

교통 인프라 시설의 BIM을 위한 LOG 특정 방법 연구

이현민*, 김현승, 이일수
서영엔지니어링 BIM개발팀

A Study on LOG Specific Methods for BIM of Transportation Infrastructure Facilities

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

요약 BIM의 확산과 정착을 위한 선결 과제는 디지털 모델의 형상 제작에 대한 표준을 정립하는 것이다. 이러한 모델 제작의 표준은 형상에 대한 상세수준을 고려하여 정립해야 한다. 따라서 본 연구에서는 교통인프라 시설을 대상으로 소프트웨어의 종류나 시설의 유형 및 규모에 관계없이 디지털 모델의 형상에 대한 상세 수준을 명확히 정의할 수 있는 방법을 제시하였다. 디지털 모델은 객체의 구성을 기준으로 유닛과 어셈블리로 그 유형을 구분하였으며 각 유형에 적합한 LOG 특정 방법을 제시하였다. 제시된 방법의 검증은 위하여 철도의 궤도 시설을 예시로 LOG를 특정하였으며 적용성 평가를 위하여 설문조사 수행하였다. 그 결과 시설의 형상이나 규모 및 구성에 관계없이 명확하게 LOG를 특정할 수 있을 뿐 아니라 다른 BIM 요소기술의 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 평가되었다. 본 연구에서 제시한 LOG 특정 방법을 활용하면 발주처에서는 디지털 모델의 요구 상세 수준에 대하여 좀 더 간결하고 명확하게 표현된 문서를 제작 할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The prerequisite for the spread and settlement of BIM is the establishment of standards for the shape modeling of digital models. It is also important that the level of geometry be reflected in this standard. Therefore, this study proposed a method for clearly defining the level of geometry of the digital model regardless of the type of software or the type and size of the transportation infrastructure facilities considered as the cases for the present study. Digital models were divided into units and assemblies based on the composition of the objects, and LOG-specific methods were proposed for each type. The proposed method was verified by specifying the LOG for an example case of the railroad trajectory facility. In addition, a survey was conducted to evaluate the applicability of this method. The evaluation result showed that the LOG could be clearly specified regardless of the facility's shape, size, and configuration. It was evaluated that this method could be used in the development of other BIM elemental technologies. By using the LOG-specific method presented in this study, it is expected that the client will be able to produce a more concise and clearly expressed document on the level of demand details of the digital model.

Keywords : Building Information Modeling, Digital Model, Level Of Development, Level Of Geometry, Level Of Information, LOG Specific Methods

본 논문은 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 “철도인프라 BIM 설계 생산성 향상 및 품질관리 기술 개발” 지원으로 수행되었음.

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

email: misora410@gmail.com

Received October 15, 2021

Revised November 2, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

IT 기술의 급격한 발전과 보급은 건설 산업 전반에 걸쳐 기존 프로세스의 근본적인 혁신을 부추기고 있다. 이러한 혁신을 가속화 할 수 있는 기술로 BIM(Building Information Modeling)이 주목받고 있다. 세계 각국은 BIM의 정착과 실용화를 앞당기고자 정부의 주도하에 정책을 마련하고 법제화를 추진 중이다[1]. 한국도 BIM을 4차 산업혁명의 주요 의제 중 하나로 다루며 이를 적용하고 활성화하기 위한 정책을 개발하고 있다[2]. Park 등은 BIM의 확산과 정착을 위한 정책의 우선순위를 도출하기 위한 설문조사를 수행하였고 그 결과 BIM 표준화가 가장 높은 우선순위로 도출되었다[3].

건설 정보는 과업 참여자들이 결정한 다양한 의사로 도출되는데 건설 프로세스가 진행됨에 따라 수시로 변경·누적된다. BIM 프로세스에서 디지털 모델은 이러한 정보들을 가장 빠르고 정확하게 혹은 직관적으로 표현할 수 있는 수단이자 리포지터리(repository)로 기능해야 하는 핵심 기술 요소이며 프로세스의 시작부터 관여한다. BIM은 객체기반으로 정보를 통합하기 때문에 우선 정의되는 건설 정보는 시설의 형상을 결정하는 기하 정보이다. 이에 중속하여 재료, 검토, 성능, 시간, 비용을 비롯한 각종 속성 정보들이 결정된다. 결국 BIM의 확산과 정착을 위한 선결과제인 표준화는 디지털 모델의 형상 제작에 대한 표준을 정립하는 것부터 시작되어야 한다.

이러한 모델 제작의 표준은 형상에 대한 상세수준을 고려하여 정립해야 한다. 그 이유는 불필요한 모델링 작업과 데이터를 없애기 위함이다. 이것은 무엇보다 디지털 모델이 활용되는 모든 작업의 효율성과 직결되는 중요한 이슈이다. 객체의 구성이 복잡하고 구현해야 하는 면의 수가 많을수록 모델의 데이터 규모가 증가하기 때문에 고수준의 상세로 형상이 모델링된 다수의 객체들이 모여 구축된 프로젝트 단위의 디지털 모델은 고사양의 컴퓨터에서도 그 작업성이 현저히 떨어질 수 있기 때문이다. 더욱이 그 객체들이 파라메트릭하게 연결된 유기적인 구조를 보이고 있다면 상관없는 중속변수들이 계산되는 루틴이 기하급수적으로 증가 할 수 있어 모델에 새로운 정보를 반영하고 구동시키는데 많은 시간이 소비될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 현재 도출해야하는 설계 정보의 산출에 사용되는 연관 변수들을 파악하고 이들 변수들을 획득할 수 있는 최저 수준의 형상 상세를 갖는 모델을 활용하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 프로

젝트가 진행되며 도출되는 모든 건설 정보에 대해서 각 경우마다 최적의 형상 상세를 결정하는 것은 현재로서는 어려운 실정이다.

