

# 객체 형상의 실시간 모델링을 위한 매개변수 설정 및 정점 제어에 관한 연구

이헌민\*, 김현승, 이일수  
서영엔지니어링 BIM 개발부

## A Study on the Parameters Setting and Vertex Control for Real-Time Modeling of Object Shape

Heon-Min Lee\*, Hyeon-Seung Kim, Il-Soo Lee  
BIM Development Department, Seoyoung Engineering Co., Ltd.

**요약** 본 연구의 목표는 BIM(Building Information Modeling) 객체의 형상을 실시간으로 모델링할 수 있는 자동화 기술 개발을 위해 필요한 요소 기술을 제안하는 것이다. BIM을 통한 디지털 전환 체계에서 이상적인 의사 결정 방식은 실시간 자동화이다. 이를 위해서는 사안이 변경된 모습을 실시간으로 공유할 수 있는 방법이 필요하다. 의사결정을 위해 필요한 사안의 모습은 요구사항에 무엇인지에 따라 의사결정의 대상이 되는 객체의 종류와 형태가 달라진다. 그 모습은 또한 객체들이 조합된 형상으로 표현되는 것이 대부분이다. 따라서 사안이 변경된 경우에도 객체를 유기적으로 조립시킬 수 있는 모델링 자동화 기술이 필요하다. 또한 요구사항에 최적화된 그래픽으로 객체를 표현하는 모델링 방법이 마련되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 객체들이 유기적으로 조립될 수 있도록 모델링 함수의 매개변수를 설정하는 방법을 제안하였다. 또한 모델의 그래픽이 현안에 최적화될 수 있도록, 객체별로 정점 수를 제어하는 일련의 방법론을 제안하였다. 또한 제안한 방법들의 효용성을 검증하기 위하여, 단선 철도 교량을 모델링하는 함수를 개발하고, 객체간의 유기적인 조립과 객체별 정점 수 제어에 대한 성능을 검증하였다.

**Abstract** The purpose of this study is to propose necessary elemental technology for the development of automation technology that can model the shape of building information modeling (BIM) objects in real time. An ideal decision-making method in a digital transformation system through BIM is real-time automation. For this, a way to share the changes in a case in real time is needed. The type and shape of an object to be decided vary depending on what the requirements are for decision-making. The appearance is also mostly represented by a combination of objects. Therefore, even if an issue changes, modeling automation technology that can organically assemble objects is needed. In addition, modeling methods for representing objects with graphics optimized for the requirements should be prepared. Therefore, this study proposes a method of setting the parameters of a modeling function so that objects can be organically assembled. We also propose a set of methodologies that control the number of vertices per object so that the graphics of the model can be optimized for current issues. To verify the effectiveness of the proposed methods, a function for modeling single-line railway bridges was developed, and the performance of organic assembly between objects and control of the number of vertices per object was verified.

**Keywords** : Building Information Modeling, Real-Time Modeling, Modeling Function Parameters, Organic Assembly, Vertices of Model

본 논문은 국토교통과학기술진흥원 “철도인프라 생애주기 관리를 위한 BIM기반 통합플랫폼 개발사업”의 지원으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Heon-Min Lee(Seoyoung Engineering Co., Ltd.)

email: misora410@gmail.com

Received October 30, 2023

Accepted December 8, 2023

Revised November 23, 2023

Published December 31, 2023

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

#### 1.1.1 실시간 모델링의 필요성과 대상

BIM(Building Information Modeling)을 통한 디지털 전환으로 모두가 기대하는 궁극적인 의사 결정 방식은 실시간 자동화이다. 이것은 현안에 합당한 급속적 많은 사례들을 실시간으로 비교하여 최적의 결론을 도출하고, 이 과정에서 발생된 모든 정보들은 일원화된 체계 안에서 공유되기를 바라는 전통적인 갈망에서 비롯되었다. 객체(Object)는 인간이 생각하고 표현할 수 있는 모든 것을 의미하므로[1] 실시간으로 최적의 결론을 도출하려면, 객체의 형상을 자동으로 모델링하는 기술이 필요하다. 사안이 변경된 모습을 실시간으로 공유할 수 있어야 하기 때문이다. 이 기술은, 볼트, 너트와 같은 부품에서부터 교량, 터널과 같은 구조물 그리고 이들과 유관한 특정 행위에 이르기까지, 의사 결정이 필요한 모든 객체를 개발 대상으로 한다. 이러한 객체는 대부분의 경우에서 둘 이상의 객체들로 구성된 조합 객체(Assembled Object)이다[2].

#### 1.1.2 객체들의 유기적인 조립

대부분의 BIM 저작도구(BIM Authoring Tool)는 원시 객체(직선, 곡선, 다각형, 원, 타원, 다면체, 구 등)를 모델링하고 편집하는 다양한 함수를 제공한다. 또한 사용자는 이들 함수를 호출하여, 복잡한 형상의 객체를 모델링하는, 신규 함수를 직접 개발할 수 있다. 따라서 조합 객체에 대한 모델링 자동화 기술은, 그것에 종속된 객체들 각각을 모델링하는 함수를 개발하고, 이들의 호출로 보다 상위의 객체가 조립되는 또 하나의 함수를 개발하는 것으로 확보될 수 있다. 여기서 가장 중요한 것은, 호출된 함수들로 모델링되는 종속 객체들이 신규 함수에서 유기적으로 조립되도록 하는 것이다. 이것의 성패는, 신규 함수와 호출 함수들의 매개변수(Parameter)를 어떠한 항목들로 구성했는지, 그리고 각각의 전달인자(Argument)를 어떻게 입력받도록 설계했는지에 달려있다.

#### 1.1.3 그래픽의 최적화

각종 영상 처리 장치를 통하여 사람의 눈으로 전달되는 장면은, 그 장면에 등장하는 객체들의 개별적 형상과 이들이 조립된 모델이, 일련의 과정(Geometry Processing, Rasterization)을 거치며 출력된 컴퓨터 그래픽이다. 복

잡하고 정교한 장면일수록 또는 실제와 가까운 장면일수록, 모델은 더 많은 수의 정점들(Vertices)로 정의되며 그래픽 처리 과정 또한 더 많은 연산과 시간을 필요로 한다[3]. 대용량의 BIM 모델을 계산할 때 메모리 문제가 발생한다면, 대부분 형상정보를 처리하면서 물리적 메모리가 부족한 경우이다[4].

따라서 객체의 그래픽은 현재의 사안을 빠르게 결정할 수 있는 모습으로 최적화되어야 한다. 예를 들어, 현재 사용 중인 도로 위를 횡단하는 교량을 계획함에 있어, 기존 도로에 설치된 방음벽과의 간섭을 검토하는 경우, 방음벽 객체로부터 확인되어야 하는 것은 건축 한계를 규정하는데 영향을 주는 상단의 정점과 그것의 좌표이다. 만약 이 때, 방음벽의 기초나 앵커와 같이, 현안과는 상관없는 객체들이 실제와 가까운 모습의 그래픽으로 구현된다면, 현안과 상관없는 수많은 정점들의 그래픽 처리에 낭비되는 시간은 작업의 효율성 저하와 비용 증가를 초래할 것이다. 결국 모델은 그 이슈에 최적화된 그래픽으로 출력될 필요가 있으며, 이러한 최적화는 객체별 모델의 정점 수를 제어하는 것으로 가능하다.

