

BIM기반 도로노선 설계 자동화 시스템 구현

이 현 민*, 이 일 수*, 문 현 석**, 김 현 승^o

Implementation of BIM-Based Automated Road Route Design System

Heon-min Lee*, Il-soo Lee*, Hyoun-seok Moon**, Hyeon-seung Kim^o

요 약

건설산업을 디지털화 및 자동화로 전환하기 위한 스마트 건설 활성화 방안으로 BIM 도입은 필수적인 사항이 되고 있지만 당초 기대보다 BIM기반 설계 기술의 생산성 및 정보 완성도는 미흡한 수준이다. 이는 BIM관련 업무가 다양한 소프트웨어를 사용함에도 불구하고, 이들의 작업효율을 향상시킬 수 있는 자동화 기술이 부족하기 때문이다. 이에 연구에서는 기존 BIM 저작도구와 도로 설계절차를 고려하여 BIM기반 설계 자동화를 위한 도로노선 설계 프로세스와 다양한 설계 매개변수를 제시하였다. 그리고 비주얼프로그래밍 언어를 활용하여 BIM기반 도로노선 설계 자동화 기술을 구현하였다. 연구에서 개발한 BIM 설계 자동화 시스템은 주요 매개변수를 입력받으면 도로설계 프로세스에 따라 BIM 모델을 자동으로 생성하고 업데이트 할 수 있다. 사례적용 결과 개발된 기술은 도로노선 설계 절차에 따라 BIM 모델을 생성하여 검토할 수 있을 뿐만 아니라 매개변수 입력만으로 BIM 모델을 자동으로 생성하여 작업 시간을 단축할 수 있음을 확인하였고, 반복적인 수작업에 의존하는 기존 BIM 모델링 업무를 자동화하여 작업 생산성을 획기적으로 향상시키는데 기여할 수 있다.

키워드 : BIM, 파라메트릭 모델링, 자동화 설계, 도로설계, Dynamo

Keywords : BIM, Parametric Modeling, Automatic Design, Road Design, Dynamo

ABSTRACT

The introduction of BIM is becoming necessary to activate innovative construction plans for digitalization and automation. However, the productivity and information completeness of BIM-based design technology is lower than initially expected. The reason is that although BIM-related work uses various software, the automation technology that can improve its work efficiency is insufficient. In this study, the road route design process and various parameters for BIM-based design automation were presented in consideration of existing BIM Tools and Road design procedures, and the automated BIM modeling system for road route design was developed using a visual programming language. This BIM-based automated design system can automatically generate and update BIM models according to the road design process by inputting key parameters. As a result of the case study, it is confirmed that the developed technology not only generates and reviews BIM

※ 본 연구는 국토교통부 지능화 기술기반의 위험도로 선형개량 모델 생성 및 기하 검증 핵심기술 개발(R&D) 연구비 지원에 의해 수행된 연구임. 과제번호: 21CTAP-C164336-01

• First Author : Seoyoung Engineering Co., Ltd., misora410@gmail.com, 정회원

o Corresponding Author : Seoyoung Engineering Co., Ltd., wjdchs2003@gmail.com, 정회원

* Seoyoung Engineering Co., Ltd., islee@seoyoungeng.com

** Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, hsmoon@kict.re.kr

논문번호 : 202212-293-D-RU Received December 8, 2022; Revised December 15, 2022; Accepted December 18, 2022

models according to road design procedures but also reduces work time by automatically generating BIM models only by inputting parameters. These technologies can contribute to dramatically improving work productivity by automating existing BIM modeling tasks that rely on repetitive manual work.

I. 서 론

최근 국토교통부는 건설산업을 디지털화 및 자동화로 전환하기 위하여 스마트 건설 활성화 방안과 BIM 시행지침 등을 발표하고, 1,000억 이상 공공공사에 대해 건설 전 과정에 BIM(Building Information Modeling, 이하 BIM) 도입을 추진하고 있다¹⁻³⁾.

