

철도보강노반의 BIM 설계를 위한 라이브러리 개발

김웅진*, 김대상, 박영곤
한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부

Development of library for BIM design of reinforced subgrade for railways

Ungjin Kim*, Dae Sang Kim, Young Kon Park
Advanced Railroad Civil Engineering Division, Korea Railroad Research Institute

요약 철도보강노반(Reinforced subgrade for railways, RSR)은 토공을 선 시공하고 벽체를 후 시공하는 공법적 특징으로 인하여 잔류 침하를 저감하여 철도 노반을 조성하는 공법이다. 다른 토목 구조물과 마찬가지로 선형 기반 구조물의 특징을 가지고 있어 구조물의 형상이 적용 현장 및 구간마다 상이하여 표준화가 어렵고, 3D 라이브러리 구축이 곤란하다. 본 연구에서는 건설기술의 디지털화 및 자동화 기조에 따라 토목 분야의 BIM 라이브러리 체계를 RSR에 적용하고 신속한 설계 및 현장 적용 확대를 위하여 BIM 라이브러리를 개발하였다. RSR을 구성하는 주요 부재들을 형상 변화 조건에 따라 분류하고 적합한 3D 모델 및 형상 표현 수준을 선정하였다. 현장 여건에 따라 변화하는 치수들을 BIM 설계 시 입력할 수 있도록 매개변수로 설정하였다. 개발된 라이브러리를 활용하여 기존 설계 및 시공된 RSR 현장을 BIM 설계한 결과 현장여건에 따라 변경되는 치수들을 매개변수로 입력하여 RSR의 설계가 가능한 것을 확인하였다. 수량산출에서는 기존 2D 설계 대비 오차 4.8% 이내의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract The reinforced subgrade for railways (RSR) method is used for constructing railway subgrades by reducing residual settlement due to the characteristics of pre-constructing backfills and post-constructing walls. Like other civil-engineering structures, it has characteristics of a linear-based structure, so it is difficult to standardize and build a 3D library because the shape of the structure changes for each site and section. According to the trend of digitization and automation of construction technology, a BIM library for RSR was developed in this study for rapid design and expansion of field applications. The main RSR members were classified according to shape-change conditions, and appropriate 3D models and levels of detail were selected. The changing dimensions were set as input parameters for BIM design. BIM design was done for an existing RSR site using the developed library, and the results confirmed that RSR design is possible by inputting dimensions that change according to site conditions as parameters. In quantity calculations, similar results were obtained with error within 4.8% compared to a 2D design.

Keywords : Reinforced Subgrade for Railways, BIM, Library, 3D Model, Parameter

본 연구는 한국철도기술연구원 국가R&D(철도 인프라 생애주기 관리를 위한 BIM기반 통합운영시스템 개발 및 구축, BI23001)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Ungjin Kim(KRRI)

email: jkim@krri.re.kr

Received April 6, 2023

Accepted June 2, 2023

Revised May 18, 2023

Published June 30, 2023

1. 서론

BIM (Building information modeling)은 3D 기반의 입체 모델로 제원, 자재 등의 공사정보를 포함하여 건설 전 단계에 걸친 디지털 정보를 통합관리하는 기술로 건축분야를 중심으로 도입이 점점 늘어가는 추세에 있다. 국내에서는 BIM 도입을 위해 조달청, 국토교통부 등에서 지침을 제공하고 있다. 조달청은 2016년부터 시설 사업 전체를 대상으로 BIM 발주 의무화를 목표하고 있고[1], 국토교통부에서는 스마트 건설 활성화 방안과 BIM 시행지침 등을 발표하였다.

토목 분야의 BIM 도입에 따라 설계에 필요한 라이브러리 구축과 변경이 용이한 모델링 모듈의 개발이 필요하나 국내 라이브러리 구축은 건축 분야에 비해 미흡하다. 이는 토목 분야의 설계특성에 기인한다. 선형기반의 토목 구조물은 형상이 각 구간마다 상이하여 표준화가 어렵기 때문에 3D 라이브러리의 구축이 곤란한 것이 주요 원인이다[2]. 이러한 점을 극복하기 위하여 최근까지 국내, 외에서 다양한 연구가 수행되었으며 교량, 터널 등의 토목 구조물에 대한 BIM 설계방안이 개발되었다[3-5].

