연구원-2024-27-534.9607호

2024년도 연구보고서

고속도로 지반분야 BIM 활용 방안 연구

A Study on Application of Geotechnical BIM in Expressway

김경석 · 이상래 · 김영호 · 하용수

한국도로공사 도로교통연구원

연구원-2024-27-534.9607호

2024년도 연구보고서

고속도로 지반분야 BIM 활용 방안 연구

A Study on Application of Geotechnical BIM in Expressway

김경석 · 이상래 · 김영호 · 하용수

한국도로공사 도로교통연구원

연구진

한국도로공사 도로교통연구원

연구책임자 : 김경석(안전혁신연구실 연구위원)

참여연구원 : 이상래(안전혁신연구실 수석연구원)

김영호(안전혁신연구실 책임연구원)

하용수(안전혁신연구실 책임연구원)

Contents

목 차 ····· i
표 목 차 ····· v
그림목차 ····· vii
요 약 문 ····· ix
ABSTRACT ····· x

제1장 서 론 ····· 1

1.1 배경과 목적 ····· 1
1.1.1 배경과 필요성 ····· 1
1.1.2 연구의 목적 ····· 3

1.2 연구 내용, 연구 방법, 연구 기간 ····· 4
1.2.1 연구 범위와 내용 ····· 4
1.2.2 연구 방법 ····· 5
1.2.3 연구 기간 ····· 5

제2장 국내외 BIM 적용 현황 조사 ····· 6

2.1 BIM 일반사항 ····· 6
2.1.1 BIM의 정의와 핵심 요소 ····· 6
2.1.2 BIM의 활용 (BIM uses) ····· 8
2.1.3 BIM 성숙도 수준 (Maturity Level) ····· 10
2.1.4 BIM 표준 (BIM Standard) ····· 11
2.1.5 BIM 요구사항과 실행 ····· 12
2.1.6 BIM 장점과 효과 ····· 13
2.1.7 유지·운영 단계 BIM 활용 ····· 14

2.2 국외 BIM 현황 ····· 15
2.2.1 BIM 도입 국가 ····· 15

2.2.2 국가별 BIM 도입 정책 ····· 16
2.2.3 국외 도로관리기관의 BIM 도입 ····· 18

2.3 국내 BIM 현황 ····· 19
2.3.1 국내 BIM 도입 경과 ····· 19
2.3.2 국토부 BIM 도입 정책 ····· 20
2.4 한국도로공사 BIM 도입 현황 ····· 22
2.4.1 고속도로의 BIM 도입 현황 ····· 22
2.4.2 고속도로의 BIM 도입 시사점 ····· 23

제3장 지반 BIM 모델의 개념 ····· 25

3.1 지반 BIM 정의 ····· 25
3.1.1 지반BIM과 GeoBIM의 이해 ····· 25
3.1.2 지반 BIM 모델의 구성 ····· 27
3.2 지반 BIM 모델 작성 방법 ····· 29
3.2.1 지반 정보의 표준화 ····· 29
3.2.2 지반 BIM 모델 작성 절차 ····· 31
3.2.3 지반BIM 작성의 역할론 ····· 32

제4장 지반분야 BIM S/W 조사 ····· 33

4.1 일반 BIM 소프트웨어 ····· 33
4.1.1 BIM 소프트웨어 개발사 현황 ····· 33
4.1.2 개발사별 BIM 소프트웨어 특징 ····· 35
4.1.3 전문분야별 BIM 저작 및 해석 도구 ····· 39
4.1.4 BIM 소프트웨어 현황분석 결과 ····· 42
4.2 지반분야 BIM 소프트웨어 현황 ····· 43
4.2.1 Autodesk - Civil 3D (Geotechnical Modeler) ····· 43
4.2.2 Bentley - Leapfrog Works (with Central) ····· 45
4.2.3 Bentley - OpenGround ····· 48

4.2.4 Fine Software - Geo 5 ····· 48
4.2.5 MidasIT - CIM ····· 50

제5장 지반 BIM 모델 활용 사례 ····· 51

5.1. 국외 지반 BIM 활용 사례 ····· 51
5.1.1. 영국의 실버타운 터널 프로젝트 (Merdan and Horatiu, 2018) ····· 51
5.1.2 해안 안벽(DWQ, Deep Water Quay wall) 기본설계 검토 (Brennan, E. 2021) ··· 52
5.1.3 영국 Crossrail 2 Project (Ben Gilson et al, 2021) ····· 54
5.1.4 브라질의 Underground Rerservoir 건설 프로젝트 (Henriques et al, 2024) ··· 55
5.1.5 뉴질랜드의 지반 BIM 모델 활용 사례 (Adam et al, 2019) ····· 56

5.2 국내 지반 BIM 활용 사례 ····· 58
5.2.1 제주도 천연동굴 3D 디지털화 사례 (한국건설기술연구원) ····· 58
5.2.2 터널 페이스 매핑 자료를 이용한 지반 BIM모델 구축(한국터널지하공간학회) ··· 59
5.2.3 고속도로 설계에 활용된 지반 BIM 모델 (대산-당진 4공구) ····· 60

제6장 지반 BIM 모델 시범 구축 ····· 61

6.1 지반 BIM모델 시범 구축 개요 ····· 61
6.1.1 지반 BIM 시범구축 목표 ····· 61
6.1.2 시범 구축 대상 사업 및 자료 준비 ····· 62

6.2 지반 BIM모델 시범을 위한 BIM S/W ····· 63

6.3 지반 BIM 모델 시범 구축 프로세스 ····· 66
6.3.1 지반 BIM모델 입력 자료 준비 ····· 66
6.3.2 지반 BIM 모델 작성 프로세스 ····· 70

6.4. 지반 BIM 모델 구축 ····· 76
6.4.1 전구간 지반 BIM 모델 ····· 76
6.4.2 교량구간 지반 BIM 모델 ····· 78
6.4.3 터널구간 지반 BIM 모델 ····· 80
6.4.4 토공구간(절토사면) 지반 BIM 모델 ····· 81

6.5 지반 BIM모델의 활용 ····· 83
6.5.1 지층단면도의 작성 (종단, 횡단) ····· 83
6.5.2 절토 및 성토수량 산정 ····· 88
6.5.3 지반수치해석과 연계 활용 ····· 92
6.6 지반 BIM 모델구축과 활용의 시사점 ····· 101

제7장 지반 BIM 활용에 대한 의견 수렴 ····· 103

7.1 대내외 실무자 및 전문가 대상 의견 수렴 ····· 103
7.1.1 공사내 실무자 대상 의견수렴 ····· 103
7.1.2 외부 전문가 대상 의견 수렴 ····· 104
7.1.3 BIM 업무 관련자 의견수렴 ····· 111
7.2 의견 수렴 시사점 ····· 112

제8장 지반분야 BIM 중장기 연구 방향 ····· 113

8.1 중장기 연구방향 ····· 113
8.2 후속 연구과제 제안 ····· 115

제9장 요약 및 결론 ····· 117

참고문헌 ····· 118

| 표목차 |

표 2.1 BIM의 정의 ····· 6
표 2.2 BIM 운영의 핵심 4요소에 대한 설명 ····· 7
표 2.3 BIM 차원에 따른 활용 내용 ····· 8
표 2.4 프로젝트 단계별 BIM 활용과 도입 수준 ····· 9
표 2.5 BIM 성숙도 수준별 주요 내용 ····· 10
표 2.6 BIM 표준의 구분 ····· 11
표 2.7 프로젝트에서 BIM 운영의 장점과 효과 ····· 13
표 2.8 유지관리 및 운영단계 BIM 운영을 위한 필요 사항 ····· 14
표 2.9 주요 건설 선진국의 BIM 도입 현황 ····· 17
표 2.10 BIM선도국 도로관리기관의 BIM 도입과 활용 벤치마킹 사항 ····· 18
표 2.11 국내 BIM 도입 연혁 ····· 19
표 2.12 국토부의 BIM 의무화 로드맵 ····· 20
표 2.13 국토부 및 공공기관의 BIM 관련 지침서 ····· 21
표 2.14 한국도로공사의 설계 및 시공단계 BIM 도입 경과 ····· 22
표 3.1 GeoBIM과 지반BIM의 비교 ····· 25
표 3.2 GeoBIM과 지반BIM 활용의 장단점 ····· 26
표 3.3 지반BIM 모델에 포함가능한 정보요소들 ····· 28
표 3.4 도로설계 프로젝트에서 분야간 BIM 업무와 지반BIM 역할 ····· 32
표 4.1 일반 BIM 소프트웨어의 특징 ····· 33
표 4.2 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Autodesk) ····· 35
표 4.3 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Bentley Systems) ····· 36
표 4.4 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Nemetschek) ····· 37
표 4.5 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Dassault Systems) ····· 37
표 4.6 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Trimble) ····· 38
표 4.7 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (마이다스아이티) ····· 38
표 4.8 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (기타) ····· 38
표 4.9 BIM 기반 사회기반 시설물 특성별 주요 저작도구 (S/W) ····· 39
표 4.10 BIM 저작도구 및 응용도구 특성에 따른 공종 구분 및 활용방안 ····· 42

표 5.1 프로젝트 유형별 3D지반 모델의 적합 여부 ····· 57
표 5.2 3D지반 모델을 이용함으로서 얻을수 있는 이점과 단점 ····· 57
표 6.1 지반 BIM 모델을 시범 구축을 위해 활용한 지반조사자료 ····· 62
표 6.2 Leapfrog Works의 지원 포맷(Data Input 항목) ····· 64
표 6.3 지형데이터로부터 포인터 데이터 추출 과정 ····· 69
표 6.4 사업단계별 3D 지층 모델의 작성 ····· 75
표 6.5 터널구간 지반 BIM모델 작성 과정 ····· 80
표 6.6 지반 BIM모델로부터 2D수치해석을 위한 모델 작성 절차 ····· 93
표 6.7 지반 BIM모델로부터 2D 사면안정해석 모델 작성 절차 ····· 96
표 6.8 지반 BIM모델로부터 3D 수치해석용 모델 작성 절차 ····· 98
표 6.9 사업단계별 추가되는 지반조사결과를 반영한 지반BIM모델링 ····· 100
표 7.1 공사 실무자 대상 지반 BIM모델 활용에 대한 의견 ····· 103
표 7.2 외부 전문가 대상 지반 BIM 활용에 대한 의견 ····· 104
표 7.3 BIM 업무 관련자 대상 지반BIM모델 활용에 대한 의견 ····· 111
표 8.1 지반 BIM 관련 중장기 연구 필요 사항 ····· 113
표 8.2 지반 BIM 중장기 연구사항의 추진 방법론 ····· 114
표 8.3 유지관리 시스템의 종류별 장단점과 활용성 ····· 116

| 그림목차 |

그림 2.1 BIM의 4가지 핵심 요소 ····· 7
그림 2.2 BIM 성숙도 수준의 개념 ····· 10
그림 2.3 ISO19650에서 정의하는 정보생산싸이클 ····· 12
그림 2.4 BIM 도입 선도 국가 현황 ····· 15
그림 2.5 각국의 건설산업 디지털 건설 정책 ····· 16
그림 2.6 건설산업 BIM 지침의 위계 ····· 20
그림 2.7 스마트 건설기술 활성화를 위한 정책 추진 현황 ····· 21
그림 2.8 고속도로 설계-건설-유지관리 단계별 사업에서의 BIM 도입 현황 ····· 23
그림 3.1 지반 BIM 모델의 일반적 구성도 ····· 27
그림 3.2 지반 BIM 모델에 포함되는 객체 정보 개념도 ····· 28
그림 3.3 지반정보표준 AGS 데이터 구조도 ····· 29
그림 3.4 AGS 지반정보표준의 데이터 그룹과 내용 ····· 30
그림 3.5 지반 BIM 모델 작성 절차도 ····· 31
그림 4.1 시추공 입력 데이터(Autodesk Civil 3D ····· 44
그림 4.2 Autodesk Civil 3D를 활용한 지반의 디지털 모델링 결과 ····· 44
그림 4.3 Leapfrog Works를 활용한 지반의 디지털 모델링 ····· 46
그림 4.4 Seequent(Bentley) Central을 활용한 지하공간 디지털화 협업체계 ····· 47
그림 4.5 Central 기반 지하공간 디지털화 협업체계 예시 ····· 47
그림 4.6 시추공 입력 데이터 (Bentley - OpenGround) ····· 48
그림 4.7 시추공 입력 데이터 (Fine - Geo 5) ····· 49
그림 4.8 시추공 입력 데이터 (MidasIT - CIM) ····· 50
그림 5.1 영국 실버타운 터널 프로젝트의 지반 BIM모델 활용 사례 ····· 52
그림 5.2 해안 안벽 대안설계 검토를 위한 3D 지층구성 사례 ····· 53
그림 5.3 Crossrail 2 프로젝트에서의 3D 지반모델 구축과 활용그림 ····· 54
그림 5.4 브라질 Underground Reservoir 프로젝트 ····· 55
그림 5.5 Geo5를 이용한 지반 BIM모델과 수치해석 연계 활용 사례 ····· 55
그림 5.6 호주와 뉴질랜드의 3D모델 및 지반BIM 활용 사례 ····· 56
그림 5.7 제주도 재암천굴에 대한 지반 BIM 모델 구축 사례 ····· 58
그림 5.8 시공중 터널 페이스 매핑 자료를 이용한 터널주변 지반 BIM 모델 구축 사례 ··· 59

그림 5.9 고속도로 실시설계를 위한 지반 BIM모델 작성과 활용····· 60
그림 6.1 지반 BIM시범구축 대상 현장 (양평-이천 1공구)····· 62
그림 6.2 전 생애주기 지반정보 활용 소프트웨어 예시 (Bentley - Seequent)····· 63
그림 6.3 시추 주상도 Collar 데이터 확인 및 Excel sheet 정리 ····· 66
그림 6.4 시추 주상도 지층 정보 및 Geology 데이터 정리····· 67
그림 6.5 AGS 파일 불러오기(Leapfrog Works)····· 68
그림 6.6 Leapfrog Works를 이용한 지형생성 ····· 71
그림 6.7 Leapfrog에서 시추공 데이터 불러오기 화면 ····· 72
그림 6.8 Leapfrog에서 시추공 데이터 확인 및 가시화 화면····· 73
그림 6.9 3D지층을 위한 하부 블록 생성····· 74
그림 6.10 노선 형상에 따라 3D 하부블록 생성····· 75
그림 6.11. 전구간 지반 BIM모델에서의 역전현황 확인····· 77
그림 6.12 교량구간 지반 BIM 모델 생성 ····· 78
그림 6.13 교량부 3차원 지층 모델링 결과 ····· 79
그림 6.14 지반 BIM 모델 기반의 지층 변경선 반영····· 81
그림 6.15 도면을 3D모델에 입력하기 위한 예시 ····· 82
그림 6.16 과업 구간 도로 노선 불러오기 ····· 83
그림 6.17 단면 설정 옵션 및 단면 영역 ····· 84
그림 6.18 3D지반모델로부터 도로노선을 따른 종단면도 작성····· 85
그림 6.19 횡단 생성 영역 설정····· 86
그림 6.20 3D지반모델로부터 도로노선 위치별 횡단면도 작성····· 87
그림 6.21 터널 갱구부 깍기비탈면 토공 수량 산정····· 88
그림 6.22 터널갱구부 깍기구간 토사-리핑-발파별 토공수량 확인 ····· 89
그림 6.23 터널의 토공수량 산정····· 90
그림 6.24 터널 내부 각 지층별 볼륨값 확인····· 91
그림 6.25 지반 BIM모델의 구축 사례 ····· 92
그림 6.26 수치해석을 위한 3D 지반BIM 모델····· 95
그림 6.27 수치해석 용 모델 생성을 위한 단면 생성····· 95
그림 6.28 수치해석을 위한 3D 지반 BIM 모델····· 97
그림 8.1 고속도로 지반시설물 관리 대상 범위····· 115

요 약 문

글로벌 건설산업 디지털전환과 건설정보모델링(BIM) 기술확산 트렌드에 따라 국내건설산업도 전면 BIM 도입이 진행되고 있으나, 지반분야(geotechnical engineering)의 정보관리와 업무방식은 여전히 인력중심의 2D방식에서 크게 변화되지 않고 있다. 본 연구는 고속도로 건설관리에 있어 지반분야 BIM 모델의 도입과 활용을 위해 필요한 중장기적 연구 방향을 도출하기 위한 목적으로 수행하였으며, 국내외 지반BIM현황의 조사, 고속도로 건설사업대상 시범적 지반BIM모델 구축과 활용성 검토, 우리공사 실무자와 지반분야 전문가 대상으로 지반 BIM도입과 활용에 대한 인식을 조사하고 향후 연구방향을 제안하고자 하였다.

국외에서는 지반분야 정보관리표준체계가 확립되어 있고, 이를 기반으로 지반BIM이 보편적으로 활용되고 있음을 확인하였다. 고속도로 건설사업 대상 지반 BIM 모델을 시범적으로 구축한 결과 고속도로는 선형적인 SOC인프라로서 지반조사 수량이 적어 전구간 3D모델 작성 어려움이 있는 것으로 나타났다. 다만, 지반조사가 충분한 일부구간은 신뢰성 있는 지반BIM모델 구축과 활용이 가능함을 확인하였다. 우리 공사 실무자는 건설관리 업무에 지반BIM 활용 필요성이 낮은 것으로 인식하고 있는 반면, 지반분야 외부 전문가들은 지반정보관리 및 사업적 관점에서 지반BIM 필요성 인식하고 있으며 다양한 연구 필요 사항을 제시하였다.

지반분야 BIM 확대를 위해 정부, 산업계, 학계가 협력하여 지반정보표준체계 마련, 지반BIM모델 구축 및 활용 방법론, 국가적 지반정보DB화를 위한 연구 방향을 제시하고, 우리 공사는 고속도로 지반시설의 관리측면에서 지반BIM정보를 연계 활용하는 연구를 제안하였다.

ABSTRACT

Following the global construction industry's digital transformation and the trend of expanding Building Information Modeling (BIM) technology, the domestic construction industry is also undergoing a full-scale adoption of BIM. However, information management and work processes in the geotechnical engineering field remain largely unchanged, still relying on labor-intensive 2D methods.

This study was conducted to derive mid-to-long-term research directions necessary for the adoption and utilization of geotechnical BIM models in highway construction management. The research includes an investigation of the current state of geotechnical BIM domestically and internationally, a pilot implementation and feasibility review of a geotechnical BIM model for highway construction projects, and a survey of our corporation's practitioners and geotechnical experts to assess their perception of geotechnical BIM adoption and utilization, ultimately proposing future research directions.

Standardized geotechnical information management systems have been established in leading countries and it use is widespread. In the pilot implementation of a geotechnical BIM model for highway construction projects, it was found that highways, as linear SOC infrastructure, involve a relatively small volume of geotechnical investigations, making it challenging to create 3D models for entire sections. As for survey on geotechnical BIM, KEC practitioners perceive a low necessity for geotechnical BIM in construction management tasks, whereas external geotechnical experts recognize the need for geotechnical BIM from an information management and business perspective, suggesting various areas for further research.

To expand the adoption of BIM in the geotechnical field, a standardized geotechnical information framework is necessary, also it is required to develop methodologies for geotechnical BIM modeling and utilization, and promote national geotechnical data digitization research. A research direction is proposed on integrating and utilizing geotechnical BIM information for managing highway geotechnical infrastructure.

제 1 장 서 론

1.1 배경과 목적

1.1.1 배경과 필요성

○ 국내외적으로 건설산업 디지털 전환이 빠르게 진행되고 있으며, 여러 스마트 요소기술을 연계하는 매개 기술로서 건설정보모델링(BIM) 기술 활용이 필수 요소로 대두

- 스마트 건설기술은 건설과정에서 효율성과 생산성을 높이기 위해 전통적인 업무방식에 디지털 기술을 융합한 기술로서, 핵심기술요소로서 BIM, 3D스캐닝(드론, UGV), IoT, 빅데이터, AI, VR/AR 등을 활용하여 기술융합, 정보공유 등을 통해 업역과 분야간 단절을 해소하고 새로운 가치를 창출하는 도구임
- BIM 기술은 건설 프로젝트의 시작부터 운영·유지관리 단계 동안 발생하는 다양한 데이터를 일관성 있게 관리하고, 다양한 스마트 기술요소와 연계하여 업무에 효율적으로 활용하도록 하기 위한 정보모델링과 정보관리체계로서 활용 잠재력이 매우 높음
- 현재 설계단계에서는 3D BIM모델 작성, 도면추출, 모델기반 수량산정이 진행되고 있고, 건설단계에서는 BIM을 기반으로 상세작성, 공정 및 기성관리, 설계변경, MG/MC기술 연계 자동화 시공, 3D 측량을 통한 시설형상 및 시공위치 확인, 안전교육을 위한 VR/AR, BIM-IoT 안전관리 등 BIM과 이를 기반으로 하는 스마트기술 활용처가 증가하고 있음.

○ 정부는 공공 SOC건설사업에 BIM적용을 의무화시키고 BIM지침을 제정, 공공발주기관들은 소관분야 사업에 BIM을 도입하고 활용성을 높이고자 많은 노력 중

- 정부는 건설산업의 디지털 전환을 통해 2030년까지 건설자동화 완성을 목표로 스마트 건설기술 로드맵(2018), 스마트건설 활성화 방안(2022)등 정책을 발표함. 여기에는 공공 SOC분야의 설계-시공-유지관리 단계에 BIM의 단계적 의무화가 포함되어 있어 앞으로 BIM의 도입과 활용은 건설산업내에 빠르게 확산될 것으로 전망됨.
- 한국도로공사, 철도공단, LH 등의 공공발주기관은 BIM의 필요성과 중요성을 인식하고, 자체적으로 중장기적인 BIM도입 로드맵을 수립하고 이를 실행하고 있음. 조직 또는 담

당자를 신설하고 기관에 맞는 BIM 지침을 제시, 소관 발주 사업에 BIM 활용을 요구하고 있으며, 최근에는 건설관리에 있어 BIM 기반 스마트기술 활용이 증가하고 있음.

○ 하지만, 건설산업내 많은 전문분야로의 BIM 도입과 확산은 여전히 낮은 수준. 특히, 지반분야는 과거 방식에 머물러 있고 BIM기반 정보관리 체계 도입과 활용은 거의 전무

- BIM 도입과 활용은 대부분 건설관리 분야의 BIM전문성을 갖는 설계사와 대형 건설사 또는 전문 BIM회사 위주로 부분적으로 이루어지고 있으며, 대부분의 전문엔지니어링분야(도로, 구조, 터널, 지반 등)와 전문건설업(토공 등)에서는 BIM 활용은 매우 낮은 수준
- 특히, 국내 지반분야(지반조사, 지반해석, 지반설계, 지반시공 등)에서는 BIM을 이용한 지반특성의 정보화, 지반 BIM모델과 해석의 연계, 지반 BIM모델을 이용한 설계도 작성, 지반 BIM 기반의 시공 사례, 지반 BIM모델의 납품 사례는 찾아볼 수 없는 실정임.
- 건설프로젝트에서 시간과 비용측면에서 가장 큰 RISK를 갖는 지반에 대한 정보기반의 의사결정이 매우 중요함을 감안할 때, 지반분야 BIM의 도입과 활용성 확대는 매우 중요하고 문제로 판단됨.

○ SOC 건설 프로젝트의 30%를 차지하는 지반분야에 BIM을 도입하고 활용함으로서 얻는 이점을 최대화시킬 필요가 있음. 지반분야 BIM 도입과 활용을 위한 현실적인 연구 필요

- 건설과정에서 발생하는 붕괴, 침하 등 많은 문제는 지반의 정보와 이해가 낮아서 발생하는 경우가 많으며, 결국 공사기간의 지연과 비용의 증가로 귀결됨. 건설산업 BIM 전환에 발맞춰 지반분야의 BIM 도입을 통해 설계, 건설과정의 의사결정에 활용 필요
- 다만, 국내 지반분야 BIM 도입은 여전히 미약한 상황으로서 BIM 전환을 위해서는 기존 산업계의 경험 부족, 지반분야 BIM에 대한 낮은 이해, 실질적인 지반 BIM 활용성 검증, 지반분야 BIM 도입에 있어 계약적인 제약, BIM 도입을 위한 비용 등 많은 난관이 존재
- 국내 지반분야는 BIM기반 정보관리 체계의 도입과 활용은 거의 전무한 실정임을 감안하여, 국내의 지반분야 현황과 국외의 지반분야 BIM 활용 사례 등을 조사 분석하고 건설사업에 있어 실질적인 활용 성과를 도출하기 위한 지반분야 BIM 활용방안 모색 필요
- 또한, 고속도로 시설물 전체를 관리하는 입장에서 설계-시공단계에서 발생하는 지반정보를 체계적으로 축적, 통합 관리한다면 건설 프로젝트에서 지반에 대한 이해도 향상을 통해 신뢰성 있는 의사결정이 가능할 것임

1.1.2 연구의 목적

○ 고속도로 건설 프로젝트에서의 지반정보모델(지반 BIM 모델)의 활용 방안 제시

- 건설사업의 BIM 전환에 발맞춰 타 분야보다 정보모델구축과 활용이 뒤떨어진 지반분야의 BIM 활용방안을 제시함으로서, 진정한 전면 BIM으로의 전환 실현
- 고속도로 설계, 시공단계에서 수행되는 지반조사 결과의 체계적인 관리방안 마련

현 재	시추조사, 현장시험, 실내시험, 물리탐사 등 다양한 조사를 수행하고, 각 단계마다 종이기반의 보고서(pdf)로만 지반정보를 보관, 관리
향 후	보고서 형태뿐만 아니라 디지털화된 지반정보로 관리함으로서 보관, 전달, 공유, 활용의 용이성 확보

- 지반분야 BIM 모델의 활용사례 조사분석 후 고속도로 지반 BIM모델 활용 방향성 모색

○ 지반정보모델 구축과 활용을 위한 중장기 연구방향 제시

- 지반정보모델의 구축 방법론과 설계, 시공, 유지관리 단계 정보모델의 구체적인 활용을 위한 연구과제 발굴
- 시설물 관리 관점에서 지반정보모델의 활용과 지반분야 시설물의 관리를 위한 정보 표준화를 위한 연구과제 발굴

○ 연구를 통한 성과 계획

세부성과목표	성과유형	연구산출물 (output)	실질적 성과 (outcome)
o 지반 BIM모델 활용 방안	o 공통, 기술정책	o 논문1편 o 세미나3회	
o 지반 BIM 교육 방안	o 실용화(기준수립)	o 교재발간1건	교재 배포
o 지반 BIM 기술로드맵 수립	o 미래기초기술	o 기술로드맵	후속연구과제

1.2 연구 내용, 연구 방법, 연구 기간

1.2.1 연구 범위와 내용

○ 국내외의 BIM 적용 현황 조사 분석

- BIM에 대한 일반사항 정리
- 국내외 BIM 도입정책, 도로기관 도입현황 조사
- 우리공사의 BIM 도입현황과 문제점 조사 분석

○ 국내외의 지반분야 BIM 적용 사례 조사 분석

- 국내외 건설사업 지반 BIM 적용 사례 조사
- 지반분야 BIM 활용을 위해 필요 사항 시사점 도출

○ 지반분야 BIM 모델 구축을 위한 S/W 조사

- 국내외 BIM 저작관련 주요 S/W 조사
- 지반분야 BIM 모델 구축과 해석을 위한 Software현황 조사

○ 고속도로 건설사업 구간 대상 지반 BIM 모델 시범 구축

- 국내 고속도로 일부구간 대상 지반 BIM모델 시범 구축
- 시범구축 결과로부터 지반 BIM 모델의 문제점, 개선점 분석
- 향후 지반 BIM 모델 구축과 활용 시사점 도출

○ 선행 연구자, 전문가, 실무자 대상 지반BIM 도입 활용에 대한 의견 수렴

- 국내 연구자, 교수 등 전문가 및 연구자 대상 의견 수렴
- 국내BIM, 지반분야BIM, 지반조사분야, 지반설계분야 실무자 대상 의견 수렴
- 지반분야 BIM 활용의 제약과 극복 방안 시사점 도출

○ 지반분야 BIM 도입과 활용을 위한 후속 과제 도출

- 지반분야 BIM 도입과 활용을 위한 후속 과제와 단계적 추진 방안 도출
- 차년도 고속도로 지반분야 BIM 활용을 위한 연구과제 제안

1.2.2 연구 방법

○ 문헌조사 및 자료조사

- BIM 관련 일반적인 내용에 대한 문헌 조사
- 국내외 정부 및 공공분야, 도로관리기관 중심으로 BIM 추진 동향 조사
- 지반분야 BIM 활용에 대한 선행연구 조사

○ BIM S/W 현황 조사

- 국내 BIM S/W 벤더사들을 통한 BIM S/W현황 조사
- 인터넷, BIM제조사 홈페이지를 통한 지반분야 BIM S/W 조사

○ 지반분야 실무자, 전문가 의견수렴

- 국내 지반분야 전문가 자문을 통한 지반분야 BIM 도입 필요성 의견 수렴
- GIS, BIM기반의 지반BIM 전문가 초빙 세미나 개최
- 국내 지반조사회사, 설계회사의 실무자 대상 BIM, 지반BIM의 필요성 의견 수렴

○ 공사내 실무부서 의견수렴

- 설계, 건설, 유지관리 부서 대상 BIM 현황과 지반 BIM 도입관련 의견 수렴
- 지반시설물 관리를 위한 BIM 활용 필요성 조사 (대상: 비탈면관리팀)

○ 지반 BIM 전문업체와 협력을 통한 지반BIM모델 시범 구축

- 지반 BIM 모델 구축 역량을 보유한 전문업체와 협력
- 자료제공, BIM 모델 구축 필요사항 제공
- 지반 BIM모델 시범구축을 통한 한계점, 문제점, 활용사항 조사 분석

1.2.3 연구 기간

- 본 연구는 기본과제(기획과제)로 수행되었으며
- 연구기간은 2024. 6 ~ 2024.12으로서 총 6개월간 수행하였음.

제 2 장 국내외 BIM 적용 현황 조사

2.1 BIM 일반사항

2.1.1 BIM의 정의와 핵심 요소

○ **BIM은 Building Information Modelling의 약자로서 '건설정보모델링"으로 표현. BIM에 대한 정의는 여러 가지지만 공통적으로 "디지털로 표현된 건설 정보"로 정의됨**

- BIM에 대한 간단한 정의는 "BIM은 협력을 통해 건설 프로젝트와 관련된 모든 정보를 생산하고 관리하는 과정" 임
- ISO19650에서는 "BIM은 건설 자산의 설계, 건설, 운영 과정의 업무 수행과 신뢰성 있는 의사결정에 사용하기 위한 공유된 디지털 정보" 로 정의하고 있음
- 미국 건설정보모델 표준위원회에서는 "BIM은 시설물의 물리적 및 기능적 특성 정보를 디지털로 표현한 것이며, 시설물의 계획~철거까지 생애주기 동안 시설에 대한 공유된 정보자원으로서 신뢰할 수 있는 의사결정 기반을 제공한다"고 정의하고 있음

표 2.1 BIM의 정의

구분	BIM에 대한 정의 (영문)
일반적 정의	Building Information Modelling (BIM) is a way of working together, a process for creating and managing all of the information on a construction project.
ISO19650 표준	BIM is the use of a shared digital representation of a built asset to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions.
미국 BIM표준위원회	BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition
Bradley et al	BIM is defined as the art of information management, a process that runs through the entire asset lifecycle and a digital representation of physical & functional elements of an asset used for decision making

○ **BIM 운영의 핵심 요소는 크게 4가지로 구분 : (1) 디지털 정보(digital representation) (2) 참여주체들의 협력(collaboration of stakeholders), (3) 업무절차 (BIM process), (4) 전주기 활용(life cycle uses)**

- BIM 운용은 건설과정에서 디지털 정보의 협력적 작성, 협력적 디지털 정보 작성을 위한 절차, 건설 전주기 동안의 활용 방안을 모두 포함함. 이들 4개의 핵심 운용 요소의 관계를 <그림 2.1>에 나타내었음

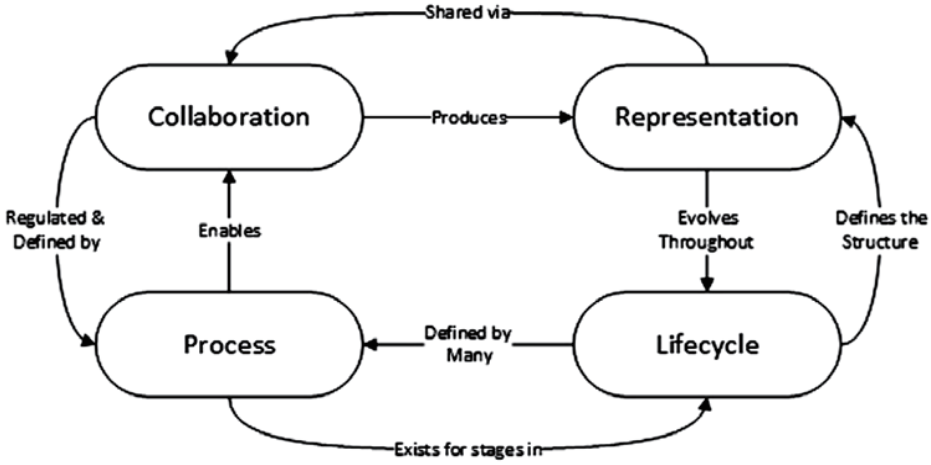


그림 2.1 BIM의 4가지 핵심 요소

표 2.2 BIM 운영의 핵심 4요소에 대한 설명

핵심 요소	설 명
디지털 정보	• 건설 전과정(계획-설계-시공-유지관리-운영-폐기)에서 생산되거나 또는 활용되는 모든 디지털 정보를 포함함 • 각종 보고서, 2D도면, 3D모델, 비용내역, 시방서(제조사, 규격), 사진.음성.영상, 의사결정문서, 목록화된 정보, 정보 코드 등
참여자 협력	• 건설 과정에서 참여하는 모든 참여자(발주, 감리, 설계, 건설) 및 전문분야(토목, 건축, MEP, 구조, 토질, 측량, 조경 등)의 협력을 의미함 • 협력을 위한 협력구조(권한, 책임), 협력계획(업무분장, 분야별 작성정보), 디지털 협력도구(CDE: common data environment)가 필요함
업무 절차	• 정보생산, 정보활용 과정에서 각각의 정보와 업무의 흐름을 의미함 • 업무절차는 참여자, 입력정보와 정보형태, 작업프로세스, 생산정보와 정보형태가 포함되어야 함
전주기 운용	• 건설 전과정의 각 단계에서 정보 활용에 대한 내용을 의미함 • 각 단계별 정보의 활용 목적 및 내용, 필요한 정보와 형식, 정보 활용 절차를 규정하게 됨.

2.1.2 BIM의 활용 (BIM uses)

○ BIM에서 입력하는 정보의 종류와 목적에 따라 BIM차원(BIM dimension)으로 BIM 활용을 구분하는 방법이 있으며, 가장 쉽게 인식할 수 있는 BIM활용 개념임

- BIM 차원은 7가지로 구분되어 있음. 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, 7D. 각 BIM 차원은 고유한 목적과 이점이 있으며, 각 차원은 프로젝트의 비용, 일정, 지속 가능성을 파악하는데 활용되고 있음.
- BIM 차원들은 개념적인 BIM 활용으로서 건설프로젝트에서는 각각의 BIM차원의 구현과 실행을 위한 정보체계 결정, 정보생산 활동, 정보 활용 시스템 구현이 필요함

표 2.3 BIM 차원에 따른 활용 내용

BIM차원 구분	활용 내용
2D (2차원)	• BIM의 가장 기본적인 형태로, 2D도면이나 계획을 생성하는 단계 • 시설물의 레이아웃, 평면도, 단면도, 상세도 등을 시각화하는 데 사용 • 다음 단계 BIM 차원의 기초로 활용
3D (3차원)	• 3D 차원은 2D 모델에 깊이를 추가하여 입체적으로 표현 • 시설물의 구조, 공간관계 및 구성요소를 더 정확하게 시각화 • 상세설계, 간섭 및 충돌 검토, 분야간 팀원간의 협업 촉진에 유용
4D (시간)	• 4D 차원은 시간 또는 일정 정보를 3D 모델에 통합 • 건설 프로젝트의 일정을 시각화, 프로젝트 진행 상황을 계획하고 추적 • 전체 공정 및 공종별 공기지연의 위험관리 및 공기 지연 방지에 활용
5D (비용)	• 5D 차원은 3D 모델에 각 요소별 비용에 대한 정보를 추가 • 자재, 인력, 장비 등 건설을 위한 비용을 모델에 연결 • 건설 프로젝트 전반에 걸쳐 비용 추정, 예산관리 및 비용통제에 활용
6D (지속가능)	• 6D 차원은 시설물 또는 건물의 지속 가능성과 에너지 성능에 집중 • 에너지 소비, 자재의 환경 영향, 지속 가능성 목표와 관련된 정보를 포함 • 친환경 건설 및 건축 기준을 충족하고 환경 발자국을 줄이는 데 도움
7D (시설관리)	• 7D 차원은 시설 관리와 건물 운영과 관련된 데이터를 포함 • 시설물의 점검, 유지보수, 교체 및 시스템 운영 상태에 대한 정보를 제공 • 건설이 완료된 후 건물의 장기적인 관리에 활용

○ **펜실바니아 주립대의 BIM연구팀[1]에서는 BIM 활용을 프로젝트 단계별로 구분하고, BIM 활용가치와 BIM활용을 위한 요구사항 등을 공개적으로 제공하고 있음.**

- 펜실바니아 대학교의 BIM 활용 체계는 건축분야 중심으로서 도로건설 프로젝트에 1:1로 맞지는 않음. 이를 참고하여 고속도로 건설 프로젝트에서 적용가능한 BIM 활용방안을 정리하여 제시하였음.
- 각각의 BIM 활용은 기술성숙도에 따라 개념단계~성능검증~실무적용 형태로 달라지며, 여기에서는 각 BIM 활용을 총 9개 수준의 기술성숙도로 구분하여 나타내었음.

표 2.4 프로젝트 단계별 BIM 활용과 도입 수준

번호	계획단계	설계단계	시공단계	유지관리
1	모델기반 정보생성 및 공유(CDE)			
2	현장조건을 반영한 3D 모델링			
3	선형계획 및 노선 선정			
4	교통 분석			
5	배수 분석			
6	경관 분석			
7	일조 분석			
8	주행 시뮬레이션			
9		수량산출 및 내역		
10		구조검토 및 최적화		
11		시공 안정성 검토		
12		4D 공정 분석		
13		간섭 및 충돌 검토		
14		DfMA (공장제작)		
15		공종별 기성관리		
16		2D도면추출/상세도 작업		
17		부재, 요소에 대한 정보 관리		
18			작업자 추적	
19			공사/작업계획	
20			현장물류관리	
21			장비배치최적화	
22			준공모델, 정보관리	
23			도로유지보수, 자산관리	
24			구조물 헬스 모니터링	
25			도로시설 사용성 모니터링	

TRL	적용수준
9	실무확대
8	실무도입
7	실무검증
6	시범적용
5	시험적용
4	개발검증
3	개념검증
2	개념설계
1	기본개념

※ 개별 BIM use에 대한 세부 내용은 [부록 A] 참고

1) Kreider, Ralph G. and Messner, John I. (2013). “The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses”. Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. http://bim.psu.edu.