BIM은 자재, 자원정보 등 공사정보를 포함한 3차원 입체 모델로, 건설 전 단계에 걸쳐 디지털화된 정보를 통합 관리할 수 있기 때문에 건설 산업에서의 BIM 도입은 선택사항이 아닌 필수사항이 되고 있다. 그러나 당초 기대보다 BIM기반 설계 기술의 생산성 및 정보 완성도는 미흡한 수준이다^{4, 5)}. 이는 BIM 업무의 작업효율을 향상시킬 수 있는 자동화 기술이 미흡하여 BIM을 운영함에 있어 여전히 큰 비용과 시간이 소요되고 있는 점도 중요한 요인이라 판단된다. 일반적으로 BIM 업무를 수행하기 위해서는 지형 모델링, 구조물 모델링, 구조해석, 협업 등과 같이 주요 업무별로 적합한 BIM 소프트웨어들을 활용해야 한다. 이와 같이 하나의 소프트웨어가 아니라 다수의 소프트웨어를 설계자가 수작업으로 사용해야 한다면, BIM 업무에 대한 생산성 향상은 기대하기 어렵다. 즉, 사용해야 하는 BIM 소프트웨어가 많아지는 만큼 그것들을 자동으로 운용하여 작업시간을 단축시킬 수 있는 자동화 기술이 마련되어야만 BIM 업무 생산성을 확보할 수 있을 것이다.

연구에서는 BIM 업무 생산성 향상을 위한 자동화 기술로 BIM기반 도로설계 대상으로 다양한 매개변수에 따라 BIM 모델을 자동으로 생성할 수 있는 방안을 제시한다.

II. 본 론

2.1 BIM 프로세스 및 주요 변수 설정

2.1.1 도로분야 BIM 모델링 프로세스

국내에서 활용되고 있는 BIM 저작도구는 대다수 외산제품으로 BIM 모델 구축을 위한 다양한 기능들을 보유하고 있으나, 국내 설계 프로세스를 반영하지 못하고 있다. 이는 엔지니어가 BIM 모델을 구축할 때, BIM 저작도구 안에 흩어져 있는 각 기능을 개별적으

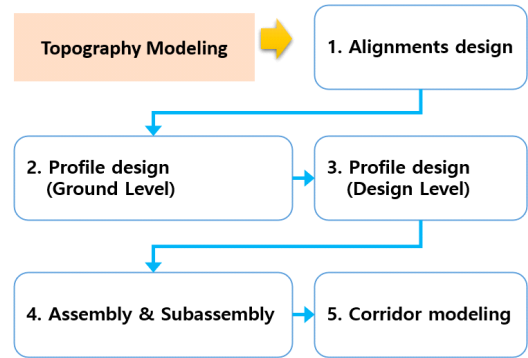


그림 1. BIM기반 도로노선 설계 절차
Fig. 1. BIM-based road route design process

로 찾아서 작업을 수행하는 방식이기 때문에 업무 생산성의 저해 요인이 된다. 특히 BIM 저작도구의 숙련도가 낮은 엔지니어들에게는 BIM 도입 및 활용에 큰 장애물로 작용될 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 도로 BIM 모델링 작업을 연속적으로 수행할 수 있도록 기존 국내의 BIM 저작도구의 주요 기능과 도로 설계 절차를 반영하여 도로노선의 BIM 모델링 프로세스를 Fig. 1과 같이 제시하였다.

BIM기반 도로설계를 위한 첫 번째 단계는 지형모델링이며, 이는 측량데이터, DM 파일 및 수치지도 데이터 등을 활용하여 작성할 수 있다. 지형 모델은 주로 삼각망(Triangulated irregular network, Tin)으로 작성되며, 표고 및 경사도 분석 등 다양한 지형 검토가 가능하다. 두 번째 단계는 지형 모델 위 평면에 직선, 곡선 및 원 등을 활용하여 기하학적인 평면 선형을 설계한다. 그리고 세 번째와 네 번째 단계에서 평면선형에 따라 지반고와 계획고에 대한 종단곡선을 작성한다. 그리고 평면선형에 따라 구조물의 작성하기 위해 횡단구성요소들을 활용하여 표준횡단을 작성한다. 평면선형, 종단, 표준횡단의 설계가 완료되면, 이들을 동적으로 연계하여 코리더(corridor) 모델을 생성한다. 이러한 코리더 모델은 노선 비교, 수량산출 등 BIM기반 설계업무에 활용된다.