따라서 대부분의 BIM 지침이나 가이드라인 에서는 디지털 모델에 대한 상세수준을 프로젝트의 생애주기인 계획-설계-시공-유지관리로 구분하고 형상의 변경이 가장 빈번히 발생하는 설계 단계를 좀 더 세분하여 Table 1과 같이 제시하고 있다[4]. 그러나 각 단계의 기준 내용이 다소 포괄적으로 기술되어 있을 뿐 아니라 프로젝트와 대상 시설에 따라 해당 단계에서 요구하는 정보의 수준이 다른 경우도 빈번히 발생하기 때문에 이러한 기준만으로 상세수준을 특정하기 어렵다.

본 연구에서는 교통인프라 시설을 대상으로 그 규모나 사용하는 소프트웨어의 종류에 관계없이 형상의 상세수준을 예외 없이 특정 할 수 방법을 제시하고자 한다. 또한 이러한 방법을 통하여 교통인프라 분야의 BIM 적용 지침과 실무요령 마련을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

Table 1. Level of Development[4]

Level	Phase		Standard	Reference
100	Conceptual Design		Area, Height, Volume, Position, Direction	LOD100 BIL10,20
200	Schematic Design		Required Geometry	LOD200 BIL30
300	Construction Documents	low	All required members	LOD300 BIL40
350		high		LOD350 BIL40
400	Fabrication and Assembly		All available members	LOD400 BIL50
500	As-Built		Available data	LOD500 BIL60

1.2 이론적 고찰

1.2.1 LOG, LOI, LOD

디지털 모델의 상세수준은 대상 시설의 형상을 2차원 혹은 3차원에서 구현하기 위하여 필요한 기하정보에 대한 상세수준(LOG: Level Of Geometry, 이하 LOG)과 재료, 검토, 성능, 시간, 비용을 비롯한 모델의 속성으로 저장되는 모델 보유 정보에 대한 상세수준(LOI: Level Of Information, 이하 LOI)으로 구분된다. 그리고 기하정보와 속성정보 모두가 고려된 디지털 모델의 상세수준을 LOD(Level Of Development)라 한다[5].

여기서 기하정보는 다시 식별 정보와 치수 정보로 구분될 수 있다. 식별 정보는 모델을 구성하는 선의 유형(실선, 점선 등)이나 컬러 또는 면에 입혀지는 색이나 텍스처에 대한 정보이다. 객체별로 약속된 색이나 텍스처를 레이어로 정의하여 적용할 수 있다. 또한 치수 정보는 입체 도형의 조형 요소인 점, 선, 면, 솔리드의 와이어 프레임을 작도하기 위한 길이, 각도, 개수를 의미한다.

1.2.2 선행 연구

디지털 모델의 상세수준과 관련된 용어를 키워드로 선행 연구를 조사하였으며 이를 바탕으로 본 연구 목표에 대한 당위성을 확립하였다. Bae et al.(2011)은 국내의 LOD 기준과 적용사례를 분석하여 모델링 범위의 혼선을 방지할 수 있는 상세 수준 정의가 필요함을 강조하였다[6]. An et al.(2017)은 디지털 모델로부터 추출할 수 있는 내역 항목을 5가지로 구분하여 내역서 수준을 분석하였다[7]. Olsen et al.(2017)은 수량 산출 대상에서 누락되는 항목들을 조사하여 디지털 모델을 활용한 수량산출의 제한요인을 파악하였다[8]. Choi et al.(2019)은 모델의 상세수준에 따라 산출될 수 있는 현행 내역 항목을 도출하여 전적단계 BIM 도입을 위한 현행 내역서 체계를 개선하고자 하였으며 최적화된 모델 상세수준을 바탕으로 효율적인 BIM 전적 업무가 가능함을 강조하였다[9]. 본 연구의 결과로 제시되는 LOG 특정 방법은 선행 연구들에서 공통적으로 그 필요성을 강조하고 있는 LOD 기준 정립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 본론

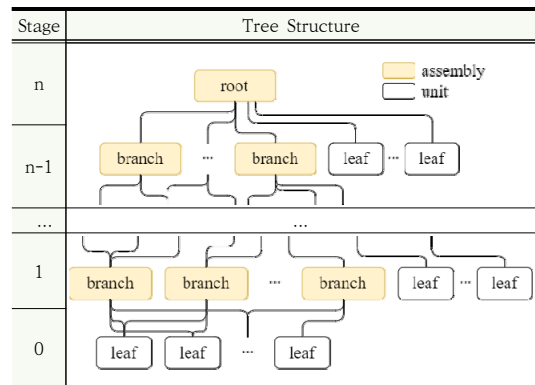
2.1 LOG 특정 방법 제시를 위한 디지털 모델의 유형 분류

본 연구에서는 LOG 특정 방법을 제시하기 위하여 디지털 모델의 유형을 몇 가지로 구분하였다. 유형을 구분한 이유는 각 유형별로 방법을 달리하여 좀 더 최적화된 LOG 특정 방법을 제시하기 위함이다. 본 절에서는 2.2 절부터 소개되는 디지털 모델의 LOG 특정 방법을 활용함에 있어, 모델 구축 대상 시설에 맞는 방법이 선택될 수 있도록, 디지털 모델의 유형을 구분한 기준과 이 기준으로 구분된 유형들 각각에 대하여 설명한다.

2.1.1 유닛과 어셈블리

목적(target) 시설의 디지털 모델을 구축하는 통상적인 방법은, Table 2와 같이 컴포넌트(component)들의 조립 메커니즘을 알 수 있는 트리 구조(tree structure)를 계획한 후, 리프(leaf) 노드(node)에 위치한 컴포넌트들을 모두 확보하여 루트(root) 노드까지 순차적으로 조립해 나가는 것이다. Table 2에서 리프 노드에 위치한 컴포넌트들은 트리 구조를 구성하는 최소 단위의 디지털 모델이며 본 연구에서는 이러한 유형의 모델을 유닛(unit)이라고 한다. 또한 리프를 제외한 모든 노드에 위치한 컴포넌트들은 둘 이상의 서브 모델들이 조립된 디지털 모델이며 이러한 유형의 모델은 어셈블리(assembly)라고 한다. 본 연구에서는 디지털 모델의 트리 구조를 구성하는 컴포넌트의 두 가지 유형인 유닛과 어셈블리 각각에 대하여 LOG 특정 방법을 제시하였다.

