어, 폴리곤 수, 파일 크기, 구조, 규모, 작성일에 대해 정리하였다.

표 7 소프트웨어별 3D모델링 수집 목록
Table 7 List of software 3D modeling data

	No.	Polygon	Original size	STL Size	Date
SketchUp	Sk-01	1,634,035	26,387	79,856	2019
	Sk-02	146,646	20,281	12,718	2019
	Sk-03	448,182	28,505	23,352	2018
	Sk-04	40,190	123,391	1,998	2021
	Sk-05	25,410	55,394	1,242	2019
	Sk-06	158,845	19,447	7,801	2017
	Sk-07	62,266	8,848	3,541	2019
	Sk-08	229,827	89,043	9,906	2021
	Sk-09	556,318	151,391	27,202	2021
	Sk-10	190,270	74,466	9,418	2021
	Sk-11	2,405,498	15,987	124,217	2021
	Sk-12	935,021	315,929	45,838	2020
	Sk-13	1,466,839	343,327	77,742	2020
	Sk-14	26,704	13,083	2,169	2021
	Sk-15	3,426,442	54,503	173,371	2021
	Sk-16	1,971,501	503,625	97,012	2020
	Sk-17	170,672	247,805	36,121	2020
	Sk-18	325,917	47,226	15,932	2021
	Sk-19	432,591	70,565	21,342	2021
	Sk-20	847,425	26,590	41,487	2018
Rhino	Rh-01	1,515,933	110,772	74,066	2020
	Rh-02	14,070,858	538,851	998,128	2021
	Rh-03	8,289,519	861,094	33,468	2021

	No.	Polygon	Original size	STL Size	Date	
Rhino	Rh-04	1,671,701	66,075	84,453	2022	
	Rh-05	1,836,865	134,996	144,767	2017	
	Rh-06	111,699	32,237	5,456	2018	
	Rh-07	105,238	61,850	8,536	2020	
	Rh-08	915,308	152,776	44,705	2018	
	Rh-09	16,310			2022	
	Rh-10	4,813,076			2020	
	Rh-11	5,714,203			2021	
	Revit	Re-01	575,830	45,676	28,572	2021
		Re-02	72,607	16,664	3,565	2017

4. 분석 및 해결 방안

4.1 분석 결과

4.1.1 구조 형태별 오류 분석 결과

3D 모델링을 오류 분석 프로그램인 Magics을 활용하여 오류 검사를 시행한 결과, 모든 데이터에서 오류가 존재하는 것을 알 수 있었다. Magics의 오류 항목은 노멀 방향(inverted nomals), 배드 엣지(Bad edges), 배드 컨투어(Bad contours), 인접한 배드 엣지(Near bad edges), 홀(Planar holes), 셸(Shells), 노이즈 셸(Noise shells), 겹친 삼각형(Intersecting triangles), 교차된 삼각형(Overlapping triangles) 총 9가지로 발생했다. 각 오류 항목의 비교를 위해 오류발생량을 백분율로 나타내었다.

$$\frac{\text{오류 발생한 삼각형 수}}{\text{전체 삼각형 수}} = \text{오류 발생량}(\%) \tag{1}$$

또한 컨투어와 엣지 부분은 각각 삼각형 수의 2의 배수, 3의 배수로 계산하여 오류 발생량을 계산하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

세 개의 형태 분류에서 대부분 노멀 방향과 인접한 배드 엣지 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다. 이는 폴리곤 방식의 소프트웨어를 사용하여 이미지에 기반 한 면 단위 모델링 작업이 많아 발생한 오류로 보인다. 선형 구조인 에펠탑은 셸의 수가 많아 셸 간의 관계에서 인접한 배드 엣지, 인접한 삼각형에서 오류가 많이 발생하는 것으로 확인 하였다. 반면 평면형 구조인 빌라 사보아에서는 엣지 관련 오류가 비교적 적고, 겹친 삼각형의 오류가 많이 발생하는 것으로 확인하였다. 곡면형 구조의 디즈니 콘서트홀과 시드니 오페라 하우스는 연속된 면으로 셸의 수는 비교적 적었으나, 다른 항목의 오류는 많았다.

이와 같은 분석 결과는 두 가지로 요약할 수 있었다. 첫째, 네 종류의 형태별 분류에서 대부분 노멀 방향과 인접한 배드 엣지 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다. 이는 폴리곤 방식의 소프트웨어를 사용하여 이미지에 기반 한 면 단위 모델링 작업이 많아 발생한 오류로 보인다.