2.1.3 BIM 성숙도 수준 (Maturity Level)

○ BIM 성숙도 수준은 산업 또는 기업내 BIM 활용 수준을 정의하며, 영국에서는 국가 전략적으로 정부 입찰시 Level 2 달성 기업만 입찰 자격을 부여하고 있고, 2016년까지 Level3를 달성하도록 추진중임

- BIM 성숙도는 Level0 ~ Level3까지 4단계로 구분되며, 데이터 형식, 데이터 표준, 협업 수준, 데이터 구축 방법에 따라 수준이 달라짐.
- <그림 2.2>와 <표2.5>에 BIM성숙도 개념과 성숙도 수준별 주요 요구내용을 정리하였음.

표 2.5 BIM 성숙도 수준별 주요 내용

BIM 성숙도	성숙도별 내용
Level 0	• 종이 기반의 2D 제도 기법 사용 상태, • 현재는 산업내에서 사용되지 않는 오래된 방식
Level 1	• 2D CAD와 3D CAD를 모두 사용 • 각자 데이터를 생산하고 관리. 이해관계자간 협업이 매우 적은 수준
Level 2	• 각자 3D CAD모델을 작성하고 협업을 통해 정보교환 및 모델 조정 수행 • 정보는 공통데이터 환경(CDE)를 통해 공유, 일관성 있는 데이터 관리 ※ 영국 정부가 공공부문 프로젝트에 요구하는 수준
Level 3	• Open BIM이라고 불리며, 중앙의 단일저장소를 통한 정보공유와 협업 • 모든 참여자가 단일 BIM cloud 원격 접속, 동일모델 기반 작업 • IFC 등의 오픈표준을 사용, 데이터의 상호 활용성 극대화

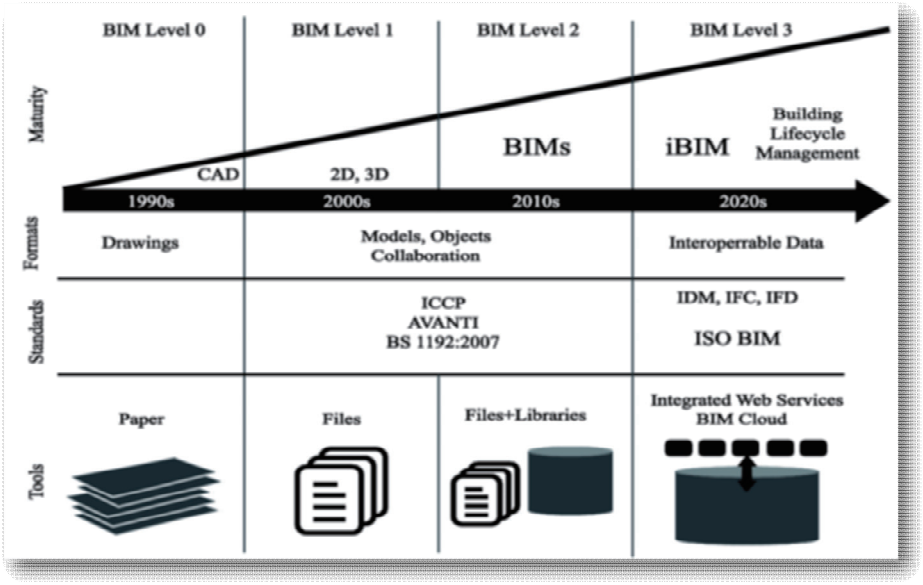


그림 2.2 BIM 성숙도 수준의 개념

2.1.4 BIM 표준 (BIM Standard)

○ BIM 표준은 BIM의 운영에 있어 모델 작성을 위한 핵심원칙, 모델 작성 가이드, 협업의 요구 등 BIM 운영과 성과물의 일관성을 유지하기 위한 목적으로 제정되는 것임

- BIM 표준은 각기 다른 분야, 회사, 지역의 인력들이 한 프로젝트에 참여하는 경우 팀 구성원들이 동일한 표준과 데이터 구조를 사용함으로 통합된 모델을 작성하는데 기여
- BIM 표준은 다양한 조건과 상황들에 대한 상세 사항을 규정하지 않으며, 보다 일반적이고 포괄적인 내용으로 구성. 상세는 참여 인력들의 해석과 창의성의 영역임.
- BIM 표준은 일관성 있는 모델 작성과 상호 운용 가능하며, 시설물의 설계, 건설 및 운영을 지원할 수 있는 충분한 품질이 나오도록 핵심 원칙과 요구사항을 명시하고 있음.
- 조직이나 회사차원에서 BIM 표준을 따른다는 것을 보장하기 위한 BIM 인증을 추구할 수 있음. 개인차원의 자격증, 조직차원의 인증획득으로 BIM역량에 대한 신뢰 확보가능
- BIM 표준은 국가와 지역에 따라 다르며, 참여회사는 프로젝트에 적용되는 구체적인 표준을 알고 있어야 하며, 지역적 표준과 글로벌 표준 모두를 준수해야 할 수도 있음.

○ BIM 표준은 국제표준, 국가표준, 단체나 기관별 가이드 또는 지침 형태로 제시되고 있음.

- 국가단위의 BIM 표준은 일반적인 원칙과 규칙을 담고 있으며, 시설물 관리기관의 BIM 표준은 좀더 구체적인 BIM모델 방법론과 정보요구사항을 규정하는 경우가 많음

표 2.6 BIM 표준의 구분

구분	BIM 표준의 형태
국제표준	• ISO 19650 BIM 정보관리 표준
국가표준 (정부)	• 국가표준규격 또는 정부에서 발간하는 최상위 지침 - 영 국 : BSI PAS1192, UK BIM Framework Guidance - 싱가폴 : Singapore BIM guide - 미 국 : NBIMS (미국 BuildingSMART alliance에서 발간) - 뉴질랜드: The NewZealand BIM Handbook - 한 국 : 건설공사 BIM 기본 지침 (국토교통부)
기관 단체 지침	• 학회, 협회, 공공사업 발주기관에서 발간하는 지침 - 한 국 : 공공기관별 BIM적용지침(한국도로공사, 국가철도공단, LH등)
기업 등	• 기업 단위 자체적으로 만든 표준, 가이드, 지침 • 타 기관에서는 사용하기 어려움

2.1.5 BIM 요구사항과 실행

○ **ISO19650 국제표준과 UK BIM Framework에서는 BIM프로젝트에서 사업단계별, 참여주체별로 지켜야 할 사항을 상세하게 제시하고 있음.**

- 설계-건설-유지관리 사업단계별로 발주자(client, appointing party)는 BIM요구사항을 계약서에 명시하고, 수급인(designer, contractor, appointed party)들은 BIM실행계획을 수립하여 요구사항을 실행해야 함.
- 발주처의 BIM요구는 과업지시서, BIM요구서와 같은 명시적인 계약문서 외에도 각종 BIM지침, BIM정보표준에 제시됨. * 국외는 EIR(Employer's Information Requirement) 용어 사용
- 수급인(설계, 시공)은 발주처의 BIM요구에 대응하여 참여자들과 협력하여 BIM실행계획서(BEP:BIM Execution Plan)을 작성하고, 프로젝트를 BIM기반으로 수행하게 됨.
- 이 외에도 BIM 프로젝트의 실행과정에서 공통정보환경(CDE)를 이용하여 프로젝트 정보를 관리와 성과품 관리를 요구하고 있고, 참여자간 협력을 강조하고 있음.
- <그림 2.3>은 ISO19650의 정보생산싸이클로서 공통정보환경(CDE)을 기반으로 (1) 발주처의 정보요구 정의, 발주 → (2) 수급인의 정보작성계획, 입찰 → (3) 상세 정보작성계획 수립 → (4) 협력적 정보생산, 납품 → (5) 유지관리 정보활용이 이루어짐을 나타냄

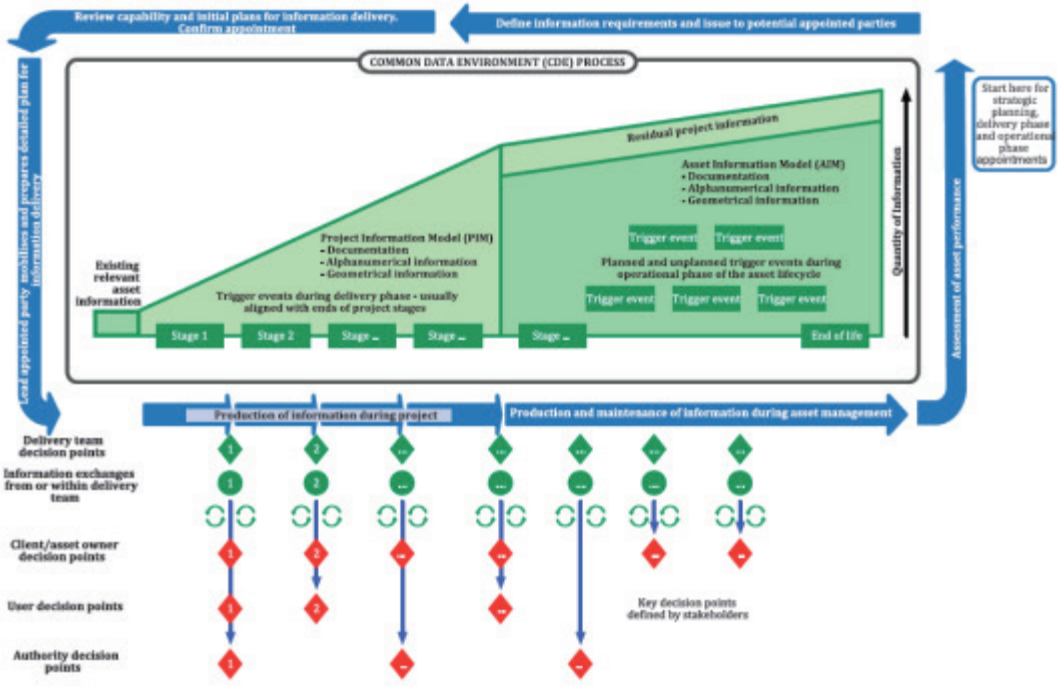


그림 2.3 ISO19650에서 정의하는 정보생산싸이클

2.1.6 BIM 장점과 효과

○ 여러 문헌을 참고하면, 프로젝트에서 BIM 운영을 통해 얻어지는 장점과 효과는 매우 다양한 것으로 나타남. 이러한 장점과 효과를 얻기 위해서는 디지털 정보관리 체계의 구축과 역량 있는 BIM 운용 인력이 필요함

- <표2.7>에는 여러 문헌에서 언급하고 있는 BIM 운영의 장점과 효과를 정리하였음.

표2.7 프로젝트에서 BIM 운영의 장점과 효과

특징 구분	장점과 효과
간섭, 충돌 및 오류의 사전 검토	• 분야간 작성모델의 충돌, 간섭 사항을 조율, 조정하여 모델완성도 향상 • 실제 건설 및 운영 상황에 대한 검증을 통해 사전에 오류, 문제 제거
상대적으로 빠른 모델링 작업	• 2D에 비해 모델 변경이 빠르고, 복잡한 기하 형상 빠르게 생성 가능 • 매개변수를 통한 자동화 기능 및 라이브러리를 이용한 설계
모델 정보를 활용한 세밀한 계획 수립	• 3D모델의 정보 또는 모델에 연동된 데이터를 추출하여 계획에 활용 • 형상 데이터(수량,부피,면적), 가격 및 작업기간 정보 등
모델의 시각화 및 시뮬레이션	• 3D모델의 활용한 고객 및 이해관계자의 프로젝트 이해도 향상 • 프로젝트 및 주변 실제 환경과의 조화 검토 (경관, 이동성, 일조 등)
건설 작업의 품질 향상	• 오류가 최소화된 모델로 작업 신뢰성 향상, 작업자 불만 감소 • 태블릿을 통해 실제 작업 결과와 모델을 쉽게 비교 가능
프로젝트내 원활한 소통	• 가시성과 투명성 향상으로 프로젝트 참여자간 이해와 협력 향상 • 전화와 메일을 대신한 프로젝트 정보관리로 업무누락과 혼란 감소
프로젝트의 지연과 작업오류 감소	• 3D모델에서 필요한 데이터 확인 및 원하는 형태로 빠르게 추출 • 편리한 정보 접근과 소통으로 신속한 의사결정, 중단 및 오류 최소화
작업의 효율성과 생산성 향상	• 모델 업데이트시 내역이 자동 변경되어 수량산출, 도면작업 빨라짐 • 플랫폼 기반의 모바일 시스템을 통해 신속한 데이터 입력 및 확인
기업의 경쟁력의 강화	• 최근 공공SOC 프로젝트 입찰에서 BIM은 입찰의 필수 요소로 대두 • BIM에 대한 이해와 활용 경험은 사업관리 효율성 향상으로 귀결
프로젝트 정보접근 및 관리 용이성	• 클라우드 기반 공통데이터환경(CDE)은 제약 없는 정보 접근성 제공 • 정보가 중복되지 않고 누락 없이 관리되는 환경 제공
전주기의 정보 관리	• 발주처가 요구하는 건설 완료 결과를 BIM 모델 기록하여 제공 • 시설물 유지운영 단계에서 준공모델 정보를 활용한 업무와 의사결정
프로젝트의 산업안전보건 향상	• 설계단계시 모델 기반으로 작업위험요인 검토하여 주의사항 제공 • 시공단계 실질적인 장비, 작업 가능 여부를 시뮬레이션으로 확인

2.1.7 유지•운영 단계 BIM 활용

○ 기존의 많은 연구는 설계, 건설 단계의 BIM모델링과 활용을 다루고 있으나, 준공 이후의 시설물 유지관리와 운영단계 BIM 정보 활용의 효용성과 장점이 확보되는 것이 BIM도입과 활성화에 매우 중요함.

- 국외 문헌에서는 “BIM in Facility Operation and Asset Management(시설관리와 자산관리에서 BIM” 이라는 주제로 다루고 있음. 유지관리 및 운영단계 BIM이 활용되기 위해 필요한 사항과 효용성을 <표2.8>에 정리함.

표 2.8 유지관리 및 운영단계 BIM 운영을 위한 필요 사항

필요사항	주요내용
준공 BIM 데이터	• 설계, 건설단계 정보를 모두 담은 준공BIM데이터의 유지관리 이관 • 유지관리 단계 정보가 활용되기 위한 표준정보형식 준수 (원본, IFC, Cobie, XML, 보고서, 도면 등)
BIM기반 시설관리시스템	• 유지관리 담당자가 BIM정보를 확인할 수 있는 시스템 • BIM 정보모델에는 전체적인 시설 현황, 세부 시설별 모델, 각 모델별 유지관리를 위한 상세모델구조, 제조업체, 세부부품의 규격 및 사양에 대한 정보 포함 필요 • 시설관리시스템은 세부시설별 점검이력, 교체보수이력, 보강이력도 확인할 수 있어야 함. • 정기적, 주기적 관리가 필요한 항목에 대해서는 해당 시설물의 현황과 상태를 쉽게 리스트 할 수 있는 기능 필요
IoT시스템과 통합	• 시설물의 실시간 상태를 확인할 수 있는 IoT기술 연계 (정상 작동 여부 확인, 이상신호 감지 등) • 필요시 제어도 가능하도록 시스템 연계 필요 (차단시설 개폐, 가로등 on/off 등)
모바일 장치와 통합	• 유지관리 운영 담당자가 언제 어디서나 확인 가능한 시스템 제공 • 스마트폰, 테블릿을 통한 BIM데이터 접근 • 바코드, RFID태그와 연계한 시설물 정보 조회
기존 시설에 대한 BIM정보 모델	• 기존의 시설에 대한 정보모델 생성 방법론 • 3D 형상정보의 구축(3D레이저스캔, 드론기반 사진측량 등) • 기존 시설물에 대한 과거 기준과 과거 데이터의 구축 방법론
BIM기반 유지관리 규정	• BIM기반의 시설관리 업무 관행의 구축 (규정, 기준, 업무매뉴얼 등) • BIM기반 유지관리 활용 업무 개발 (계획, 실행, 분석 등) - 년도별, 구간별 점검, 보수, 보강 투입 비용 산정 - 취약지점, 취약구간, 문제빈발구간, 관리 효과의 분석 등

2.2 국외 BIM 현황

2.2.1 BIM 도입 국가

○ 글로벌하게 국가 수준에서 의무화, 공공 프로젝트 BIM 도입은 빠르게 진행 중

- BIM의 도입은 세계적인 추세이며, 많은 국가들이 BIM을 공공프로젝트에 필수적으로 채택하고 있음. 영국과 프랑스, 북유럽 국가들이 선도하고 있으며, 아시아에서는 싱가폴, 홍콩이 선도적인 국가로 인식되고 있음. 미국은 미육군공병단(ISACE)과 총무청(GSA)에서 도입하고 있으며, 각 주마다 BIM 도입 수준이 다르지만 주류 기술로 이미 자리 잡음
- 특히, 영국의 BIM 도입 모델은 타 국가들이 벤치마킹하는 표준으로서 2016년부터 모든 공공 프로젝트에 Level2 의무화하였으며 엔지니어링의 70%이상에서 BIM 활용 중.
- 선도 국가들 이외의 중동, 남미, 호주 등 대부분의 국가들도 BIM을 국가적으로 채택하고 있으며 대규모 공공 프로젝트에서는 BIM활용이 일반화되고 있는 상황임.

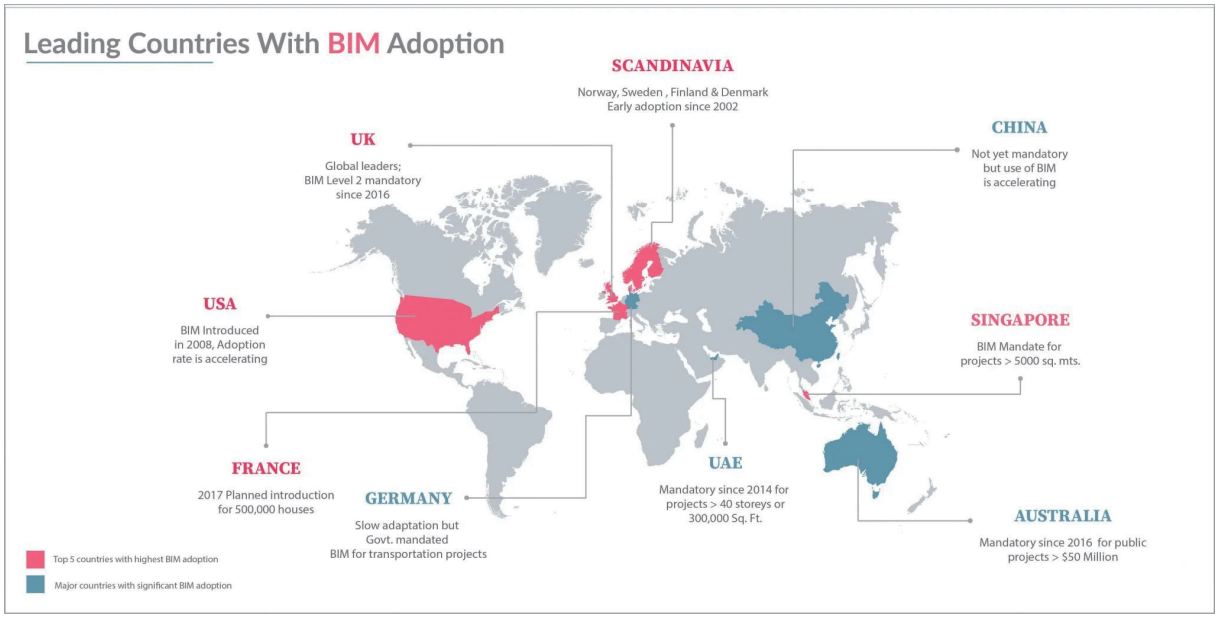


그림 2.4 BIM 도입 선도 국가 현황

2.2.2 국가별 BIM 도입 정책

○ 전 세계적으로 건설부문의 생산성 향상을 목표로 BIM기술을 디지털 전환의 도구로 활용하고자 하는 정책 발표

- 영국은 2013.7월 2025년까지의 영국내 건설산업에 대한 명확한 비전을 설정하는 Construction 2025를 발표하였으며, 건설비용 33%절감, 공기단축 50%, 탄수배출 50%절감, 수출확대 50%를 목표로 설정하였음. 전략적 최우선 순위에는 스마트 건설과 디지털 설계로 설정되었으며, BIM기술은 전략을 달성하는데 있어 핵심적인 도구로 활용될 것임. 2021.7월 발표한 Digital Roads 정책에서는 도로의 설계와 건설, 유지관리 및 운영, 이용자를 위한 디지털 전환 프로그램을 제시하고 있으며, 모든 단계에 있어 디지털 정보의 생성과 활용이 핵심적인 사항으로 포함됨.
- 미국은 법정 비영리 단체인 국가건축과학위원회(NIBS, National Instutue of Building Science)에 국가적인 BIM 활성화 정책을 개발하도록 한 바 있으며, NIBS는 국가 BIM표준(NBIMS-US, National BIM Standard)을 제정한 바 있음. 표준에서는 BIM활용과 요구사항, BIM 계획, 정보요구사항에 대한 국가적 표준을 다루고 있음. 미국 연방도로청(FHWA)에서는 고속도로 인프라에 대하여 전주기(계획-설계-시공-운영,유지관리-폐기)에 걸쳐 일관성 있는 정보생산과 정보교환이 가능하도록 하는 BIM구현 전략을 발표하였으며, 현재도 실행하고 있는 상황임

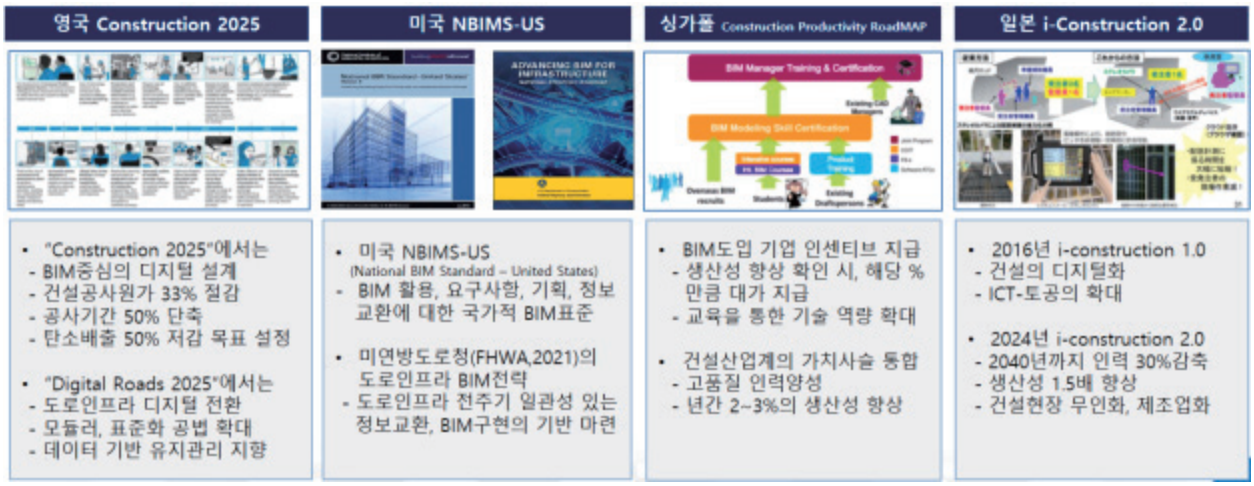


그림 2.5 각국의 건설산업 디지털 건설 정책

- 싱가폴은 오래전부터 BIM을 공공SOC프로젝트에 의무적으로 활용하고 있으며, 최근에는 Construction Productivity Roadmap 정책을 발표하여 민간주도의 생산성 향상에 초점을 맞추고 있음. 핵심기술은 BIM, DfMA, IoT 기술이며, BIM 등의 혁신기술을 도입한 기업에게 생산성 향상이 확인되면 인센티브를 지급하는 제도를 운영하고 있으며, 건설산업계의 가치사슬을 통합하고 인적역량을 향상시키기 위해 실질적인 BIM교육과 자격인증제도를 운영하고 있음.
- 일본은 국토교통성에서 2016년 I-construction 정책을 발표하였으며, 당시에는 ICT토공을 핵심적인 기술로 선정하여 현장에서 3D 디지털 측량기술을 기반으로 MG/MC 장비를 운영하고 공사 성과물의 기성관리 등에 초점을 두었음. 2024년에는 I-construction 2.0정책을 발표하였는데, 인구구조의 감소를 대비하여 건설현장의 무인자동화, 제조업화를 핵심기술로 선정하고 2040년까지 현장인력 40%감축, 생산성 1.5배 향상을 목표로 설정하였음.

표 2.9 주요 건설 선진국의 BIM 도입 현황

국가	주요 정책 및 BIM 현황
영 국	· 2016년 공공공사 대상 BIM의무화, 2025년까지 Level2 수준 BIM 확립 목표 · 국제표준(ISO19650)에 따라 BIM 적용 · 2017년 BIM report에 따르면 약 62%의 민간회사가 BIM 보편적 적용
미국	· 미국 GSA에서 연방건축물 대상 BIM 적용 의무화 · 주별로 규정이 달라 도입 차이., 캘리포니아, 뉴욕, 텍사스주 BIM 도입율 높음 · 80~90%의 대형설계사와 건설사에서는 BIM적용 중
싱가폴	· BIM 매뉴얼, DfMA, 건설혁신정책 추진중 · Singapore BIM manaual.. · BCA, LTA의 사업발주시 BIM활용 의무화
홍 콩	· 홍콩은 2013년부터 BIM도입을 검토, 2017년부터 공공프로젝트 설계에 BIM을 도입하고, 2018년 시공단계에 4D, 5D BIM적용 시작함. 2019년부터 BIM사용을 계획단계부터, 제조시공까지 확대. 이후에도 지속 확대 정책 발표 중 · CIC(Construction Industry Council)주도로 BIM자격증 도입
일 본	· 일본도 I-construction과 별개로 BIM도입을 의무화함 (2002) · 산업계 BIM도입이 서서히 진행되고 있는 상황임

2.2.3 국외 도로관리기관의 BIM 도입

○ 미국 FHWA에서는 글로벌벤치마킹 프로그램(GBP)을 통해 북유럽 도로관리기관의 BIM 도입 현황과 각국의 BIM도입 과정의 문제를 분석한 바 있음 (FHWA, 2016)

- 영국, 북유럽3국의 도로관리기관 방문과 인터뷰를 하였으며, 현재 수준과 문제점을 조사 분석하고 필요사항을 제시하였음. 국내 도로관리기관도 BIM 도입활용시시 이러한 사항을 참고할 필요가 있음

표 2.10 BIM선도국 도로관리기관의 BIM 도입과 활용 벤치마킹 사항

BIM에 대한 인식과 정부 리더쉽	BIM에 대한 인식	• BIM은 건설 자산의 수명주기 동안 정보관리 체계의 개선 수단 • 정부와 공공부분은 정책적으로 BIM의무화와 도입 지원 필요
	BIM 도입 리더쉽	• SOC 건설프로젝트를 BIM으로 발주. BIM 도입 유도, 권장, 의무화 • 설계-건설-유지관리 단계간 정보가 교환되도록 해야 함
	BIM 구현 핵심	• 발주처내 조직문화의 변화, 기술능력확보가 매우 필요함 • BIM구현을 위해 산업계와 소통 협력이 핵심
	BIM 기반 마련	• 발주처 정보요구사항 명확화, 정보교환 표준의 개발 • 디지털 정보교환을 가능하게 하는 법적, 계약적 기반 확보 • 건설 자산에 대한 표준화된 정보분류체계 채택
	BIM 확대 노력	• 다른 발주처및 업계의 이해관계자와 소통 협력 • 국가내 연합체를 통한 지식 교환과 역량 축적 • 국가적으로 국제표준을 채택하여 글로벌 이슈에 대응
BIM 도입 성공을 위한 핵심요소	명확한 요구와 표준 체계 도입	• 발주처의 명확한 BIM 정보요구사항 정의가 매우 중요함 • 글로벌 표준을 따르는 정보관리체계 (ISO19650) 도입과 준수 필요
	분류체계와 표준 포맷 정의	• SOC시설물에 대한 건설자산분류체계를 설정하고 도입 • 건설자산분류체계에 기반한 객체라이브러리 표준 도입 • 모델링 표준, 정보관리,정보교환 표준을 통해 상호운용 보장 - 라이브러리는 표준 포맷 활용 필요(IFC, GML, CityGML, InfraGML등)
	BIM기반의 사업관리	• 건설에 정보요구사항, 모델링 표준, 라이브러리, 정보관리표준 적용 • BIM 모델 기반의 계약 및 건설관리체계 도입
	BIM 활용 확대	• 건설 관리에 필요한 업무를 BIM 기반으로 수행하도록 변경 • BIM을 새롭게 나타나는 기술과 융합하여 업무에 활용 (1) BIM 계획, (2) 시각화 (3) 설계변경, (4) 수량산정, (5) 기성지급 등 (6) 자동화 건설기계에 BIM 정보 제공(2) 모듈러기반 부재 설계 등
실무관점의 개선사항	BIM 조직의 운영	• 발주처내 BIM 전담조직 운영 • 사업 단계에서 BIM 인력 확보, 역할과 책임 정의
	BIM 실행 체계	• 사업의 입찰 단계에서 발주처 정보요구사항(EIR)명확히 제시 • BIM 프로젝트는 BIM 실행계획서(BEP)를 통해 관리 • 건설 대상 시설물 각 부분의 BIM 모델링 방법에 대한 시방 제시
	BIM 정보 관리	• 공통정보환경(CDE)구축과 활용을 권장 또는 의무화 • BIM 사업에 개방형 표준, 객체기반데이터 모델 작성 권장, 의무화 • 데이터의 상호운영성과 통합을 용이하게 하는 파일포맷 사용 요구 (CAD, BIM, GIS, Point Cloud, IoT데이터 등, 개방형 표준과 통합)
	BIM 모델 작성	• BIM 모델은 충돌검토, 시각화, 수량산출, OSC제작, 자동화건설기계와 연동하여 활용할 수 있도록 작성 필요 • 건설 자산의 유지관리에 필요한 정보를 BIM모델과 연동되도록 생산
	BIM 성과 납품	• 발주처는 준공 BIM 모델에 대한 구체적 시방을 제시 • 준공 BIM 모델은 발주처내 자산관리부서에서 활용될 수 있어야 함

2.3 국내 BIM 현황

2.3.1 국내 BIM 도입 경과

○ 국내 BIM은 2006년부터 연구를 통해 민간 주도형으로 본격적 도입 시작

- **(2006년~)** 국내 공공부문 BIM의 추진은 2006년 국토부 R&D인 “가상건설시스템 개발 연구단”에서 3차원 기반의 모델링을 통한 가상건설(Virtual Construction) 개념을 도입하면서 구체화되기 시작하였으며, 실무적으로는 2008년 LH공사의 양주회천 지구에서 BIM을 최초로 설계에 도입하면서 적용되기 시작하였음.
- **(2010년~)** 이후 LH와 서울시에서 발주하는 사업중에서 민간의 기술주도형 사업에서 선도적으로 BIM을 활용하였고, 2010년부터 정부주도로 BIM을 도입하기 위한 규격이 정해지기 시작하였음. BIM 관련 지침은 2010년 국토부에서 “건축분야 BIM 적용 가이드라인”을 발표하였고, 조달청에서 “시설사업 BIM적용 기본지침서 v1.0”을 제정
- 민간 부문에서는 2008년 건축분야를 중심으로 한국빌딩스마트협회가 출범하면서 BIM활용 연구, 사례발표, 제도화 연구가 진행되었으며, 2011년에는 학술적인 접근을 위해 학계와 연구계를 중심으로 한국BIM학회가 설립된 바 있음
- **(2012년~)** 2012년에는 BIM을 설계, 건설사업 의무화 적용이 시작되었는데, 2012년 조달청 발주공사에서 500억 이상 턴키공사에 한하여 BIM 적용 의무화가 추진되었음

표 2.11 국내 BIM 도입 연혁

구 분	내 용
2006	· 국토부 R&D 가상건설시스템 개발 연구단 BIM최초 도입
2008	· LH공사 양주회천A1-1 지구 설계에 BIM 도입
2008	· 건축분야 중심으로 한국빌딩스마트협회 출범 (2008.4.25.)
2009	· LH 파주운정3 A4블록(2009)
2009	· 서울시 .동대문 디자인플라자 시공단계 적용(2009.3 ~ 2012.7)
2010	· 국토부 건축분야 BIM 적용 가이드 라인 발표 · 조달처 시설사업 BIM 적용 기본지침서 v1.0 제정 · LH.위례신도시 A2-4블록, 화성동탄2 A81블록(2010)
2011	· 한국BIM 학회 설립
2012	· 조달처 발주공사 BIM 적용 의무화 (500억 이상 턴키공사)
2014	· 초고층 복합빌딩시스템 개발사업(2009.4 ~ 2014.10) * 초고층 BIM 표준요소기술 및 분야별 실무기준개발
2015	· 국방부 .○○사업 설계용역에 BIM 적용
	· 철도시설공단 .호남고속철도 건설사업(4-2공구)시공단계적용(2009.11 ~ 2012.6)

2.3.2 국토부 BIM 도입 정책

○ 2022년 국토부의 BIM 의무화 정책을 통해 공공 건설부문에 BIM 전면 확대

- 국토부는 건설산업 혁신방안(2018), 스마트건설로드맵 수립(2018) 수립을 통해 인력 중심의 전통적 건설방식에서 디지털 및 자동화 기반의 혁신적 패러다임 전환 정책을 설정
- 스마트건설 활성화 방안(22.7) 발표를 통해 공공SOC건설 설계, 건설, 유지관리 전단계에 BIM 도입을 단계적으로 의무화시키는 정책을 통해 SOC건설 전 분야에서 '25년까지 1000억 이상, 2030년부터 300억 미만 건설공사까지 BIM 활용을 의무화시킴

표 2.12 국토부의 BIM 의무화 로드맵

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="2">2단계</th><th>3단계</th></tr>
<tr><th>'22.下</th><th>'23</th><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'28</th><th>'30</th></tr>
<tr><td>도로</td><td colspan="4">1,000억</td><td rowspan="3">500억</td><td rowspan="3">300억</td><td rowspan="3">300억 미만
(예: 100억↑)</td></tr>
<tr><td>철도, 건축</td><td colspan="2">지침·기준 정비</td><td colspan="2">1,000억</td></tr>
<tr><td>하천, 항만 등</td><td colspan="3">지침·기준 정비</td><td>1,000억</td></tr>
</table>

* 스마트건설활성화 방안(22.7) - 2030년까지 건설, 유지관리 BIM 도입 확대

○ 국토부 주관의 국가적인 건설산업 BIM 지침서 체계 확립

- 국토부는 건설산업이 로봇, AI, IoT등의 4차산업혁명 기술과 융복합된 스마트 건설기술로 확산되도록하기 위해 BIM을 전면적으로 도입하고 국가적 BIM 지침체계를 수립하였으며, 각 공공기관은 이를 토대로 기관별 BIM 적용지침과 BIM 실무요령 체계를 갖춤

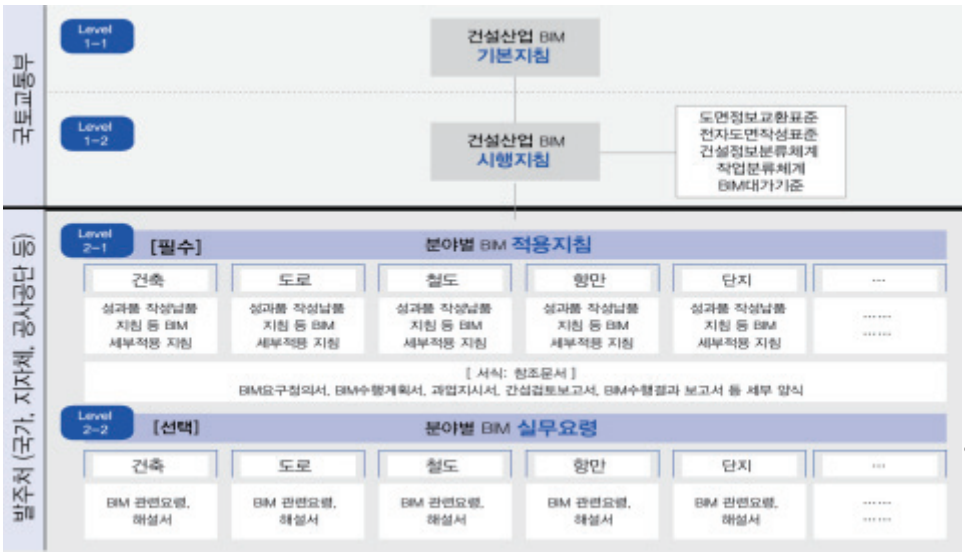


그림 2.6 건설산업 BIM 지침의 위계

표 2.13 국토부 및 공공기관의 BIM 관련 지침서

기관명	년도	내용
국토교통부	2020	· 건설산업 BIM 기본지침
	2022	· 건설산업 BIM 시행지침(발주자, 설계자, 시공자)
한국도로공사	2016	· EX BIM 가이드라인
	2020	· 고속도로 스마트 설계지침
	2020	· BIM 데이터 작성기준
	2021	· BIM 기반 설계성과품 기준
	2022	· BIM 기반 설계도 표준
	2023	· 고속도로 BIM 적용지침 (설계자편)
	2023	· 고속도로 BIM 적용지침 (시공자편)
국가철도공단	2018	· 철도인프라 BIM 가이드라인
	2021	· BIM 설계 및 시공관리
한국토지주택공사	2018	· LH BIM 활용 가이드
	2018	· LH CIVIL BIM 업무 지침서
조달청	2022	· 시설사업 BIM 적용지침

○ 국내 산업경쟁력 강화, 디지털 전환을 위해 스마트 기술 활성화 추진

- 국토부는 2018년 스마트건설 로드맵을 발표하고, “스마트 건설기술 개발” 국가R&D를 시행중이며, 2022년 스마트기술활성화 정책을 발표함으로서 건설산업의 스마트 전환을 위한 강력한 정책을 시행중임
- 스마트 건설기술은 크게 자동화, OSC, 스마트안전, 플랫폼의 4가지 분야로 구분되어 있으며, 이러한 스마트 기술 활용의 핵심 요소는 BIM과 디지털정보로서 BIM의 활성화를 위한 다양한 제도정비, 의무화, 전문인력 양성 지원을 추진한 바 있음

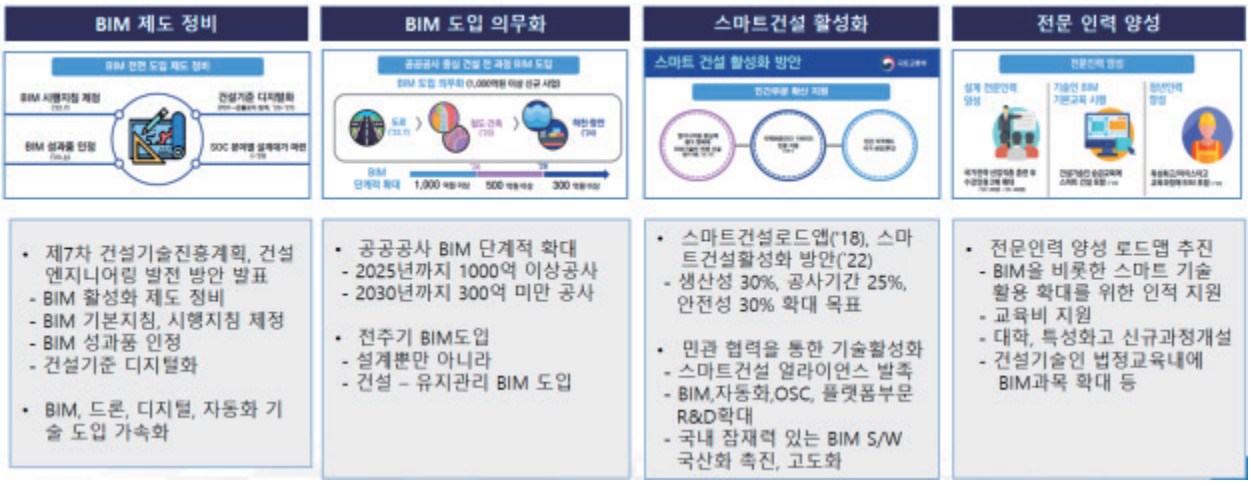


그림 2.7 스마트 건설기술 활성화를 위한 정책 추진 현황

2.4 한국도로공사 BIM 도입 현황

2.4.1 고속도로의 BIM 도입 현황

○ 2011년부터 설계단계 BIM도입을 검토해왔으며, 2019년 설계부분에는 전면 BIM도입하였고, 2020년부터 건설단계에도 BIM도입을 추진 중. 스마트건설기술의 범주에 포함시켜 고속도로 건설관리의 디지털 전환을 앞당기고 있음

- 한국도로공사는 2011년부터 2D설계를 토대로 BIM 전환설계를 수행하여 설계단계 BIM 적용성을 단계적으로 검증해왔으며, 2019년부터 설계부문은 100% BIM 설계로 전환
- 건설관리 부분은 2016년 기술형입찰 건설공사에 BIM기반의 모델작성과 건설관리를 처음으로 도입하기 시작하였으며, 시공단계 BIM 활용분야를 확대해왔고, '23년에는 BIM기반의 건설관리 체계를 발표하고, '24년부터 대산-당진 1~4공구에 본격적으로 적용

표 2.14 한국도로공사의 설계 및 시공단계 BIM 도입 경과

설계 검증	건설 관리
• BIM 전환설계 ('11 ~ '14) - 함양울산12, 대구순환5공구 시범도입 - 2D설계와 BIM모델 비교 - 철근 상세 모델링 한계 확인	• 안성-구리 턴키 시공 BIM 적용(2016) - 입찰문서 시공단계 BIM 관리 포함 • Ex-BIM 시공단계 표준모델 구축(2018) - 공정 및 안전관리에 BIM 적용
• Ex-BIM 로드맵 수립(`16.5) • BIM 병행설계('16~'17) - 새만금전주8 구조물공 대상 적용 - 철근상세 모델링, 2D설계와 수량 검증 - BIM모델에서 2D도면 추출 곤란	• 시공단계 Ex-BIM 추진 방안 수립(`18) - 첨단기술을 활용한 스마트 건설 구현 - BIM전문인력 양성 - 건설단계 BIM활용분야 확대
• BIM 병행설계('17~'18) - 양평이천2 전공종 대상 적용 - BIM 설계성과품 기준 마련 (수량,도면)	• 시공단계 BIM 확대 추진(`20) - 양평이천 1~4공구 대상 - 3D가시화, 기성 및 공정, 시공상세 • 시공단계 BIM 운영방안 수립(`20)
• BIM 전면설계('19~'현재) - 대산당진4공구 최초 전면설계(~22) - 21년부터 100% BIM전면설계 도입	• BIM기반 건설사업관리 디지털 전환(23~) - 감독원 대상 6개 BIM 핵심업무 디지털화

○ **국가연구개발사업을 주관하여 도로건설 단계에 BIM기반 스마트건설기술 개발과 활용 중**

- 한국도로공사는 2020년 도로실증을 통한 스마트건설기술개발 국가연구개발사업 주관기관으로서 새로 개발되는 스마트 건설 기술을 고속도로 건설현장에 실증하고 있음.
- BIM기반 기술은 (1) 자동화 토공장비를 위한 토공 BIM모델링, (2) 도로분야 BIM 정보표준체계, (3) BIM 성과품 관리 시스템 개발, (4) 공통정보환경(CDE)의 설계분야 실증, (5) 탈현장 구조부재 공장제작 BIM모델링 방법 등이 연구되고 있음

2.4.2 고속도로 BIM 도입 시사점

○ **전문성을 갖는 구조, 지반 분야의 경우 BIM 도입은 여전히 미흡한 상황**

- BIM의 전면도입은 계획, 설계, 시공, 유지관리 전부분의 업무를 BIM 모델과 정보기반으로 수행하는 것을 의미함. 현재 도로 설계와 건설부문에 BIM을 전면 도입했지만 대부분 3D 형상 모델을 기반의 업무에 주로 활용하고 있음.
  (1) 3차원 가시화, (2) 3D 모델로부터 단면에 대한 2D 도면 작업, (3) BIM으로 모델링하는 3차원 요소들간 간섭이나 충돌 검토, (4) 각 모델요소에 대한 형상 기반 물량 산정, (5) 각 모델 요소에 대한 공정내용(작업순서 및 작업소요시간)을 연결하여 공정 가시화 등
- BIM 모델 작성도 BIM 모델링을 전문으로 하는 인력이 도로, 구조, 터널, 토질 등 전문분야의 모델까지 작성하는 사례가 많으며, 아직 구조공학이나 지반공학과 같은 전문 엔지니어링 분야에서 BIM을 직접 작성하고 활용하지는 못하는 수준임. 이러한 상황은 BIM모델을 기반으로 구조해석, 수치해석 등 엔지니어링과 연계 활용하지 못하는 원인이 됨.