Table 2. Two typical types of digital model and Tree Structure

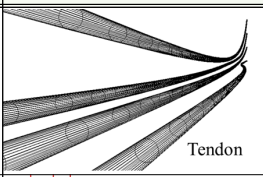
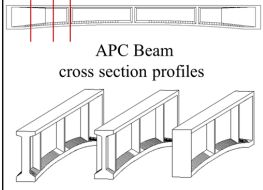
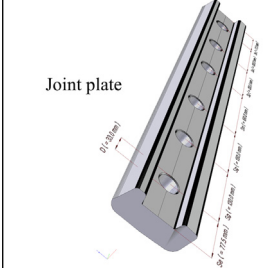
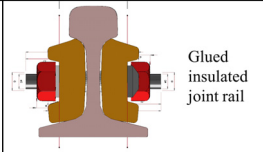


2.1.2 유닛의 유형 분류

어셈블리는 자신의 서브 모델들(다른 어셈블리 또는 유닛)을 적합한 좌표와 방향으로 위치시키는 배열 작업과 변형, 병합, 공제와 같은 편집 작업만으로 생성된다. 실제 조형이 이루어지는 시기는 유닛을 생성할 때이다. 유닛은 조형 요소인 점, 선(line), 면(face) 솔리드 그 자체이거나 이들이 결합된 입체 도형이다. 본 연구에서는 선, 면, 솔리드(solid)에 대하여 LOG 특정 방법을 제시하였다. 점(point)을 제외한 이유는 상세 수준에 영향을 받을 수 있을 만한 기하 데이터(길이, 넓이, 체적)가 존재하지 않기 때문이다. LOG 특정 방법을 제시할 유형의 유닛들에 대한 예시는 Table 3과 같다. 교통인프라 분야에서 선으로 표현되는 대표적인 유닛은 철도 및 도로의 중심

선형(route)과 중심 선형에 의하여 종속적으로 결정 되는 경로 선형(route)이 있다.

Table 3. Classification of types to rank the LOG of the digital model.

Class	Example	Image
Unit	·The route of rail, road. ·The path of guard-rail, Tendon, cable, etc.	 Tendon
	·The profile of girder, beam, rail. ·The ground surface. ·The geological surface, etc.	 APC Beam cross section profiles
	Any model whose volume is calculated. (Soil, Drainage, Slab, Girder, Beam, Column, Wall, Footing, Shell, Tunnel lining, Plate, Pipe and any unit for assembly, etc.)	 Joint plate
Assembly	Any model that has Unit or Assembly as a component in its child	 Glued insulated joint rail

중심 선형은 평면 선형과 중단 선형의 변화가 모두 표현된 유한개의 점 좌표 혹은 이들 좌표를 산출할 수 있는 함수를 통하여 모델로 구현될 수 있다. 경로 선형은 중심 선형을 따라가며 가설되는 부재 및 시설의 생성과 배열을 위한 선형으로 설계된 횡단 이격과 방향을 변수로 중심 선형에 종속하여 신규로 획득되는 선형이다. 경로 선형의 모델 구현 방법은 중심 선형과 동일하다. 이 외에는 중심 선형과 독립적으로 가설되는 부재나 부품의 기준선 모델 또는 부재 내부에 설치되는 철근이나 텐던(tendon)과 같은 재료의 중심선 모델 등이 있다.

면으로 표현되는 유닛에는 부재나 재료의 단면 형상을 결정하는 프로파일(profile) 모델과 두께를 적용하여 솔리드로 생성할 수 있는 서피스(surface) 모델이 있다. 대표적인 프로파일 모델에는 도로 및 철도의 절·성토 경사

가 포함된 표준 횡단면 모델, 교량의 바닥판이나 거더 및 보의 단면 프로파일 모델, 터널의 내공 단면이나 공동구 및 배수로가 포함된 콘크리트 라이닝 프로파일 모델 등이 있으며 철도의 레일과 같이 중심·경로선형을 따라 모델링되는 규격화된 단면 프로파일 모델 등이 이에 속한다. 서피스 모델에는 측량 및 지질조사를 통하여 획득한 좌표들로 이루어진 지반 및 지질 경계면에 대한 삼각망 모델이나 탱크, 돔과 같은 셸 모델 등이 있다.

솔리드로 표현되는 유닛에는 특정한 입체 형상으로 제작되어 체적을 갖는 모든 모델들이 속한다.

2.2 유닛의 LOG 특정 방법

유닛의 LOG 특정을 위하여 본 연구에서 제시하는 기본적인 방법은 LOG 상한(upper limit)을 먼저 결정 한 후 필요한 경우에만 그 레벨을 저감시켜 저수준의 LOG를 정의하는 것이다. 이 때 LOG 상한은 '시공 전 결정해야 하는 모든 기하 데이터들을 컴퓨터 그래픽으로 구현한 수준'으로 모든 유형의 유닛에 대하여 동일하게 정의하였다. 본 절에서는 유닛의 세 가지 유형인 선, 면, 솔리드에 대하여 각 유형에 일반적으로 적용할 수 있는 LOG 특정 방법을 제시한다.

2.2.1 선 유닛

선으로 제작되는 유닛은 단면 프로파일의 진행 경로로 기능하여 솔리드의 형상을 결정하거나 특정 설계 변수와 함께 시설의 배열 위치와 방향을 결정한다. 본 연구에서는 선 모델에서 얻게 되는 신규 점 좌표의 정확성을 척도로 LOG를 특정하였다. 계획된 선형을 모델로 구현하는 방법은 제공받는 데이터의 구성에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 선형을 지배하는 함수를 데이터로 제공받는 경우이며 두 번째는 선형을 모델로 구현 할 수 있는 최소 개수의 점들을 데이터로 제공받는 경우이다. 선은 직선과 곡선(curve)으로 구분되며 직선은 두 경우 모두 엄밀한 신규 점 좌표를 획득할 수 있어 LOG 분류가 의미가 없지만 곡선은 함수로 제공받는 경우가 점들로 제공받는 경우에 비해 언제나 높은 정확도를 갖는다. 그 이유는 데이터를 점들로 제공받으면 점과 점 사이를 보간(interpolation)한 근사 해로 신규 점의 좌표를 얻는 반면 함수로 제공받으면 엄밀 해로 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 곡선 모델에 대한 LOG를 Table 4와 같이 정의하였다. LOG의 상한은 계획된 곡선에 대한 지배 함수로 구현되는 그래픽이다. 시점에서