둘째, 형태별 오류 데이터에서 드러나는 양상은 형태별로 오류의 항목들이 일관되지 않고, 부재의 수 증가에 따라 오류량이 증가했다. 따라서 형태적인 측면보다는 부재의 수량이나 접합하는 방식이 오히려 3D 모델링 데이터의 오류에 큰 영향을 미치고 있었다.

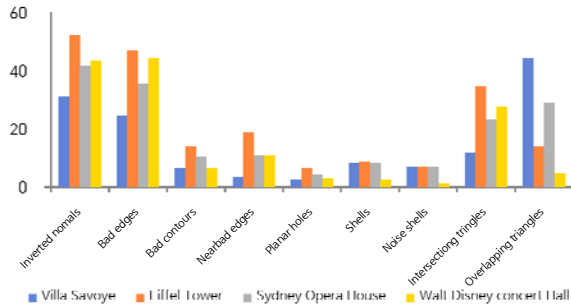


그림 3 구조별 3D 오류 데이터 분석 결과 (평균)
Fig. 3 Results of 3D error data analysis by structure (average)

4.1.2 소프트웨어별 오류 분석 결과

Magics를 활용한 오류 검사 결과, 오류 항목은 노멀 방향 (inverted normals), 배드 엣지(Bad edges), 배드 컨투어(Bad contours), 인접한 배드 엣지(Near bad edges), 홀(Planar holes), 셸(Shells), 노이즈 셸(Noise shells), 겹친 삼각형(Intersecting triangles), 교차된 삼각형(Overlapping triangles) 총 9가지로 나타났다. 각 오류 항목의 비교를 위해 오류발생량을 백분율로 나타냈다.

또한 컨투어와 엣지 부분은 각각 삼각형 수의 2의 배수, 3의 배수로 계산하여 오류 발생량을 계산하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

SketchUp 모델링의 3D 프린팅 오류 데이터값 비교를 살펴보았을 때, 겹친 삼각형 > 노멀 방향 > 배드 엣지 > 교차된 삼각형 > 인접한 엣지 > 노이즈 셸 > 셸 > 배드 컨투어 > 홀 순으로 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다.

Rhino 모델링의 3D 프린팅 오류 데이터값 비교를 살펴보았을 때, 겹친 삼각형 > 교차된 삼각형 > 노멀 방향 > 셸 > 노이즈 셸 > 인접한 엣지 > 배드 엣지 > 배드 컨투어 > 홀 순으로 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다.

Revit 모델링의 3D 프린팅 오류 데이터값 비교를 살펴보았을 때, 겹친 삼각형 > 노멀 방향 > 배드 엣지 > 교차된 삼각형 > 셸 > 노이즈 셸 > 인접한 엣지 > 배드 컨투어 > 홀 순으로 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다.

세 종류의 소프트웨어에서 겹친 삼각형과 교차한 삼각형이 고루 발생하였다. 이는 건축 3D 모델링의 다양한 구조체는 상호 작용하기에 나타나는 특징으로 보인다. 특히, SketchUp의 경우 노멀 방향과 배드 엣지가 교차한 삼각형보다 오류 발생량이 많게 나타났다. 이는 SketchUp이 폴리곤 방식의 소프트웨어로 이미지에 기반 한 면 단위 모델링 작업이 많아 발생한 오류로 보인다 [14].

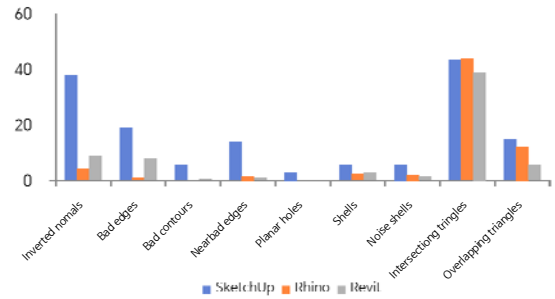


그림 4 소프트웨어별 3D 오류 데이터 분석 결과 (평균)
Fig. 4 Results of software-specific 3D error data analysis (average)

셸은 내부와 외부를 구분하는 하나의 객체를 말하며, 셸의 양은 구조체의 양을 의미한다. 그러나 노이즈 셸은 작은 단위의 불필요한 객체로 오류를 의미한다. 대부분의 3D 모델링에서는 셸과 노이즈 셸의 크기가 비슷하였으며 셸이 많을수록 노이즈 셸도 많이 나타나는 것으로 판단된다. 그 가운데에서도 노이즈 셸이 셸보다 많이 발생하는 경우는 조정에서 오류가 많이 나타났기 때문이었다. 배드 엣지, 인접한 배드 엣지, 배드 컨투어, 홀은 객체의 유의미한 오류로 해당 오류 발생 시 출력물에 큰 영향을 준다. 해당 오류는 SketchUp이 Rhino보다 약 20배 이상 발생하는 것을 볼 수 있다.