2.1.2 도로노선 설계를 위한 주요 변수 설정

BIM기반 도로노선 설계에서는 도로설계기준과 지형조건에 맞게 평면선형, 종단 등 도로설계 구성요소

표 1. 도로노선의 BIM 모델링 자동화를 위한 매개변수
Table 1. Parameters for automated BIM modeling of road route

Type		Parameters
Alignment		X, Y Coordinates
		Intersection Point(IP)
		Curve Radius
		Clothoid Parameter
Profile		A point of vertical intersection(PVI), Design Level, Ground Level
Assembly (Subassembly)	Lanes	Lane slope & width, Base depth, Pave depth
	Shoulders	Shoulder width & slope, Daylight slope & width, Pave depth
	Curbs Gutter	Gutter slope & direction, Subbase depth & slope,
	Daylight Bench	Fill and Cut Slope, Bench width and slope, Name and thickness of Material

들의 기하학 정보를 지속적으로 조정하는 작업을 동반한다. 이러한 작업에 변수기반 BIM 모델 자동 생성 모형을 효과적으로 활용하기 위해서는 실무에 적합한 매개변수를 우선적으로 선정할 필요가 있다. 이를 위해 연구에서는 기존 BIM 저작도구에서 수작업으로 입력하는 정보와 실무적으로 주로 사용되는 정보를 고려하여 Table 1과 같이 주요 매개변수를 선정하였다. 이러한 매개변수는 변수기반 BIM 모델 자동 생성 기술의 주요 매개변수로 반영하였다.

2.2 Dynamo기반 도로노선 설계 자동화 방안

2.2.1 변수기반 BIM 모델링 자동화 방안 개요

도로노선 설계 프로세스에 따라 BIM 모델링 업무를 자동화 할 수 있는 시스템은 국내외적으로 도로분야 BIM 설계도구로 활용도가 높은 Autodesk사의 Civil3D와 Autodesk 제품과 연동하여 각종 로직과 기능을 개발할 수 있는 Dynamo 프로그램⁶⁾을 활용하여 개발하였다. 개발에 사용된 소프트웨어의 버전은 Civil3D 2023과 Dynamo 2.13이며, 다음과 같이 10개의 Dynamo 스크립트로 구성하였다.

Dynamo로 작성된 스크립트는 도로의 BIM 설계 절차별로 BIM 모델을 자동으로 생성하고, 검토 및 수정할 수 있는 기능 모듈들로 구성되어 있으며, 이는 폴리라인(Polyline)을 활용한 선형 설계부터 코리더

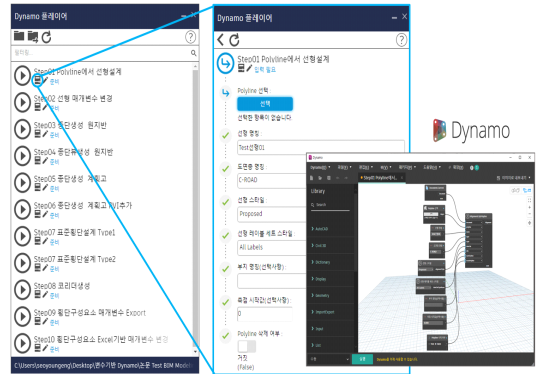


그림 2. 도로노선의 BIM 모델링 자동화 모듈
Fig. 2. Automated BIM modeling Modules of road routes

횡단구성요소의 매개변수 변경에 이르기까지 모든 BIM 모델링 작업을 순차적으로 수행할 수 있다. 특히, Dynamo 스크립트를 실행함에 있어서 Dynamo player를 활용할 수 있게 구성하여 복잡한 노드로 구성된 스크립트 작업창에서 기능을 실행하는 불편함을 없애고, 콤보박스, 리스트박스, Text 박스와 같이 다양한 UI(User Interface)를 활용하여 편리하게 각 모듈을 구현할 수 있게 하였다.