떨어진 어떤 임의의 거리에서도 계획된 곡선 위의 정확한 위치를 알 수 있는 공간좌표와 해당 위치에서의 방향을 알 수 있는 회전각들이 산출되는 함수 또는 모듈을 제공받거나 해당 곡선에 대한 모든 설계변수가 구현된 종단 선형과 평면 선형을 2차원 그래픽으로 제공받은 경우이다. LOG의 하한은 곡선을 점과 점 사이를 직선으로 연결한 형태의 폴리라인(poly line)으로 구현한 수준이다. 곡선 위에 존재하는 유한개의 점들을 순서대로 제공받은 경우로 컴퓨터는 각 직선 위를 다수의 점들로 채워 영상으로 출력한다. 그 사이의 레벨은 LOG의 하한과 동일한 수준으로 제공받은 점들이 컨트롤 포인트로 반영되는 보간 곡선(interpolating curve)으로 정하였다.

Table 4. Level of Geometry for curve

Level	Data	Method	Model
upper limit	·Rule Function	·Linear Spline	·Poly-Line
Intermediate	·Coordinates	·NURBS(Non-Uniform Rational B-spline)	·Interpolating Curve
lower limit	·Coordinates	·Linear Spline	·Poly-Line

2.2.2 면 유닛

면으로 제작되는 유닛은 크게 서피스 모델과 프로파일 모델로 구분할 수 있다. 서피스 모델은 구성 절점들이 비교적 균일하게 분포되어 있다는 가정 하에 단위 면적에 대한 평균값을 척도로 모델의 상세한 정도를 평가하는

것으로 하였다. 그 경계치의 크기는 목적 시설의 분야 및 유형별로 달리 설정하는 것이 바람직하다. 프로파일 모델은 특정 경로로 압출되는 목적 솔리드(target solid)의 단면 형상을 2차원 그래픽으로 구현한 모델이다. 단면 형상은 동일한 평면위에 놓인 세 개 이상의 꼭지 점들(vertices)의 좌표와 그 사이를 잇는 모서리들(edges)의 선형으로 결정된다. 프로파일의 모서리들은 목적 솔리드를 둘러싸는 면들을 생성한다. 또한 이 면들은 다른 솔리드와 접촉될 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 프로파일의 모서리들을 다른 솔리드와 접촉하는(contact) 면을 생성하는 구간과 접촉하지 않는(non-contact) 면을 생성하는 구간으로 구분하도록 하였다. 또한 접촉 구간은 다시 그 형상 결정의 독립성 유무를 기준으로 독립(independent)과 종속(dependent)으로 구분하였다. 독립과 종속의 구분은 설계의 우선순위를 고려하여 정한다. 접촉면에 위치한 인접 솔리드의 설계가 목적 솔리드보다 우선하는 경우 해당 접촉면을 생성하는 모서리들이 위치하는 구간을 종속 접촉 구간이라 하고 반대의 경우 독립 접촉 구간이라 하였다. 종속 접촉 구간을 따로 구분한 이유는 이 구간의 LOG는 인접솔리드와 동일한 방법으로 특정하기 위함이다.

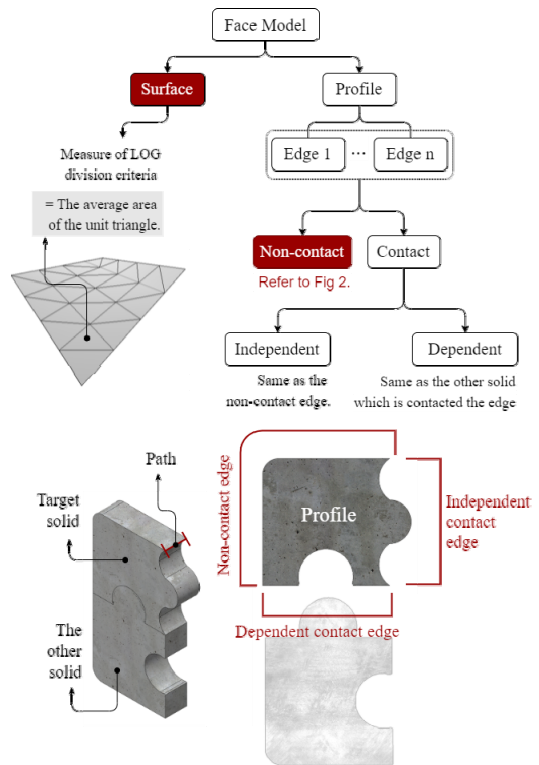


Fig. 1. Types & composition of a face model

따라서 본 연구에서는 프로파일 모델의 LOG를 특정하기 위한 방법을 Fig. 2와 같은 순서도로 제시한다. 시작은 프로파일의 비 접촉 구간과 독립 접촉 구간을 파악하는 것이다. 다음은 그 구간의 LOG 상한을 결정하고 이를 구현하는 모든 모서리들을 꼭지점과 변곡점을 기준으로 분할하는 것이다. 그 이후에는 LOG 저감이 필요한지 검토하고 필요한 경우 구분된 모서리들을 공제 하는 방법으로 LOG 상한으로부터 레벨을 저감시킨다. 이 때 모서리의 공제는 세 단계로 구분하였다. 우선 공제 대상은 프로파일의 단면력 산정에 주요한 요소가 아닌 부수적인 목적

으로 설계된 모서리들이다. 강재 접합을 위한 용접면 모서리, 응력 집중 완화를 위한 필렛(fillet), 첨단부의 재료 탈락 방지를 위한 모따기(chamfer) 및 우수가이드 등이 이에 속한다. 이 경우 공제 대상 모서리의 이전 모서리와 이후 모서리가 만날 때까지 연장하는 방법으로 공제한다. 차선 공제는 프로파일의 단면력 산정에 있어 우선 공제 요소들보다 비교적 높은 영향을 끼치는 곡선을 직선으로 단순화하는 것이다. 곡선의 시점과 종점을 잇는 직선으로 구현하되, 면적이 감소되지 않도록, 프로파일이 정의되는 방향과 동일한 방향의 회전으로 간주할 수 있는 곡선은 직선으로 단순화 하지 않는다. 마지막 공제는 프로파일의 영역을 표현할 수 있는 최소한의 꼭지점만 남기고 이들을 직선으로 연결하여 단순화 하는 것이다. 마지막 공제까지 단순화된 프로파일로 구현된 모델은 주로 개념 설계단계에서 활용할 수 있으며 이 모델로부터의 물량 산출이나 신규 조형 요소(점, 선, 면) 획득은 지양한다.