발생한 3D 모델링 오류는 오류 수정 소프트웨어 내의 자동 수정 기능 및 수동 수정 작업으로 수정이 불가능한 양으로 3D 프린팅 출력을 위해서는 발생한 오류를 검토하여, 재 모델링하는 것이 바람직하다.

따라서 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 세 종류의 3D 모델링 소프트웨어에서 겹친 삼각형과 교차된 삼각형의 오류 발생량이 많았으나, 관계성을 보이지 않았다. 건축 3D 모델링의 다양한 구조체는 상호 작용하기에 이와 같은 오류가 많이 나타나는 것으로 판단된다.

둘째, 세 종류의 3D 모델링 소프트웨어에서는 셸이 많을수록 노이즈 셸의 수도 많이 나타났다. 셸의 수가 적을수록 노이즈 셸의 수도 줄어들 것으로 판단된다.

셋째, SketchUp은 Rhino와 Revit에 비해 노멀 방향과 배드 엣지에서 약 20배 이상 오류 발생량이 높은 것으로 나타났다. 이는 SketchUp이 폴리곤 방식의 소프트웨어로 면 단위의 모델링 작업이 많으므로 발생한 오류로 보인다.

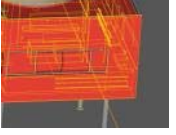
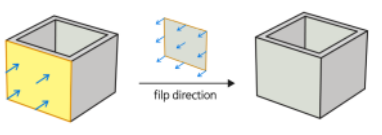
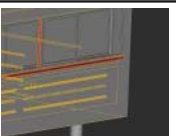
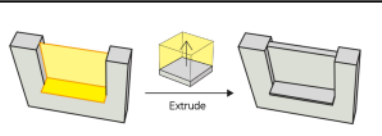

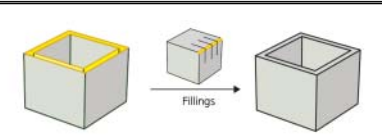
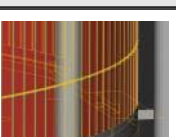
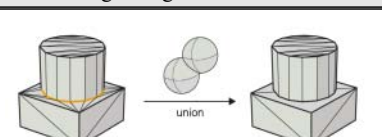
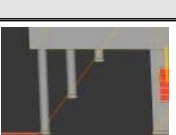
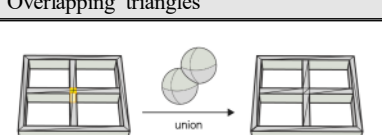
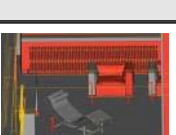
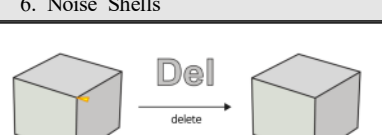
4.2 3D 모델링 오류 해결방안

이와 같은 분석을 통해 드러난, 3D 모델링의 오류들은 STL 편집 소프트웨어 상에서 자동 수정이 불가능하므로 개별적인 3D 모델링 오류 수정이 필요하다. 그리고 분석 결과 건축 3D 모델링 오류 항목들은 모델의 표면이 뒤집어진 경우, 모델의 두께가 0인 경우, 모델의 폴리곤이 닫히지 않은 경우, 둘 이상의 부재가 교차하여 중첩되는 경우, 둘 이상의 부재가 맞닿아 중첩되는 경우와 같은 여섯 가지로만 한정 된다. 따라서 이 여

섯 가지 오류 항목들에 대한 해결 방안을 다음과 같이 구체적으로 제시할 수 있다.