그림 2.8 고속도로 설계-건설-유지관리 단계별 사업에서의 BIM 도입 현황

○ **유지관리 단계의 BIM에 대해서는 여전히 미흡하고, 설계와 시공단계의 BIM정보 연계성은 아직 고려되지 못하고 있음.**

- 고속도로 설계-건설에서 BIM이 활용되고 있으나, 유지관리 단계에서는 적용이 미흡한 실정임. 전면 BIM 설계된 대산-당진간 고속도로가 2024년말 착공되었고, 이 고속도로의 준공이 2030년 예정되어 있으며 앞으로 BIM기반의 정보가 유지관리 단계로 이관될 것이므로 유지관리 단계 BIM 활용에 대한 준비가 필요할 것임
- 국내외적으로 시설물 유지관리 단계 BIM 활용은 상대적으로 저조한 상황임. 이러한 이유는 여러 가지가 있는데 지금까지 사례로부터 제시된 이유는 다음과 같음
  - **데이터 연계 및 표준화 부족** : 설계와 시공단계의 BIM 모델은 주로 모델의 작성과 시공관리를 위한 목적의 활용에 집중되어 있으며, 유지관리 단계로의 데이터 연계가 되지 않는 문제점이 있었음. 특히 유지관리 단계의 정보시스템과 데이터 표준연계가 부족하여 활용성이 저조한 것으로 알려짐
  - **기존 시스템과의 통합 어려움** : 유지관리 단계에서 사용하는 시스템은 GIS 또는 각종 시설물별 유지관리시스템(MMS, Maintenance Management System)으로 운영되고 있으나, BIM모델과 정보를 통합하거나 수용하지 못하는 경우가 많음
  - **전문성과 역량부족** : 설계와 시공단계의 BIM 활용에는 전문인력이 상대적으로 많지만, 유지관리 단계는 시설관리주체의 자체적인 인력과 외주화된 점검인력이 주된 관리인력이나 여기에는 BIM에 대한 전문성과 활용역량이 부족하여 BIM기반의 유지관리의 어려움이 있음.
  - **BIM활용에 대한 인식 부족** : 유지관리 주체와 인력들의 BIM 필요성과 활용 효과에 대한 인식이 낮아 적극적인 도입과 활용이 되지 않는 문제가 있음.
- 위와 같은 이유로 유지관리 단계 BIM 활용성이 높지 않은데, 향후의 시설물 유지관리의 기술 방향성이 디지털 트윈, 스마트기술과 연계한 자동화이므로 BIM에 대한 지속적인 활용과 투자가 필요할 것임. 현재 문제의 해결방안으로는 다음의 내용이 필요함
  - 유지관리 활용 데이터 표준화와 설계시공단계 생성 정보 연계
  - 기존 시스템에 BIM 연계 및 통합 (GIS, IoT, MMS)
  - 유지관리 분야 민간 BIM 생태계 구축을 위한 지원과 제도 마련
  - 유지관리 단계 BIM 활용성을 높이기 위한 연구, 시범사업, 인식개선
  - 유지관리 단계 BIM 활용 전문인력 양성, 교육강화

제 3 장 지반 BIM 모델의 개념

3.1 지반 BIM 정의

3.1.1 지반BIM과 GeoBIM의 이해

○ **지반BIM(Geotechnical BIM)과 GeoBIM(Geospatial BIM)의 차이 이해 필요**

- GeoBIM은 2008년 유럽(오스트리아)에서 개념이 제안되었으며 지하공간에 대한 정보모델링 개념인 Geo.Spatial.BIM으로 출발했음. GeoBIM은 지리정보시스템(GIS, Geographical Information System)과 건설정보모델링(BIM, Building Information Modelling)의 통합 개념으로서, 건축 및 도시 설계에서 정밀한 공간 정보를 활용할 수 있도록 지원하는 기술

- 지반BIM(Geotechnical BIM)은 BIM의 세부 분야로서 지반공학(Geotechnical Engineering)과 관련된 데이터를 BIM 환경에 통합하여 구축하고, 지반에서의 위험성 파악, 지반과 구조물간의 상호작용을 시뮬레이션하고 공학적으로 안전한 방안 모색, 지반 부문이 포함된 구조물의 설계와 건설에 활용하는데 초점을 두고 있음
- GeoBIM과 지반BIM은 상호보완적인 관계로서, GeoBIM은 거시적 관점에서 도시와 인프라의 관리에 중점을 두고, 지반 BIM은 미시적 관점에서 구조물과 지반과의 상호작용에 초점을 두고 있음. 두 개념은 상호보완적이며 대규모 건설프로젝트에는 함께 사용 가능함.

표 3.1 GeoBIM과 지반BIM의 비교

구분	GeoBIM	지반BIM(Geochnical BIM)
주요개념	GIS와 BIM의 통합 광역적인 도시 및 인프라 관리 목적	지반공학 데이터를 BIM환경에 통합 지반위험, 구조물과의 상호작용 분석
적용범위	광역적 범위의 도시계획, 인프라 계획, 환경분석, 재난관리, 대규모 프로젝트	토공사, 기초공사, 터널공사시 지반관련 문제인식, 해결, 설계 및 시공 활용
데 이 터	지형, 공간, 광역 인프라 모델 등	지형, 지반데이터, 설계자료 등
사용기술	GIS플랫폼과 BIM도구 통합 (ArcGIS + Civil 3D, Revit)	BIM도구와 지반해석 도구의 통합 (Civil3D, Revit + Plaxis, Geostudio)
결 과 물	스마트 도시 모델, 도시 기반 시설 모델	지반 BIM모델(지층과 지반특성 포함)

○ GeoBIM(Geospatial BIM)과 지반BIM의 활용과 장단점

- GeoBIM과 지반BIM의 활용성과 장단점은 차이가 있음. GeoBIM의 경우 광범위한 지역에 대하여 GIS와 BIM을 통합하여 활용함으로서 여러 장점이 있는 것으로 알려져 있음.
  (1) 도시 전반의 인프라 및 자원을 효율적으로 관리
  (2) 재난과 관련하여 도시의 피해 위험도 및 피해 범위의 예측, 신속한 대응방안 모색
  (3) 도시 및 인프라의 계획과 설계단계에서 효율적인 배치, 위험성의 최소화
  (4) 건물, 도시, 인프라의 실시간 공간정보를 기반으로 효율적인 시설관리
  (5) 건설 및 인프라가 주변 환경에 미치는 영향 평가 및 최적화 등
- 지반 BIM의 경우 이용함으로서 얻을 수 있는 장점은 다음과 같음.
  (1) 3차원적 모델을 통해 복잡한 구간의 지층형성과 구조 이해를 향상
  (2) 프로젝트 설계와 시공에 있어 지반분제에 대한 이해와 대응이 신속해짐
  (3) 지반에 대한 해석과 설계에 있어 모델링이 손쉬워지고, 결과의 신속하 가시화 가능
  (4) 지반관련 정보의 공유를 통해 각종 도면과 현황작성이 손쉬워짐
- 이러한 측면에서 GeoBIM과 지반BIM기술의 활용은 앞으로 건축, 인프라, 도시계획 및 설계, 시공에 있어 혁신적인 도구일 수 있지만 기술적, 경제적 장벽을 고려하여 도입을 결정할 필요가 있음. <표3.2>에는 GeoBIM과 지반BIM의 장단점을 나타내었음

표 3.2 GeoBIM과 지반BIM 활용의 장단점

구분	GeoBIM	지반BIM
주요데이터	GIS 데이터, 3D BIM데이터	지반조사결과, 3D지층데이터
장점	-GIS와 BIM 통합, 광범위한 구간 공간분석 -대규모 인프라 계획 및 유지관리 최적화 -실시간 환경(강우, 지진) 반영한 분석 -광역범위 인프라(도로, 철도) 관리에 효과적	-지반공학적 특성의 이해 향상 -지반 거동 시뮬레이션 활용 -시공중 지반 모니터링에 활용 -공사 비용 산정에 효과적
단점	-GIS 데이터 확보와 실시간 연계 어려움 -GIS데이터와 BIM데이터의 표준 호환 문제 -대용량 데이터 관리, 저장을 위한 비용	-3D모델을 위한 정밀지반조사 -복잡,다양한 지반조건 완벽 모델링 어려움 -현장조건(침하, 지하수) 반영에 한계가 있음

3.1.2 지반 BIM 모델의 구성

○ **지반 BIM 모델의 구성은 (1) 3D 지형 형상, (2) 지층 구성에 대한 정보 (3) 지층별 지반의 지질학적 지반공학적 특성 정보 (4) 지중에 설치된 시설물에 대한 정보를 포함함**

- 3D지반 BIM 모델은 우선적으로 (1) 지표면에 대한 3D 형상 데이터(3D topographic map)을 기반으로 하며, (2) 여러 개의 시추공 데이터로부터 각 지층의 구분하는 심도와 지층별 대표 명칭을 구분하고 동일한 지층을 연결하여 3D 형태의 지층(subsurface stratigraphy)을 구성하며, (3) 각 지층별 지질학적 요소(geological feature) 및 지반공학적 특성(geotechnical characteristics)에 대해서는 현장시험과 실내시험을 통해서 구한 값을 데이터 형태로 입력하게 된다. (4) 지중에 설치된 시설물에 대한 정보는 이미 설치되어 있는 지중시설물(터널, 암거, 통신관로, 공동구, 상수관로, 하수관로 등)등에 대한 배치, 심도, 규격 등에 대한 정보를 포함하게 된다.
- <그림 3.1>에 지반 BIM 모델의 일반적 구성도를 나타내었음. 노란색 설명 지시선은 지질지반 구분, 파란색 설명 지시선은 수리 객체, 오렌지색 설명 지시선은 지중의 구조물 객체를 나타내고 있음.

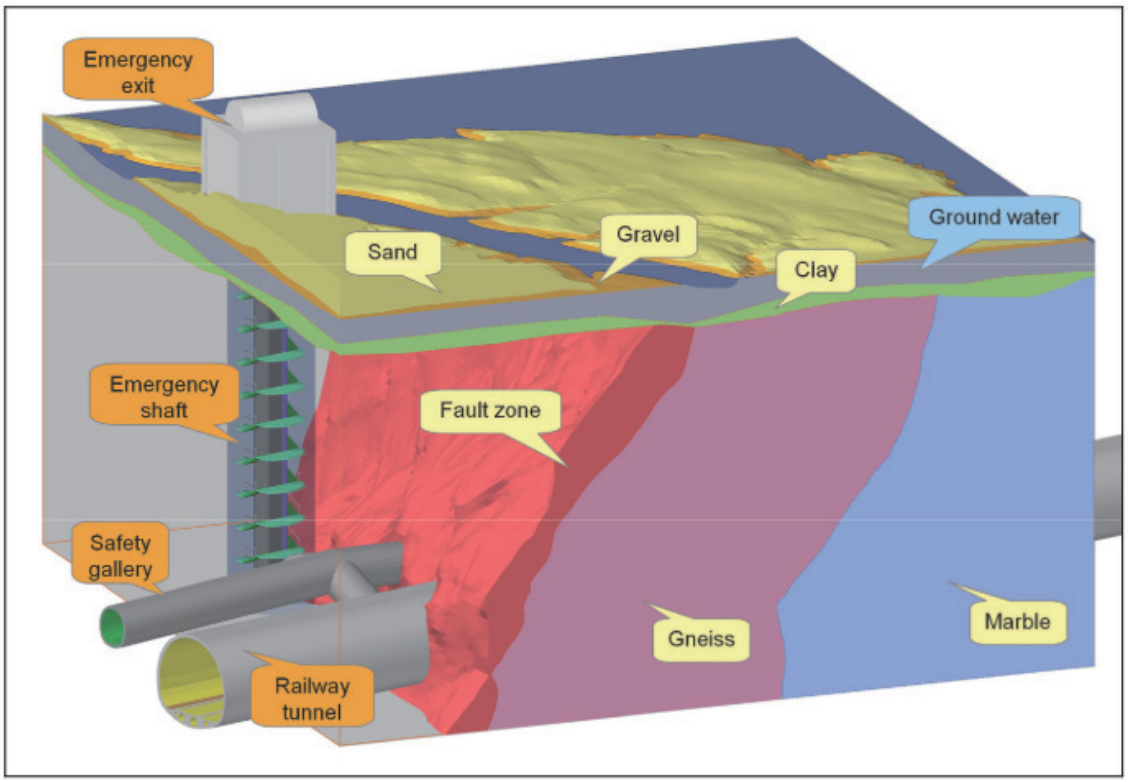


그림 3.1 지반 BIM 모델의 일반적 구성도

○ **지반 BIM모델에 포함하는 구체적인 정보는 지반 BIM모델의 활용 목적, 해결하고자 하는 지반의 문제에 따라 달라지며, 일반적 지질학적 요소, 지반공학적 요소, 수리학적 요소를 포함할 수 있음.**

- <그림 3.2>에 지반 정보 모델의 개념도를 나타내었음. 지반 BIM의 정보모델은 (1) 지반을 구성하는 각 지층들(토사, 연약지반, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 등), (2) 지하수위, 간극수의 수압, (3) 지질적인 요소들(단층, 파쇄대, 절리 등), (4) 토층과 암반층의 지반공학적 정보 (토질분류, 강도, 변형계수, 현장시험 결과 값 등) 등이 있음. 이외에도 인공적인 객체에 대한 정보로서 파이프, 배선, 동굴 정보, 터널 등 지하 구성 요소 등이 포함될 수도 있음 (Zobl, 2008). 프로젝트의 목저과 대상 지반의 특성에 따라서 위에 언급한 객체 정보 외에도 지반공학적인 측면에서 더 많은 정보를 포함할수도 있음. 예를 들면, 지반환경공학적 측면에서 화학적 요소도 포함 가능함.

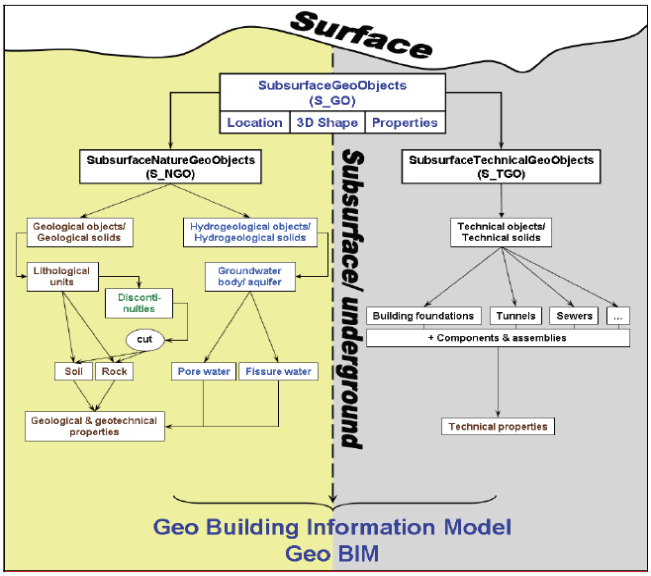


그림 3.2 지반 BIM 모델에 포함되는 객체 정보 개념도

표 3.3 지반BIM 모델에 포함가능한 정보요소들

지반BIM 정보모델 항목	구체적인 내용
지층의 구성	시추공 정보, 지층구분(토사, 연약지반, 풍화암, 연암, 경암 등)
지질학적 요소들	절리, 단층, 파쇄대
지반공학적 요소	토질분류, 강도, 변형계수, 현장시험 결과 / 암반상태(RMS, Q)
수리학적 요소	지하수위, 피압수 여부
인공적인 시설요소	파이프, 배선, 동굴, 상하수도, 터널, 구조물 기초 등

3.2 지반 BIM 모델 작성 방법

3.2.1 지반 정보의 표준화

○ 지반BIM정보모델에 입력하는 지반정보는 향후 재활용성과 정보교환을 위해 표준화 필요

- BIM 기반의 프로젝트에서 지반 BIM 모델을 작성하고 활용하는데 있어 많은 지반정보의 일관성 있게 표현하기 위해서는 지반정보의 표준화가 필요함. 특히, 지반정보를 보고서 또는 테이블 형태로 작성하지 않고, 디지털화된 파일형태로 작성하면 재활용이 매우 편리한 측면이 있음.

○ 국제적인 지반정보 교환표준은 AGS Fill Format과 DiGGS 포맷을 주로 활용

- 국내에서는 아직 지반정보 교환표준에 대해 합의된 규정이 없는 상태로서, 지반정보를 생산하고 디지털 형태로 교환하는 시도는 거의 되지 않는 상황임.
- 국제적으로 지반정보에 대한 표준은 크게 영국의 AGS 표준과 미국의 DIGGS 표준이 널리 통용되고 있으며, 많은 지반정보관리시스템(GDMS, Geotechnical DATA Management System)과 지반 BIM 전용 S/W에서는 AGS file format을 지원함.
- AGS file format는 영국의 Association of Geotechnical & Geoenvironmetal Specialists(지반 및 지반환경 전문가 협회)에서 만든 지반정보 교환표준으로서, AGS 지반정보표준은 1992년에 최초로 제안되었고 수차례 개정을 거쳐 현재 v4..1.1에 이르고 있음.

  (*) 참고 홈페이지 : www.ags.org.uk)
- AGS 지반정보표준은 대부분의 지반조사에서 사용하는 정보를 구조화시키고, 표준 코드로 부여하는 체계로서, 저장형식은 텍스트 형태임. <그림 3.3>에 AGS 데이터 구조도임



그림 3.3 지반정보표준 AGS 데이터 구조도

- AGS 표준은 총 145개의 데이터 그룹으로 구분되며, 각 데이터 그룹은 세부적인 데이터 코드, 단위 및 형식을 갖춘 데이터로 구성됨. <그림 3.4>에 이해를 위해 AGS 데이터 표준체계의 예시를 나타내었음.

Group Name	Contents	Notes	Parent Group
PROJ	Project Information	Required in all files (Rule 13)	-
ABBR	Abbreviation Definitions	Required in all files (Rule 16)	-
DICT	User Defined Groups and Headings	Required in all files that include user defined groups and/or headings (Rule 18)	-
CMPG	Compaction Tests - General		SAMP
CMPT	Compaction Tests - Data		CMPG
CONG	Consolidation Tests - General		SAMP
CONS	Consolidation Tests - Data		CONG
CORE	Coring Information		LOCA
CTRC	Cyclic Triaxial Tests - Consolidation		CTRG

(a) AGS 지반정보표준체계의 데이터 그룹 (총 145개)

Group Name: PROJ - Project Information					
Status	Heading	Suggested Unit / Type		Description	Example
*R	PROJ_ID		ID	Project identifier	121415
	PROJ_NAME		X	Project title	ACME Gas Works Redevelopment
	PROJ_LOC		X	Location of site	High Street, Anytown
	PROJ_CLNT		X	Client name	ACME Enterprises
	PROJ_CONT		X	Contractors name	ACME Drilling Ltd
	PROJ_ENG		X	Project Engineer	ACME Consulting
	PROJ_MEMO		X	General project comments	
	FILE_FSET		X	Associated file reference (e.g. project specification, site location drawings)	FS1

(b) 각 데이터 그룹별 정보코드(heading)와 데이터 단위 및 형식

그림 3.4 AGS 지반정보표준의 데이터 그룹과 내용

3.2.2 지반 BIM 모델 작성 절차

○ 기존의 지반조사 정보를 지반 BIM 전용 S/W를 이용하여 구축

- 지반 3D BIM 모델을 작성하는데 필요한 정보는 (1) 3D 지표면 정보, (2) 지반조사 결과(지표조사, 시추조사, 물리탐사, 시험 등) (3) 지반정보표준모델에 따른 디지털화, (4) 기존의 시설물에 대한 정보 등이 있음
- 프로젝트 구간에 대한 3D 지표면 정보는 수지 지형도 또는 항공측량이나 드론 측량(사진측량 또는 Lidar측량)을 통해 만들 수 있으며, 프로젝트에서 사용하는 좌표계(GRS80)를 따라야 하고 위치의 정확도(x, y, z)가 오차범위 내에서 확보되어야 함.
- 지반조사는 지질도, 시추주상도, 물리탐사, 시험결과 등이 있으며, 일반적으로 지반조사 보고서(Geotechnical Investigation Report)의 내용을 이용할 수 있음.
- 지반조사 결과를 지반정보모델 형태로 입력화일(input file format)을 작성하여 지반 BIM 전용 S/W에 입력하고, 프로젝트 구간에 대한 3D 지형, 지층구성, 지반정보를 갖는 3D 지반 BIM 모델 생성하여 완료

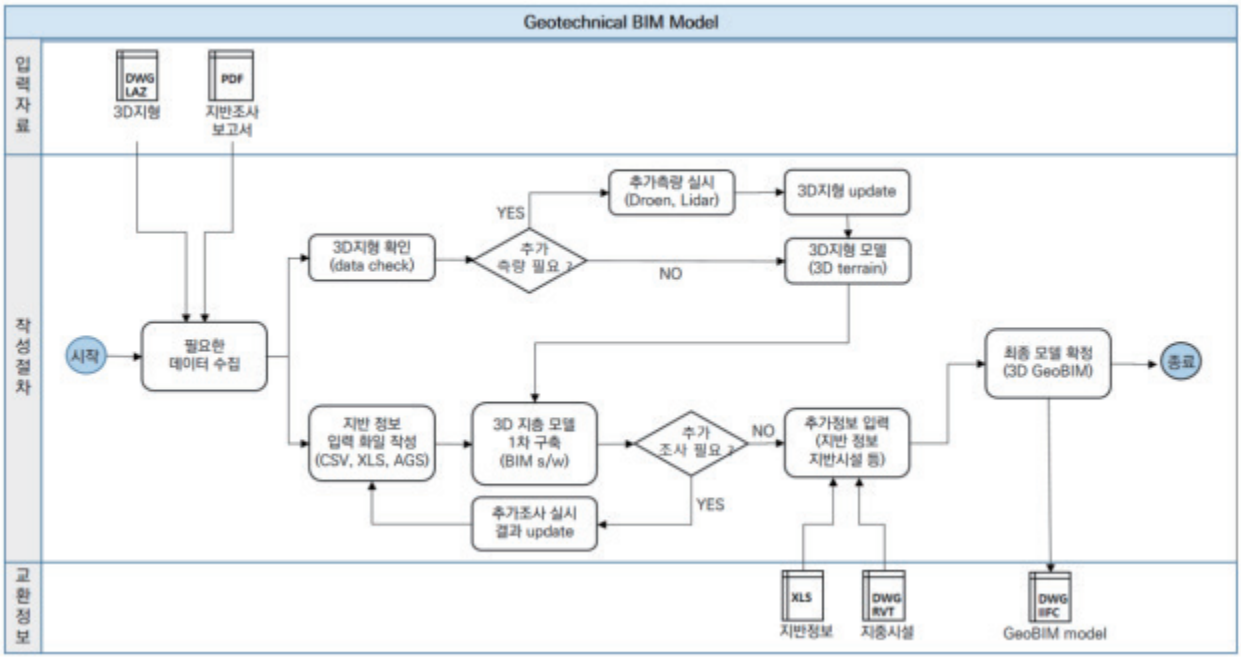


그림 3.5 지반 BIM 모델 작성 절차도

3.2.3 지반BIM 작성의 역할론

○ 지반BIM은 전체BIM 체계내에서 지반에 대한 정보모델을 다루는 분야

- 지반분야가 건설 프로젝트에서 한개의 분야이듯이, 지반BIM은 지중의 상태를 디지털 정보 모델로 구축하고 지반구조와 상태 이해, 지반 관련 문제 해결을 목적으로 하고 있으며, 전체 프로젝트의 BIM 체계내에서 지반 관련 정보 제공과 의사 결정에 참여함
- 도로 건설 프로젝트의 예를 들면, 설계 단계에서 BIM 모델은 여러 분야에서 구분하여 작성하고 주기적으로 각 분야간 모델 교환, 상호 간섭체크, 정보 통합, 의사 결정을 수행하는 협력적인 업무로 진행됨. 이러한 협력적 업무 관계에서 지반 BIM도 한 분야로 타 분야와 정보교환과 의사결정에 기여하는 것임

표 3.4 도로설계 프로젝트에서 분야간 BIM 업무와 지반BIM 역할

분야	업무구분
BIM분야	BIM 모델통합, 간섭조정, 정보관리
도로분야	도로선형, 토공, 배수, 포장, 교통시설 등에 대한 BIM모델 작성
구조분야	교량, 암거 등에 대한 BIM모델 작성
터널분야	터널 BIM 모델 작성
지반분야	지반 BIM 모델 작성 (3D지층모델, 지반정보, 지반설계 등)
건축분야	건축 BIM 모델 작성
전기통신	전기시설, 통시시설에 대한 BIM모델 작성

- 협력적 BIM 사업관리체계내에서 지반 BIM의 역할은 다음과 같음
  (1) 지반조사 결과를 토대로 3D 지반 BIM 모델의 작성
  (2) 프로젝트내 지반 관련 위험성 분석과 위험 요소에 대한 정보 제공
  (3) 타 분야에 필요한 지반정보모델 제공하고 협력적 업무 수행. 예를 들면, 구조분야에 대해서는 교량이 건설되는 구간에 대한 3D 지층 모델을 제공하고 기초 형식의 결정에 참여하게 됨. 이러한 협력적 업무는 매우 다양할 것임
  (4) 지반 고유 분야의 업무에 지반 BIM모델 활용. 예를 들면, 사면안정해석, 굴착해석, 연약지반해석을 수행시 해석을 위한 형상 모델을 쉽고 빠르게 만들 수 있음
  (5) 지반 정보는 추가될 수 있으며, 이러한 지반정보를 BIM기반으로 관리하고 업데이터하는 업무를 수행할 수 있음

제 4 장 지반분야 BIM S/W 조사

4.1 일반 BIM 소프트웨어

4.1.1 BIM 소프트웨어 개발사 현황

<표 4.1>에는 국내외 주요 BIM 소프트웨어 개발사 현황과 특징에 대해서 보여주고 있다. 국내외 상용 BIM 소프트웨어 개발사인, Autodesk, Bentley, Nemetschek, 다소시스템, Trimble, MidasIT 등에 대해서 기술하였다.

표 4.1 일반 BIM 소프트웨어의 특징

BIM S/W 개발사	주요 내용
AUTODESK.	• Architecture, Engineering, 제조, 미디어, 엔터테인먼트 등의 분야에 활용을 위해 2D, 3D Design SW에 초점을 맞춘 미국의 다국적 기업 • 1982년에 설립되었으며, 캘리포니아 산 라파엘에 본사를 두고 있음 • 토목인프라 분야 주요 BIM SW로는 Autocad를 기반으로, Civil 3D, Revit, Dynamo, BIM360, InfraWorks 등이 대표적임
Bentley	• 인프라 설계, 구축 및 운영을 위한 컴퓨터 SW 개발, 라이선스, 판매 및 지원하는 미국의 SW 개발 다국적 기업 • 1984년에 Bentley Systems가 설립되어, 미국 펜실베니아주 Exton에 본사가 있으며, DOS기반 MicroStation은 1986년에 처음으로 출시되었음 • 토목인프라 분야 주요 BIM SW로는 Microstation을 기반으로, OpenRoads/ OpenBuilding/OpenBridge, Synchro, Leapfrog, ProjectWise 등이 대표적임
NEMETSCHEK GROUP	• Nemetschek은 AEC 산업의 계획, 설계, 건설 및 운영을 위한 소프트웨어 개발 및 판매회사로써, 독일의 다국적 기업 • 1963년 Georg Nemetschek 교수가 설립하였으며, 엔지니어용 SW를 개발한 업계 최초의 회사 중 하나임 • 주요 BIM SW로는 Allplan을 기반으로, Allplan highway, Allplan Bridge, SCIA, Solibri, Archicad 등이 대표적임

표 4.1 BIM 소프트웨어 개발사별 특징 (계속)

주요 개발사	주요 내용
DASSAULT SYSTEMES	• 다쏘 시스템은 3D 디자인, 시뮬레이션, 제조, 기타 3D 관련 제품을 위한 프로그램을 개발하는 프랑스의 SW 기업 • 다쏘 시스템은 1981년 다소 항공에서 분리된 자회사로써, 본사는 프랑스 벨리지 빌라 쿠블레에 위치하며, 직원 수는 140개국 20,000명 정도임 • 기계, 항공, AEC 분야에서 3D SW인 CATIA, Solidworks가 대표적이며, 클라우드 기반의 협업 환경으로 3D Experience를 플랫폼으로 하고 있음
Trimble	• Trimble은 건축 및 건설, 농업, 지리공간, 천연 자원 및 유틸리티, 운송 등 다양한 분야를 사업 영역으로 하고 있음 • 캘리포니아주 서니베일에 기반을 두고, 1978년 11월에 설립되었으며, SW / HW 서비스 기술을 제공 • GNSS수신기, 스캐너, 레이저 거리 측정기, 무인 항공기, 관성 내비게이션 시스템 등의 하드웨어를 개발하고 있으며, 3D BIM SW는 Tekla, Vico Office, Trimble Connect AR 등이 대표적임
MIDAS MIDAS Information Technology Co., Ltd.	• 마이다스아이티(MIDAS Information Technology Co., Ltd)는 과학기술용 SW를 개발, 보급하는 국내 IT 기업임 • 2000년 9월 설립되어 경기도 분당구에 본사를 두고 미국, 일본, 영국, 두바이 등 8개의 현지법인 및 지사와 28개국 해외 네트워크를 통해 전 세계에 관련 SW 수출하고 있음 • 토목인프라 분야에서는 CIM, Midas Civil, Midas FEA, Midas UMD, Midas Modeler 등이 대표적인 SW임
HanGil IT	• 한길아이티는 도로, 철도, 경전철 등의 교량 구조물의 설계 SW를 제작, 판매하는 건설 IT 분야 국내 중소기업임 • 1997년 10월 설립된 한길정보통신은 2001년 한길아이티로 사명을 변경하였으며, 서울시 구로구에 위치하고 있음 • 대표적인 SW로는 ARoad, APlate, ABeamDeck, AAbutpier, ARcBridge 등이 있으며, 자회사로는 하니소프트의 BIMRoad가 대표적임

4.1.2 개발사별 BIM 소프트웨어 특징

주요 개발사별 BIM 소프트웨어 특성 및 솔루션 현황을 <표 4.2>에 정리 및 분석하였다. 과업 목적상 “BIM 저작도구” 위주로 제시하였으나, BIM 활용성과 저작도구와의 협업, 연계성을 위해서 국내 프로젝트에서 활용되는 대표적인 “BIM 응용도구”도 포함하였다.