### 1.2 연구의 목표 및 범위

본 연구의 목표는, 객체들이 유기적으로 조립될 수 있도록 매개변수를 설정하고, 현안에 최적화된 그래픽이 표현될 수 있도록 모델의 정점 수를 제어하는 일련의 방법론을 제안하는 것이다. 본 연구에서 제안하는 매개변수 설정방법은 객체의 형상, 위치, 방향을 결정하는 기하 요소(길이, 각도, 비율, 개수)를 대상으로 한다. 제안한 방법론의 효용성을 검증하기 위하여, 단선 철도 교량의 모델링에 필요한 부재들(레일, 침목, 슬래브, 거더, 교각, 전차선로 등)과 이들이 조립된 철도교를 모델링하는 함수를 개발하였다. 다만, 본 연구는 객체 형상 모델링의 실시간 자동화 기술을 확보하기 위한 기반연구로, 대상 시설과 그것의 구성 객체에 대한 다양한 형식을 충분히 구현할 수 있을 정도로 다량의 함수들을 확보하거나, 높은 사용성의 유저인터페이스(User-Interface)를 개발하는 등의 함수의 제품화와 관련된 내용은 포함되지 않는다.

## 2. 본론

### 2.1 연구의 방법

본 연구는 Fig. 1과 같은 흐름으로 수행되었다. 첫째,

연구 동향을 조사하여 연구 목표의 당위성을 확보하고 기존 연구들 중 적용 가능한 내용이 있는 지 확인한다. 둘째, 모델링 함수의 매개변수를 설정하고 모델의 정점 수를 제어하는 구체적인 절차를 제안한다. 셋째, 제안한 방법의 효용성을 검증한다. 제안한 방법을 적용한 모델링 함수를 개발하고 객체의 유기적인 조립과 최적 형상 구현에 대한 성능을 평가한다. 함수의 개발에는 상용 BIM 저작도구에서 지원하는 API(Application Programming Interface)가 활용되었다. 마지막으로, 분석된 결과를 바탕으로, 본 연구가 객체 형상의 실시간 모델링 기술 확보에 기여한 점은 무엇인지 논의한다.

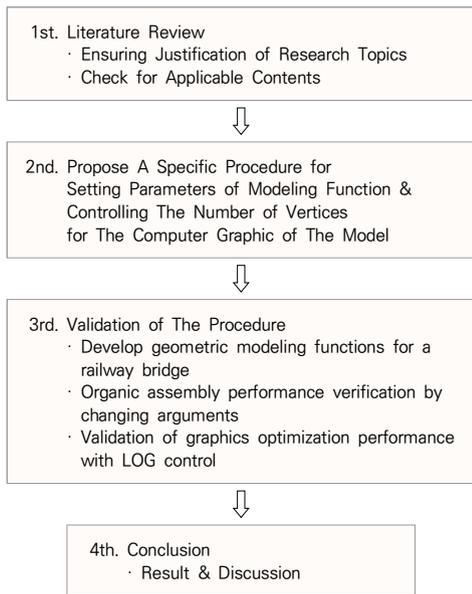


Fig. 1. Research Flow

## 2.2 연구 동향 조사

건설과 관련된 객체의 모델링이나 특정 기능을 수행하는 함수를 개발하고, 다른 사람도 사용할 수 있도록 유저 인터페이스를 제작하여, 공유 가능한 파일로 저장한 것을 BIM 라이브러리(Library)라고 한다. 객체의 모델링 함수 개발에 대한 연구 동향을 조사하기 위하여, BIM 라이브러리를 구축한 연구들을 중심으로 조사하였으며 Table 1에 조사한 내용을 요약하였다.

Kim et al.(2019)은 항만 시설인 방파제의 구성 객체(소파 블록, 케이슨 등) 및 이들이 배열된 방파제 형상을 모델링하는 함수를 개발하고 검증하였다[5].

Park et al.(2022)은 2D 환경의 설계가 어려운 구조물(격자 형상의 자켓 기초)의 구성 객체 및 이들이 조립

된 형상을 모델링하고 조립 후의 강제 수량을 계산할 수 있는 함수를 개발하고 검증하였다[6].

Kim et al.(2022)은 지반의 지보 패턴별로 달라지는 터널 내공 단면의 형상 및 이것을 프로파일로 연장시킨 터널을 모델링하는 함수를 개발하고 검증하였다[7].

Lee et al.(2023)는 철근 콘크리트 옹벽의 구성 객체(콘크리트, 철근, 신축이음장치 등) 및 이들이 조립된 옹벽의 형상을 모델링하고 원하는 위치의 단면에 대한 안정성 검토 결과를 출력할 수 있는 함수를 개발하고 검증하였다[8].

Table 1. Literature Review for Automating Modeling

Research Needed for Real-Time Modeling	Paper No.				
	1	2	3	4	5
Make Function for Automating Geometric Modeling	o	o	o	o	o
Completion of A Model by Assembling Sub-Objects	o	o	o	o	o
Specific Methods to Assemble Sub-Objects Organically	x	x	x	x	x
Optimum Shape to Save Graphics Processing Time	x	x	x	x	o

- 1: A study on Development of Practical BIM Library for Automated BIM Design in Port and Harbor Infrastructure
- 2: Development and Application of BIM Library for Offshore Wind Jacket Foundation
- 3: Development of Automation Technology for Modeling of Railway Infrastructure using BIM Library
- 4: The Development of Parametric Model with Structural Calculation Formula for Retaining Wall
- 5: A Study on LOG Specific Methods for BIM of Transportation Infrastructure Facilities

조사된 연구들 대부분은, 특정 객체에 국한된 모델링 자동화와 기능수행(물량 산출, 안전성 검토 등)에 집중된 내용으로, 본 연구의 내용인 객체의 유기적인 조립과 최적 형상을 표현하는 일반적인 방법론을 제시하는 내용과는 차이가 있다. 그에 반해 Lee et al.(2021)는 객체의 유형이나 규모에 관계없이 형상의 상세수준을 특정하기 위하여, 단위 객체 모델의 정점 저감 방법을 제안하고, 조립된 객체의 형상 상세 수준은 종속 객체들의 형상 상세 수준을 정의하는 것으로 특정될 수 있음을 설명하였다[9]. 그러나 객체를 유기적으로 조립할 수 있는 구체적인 방법을 제안하지 않은 점이나, 논문에서 제안하고 있는 정점 저감 방법이 일반적으로 적용하기에는 구체성이 다소 미흡한 점 등은, 다양한 형식의 객체에

적용할 경우, 적지 않은 예외사항이 도출될 가능성이 있었다.

### 2.3 유기적인 조립을 위한 매개변수 설정

본 연구에서는 객체의 모델링 함수를 개발하는데 있어, Fig. 2(a)와 같은 흐름으로 매개변수를 설정한다. 이 플로차트(Flow Chart)는 Fig. 2(b)와 같이, 여러 개의 단위 트리(Unit Tree, 예제의 경우 : **A**, **a**, **e**, **c**, **k**)로 구성된 모델링 함수 트리를 구성하기 위한 것으로, 각 함수가 필요로 하는 매개변수 항목을 구성하고, 단위 트리 각각에 대하여 함수의 호출 순서를 결정하는 프로세스(Process)를 포함하고 있다. 이것의 궁극적인 목표는 종속 객체들을 유기적으로 조립시킬 수 있는 전달인자 계산식을 만들기 위한 것이다. 주요 프로세스에 대한 내용을, 간단한 조합객체로 예를 들어, 2.3.1절부터 2.3.4절에 설명하였다.