2.2.3 솔리드 유닛

솔리드 유닛은 트리 구조의 리프 노드에서 조형되는 단일 객체이다. 리프 노드에서 솔리드가 조형되는 경우는 수량 산출의 최소 단위에 해당하는 볼트, 강재, 철근, 콘 크리트 등과 같은 단일 부속이나 재료를 모델링 하는 경우이다.

본 연구에서는 솔리드 모델의 LOG를 저감시키는 방법을 Fig. 3과 같은 순서도로 제시하였다. 면 모델과 마찬가지로, LOG를 저감시킬 영역을 파악하는 것으로 시작하여 해당 영역에 대한 LOG 상한을 결정하고 이를 구현하기 위하여 사용되는 모든 치수들의 목록을 작성한다. 다음으로는 LOG 저감이 필요한 시설인지 판단한 후 필요하다면 LOG 하한으로 설정할 모델의 형상을 가정한다. 가정한 형상이 일정한 단면의 돌출(extrusion), 회전(rotation), 스윕(sweep) 또는 다면체(polyhedron)로 조형이 가능하다면 2.2.2절의 내용을 참고하여 가정한 형상으로 LOG의 하한을 결정한다. 이러한 방법만으로 조형이 어려운 경우라면 6가지 방향(전, 후, 좌, 우, 위, 아래)에 대하여 해당 시설의 단부가 도달하는 경계면들로 둘러싸인 육면체(boundary box)를 LOG의 하한으로 결정한다. 이때 잔류하는 치수 요소는 모든 솔리드에 대하여 3가지(폭, 너비, 높이)로 동일하다. 상한과 하한 사이의 레벨이 추가로 필요하다면 필요한 레벨의 수를 정하고 공제해야 할 치수 요소들의 우선순위를 고려하여 필요한 레벨 수만큼의 그룹을 정한다. 이 때 치수 요소들을 공제하는 우선순위 역시 2.2.2절의 내용을 참고하여 결정한다.