표 4.2 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Autodesk)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
AUTODESK.	AutoCAD	범용 CAD 프로그램, Autodesk의 기본 플랫폼	dwg	dxf, dgn, ifc, xml 등
	InfraWorks	개념설계, 도로 모델 작성, 시거 분석, 교량 모델 작성	sqlite	dxf, dgn, ifc, xml 등
	Civil 3D	토목 계획 및 설계 전반	dwg	dxf, dgn, ifc, xml..
	Revit	건축 구조물 등 층 구조물 모델, 도면 및 수량 산출에 특화	rvt, rfa	dwg, IFC, sat
	Dynamo	비주얼 프로그래밍 기반의 파라메트릭 BIM 모델 프로그램	dyn	dwg, dxf, dgn, ifc, xml 등
	NavisWorks	모델 통합 및 시각화를 통한 간섭검토, 4D, 5D 시뮬레이션 전용 SW	nwd, nwc, nwf	3ds, stp, dgn, dwg, dxf, ifc, fbx, obj, pdf, rvt, 3dm, sat, skp 등
	Autocad MEP	기계, 전기, 배관 등 MEP 전반 3D SW	dwg	dxf, dgn, ifc, xml 등
	Autocad Utility Design	모델 기반의 전기 엔지니어를 위한 계획 및 설계 SW	dwg	dxf, dgn, ifc, xml 등
	BIM360	클라우드 기반의 데이터 작성 및 공유, 승인, 납품 등 프로젝트 협업 플랫폼	-	-

표 4.3 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Bentley Systems)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
Bentley	Microstation	Bentley의 기본 플랫폼으로 2D/3D 기반 CAD 프로그램	dgn	dwg, dxf, fbx, stl, skp, 3mx, IFC
	OpenRaods Designer	도로, 단지 3D 설계를 위한 토목 3D 모델링 프로그램. 수량 산출	dgn	dwg, dxf, fbx, stl, skp, 3mx, IFC, xml, sat, 3ds, Obj
	OpenBuilding Designer	건축, 구조물 모델링, 철근 배근, 전력, 기계, 전기 및 배관(MEP) 모델 작성 및 도면 및 수량 산출 가능	dgn	dwg, dxf, fbx, stl, skp, 3mx, IFC, xml, sat, 3ds, Obj 등
	Generative Components	비주얼 프로그래밍 기반의 파라메트릭 BIM 모델 프로그램	dgn	-
	OpenBridge Modeler	3D 교량모델 작성, 라이브러리 지원, 공종간 간섭검토, 도면 작성 지원, 수량 산출	dgn	dwg, dxf, fbx, stl, skp, 3mx, IFC, xml, sat, 3ds, Obj
	RM bridge	현수교, 사장교 등 특수교량에 특화된 3D 기반 구조해석 SW	tcl	dwg, dxf, dgn, IFC, xml 등
	Synchro	시공 스케쥴과 3D 모델을 결합하여 4D 시뮬레이션 구현 가능한 BIM 응용도구	sp	dwg, dxf, dgn, fbx, dae, obj, dwf, dwfx, skp, 3ds 등
	iTwinCapture	UAV, 사진 촬영 데이터 등을 기반으로 Reality Modeling 전용 SW	3mx 등	dwg, dxf, dgn, 3mx, IFC, xml, sat, 3ds, Obj 등
	Leapfrog	지층 및 지질데이터 기반의 3D 지층 모델링 SW	aproj	dwg, dxf, dgn, ifc 등
	Plaxis	지반 범용 해석(FEM)	p2dx, p3dx	dxf
	STADD pro	빌딩, 플랜트 등 구조 엔지니어링 해석 및 설계 SW	std	dwg, dxf, stl, IFC, xml 등
	ProSteel	철강 프로젝트 수행을 위한 3D 모델 및 도면 제작 SW	-	dwg, dxf, stl, IFC, xml 등
	Rebar	MicroStation 기반 콘크리트 디테일링 및 스케줄링에 특화된 SW	-	dwg, dxf, stl, IFC, xml 등
	Projectwise	클라우드 기반의 데이터 작성 및 공유, 승인, 납품 등 프로젝트 협업 플랫폼	-	-

표 4.4 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Nemetschek)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
NEMETSCHEK GROUP	Allplan	구조물 모델링, 철근배근, 수량산출	ndw, smt	dwg, dxf, dgn, IFC, c4d, xml, skp, 3dm, stl, rvt 등
	SCIA Engineer	구조해석 및 주요 부재 모델 작성, 유럽, 북미 등 주요 국가별 code 지원	esa	IFC, dwg, dxf, xml, rvt 등
	Solibri	건축분야 IFC 기반 전용 Model Checker	smc	IFC, dwg, dxf, xml, rvt 등
	Achicad (Graphisoft)	건축분야 전용 2D / 3D SW 로써, 파라메트릭 모델링, 비형상 정보의 처리, 2D 도면 생성 및 다양한 Plug-in 기능	pln, pla,gsym	dwg, dxf, ifc 등
	MEP Modeler (Graphisoft)	기계, 전기, 배관 등의 계획 및 모델링 전용 SW	-	IFC, dwg, dxf, xml, rvt 등

표 4.5 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Dassault Systems)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
DASSAULT SYSTEMES	Catia	기계 및 항공 분야에 특화되어있으며, 최근 AEC 시장에 진입. 교량, 터널 등 구조물 BIM 적용 가능	catproduct, catpart	dwg, stl, step, iges
	Solidworks	1995.11월 출시. 기계, 전기, 의료 등의 설계, 시각화, 제조 지원 솔루션 제공	catproduct, catpart	dwg, stl, step, iges
	3D Experience	클라우드 기반 협업 플랫폼으로, 문서 작업 및 공유, 현장 관리 가능, 모바일 연동 가능	-	-

표 4.6 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (Trimble)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
Trimble	Tekla Structure	철골 구조 모델 작성. 접합부 상세 모델 작성	db1, db2	IFC, dwg, dxf, dgn, landxml, skp
	Vico Office	BIM 모델기반 4D, 5D 계획 및 시공 시뮬레이션을 통한 스케줄에 특화된 BIM SW	liu	liu IFC
	Trimble Connect	클라우드 기반 협업 플랫폼으로, 문서 작업 및 공유, 현장관리 가능, 모바일 연동 가능	-	IFC, dwg, dxf, dgn, landxml, skp, rvt

표 4.7 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (마이다스아이티)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
MIDAS Information Technology Co., Ltd.	CIM	3D 모델을 해석 프로그램과 연계하여, 구조물 계획, 설계, 도면, 시공시뮬레이션이 가능한 SW	cimz	dwg, dxf, IFC, kmz, mct 등
	Midas Civil	교량 및 토목 구조물의 구조해석 및 설계 프로그램	cimz	dwg, dxf, IFC, kmz, mct 등

표 4.8 개발사별 BIM 소프트웨어 개발사별 현황 및 특징 (기타)

개발사	BIM 소프트웨어	특징	파일형식	호환 가능 확장자
나모소프트	Road Projector	2D 기반의 도로설계 전용 SW	ncp	dwg, dxf, IFC, kmz, mct 등
평화데이타시스템	Road Designer	2D 기반의 도로설계 전용 SW	arx	dwg, dxf, dgn 등
한길아이티 (하니소프트)	BIMRoad	2D 기반의 도로설계 및 IC 계획 전용 SW	alt	dwg, dxf, geotiff txt, ght, rdd 등
Godai(일본)	Makejiban	보링데이터, 지질데이터로 3D 지반모델 작성 SW	srk	dwg, dxf, dg, IFC 등
Bexel	Bexel Manager	모델기반 4D, 5D 계획, 간섭검토, 시공 시뮬레이션에 특화된 BIM SW	bx3	IFC2x3, IFC4 bexln, BX3

4.1.3 전문분야별 BIM 저작 및 해석 도구

사회기반 시설물 특성별 BIM 소프트웨어 명칭 및 용도에 대해서 <표 4.9>에 정리하였다.

표 4.9 BIM 기반 사회기반 시설물 특성별 주요 저작도구 (S/W)

구 분		프로그램명	회사명	용도
공통 현황	Reality Modeling SW	• Pix4DMapper	Pix4D	사진활용 3D 메쉬모델, 정사영상, 수치표면모델, 포인트클라우드 제작 및 BIM 기반 자료 활용
		• iTwinCapture	Bentley	
		• Metashape	AGISoft	
		• RealityCapture	EpicGames	
	지형	• Civil3D	Autodesk	수치지형도 등 지형데이터를 기반으로 2D 또는 3D 지형 모델을 생성하여 BIM 모델의 기반 자료로 활용
		• OpenRoads Designer	Bentley	
		• Road Projector	나모소프트	
		• Road Designer	PHDS	
		• BIMRoad	하니소프트	
	지층	• LeapFrog	Bentley	3D 지층 및 지반해석 연계
도로	선형 계획 및 토공	• Civil3D	Autodesk	지구 외 도로 (선형, 횡단면도, 토공량 산출)
		• OpenRoads Designer	Bentley	
		• Road Projector	나모소프트	
		• Road Designer	PHDS	
		• BIMRoad	하니소프트	
	배수 계획	• Autodesk SSA	Autodesk	횡배수관, 종배수관 (수리계산, 수량산출)
		• OpenRoads Designer (Drainage & Utility)	Bentley	
지반	범 용	• MIDAS GTS	Midas IT	지반 및 터널해석 (3차원, 해석전용)
		• SoilWorks	Midas IT	토사 및 암반 비탈면 검토
		• Makejiban	Godai	3차원 지형 / 지층 모델 작성
		• Plaxis	Bentley	지반 범용 해석(2D, 3D 별도, FEM)
		• FLAC	Itasca	지반 범용 해석(2D, 3D 별도, FDM)
	사 면	• Slope/w	Seequent (Bentley)	사면안정해석
		• Talren	Setec	보강사면 안정해석
	기 초	• Lpile	Ensoft	횡방향 하중을 받는 말뚝 해석
		• Group	Ensoft	3차원 군말뚝 해석
		• GRLWeap	PileDynamics	항타말뚝 해석
	연약지반	• K-Embank	베이시스소프트	연약지반 1차원 압밀침하 해석
교량	해석	• MIDAS CIVIL	Midas IT	구조해석(암거, 교량, 옹벽 등)
		• SCIA	Nemetschek	구조해석(정해석, 동해석 등)
		• SAP2000	CSI	범용구조해석(교량,옹벽, 가시설 등)
		• RM	Bentley	교량 구조 해석

표 4.9 BIM 기반 사회기반 시설물 특성별 주요 저작도구 (S/W) (계속)

구 분		프로그램명	회사명	용도
교량	모델링	• Allplan	Nemetschek	건축,구조,도로(3차원 모델링)
		• Revit(Dynamo)	Autodesk	건축, 구조 (3차원 모델링 프로그램)
		• OpenBridgeModeling	Bentley	교량 3차원 모델링
		• CIM	Midas IT	BIM 모델링 프로그램
터널	모델링	• Allplan	Nemetschek	터널 등 구조물 3D 모델 작성
		• OpenTunnel Designer	Bentley	터널 계획, 설계 및 BIM 모델 작성
		• Revit(Dynamo)	Autodesk	터널 등 3D 모델 작성
그 외 시설물	BOX	• Allplan	Nemetschek	BOX 등 구조물 3D 모델 작성
		• Revit	Autodesk	3D 모델 작성
		• Microstation	Bentley	2D/3D 모델 작성
		• Tekla	Trimble	철골 구조 등 3D 모델 작성
	옹벽	• Microstation	Bentley	2D/3D 모델 작성
		• Allplan	Nemetschek	구조물 3D 모델 작성
		• Revit	Autodesk	3D 모델 작성
		• Tekla	Trimble	철골 구조 등 3D 모델 작성
	MEP	• Solidworks	Dassault System	기계, 전기, 배관 등 MEP 모델
		• OpenBuildings Designer	Bentley	기계, 전기, 배관 등 MEP 모델
		• Revit	Autodesk	기계, 전기, 배관 등 MEP 모델
		• AX3000 (Allplan add on)	EDV-Software -Service	기계, 전기, 배관 등 MEP 모델
		• MEP modeler	Archicad	기계, 전기, 배관 등 MEP 모델
	건축 구조	• Tekla Structure	Tekla	철골 등 건축구조 모델 작성
협업 CDE	클라우드 기반 협업	• Projectwise	Bentley	클라우드 작업 및 공유, 현장관리
		• BIM360	Autodesk	클라우드 작업 및 공유, 모바일 연동
		• Trimble Connect	Trimble	클라우드 모델공유, 모바일 연동
		• 3D Experience	Dassault System	클라우드 모델공유, 모바일 연동
		• Aconex	Oracle	클라우드 작업 및 공유, 현장관리, 모바일 연동
		• BIMPLUS	Nemetschek	통합 모델 검토, 설계 이력 관리, 클라우드 기반 협업관리
		• FinalCAD	FinalCAD	-
		• Eplass CDE	thinkproject	-

표 4.9 BIM 기반 사회기반 시설물 특성별 주요 저작도구 (S/W) (계속)

구 분		프로그램명	회사명	용도
단지/상하수도	범용	• Civil3D	Autodesk	3D 단지 계획 및 설계, 도면작성, 수량 산출 등 전반
		• OpenSite designer	Bentley	
	범용	• Excel	Microsoft	각종계산(공종 : 우수, 오수, 상수 등) 수량산출(전 공종)
	토공	• Civil3D	Autodesk	3D 단지설계 및 도면작성, 수량 산출 등 전반
		• OpenRoads Designer	Bentley	
	우수공	• Civil3D	Autodesk	3차원 모델 작성 및 도면화
		• OpenSite Designer (Drainage & Utility)	Bentley	
		• Autodesk SSA	Autodesk	우수관망 수리계산 및 설계 홍수량 산정 (모델데이터 연계)
		• OpenFlows SewerGEMS	Bentley	
		• Inforworks ICM (XP-SWMM 단종)	Autodesk	
	오수공	• Civil3D	Autodesk	3차원 모델 작성 및 도면화
		• OpenSite Designer (Drainage & Utility)	Bentley	
		• Autodesk SSA	Autodesk	오수관망 수리계산 및 설계 (모델데이터 연계)
		• OpenFlows SewerGEMS	Bentley	
	상수공	• Civil3D	Autodesk	3차원 모델 작성 및 도면화
		• OpenSite Designer (Drainage & Utility)	Bentley	
		• OpenFlows WaterGEMS	Bentley	상수관망 수리계산 및 설계 (모델데이터 연계)
		• EPANET	US EPA	
	철근배근	• Allplan	Nemetschek	철근배근, 도면, 수량산출
AR/VR	AR	• Synchro XR	Bentley	AR 장비: 홀로렌즈, Atom, Meta
		• Trimble XR10	Trimble	
		• Trimble SiteVision	Trimble	
		• Trimble Connect AR	Trimble	
		• XYZReality	XYZ	
	VR	• TerraExplorer	Skyline	VR 장비: oculus, VIVE, alcatel, samsung Gear VR, Daydream
		• SampleProject	동방	
4D 공정	공정	• Bexel Manager	Bexel	4D 공정 시뮬레이션
		• Vico Office	Trimble	4D 공정 시뮬레이션
		• Synchro	Bentley	4D 공정 시뮬레이션
		• ProjectWorks	한울씨앤비	4D 공정 시뮬레이션
5D 비용	내역	• Bexel Manager	Bexel	5D 시뮬레이션
		• Vico Office	Trimble	5D 시뮬레이션
		• ProjectWorks	한울씨앤비	5D 시뮬레이션

4.1.4 BIM 소프트웨어 현황분석 결과

BIM 프로젝트 특성상 1개의 소프트웨어만으로는 발주처의 BIM 요구사항을 만족시킬 수 없으며, 본 연구에서는 다양하게 활용되는 BIM 소프트웨어를 BIM 저작도구와 응용도구로 구분하여 설명하였다. 이러한 상황은 소프트웨어 사용자 메뉴(tool)의 단순성과 사용성, 프로그램의 구동성을 확보하고, 제품군을 다양화하여 솔루션 측면에서 접근하고자 하는 개별 소프트웨어 개발사의 전략적인 목적에 기인한 것으로 판단된다. 프로젝트별, 공종별 제품군을 다양화하여 솔루션 차원에서 라인업을 구성하고 있으며, 소프트웨어 특성에 따른 활용방안 및 공종은 <표 4.10>에 정리하였다.

표 4.10 BIM 저작도구 및 응용도구 특성에 따른 공종 구분 및 활용방안

구분	활 용 내 용	주요 BIM SW(예시, 일부)	비고
BIM 저작도구	Reality Modeling	• iTwinCapture • Pix4D	-
	지형	• Civil 3D • OpenRoads Designer	-
	지층	• Leapfrog	3D 지층 모델링
	선형 / 토공	• Civil 3D • OpenRoads Designer	-
	선형기반 구조물	• Allplan	-
	층기반 구조물	• Revit + Dynamo	-
	관로 / 배수 계획	• OpenRoads Designer • Revit + Dynamo	-
	MEP	• OpenBuilding Designer, • Revit + Dynamo	-
BIM 응용도구	통합모델 / 검토	• Navisworks • LumenRT • Synchro	시각화 및 시뮬레이션
	4D / 5D	• Bexel • Vico Office • ProjectWorks	-
	AR / VR	• Synchro + Hololens • Trimble Connect + Hololens	-
	도면 / 수량	• Civil 3D • OpenRoads Designer • OpenBuilding Designer • Revit + Dynamo	-
	협업	• BIM360 • Projectwise	클라우드 기반
	해석	• Plaxis, RM	-

4.2 지반분야 BIM 소프트웨어 현황

지반은 건설공사 중 토목 분야에서 지형과 함께 매우 중요도가 높다. 지반 관련 분야는 공사비의 규모도 방대하며, 보이지 않는 구간을 예측하여, 터널과 같은 지반구간 내를 관통하는 구조물 공사의 경우에는 굴착계획, 발파계획 등 시공의 안전성 확보를 위해 신뢰성 있게 설계되어야 한다. 보통 지반설계는 현장의 조사 및 측량 과정을 통해 시공구간에 대해 시추조사를 실시하고, 그 결과를 바탕으로 시추주상도를 작성한다. 시추주상도만으로는 BIM 개념의 기본이 되는 3차원 지하공간에 대한 지층 변화를 예측하기가 매우 어려운 실정이며, 2열의 시추주상도 사이에 존재하는 구간의 변화를 고려할 수는 없다. 또한 관련 정보의 양이 매우 복잡하여 지반전문가가 아니면 시추주상도를 이해하기 어렵다. 따라서 최근 BIM 기술의 개발, 지층 시각화를 위한 보간 및 예측기술 개발, 관련 BIM S/W 기술 발전을 통해 기존 2D 방식의 시추주상도를 BIM 기반의 디지털화가 가능하게 되었다(문현석, 2022).

이러한 기술을 통해 최근 확대되고 있는 대형 복합 지하공간 개발, 지하도로 및 터널 시공, 해상구간의 구조물 설치 등에 BIM 기술을 활용하고 있다. 최근 공공기관이 발주하는 사업에서는 기존의 2D가 아닌 전면 BIM 설계를 통해 BIM 성과물 제출을 요구하고 있고, 이는 시공단계까지 디지털 지반데이터의 활용을 통해 공법 및 공정계획 등을 기반으로 공사계획을 수립하는데 활용될 수 있다. 특히 지반공학적 특성과 관련한 엔지니어링 정보가 지반 BIM 모델에 반영되어 있으므로 시공단계에서의 지반의 상태에 대한 공학적 해석과 예측을 가능하게 하는 장점이 있다. BIM 기반의 지반에 대한 디지털 모델이 갖는 다양한 장점을 활용하여 지형, 지반 등 예측하기 어려운 보이지 않는 영역에 대한 디지털 설계기술이 발전하고 있고, 이를 지원하는 BIM 설계 S/W도 그 기능이 확장 및 고도화되고 있다. 여기서는 기존 2D 중심의 전통적 지반조사 방식인 시추주상도 데이터를 BIM 기반 디지털 데이터로 전환하고, 이를 활용하는 사례를 제시하였다. 지하공간 설계를 위한 BIM S/W는 Autodesk의 Civil 3D, Bentley의 OpenGround, Seequent의 Leapfrog 등이 있다. 여기서는 Civil 3D, Leapfrog, OpenGround, Geo 5, Midas CIM에 대한 간단한 소개와 특징을 기술하였다.

4.2.1 Autodesk - Civil 3D (Geotechnical Modeler)

Civil 3D는 지형, 지반 및 도로 등 선형시설의 BIM 설계를 수행하는 대표적인 소프트웨어로서, 평면 및 종단 선형, 횡단 모델링, 지형 모델링, 지층 모델링과 해석이 부분적으로 가

능하게 하는 다양한 모듈을 포함하고 있다. 여기서는 BIM 기반 지층 모델링 수행을 위해 Autodesk Civil 3D에 탑재된 Geotechnical Modeler에 대해서 기술하였다. 지반 관련 데이터의 효율적 시각화 및 분석 기능을 제공하고, Civil 3D 설계모델을 통해 직접적으로 지반 데이터에 접근하여 쉽게 지반의 공학적 특성을 디지털화된 방식으로 활용할 수 있도록 기능을 제공하고 있다. Civil 3D의 Geotechnical Modeler은 현재는 Bentley에 인수 합병된 Keynetix 사의 지금은 단종된 HoleBASE S/W 기반의 모듈이며, 현재는 HoleBASE와 Bentley의 giNT와 연계되어 론칭된 OpenGround라는 제품의 이전 버전 형태이다..

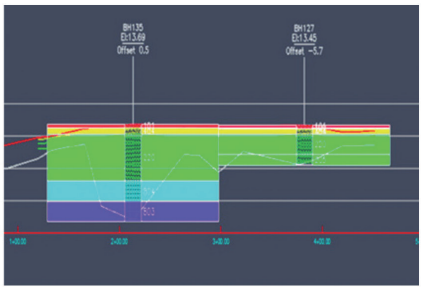


헤더	설명	예시
위치 ID*	샘플 위치 식별자	BH143
뎁스 탑*	지층 상단까지의 깊이	0.65
깊이 베이스*	지층 바닥까지의 깊이	2.10
범례 코드	데이터 필드(Civil 3D의 범례 코드)	404
지질 코드	데이터 필드(Civil 3D의 지질 코드)	
지질 코드2	데이터 필드(Civil 3D의 Geology Code2)	모래
BGS 사전	데이터 필드(Civil 3D의 BSG Lexicon)	227
설명	지층의 일반적인 특성	짙은 회갈색

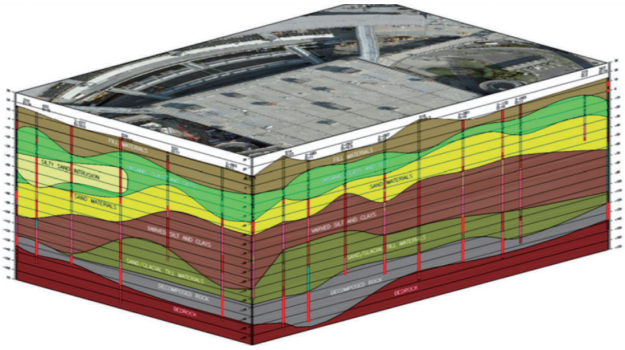
(a) 시추공 정보 데이터 (from csv file)　　(b) csv 매핑 데이터

그림 4.1 시추공 입력 데이터(Autodesk Civil 3D





(a) 입력된 시추공 데이터　　(b) 지반 모델 솔리드 생성



(c) 시추공 데이터를 활용한 지반 3D 모델링

그림 4.2 Autodesk Civil 3D를 활용한 지반의 디지털 모델링 결과

이 모듈을 통해 기존 시추공 데이터를 불러와서 관리하고, 이를 기반으로 지층면을 생성하고, 지반 가시화 모델 생성한다. 이를 위해 신규 프로젝트를 생성하고, 파일로부터 불러오기 기능을 통해서 DB화하고, 도면의 시추공 데이터를 추가한다. 불러오기 기능 실행 시, 다양한 포맷이 지원되지만, 그 중에 일반적으로 사용할 수 있는 csv 파일 포맷을 사용하면, 스프레드시트 방식을 통해서 지반데이터의 원 소스를 가져올 수 있다. <그림 4.1>은 지반 시추공 데이터의 csv 파일을 Civil 3D로 입력받았을 때의 데이터 소스 형태와 매핑 테이블을 보여주고 있다.

입력 완료 후, 최종 반영될 시추공 데이터를 필터링하고 문제가 없는지 검토한다. 이후, BIM 모델상 시추공 데이터를 불러서 시추공 데이터의 위치정보가 2차원 평면상에 우선 표시된다. 그 이후에, 도로의 3D 입체 모델 생성과 마찬가지로 시추공의 종단 뷰를 생성하고, 지반 데이터의 프로파일 상에 2D 솔리드 상태의 지층정보를 표출한다. 이후 3차원 지반 프로파일 시각화를 완료한다.

4.2.2 Bentley - Leapfrog Works (with Central)

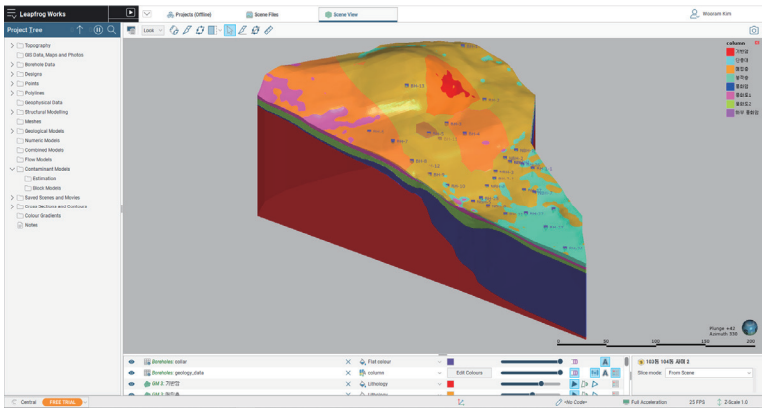
뉴질랜드의 Seequent사가 개발한 Leapfrog Works(2020년 Bentley사에서 인수합병)는 사용자 친화적 인터페이스를 통해 지반 모델을 시각화하고, 신속한 수치해석이 가능하도록 3D 지반 모델링 방법을 지원한다. 모델이 추가될 때마다 설정된 규칙과 매개변수가 자동으로 적용되어 종속된 모델이 즉시 변경되어 최신을 유지할 수 있는 장점이 있다. 또한 데이터 분석은 거리 측정, 구조 모델링, 보간 측정 도구를 제공하며, 특히 모든 지질 및 지반 데이터를 공간정보 상에 통합함으로써 맵, 이미지, 시추공, 포인트, 기하정보 등의 데이터를 상호 공유 및 연계하는 것이 가능하다.

Leapfrog Works는 엔지니어링 관련된 요소가 강하며, Autodesk와는 달리 상당히 정교하게 지반 모델링 및 수치해석 지원이 가능하다. 특히 다양한 지반 조건 및 지질 특성에 따른 거동의 상태 등을 분석할 수 있는 장점이 있다. 이는 향후 디지털 트윈 기반의 지반 센서 연동으로 실시간 분석에 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한, Leapfrog Works는 공동데이터환경(CDE, Common Data Environment)에서 작업이 가능하다. Central이라고 명명된 협업체계 시스템을 활용하면, 상당히 많은 작업량 때문에 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 작업 데이터 시간이력 관리 및 버전 관리가 용이하며, 많은 인원이 공동작업을 수행할 수 있으며, 발주처 또는 관리자에 의해서 단계별 승인절차를 수행하기가 수월한 장점이 있다. <그

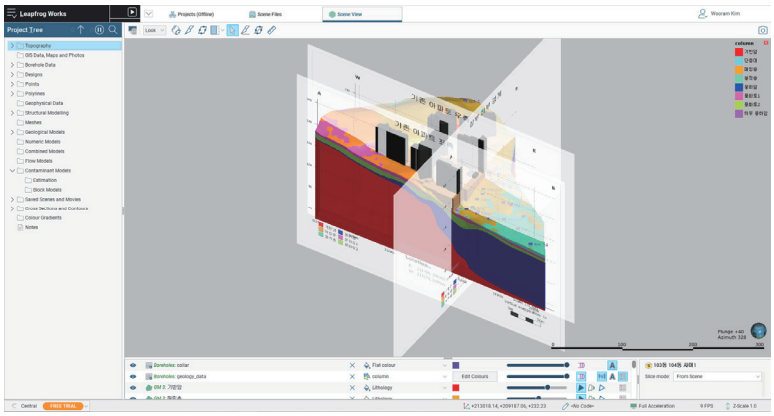
림 4.4>, <그림 4.5>에서는 Central 시스템 운영에 관련된 형상을 보여주고 있다.

Leapfrog Works는 암시적 모델링을 통해 기존 지질 모델링 방식의 단점을 보완한다. 기존의 지질 모델링은 단면을 정의하고, 암석층(lithologies), 단층(faults), 그리고 광맥(veins)을 그린 후, 여러 단면을 연결하는 선을 그리는 수작업 방식으로 이루어졌다.

이러한 방법은 시간의 소모가 크고 유연성이 떨어지며, 새로운 데이터가 추가될 때 모델을 업데이트하기 어렵다는 문제점이 있다. Leapfrog Works에서 사용되는 FastRBF™ 알고리즘은 방사 기저 함수(Radial Basis Functions)를 활용하여 다양한 변수들을 모델링하고 이를 3차원으로 시각화한다. 이 방식은 주어진 데이터 포인트를 기반으로 데이터를 가장 잘 표현할 수 있는 연속적인 곡선이나 표면을 생성할 수 있다. 또한 지층 구조를 3차원 시각화에 유용하며, 이를 통해 복잡한 지질 구조를 더 자연스럽고 현실적으로 표현할 수 있다. 또한 최적화된 알고리즘의 사용으로 대용량의 데이터를 통해 작업을 수행할 때도 빠르게 계산을 수행하며, 불연속 변수(예: 암석층)와 연속 변수(예: 광석 등급) 모두를 모델링할 수 있다.



(a) 시추공 데이터를 활용한 3D 지층 디지털 모델



(b) 3D 디지털 모델로부터 내보낸 2차원 단면 정보(수치해석에 활용 가능)

그림 4.3 Leapfrog Works를 활용한 지반의 디지털 모델링

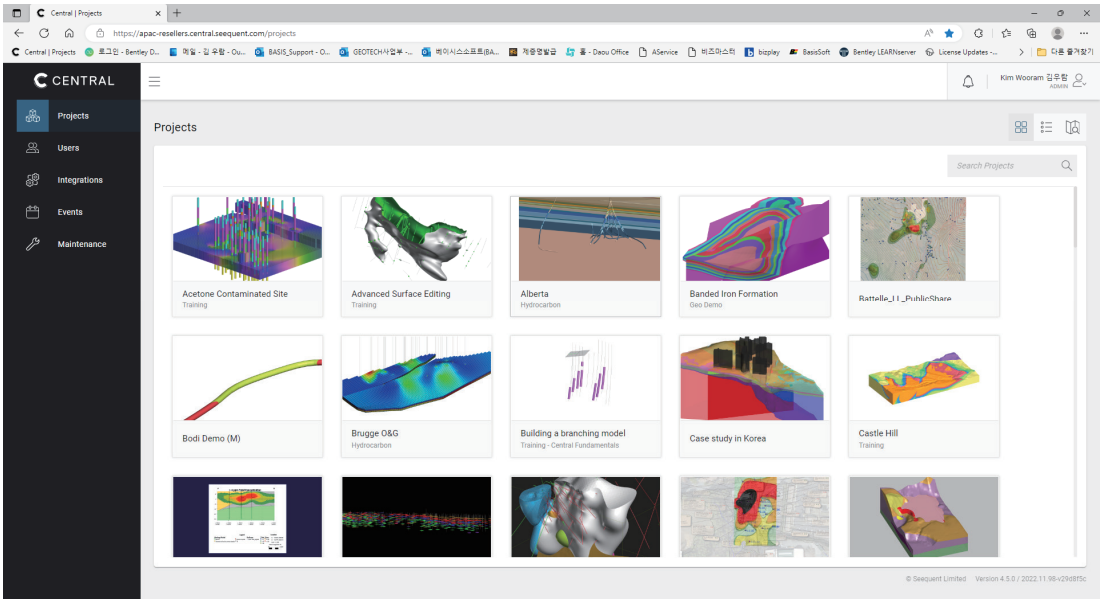
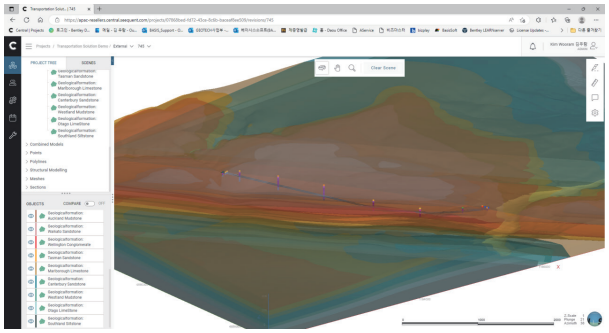
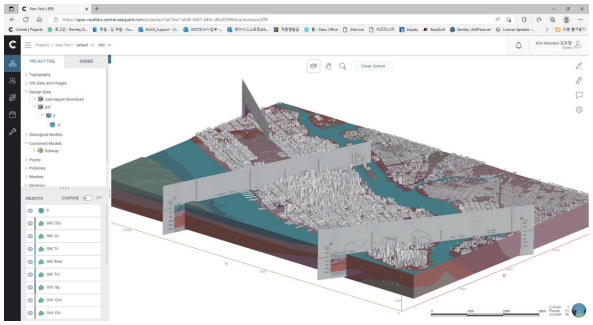


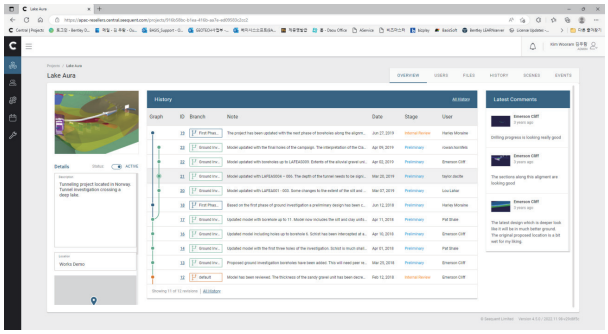
그림 4.4 Seequent(Bentley) Central을 활용한 지하공간 디지털화 협업체계



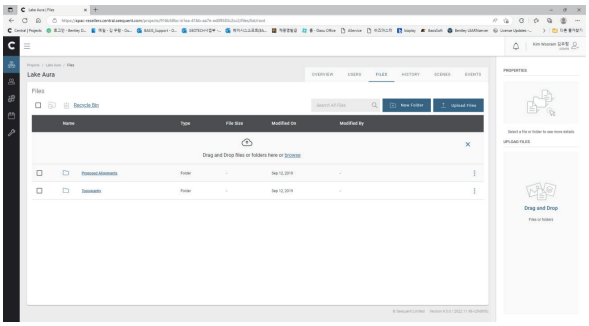
(a) Central에 불러온 디지털 모델-1



(b) Central에 불러온 디지털 모델-2



(c) 파일 이력관리 및 협업체계 예-1



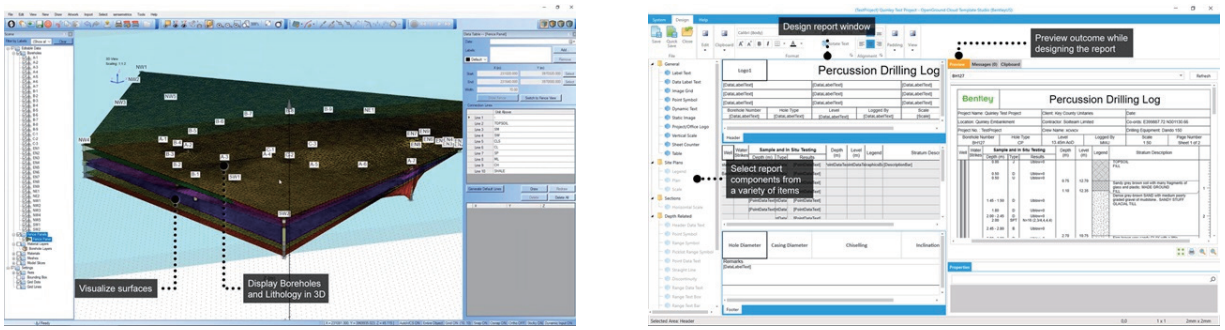
(d) 파일 이력관리 및 협업체계 예-2

그림 4.5 Central 기반 지하공간 디지털화 협업체계 예시

4.2.3 Bentley - OpenGround

OpenGround는 Bentley사에서 개발한 지질데이터 관리 및 분석용 플랫폼으로 기존에 존재하던 지질데이터 관리 프로그램인 gINT와 비교적 최근에 인수한 Keynetix사의 HoleBase를 통합하여 Cloud 기반으로 정보를 제공하는 특징이 있다. 호주, 영국, 미국 등 국가별 리소스 세트 및 기본으로 제공 세트를 통해 템플릿, 데이터 입력 프로필, 기타 구성요서의 작성을 쉽고 빠르게 수행할 수 있다. 현장에서 모바일 기기를 통해 위치정보와 이미지 등록, 로깅 정보 입력 등을 빠르게 수행할 수 있으며, 추가적으로 현장테스트 결과, 실험실 테스트 결과 및 물리탐사 결과에 대한 데이터를 입력할 수 있도록 구성되어 있다.

장점으로 모바일 및 데스크톱 어플리케이션을 통해 작성된 데이터를 Cloud 기반의 데이터베이스에 저장하고 관리할 수 있으며, 시간 및 공간 제약없이 접속하여 데이터를 확인, 수정할 수 있다. 또한 AutoCAD Civil3D, Bentley 소프트웨어 등 제작사에 무관하게 데이터를 호환할 수 있도록 확장 기능을 제공하고 있으며, Excel 및 AGS 파일로 내보내기를 통해 다양한 환경에서 활용이 가능한 장점이 있다.



(a) 시추공 정보 데이터 입력 형상 (b) 정보 관리 창

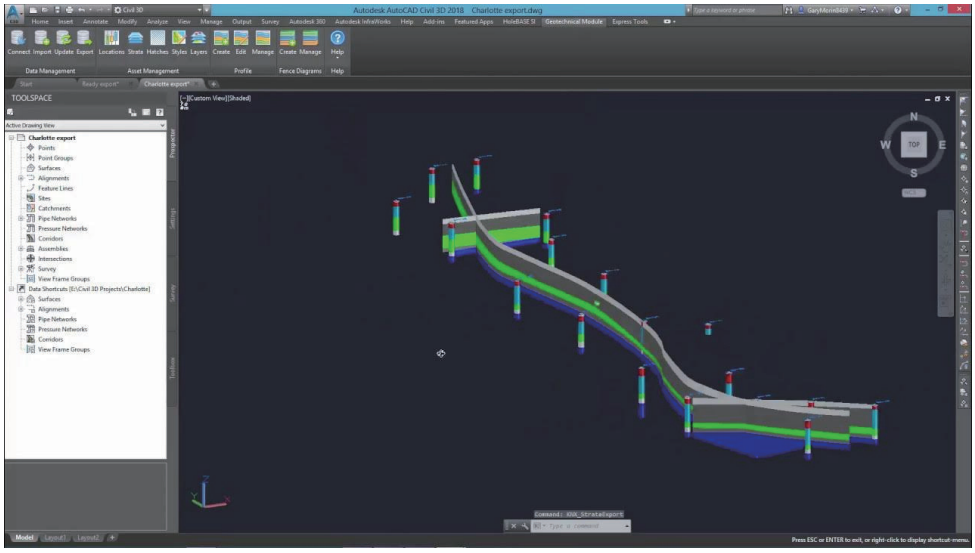
그림 4.6 시추공 입력 데이터 (Bentley - OpenGround)

4.2.4 Fine Software - Geo 5

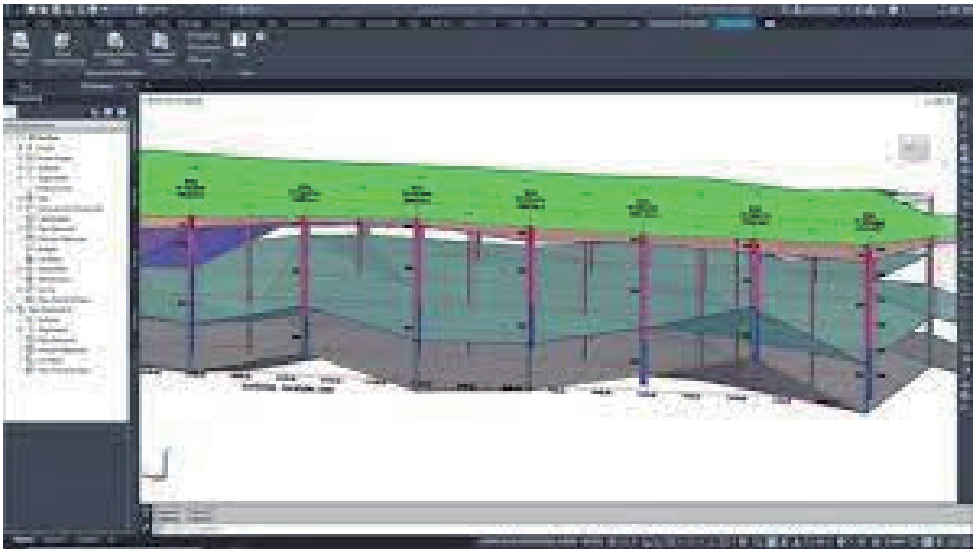
체코의 Fine Software사에서 개발된 Geo 5는 지질조사부터 토목설계에 이르는 모든 지반설계 과정에서 적합한 솔루션을 제공하는 소프트웨어이다. 안정해석, 굴착모델링, 옹벽설계, 기초 설계, 압밀 침하 계산 터널 및 샤프트 설계, 지층 모델링, 지질조사 등 지반과 관계된 솔루션을 제공하고 있다. 3차원 지반 모델의 경우 현장에서 조사된 지질 데이터를 입력하고

이를 통해 모델을 구축한다. 구축된 모델은 연계된 프로그램과 모델을 연동하며, BIM 모델로서 활용 가능한 IFC, DWG, DXF, LandXML 포맷으로 공유가 가능하다.

장점으로 필요 솔루션에 따라 패키지를 선택할 수 있으며, 기초 설계, 터널 굴착, 안정해석 등 지반 모델이 필요한 수치해석 및 설계 프로그램과 자유롭게 연동이 가능함을 들 수 있다.