#### 2.3.1 함수의 단위 트리 설계

조합 객체의 모델링 함수를 개발하기 위해서는 우선, 이것에 종속된 객체들의 조립을 어떠한 함수들로 구성할지를 설계해야 한다. 본 연구에서는, 함수의 단위 트리 구성에 포함되는 함수들을 그 역할에 따라 세 가지로 구분하였다. 종속 객체의 형상을 구현하는 ‘모델링 함수’, 각 객체의 위치, 방향 및 호출 함수에 입력할 전달인자가 계산되는 ‘설치 함수’, 조립을 위해 가공이 필요할 경우, 가공 부위의 소거를 위한 솔리드를 모델링하는 ‘소거 함수’가 그것이다. 예를 들어, 부재간의 체결과 전달력 저항을 위하여 설계된 Fig. 3(c)와 같은 조합 객체는, 볼트, 와셔, 너트, 분할 핀으로 구성되어 있다. 이들의 조립을 위해서는, Fig. 3(a)와 같이 각 객체의 모델링 함수(**p**, **q**, **r**, **s**)와 분할 핀 관통을 위한 볼트의 소거 함수 **t**, 그리고 이들의 설치 함수 **u**가 필요하다. 모델링 함수 **v**의 단위 트리는 이들로 구성된다. **v**는 또한, Fig. 4와 같이, 보다 상위 객체의 모델링 함수 **B**에서 호출될 수 있다. 이와 같이 어떠한 목표 객체의 모델링 함수를 개발하기 위해서는, 종속 객체의 ‘모델링 함수’, ‘설치 함수’, ‘소거 함수’를 파악하여 함수의 단위 트리를 계획하고, 계획된 모든 함수를 개발하여, 단위 함수부터 순차적으로 조합하는 방식으로, 함수 트리의 최 상위에 있는 목표 객체에 대한 모델링 함수를 개발 할 수 있다.

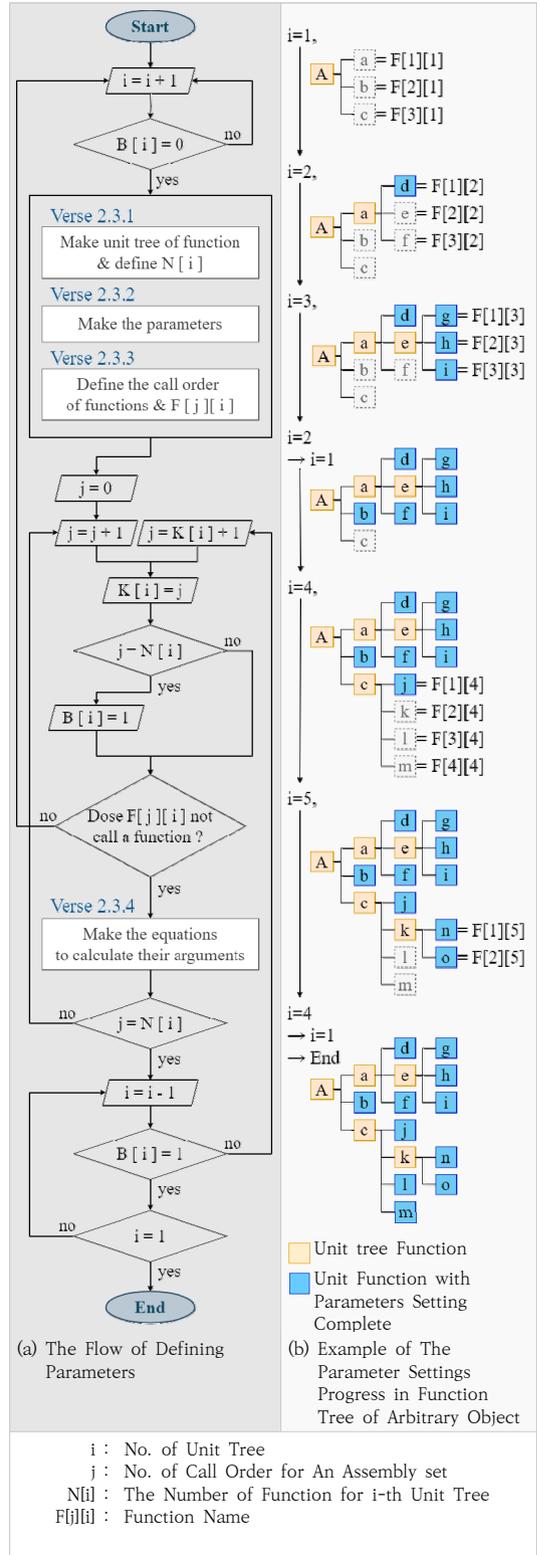
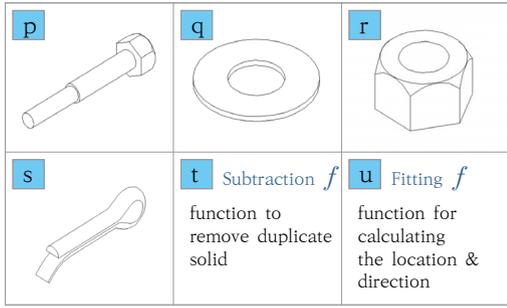
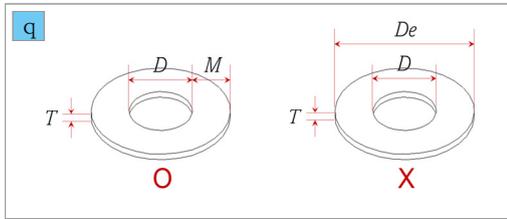


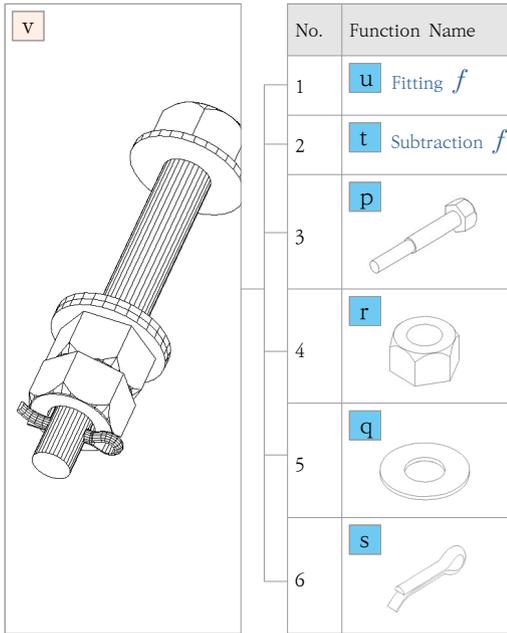
Fig. 2. Defining Parameters



(a) Required Modeling Functions



(b) Parameters Defined as Dimensions That Primarily Determine The Performance of An Object