2.2.2 BIM기반 도로노선 설계 자동화 모듈

도로 노선은 출입시설 형식, 재료 수급의 난이도, 공사의 난이도 등을 고려하여 계획하며, 일반적으로 CAD나 Civil3D에서는 연속하는 직선, 호 등으로 구성되는 폴리라인으로 작성한다. 따라서 연구에서는 등고선과 CAD의 블록을 이용하여 작성된 지형객체와 폴리라인으로 작성된 노선객체를 활용하여 BIM기반의 도로 평면선형 객체를 생성하였다. Fig.3과 같이 첫 번째 Dynamo 스크립트를 실행하여 폴리라인 선택창과 생성될 객체의 명칭, 도명층, 기타 설정값을 지정하면 자동으로 도로의 평면선형객체가 생성되는 것

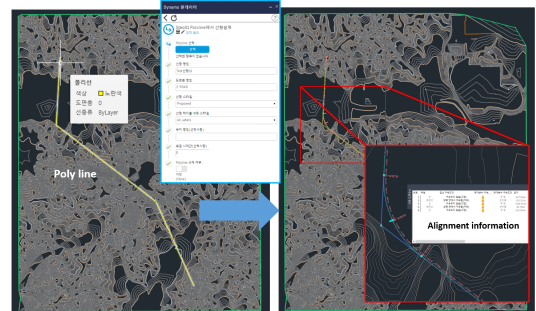


그림 3. 도로 평면선형객체의 모델링 자동화
Fig. 3. Automated BIM modeling of road alignment



그림 4. 평면선형 객체의 기하학 정보 변경
Fig. 4 Changing geometry information of road alignment

을 확인할 수 있다. 생성된 평면선형객체는 직선, 원곡선 등의 선의 유형, 길이, 반지름 등의 세부적인 기하학 정보를 제공한다.

평면선형객체의 기하학 정보는 Fig.4와 같이 매개변수 변경을 위해 작성된 Dynamo 스크립트를 통해 사용자가 원하는 값으로 쉽게 변경할 수 있다. 평면선형객체는 선, 원곡선 등으로 구분되고 이들의 기하학 정보는 유기적으로 연동되어 있기 때문에 선형객체 구성요소 하나의 매개변수를 변경하더라도 나머지 선형객체 구성요소에 자동으로 적용된다. 이러한 방법으로 다수의 대안 노선을 생성하고 비교함으로써 최적의 평면선형객체를 쉽게 결정할 수 있다.

평면선형객체가 생성된 이후에는 중단설계가 진행된다. 중단설계는 Fig.5와 같이 3개의 Dynamo 스크립트로 구성된다.

중단설계를 위한 첫 번째 스크립트는 평면선형객체로 작성된 중심선을 따라 3D 지표면 모델에서 자동으로 지반고를 추출하고, 두 번째 스크립트는 지반고의 시작점과 종료점 정보를 반영하여 계획고를 생성한다.

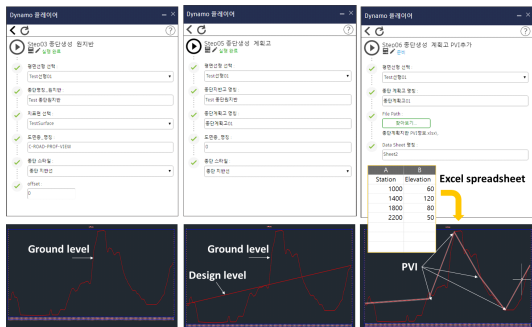


그림 5. 중단 모델링 위한 Dynamo 스크립트
Fig. 5. Dynamo scripts for profile modeling

그리고 세 번째 스크립트에서는 축점별로 계획 높이를 작성한 엑셀 데이터를 불러와 자동으로 계획고를 수정할 수 있도록 구성하였다. 특히 엑셀시트를 활용하여 데이터를 입력할 수 있게 구성하여 PVI(Point of vertical intersection) 정보와 같이 대량의 데이터도 쉽게 도로 BIM 설계에 반영할 수 있다.