(a) 시추공 정보 데이터 입력 형상

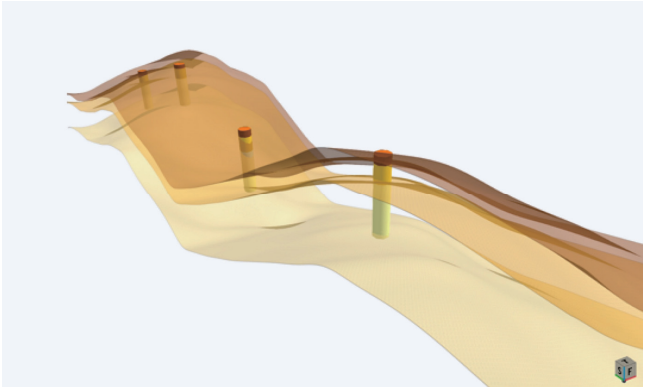


(b) 3차원 지층 구축 형상

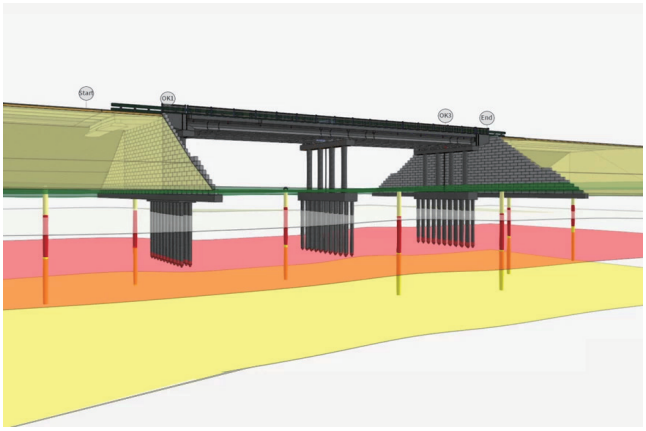
그림 4.7 시추공 입력 데이터 (Fine - Geo 5)

4.2.5 MidasIT - CIM

국내 Midas IT에서 개발된 CIM은 토목 구조물 설계를 위한 3차원 CAD 프로그램으로 선형 기반의 도로 및 철도 등 토목 구조물 모델링, 철근 모델링, 사면 모델링 및 지층 모델링 기능을 포함하고 있다. 지층 모델링의 경우 시추공 데이터 및 2D 도면의 지층선을 포인트 데이터 형태로 활용해 지층 모델을 생성할 수 있으며, 원지반의 형상을 참조하여 상대적 높이를 이용한 지층 생성 방식을 채택하여 역전 현상이 발생하지 않고 지층 모델을 구축할 수 있다. 장점으로 Civil 3D와 마찬가지로 토목설계를 위한 프로그램 내 기능으로 지반 모델 구축을 제공하고 있어 구조물 모델과 지반 모델을 통합하여 관리가 가능하고, 자사 해석 프로그램인 CIVIL NX, FEA NX 및 GTS NX와 연계하여 구조물 및 지반의 해석 수행이 가능함을 들 수 있다.



(a) 시추공 정보 데이터 입력 형상



(b) 3차원 지층 구축 형상

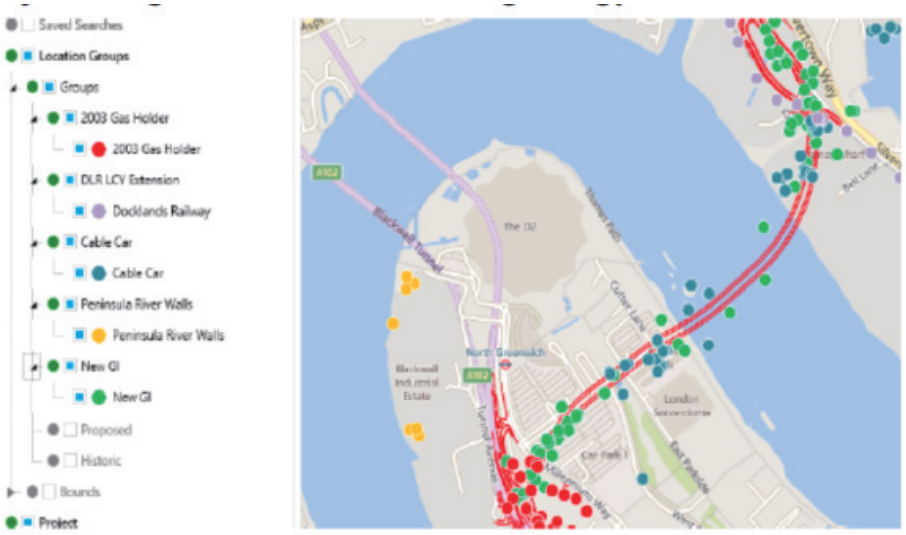
그림 4.8 시추공 입력 데이터 (MidasIT - CIM)

제 5장 지반 BIM 모델 활용 사례

5.1. 국외 지반 BIM 활용 사례

5.1.1. 영국의 실버타운 터널 프로젝트 (Merdan and Horatiu, 2018)

- 실버타운 터널 프로젝트는 BIM이 성공적으로 사용된 프로젝트 사례로서, 런던의 Silvertown과 North Griniche사이를 연결하는 템즈강 하부의 도로 터널 프로젝트임
- 터널 남측 출구는 과거 가스공장 부지로서 오염된 상태이고, 공장의 지하 기초물이 여전히 남아 있는 상태이고, 터널 북측 출입구는 Emirates 케이블카 주탑기초와 인접한 위치. 터널 통과 구간은 다양한 지반조건, 도로, 기초구조물, 기하구조물이 존재하는 상황
- 터널 입출구부와 통과구간에 대한 지반상태에 대한 이해도 향상, 오염된 지반의 처리 물량, 기존 구조물의 정확한 위치를 파악하여 비용과 위험성을 줄일 필요성이 제기되었고, 이를 위해 3D지반 모델을 작성하고 프로젝트 전 과정에서 지속활용하는 것으로 계획.
- 지반데이타는 AGS 데이터 포맷을 이용하여 정리하고, 과거 데이터와 신규 조사 데이터는 지반정보관리시스템인 HoleBASE SI에 통합하여 구축하였음. Autocad Civil 3D를 이용하여 DWG 파일 형식으로 지층모델을 구축하였는데, 기존의 BIM이 Autocad기반으로 구축되어 있어 지층에 대한 데이터를 프로젝트 팀 전체에 공유하고 설계개선에 원활하게 활용되었음.
- 지반 BIM 모델의 구축과 BIM 협업내에 활용함으로서 전체 프로젝트 진행과정의 위험성조 파악, 빠른 의사결정, 실행 계획 수립에서 시간을 단축하고 여유 있게 설계개선이 진행되었음. 또한 빠른 토공량 산정과 오염물질 데이터 활용은 프로젝트 비용절감과 위험개선에 기여하였음.



(a) HoleBASE SI 기반 지반정보관리



(b) 지반BIM모델과 통합된 Model

그림 5.1 영국 실버타운 터널 프로젝트의 지반 BIM모델 활용 사례

5.1.2 해안 안벽(DWQ, Deep Water Quay wall) 기본설계 검토 (Brennan, E. 2021)

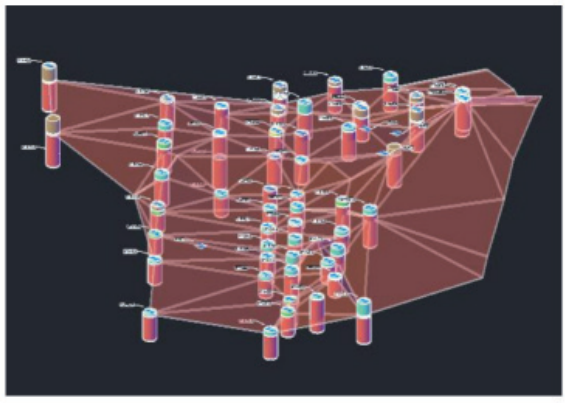
- Rorssaveel Fishery Harbour에 위치한 안벽 설계 프로젝트로서 당초 200m의 케이슨 안벽 설치와 안벽 전면의 수심 확보를 위한 준설로 계획되어 있으며 충분히 안전하게 설계되어 있으나, 발주처는 CDG사*에 안벽형식, 준설량, 발파량 최적화 방안을 검토 요청

  * CDE : Gavin & Doherty Geosolutions Ltd.

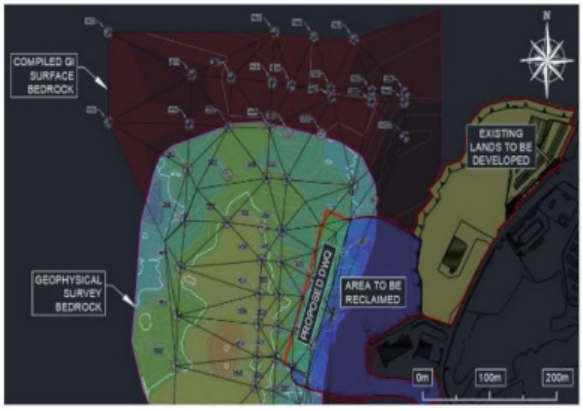
- 검토를 위해서 현장 지반조건을 이해하기 위한 상세한 지반 모델이 필요하였으며, 기존 자료와 추가적인 지반조사를 실시하여 정보를 획득하고 .ags 파일 포맷을 기반으로

Keynetix사의 HoleBASE SI(HBSI)를 이용하여 지반정보를 통합함.

- 통합된 지반정보는 Autodesk Civil 3D에 입력하고 2D, 3D 지층을 구성하였으며, 특히 시추공 정보를 기반으로 내삽하여 기반암층에 대한 TIN형태의 3차원 정보를 생성하였음.
- 이러한 지반 정보를 기반으로 CDG사는 5개의 대안설계를 검토함 (케이슨 안벽 크기 조정, L-형 옹벽, 중력식 콘크리트 벽체, 강관말뚝 벽체 등)
- 비용과 관련된 이슈로서 구조물의 지지층과 설치심도에 대한 것으로서, 암반층 내에 지지시키기 위해서 수중발파와 굴착량이 필요하며 이를 줄이는 것이 비용절감에 있어 가장 효과적인 방법이 될 것임. CDG사는 새로운 구조물 설계 옵션별로 굴착량을 3차원으로 산정하고, 원 설계와 비교하였음. 이를 통해 CDG사는 초기 설계 대비 약 40%의 비용을 절감할 수 있는 설계 옵션을 제시하였음
- 이 사례는 지반에 대한 높은 품질의 데이터와 BIM 기반의 기술을 활용함으로서 지반상태 이해를 바탕으로 비용에 영향을 미치는 요소를 분석하는데 활용가능함을 알수 있음.



(a) Civil 3D에 구성된 지반조사 정보



(b) 시추정보를 활용한 3D 기반암층 구성

그림 5.2 해안 안벽 대안설계 검토를 위한 3D 지층구성 사례

5.1.3 영국 Crossrail 2 Project (Ben Gilson et al, 2021)

- Crossrail 프로젝트는 영국 런던 하부를 가로지르는 27km의 지하철 건설 프로젝트로서, 설계 초기 단계부터 노선이 통과하는 구간의 지질위험을 파악하고 지하철 역사 사이의 터널 경로를 결정하기 위해 3D 지반 모델을 구축하고 활용하였음.
- 처음에는 영국지질국(BGS)에서 제공하는 1:50,000 스케일의 3D 모델을 기반으로 프로젝트 인근에서 조사된 약 1,000개의 시추자료와 다른 건설 공사의 자료를 수집하고 이를 ArgGIS, Leapfrog Work를 이용하여 프로젝트 구간의 3D지반 모델을 1차로 고도화시킴
- 1차 구축된 3D지반 모델의 신뢰도와 주요 위험구간을 파악하여 추가적인 시추조사가 필요한 위치를 선정하였고, 또한, 지하철 노선에 대한 BIM 결과를 함께 통합함으로서 노선 통과 경로에서 나타나는 주된 지층구조와 지질위험성을 파악함.
  - 3D 지반 BIM을 구축함으로서 지하철 노선이 변경되는 경우 새로운 노선에 나타나는 지층 구조를 빠르게 평가하고 의사결정에 활용할 수 있었음. 지하철 역사 구간에 대해서는 Value Engineering을 실시하는데 지반 BIM을 적극 활용함. 즉, 지하철 역사의 굴착 심도를 달리하면서 발생 가능한 지반의 위험성에 따른 공사비를 비교할 수 있었음.
- 런던과 같은 도심지 지하에 지하철을 건설하는 프로젝트에서 가장 큰 위험성은 도심지에 기 설치된 다양한 시설물과 구조물 기초와의 간섭임. Crossrail 2 프로젝트는 약 33,000개의 건축물과 수백개의 주요 인프라 구조물의 하부를 통과하며, 개별 구조물과 인프라에 대한 간섭과 영향을 일일이 검토하는 것은 시간과 노동력이 많이 소요됨.
- 건축물과 인프라에 대한 정보, 각 건출물과 인프라 기초형식과 심도 자료를 융합함으로서 각 시설물의 위치에서의 지반조건과 지하철 터널위치를 고려하여 충돌여부, 위험성 여부를 빠르게 파악할수 있는 Asset Portal이라는 자동화된 평가방법과 프로그램을 개발하여 프로젝트의 전 과정에서 활용하였음.

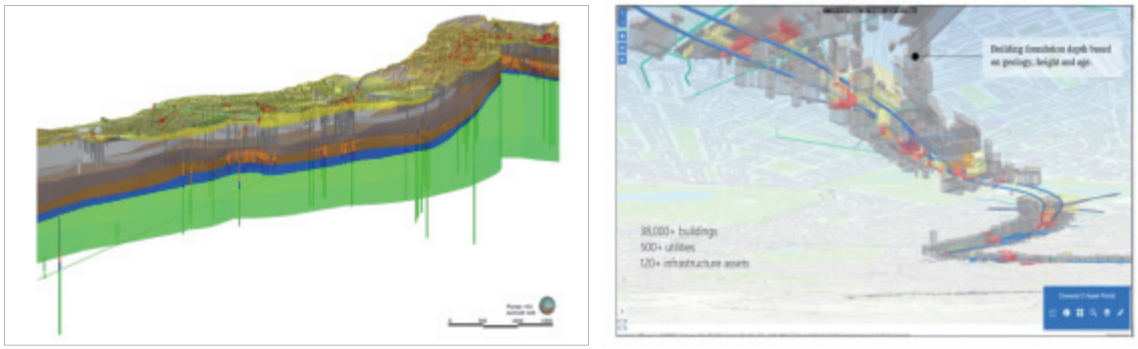


그림 5.3 Crossrail 2 프로젝트에서의 3D 지반모델 구축과 활용

5.1.4 브라질의 Underground Rerservoir 건설 프로젝트 (Henriques et al, 2024)

- 브라질 Belo Horionte시에 홍수제어를 위해 두 개의 지하 Reservoir를 건설하는 프로젝트로서 지반 BIM모델을 구축하고, 수치해석과 연계하여 구조물의 안전하게 건설한 사례임. Reservoir는 직경 35m이고 지하 30m 높이로서 3개의 원형 강재구조물로 구성되어 있음.

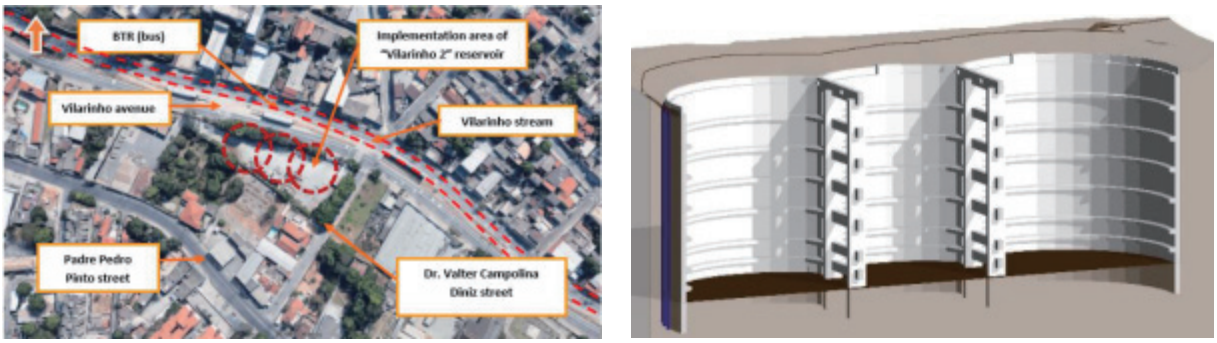


그림 5.4 브라질 Underground Reservoir 프로젝트

- 지반 BIM 모델 구축을 위해 시추조사, 물리탐사, 실내시험을 실시하였음. 지반 BIM모델은 Geo5를 이용하였으며 Reservoir설치 위치의 지층 변화를 상세히 모델링함.
- 수치해석은 지반과 구조물간의 상호 작용, 구조적 안정성(변형, 응력)을 확인하기 위한 목적으로 Plaxis 3D를 이용하여 실시하였고, 수치해석을 위한 메쉬는 Geo5에서 구축된 지반모델을 Autocad Civil 3D로 입력한 후, Non-Uniform Rational Basis Spline기법으로 각 지층을 3D로 형성하고 Plaxis 3D에 입력자료로 활용하여 작성함.
- 이 사례는 3D 지반 BIM모델과 3D수치해석을 연계함으로서 구조물-지반 상호작용을 고려한 구조물 설계사례를 제시하고 있음. BIM를 통해 여러 분야(지반, 구조, 설계)가 협력하는 사례이며, BIM기반의 효과적인 프로젝트 실행 방법을 제시하고 있음.

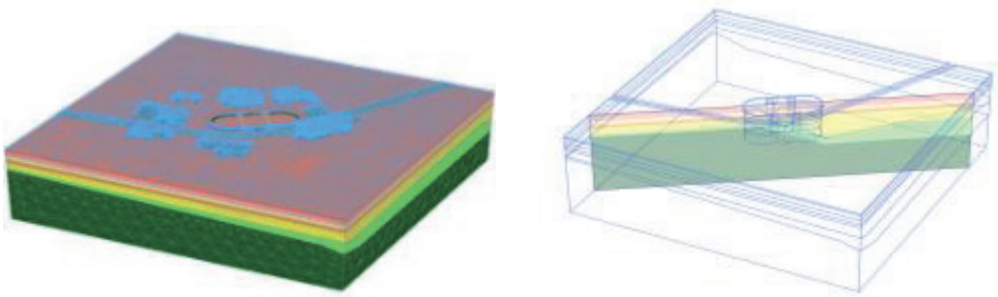
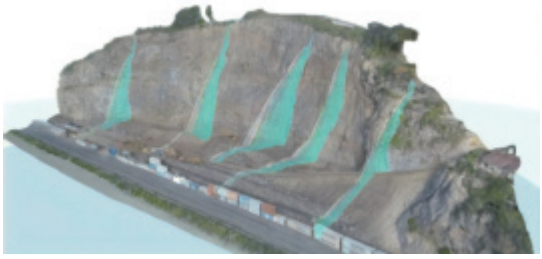


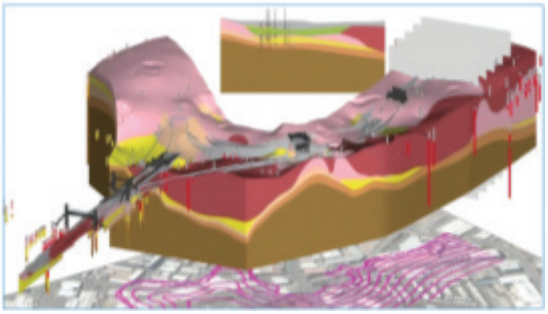
그림 5.5 Geo5를 이용한 지반 BIM모델과 수치해석 연계 활용 사례

5.1.5 뉴질랜드의 지반 BIM 모델 활용 사례 (Adam et al, 2019)

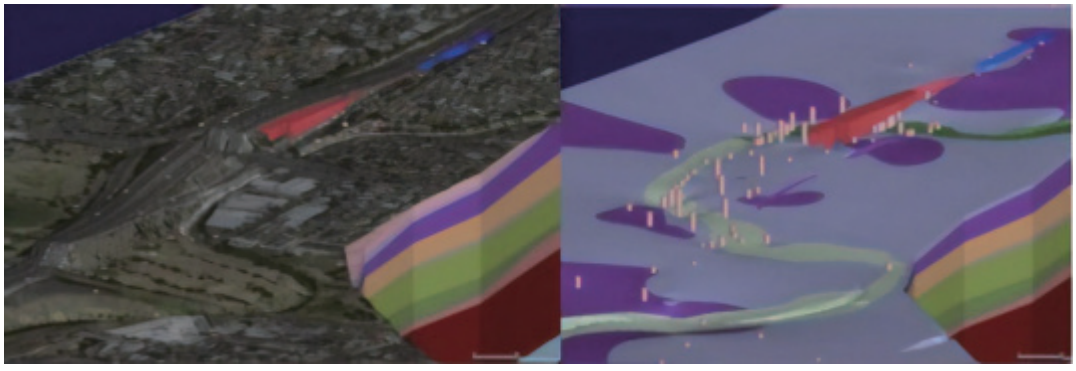
- 뉴질랜드 지반공학회지에 게제된 내용으로서, 3D 지반 모델의 활용 사례를 소개하고, 3D 지반 모델을 이용하였을 경우의 장점뿐만 아니라 단점도 소개하고 있음.
- 3D 지반 모델을 활용하기 위해서는 지질학 및 지형학적 관점에서 3D모델이 제대로 구축되어야 하고 지질전문가 또는 지반엔지니어의 리뷰가 필요하다고 언급하고 있음. 또한, 3D지반모델은 초기에 제한된 정보로 작성되므로, 지반과 관련된 굴착, 말뚝시공, 토공사 및 터널 시공중 매핑 자료 등과 같이 공사과정에서 확인되는 지반 정보를 토대로 3D지반모델을 지속적으로 업데이트해야 활용성이 높아진다고 언급함
- 지반분야에서 3D 모델의 작성과 검토사례로서 다음의 사항을 제시함
  - 사진측량 또는 레이저 스캔을 통한 3D모델(Photogrammaetry and Laser Scan Model)
  - 대규모 건설프로젝트에서의 3차원 지반모델 구축 사례(3D geological model)
  - 호주 Melbourne의 Westgate 터널 프로젝트 사례
  - Christchurch 프로젝트에서 가상현실과 3D모델의 활용



(a) 3차원 사면모델과 낙석해석



(b) City Rail Link프로젝트 통합BIM모델 구축



(c) WestGate 터널 프로젝트에서의 지반 BIM모델 구축 사례

그림 5.6 호주와 뉴질랜드의 3D모델 및 지반BIM 활용 사례

- 일반적으로 3D 지반 모델을 구축하면 프로젝트에 도움이 된다고 생각하지만, 항상 그렇지는 않음. <표 5.1>와 <표 5.2>에 지반 BIM모델의 필요성과 장단점을 제시하였음.

표 5.1 프로젝트 유형별 3D지반 모델의 적합 여부

구분	내용
3D지반 모델이 적합한 프로젝트	• 2D 단면으로 복잡한 지질상태를 나타내기 어려운 프로젝트 • 지질적 복잡성과 위험성이 높은 지역으로서 지질형성 이해가 필요한 현장 • 사고조사를 위해 정밀한 지반조사를 통한 이슈 확인이 필요한 현장 • 의미 있는 3D모델을 위한 충분한 조사자료가 있는 경우(시추, 탐사, 지표조사 등) • 최근의 퇴적현상이 있는 경우, 지형과 퇴적 형성과정 이해가 필요한 현장 • 지층 변화에 따른 시공방법이 달라지는 현장
3D지반 모델이 부적합한 프로젝트	• 현장의 지층 조건이 매우 단순하거나 변화가 거의 없는 경우 • 지질적 복잡성과 위험성이 없는 지역으로서, 지반조건이 쉽게 확인되는 경우 • 충분한 시추자료나 지반조사 자료가 없는 경우 • 단층이나 폴드등 지질적 이상이 있으나 지질형성에 대한 이해가 부족한 경우 • 시공방법이 지층조건에 따라 차이가 없는 경우

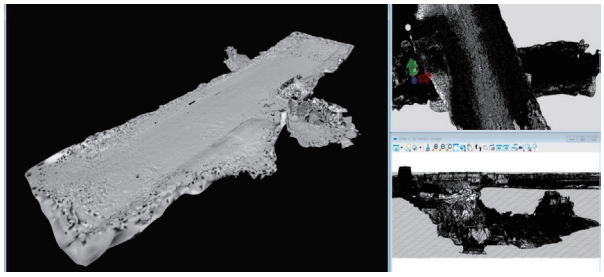
표 5.2 3D지반 모델을 이용함으로서 얻을수 있는 이점과 단점

구분	내용
이점	• (데이터의 다양한 활용) 3D 모델링을 위한 소프트웨어 활용은 지반정보를 공유하고 다양한 형태로 활용할 수 있는 기회를 제공함 • (문서화 비용 절감) 3D 모델 초기개발에는 비용이 들지만, 이후에는 신속한 모델 변경이 가능하고 다양한 단면에 대한 지층단면도 작성이 간소화됨 • (소통과 협업의 향상) 설계자 및 고객과 복잡한 지형 및 지층조건에 대해 논의할 때 소통의 수준을 높이고 이해도 향상에 크게 도움이 됨. • (모델의 통합) 프로젝트내 다양한 BIM모델을 통합하는데 매우 유익함 • (건설과정의 활용) 프로젝트 과정동안 수집되는 데이터를 지속적으로 입력함으로서 모델을 발전수킬수 있으며 신뢰도가 높아짐 • (분석의 지원) 3D지반 모델은 수문분석과 같은 분석에 활용될 수 있고, 다른 지반공학적 해석에 필요한 형상모델과 정보모델을 작성하는데 활용 가능
단점	• 과도하게 3D모델에 의존하고 모델의 신뢰성에 대한 의심을 하지 않음 • 전통적인 2D단면도는 명료하고 이해하기 쉬운 기호가 표현되어 있으나 3D모델은 오히려 복잡하고 아무런 표시가 없어 오해나 이해를 약화시키기도 함 • 3D모델에서 지질조사 위치와 지층은 표현되지만, 지층을 구성하는 물성에 대한 정보가 없을 수 있음. 이러한 초기모델과 정보모델의 차이 구분 어려움 • 불충분한 지반조사로 만들어진 3D모델은 지층구성의 신뢰성 문제가 있음 • 3D모델을 복사하여 활용하기 쉽다는 것은 모델 최신성,, 검증, 관리 문제야기

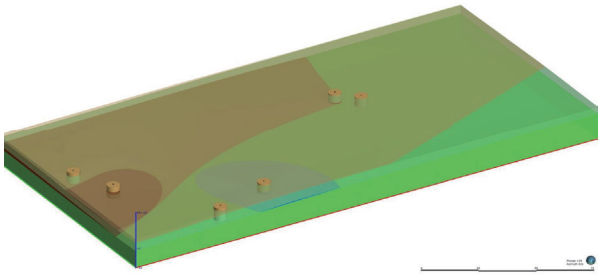
5.2 국내 지반 BIM 활용 사례

5.2.1 제주도 천연동굴 3D 디지털화 사례 (한국건설기술연구원)

- 제주도 곳곳에 분포하고 있는 화산암 동굴 주변의 지반함몰에 대응하기 위한 정보시스템을 구축하기 위한 연구 목적으로서 지반 BIM 모델을 활용. 특히, 동굴 상부에 도로가 교차하는 위치에 대하여 주변지형, 동굴 형상, 도로에 대한 디지털 모델을 구축함
- 동굴 내부의 형상에 대한 모델링은 레이저 스캐너를 활용하여 측정한 후 3D 디지털 모델로 구축하고, 동굴 주변의 지형 형상은 드론을 이용하여 정사영상과 3D 디지털 모델을 구축하였음. 지질 및 지반 조건은 Leapfrog Works 프로그램을 활용하여 구축하고 개별 3D 디지털 데이터의 통합 연계 방법을 제시함.
- 좀더 구체적으로 동굴 형상 측정을 위한 3D 레이저 스캐너는 Leica의 BLK360 및 TOPCON사의 GTL-1000을 사용하였고, 주변 지형 측정과 모델링은 드론을 활용한 사진 촬영결과를 ContextCapture를 이용하여 정사영상과 3차원 디지털 모델을 작성하였음.
- 천연동굴 지역의 지층모델링은 지반조사보고서의 시추주상도 정보를 활용하였고, 지반조사보고서가 없는 지역에 대해서는 별도의 GPR조사를 실시하여 지층을 모델링함.
- <그림 5.7>에는 재암천굴에 대한 개별모델과 통합모델을 나타내었음.



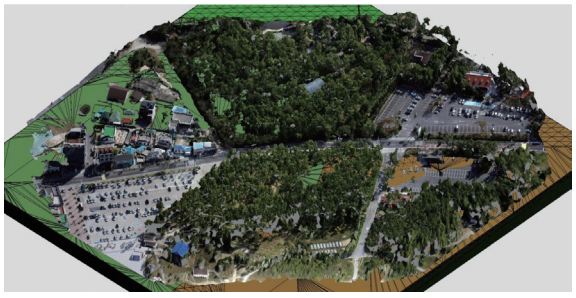
(a) 동굴 내부 레이저 스캐닝 모델 (BLK 360)



(b) 동굴 주변의 지층 모델(Leapfrog)



(c) 동굴주변 지형 현황 모델

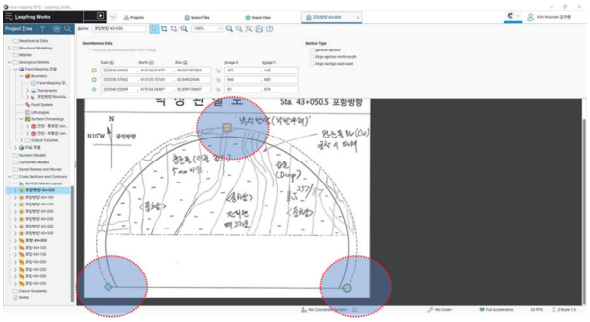


(d) 동굴과 주변의 지반 BIM 통합 모델

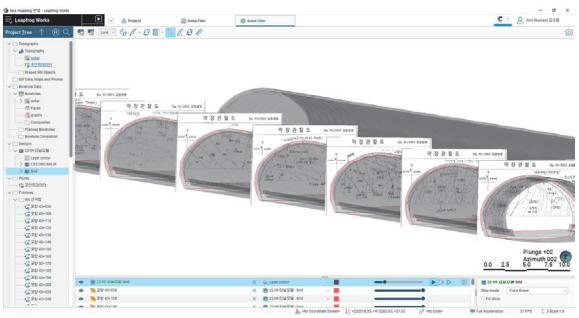
그림 5.7 제주도 재암천굴에 대한 지반 BIM 모델 구축 사례

5.2.2 터널 페이스 매핑 자료를 이용한 지반 BIM모델 구축(한국터널지하공간학회)

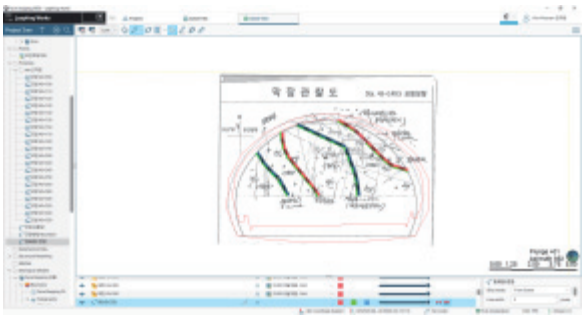
- 터널 시공 중 현장에서 매 막장별 작성하는 페이스 매핑 자료를 이용하여 터널 주변 지반에 대항 지반 BIM 모델을 작성하는 방법론을 조사하고, 시공 과정에서 지반 BIM모델을 지속적으로 업데이트하고 및 향후 유지관리 단계에 활용하기 위한 목적으로 실시함
- 기존에 터널 막장 페이스 매핑 자료는 수작업으로 작성되며 다음 단계의 발파패턴이나 지보패턴에 대한 의사결정 자료로 활용되며, 공사가 완료되면 소실되는 경우가 많음
- 지반 BIM모델의 구축은 매 막장별 수기로 작성된 face mapping 이미지 자료를 Leapfrog work에 터널의 위치에 맞게 입력하고, 각 이미지에서 지층을 수기로 구분한 후 동일 지층을 연결하는 형태로 3D 지반 BIM모델을 구현하였음
- 본 사례는 2D도면과 수기로 작성되는 현장 자료를 3차원 BIM 기반 정보 모델로 구축하여 활용가능한지 여부를 확인하는 사례로서, 지하공간 분야에 정책적으로 고려되어야 할 사항에 대한 화두를 던졌다는 점에 의미를 부여할 수 있음. 특히 터널 시공 중 획득이 가능한 지반정보를 활용해서 시공 중 또는 유지관리 단계에서 정확도 향상된 지반 BIM 모델을 구축할 수 있다는 점을 확인할 수 있는 사례임.



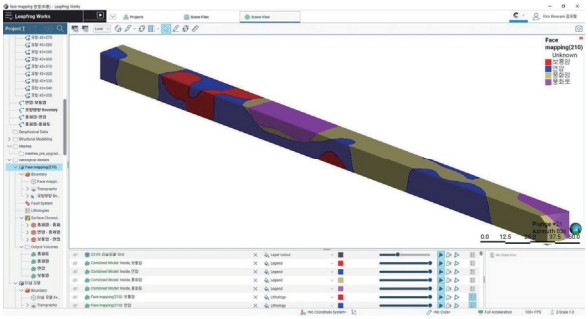
(a) 터널 페이스 매핑자료 및 기준점 지정



(b) 터널 위치별 매핑 자료 배치



(c) 각 매핑단면별 지층 구분

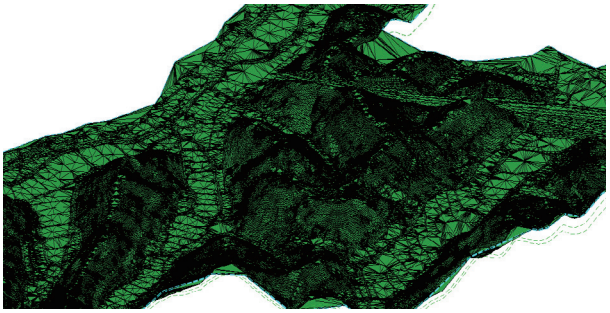


(d) 터널 주변 지반 BIM 모델

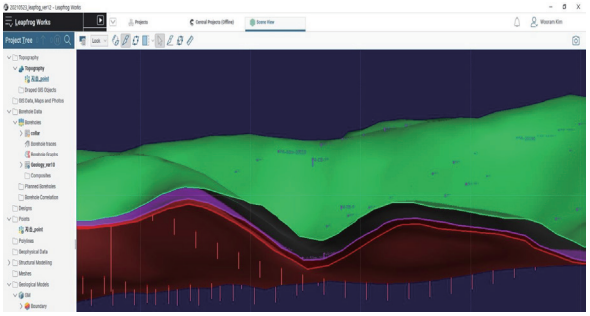
그림 5.8 시공중 터널 페이스 매핑 자료를 이용한 터널주변 지반 BIM 모델 구축 사례

5.2.3 고속도로 설계에 활용된 지반 BIM 모델 (대산-당진 4공구)

- 2019년부터 2022년까지 수행한 대산-당진간 고속도로 건설공사 기본 및 실시설계(4공구) 프로젝트는 한국도로공사에서 최초로 전면 BIM 설계로 수행되는 실시 설계 사업임
- BIM 설계는 총 연장 3.17km에 대해서 토공, 구조물공, 배수공, 포장공, 부대공 등 도로의 전 요소에 대하여 BIM으로 설계되었고, 설계 과정에서 구조물 설치 위치 적정성, 주변 지형과의 배치 및 조화, 교통 흐름 시뮬레이션 등에 BIM 정보를 활용하였음
- 일반적으로 고속도로 실시 설계단계에서 지형과 지층을 포함한 고속도로 종단면도 및 횡단면도 작성이 필요하며, 토공 계획과 수량 산출이 필요함. 이를 위해 본 프로젝트에는 3차원 지형 및 지층을 구축하였음.
- 구축된 지반 BIM 모델은 실시설계 단계 지반조사보고서를 토대로 Leapfrog Work를 이용하여 구축하였으며 지층 구성은 토사, 리핑, 발파로 구성하였고, 토공사에서 종단면도 및 횡단면도 작성, 절토량과 성토량을 계산하기 위한 수단으로 활용되었음.



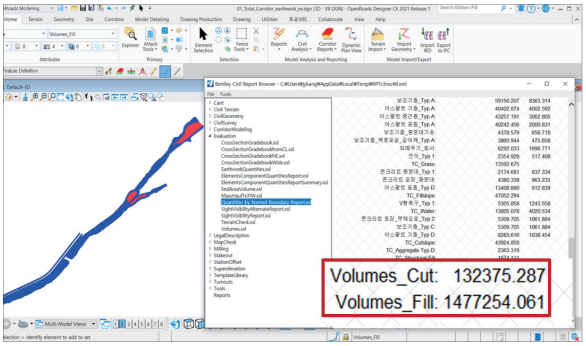
(a) 3차원 지형 모델



(b) 3차원 지층모델



(c) 도로 BIM 설계도



(d) 종단, 횡단 및 토공 수량 산출

그림 5.9 고속도로 실시설계를 위한 지반 BIM모델 작성과 활용

제 6 장 지반 BIM 모델 시범 구축

6.1 지반 BIM모델 시범 구축 개요

6.1.1 지반 BIM 시범구축 목표

1) 고속도로 건설사업 대상 지반 BIM 모델 구축 방법론

- 타당성 조사, 기본설계, 실시설계, 건설, 운영 및 유지관리의 단계로 구분하여 각 단계별 지반조사 결과를 토대로 지반BIM을 구축과 전사업단계별 지반 BIM 모델, 그리고 사업부지 전체와 구조물별 구분하여 지반BIM을 구축하였을 때 차이점을 확인하고자 하였음.
- 지반BIM모델 구축 내용은 ① 사업단계별 지반BIM모델 ② 사업구간 전체 모델링, ③ 구조물여 지반BIM 모델링(교량, 터널, 사면, 토공 등)

2) 지반분야 BIM모델 구축을 위한 표준화된 지반정보 입력, 표현 방법론 조사

- 지반조사 결과를 지반BIM으로 구축하기 위해서는 조사보고서를 토대로 정보화 항목을 추출하여 입력화일을 작성 필요. 시범구축에서는 엑셀 또는 AGS화일 표준교환 포맷을 기반으로 지반 BIM모델을 작성하여 표준지반정보 활용의 효율성 확인

3) 건설중의 지반정보를 지반BIM에 입력 및 표현하는 방법론 확인

- 지반조사보고서에는 실내시험, 현장시험, 물리탐사 등 다양한 지반조사 정보가 포함되며, 이를 지반BIM모델에 입력 또는 함께 표현하는 방법론 및 건설과정 중 확인되는 지반정보를 지반 BIM모델에 입력 또는 함께 표현하는 방법론을 확인

4) 지반 BIM모델의 활용 방안

- 지반 BIM 모델을 구축하고, 이로부터 도로노선 종단, 횡단 지층단면도 작성 방법론, 토공 설계를 위한 절토 및 성토량 구분 산정, 원지형 모델과 도로 설계 모델을 비교하여 절토량(토리발)을 산정하는 방법론 등을 확인하고, 지반 BIM 모델로부터 지반관련 수치해석을 위한 모델을 만드는 과정을 확인하고자 함.

6.1.2 시범 구축 대상 사업 및 자료 준비

○ 시범구축 사업은 고속도로 건설사업 중 전환 BIM 또는 전면 BIM으로 설계가 되어 있는 1개 공구를 대상으로 선정하였음.