(c) Modeling Function for An Assembled Object

(d) Call Order

Fig. 3. Modeling Functions Set-up

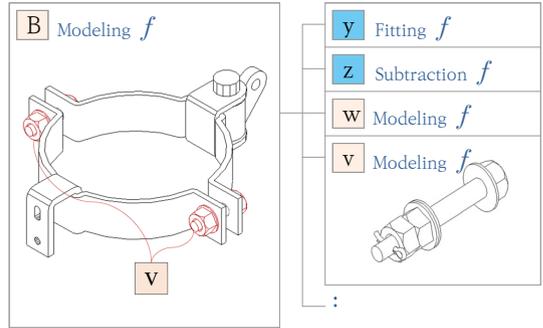


Fig. 4. Call **v** to A Higher Modeling Function, **B**

### 2.3.2 매개변수의 항목 선정

다음은 각 함수에서 필요로 하는 매개변수의 항목을 선정하는 단계이다. 객체의 모델링, 설치, 가공에 필요한 최소 개수의 기하정보(치수, 각도, 비율, 개수)들로 선정하되, 선정되지 않은 모든 기하 정보는 선정된 기하정보들에 의해 계산될 수 있어야 한다. 본 연구에서는 모델링에 필요한 치수를 매개변수로 선정함에 있어, 선정되지 않은 치수의 계산식이 선정된 치수들의 차이로 표현되지 않도록 하였다. 이러한 방식은, 객체의 성능을 원초적으로 결정하는 치수들이 매개변수로 선정되도록 유도한다. 객체의 역할은 또 다른 객체와의 조립 형상으로부터 정의되며 요구되는 성능 역시 그것에 영향을 받기 때문에, 객체의 성능을 원초적으로 결정하는 치수들을 매개변수로 선정하는 것이 유기적인 조립에 유리하다. 예를 들어, Fig. 3(b)와 같은 평 와서는 볼트 머리나 너트에 대하여 체결 면의 손상을 방지하거나 체결 부재의 위치를 조절하는 역할을 한다. 이러한 평 와서의 모델링 함수 **q**에서는, 볼트와의 조립 가능 여부를 결정하는 홀의 직경( $D$ )과 체결 면 보호 및 부재 이동에 대한 성능을 원초적으로 결정하는 폭( $M$ )과 두께( $T$ )를 매개변수로 선정한다. 대부분의 평 와서 규격 표에는 폭( $M$ ) 대신 외경( $De$ )을 규격 치수로 표현하고 있지만, 이렇게 매개변수를 선정하면, 외경에 홀의 직경( $D$ )보다 항상 큰 전달인자가 입력되도록 하는 추가적인 작업이 필요하고, 이 작업의 기준 정보로서 치수 폭( $M$ )은 결국 다시 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 모델링 함수의 매개변수를 구성함에 있어, 해당 객체의 성능을 원초적으로 결정하는 치수들로 선정하여 전달인자의 계산식을 최대한 단순화 시키고자 하였다.

### 2.3.3 함수의 호출 순서 결정

다음으로는 함수를 호출하는 순서를 결정한다. 설치 함수를 가장 먼저 호출시켜야 하며, 다음으로 모델링 함수들이 호출되도록 한다. 모델링 함수들의 우선순위는 각 종속 객체의 성능이 발휘되는 순서로 결정하는데, 이것은 객체의 설계 순서와 동일하다. 또한 소거 함수는 피소거 객체의 조립 전에 호출되어, 해당 객체의 편집에 사용되도록 한다. 예를 들어 Fig. 3(c)에서 볼트는 체결 및 전단 저항을 발휘하는 주요 객체이고, 너트는 볼트의 성능 발휘를 보조하는 객체로 이것의 형상은 볼트에 종속적이다. 와서는 볼트 머리와 너트에 대하여 성능을 발휘하는 객체이며, 분할 핀은 너트의 성능을 유지시키기 위해 볼트 내부를 관통하는 객체로 너트와 와서의 계획이 완료된 이후에 그 위치가 결정된다. 따라서 함수의 호출 순서는, Fig. 3(d)와 같이,  $u \rightarrow t \rightarrow p \rightarrow r \rightarrow q \rightarrow s$  이다. 설계 순서와 동일한 이러한 순서의 함수 호출은, 임의의 사유로 특정 종속 객체의 성능이 변경되어야 할 때, 해당 전달인자의 변경과 관련된 모든 종속 객체들의 형상을 유기적으로 변경시키는데 유리하다.

### 2.3.4 전달인자의 계산

매개변수 설정의 마지막 단계는 각 함수의 매개변수에 입력되는 전달인자를 정하는 단계이다. 가장 먼저 호출되는 함수의 전달인자는 사용자가 입력한다. 그 이후로 호출되는 함수들의 전달인자는 사용자가 입력한 값이나 계산식으로 정해지는데, 중요한 것은 계산될 수 있는 전달인자를 모두 파악하는 것이다. 유기적인 객체 조립의 성패가 여기에 달려있다. 예를 들어, Fig. 5(a)의  $L$ (볼트의 길이)은 함수  $p$ 가 독립적으로 사용되는 경우로 사용자가 입력한 값을 전달받는다. 그러나 함수  $p$ 가 종속적으로 사용되는 경우에는 Fig. 5(b)와 같은 계산식으로 정해진다.  $T_0$ 는 체결에 요구되는 두께이고  $T_1, T_2, N_1, N_2$ 는 사용된 너트와 와서의 두께와 수량이다. 그리고  $M$ 은 마지막 너트 체결 이후에 볼트에 필요한 여유길이이다. 이러한 전달인자 계산식의 적용은 객체의 최소 요구 성능을 모델의 형상에 자동으로 반영시킬 뿐 아니라 동일한 의미를 갖는 정보에 상이한 전달인자가 입력되지 않게 한다.

함수의 단위 트리 설계와 매개변수 항목 선정 및 호출 순서 결정은 결국, 객체들을 유기적으로 조립시킬 수 있는 전달인자를 계산하기 위함이며 이러한 방법으로 어떠한 형상 변화에도 유기적으로 대응할 수 있는 함수간의 연결 고리를 확보할 수 있다.

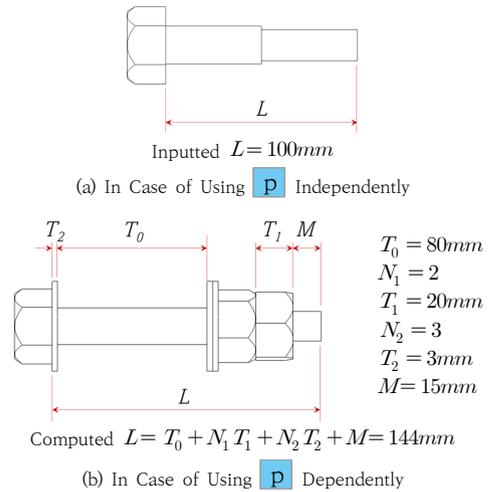


Fig. 5. Calculation of The Argument for Parameter,  $L$

모델링 함수의 이러한 유기적 변형 성능은 모델의 정점 수 제어 역시 형상 변경을 위한 또 하나의 요구사항으로 취급할 수 있게 한다. 2.4절에서는 모델의 정점 수를 제어를 위한 매개변수 설정과 이것의 일반적인 적용에 필요한 작업들을 설명한다.

## 2.4 모델의 정점 수 제어

본 연구에서 의도하는 그래픽 최적화의 형태는, 결론 도출에 필요한 정점들은 모두 포함하되, 최소한의 정점 수를 갖는 모델로 그래픽이 구현되도록 하는 것이다. 이러한 그래픽의 최적화는, 형상 변경에 대한 또 하나의 요구사항으로 볼 수 있기 때문에, 객체 모델링 함수의 기능 중 하나로 구성하여 자동화 할 수 있다.

기능이 구동되는 형태는, 그래픽 최적화를 위한 특정 매개변수를 도입하고, 여기에 허용된 전달인자를 입력하여, 각 객체 별로 모델의 정점 수를 제어하는 것이다. 정점 수 제어를 위하여 본 연구에서 도입한 매개변수는, '곡선에 표시할 정점의 수'와 '모델 형상의 상세 수준'이다. 이 두 매개변수에 대한 의미와 이것이 어떠한 방식으로 모델링 함수에 도입될 수 있는지를 2.4.1절과 2.4.2절에 서술하였다.