2. 철도보강노반의 BIM 적용

철도보강노반(Reinforced subgrade for railways, RSR)은 Fig. 1과 같이 철근망과 토목섬유보강재를 이용하여 토공을 선시공 후 토체 안정화 기간을 가진 후 벽체를 시공하는 공법이다. 토목섬유 보강재를 이용하여 벽체와 토체를 일체화 시키는 공법 특성으로 인하여 노반의 잔류침하와 벽체 토압을 저감할 수 있다는 장점이 있다[6]. 시험 시공을 통하여 정하중[7] 및 장기 거동에 대한 성능 평가[8]가 수행되었으며, 오송 시험선을 시작으로 철도현장에 적용을 늘려가고 있다[9,10].

본 연구에서는 건설기술의 디지털화 및 자동화 기조에 따라 RSR의 현장 적용을 확대하기 위하여 BIM 설계를 위한 라이브러리 개발을 수행하였다. RSR을 구성하는 주요 부재들을 분류하고 3D 모델의 형상표현 수준(Level of Detail, LOD)과 매개변수를 결정하여 라이브러리를 생성하였다. 또한 실제 시공 현장을 라이브러리를 이용하여 설계하여 RSR의 BIM 설계 신뢰도를 분석하였다.

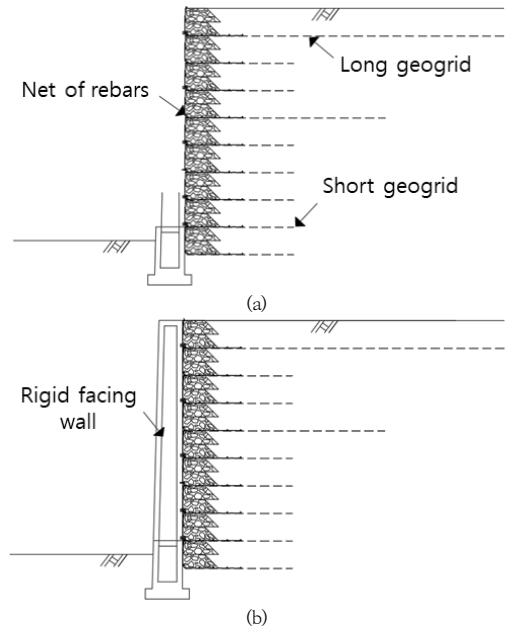


Fig. 1. Reinforced subgrade for railways (RSR)
(a) Before wall construction (b) After wall construction

3. RSR BIM 라이브러리 구축

3.1 RSR 주요 부재의 모델 분류

RSR 주요 부재에 대한 BIM 라이브러리는 상용 소프트웨어인 Autodesk Revit을 활용하여 패밀리 형태로 구성하였다. RSR은 Fig. 2의 단면과 같이 구성되며 주요 부재는 다음의 8개로 구분된다.

- ① 철근망
- ② 토목섬유 보강재(지오그리드)
- ③ 배수층 자갈
- ④ 기초 하부 시멘트 처리된 자갈 치환
- ⑤ 버림콘크리트
- ⑥ 기초
- ⑦ 벽체
- ⑧ 뒤채움

토목 구조물 BIM 라이브러리는 단면 프로파일과 선형으로 결정되는 선형 종속 3D 모델과 단일 형상 모델의 두 가지 타입으로 분류될 수 있다[11]. RSR 주요 부재들의 3D 모델링을 위하여 Table 1과 같이 RSR 높이 및 연장, 배치 위치 등에 따라 형상 변화 여부를 판단하고

Table 1. Modeling type classification of RSR main members

Item	Shape changes according to			Model type
	Height of RSR	Length of RSR	Installation height	
Net of rebars	X	X	X	Linear dependent 3D model
Geogrid	X	O	O	
Gravel (drainage layer)	X	O	X	
Cement mixed gravel	O	O	X	
Lean concrete	O	O	X	
Foundation	O	O	X	
Wall	O	O	X	
Backfill	O	O	X	

적합한 모델 타입을 선정하였다. 철근망은 공장 생산 제품으로 연장에 따라 배치수량을 결정하여 설계 및 시공하므로 형상 변화가 없어 단일 형상객체 모델로 분류하였다. 그 외의 부재들은 RSR의 연장에 맞추어 시공 연장이 결정되므로 선형 종속 3D 모델로 분류하였다.