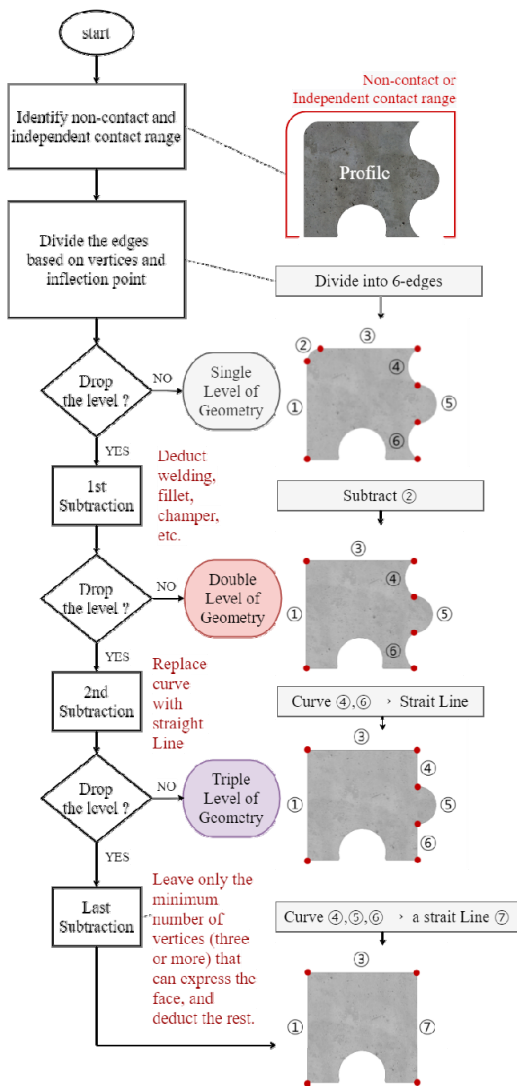


Fig. 2. How to drop the level of geometry for a unit profile model

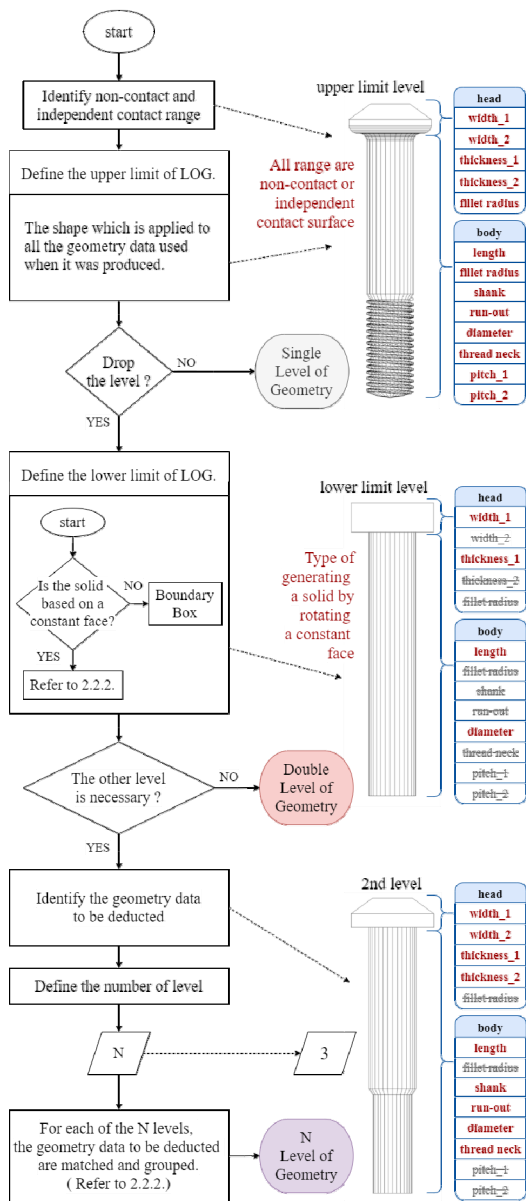


Fig. 3. How to drop the level of geometry for a unit solid model

2.3 어셈블리의 LOG 특정 방법

본 연구에서는 어셈블리의 LOG를 특정하기 위하여 Table 5와 같은 방법을 제시하였다. 3개의 서브 모델 (sub-model) [a], [b], [c] 로 구성된 어셈블리 [A]가 있고, 각 서브 모델의 LOG 수를 [a]는 3개, [b]는 2개, [c]는 4개라고 가정하였다. 서브 모델을 구현하지 않는 경우(do not place sub-model)에 대한 변수를 0으로 하

고 LOG는 자연수로 표현하여 이에 대한 중복순열을 나열하면 그 경우의 수는 $60(=4 \times 3 \times 5)$ 이다. 이 60개의 LOG 조합들 중에서 [A]가 필요로 하는 레벨의 수만큼, 각 레벨에 적합한 조합을 선택하는 것으로 [A]의 LOG를 특정 할 수 있다. Table 5에서는 [A]의 LOG는 4개로 정의되었음을 알 수 있다. LOG의 하한으로는 7번째 조합이 선택되었고 상한으로는 60번째 조합이 선택되었다. 이 방법의 장점은 직전 단계에 위치한 서브 모델들만 고려하여 어셈블리의 LOG를 하나로 특정할 수 있다는 것에 있으며, 해당 시설의 트리 구조 상에 존재하는 모든 유닛의 LOG가 정의되어 있다는 전제 하에, 시설의 규모에 관계없이 LOG를 특정할 수 있다. 서브 모델들의 LOG 조합을 선택하는 조건은 시설의 유형과 모델의 활용 목적에 따라 다르게 적용하는 것이 바람직하다.

또한 어셈블리를 구성하는 각 서브 모델에는 배열과 편집을 위한 기하 데이터가 할당된다. 본 연구에서는 어셈블리의 LOG를 특정함에 있어 이러한 기하 데이터를 각 서브 모델별로 명시하도록 하였다. 단 구현되지 않는 서브 모델에는 기하데이터가 할당되지 않기 때문에 명시할 필요가 없다. 기하 데이터의 종류와 이를 명시하는 일반적인 방법을 Table 6에 나타내었다.

Table 5. LOG specification method for an assembly model

Structure	Assembly model [A]	Sub-model				
		[a]	[b]	[c]		
Total number of LOG	4	3	2	4		
Assembly model [A] : <input checked="" type="checkbox"/> i <input type="checkbox"/> j Sub-model [a], [b], [c] : <input type="checkbox"/> i	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1	0	0	0	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2	1	0	0	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	3	0	1	0	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	4	0	0	1	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	5	1	1	0	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	6	0	1	1	
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	7	1	0	1	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8	1	1	1	
	⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2	42	2	2	1
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	43	2	2	2	
	⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	3	59	3	2	3
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	4	60	3	2	4

Table 6. Geometry data to place and edit sub model

Assembly model LOG = 3	LOG	Number	Place						solid edit	
			No.	position (m)			rotation (degree)		+	-
				x	y	z	x-y	l-z		
[A]	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
[a]	2	1	-1	-1.8	0.5	0	-90	0	0	0
[b]		2	-1	-1.8	1.5	0	-90	0	0	0
[c]	3	1	0	-1	0	0	0	0	0	b1
[c] ²		2	0	-1	1	0	0	0	0	b1, b2
[c] ¹		3	0	-1	2	0	0	0	0	0

배열을 위한 데이터에는 서브 모델의 위치를 명시하는 공간 좌표와 평면과 종단에서의 회전각이 있다. 편집을 위한 데이터는 서브 모델이 솔리드 유닛인 경우에만 할당할 수 있다. 병합과 공제를 파라미터로 하고 솔리드 편집을 하는 경우, 편집의 대상이 되는 서브 모델의 이름을 값으로 부여하고 그렇지 않은 경우 0을 부여한다.

2.4 LOG 특정 방법의 적용

2.4.1 유닛(레일 프로파일)의 LOG 특정

본 연구에서 제시한 유닛의 LOG 특정 방법을 철도의 레일 프로파일에 적용하였다.

레일 프로파일을 LOG 상항으로 구현하기 위한 최소한의 치수 정보 개수는 총 18개이며 모든 치수들이 적용된 형상은 레벨 3과 같다.

레일 프로파일의 접촉 구간은 열차의 휠에 접촉되는 레일의 두부, 침목이나 레일 패드에 접촉하는 레일의 바닥면이 있으나 두 영역 모두 독립 접촉 구간이다.

따라서 프로파일의 모든 모서리에 대하여 우선 및 차선 공제를 적용하면 모따기, 필렛 등의 곡선부가 제외되고 레벨 2와 같은 형상의 프로파일로 단순화 될 수 있다. 이 때 곡면 구현과 관계된 치수가 제외되어 총 9개의 치수가 잔류한다. 마지막 공제에서는 레일의 바닥과 두부의 폭을 알 수 있는 꼭지점 4개만 남기고 이를 직선으로 연결한 레벨 1과 같은 사다리꼴 형상으로 단순화 될 수 있다.

레일 프로파일의 LOG는 총 3단계로 구분되었는데 이렇게 구분된 LOG는 건설 산업 BIM 기본지침에서 정의

한 모델상세수준 공통체계의 해당하는 상세수준으로 적용할 수 있다. 레일 프로파일 유닛에 대해서는, Table 7과 같이, 개념 설계 단계에 해당하는 상세수준인 100에는 LOG 1, 기본설계단계에 해당하는 200에는 LOG 2, 실시 설계 단계에 해당하는 300과 350에는 LOG 3이 적용되었다.