표 8 3D모델링의 오류 예시와 해결방안

Table 8 Examples of 3D modeling errors and its solutions

1. Inverted normals	
	
2. Zero Wall Thickness	
	
3. Bad Edges	
	
4. Intersecting triangles	
	
5. Overlapping triangles	
	
6. Noise Shells	
	

첫째, 모델링 표면의 법선 벡터 방향이 뒤집어진 경우 오류를 해결하기 위해서 모델링 프로그램 내에서 앞·뒷면 색을 다르게 설정하여 노멀 방향을 쉽게 알아볼 수 있게 한다. 뒤집어진 면은 다시 그리거나 방향을 반대방향으로 전환하여 수정한다. 면을 하나씩 이어 붙이는 것보다 단힌 솔리드로 모델링하면, 노멀 방향이 외부로 향하게 되므로 노멀 방향에 대한 오류가 발생하지 않는다

둘째, 모델링은 면이 아닌 솔리드(Solid) 형태로 이루어져야 한다. 즉, 면으로 생성된 객체는 반드시 솔리드로 변환해야 한다. 모델의 두께가 임계값 이하인 경우에 발생하는 오류를 해결하기 위해서는 먼저 프린트 제작 가능한 모델의 두께를 숙지하여야 한다. 그리고, 모델링의 벽 두께를 분석하여 임계값보

다 얇은 면을 찾는다. 오류의 수정은 익스투르드(Extrude) 기능을 이용하여, 모든 면들을 기준 두께 이상으로 제작한다.

셋째, 모델링에서 폴리곤이 닫혀 있지 않은 오류를 해결하기 위해서는 닫혀있지 않은 폴리곤들을 찾고, 그 닫혀있지 않은 폴리곤들에 의해 발생한 빈 공간을 새로운 폴리곤으로 메꿔준다. 그리고, 정확한 치수를 기반으로 모델링 하지 않으면, 열린 공간이 생기기 쉬우므로 모델링 기능 중 오스냅(Osnap)을 사용하여 객체의 정확한 위치를 기반으로 제작한다.

넷째, 둘 이상의 부재가 교차하여 중첩되는 경우에 발생하는 오류들을 해결하기 위해서는 겹쳐진 객체에 대해 합집합(Union) 기능을 적용하여, 하나의 셸로 만들어 오류를 수정한다.

다섯째, 둘 이상의 객체가 맞닿아 중첩되는 경우는 셸이 중첩되는 경우와 마찬가지로 합집합을 이용하여 하나의 셸로 만들어 폴리곤이 중첩되는 오류를 수정한다.

여섯째, 작고 불필요한 셸들이 있는 오류를 해결하는 방법으로는 노이즈 셸을 삭제하는 방법이 있다. 그리고, 노이즈 셸이 생기지 않도록 하려면, 넵스 모델링을 메쉬 모델링으로 변환할 때 메쉬 크기를 적절히 설정하여 셸의 파편이 생기지 않도록 작업한다.

5. 결론

본 연구에서는 3D 모델링에서 3D 프린팅으로의 파일 변환 과정에서 발생하는 오류 원인들을 구조 형태적 측면과 소프트웨어 선택의 측면에서 살펴보고, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 3D 모델링의 변환에서 발생하는 오류들은 구조 형태적 요인보다는 개별 부재의 수량이나 부재의 접합 방식과 복잡한 정도에서 기인한다.

둘째, 3D 모델링 소프트웨어의 종류와 상관없이, 셸이 양에 따라서 노이즈 셸의 발생 빈도가 높았다. 다만, Rhino의 넵스 방식과 Revit의 솔리드 방식에 비해, SketchUp의 폴리곤 방식은 노멀 방향과 배드 엣지의 오류를 발생시키는 주요한 원인이었다.

마지막으로, 건축 3D 모델링의 변환을 통해 확인한 오류 데이터를 자동 수정하는 것에는 한계가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 건축 3D 모델링의 변환에 앞서 개별 모델링 데이터를 적절하게 만들어야 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 건축 3D 모델링에서 발생하는 오류들에 대한 해결 방안을 다음과 같이 제안한다.

첫째, 3D 모델링의 표면이 뒤집혀 있는 경우, 오류를 해결하기 위해서 모델링 프로그램 내에서 앞·뒷면 색을 다르게 설정하여 노멀 방향을 쉽게 알아볼 수 있게 한다. 뒤집힌 면은 다시 그리거나 방향을 반대 방향으로 전환하여 수정한다.