3.2 RSR 라이브러리의 LOD 설정

토목 구조물의 3D 모델링을 위해서는 적정 LOD를 설정하여야 한다. LOD를 지나치게 낮게 모델링하는 경우 공사의 시각화 수준이 낮아지며 수량산출에 오류 발생 가능성이 커진다. 반대로 LOD를 지나치게 높게 모델링하는 경우 해당 프로젝트에서는 활용이 가능하나 현장 여건이 상이한 타 프로젝트에서는 라이브러리의 수정작업이 과도하게 생길 수 있으므로 라이브러리 구축의 의미가 퇴색된다. 본 연구에서는 Table 2의 미국 건축가 협회가 BIM Forum에서 제안한 LOD를 참고하여 수준을 결정하였다[12]. LOD 200 ~ 300 수준의 라이브러리로 현장 조건이 상이한 프로젝트에도 매개변수의 변경으로 적용이 가능하도록 하였다.

Table 2. LOD standard

Levels	Definitions
LOD 100	Building massing
LOD 200	Generic assemblies
LOD 300	Specific assemblies
LOD 400	Detailed components

3.3 RSR 주요 부재의 3D 모델링

Fig. 2는 RSR 1단의 시공 상세도와 이를 구성하는 부재들을 3D로 모델링한 것이다. 철근망은 단일 형상 모델로 직경 13 mm의 종철근과 10 mm의 횡철근을 용접하여 제작한 철근망을 3D로 모델링 하였다. RSR 1단은 높

이 200 mm 씩 두 층으로 나누어 뒤채움재 포설 및 다짐이 이루어지므로 배수층은 시공 상세도와 같이 윗면 300 mm, 밑면 500 mm의 사다리꼴이 두 층으로 겹쳐진 형태가 되지만 모델링시에는 배수층 및 뒤채움 모델의 작업을 수월하게 하되 수량에서 차이가 없도록 직사각형의 형태로 모델링하였다. 단면의 크기는 변하지 않고 선형에 따라 연장이 변화하므로 높이 및 폭은 400 mm 고정, 길이는 매개변수로 설정하였다. 지오그리드는 시공 상세도에서 볼 수 있듯이 안정성 검토에서 결정된 포설길이 외에 철근망을 외측에서 말아감는 길이가 추가로 필요하므로 이를 고려하여 모델링하였다. Autodesk Revit은 선을 프로파일로 하여 선형에 따라 면을 형성하는 모델링을 지원하지 않으므로 수량산출에서 환산이 수월하도록 두께 1 mm와 포설 및 말아감기 길이를 가지는 지오그리드 프로파일을 작성하여 선형 종속 3D 모델을 작성하였다. 말아감기 길이 1,100 mm는 고정, 포설길이와 연장은 배치 위치 및 설치 연장에 따라 변화하므로 매개변수로 설정하였다.

Fig. 3은 시멘트처리된 자갈 기초 하부 치환과 기초 및 벽체 구조물의 시공 상세도와 이를 3D 모델링한 것이다. 4개의 모델링 모두 안정성 검토 단계에서 제원이 결정되므로 적용 현장마다 단면의 사이즈가 달라질 수 있다. 따라서 설치 연장과 단면을 구성하는 치수들을 모두 매개변수로 설정하여 선형종속 3D 모델로 작성하였다. 벽체는 선형에 따라 계획고가 변화하는 경우 벽체의 시점과 종점의 높이가 달라질 수 있으므로 변단면의 선형 종속 3D 모델로 작성하였다. 뒤채움은 원지반 형상, 계획고와 벽체 상단의 높이 차이 등 형상에 영향을 주는 요소가 너무 많아 이를 매개변수 입력으로 모델링하는 것은 오히려 작업량을 늘릴 수 있으므로 기존 설계의 횡단면도를 참고하여 단면 프로파일을 작성하여 선형 종속 3D 모델로 작성하였다.