Table 7. LOG specification of rail profile model

Geometry Information	Model	LOD	
Visual	Layer	100	
	Color		
	Texture		
	Head width		
	Head height		
	Web height		
	Foot height		
	Foot width		
	Head side slope		
	Head beneath slope		
Measurement	Web width	300	
	Foot edge height		
	Radius of rounding	①	350
		②	
		③	
		④	
	Foot	①	400
		②	
	Foot surface slope	Level 3	500

2.4.2 어셈블리(절연접착레일)의 LOG 특정

본 연구에서 제시한 어셈블리의 LOG 특정 방법을 철도의 절연 접착 레일에 적용하였다. 절연접착레일은 레일의 경로, 프로파일, 절연면, 절연체, 이음매판, 절연링, 볼트, 와셔, 너트와 같은 서브 모델로 구성되어 있다. 절연 접착레일의 LOG는 3단계로 구분하였으며 각 단계에 해당하는 서브모델의 LOG는 Table 8과 같다. 어셈블리

모델의 형상을 특정 할 때는 서브 모델 각각에 대하여 위치와 회전에 대한 정보가 필요하다. 이를 위하여 각 서브 모델에 조립의 순번(i)을 부여하고, 수량이 둘 이상인 경우 거치 번호(j)를 부여한다. 위치정보로 서브 모델 ij 에 대한 3축좌표인 X_{ij} , Y_{ij} , Z_{ij} 를 정의하고, 회전정보로 평면에서의 회전각 RXY_{ij} 와 평면회전 이후 연직면에 대

한 회전각 RLZ_{ij} 를 정의한다. 이 때 서브모델의 LOG가 0이면 위치와 회전에 대한 정보는 정의하지 않는다.

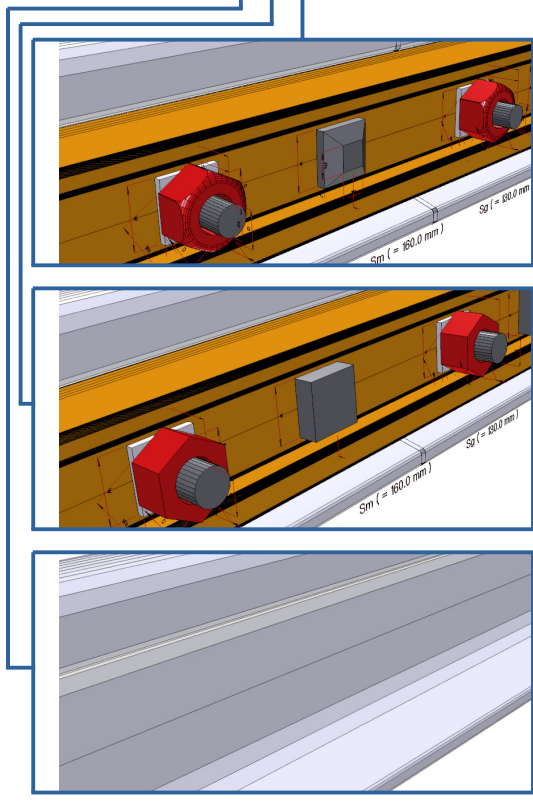
2.5 LOG 특정 방법의 적용성 평가

본 연구에서 제시한 유닛과 어셈블리 모델의 LOG 특정 방법에 대하여 적용성을 평가하고 보완 사항을 도출하기 위하여 5가지 평가 요소를 설정하고 각 요소별로 관련 문항을 작성하여 설문 조사를 수행하였다. 5가지 평가요소는 다음과 같다. 첫 번째는 설계요소(선형, 단면 등), 시설, 제품의 규모나 형상에 관계없이 LOG를 명확히 특정할 수 있는지를 평가하는 요소인 명확성(clarity)이다. 두 번째는 제시된 LOG 특정 방법이 통일된 기준으로 이루어져 시설의 유형에 관계없이 일관적으로 정립되어 있는지를 평가하는 요소인 일관성(consistency)이다. 세 번째는 LOG 특정에 활용되는 정보들이 모델의 형상과 유기적으로 자세히 표현되어 있는지를 평가하는 요소인 구체성(externalization)이다. 네 번째는 제시된 방법으로 특정된 LOG의 형상이 건설 산업 BIM 기본지침[4]에서 정의한 프로젝트의 각 단계별 모델상세수준에 대한 요구사항을 만족시킬 수 있는지를 평가하는 요소인 당위성(justification)이다. 다섯 번째는 LOG 특정에 활용되는 정보들인 식별정보와 치수정보들이 디지털모델의 품질검토 및 라이브러리 구축이나 모델생성 자동화 모듈의 개발과 같은 다른 BIM 요소기술에 유용하게 활용될 수 있는지를 평가하는 확장성(extendability)이다.

설문의 대상으로 설정한 집단은 토목 설계 및 시공분야에 종사하는 전문가 20인이다. 전문가들의 BIM 프로젝트 경험의 유무와 수행 경력 등을 변수로 가중치를 두어 환산

Table 8. LOG specification of glued insulated joint rail

Model type	Name	LOG			Q	Position / Rotation
Assembly model	Glued Insulated Joint Rail	1	2	3	-	-
	Path	1	1	1	2	-
	Rail profile	2	3	3	1	-
Sub model	Insulated piece	0	3	3	1	i (= Sub-model no.), j (=Place no.), X_{ij} , Y_{ij} , Z_{ij} , RXY_{ij} , RLZ_{ij}
	Insulated cover	0	1	1	2	
	Joint plate	0	2	2	2	
	Insulated ring	0	1	1	6	
	Bolt	0	2	3	6	
	Washer	0	1	1	6	
Nut	0	1	2	6		



Evaluation of applicability for LOG specific methods.