### 2.4.1 곡선의 정점 수

직선은 두 개의 정점으로 표현되지만, 곡선은 곡률의 가시화를 위해 더 많은 정점을 필요로 한다. 이렇게 정점의 개수로 정해지는 곡률 표현의 상세한 정도를 곡선의 해상도라고 한다. 그러나 이러한 해상도는 현안이 무엇

인지에 따라 다르게 요구된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 곡선의 해상도를 모델의 정점 수 제어의 자동화를 위한 첫 번째 매개변수로 설정하였다. Fig. 6(a)와 (b)는 Fig. 3(a)의 함수  $p$ 에 해상도 매개변수를 적용한 모델이다. 머리의 모따기(R[1]), 몸통 기둥의 단면(R[2]), 분할 핀이 관통되는 곳을 소거하기 위한 솔리드 단면(R[3]), 이렇게 세 개의 솔리드에 원곡선이 반영되도록 하였으며 각 원곡선에 서로 다른 해상도 매개변수를 적용하였다. Fig. 6(a)는 각 해상도 매개변수에 24, 12, 3이, Fig. 6(b)는 60, 48, 16이 입력된 모델이다. 이 때의 전달인자가 의미하는 것은 한주기(360°)의 원에 표시되는 정점의 수이다. Fig. 6(c)와 (d)는 철도교의 모델링 함수에 평면 및 종단 완화곡선을 적용하고, 이를 중심선으로 레일 객체위에 건축한계의 단면 프로파일을 구현시킨

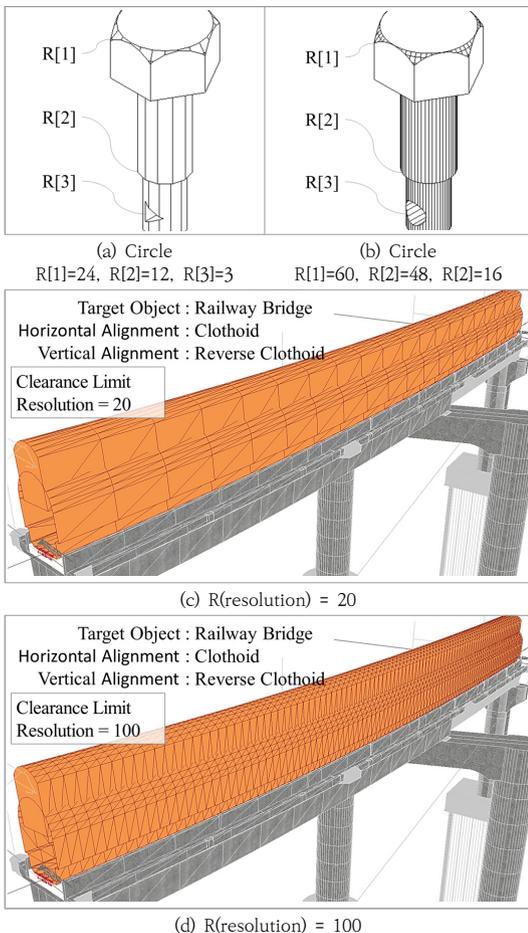


Fig. 6. Application of Parameters That Control The Number of Vertices in The Curve

모델이다. 완화 곡선의 구간 길이는 79.525m이며, 해상도 매개변수 R에, Fig. 6(c)는 20을, Fig. 6(d)는 100을 입력하였다. 이 전달인자는 곡선의 구간 길이에 대한 제수(Divisor)를 의미한다. 따라서 공간 선형 위에는 R-1개의 신규 정점들이 생성된다. 이러한 해상도 매개변수는 곡선이 직선으로 표현되지 않도록 3 이상의 자연수를 전달받는다. 이렇게 곡선이 있는 모델에 해상도 매개변수를 적용하면 모델 전체의 정점 수 증감에 기여할 수 있다.

### 2.4.2 모델 형상의 상세 수준

모델에 요구되는 형상은 모델에서 확인하고 싶은 객체가 무엇인지에 따라 달라진다. 예를 들어, 교량 받침부의 모델에서 교좌장치의 활동 방향 및 방향 제한 형상에 대한 상세 치수를 확인하고 싶다면, Fig. 7(b)와 같은 수준의 형상으로 표현된 모델이 필요하다. 그러나 교량 받침부가 검토 대상에서 제외된다면, Fig. 7(c)처럼 더 낮은 상세 수준의 모델을 사용하거나, 모델링할 필요가 없을 수도 있다. 모델 형상에 대한 이러한 요구 수준(이하 LOG, Level Of Geometry)이 객체별로 규정되어 있다면, 규정된 LOG를 모델링 함수의 매개변수로 도입하여 사용자가 원하는 상세수준의 모델을 자동으로 생성할 수 있다.

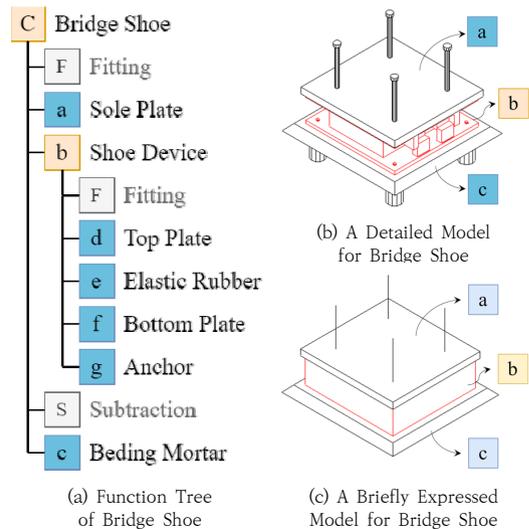


Fig. 7. Level of Geometry for Bridge Shoe

따라서 본 연구에서는, 객체의 유형이나 규모에 관계없이, 모델의 LOG를 규정하는 방법을 제안하고, 이 LOG를 모델링 함수에 적용하여 모델의 정점 수 제어를 자동화 하였다. 이 방법은 '단위 모델링 함수'에 적용하는 방법과 '단위 트리 함수(단위 트리의 최 상위 노드)'에 적용

하는 방법으로 구분 할 수 있는데, 순서는 단위 모델링 함수에 먼저 적용한 후 단위 트리 함수에 적용한다. 왜냐하면 단위 트리 함수의 LOG는, 여기에 호출되는 단위 모델링 함수의 LOG로 규정되기 때문이다. Fig. 7(a)의 함수 트리를 예로 들면, a, d, e, f, g, c는 단위 모델링 함수이며 C, b는 단위 트리 함수이다.

(1) 단위 모델링 함수의 LOG 매개변수 적용

Fig. 8은 단위 모델링 함수에 LOG 매개변수를 적용하는 절차이다. 첫 번째는 최고 LOG를 규정하는 것이다. 이것은, 대상 객체에 요구될 수 있는 가장 상세한 형상을 규정하는 것으로, 기존 과업들에서 대상 객체를 가장 상세하게 표현한 성과품을 찾아 그것의 형상으로 규정하면 된다. 예를 들어, 레일의 단면 프로파일은 한국철도표준규격[10]에 표시된 치수들이 모두 확인되는 Fig. 8(a)와 같은 형상으로 규정할 수 있다.

두 번째는 최저 LOG를 규정하는 것이다. 그 방법은 LOG 규정 대상 객체와 접촉하는 객체들 중 후순위로 설계되는 객체가 무엇인지 파악하고, 설계 후순위 접촉 객체의 형상이나 위치에 영향을 주는 대상 객체의 치수들을 선정하여 선정된 치수들만으로 구현할 수 있는 형상을 대상 객체의 최저 LOG로 규정하는 것이다. 설계 후순위 접촉 객체를 파악할 때는 매개변수 설정 단계에서 결정했던 함수의 호출순서를 활용한다.