중단설계가 완료되면 표준횡단을 작성한다. 표준횡단은 Civil3D에서 제공하는 차선, 연석 등 횡단구성요소를 조합하여 설계한다. 이러한 조합방식은 횡단구성요소가 많거나 자주 활용되는 표준횡단도 반복적으로 구성해야한다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 표준횡단을 라이브러리 형태로 구성하여 별도의 조합작업 없이 다양한 표준횡단을 사용할 수 있게 하였다. Fig.6과 같이 실무적 활용이성 높은 표준횡단을 유형별로 자동 생성할 수 있는 스크립트를 구성하였다. 따라서 type1 표준횡단 스크립트를 실행하여 표준횡단을 구성하는 횡단구성요소인 차선, 길어깨 및 사면소단으로 구성된 표준횡단을 자동으로 생성할 수 있다. type2 표준횡단 스크립트는 차선, 연석 및 측수로, 사면소단으로 구성된 표준횡단을 자동으로 생성한다. 이와 같이 실무적으로 활용도가 높은 표준횡단 유형을 라이브러리로 작성하여 미리 보유하는 방식은 향후 도로 BIM 설계에 소비되는 업무 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있을 것이다.

평면선형, 중단곡선(지반고, 계획고), 표준횡단 등의 객체가 생성되면, Fig.7과 같이 코리더 생성 스크립트를 통해 도로 BIM 모델의 일종인 코리더를 자동으로 생성할 수 있다. 코리더는 표준횡단을 전 구간에 적용한 3D 객체로 절토 및 성토사면, 물량 산출 등에 활용된다.

코리더는 평면선형, 중단곡선 등 모든 객체와 유기적으로 연동되어 있기 때문에 하나의 정보가 변경되더라도 전체 모델에 반영된다. 따라서 연구에서는 코



그림 6. 표준횡단 BIM 라이브러리
Fig. 6. BIM library for Assembly

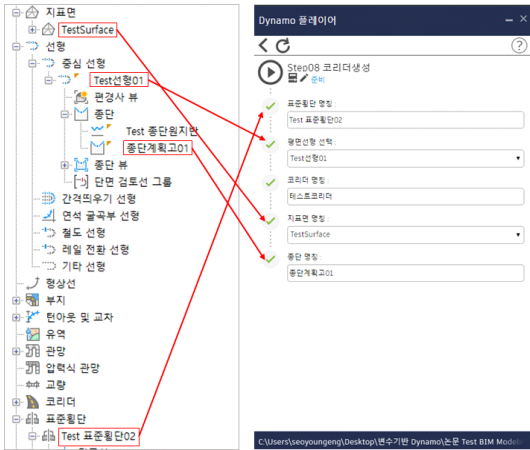


그림 7. 코리더 자동 생성을 위한 Dynamo 스크립트
Fig. 7. Dynamo scripts for corridor modeling

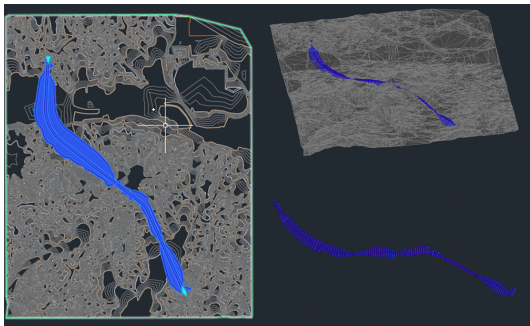


그림 8. 도로의 코리더 모델
Fig. 8. Corridor model for road

리더를 구성하는 세부 객체들의 정보를 자동으로 변경할 수 있는 기능도 개발하였다. 이는 코리더에서 임의의 축점을 선택하면 해당 축점에서의 평면선형, 중단곡선 및 횡단구성요소들의 정보를 추출할 수 있을 뿐만 아니라 사용자 목적에 맞게 변경할 수 있다.