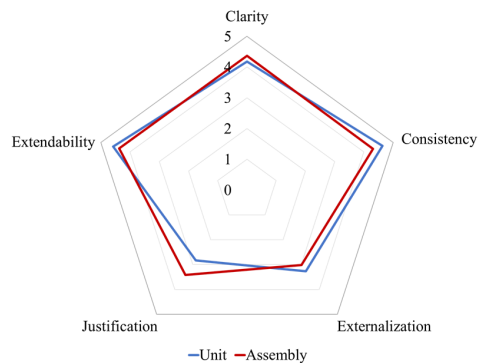


Fig. 4. Evaluation of applicable for LOG specific methods

된 점수를 반영하였다. 그 이유는 경력이 높을수록 신뢰성이 높은 설문 결과를 보여주는 경향이 있기 때문이다.

설문 조사 결과를 유닛과 어셈블리 각각의 LOG 특정 방법에 대한 5가지 평가 요소별 점수를 Fig. 4와 같은 방사형 그래프로 표현하였다. 두 방법 모두 명확성, 일관성, 확장성 항목에서는 4점 초 중반의 긍정적인

평가 점수를 받은 반면 구체성과 당위성 항목에서는 2점 후반에서 3점 초반까지 다소 낮은 점수로 평가되었다. 이러한 결과를 보이는 원인은 LOG 상한과 하한에 대한 형상 이외에 그 중간 수준의 LOG에 대한 형상을 정의하는 방법이 다소 일반적으로 표현되어 있거나 솔리드 유닛 모델의 LOG 저감이 필요한 경우를 설계자가 자유롭게 설정하도록 표현하였기 때문인 것으로 예상된다. 제시된 기준으로 다양한 유형의 시설에 대하여 LOG를 정의하는 사례가 축적되면 공통적으로 관측되는 LOG 저감 요인들이 새로이 도출될 수 있기 때문에 이를 표준화하면 제시한 LOG 특정 방법의 적용성이 더욱 높아질 수 있을 것으로 판단하였다.

3. 결론

본 연구에서는 교통인프라 시설을 대상으로 소프트웨어의 종류나 시설의 유형 및 규모에 관계없이 LOG를 명확히 정의할 수 있는 방법을 제안하였다. 디지털 모델은 객체의 구성을 기준으로 유닛과 어셈블리로 그 유형을 구분하였으며 각 유형에 대하여 LOG 특정 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 검증하기 위하여 유닛의 경우 철도의 레일 프로파일, 어셈블리의 경우 철도의 절연접착레일을 예시로 LOG를 특정하였다. 또한 제시된 방법의 적용성을 평가하기 위하여 설문조사를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

제시된 방법을 활용하면 시설의 형상이나 규모 및 구성에 관계없이 정형화된 방법으로 명확하게 LOG를 특정할 수 있고 LOG 정의에 표현된 기하 정보들은 디지털 모델의 품질검토 및 라이브러리 구축이나 모델생성 자동화 모듈의 개발과 같은 다른 BIM 요소기술의 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 발주처에서는 제시된 방법을 활용하여 디지털 모델의 요구 상세 수준에 대하여 좀 더 간결하고 명확하게 표현된 문서를 제작하여 설계사로 전달 할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 제안한 방법의 실무 적용성을 높이기 위하여 다양한 유형의 교통인프라 시설에 대한 사례를

축적하고 공통적으로 관측되는 유닛 모델의 LOG 저감 요인들을 파악한 후 이를 정형화하여 LOG 특정 방법을 보완하는 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] B. Koo, H. Ok, Y. Yu, R. Jung, "Analysis of Singapore's BIM tender documents for the development of infrastructure BIM guidelines in Korea.", *Journal of KIBIM*, Vol.8, No.2, pp.19-28, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2018.8.2.019>
- [2] MOLIT, "A Strategy for Responding to the 4th Industrial Revolution of Land and Transportation.", 2017.
- [3] J. Park, C. H. Yeom, "A Study on Priority of BIM Introduction Policy. -Focusing on Overseas Cases and Analytic Hierarchy Process Analysis-", *Journal of KIBIM*, Vol.11, No.2, pp.17-23, June. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2021.11.2.017>
- [4] "BIM Basic Guidelines for Construction Industry.", *Guidelines*, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea, pp.62, 2020.
- [5] Trimble, In the world of Building Information Modeling (BIM), LOD stands for the Level of Development. As the required LOD can have a major impact on the size of your model, it's useful to make a distinction between LOI and LOG, March 2019.
<https://constructible.trimble.com/construction-industry/lo-d-simply-explained-the-iod-kiwi>
- [6] K. I. Bae, H. J. Jun, "A Case Study on LOD(Level of Development) studies for BIM Model.", *Design Convergence Study*, Society of Design Convergence, Vol.10, No.5, pp.31-43, 2011
<http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3190065>
- [7] J. W. An, S. H. Yun, "Improvement of BoQ Document for the BIM based Quantity Takeoff.", *Journal of KIBIM*, Vol.7, No.4, pp.16-24, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.13161/kibim.2017.7.2.016>
- [8] D. Olsen, Mark Taylor, J., "Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors.", *Procedia Engineering*, Vol.196, pp.1098-1105, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.067>
- [9] H. J. Choi, S. H. Yun, "Improvement of Quantity Take-Off and BoQ through the LOD Criteria Analysis of BIM Mode.", *Journal of KJCEM*, Vol.20, No.6, pp.89-97, November 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2019.20.6.089>

이 현 민(Heon-Min Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 성균관대학교 건축
조경 및 토목공학부 (공학사)
- 2006년 2월 : 성균관대학교 대학원
건설환경시스템공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 성균관대학교 대학원
건설환경시스템공학과 (공학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 서영엔지니
어링 BIM개발팀 차장

<관심분야>

BIM, 설계자동화, 구조해석

김 현 승(Hyeon-Seung Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경상대학교 건설공
학부 토목공학 (공학사)
- 2011년 2월 : 경상대학교 대학원
토목공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 경상대학교 대학원
토목공학과 (공학박사)
- 2018년 6월 ~ 현재 : (주)서영엔지
니어링 BIM개발팀 과장

<관심분야>

건설관리, BIM, 설계자동화

이 일 수(II-SooLee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 연성대학교 공과대학
토목과 (공학사)
- 1991년 5월 ~ 현재 : 서영엔지니
어링 BIM개발팀 팀장

<관심분야>

BIM, 토목설계