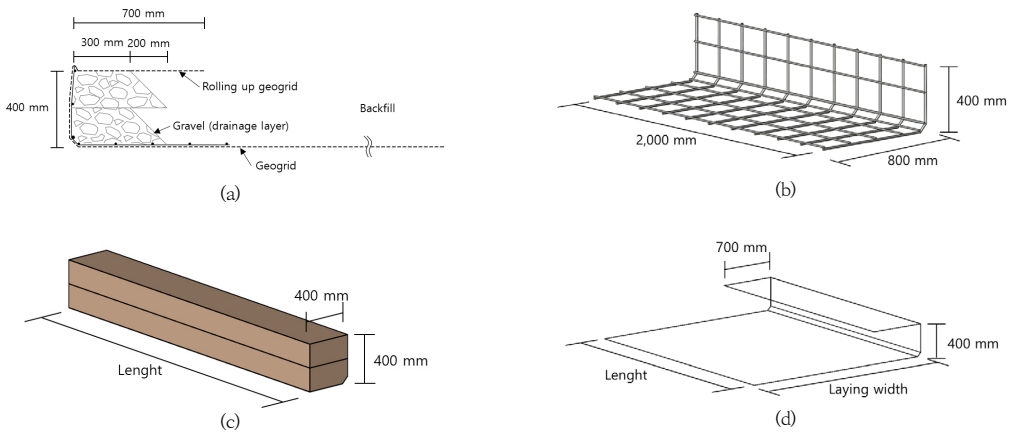


Fig. 2. Construction detail of unit layer of RSR and 3D model of the members
 (a) Construction detail of unit layer of RSR (b) Net of rebars (c) Gravel (drainage layer) (d) Geogrid