- 대상 구간은 양평-이천간 고속도로 건설공사 1공구를 대상으로 하였음
- 대상구간에 대해서는 현재 설계되어 있는 BIM 모델과 사업단계(기본, 실시, 건설)에서의 지반조사 정보를 확보하였음.
- 또한, 현재 건설중인 구간으로서 터널구간과 토공(절토)구간에서 노출되는 암반상태에 대한 정보를 확보하여 지반 BIM모델 작성시 활용하고자 하였음



그림 6.1 지반 BIM시범구축 대상 현장 (양평-이천 1공구)

표 6.1 지반 BIM 모델을 시범 구축을 위해 활용한 지반조사자료

구분	자료내용	비고
BIM 모델	공종별 BIM 모델	한국도로공사 건설사업단
기본설계 시추정보	시추공 25공	국토지반정보포털시스템
실시설계 시추정보	시추공 40공	2018년 지반조사보고서
건설설계 시추정보	시추공 33공	2021, 2022 지반조사보고서
터널구간 시공자료	터널 페이스 매핑	한국도로공사 건설사업단
절토사면 시공자료	암판정 자료	한국도로공사 건설사업단

6.2 지반 BIM모델 시범을 위한 BIM S/W

지반 모델을 구축하기 위해 지반조사 자료뿐만 아니라 물리탐사 결과를 활용한 이미지 활용 단층 혹은 절리를 표현할 수 있는가 여부를 확인해야 한다. 또한 모델링 된 파일 혹은 모델을 설계 및 수치해석 소프트웨어와 연계하여 활용할 수 있는지도 중요한 부분이라 할 수 있다.

일반적인 3차원 지반 모델링 소프트웨어의 경우 지반조사 자료 중 시추공 데이터는 모두 활용할 수 있다. 그러나 이미지를 활용하여 지층을 생성하고 암반등급 혹은 물리탐사 결과에 의한 지층을 표현하거나 단층 혹은 절리를 표현하는 방법이 없거나 모호하여 활용이 불가능한 상태이다.

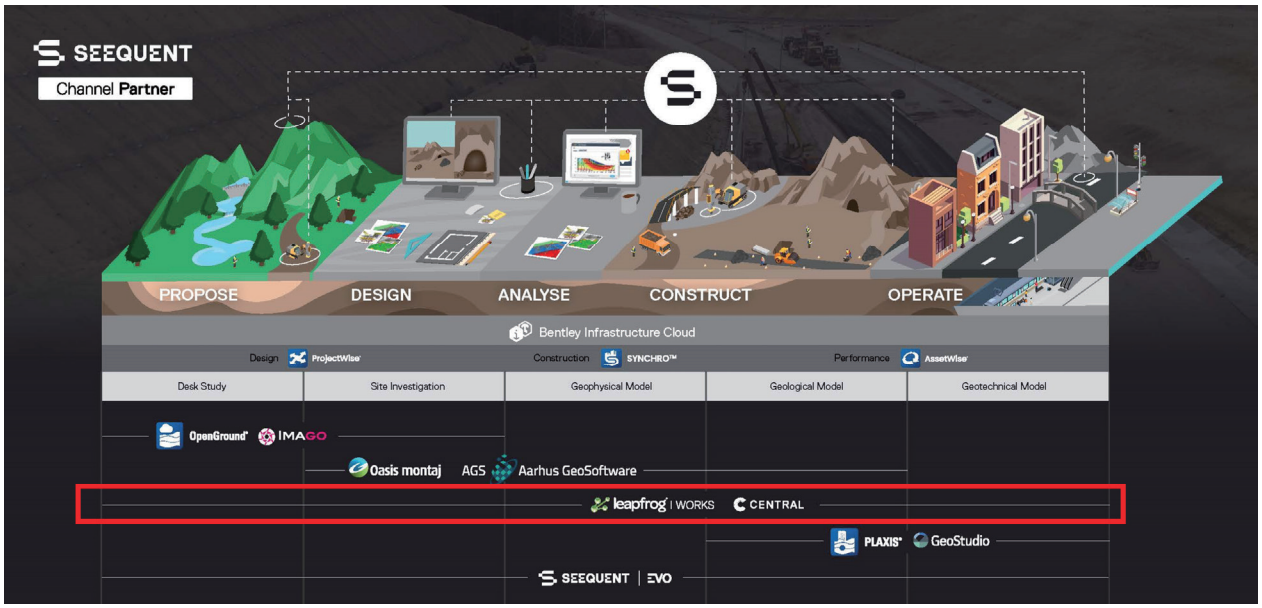


그림 6.2 전 생애주기 지반정보 활용 소프트웨어 예시 (Bentley - Seequent)

본 연구에서는 3차원 지반 모델링 소프트웨어인 Leapfrog Works를 사용하였으며, 시추공 데이터, 물리탐사 결과 활용, 이미지를 활용한 지층면 생성, 단층, 절리와 같은 불연속면 등 지반, 지질에 대한 사실적 표현이 가능하고 토목 현장의 전생애주기에 활용이 가능한 소프트웨어로 알려져 있으며, 설계, 수치해석 등 다양한 소프트웨어와 연계가 가능하도록 다양한 파일 포맷을 지원하고 있으며, 국내·외 다양한 사례의 모델을 구축하고 관리되고 있다. 표 1.5와 1.6에 Leapfrog Works 소프트웨어에서 지원하는 포맷을 정리하였다.

표 6.2 Leapfrog Works의 지원 포맷(Data Input 항목)

구분	지원 내용	지원 파일 포맷
Elevation Grid	Arc/Info ASCII Grid	.asc, .txt
	Arc/Info Binary Grid	.adf
	Digital Elevation Model	.dem
	Surfer ASCII or Binary Grid	.grd
	SRTM	.hgt
	ESRI .hdr Labelled Image	.img, .bil
	GeoTIFF Image	.tiff, tif
GIS Vector Data	Shape	.shp
	Mapinfo	.tab, mif
	ESRI Personal GeoDatabase	.mdb, .accdb
	Mapinfo Batch	.xml
	ESRI Geodatabase	.gdb
Geophysical and 2D GIS Grid	Arc/Info ASCII Grid	.asc, .txt
	Arc/Info Binary Grid	.adf
	Digital Elevation Model	.dem
	Intergraph ERDAS ER Mapper 2D Grid	.ers
	ESRI .hdr Labelled Image	.img, .bil
	SRTM	.hgt
	UBS grid(.ubc) and Open Mining Format Grid	.omf
	Surfer ASCII or Binary Grid	.grd
	GOCAD Voxit	.vo
	Geosoft Grid	.grd
	Grid eXchange	.gxf
Borehole Data	AGS	.ags(v3.1 & 4.0)
	gINT Project	.gpj
	CSV Text	.csv
	ASCII Text	.asc
	Plain Text	.txt
	Data	.dat
	ODBC	.mdb, .accdb
	TSV Text	.TSV
Point	CSV	.csv
	ASCII Text	.asc
	DXF	.dxf
	DWG	.dwg
	Leapfrog Works 3D Point Data	.pl3, .ara
	ODBC	.mdb, accdb
Map/Photo/ Cross Section	PNG	.png
	JPEG	.jpg, .jpeg
	TIFF and GeoTIFF	.tiff, .tif
	Bitmap	.bmp
	Graphics Interchange Format	.gif
Design	DXF	.dxf(v. R13-R27)
	Civil3D and AutoCAD DWG	.dwg(v. R13-R27)
	Bentley Design	.dgn(v.7-8)
	Alignments in LandXML	.xml
Mesh	Leapfrog	.msh, .ara
	Leapfrog Model	.lfm
	DXF	.dxf
	DXF Polyface	.dxf
	DWG	.dwg
	Open Mining Format surface	.omf
	Texture Alias Wavefront Object	.obj

구분	지원 내용	지원 파일 포맷
Polyline	Drawing Interchange Polyline	.dxf
	DWG	.dwg
	Leapfrog Polyline	,lfpl, .csv, .txt
Flow Model	ModFlow Model	.nam, .mf, .mfn
	FEFLOW Medel	.fem, .dac
Elevation /Thickness Grid	Arc/Info ASCII Grid	.asc
	ESRI .hdr Labelled Image	.bil
	ENVI Raster Image	.img
	Surfer ASCII Grid	.grd
GIS Vector Data	Shape	.shp
Map and Photo	GeoTiff	.tif, .tiff
Borehole Data	CSV	.csv
	IFC v4	.ifc
Point	CSV	.csv
	DXF	.dxf
	DWG	.dwg
	DGN	.dgn
Polyline	Leapfrog Polyline	.lfpl, .csv
	Drawing Interchange Polyline	.dxf
	DWG	.dwg
	DGN	.dgn
Scene	Upload to View web application	web browser
	Leapfrog Scene	Viewer/Aspect
	Bentley Design	.dgn(v.7-8)
	Alignments in LandXML	.xml
Mesh (Model surface, Output volume, Interpolation surface)	Leapfrog	.msh
	DXF	.dxf
	DWG	.dwg
	DGN	.dgn
	IFC v4	.ifc
	Alias Wavefront Object	.obj
Movie	Movie	.wmv
Rendered Image	Image	.png, .jpg, .jpeg
Cross Section Layout	PDF	.pdf
	Scalable Vector Graphics	.svg
	PNG Image	.png
	GeoTIFF	.tiff, .tif
Cross Section Evaluation (2D or 3D)	DXF	.dxf
	DWG	.dwg
	DGN	.dgn
Flow Model	ModFlow Model	.nam
	FEFLOW Model	.fem

6.3 지반 BIM 모델 시범 구축 프로세스

6.3.1 지반 BIM모델 입력 자료 준비

(1) 지반 데이터 분석 및 취합 - Collar 데이터

Collar 데이터는 Leapfrog에서 모델링을 진행할 때 시추공의 위치를 결정짓는 역할을 한다. 제공받은 시추주상도를 통해 확인할 수 있는 시추공의 이름 및 좌표(X,Y,Z), 표고(H), 굴진심도 등 Collar 데이터에 필요한 자료들을 추출한다. 자료 정리에는 Excel을 사용하였으며, 확장자는 CSV 파일로 저장하였다.



Borehole	x	y	z	target depth
NCB-1	231721	522986	185.5	23
NCB-2	233539	524199	213.7	30
NCB-3	233555	524110	210	33
NCB-4	233817	524345	214.2	34
NCB-5	233912.1	524417.2	203	35
NCB-6	234311	524882	201	30
NCB-7	234365	524708	209.9	30

그림 6.3 시추 주상도 Collar 데이터 확인 및 Excel sheet 정리

(2) Geology 데이터 작성

Geology 데이터는 Collar 데이터의 시추공에 지층 정보를 부여하여 모델링하는 데이터이다. 깊이에 따라 각 지층의 정보를 입력한다. 시추주상도를 참고하여 각 지층분류 및 깊이를 확인한 뒤 Excel에서 정리한 후, CSV 파일로 저장한다. 각 시추공 별 지층의 깊이를 더한 값과 굴진 심도가 일치하게 작업한 형상을 보여주고 있다.

Geology 데이터는 활용 목적에 따라 지층을 다양하게 구분하여 정리할 수 있으며, 시추주상도 상에 기술된 세부 지층 정보를 활용하여 정리한 후, 프로그램 상에서 지층별로 그룹으로 묶어 모델링에 활용할 수 있다.



Borehole	from	to	target depth
NCB-1	0	5	풍화토
NCB-1	5	7.5	풍화암
NCB-1	7.5	20	연암파쇄대
NCB-1	20	23	연암층

그림 6.4 시추 주상도 지층 정보 및 Geology 데이터 정리

(3) AGS 교환 파일 포맷 정리

AGS 포맷의 파일은 지반조사에서 얻어지는 모든 결과를 확인 및 활용할 수 있는 데이터다. 지반 BIM 모델을 구축함에 있어 가장 기본으로 활용할 수 있는 시추공 데이터부터 현장 및 실내 시험의 결과를 포함하고 있어 지반 BIM 모델 구축 시 필요한 데이터라 할 수 있다. AGS 파일의 정보를 지반 BIM 모델링 소프트웨어를 통해 불러오면 정보를 확인할 수 있다.

대부분의 AGS 정보는 지반 모델을 구축하는데 활용되지 않는 데이터이다. 그러나 불러오기 수행시 모든 데이터를 반영하여 불러오게 된다면 모델에는 반영되지 않지만 정보는 살아있는 형태로 관리가 가능하다. 지반 BIM 모델링 소프트웨어를 통해 시추공의 지층 정보를 확인하면 AGS 파일을 통해 확인했던 정보를 그대로 반영하고 있는 것을 확인할 수 있다.

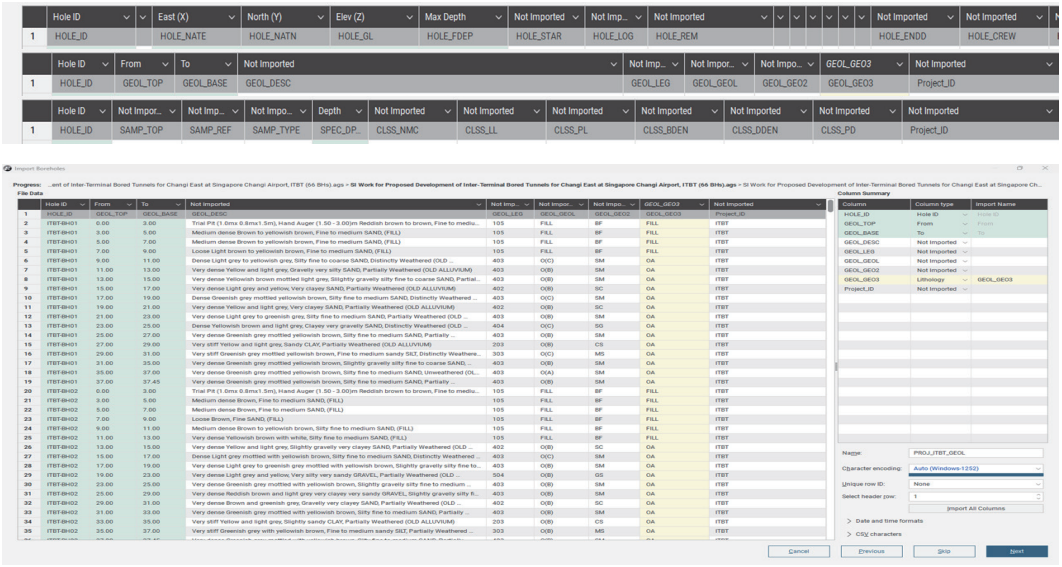
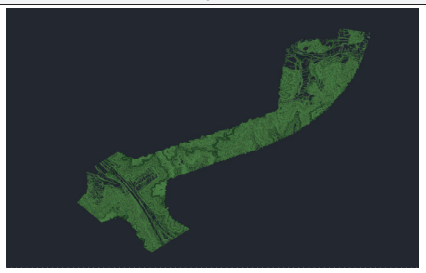
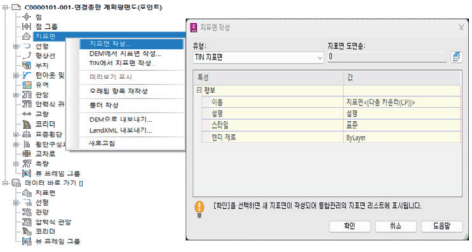
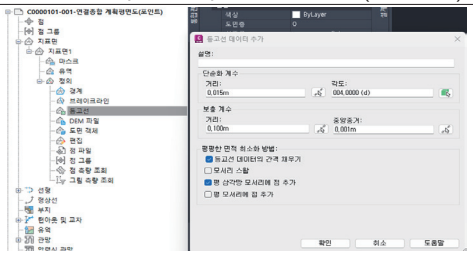
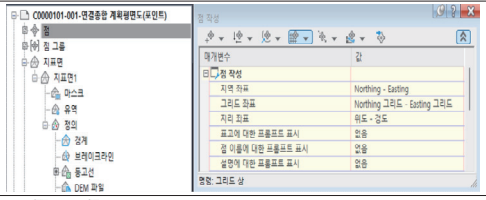
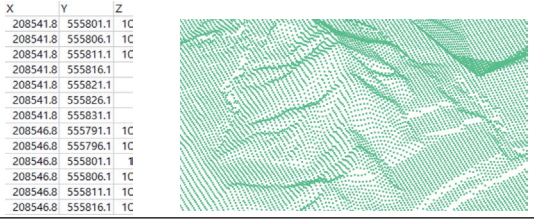


그림 6.5 AGS 파일 불러오기(Leapfrog Works)

(4) 지형 데이터 추출

지표면 모델링에는 TIN으로 구성된 지형 Surface 데이터와 지형 포인트 데이터를 활용할 수 있으며, 해당 모델에서는 Autodesk의 Civil 3D를 이용하여 계획 구간의 수치지형도 등고선을 따라 포인트를 추출한 후, 모델링 프로그램에서 불러와 이를 기반으로 지표면을 구성하였다. 수치지형도를 통해 포인트 데이터를 추출하는 과정은 다음과 같다.

표 6.3 지형데이터로부터 포인터 데이터 추출 과정

작업순서	화면
수치지형도 파일을 Civil 3D를 통해 오픈.	 그림 2.5 Civil 3D에서 불러온 수치 지형도
지표면 작성 옵션 설정 후 지표면을 작성 (작성 옵션은 Default 값으로 진행).	 그림 2.6 지표면 작성 옵션 설정(Civil 3D)
지표면 작성이 완료된 후 등고선 데이터를 추가 (수치지형도를 전체 선택하여 진행).	
점 작성 작업 시작 ('표고에 대한 프롬프트 표시','점 이름에 대한 프롬프트 표시', '설명에 대한 프롬프트 표시'옵션은 없음으로 체크)	
점데이터 추출 (CSV화일 저장) 모델링 프로그램을 통해 가시화	

6.3.2 지반 BIM 모델 작성 프로세스

시범사업 지반 BIM 모델 구축은 양평-이천 1공구 프로젝트의 데이터를 기반으로 모델링을 진행했으며, 자료는 3단계로 구분된 데이터를 확보하였다. 양평-이천 고속도로 건설공사(1공구) 현장에서 제공받은 지반조사 및 시공 중 추가로 확보된 데이터는 2018년 실시설계 지반조사 데이터(40공)와 2021년과 2022년 시공 중 추가 조사된 시추공 데이터(33공)이다.

대상 지역의 주변 시추공이 존재하는지 여부를 확인하기 위해 국토지반정보 포털시스템의 검색유통을 통해 인근 위치의 지반조사 정보를 검색했다. 양평-이천 고속도로 건설공사 (1공구) 지역 주변에는 해당 공사와 관련된 지반조사 정보만 확인이 가능했으며, 현장에서 제공받은 자료 이외에 2015년 실시된 기본설계 지반조사 결과 25공의 시추공 정보를 확보할 수 있었으며, 지반 BIM 모델은 다음의 과정을 기반으로 구축된다.

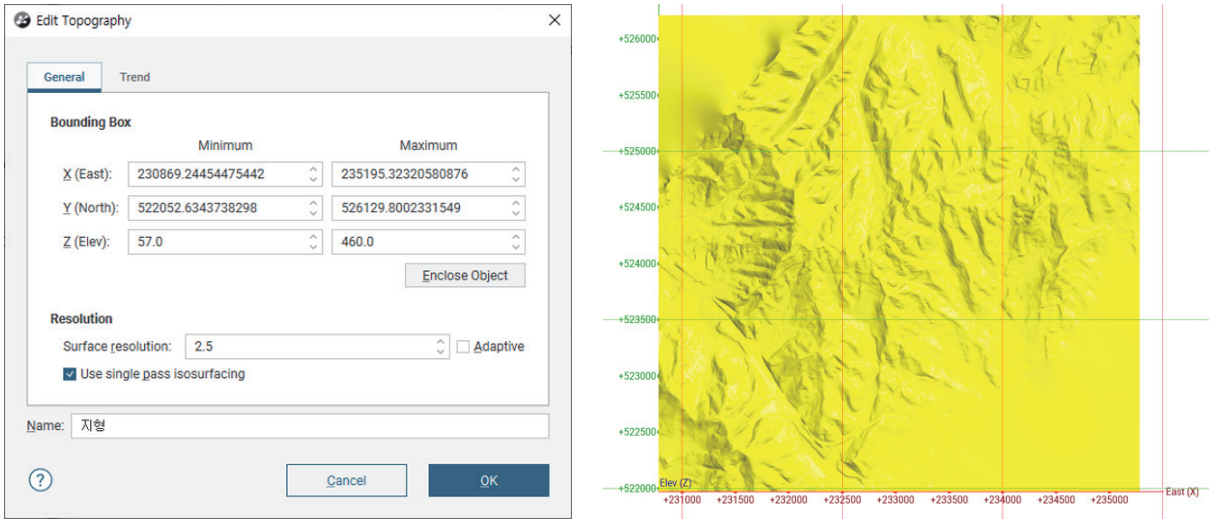
① Topography(지형) 생성
② 시추공 데이터 불러오기
③ Geological Model 생성

지형 생성시 준비 과정을 통해 획득한 원지형의 포인트데이터를 활용하여 면을 구성하게 되며, 시추공데이터 불러오기 과정에서는 Collar 데이터와 Geology 데이터를 불러오게 된다. Geological Model 생성을 통해 모델을 구축하고자 하는 영역에 모델을 구축하기 위한 형상을 구축하고 이 형상은 생성된 지형을 기준으로 하부에 블록이 생성된다. 이 블록에 Surface Chronology라는 지층을 구분하는 면을 생성하는 작업을 수행하며 이를 기반으로 블록에 색상을 채워 지반 BIM 모델 구축을 완성하게 된다.

(1) 지형 생성 (Topography)

모델링에 지형을 반영하기 위해서는 Topography 생성 작업을 수행하며 이는 앞에서 불러온 포인트 데이터를 기반으로 진행된다. 지표면 생성에는 위치, 크기, 해상도 등을 사용자가 설정할 수 있다.

지형을 Surface 모델을 활용하여 작성한 경우, 별도의 크기 및 해상도를 조정하지 않아도 된다. 해상도는 면을 구성하는 삼각망의 크기를 의미하며 값이 작을수록 정밀한 면을 구성할 수 있다.

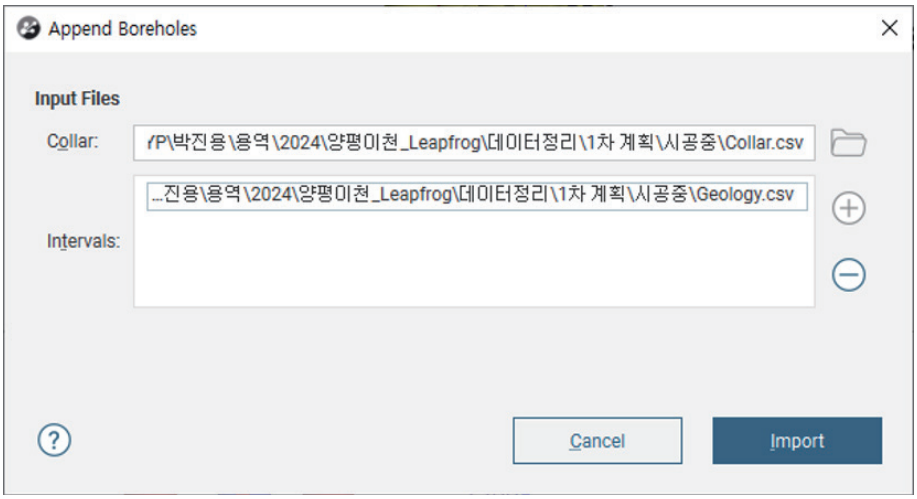


(a) Topography 생성 옵션 (b) 생성된 Topography

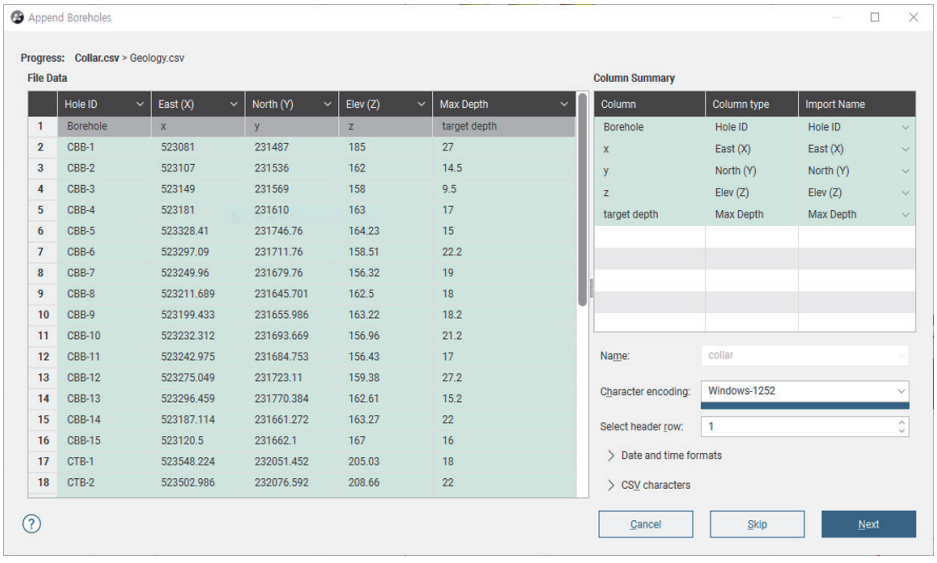
그림 6.6 Leapfrog Works를 이용한 지형생성

(2) 시추공 데이터 불러오기 (Borehole)

이전 단계에서 정리한 Collar와 Geology 데이터를 모델링 프로그램에서 불러온다. Collar와 Geology 데이터 파일은 같은 경로에 같은 형식의 이름(예; Collar_양평이천 1공구.csv 및 Geology_양평이천 1공구.csv)으로 저장되어 있다면Collar 데이터만 선택해도 자동으로 Geology 데이터를 같이 불러온다.



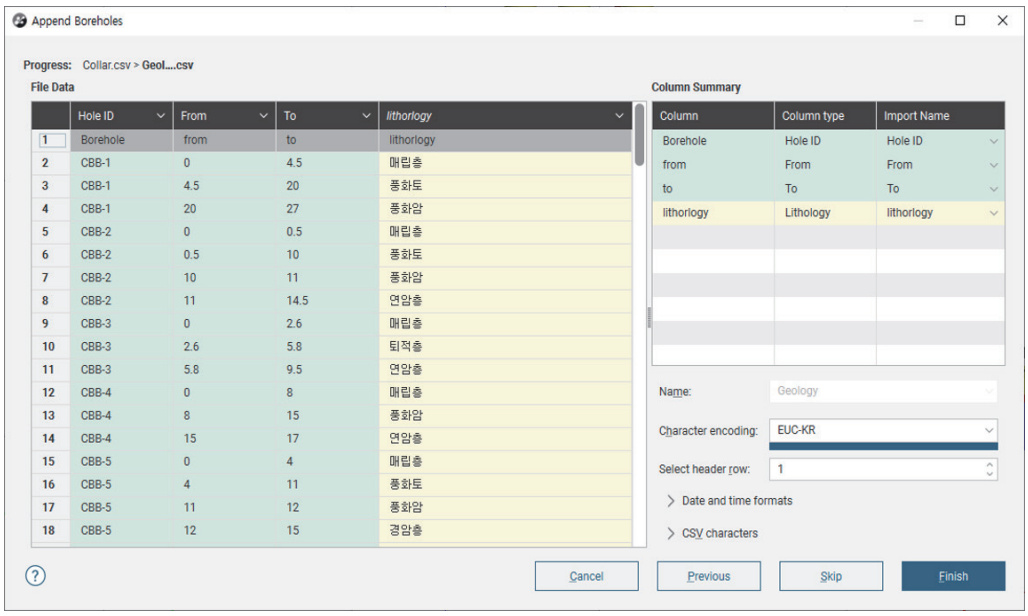
(a) Collar 데이터 및 Geology 데이터 불러오기



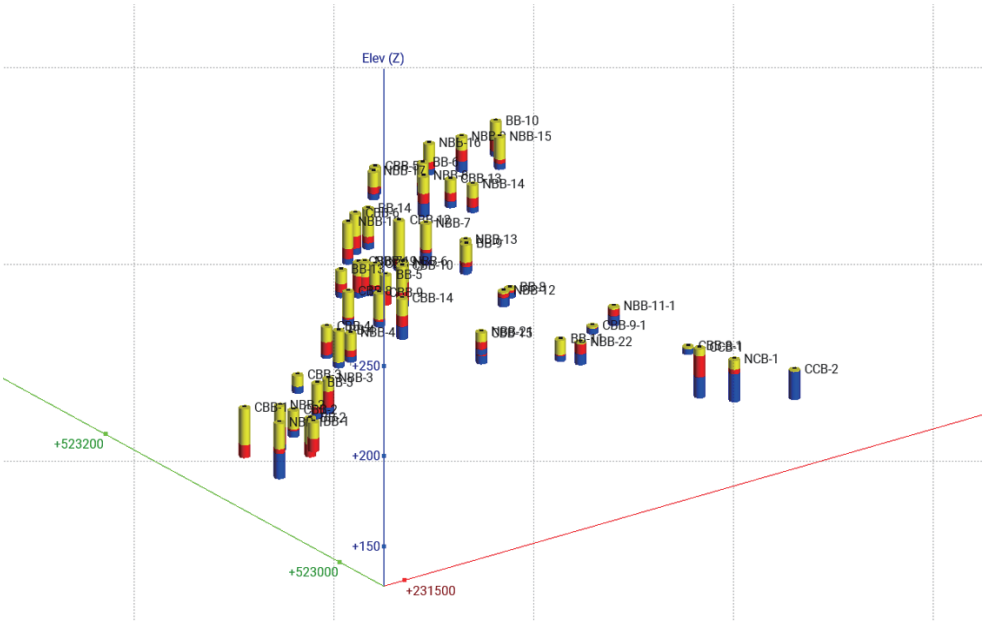
(b) Collar 데이터 확인(시추공 명, X, Y, Z, 시추심도)

그림 6.7 Leapfrog에서 시추공 데이터 불러오기 화면

불러온 Collar 데이터는 시추공 명, X, Y, Z 좌표 및 시추공의 심도를 확인하며, Geology 데이터는 해당 시추공 명, 지층별 깊이, 지층 명을 확인한다. 확인 작업이 끝난 후 불러온 시추공 데이터를 가시화하여 확인할 수 있다.



(a) Geology 데이터 확인(시추공 명, 지층별 깊이, 지층 명)



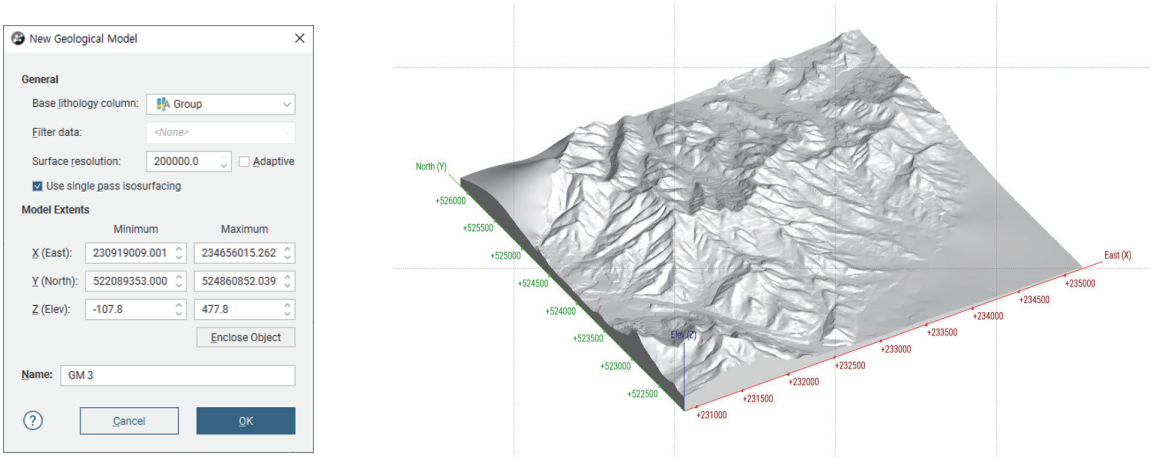
(b) 가시화된 시추공 데이터(Leapfrog Works)

그림 6.8 Leapfrog에서 시추공 데이터 확인 및 가시화 화면

(3) 3D 지층모델 생성(Geological Model)

이전 단계에서 생성한 지형 데이터와 불러온 시추공 데이터를 바탕으로 계획 구간의 영역을 생성한다. 처음 생성한 Topography의 영역을 기준으로 같은 크기의 직사각형 형태의 지형이 반영된 하부 블록이 생성된다.

해당 블록은 지층을 반영하기 위해 적용할 Geology 데이터 명칭, Surface를 구성하기 위한 해상도, 모델의 영역, 모델 이름 등의 옵션을 설정해야 한다. 또한, 모든 옵션을 적용하고 생성된 지형 하부의 블록을 확인할 수 있다.



(a) Geological Model 생성 옵션 (b) 생성된 Geological Model(지층 반영 전)

그림 6.9 3D지층을 위한 하부 블록 생성

실제 설계에서는 활용되는 영역이 비정형 형태로 구성되며, 이를 모델에 반영하기 위해서는 해당 영역의 외곽선을 활용하여 해당 블록을 자르는 작업을 수행해야 한다.

잘라진 해당 블록에 시추공 데이터 중 Geology 데이터에 대한 정보를 Surface Chronology 작업을 통해 지층 정보를 반영하면 지층과 지층 사이를 구분하는 면을 구성할 수 있다. 지층 정보를 반영하는 방법에는 대표적으로 두 가지 방법이 사용된다. 첫 번째 [From Base Lithology] 방법은 지표면의 곡률은 고려하지 않고, 시추공의 지층 정보를 기반으로 지층을 구성하는 방법이며, 두 번째 [From Offset Surface] 방법은 지형의 곡률과 시추공의 지층 정보를 동시에 반영하여 모델을 구성하는 방식이다. 두 방식은 지층을 선택하는 방식은 동일하지만, [From Offset Surface]의 경우 지형의 곡률을 고려한 생성 방식이기에 기준이 되는 면을 선택하는 면에서 차이가 있다.

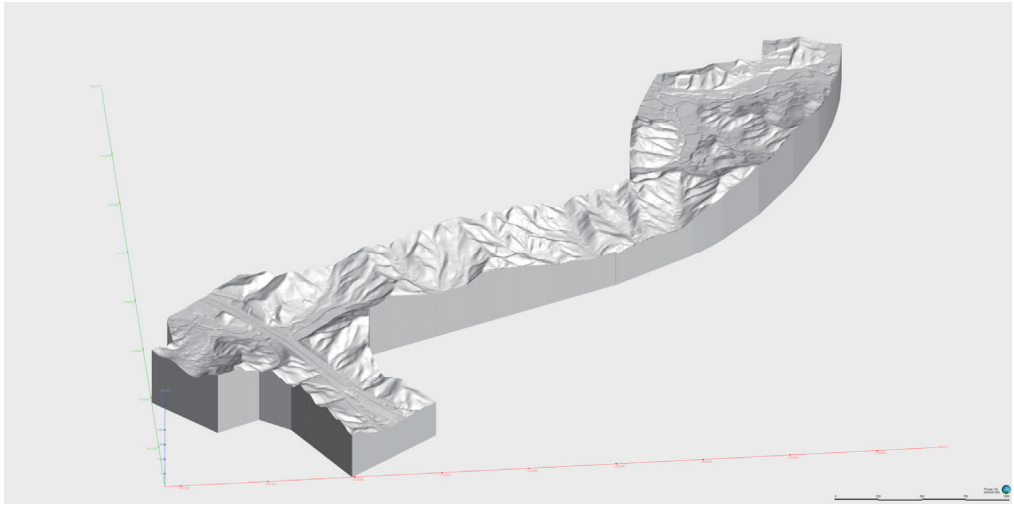
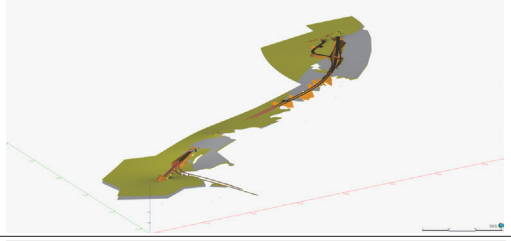
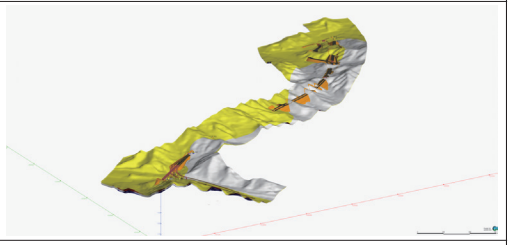
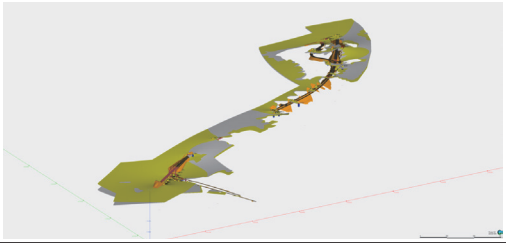
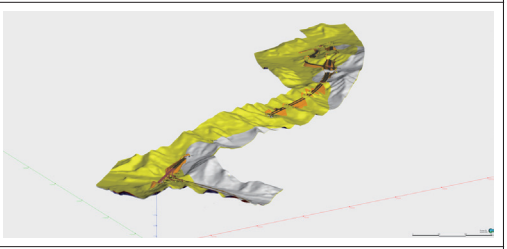
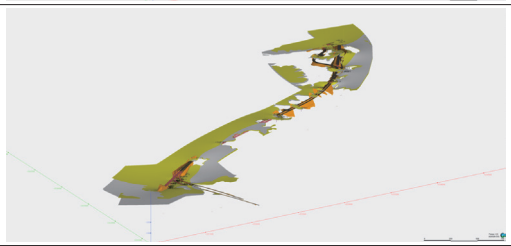
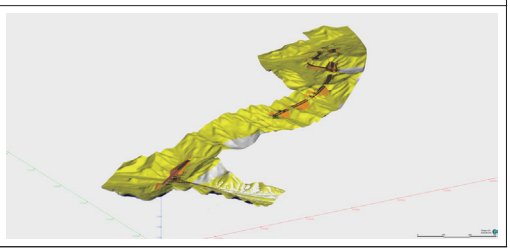


그림 6.10 노선 형상에 따라 3D 하부블록 생성

모델은 <토사-리핑-발파> 3개의 지층으로 구분했으며, 각각의 지층 사이를 구분하는 지층면 2개를 생성했다. 모델은 [From Base Lithology]와 [From Offset Surface]로 구분하여 1차(기본설계), 2차(실시설계) 및 3차(확인조사) 모델로 구분하여 생성하였다.

표 6.4 사업단계별 3D 지층 모델의 작성

구분	From Base Lithology	From Offset Surface
1차 (기본설계)		
2차 (실시설계)		
3차 (확인조사)		

6.4. 지반 BIM 모델 구축

6.4.1 전구간 지반 BIM 모델

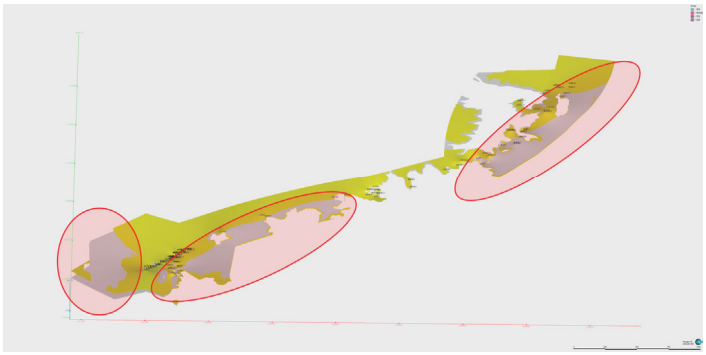
앞의 절차에 따라 노선 전구간에 대한 3D 지층모델을 생성하였을 때 [From Base Lithology]로 모델을 생성한 경우 지면과 수평한 형태로 지층을 구분하는 면이 생성된 것으로 확인되고, [From Offset Surface]의 경우 지형을 기준으로 지층을 구분하기에 전체적으로 지형과 유사한 형태의 면이 구성된 것으로 확인할 수 있었다.