만약 설계 후순위 접촉 객체가 둘 이상이라면, 이들 중 더 큰 규모로 설계가 진행되는 객체를 설계 후순위 접촉 객체로 결정한다. 예를 들어, 레일에 접촉되는 설계 후순위 객체에는 철도의 레일패드와 절연블록이 있으며 이중 더 큰 규모로 설계가 진행되는 객체는 침목, 도상, 교량으로 진행되는 레일패드이다. 레일패드의 위치를 결정하는 레일의 치수는 단면의 총 높이와 두부의 폭이므로 이들만으로 표현되는 형상은 Fig. 8(b)와 같다.

세 번째는 소요 LOG를 규정하는 것이다. 이것은 모델에서 확인이 요구되는 기하 요소(치수)가 최저 LOG에는 없고, 최고 LOG를 적용하기에는 물리적 메모리 부족이 우려되는 경우에 규정한다. 또한 정점 수가 동일하다면 최고 LOG에 규정된 기하 요소들이 최대한 반영되도록 한다. 예를 들어 레일 모델에서 응력확보와 관계된 주요 치수 확인이 요구되는 경우, 두부, 복부, 받침부의 폭과 높이에 의해 결정되는 형상으로 소요 LOG를 규정할 수 있는데, 두부와 받침부에서 복부 쪽으로 폭이 변화되는 구간의 기울기를 표현하더라도 정점의 수는 동일하므로 Fig. 8(c)와 같은 형상으로 소요 LOG를 규정할 수 있다.

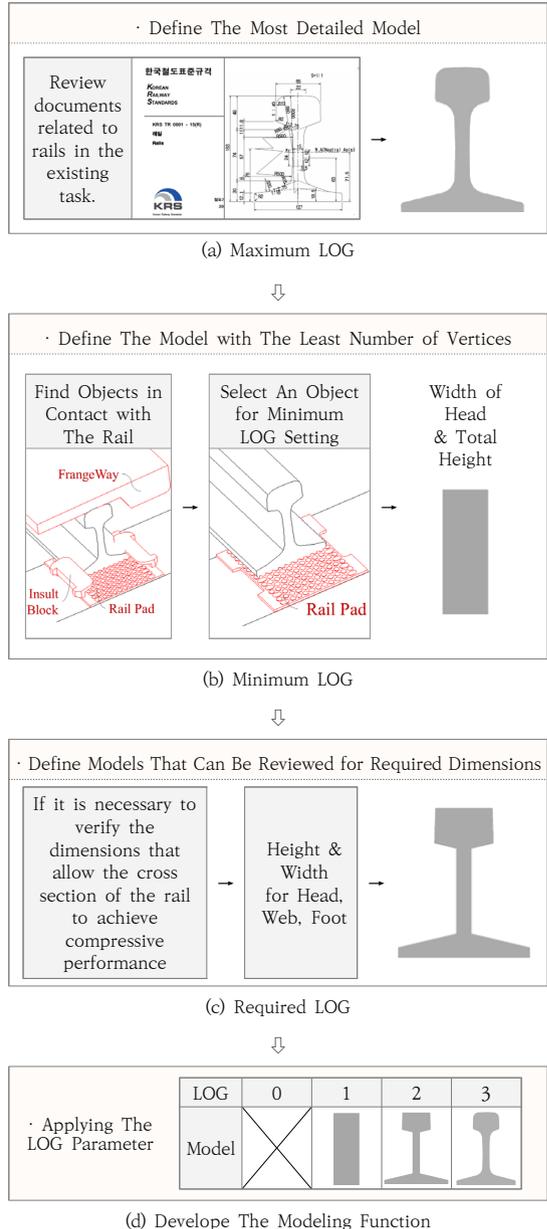


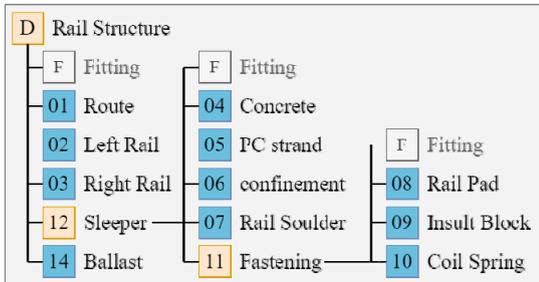
Fig. 8. Applying LOG Parameter to Unit Modeling Function

마지막으로, 모델링 함수를 개발한다. 최고 LOG의 형상에 대하여, 2.3.2절과 같은 방법으로 매개변수 항목을 구성한다. 이 때 LOG도 매개변수로 설정하는데, 본 연구에서는 이것의 전달인자로 0을 포함한 자연수가 입력되도록 하였다. 0이 입력되면 모델링되지 않도록 하고 1부터는 더 큰 수가 더 상세한 수준을 의미한다. 레일 프로파일의 경우, Fig. 8(d)와 같이, LOG 매개변수에는 0,

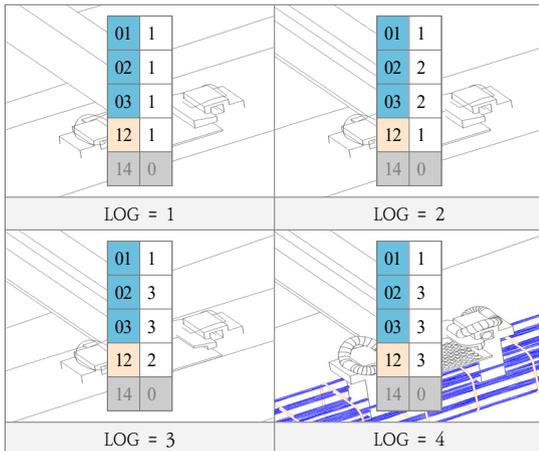
1, 2, 3이 전달인자로 입력될 수 있으며, 이에 대응하는 형상으로 변경될 수 있도록 모델링 함수를 개발한다. 본 연구에서 제안하는 LOG 규정 방법은 Lee et al.(2021)가 제안한 슬리드 유닛의 LOG 특정 방법을 좀 더 보편적으로 적용할 수 있도록 보완한 것이다.

(2) 단위 트리 함수의 LOG 매개변수 적용

단위 트리 함수의 LOG는 이것이 호출하는 모델링 함수들의 LOG로 규정된다. 예를 들어, Fig. 9와 같은 궤도부의 모델링 함수는 Fig. 9(a)와 같은 함수 트리로 되어 있다. 단위 트리 함수 **D**가 호출하는 모델링 함수는 **01**, **02**, **03**, **12**, **14**이다. **D**의 LOG는 Fig. 9(b)와 같이 호출 함수에 입력된 LOG로 설정할 수 있다. 단위 트리에 대한 이러한 LOG 규정 방법은, 아무리 복잡한 구조의 함수 트리로 모델링되는 객체라 하더라도 LOG를 규정 할 수 있게 한다. 이 방법은 Lee et al.(2021)의 연구 내용 중 '어셈블리의 LOG 특정 방법'을 참고한 것이다.



(a) Function Tree of Rail Structure



(b) Model of Rail Structure for LOG

Fig. 9. Applying LOG parameter to Unit Tree Function

2.5 효용성 검증

본 연구에서 제안한 방법론의 효용성 검증을 목적으로, 단선 철도 교량을 모델링하는 함수, **E**를 개발하고 구동해 보았다. **E**의 함수 트리는 Fig. 10과 같다. 이 함수 트리에 존재하는 모든 노드는 2.3절의 방법으로 매개변수를 설정하고, 2.4절의 방법으로 정점 수가 제어되도록 개발된 모델링 함수들이다.