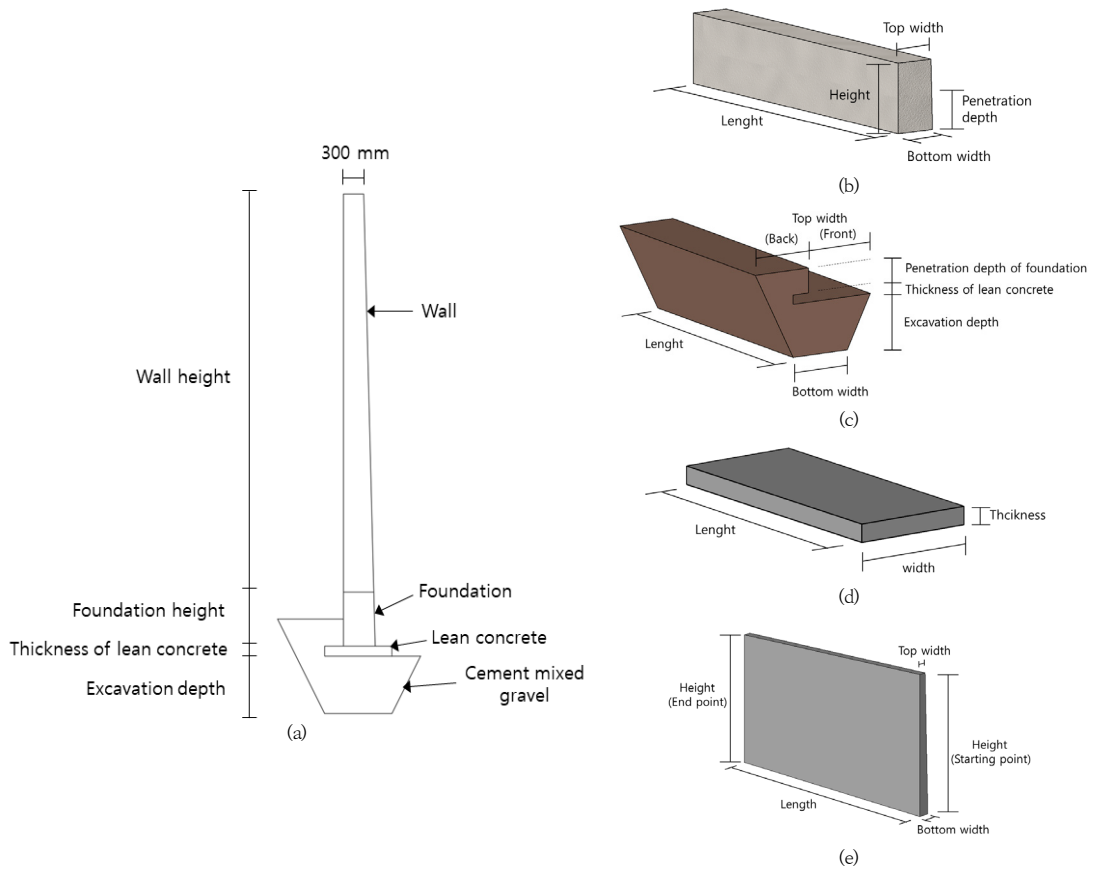


Fig. 3. Construction detail of wall and foundation structure and 3D model of the members
 (a) Construction detail of structure (b) Foundation (c) Cement mixed gravel (d) Lean concrete (e) Wall

Fig. 2와 3에서 각 부재의 고정 사이즈와 매개변수로 설정된 변화하는 사이즈를 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Size classification of RSR main members

Item	Size of RSR main members	
	Fixed	parameters
Net of rebars	Height, Width, Length	-
Geogrid	Rolling up length	Laying width, length
Gravel (drainage layer)	Height, Length	Width
Cement mixed gravel	-	Top width(Front, Back), Penetration depth of foundation, Thick of lean concrete, Excavation depth, Bottom width, Length
Lean concrete	-	Thickness, Length, Width
Foundation	-	Top width, Penetration depth, Height, Bottom width, Length
Wall	-	Top width, Height(Starting point, End point), Bottom width, Length

4. RSR 라이브러리의 신뢰성 분석

RSR 라이브러리의 신뢰성을 분석하기 위하여 기존 설계 및 시공이 완료된 RSR 현장을 대상으로 BIM 설계를 수행하고 수량 산출 결과를 비교하였다. 대상 현장은 Fig. 4의 오송시험선 STA. 10km463.3 ~ 10km580의 116.7 m 구간이다. 계획고 152.09 m ~ 148.29 m로 선형에 따라 RSR의 높이가 6.7 m에서 2.9m로 변화하는 구간이었다. 높이에 따라 보강재의 길이 및 배치, 기준을 수량, 벽체 높이 등의 부재 사양이 변화하는 RSR의 특성상 RSR 라이브러리를 검증하기에 적합하였다. 기존 설계에서는 횡단면도를 연장 20 m 마다 작성하여 횡단 기반의 RSR 설계가 수행되었으나, 본 연구에서는 BIM 라이브러리를 활용하여 3D 기반의 설계를 수행하였다. RSR의 각 시공 단의 평면에 주요 부재들을 배치하고 앞에서 설정한 매개변수들을 입력하여 Fig. 5와 같이 3D로 모델링하였다.



Fig. 4. Construction site of Osong test line

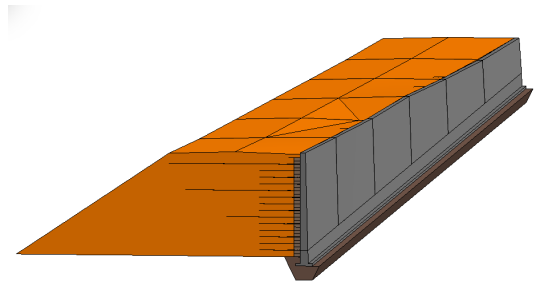
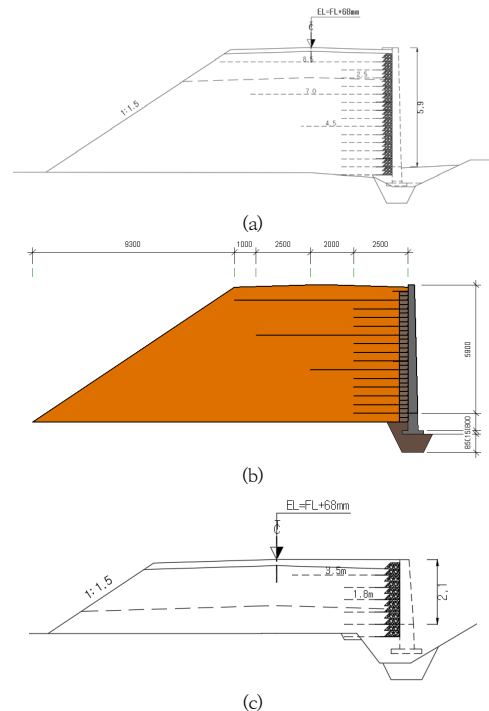


Fig. 5. BIM design of Osong test line

Fig. 6은 RSR 현장의 시점부(높이 6.7 m)와 종점부(높이 2.9 m)에서의 기존 설계 횡단면도와 BIM 설계의 횡단면도를 비교한 것으로 유사한 횡단면도를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다.