이때, 아래층의 지층이 상부의 지층보다 위에 형성되는 경우가 발생한다. 소위 “지층 역전 현상” 인데, 각각의 지층면을 구성하는 과정에서 시추 정보가 부족하거나 중간 리핑층이 없는 구간을 통해 역전이 일어난 것처럼 확인되는 구간이라 볼 수 있다. 전체적으로 비교했을 때 [From Base Lithology] 방법을 사용하여 모델을 구축하는 경우 모델이 생성되지 않는 구간이 넓어지는 것을 확인할 수 있으며, [From Offset Surface] 방법으로 모델을 구축한 경우, 시추공이 많이 반영될수록 역전이 일어나는 구간이 확연하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

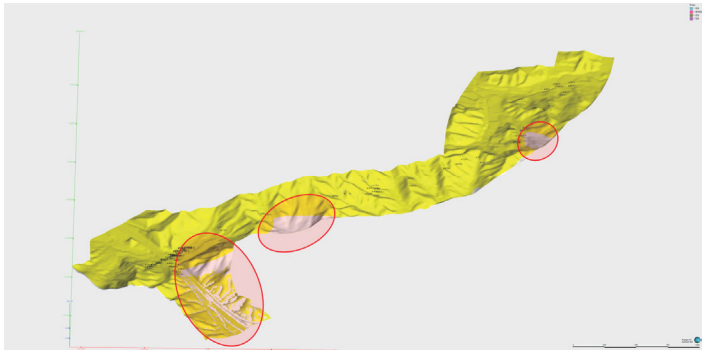
설계에 활용되는 지반 BIM 모델의 경우, [건설산업 BIM 시행지침]에 따르면 역전 현상이 나타나지 않도록 보간하여 지층을 구성하도록 명시하고 있다. 그러나 모델링에 사용된 지반조사 데이터의 경우 도로의 노선을 따라 선형 형태로 시추가 이루어진 데이터로 구조물 중심으로부터 일정 간격의 폭을 모두 포함하여 지층이 구성되도록 하고 있기 때문에 데이터의 부족으로 인한 역전이 필연적으로 발생할 수 밖에 없는 상황이다. [From Offset Surface]를 사용한 모델의 경우 1차에서 3차까지 모델을 업데이트하며 확인한 결과 모델에 반영된 시추 데이터의 개수가 증가하며 점차 역전이 일어나는 구간이 줄어드는 것을 모델을 통해서 확인할 수 있다. [From Offset Surface] 방법은 기본적인 지층 구분면의 형태가 지형을 따라 생성되며, 시추공 데이터가 존재하는 구역만 해당 지층에 따라 면의 높이가 결정되기 때문이다. 또한 지반조사를 통해 제공되는 2차원 설계 횡단면과 종단면은 지형을 따라 생성된 지층의 형태로 구성되어 작성되고 있어 [From Offset Surface] 방식을 활용한 모델링을 통해서 활용이 가능한 지층 모델을 구축할 수 있을 것으로 판단한다. 다만 그럼에도 발생되는 작은 범위의 역전이 발생한 지층면에 대해 역전이 일어나지 않도록 구성하는 방안을 검토해야 할 것으로 판단된다.

역전 현상이 일어나는 구간의 경우 시추가 되지 않은 구역이 대부분인데, 교량과 도로, 사

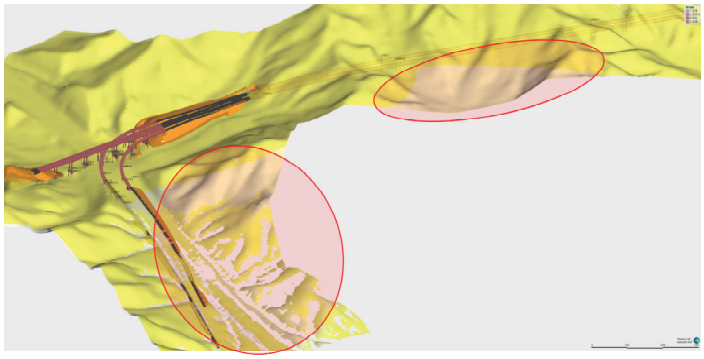
면 등 구조물 주변에서 다수의 시추가 이루어지고 있으며, 터널 구간의 경우 시추를 쉽게 할 수 없는 지형적 특성이 존재하기 때문에 시추를 할 수 없는 구역이 존재할 수 있다. 전체 구간에 대한 모델을 구축하는 경우 이렇게 시추가 이루어지지 않은 공간에서 역전이 발생할 수 있다. 터널과 같은 시추가 이루어지지 않은 구간의 노선이 공구의 시작과 끝에 존재하는 것이 아니기 때문에 도로설계 분야에 있어 지반 분야 BIM 모델은 구조물별 별도의 모델을 관리하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.



(a) [From Base Lithology] 모델의 역전 구간



(b) [From Offset Surface] 모델의 역전 구간

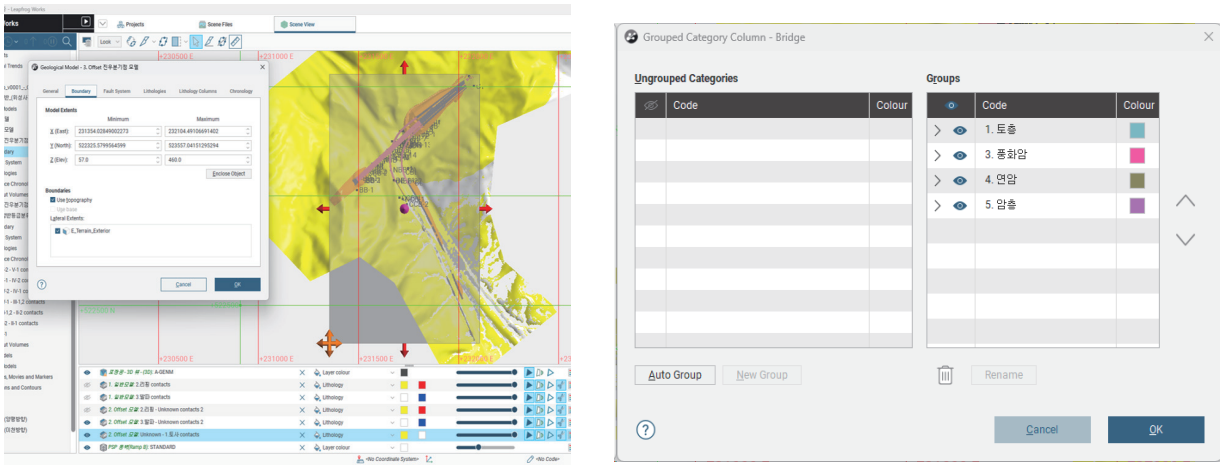


(c) 역전 현상이 발생한 지층 구역 확인

그림 6.11. 전구간 지반 BIM모델에서의 역전현황 확인

6.4.2 교량구간 지반 BIM 모델

교량 구간에 대한 모델 구축은 기존에 구축한 3차 모델(Offset 방법 사용)을 활용하여 해당 영역을 다시 설정하고, 모델링 영역에 대한 지층명 그룹을 토사-풍화암-연암-기반암)으로 새롭게 정의한 후 진행하였다.



(a) 교량 구간 영역 설정 (b) 교량 구간 지층명 재설정

그림 6.12 교량구간 지반 BIM 모델 생성

새롭게 정의된 영역은 노선의 시점인 '진우 분기점' 부터 '신둔터널' 시점의 위치가 살짝 겹칠 수 있도록 설정했다. 해당 영역에서 모델을 구축할 때 활용될 지층 명칭은 '토층, 풍화암, 연암, 암층' 총 4개로 구분하였다. 지층명의 경우에는 데이터 준비 과정에서 Geology 데이터를 정리할 때, 시추주상도 상에 표현된 지층명을 모두 정리하게 된다면, 모델링 프로그램 상에서 활용 목적에 알맞게 지층별 그룹을 생성하여 활용할 수 있다. 모델링 과정은 전술한 3차원 지층 모델링 과정 중 [From Offset Surface] 방식과 동일하게 진행되며, 토사-풍화암을 구분하는 면, 풍화암-연암을 구분하는 면, 연암-암층을 구분하는 면 총 3개의 면이 구성된다. 그림 2.30에서는 설명한 대로 구성된 교량부 지층 모델을 나타내고 있다.

교량구간에 대핸 지반 BIM모델링 결과 시추공 데이터가 전혀 존재하지 않는 왼쪽 하단 영역을 제외하고 교량이 존재하고 있는 모델 상단 부분은 역전이 발생하지 않고 지층이 구성된 것을 확인할 수 있다. 교량 구간에 대한 지반조사는 매 교대, 교각마다 시추공 데이터가 있어 3차원으로 모델링하는데 있어 큰 문제가 없는 것으로 확인된다.

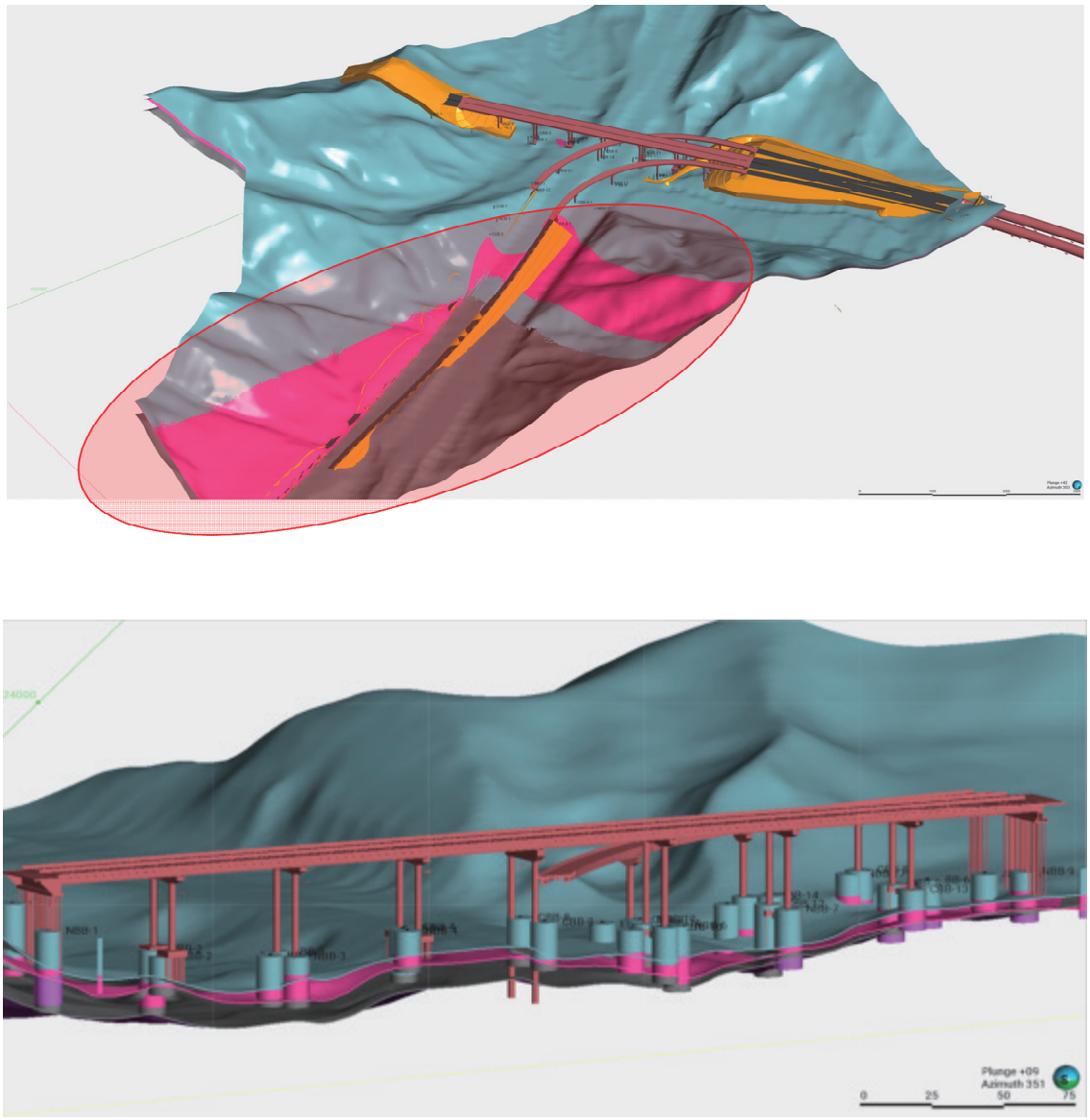


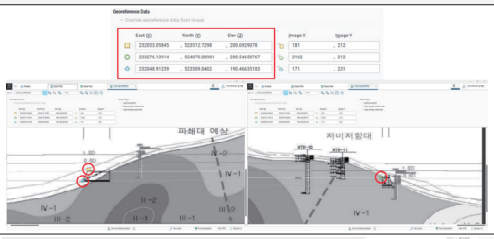
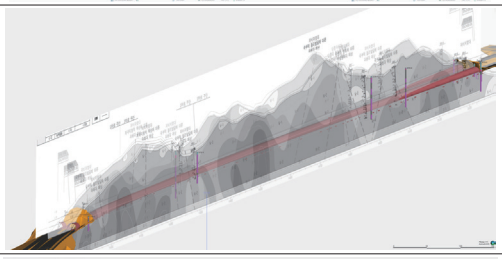
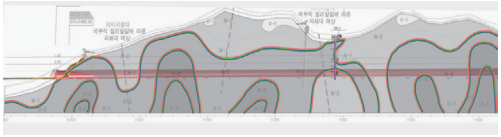
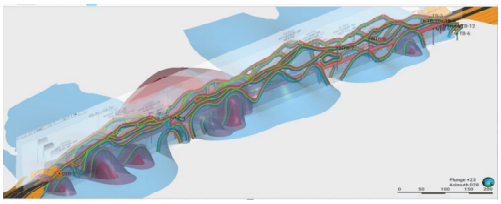
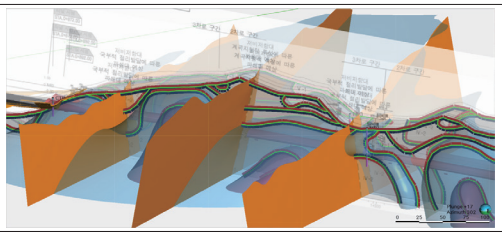
그림 6.13 교량부 3차원 지층 모델링 결과

6.4.3 터널구간 지반 BIM 모델

터널 구간의 경우 시추가 원활히 진행되지 않아서, 지층 모델을 구축하기에 부족한 수량의 데이터가 존재하고 있으며, 터널이 시공되는 부분은 발파암으로 구분되는 연암, 경암, 보통암이 존재하는 구간이라 할 수 있다.

터널의 경우 발파 및 지보패턴을 산정하기 위해 지반조사 시 물리탐사 결과를 기반으로 암반등급도를 이미지로 제공하고 있다. 터널 구간에 대한 지반 BIM모델은 암반등급도를 기반으로 모델링을 진행했다. 모델링 과정은 앞서 진행한 지층 모델링 과정과 다르기 때문에 다음에는 터널구간에 대한 지층모델링 과정을 정리하였다.

표 6.5 터널구간 지반 BIM모델 작성 과정

내용	모델링
① 암반등급도 이미지 불러오기(Leapfrog) - 이미지 불러오기 기능을 활용 - 암반등급도 캡쳐 이미지 불러오기 - 이미지에 좌표 인식 및 세팅	
② 양방향 터널에 대한 이미지 세팅 - 터널 양방향 이미지 불러와서 - 이미지 좌표 인식 및 세팅	
③ 이미지에서 암반등급별 라인 생성 - 암반등급 명칭 설정(lithologies) - 암반등급 구분선 수작업 작성	
④ 암반등급별 3차원 구분면 작성 -Surface Chronology 사용 암반등급 면구성	
⑤ 주요 파쇄대 생성하기 - [Structural Modelling] 메뉴를 통해 원형의 디스크를 삽입하여 파쇄대 구현 -	

6.4.4 토공구간(절토사면) 지반 BIM 모델

토공구간의 경우 성토와 절토로 구분되며, 본 연구에서는 절토사면에 대해서 설계단계에 구분된 지층 구분이 시공 중 암판정을 통해 지층선이 변경된 것을 고려하여 지층선 변경 모델을 구축하는 작업을 수행하였다.

사면 모델은 토사-리핑-발파로 이뤄진 기존 모델을 그대로 활용이 가능하며, 다만 모델의 적확성을 위해 사면 영역을 별도로 분리하여 개별 모델을 구축하도록 한다. 양평-이천 고속도로 건설공사 (1공구) 모델의 경우에는 진우 분기점 위치에서 암판정을 통한 지층선 변경 데이터가 확보되었으며, 이를 기반으로 모델을 수정하였다. 모델 구축 방법은 터널 구간의 모델에서 활용한 이미지 삽입을 통해 지층선을 그려서 지층면에 반영하는 방식을 동일하게 사용하였으며, 지층 선이 암반등급에서 토사와 리핑을 구분하는 선과 리핑과 발파를 구분하는 선으로 변경된 점이 이전 모델링 방식과 다르다. 대상 사면은 양평-이천 1공구 진우 분기점 0+900 위치의 암선 변경 도면을 불러온 후 기존에 모델링된 지반면과 변경된 지반선을 그린 모습을 함께 가시화하였으며, 이러한 작업을 통해 기존 지반면에 반영하면 모델이 변경되고 변경된 지반 선 위치로 지반이 이동하는 것을 확인할 수 있다.

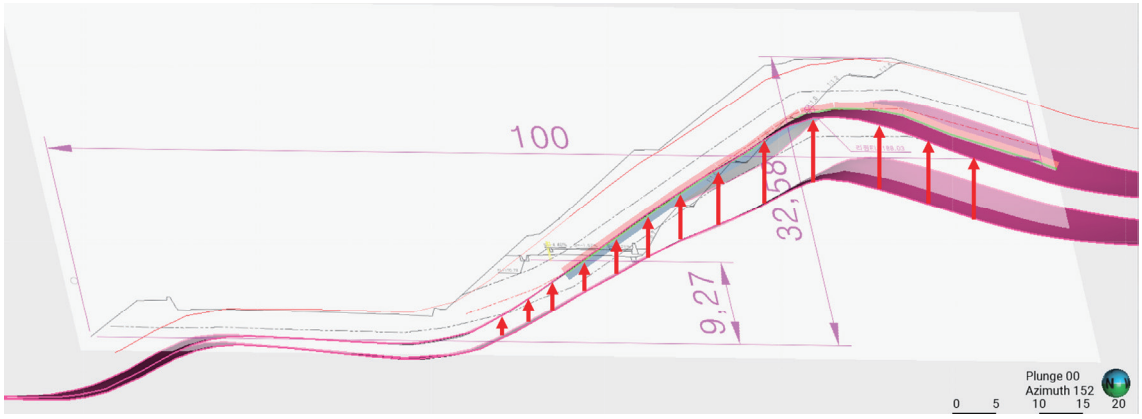


그림 6.14 지반 BIM 모델 기반의 지층 변경선 반영

터널 및 사면과 같이 설계단계 또는 시공단계에서 이미 작성된 이미지 형태의 정보를 토대로 지반 BIM모델을 구축하는 경우에 Leapfrog Works의 특성상 필요한 내용이 존재한다. CAD 혹은 PDF로 제공된 단면을 모델링 소프트웨어에서 반영하기 위해서는 CAD, PDF, 이미지 형태로 제공된 내용에서 3개의 임의 지점에 대하여 3D 디지털 모델에서 매칭되는 점을 정확하게 확인해야만 좌표와 위치가 정확하게 반영될 수 있다.

일반적으로 도면의 정보 중 기준이 될 수 있는 정보를 반영하기 위한 포인트(예, 선형 중심 포인트, 중심으로부터 좌우 폭, EL 정보 혹은 구조물 모델이 함께 표현)가 표현되지 않아 임의의 기준을 잡은 상태로 모델을 구축했기 때문에 반듯하게 이미지를 불러오지 못하고 기울어진 상태로 도면이 인식될 수 있다. 사면에 대한 지반 BIM 모델을 구축하는 경우에는 제공되는 기본 자료가 2D 출력 도면이라고 한다면 충분히 정확한 위치에 삽입하여 모델을 변경하는 작업을 수행할 수 있다.

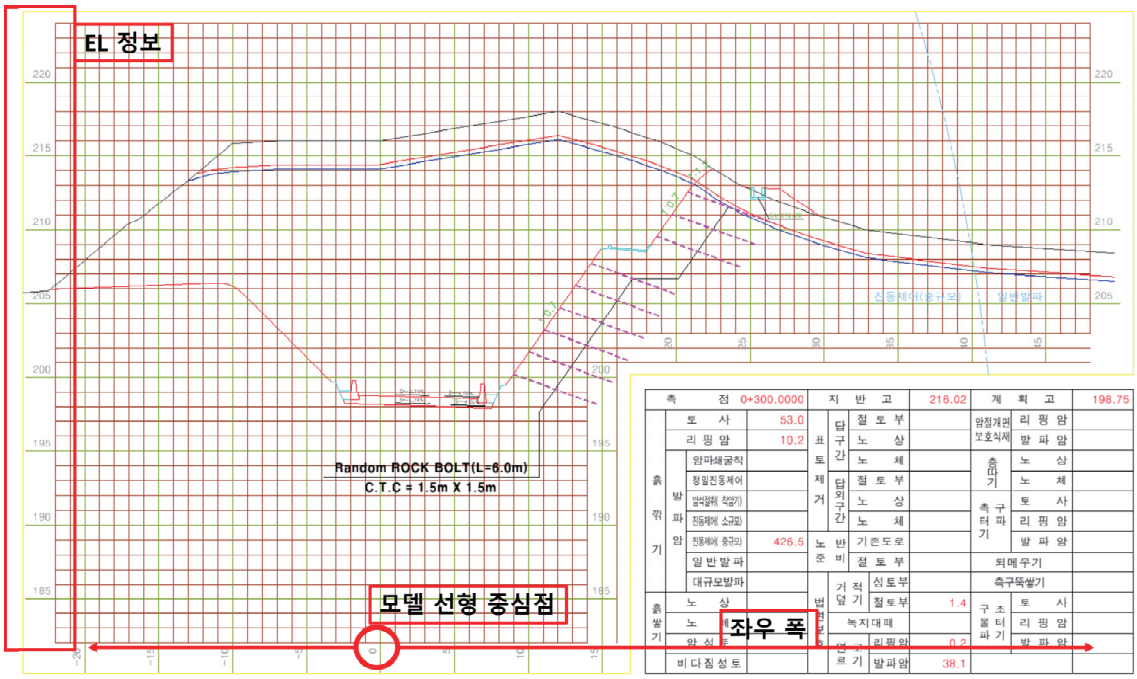


그림 6.15 도면을 3D모델에 입력하기 위한 예시

6.5 지반 BIM모델의 활용

6.5.1 지층단면도의 작성 (종단, 횡단)

지반 BIM 모델을 구축한 이후 이를 활용하는 방법은 다양하게 존재한다. 모델링 프로그램을 통해 가장 쉽게 활용 방안을 확인할 수 있는 것은 노선을 따라 종단과 횡단의 지층단면도를 작성하는 것이라 할 수 있다. 그림 3.1에서 보는 바와 같이, 과업 구간에 대한 노선 데이터는 구조물 BIM 모델을 구축하기 위해 사전에 CAD 파일로 존재하고 있으며, 이를 모델링 프로그램에 불러오면 된다.

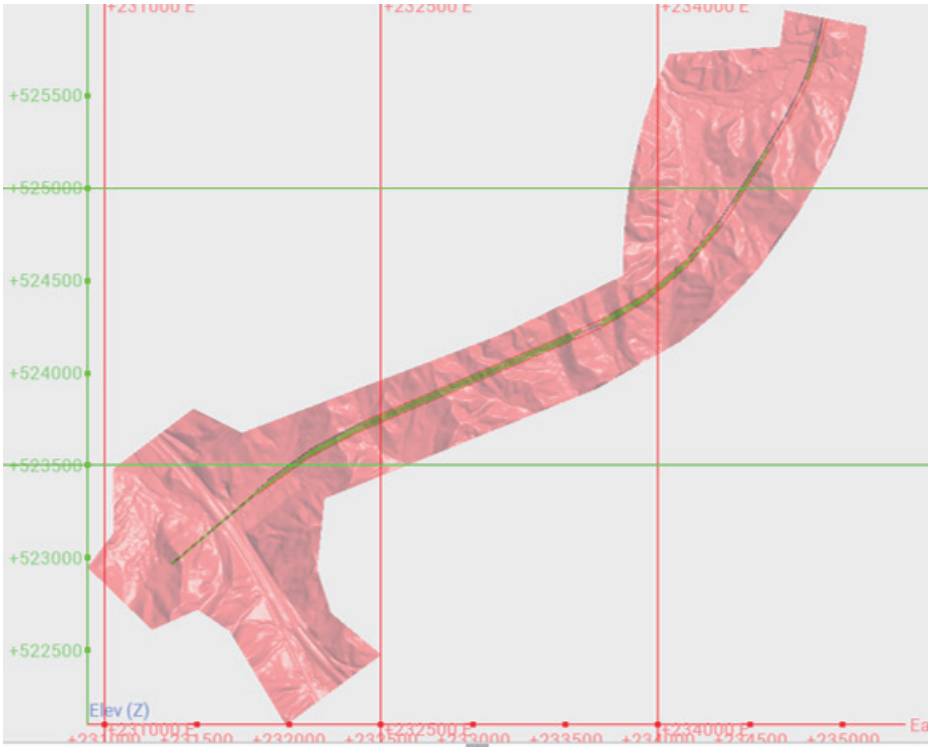


그림 6.16 과업 구간 도로 노선 불러오기

그림 3.1에서 보는 바와 같이, 과업 구간을 가로지르는 선이 해당 공구의 노선 파일을 불러온 형상이다. 종단과 횡단에 대한 지층 단면도를 추출하기 위해서는 해당 노선의 라인을 이용하게 되며 다음의 과정을 통해 얻을 수 있다.

(1) 도로노선의 종단도 추출

프로그램의 기능 중 하나인 Sections, Plans and Contours를 통해 단면을 생성할 수 있으며, 종단의 경우 직선 형태의 라인이 아니기 때문에 Long Section 만들기를 통해 생성할 수 있다. Long Section은 프로그램에 존재하는 Polyline을 기반으로 단면을 생성하는 방법이며, 새로운 라인을 그려서 단면을 생성하는 방법과 기존에 만들어진 혹은 불러온 라인을 기반으로 생성하는 방법 두 가지가 존재한다. 해당 과업의 경우 기존에 존재하는 노선 라인을 불러왔기 때문에 기존 라인을 선택하여 활용한다.

라인을 선택한 후에는 만들어질 단면의 높이 값을 설정하게 된다. 기본적으로 모델의 영역을 자동으로 인식한 후 단면의 높이를 출력하고 있으며, 수정이 필요한 경우 수동으로 값을 조정하면 된다. 그림 3.2와 같이 라인 선택 옵션과 단면의 높이 정보를 입력하는 메뉴와 함께 모델상에 반영된 단면의 영역을 확인할 수 있다.

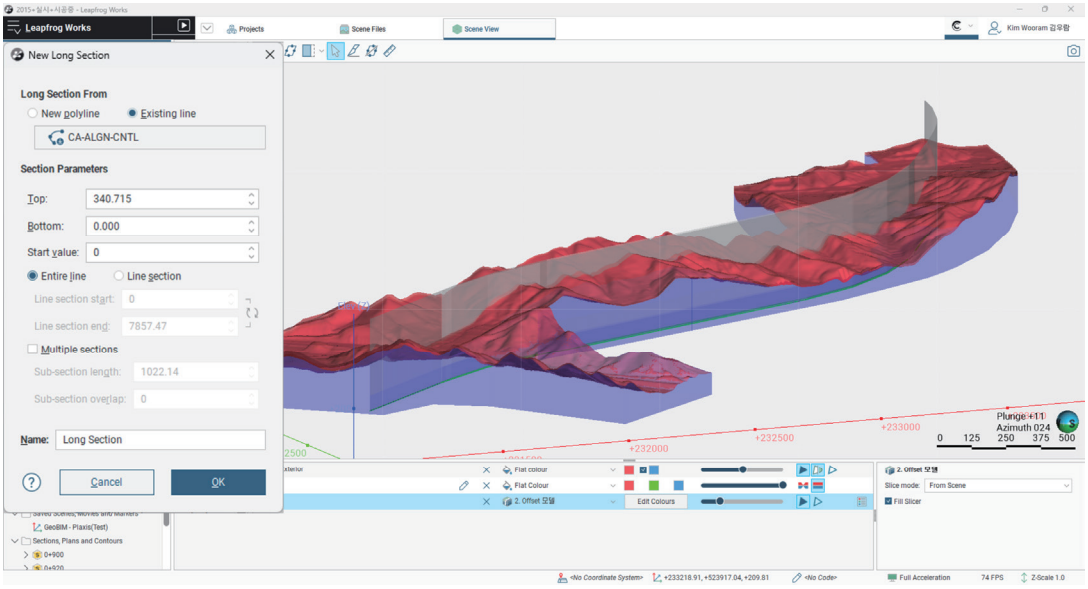
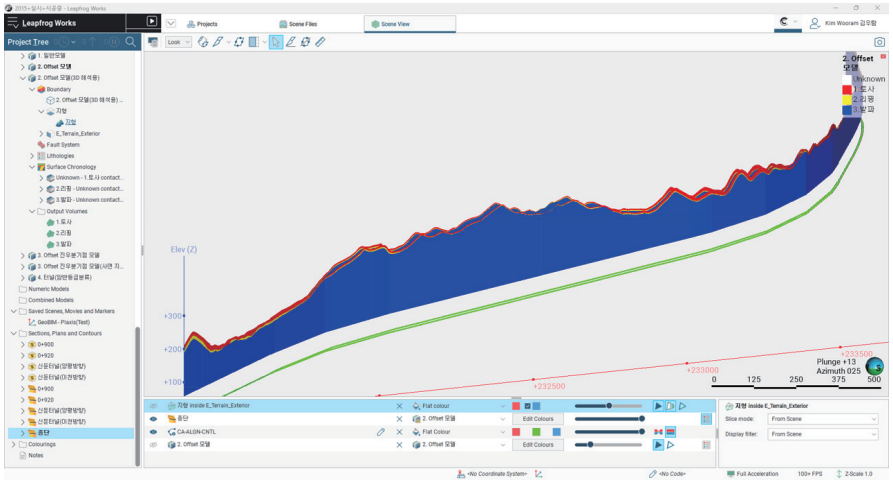


그림 6.17 단면 설정 옵션 및 단면 영역

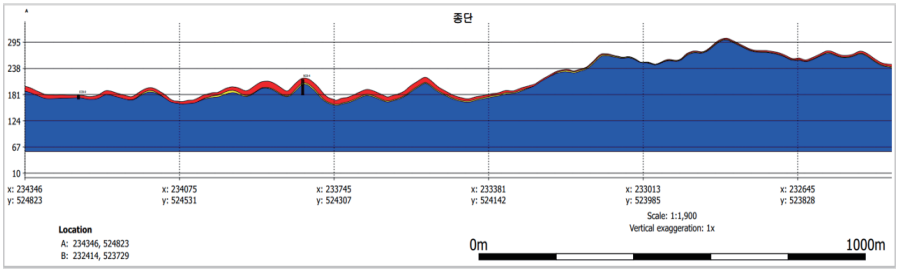
설정 옵션에서 확인했던 영역에 대해 단면이 생성되며, 이 단면에 [Evaluation] 기능을 통해 지층 모델을 적용한다. 이때 적용할 수 있는 지층 모델은 앞서 지층 모델 구축 당시 생성한 모델 중 선택이 가능하며, 만약 노선을 구조물별 구간으로 별도로 생성한 경우, 지층의 정보가 다른(토사, 리핑, 발파 혹은 토사, 풍화암, 연암, 경암 등) 형태의 종단을 구성할 수 있다.

<그림 6.18>에서는 과업 구간에 대해 토사-리핑-발파로 모델링을 진행한 지층 모델을 단

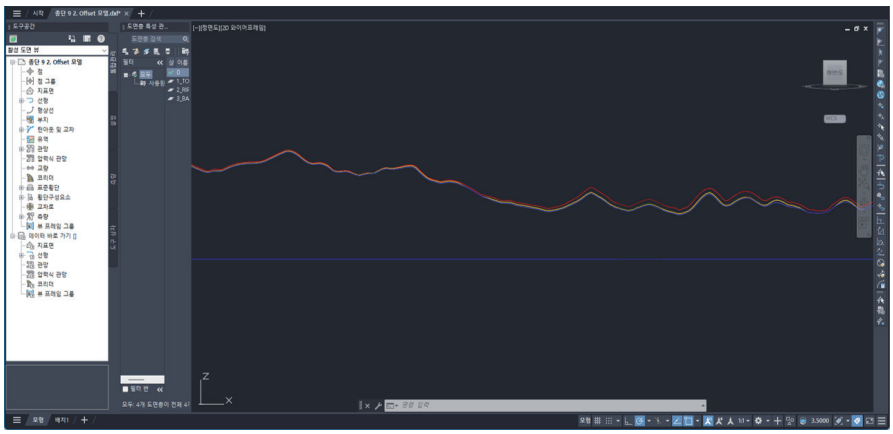
면으로 추출한 형상을 보여주고 있다. 생성된 단면은 Layout 지정을 통해 PDF 파일로 내보낼 수 있으며, 그림 3.4에서 보는 바와 같이, 확인이 가능하다. 또한, <그림 6.18>에서 보는 바와 같이, 단면 자체를 내보내기하여 CAD 파일(DWG, DXF, DGN) 혹은 IFC 파일로 활용할 수 있다.



(a) Leapfrog에서 도로노선 종단 모델 생성



(b) 도로노선 종단에 대한 파일 export (DWG, DXF)



(c) AutoCAD로 도로노선 종단 profile 확인

그림 6.18 3D지반모델로부터 도로노선을 따른 종단면도 작성

(2) 도로노선의 횡단면 추출

과업 구간의 노선을 기준으로 횡단을 추출하기 위해서는 종단을 생성한 것과 같이 Sections, Plans and Contours 메뉴를 이용하게 된다. 그 중 [Alignment Serial Section] 항목을 이용하면 불어온 과업 구간의 노선으로부터 일정한 간격(사용자 정의)으로 횡단 지층 단면도를 생성할 수 있다. 이 방법은 노선의 Chain에 맞춰 간격을 설정하고 해당 Station No.에 해당하는 횡단면을 얻을 수 있다는 장점이 있으며, 한 번의 작업을 통해 노선 전체에 대해 횡단면을 획득할 수 있다. 종단 생성 시 설정 방법과 같은 항목인 새로운 노선을 그린 후 활용할 것인지 혹은 기존 노선의 라인을 활용할 것인지 지정하고, 횡단의 경우 노선 기준 좌우 폭을 결정해야 한다. 또한 노선의 시작점이 명확하지 않은 경우, 0+000의 Station No. 위치를 지정하고 얼마만큼의 간격으로 횡단을 생성할지 정의하면 된다. 해당 모델에서는 기존에 불러온 노선 라인을 활용하여 라인 중심으로부터 좌우 폭 250m 높이 150m의 영역의 횡단을 200m 간격으로 생성하도록 설정한 후 횡단 영역을 생성하였다.

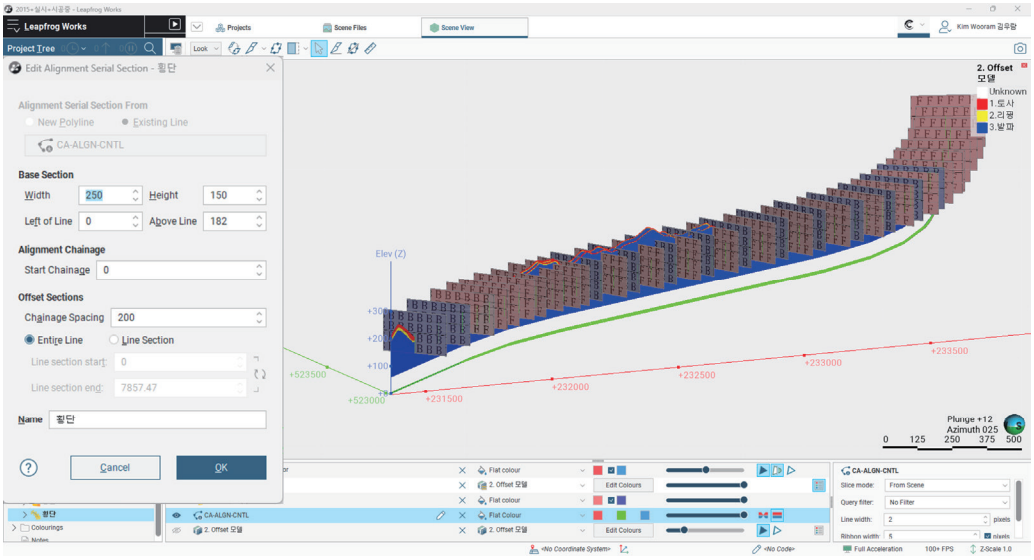
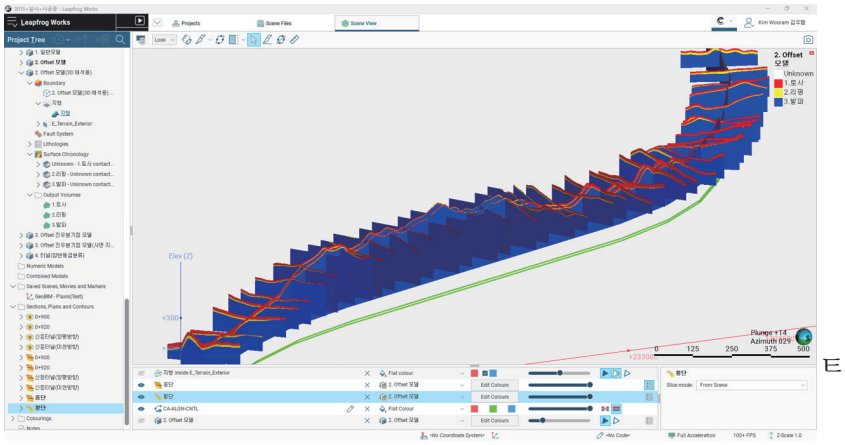
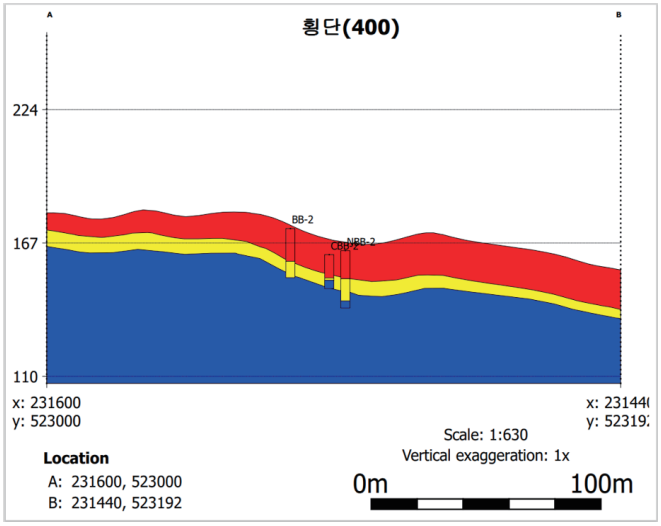


그림 6.19 횡단 생성 영역 설정

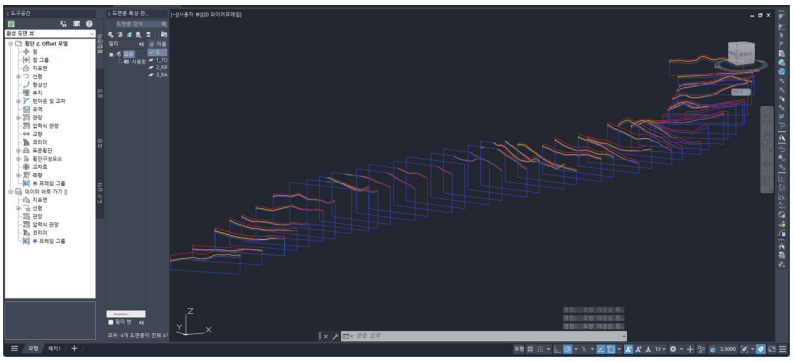
영역이 생성된 이후 해당 횡단에 [Evaluation] 기능을 통해 지층 모델을 적용하면 다음 그림과 같이 노선의 시작점부터 200m 간격의 횡단을 생성할 수 있으며, 종단과 함께 가시화한 형상을 확인할 수 있다. 횡단면도 종단면과 마찬가지로 Layout 설정을 통해 PDF로 내보내기가 가능하며, 전체 일괄 혹은 원하는 Station No.에 해당하는 횡단한 단면을 CAD 파일(DWG, DXF, DGN), IFC 파일로 내보낼 수 있다. <그림 6.20>에서는 횡단의 PDF 형상과 CAD 프로그램에서 확인이 가능한 형태의 횡단을 보여주고 있다.