수많은 매개변수들을 효율적으로 변경하기 위해서는 매개변수별 변경값을 개별적으로 입력하는 것 보다는 엑셀을 통해 일괄적으로 매개변수 값을 변경하는 것이 필요하다. Fig.9와 같이 코리더의 축점을 입력하여 해당 축점에 속한 모든 횡단구성요소들의 매개변수 값을 엑셀로 내보내기 할 수 있는 기능을 개발하였다. 이를 통해 설계자는 엑셀에서 모든 횡단구성요소에 대한 매개변수를 확인하고 수정할 수 있다. 설계자가 엑셀에서 수정한 매개변수 값들도 자동으로 해당 횡단구성요소에 반영할 수 있다. Fig.10과 같이 Dynamo 스크립트를 통해 축점과 횡단구성요소의 명칭을 입력하면 자동으로 해당 횡단구성의 매개변수

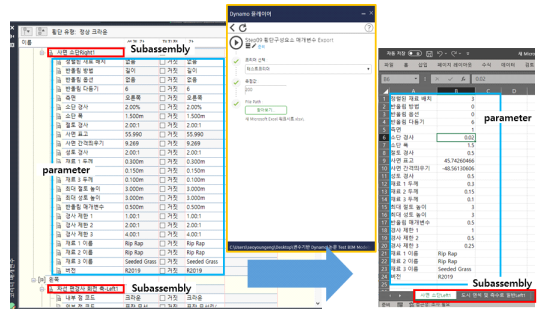


그림 9. 엑셀기반 BIM 매개변수 추출
Fig. 9. Exporting excel-based BIM parameters

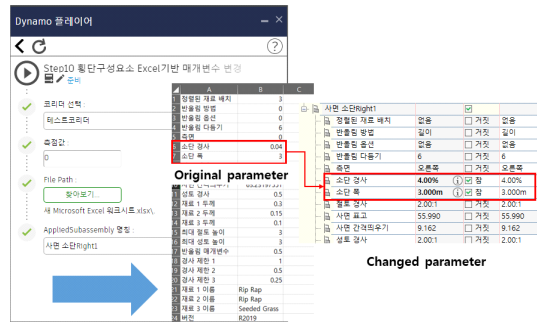


그림 10. 엑셀기반 BIM 매개변수 변경
Fig. 10. Modifying excel-based BIM parameters

값이 변경된다. 일반적으로 도로설계에서 지속적이고 반복적으로 수정해야하는 매개변수가 다수인 점을 고려하면, 이러한 자동화된 정보 입출력 및 수정 방식은 업무 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것이다.

2.3 시범적용

연구에서는 10개의 Dynamo 스크립트 작성된 변수 기반 BIM 모델링 자동화 모형의 실무 활용성을 검토하기 위하여 도로 프로젝트 대상으로 대안노선들의

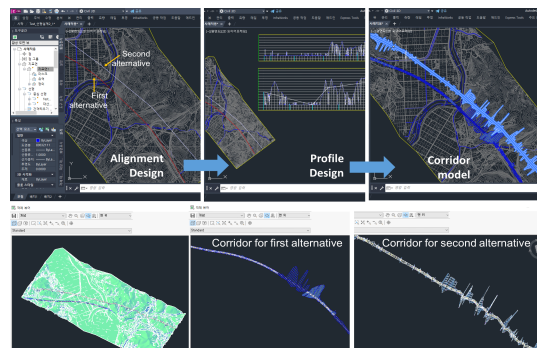


그림 11. BIM 모델링 자동화 시스템의 사례적용
Fig. 11. Study case for automated BIM modeling system

BIM 모델 생성을 시도하였다.

Fig.11과 같이 Dynamo 스크립트를 순차적으로 적용하여 대안노선 2개에 대해 평면선형설계, 종단 및 코리더 모델을 자동으로 생성하고 검토하였다. 실무자 자문을 통해 기존 Civil3D의 작업시간을 30%이상 단축하면서 대안노선의 코리더 모델을 생성할 수 있음을 확인하였다. 특히 엑셀 데이터 시트를 통해 대안노선들의 기하학 정보도 쉽게 수정하는 등 설계변경에 따른 반복적인 BIM 모델링 작업을 자동화할 수 있어 BIM업무의 생산성 향상이 가능할 것으로 파악되었다.