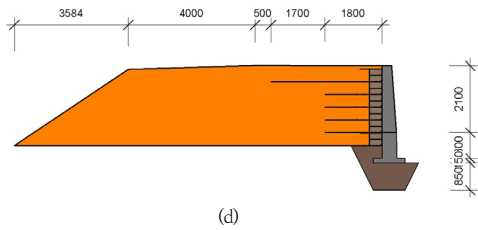


Fig. 6. Cross-section comparison between 2D design and BIM design

(a) Height 6.7 m, 2D design (b) Height 6.7 m, BIM design (c) Height 2.9 m, 2D design (d) Height 2.9 m, BIM design

Table 3는 기존의 2D 설계와 BIM 설계에서 산출된 수량을 비교한 결과이다. 기존 2D 설계에서는 각 20 m 단위로 작성한 횡단면도를 기초로 양단면 평균법으로 수량을 산출하였으며, BIM 설계에서는 소프트웨어에서 지원하는 기능으로 각 부재 요소의 체적을 산출하였다. 철근망은 입력된 요소의 개수로, 지오그리드는 계산된 체적값을 1 mm로 나누어 면적 단위로 수량을 산출하였다. 기존 2D 설계와 BIM 설계의 수량 산출 오차는 최대 4.8%로 나타났다. 건설공사 표준품셈[13]에서 제시하는 재료의 할증을 고려했을 때 RSR 구성 부재는 재료에 따라 4~6%의 할증을 적용할 수 있으므로 이를 고려하면 두 설계의 수량은 유사한 것으로 판단된다. 특히 버림 콘크리트와 기초와 같이 단면의 변화가 없는 부재의 경우 0.5% 이하로 오차를 보여 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 철근망, 지오그리드, 배수층, 벽체, 뒤채움 등에서 비교적 오차가 높게 나타난 것은 선형에 따라 배치량 및 단면이 변화하여 이를 반영하는 방식이 기존 2D 설계와 차이가 있기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

Table 4. Quantity comparison between 2D design and BIM design

Item	Quantity Calculation		amount of change (%)
	2D Design	BIM Design	
Net of rebars	636.80 ea	610.00 ea	4.2 (↓)
Geogrid	4977.00 m ²	4740.00 m ²	4.8 (↓)
Gravel (drainage layer)	200.98 m ³	192.27 m ³	4.3 (↓)
Cement mixed gravel	196.41 m ³	190.53 m ³	3.0 (↓)
Lean concrete	17.51 m ³	17.51 m ³	0.0 (→)
Foundation	42.95 m ³	42.75 m ³	0.5 (↓)
Wall	179.95 m ³	172.34 m ³	4.2 (↓)
Backfill	5246.47 m ³	5455.81 m ³	4.0 (↑)

5. 결론

본 연구에서는 기존 연구되고 있는 토목 분야의 BIM 라이브러리 체계를 RSR에 적용하고 신속한 설계와 현장 적용 확대를 위하여 RSR의 BIM 라이브러리를 개발하였다. 개발된 라이브러리를 활용한 BIM 설계를 기존 설계 및 시공된 RSR 현장에 적용하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 철근망을 제외한 RSR의 주요 부재들은 철도 선형에 따라 형상이 변화하므로 단면 프로파일을 가지는 선형 종속 3D 모델로 라이브러리를 구성하는 것이 적합하였다. 단면 프로파일에서 현장 여건에 따라 변경되는 치수들을 매개변수로 입력하여 RSR의 설계가 가능한 것을 확인하였다.
- (2) 기존 2D 설계와 BIM 설계의 수량 산출을 비교한 결과 최대 4.8%의 오차를 보여 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 선형에 따라 단면 변화가 적은 부재의 오차는 거의 나지 않는 반면 단면 변화가 있는 경우 이를 반영하는 방식이 기존 설계와 BIM에서 차이가 있어 비교적 오차가 크게 나타났다.
- (3) 뒤채움과 같이 현장 여건에 따라 형상 변형에 미치는 변수가 많은 경우 이를 모두 매개변수화 하는 것은 오히려 설계 시 작업량을 늘릴 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 라이브러리는 별도로 횡단면도에서 작성된 토공 형상을 프로파일로 사용할 수 밖에 없는 한계점을 보였다. 추후 이러한 한계를 극복할 수 있는 토공 모델링 알고리즘의 개발이 필요하다.