2.5.1 매개변수 설정방법의 검증

따라서 전달인자 변경에 대한 **E**의 유기적인 객체 조립 성능을 검증하는 것은 본 연구에서 제안한 매개변수 설정 방법을 검증하는 것과 같다. 검증의 신뢰성을 높이기 위하여, 전달인자의 연쇄적인 변경을 더 많은 호출 함수에 발생시키고, 이것이 반복되면서도 현실적인 요구사항에 의한 것이 되도록, **E**에 완화곡선을 도입하고 캔트(Cant)와 슬랙(Slack)을 적용해 보았다.

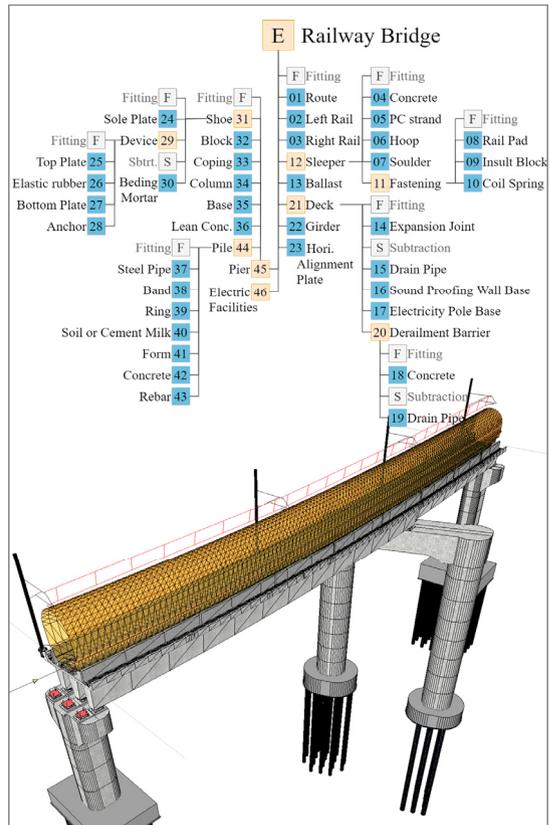
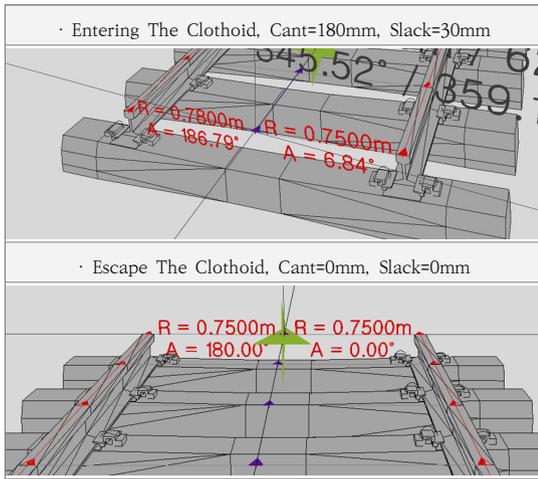
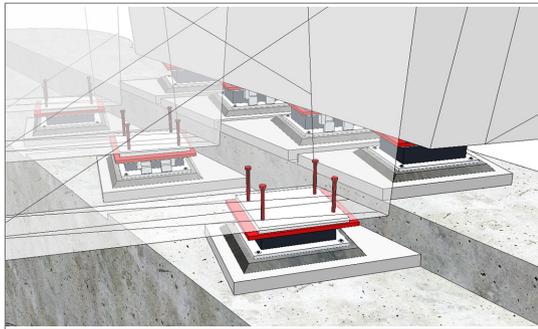


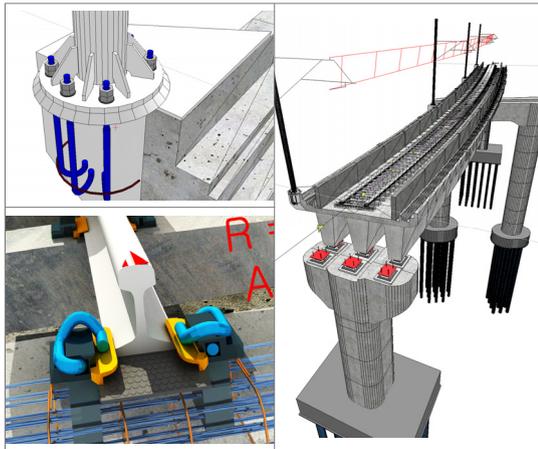
Fig. 10. Railway Bridge Modeling Function



(a) Objects Which Is Applied Cant & Slact



(b) The Supper and Sub Structures



(c) The Others

Fig. 11. Organic Assembling in a Railway Bridge

그 결과, Fig. 11(a)에서와 같이, 침목이 설치되는 위치마다 전달인자의 연속적인 변경이 반복되어, 레일을 비롯한 궤도분야(침목, 체결장치, 도상) 모델의 형상이

자동으로 변경되는 것을 확인할 수 있었으며, 정확한 위치와 방향으로 이동, 회전하여 유기적으로 조립되는 것도 확인할 수 있었다. 또한 인접한 두 상부 거더의 형고와 보의 구성을 상이하게 계획하고 거더의 하면에 교직 방향의 기울기를 적용하여, 교각의 모델링 함수가 복잡한 교좌면 형상을 맞이하도록 설정해 보았다. 그 결과, Fig. 11(b)와 같이 교축, 교직 방향의 교좌면 단차가 모델에 정확히 반영되고 있음을 확인할 수 있었다. 그 외에도, Fig. 11(c)와 같이, 바닥판, 전주 기초, 전주의 조립, 전차선과 가동 브래킷의 조립, 체결 장치와 침목의 조립 등, 전달인자 변경에 대한 함수 E의 유기적인 객체 조립 성능이 검증되었다.

### 2.5.2 정점수 제어방법의 검증

또한 Fig. 12는 본 연구에서 제시한 방식으로 상세 수준을 규정한 모델의 예(바닥판, 말뚝기초, 전차선로 구성 객체)이다. 함수 E에서 호출되는 모든 모델링 함수들은 Fig. 12와 같은 LOG 매개변수가 적용되어 있다. 따라서 Fig. 13과 같이 검토 대상이 아닌 객체들은 모델의 정점수를 저감시켜 구현할 수 있다.