둘째, 3D 모델링의 두께가 0인 경우, 오류를 해결하기 위해서 모델링의 벽두께를 분석하여 임계값보다 얇은 면을 찾는다. 그리고, Extrude를 이용하여 모든 면을 기준의 두께 이상으로

제작한다.

셋째, 3D 모델링에서 폴리곤이 닫혀있지 않은 경우, 오류를 해결하기 위해서 닫히지 않은 폴리곤을 찾아서 열린 공간을 새로운 폴리곤으로 메꿔준다.

넷째, 3D 모델링에서 둘 이상의 부재가 교차하여 중첩되는 경우, 오류를 해결하기 위해서 겹친 부재를 합집합(UNION)을 통해 하나의 셀로 만들어 오류를 수정한다.

다섯째, 3D 모델링에서 둘 이상의 부재가 맞닿아 중첩되는 경우, 위와 마찬가지로 합집합을 이용하여 하나의 셀로 만들어 폴리곤이 중첩되는 오류를 수정한다.

여섯째, 3D 모델링에서 노이즈 셀이 있는 경우, 오류를 해결하기 위해서 임계값 이하의 노이즈 셀을 삭제한다.

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2019R1G1A1099759).

References

[1] S. Piedomont-Palladino, Tools of the Imagination, New York: Princeton Architectural Press, 2007.

[2] R. Evans, Translations from Drawing to Building and Other Essays, London: Architectural Association, 1997.

[3] G. Lee and J. Cho, "A Survey on the 3D Printer Users' Experiences of 3D Modelling Software and Proposal of 3D Modeling Software Development for Koreans," Journal of the HCI Society of Korea, vol. 12, no. 2, pp. 21-29, 2017.

[4] S. H. Han, H. W. Sung, D. W. Kim, "Partially Hollow Substrate Integrated Waveguide and 1:2 Traveling-Wave Power Combiner using 3D Printing," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 70, no. 8, pp. 1188-1196, 2021.

[5] K. S. Choi, J. U. Kim, K. W. Lee, K. J. Seo, Y. Park, "A Basic Study on Digital Manufacturing Technologies for Catenary System in Railway," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 69, no. 10, pp. 1495-1498, 2020.

[6] D. H. You, G. B. Park, "A Study on the Improvement for Printing Quality of 3D Printer," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 68, no. 12, pp. 1652-1661, 2019.

[7] K. Song and K. Lee, "Integrated Digital Design & Fabrication Methods for Complex Architectural Forms," Archives of digital design research, vol. 12, no. 4, pp. 609-618, 2012.

[8] G. Min, S. Choi, Y. Kim, and K. Yoo, "A Tool for STL file modeling for 3D Printer," Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, vol. 24, no. 1, pp. 966-969, 2017.

[9] C. Yeo and D. Mun, "Procedure to Convert a 3D Model

in STL to OBJ File," Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, pp. 62, 2017.

[10] B. Redwood, F. Schoffer, and B. Garret, The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications, Amsterdam: 3D HUBS, 2017.

[11] Y. J. Lee, S. H. Jang, and I. H. Lee, "Fabrication of Structure Miniature using 3D Printing," Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 148, 2015.

[12] S. M. Park, H. S. Kim, S. J. Han, and L. S. Kang, "3-Dimensional Modelling of Civil Engineering Structures for 3D Printing and Its Application," Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 37, no. 6, pp. 1109-1117, 2017.

[13] W. Park, D. Lee, and S. Kim, "Generation STL File from SketchUp 3D Model," Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, vol. 22, no. 2, pp. 997-999, 2015.

[14] J. Yang, D. Lee, and S. Kim, "A Study on Improvement of SketchUp for 3D Printing Support," Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, vol. 22, no. 2, pp. 1011-1014, 2015.

저자소개



서경주 (Kyoung-Ju Seo)

2020년 한밭대학교 건축학과 졸업, 2023년 동 대학원 건축학과 졸업(석사), 현재 한밭대학교 3D프린팅사업단 선임연구원



최균석 (Kyunsuk Choi)

2003년 인하대학교 금속공학과 졸업(공학석사), 2017년 연세대학교 신소재공학과 졸업(공학박사), 현재 한밭대학교 산학융합학부 교수



김호영 (Hoyoung Kim)

2003년 서울시립대학교 건축학과 졸업(석사), 2015년 Georgia Institute of Technology, School of Architecture 졸업(박사), 현재 한밭대학교 건축학과 교수