References

- [1] Y. Kim, S. H. Yi, S. H. Park, "Development of Rule-Set Definition for Architectural Design Code Checking based on BIM - for Act on the Promotion and Guarantee of Access for the Disabled, the Aged, and Pregnant Women to Facilities and Information -", *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol.13, No.6, pp.143-152, 2012. DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.6.143>
- [2] C. W. Kim, B. Koo, "Development of Parametric BIM Libraries for Civil Structures using National 2D Standard Drawings", *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol.15, No.4, pp.128-138, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2014.15.4.128>

- [3] H. M. Lee, H. S. Kim, I. S. Lee, "Development of Automated 3D Modeling System to Construct BIM for Railway Bridge", *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol.31, No.5, pp.267-274, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2018.31.5.267>
- [4] H. Choi, K. S. Jang, H. Kim, M. H. Lee, M. S. Park, "Algorithm-based Railway Tunnel BIM Design Considering Railway Alignment", *Journal of Korean Institute of Building Information Modeling*, Vol.9, No.1, pp.1-10, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2019.9.1.001>
- [5] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, Y. Guan, L. Chen, "Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM", *Automation in Construction*, 113, 103152, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>
- [6] F. Tatsuoka, M. Tateyama, T. Uchimura, J. Koseki, "Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important per-manent structures 1996-1997 mercer lecture", *Geosynthetics International*, Vol.4, pp.81-136, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.1680/gein.4.0090>
- [7] U. Kim, D. S. Kim, "Evaluation of Deformation Characteristic of Railway Subgrade Using Reinforced Rigid Walls with Short Reinforcement under Repetitive and Static Loads", *Applied Sciences*, Vol.11, No.8, 3615, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app11083615>
- [8] D. S. Kim, "Reinforcement of Collapsed Railway Subgrade and Line Capacity Increase Using Short Reinforcement with Rigid Wall", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.11, pp.604-609, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.11.604>
- [9] U. J. Kim, D. S. Kim, "Load sharing characteristics of rigid facing walls with geogrid reinforced railway subgrade during and after construction", *Geotextiles and Geomembranes*, vol.48, No.6, pp.940-949, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.08.002>
- [10] S. Park, D. S. Kim, U. Kim, S. Jeong, "Low Compressibility at the Transition Zone of Railway Tracks Reinforced with Cement-Treated Gravel and a Geogrid under Construction", *Applied Sciences*, Vol.12, No.17, 8861, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178861>
- [11] H. S. Moon, K. B. Ju, "Development of BIM Library for Civil Structures based on Standardized Shop Drawings", *Journal of Society for Computational Design and Engineering*, Vol.2013, No.8, pp.150-156, 2013.
- [12] H. J. Park, M. B. Seo, "A Development of Railway Infrastructure BIM Prototype Libraries for Roadbed and Track", *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol.30, No.5, pp.461-468, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2017.30.5.461>

- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, provide quantity information of Construction, p.908. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023, p.18-21.

김 옹 진(Ungjin Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 성균관대학교 사회 환경시스템공학과 (학사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 건설 환경시스템공학과 (석사)
- 2021년 2월 : 과학기술연합대학원 대학교 교통시스템공학 (박사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

지반공학, 궤도토목

김 대 상(Dae Sang Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 대학원 자원공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 : 동경대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2002년 6월 : 서울대학교 지진공학연구센터 전임연구원
- 2002년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

지반공학, 궤도토목

박 영 곤(Young Kon Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 농공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 대학원 농공학과 (공학박사)
- 1999년 11월 ~ 2000년 5월 : 동경대학교 토목공학과 박사후연구원
- 2000년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

지반공학, 궤도토목