III. 결 론

건설산업의 실무적인 BIM 도입을 위해서는 관련 업무의 생산성을 향상시킬 수 있는 자동화 기술이 필요하다. 이에 본 연구에서는 BIM기반 도로 설계를 대상으로 다양한 변수기반으로 도로노선의 BIM 모델을 자동으로 생성할 수 있는 방안 및 모형을 제시하였다. 이를 위해 국내외 BIM 저작도구의 기능을 고려하여 일반적인 BIM기반 도로설계 프로세스를 개발하고, BIM 모델링 자동화를 위한 다양한 매개변수를 제시하였다. 그리고 비주얼프로그래밍 언어인 Dynamo와 Civil3D를 활용하여 변수기반 도로 BIM 모델링 자동화 모형을 개발하였다. 이는 도로설계 프로세스에 맞춰 개발된 10개의 Dynamo 스크립트를 순차적으로 실행하면서 다양한 매개변수 값만 입력하여 도로 구성객체들의 BIM 모델을 자동으로 생성할 수 있다. 이러한 기능들은 사례적용을 통해 도로 구성객체가 신속하게 모델링되고, 매개변수에 따라 쉽게 설계 변경이 가능하여 BIM관련 업무의 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 추가적인 BIM관련 업무 개선을 위하여 기존 수작업으로 정의하는 매개변수 값을 자동으로 유추하여 BIM 모델을 생성할 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

References

[1] MOLIT, *Smart Construction Activation Plan : S-Construction 2030*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022.

[2] MOLIT, *Construction Industry BIM Implementation Guidelines*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022.

[3] B. Koo, H. Ok, Y. Yu, and R. Jung, "Analysis

of Singapore's BIM tender documents for the development of infrastructure BIM guidelines in Korea," *J. KIBIM*, vol. 8, no. 2, pp. 19-28, Jun. 2018.

(<https://doi.org/10.13161/kibim.2018.8.2.019>)

[4] H. S. Kim, H. M. Lee, and I. S. Lee, "Development of automatic BIM modeling system for slit caisson," *Korea Academia-Industrial Cooperation Soc.*, vol. 21, no. 11, pp. 510-518, Nov. 2020.

(<https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.510>)

[5] H. J. Kim, M. H. Choi, and J. J. Kim, "A study on the automation process of BIM library creation of air handling unit," *J. The Architectural Inst. of Korea Structure & Construction*, vol. 34, no. 4, pp. 75-82, Apr. 2018.

(https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2018.34.4.75)

[6] Autodesk, *Dynamo Primer*(2019), Accessed Nov. 20, 2022, from <https://primer.dynamobim.org/ko/>

이 현 민 (Heon-min Lee)



2006년 2월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 석사
 2014년 8월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 박사
 2015년 3월~현재 : (주)서영엔지니어링 BIM개발부 차장
 <관심분야> BIM, 설계 자동화

이 일 수 (Il-soo Lee)



1991년 2월 : 연성대학교 공과대학 토목과
 1991년 5월~현재 : (주)서영엔지니어링 BIM개발부 부서장
 <관심분야> BIM, 토목설계

문 현 석 (Hyoun-seok Moon)



2009년 8월 : 경상국립대학교 토목공학과 박사

2013년 1월 : University of Michigan(Ann Arbor) Post-Doc

2012년 12월~현재 : 한국건설기술연구원 BIM클러스터, 클러스터장

<관심분야> BIM, 건설관리, 디지털 엔지니어링, 인공지능, 자연어 처리

김 현 승 (Hyeon-seung Kim)



2011년 2월 : 경상국립대학교 토목공학과 석사

2016년 2월 : 경상국립대학교 토목공학과 박사

2018년 6월~현재 : (주)서영엔지니어링 BIM개발부 차장

<관심분야> BIM, 건설관리, 설계자동화