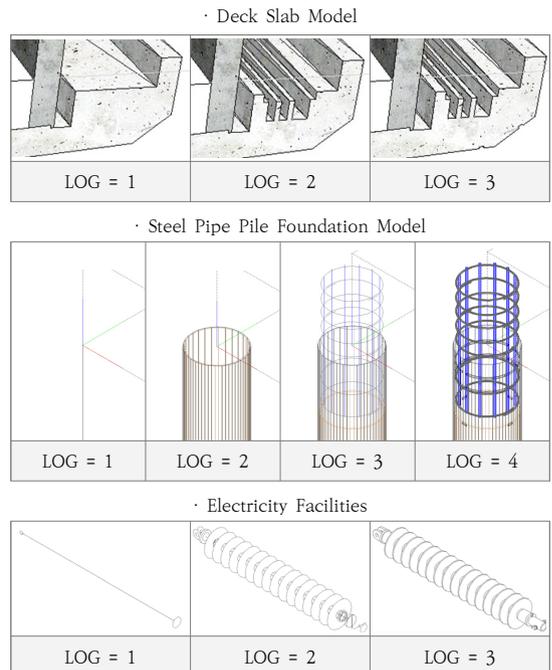


Fig. 12. Vertices Reduction for Various Models

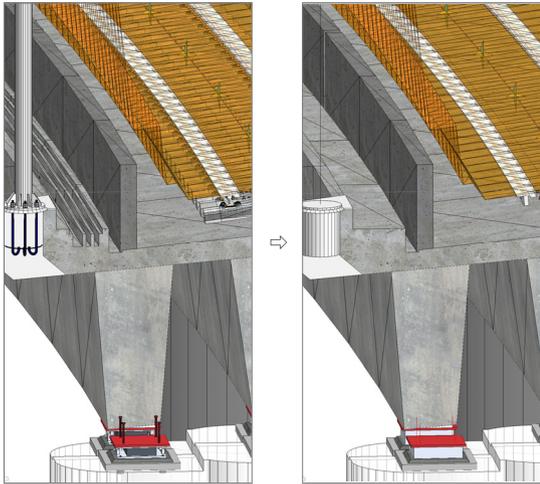


Fig. 13. Vertices Reduction of A Railway Bridge

또한, 동일한 객체가 반복되는 Fig. 14와 같은 경우, 검토를 요하는 순번의 객체를 제외한 다른 객체들의 LOG를 일괄적으로 제어하여 전체 모델의 정점을 저감시키는 등, LOG 매개변수를 다양하게 응용하여 적용하는 것이 가능했다.

이처럼 본 연구에서 제안한 매개변수 설정 방법을 활용하여 다양한 전달인자의 변경에도 유기적인 객체 조립 성능을 유지하는 모델링 함수를 개발 할 수 있었으며, LOG 매개변수를 도입하여 현안에 최적화된 그래픽이 되도록 모델 정점 수를 제어할 수 있었다.

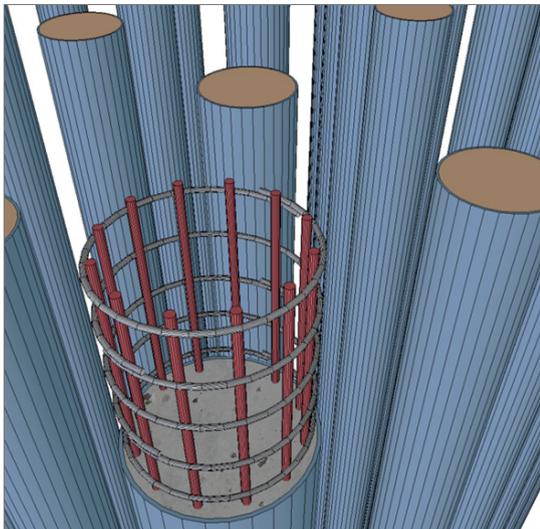


Fig. 14. Bulk Reduction of Vertices for Multiple Objects with Using LOG Parameter(Steel Pipe Pile Foundation)

### 3. 결론

본 연구에서는 객체들이 유기적으로 조립될 수 있도록 매개변수를 설정하고, 현안에 최적화된 그래픽이 표현될 수 있도록 모델의 정점 수를 제어하는 일련의 방법론을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 방법은 객체의 성능을 원초적으로 표현하는 치수들로 매개변수 항목을 설정하는 것, 객체의 성능발휘 순서대로 함수 호출 순서를 결정한 후, 전달인자 계산식을 빠짐없이 적용하는 것, 전체 함수 트리 상에 위치하는 모든 모델링 함수에 LOG 등급 정수를 매개변수로 적용하는 것으로 요약할 수 있다. 또한 이것의 효용성을 검증하기 위하여, 제안하는 방법대로 단선 철도 교량을 모델링하는 함수를 개발하고, 객체간의 유기적인 조립과 객체별 정점 수 제어에 대한 성능을 검증하였다. 유기적인 조립 성능 검증을 위하여 발생시킨 대표적인 전달인자 변경 사유는 철도의 곡선 구간 중 곡률이 감소되는 완화곡선 구간에 적용한 캔트와 슬랙이며, 그 결과, 레일의 후순위 객체들 모두가 유기적으로 조립되는 것을 확인하였다. 정점 수 제어는 곡선에 대한 해상도 매개변수와 객체별 LOG 등급 정수로 제어하는데 본 연구에서 개발한 교량의 모델링 함수를 구성하는 모든 객체들은 입력한 정수로 계획된 형상으로 정점 수가 제어된 모델을 구현하고 있음을 확인하였다. 이러한 본 연구의 결과는 BIM 통합 시스템의 궁극적인 목표인, 실시간 의사 반영 및 결정을 위해 꼭 필요한 실시간 모델링 기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

### References

- [1] C. S. Kimi, "Easy Learning Software Engineering.", 512, Hanbit Academy, Inc., 2015.11.30., Ch.06
- [2] J. H. Hwang, S. C. Hwang, "An XML Database System for 3-Dimensional Graphic Images.", Journal of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol.29, No.2, pp.110-118, April 2002.
- [3] C. H. Jung "The Design of Geometry Processor for 3D Graphics.", Journal of the Korea Information Processing Society, Vol.7, No.1, pp.252-265, 2000.
- [4] T. W. Kang "BIM Geometry Cache Structure for Data Streaming with Large Volume.", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.18, No.9, pp.1-8, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.9.1>
- [5] H. S. Kim, H. M. Lee, I. S. Lee, "A study on Development of Practical BIM Library for Automated

BIM Design in Port and Harbor Infrastructure.”, Journal of the Korean Institute of Building Information Modeling, Vol.9, No.4, pp.21-30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2019.9.4.021>

- [6] Y. K. Park, J. H. Oh, H. S. Park, “Development and Application of BIM Library for Offshore Wind Jacket Foundation.”, Journal of the Korean Institute of Building Information Modeling, Vol.12, No.1, pp.62-71, 2022. DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2022.12.1.062>
- [7] Y. O. Kim, S. Y. Moon, H. T. Yoon, Y. G. Park, “Development of Automation Technology for Modeling of Railway Infrastructure using BIM Library.”, Journal of the Korean Institute of Building Information Modeling, Vol.12, No.3, pp.18-29, 2022. DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2022.12.3.018>
- [8] H. M. Lee, H. S. Kim, I. S. Lee, “A Study on the simplification of Inputting Attributes into a Building Information Model -II: The Development of Parametric Model with Structural Calculation Formula for Retaining Wall.”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.24, No.2, pp.145-153, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.2.145>
- [9] H. M. Lee, H. S. Kim, I. S. Lee, “A Study on LOG Specific Methods for BIM of Transportation Infrastructure Facilities.”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.22, No.11, pp.848-858, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.11.848>
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “KRS-TR-0001-15(R)”, Korean Railway Standard, pp.16-20, 2006.

---

김 현 승(Hyeon-Seung Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경상대학교 건설공학부 토목공학 (공학사)
- 2011년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2018년 6월 ~ 현재 : ㈜서영엔지니어링 BIM개발부 차장

<관심분야>

건설관리, BIM, 설계자동화

---

이 일 수(II-Soo Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 연성대학교 공과대학 토목과 (공학사)
- 1991년 5월 ~ 현재 : 서영엔지니어링 BIM개발부 부서장

<관심분야>

BIM, 토목설계

---

이 현 민(Heon-Min Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 성균관대학교 건축조경 및 토목공학부 (공학사)
- 2006년 2월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 (공학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 서영엔지니어링 BIM개발부 부장

<관심분야>

BIM, 설계자동화, 구조해석