(a) 3D 모델로부터 종단을 따라 횡단면도 구성



(b) 각 위치별 횡단면 추출자료 (PDF, DXF화일형식)



(c) 노전 전체에 대한 횡단 CAD 파일

그림 6.20 3D지반모델로부터 도로노선 위치별 횡단면도 작성

6.5.2 절토 및 성토수량 산정

구조물 모델 혹은 사면 모델이 존재하는 경우 모델링 프로그램 내에서 토사-리핑-발파로 이루어진 모델을 생성했다면, 구조물(터널) 및 사면의 토공량을 파악할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 먼저 구조물 모델(사면)을 프로그램상에 불러온 후, 구조물을 지층 모델 형태로 변환하는 작업을 수행한다. 이후 구축된 프로그램의 기능 중 하나인 Combined Model을 활용하여 지반 모델과 지반화된 구조물 모델을 결합한다

(1) 절성토부의 토공수량 산정

사면 모델의 지층화 작업의 경우 원지반의 형태를 굴착된 사면을 기준으로 자르는 작업이 진행되고 잘린 만큼의 볼륨이 모델로 구축되는 방식이다. 이후 지층 모델과 결합을 통하게 되면 사면의 볼륨에 각 지층의 영역이 적용되며, 지층별 볼륨 값을 프로그램에서 확인할 수 있다.

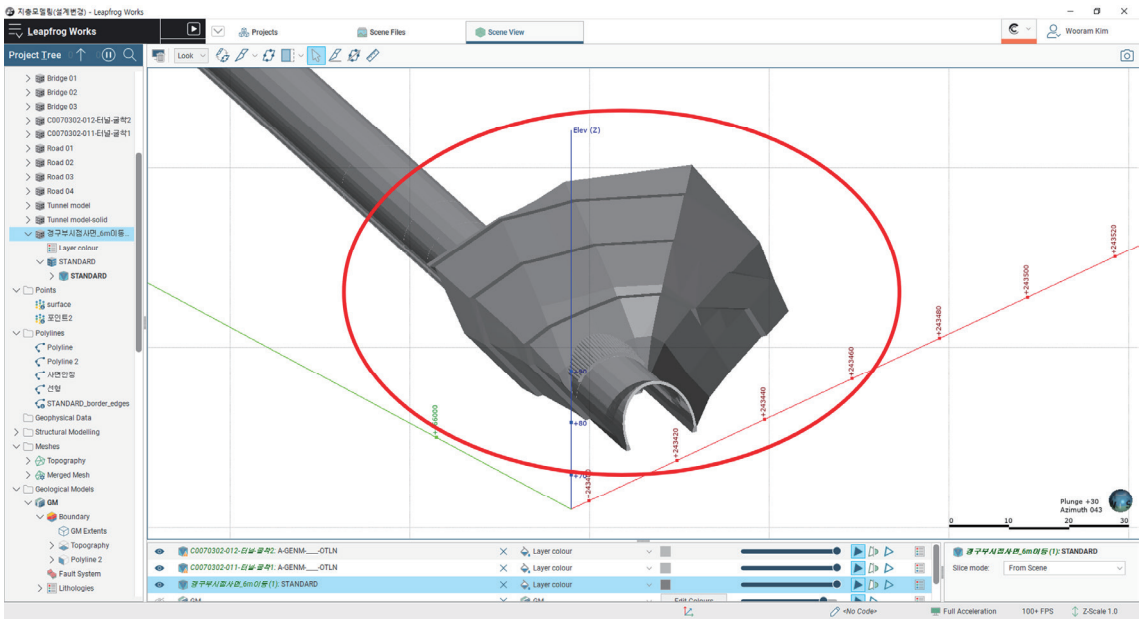
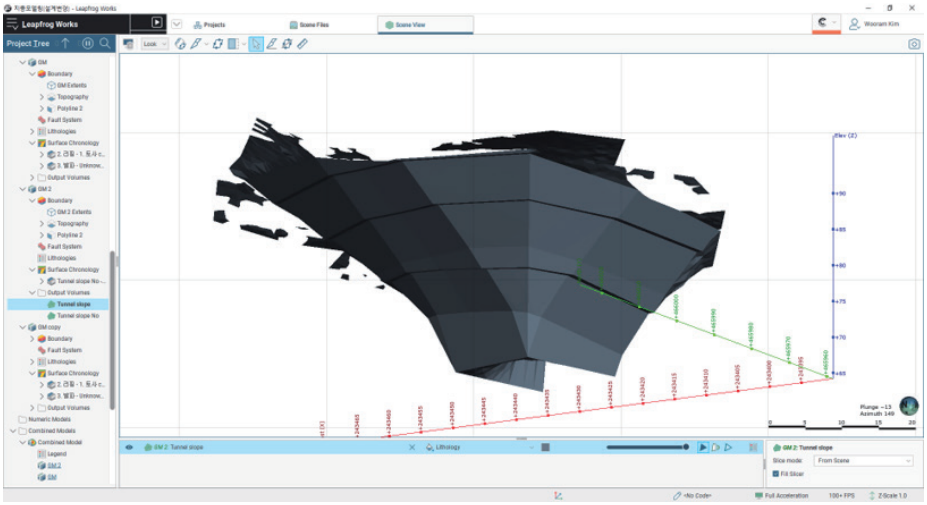
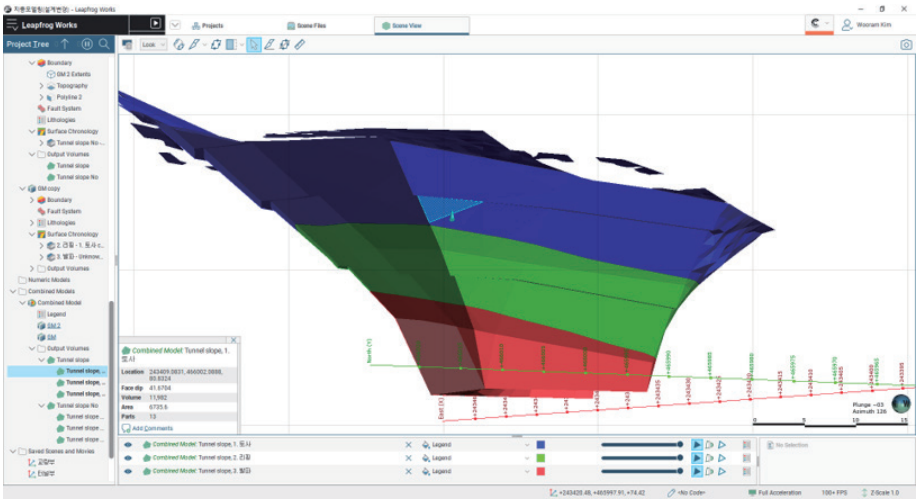


그림 6.21 터널 갱구부 깍기 비탈면 토공 수량 산정



(a) 토공을 구하고자 하는 위치의 깍기사면 형상 모델



(b) 3D 지층모델과 사면 깍기형상 모델의 결합

Combined Model: Tunnel slope, 1. 토사		Combined Model: Tunnel slope, 2. 리핑		Combined Model: Tunnel slope, 3. 발파	
Location	243409.0831, 466002.0888, 80.8324	Location	243410.0473, 465993.2739, 75.0167	Location	243419.0593, 465993.1983, 69.0048
Face dip	41.6704	Face dip	47.5979	Face dip	65.2059
Volume	11,982	Volume	4276.9	Volume	1,697
Area	6735.6	Area	2484.3	Area	1241.6
Parts	13	Parts	1	Parts	1
Add Comments		Add Comments		Add Comments	

(c) 지층종류별 깍기 부피의 확인

그림 6.22 터널갱구부 깍기구간 토사-리핑-발파별 토공수량 확인

(2) 터널의 토공수량 산정

터널내부의 토공수량 산정도 깍기부의 토공수량 산정과 동일한 과정을 거치게 된다. 터널의 외부 형태를 기준으로 터널 내부와 외부를 구분하는 지층화된 모델을 구축할 수 있으며, 이를 사전에 구축된 지층 모델과 결합하여 터널 내부 굴착 영역에 대한 지층 볼륨 값을 확인하게 된다. 우선 터널에 대한 형상 모델이 필요하며, 3D 지층모델로부터 터널 형상모델 부분을 추출한 후 , 각 지층별 토공수량을 산정하게 된다.

토공량의 경우 모델을 구축할 당시 지층을 구분하는 면을 생성하기 위해 사용된 해상도 즉 면을 구축하기 위한 삼각망의 크기에 따라 볼륨의 값이 변할 수 있다. 따라서 같은 데이터를 기준으로 각각의 다른 사람이 모델을 구축하는 경우 해상도 값을 어떻게 설정했느냐에 따라 같은 모델에서 다른 지층별 볼륨값을 확인할 수 있다. 따라서 이는 100%의 정답이 아닌 해당 지층의 볼륨 값의 경향을 파악하기 위한 수단으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

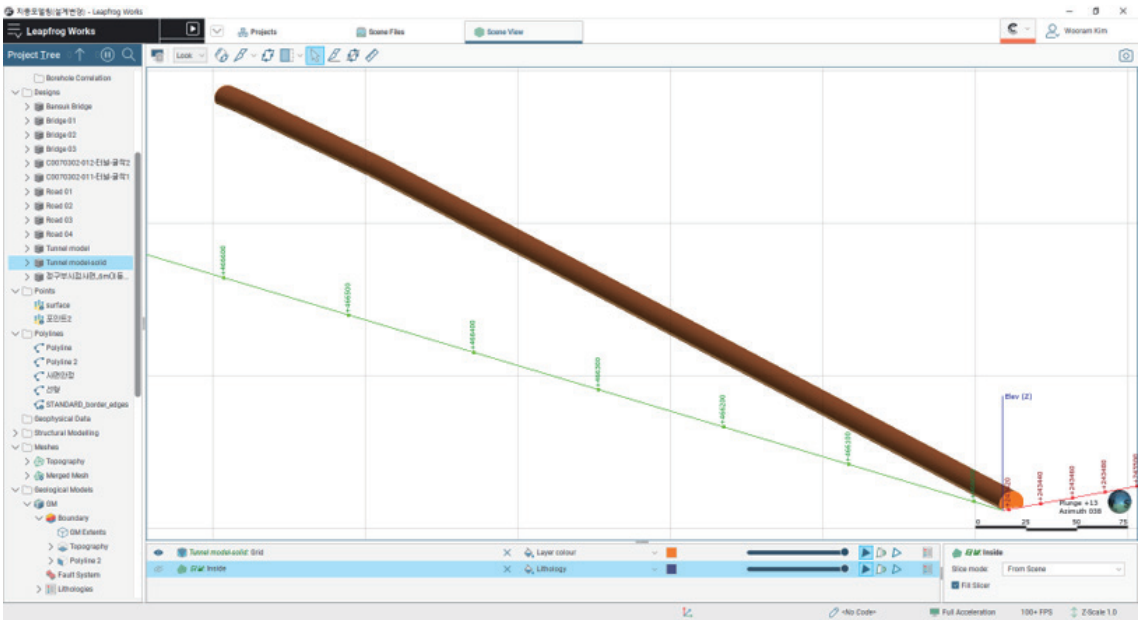
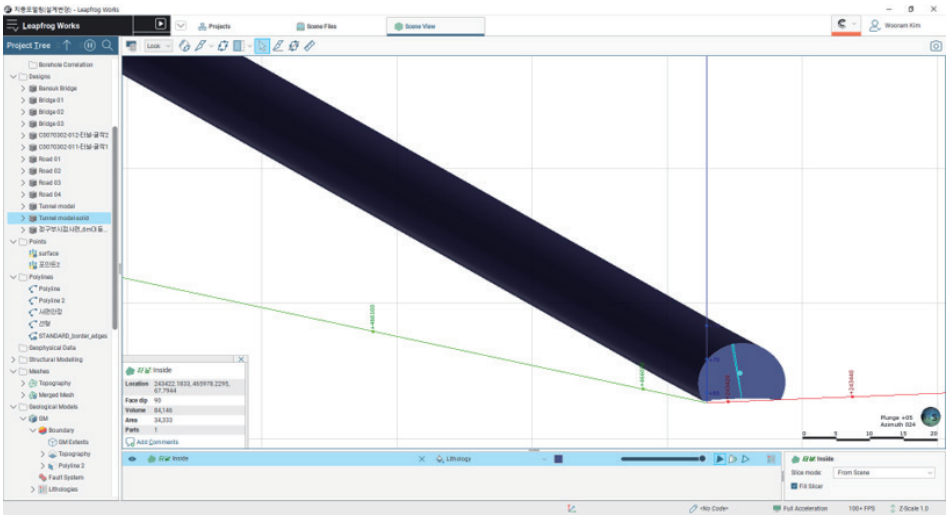
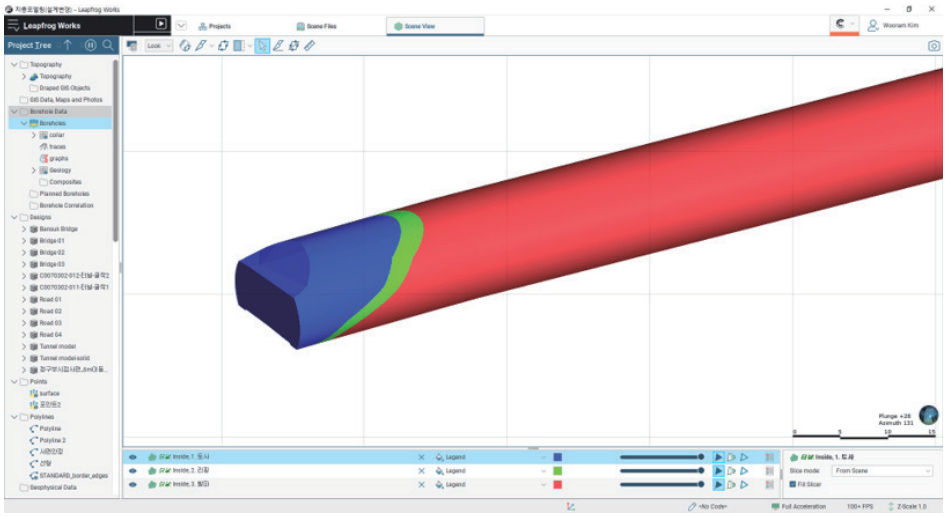


그림 6.23 터널의 토공수량 산정



(a) 터널에 대한 3D 모델



(b) 3D지층모델에서 터널에 해당하는 구간만 추출

터널: Inside, 1. 토사		터널: Inside, 2. 리핑		터널: Inside, 3. 발파	
Location	243628.7160, 466878.2981, 73.1831	Location	243627.9576, 466862.7185, 75.2598	Location	243625.5654, 466862.5894, 72.6183
Face dip	90	Face dip	34.2849	Face dip	64.3084
Volume	713.57	Volume	186.98	Volume	83,245
Area	547.69	Area	537.2	Area	34,058
Parts	1	Parts	2	Parts	1
Add Comments		Add Comments		Add Comments	

(c) 터널내부의 지층별 토공량 산정 결과

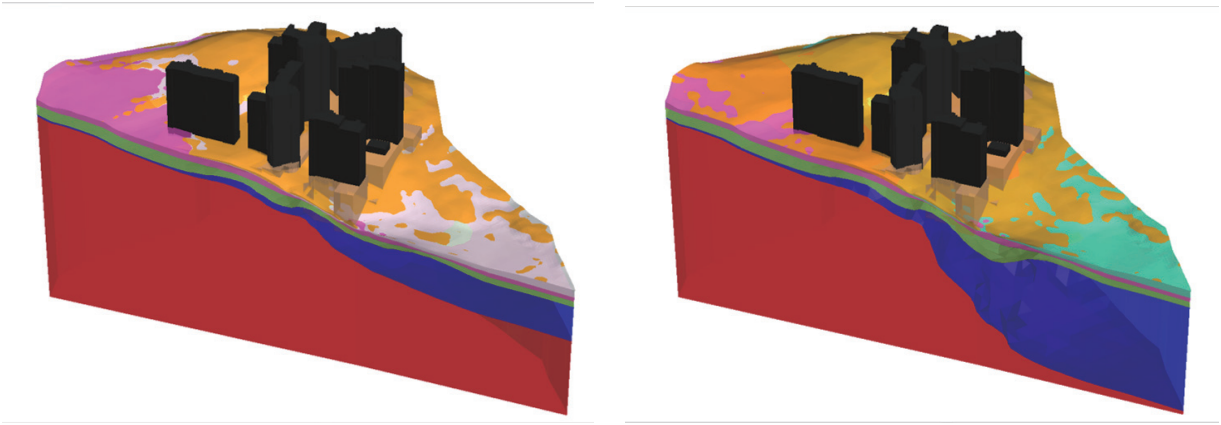
그림 6.24 터널 내부 각 지층별 볼륨값 확인

6.5.3 지반수치해석과 연계 활용

3차원 지반 모델을 구축하는 경우 2차원의 단면을 추출하여 이를 지반 수치해석 단면으로 활용할 수 있다. 대부분의 수치해석 프로그램은 단면 정보를 받아들이기 위해 DXF 포맷의 파일을 읽을 수 있도록 제공하고 있으며, 3차원 지반 모델링 프로그램 역시 모델 및 단면을 DXF 포맷으로 내보내기 기능을 제공하고 있다. 여기서는 지반 BIM 모델을 통해서 실제 수치해석에 적용된 사례를 다루며, 3차원 지반 모델을 이용하여 지반 수치해석에 연계 활용한 사례를 제시하였다.

(1) 2차원 수치해석 연계 : Leapfrog Works → Plaxis 2D

2021년 수행한 아파트 건설 현장 모델링 사례로 기존에 존재하는 아파트 부지 옆에 신규 단지를 건설하는 과정의 기존 아파트의 안정성을 검토하는 자료로 제공하기 위해 모델링 및 수치해석을 진행한 사례이다. 기존 아파트 건설 당시 조사된 지반조사 결과 데이터와 신규 건설될 부지의 지반조사 결과 데이터를 기반으로 1차 모델을 구축했으며, 1차 모델의 결과를 바탕으로 추가 시추 구역을 제안하여 8공의 추가 시추를 통해 최종 3차원 지반 모델을 구축했다.



(a) 초기 지반 BIM 모델 (b) 추가시추를 통한 지반 BIM모델 개선

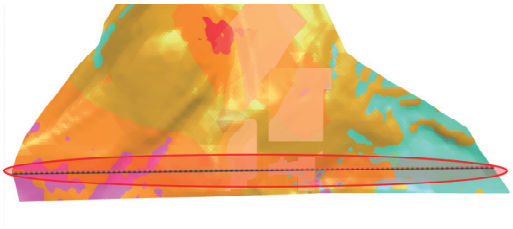
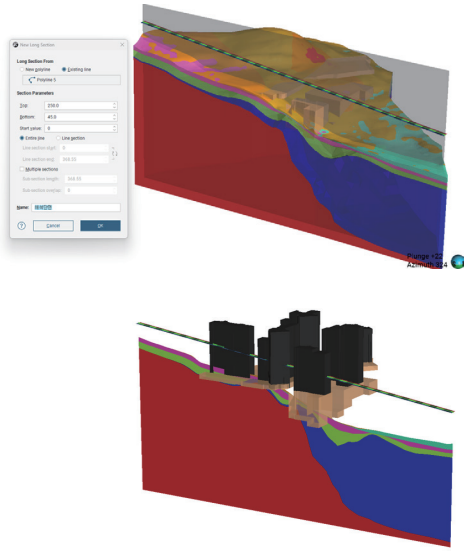
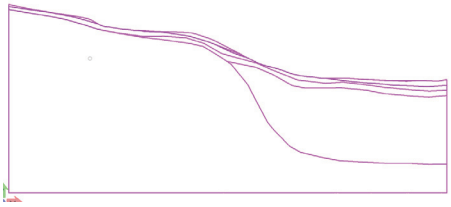
그림 6.25 지반 BIM모델의 구축 사례

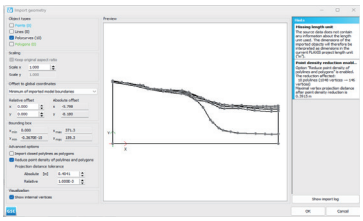
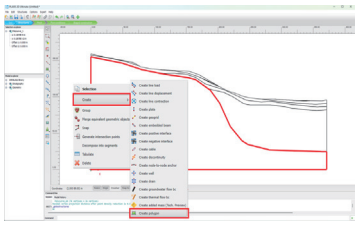
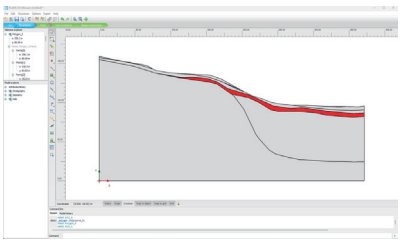
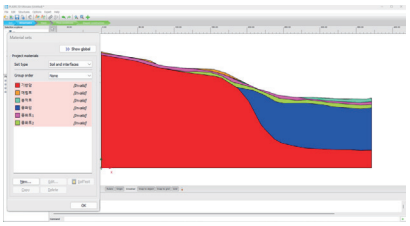
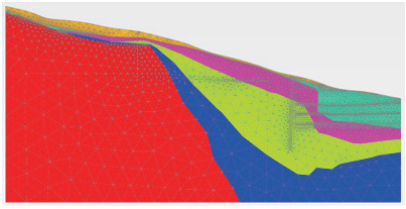
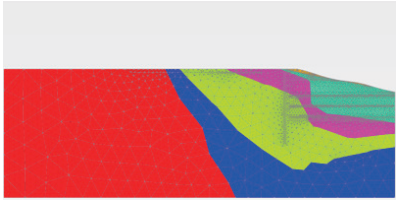
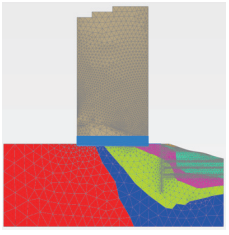
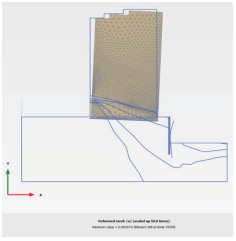
<그림 6.25>에서는 기존 지반조사 데이터를 기반으로 모델을 구축한 형상을 보여주고 있으며, 모델 우측 하단의 신규 건설 부지의 빨간색 기반암 출현 심도가 얕은 깊이에서 나타나

는 것을 확인할 수 있다. 이는 기존 지반조사에서 기반암이 출현하기 전 시추조사를 멈췄으며, 따라서 실제 기반암이 출현하는 심도를 정확하게 특정하지 못했기 때문으로 판단된다. 추가 시추 조사의 경우 지반조사 보고서 및 기존 부지와 신규 부지 경계 위치에 단층대의 영향으로 풍화함 및 기반암의 출현 심도가 크게 변화할 것으로 예상하여 추가 시추 위치를 결정하고 제안하였다. 8공의 추가 시추가 이루어졌으며, 이를 모델에 반영하여 업데이트한 결과를 그림에서 보여주고 있으며, 기반암 출현 심도가 깊어진 것을 확인할 수 있었다.

수치해석을 위해서 기존 부지와 신규 부지를 대표할 수 있는 단면의 위치를 결정하고, 그 대표 단면을 생성하였다. 단면 생성 과정과 수치해석 연동과정은 <표 6.6.>의 순서를 통해 확인할 수 있다.

표 6.6 지반 BIM모델로부터 2D수치해석을 위한 모델 작성 절차

작업순서	형상
① 수치해석을 위한 2D 단면 선정 - 단면 위치에 라인 그리기	
② Leapfrog에서 단면 추출 - Section 만들기 기능 사용 - 해당 라인에 대한 단면 영역 설정	
③ 단면 화일 내보내기 (DXF) * 생성되는 단면은 지층별로 생성됨.	

④ 수치해석 프로그램에서 생성단면 불러오기 (Plaxis 2D)	
⑤ 해석 프로그램 포인트를 Polygons으로 변환 * 불러온 단면은 다수의 포인트로 연결 포인트를 연결하여 Polygon화 시켜야함 * 좌표계 실좌표가 아닌 원점이동 좌표계임	
⑥ 수치해석에서 Polygons 변환 확인 * 각 지층별 선택하여 변환 확인 * 변환 전에는 흰색, 변화후 회색 변화	
⑦ 지반 물성치 입력하기 - 각 지층별로 지층명 및 물성치 입력	
⑧ 유한요소망 생성 및 해석 패러미터 설정 - 3각 유한요소망 자동 생성 - 단계시공 모델링	
⑨ 수치해석 실시 - 생성된 모델기반 해석수행 - 기존 건물에 대한 응력, 변위 검토 등	  

(2) 2차원 해석 연계 : Leapfrog Works → GeoStudio(Slope/w)

2020년 스마트건설 챌린지 출품작 모델을 기반으로 수치해석 연계 부분을 작업한 모델로 해당 지층 모델은 터널이 포함된 일부 구간에 대한 지층 모델을 구축하고, 해당 구간에서 임의의 사면을 해석 구간으로 선정 GeoStudio의 사면안정해석 모듈인 Slope/w 해석을 수행하였다. 3차원 지반 모델의 형태는 <그림 6.26>에서 보는 바와 같으며, 도로, 교량, 터널이 복합적으로 존재하고 있고, 노선을 따라 조사된 지반조사 데이터를 기반으로 구축하였다.

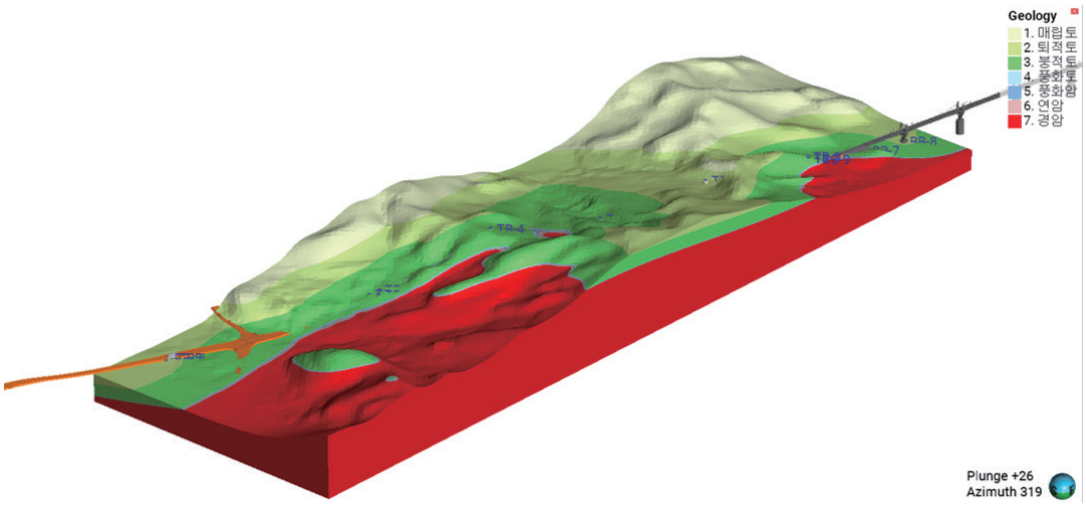


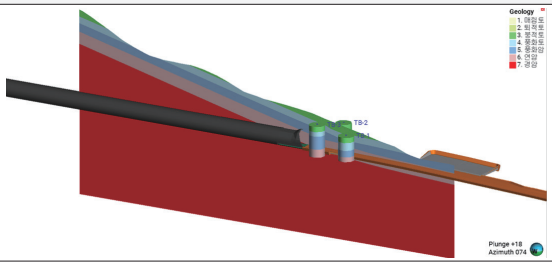
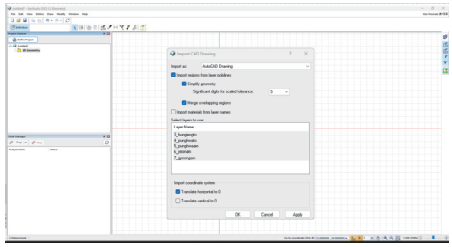
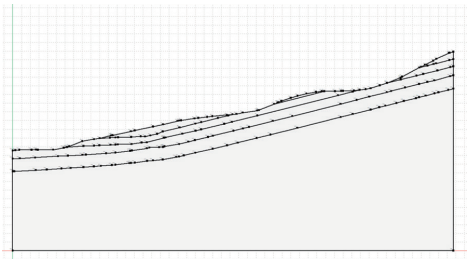
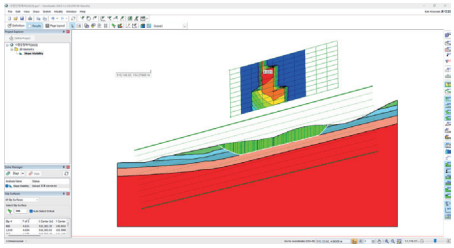
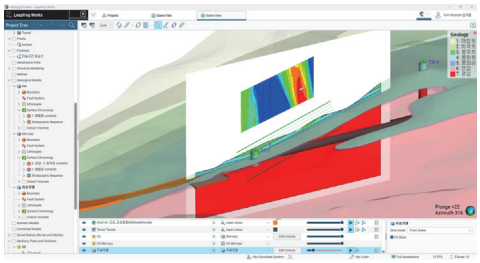
그림 6.26 수치해석을 위한 3D 지반BIM 모델

해석은 터널 갱구 위치의 비탈면에 대하여 사면안정해석을 수행하고자 하였으며, 가장 위험할 것으로 예상되는 위치를 정하여 수치해석 반영 단면을 추출하였다.



그림 6.27 수치해석 용 모델 생성을 위한 단면 생성

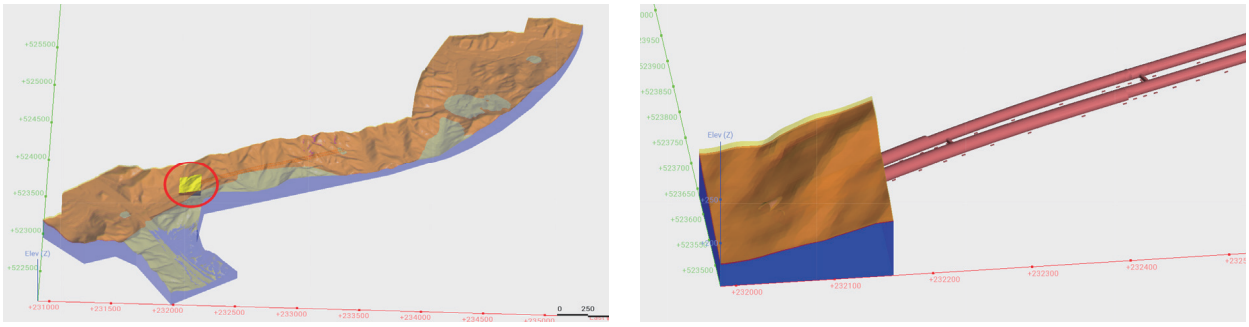
표 6.7. 지반 BIM모델로부터 2D 사면안정해석 모델 작성 절차

작업순서	형상
① Leapfrog에서 해석을 위한 단면 생성하기	
② 대표 단면 DXF로 내보내기	
③ 대표 단면 불러오기 설정(Geostudio) * 좌표계, 소수점 개수, 중복레이어 정리	
④ 대표 단면 해석 프로그램 불러오기	
⑤ 지층별 물성치 입력 및 해석조건 설정 - 해석 수행	
⑥ 해석결과를 Leapfrog에 함께 보여주기 (해석결과 이미지 캡쳐 후 Leapfrog 중첩)	

(3) 3차원 수치해석 연계 : Leapfrog Works → Plaxis 3D

3차원 모델을 지반 수치해석 프로그램에서 활용하기 위해서는 기존 2차원 단면을 활용할 때와 다르게 3차원 모델을 구축하기 위해 생성된 지층 구분 면을 활용하여 모델을 생성한다. 3차원 지반 수치해석 연동 부분의 경우 기존 활용 사례가 존재하지 않기 때문에 과업 모델을 활용하여 그 가능성을 평가하였다.

해당 모델은 양평-이천 고속도록 건설공사 (1공구) 모델 가운데 전체 범위 중 터널 갱구부 영역에 대한 축소된 국부 모델로 구축하였다. 현재 모델에서는 토사-리핑-발파로 이루어진 모델을 구축한 상태로 해당 지층을 이용한 3차원 수치해석 모델이 생성된다. 하지만 실제 수치해석에서는 더욱 세분화된 지층 정보를 이용하기 때문에 다를 수 있으나 모델을 구성하는 방식은 유사하기 때문에 활용 방안으로서 제시하였다. <그림 6.28>에서는 모델링 프로그램 상에서 해석 영역을 구축하고 축소 모델을 확인 내용을 보여준다.

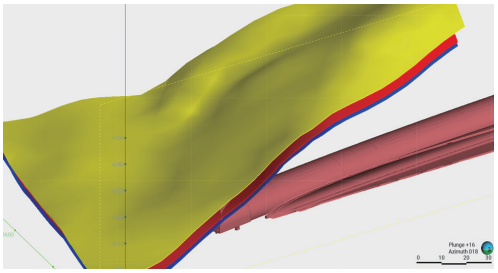
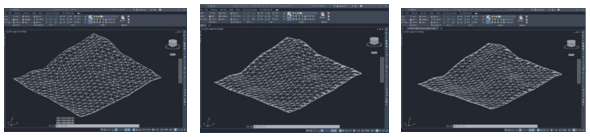
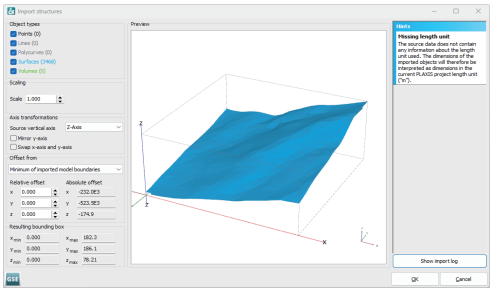
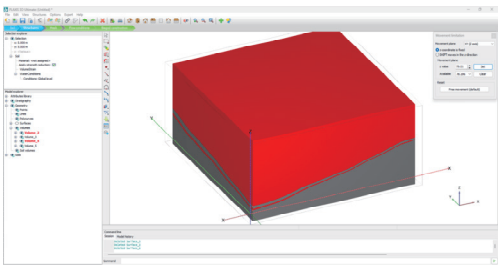
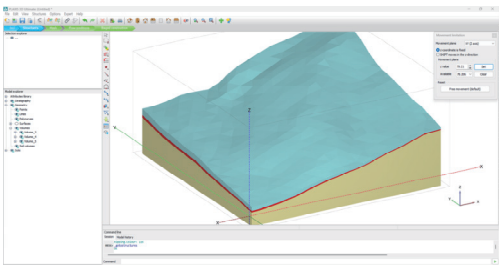
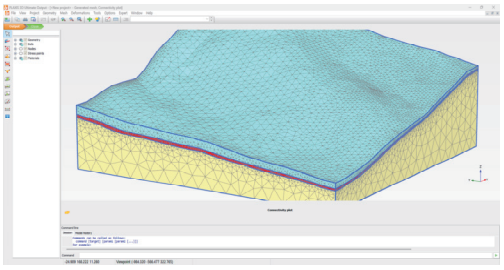


(a) 해석 영역 선정 (b) 해석 영역에 대한 별도 BIM 모델 구축

그림 6.28 수치해석을 위한 3D 지반 BIM 모델

3차원 수치해석에서는 단면을 생성한 후 모델을 내보내는 것이 아니라, 모델을 구축할 때 생성했던 3D 지층을 구분하는 면을 내보낸다. 지층을 구분하기 위해서는 지형과 지층1-지층2를 구분하는 면, 지층2-지층3을 구분하는 면이 필요하다. 다음 <표 6.8>에는 3D 수치 해석을 수행하기 위해 필요한 모델을 작성하는 과정을 나타내었다.

표 6.8. 지반 BIM모델로부터 3D 수치해석용 모델 작성 절차

작업순서	형상
① 해석 모델에 활용할 지층 확인 (지형-토사-리핑—발파 구분)	
② 각각의 지층 구분면 내보내기 (각각 DXF화로 저장)	
③ 수치해석 프로그램에서 각 지층면 불러오기 (Paxsis 3D Structure] 모드 Import 옵션을 통해 저장된 DXF 파일을 불러옴)	
④ Solid모델로 변환하기 (2D 면데이터 => 3차원 데이터)	
⑤ 수치해석용 3D 지층모델 생성하기 * 각 지층의 물성치를 입력	
⑥ [Mesh] 모드를 통해 해석을 위한 유한요소망을 자동 생성	

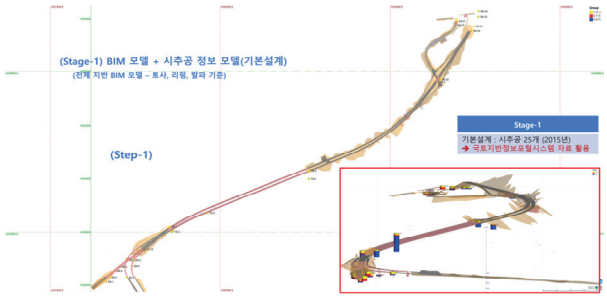
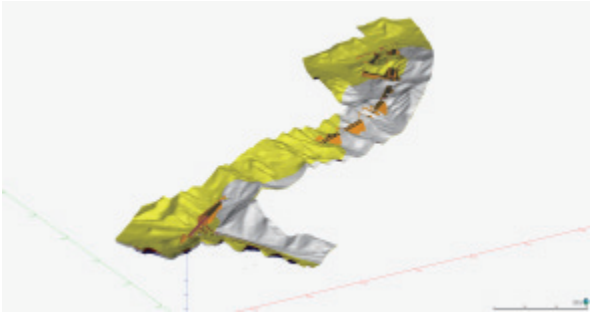
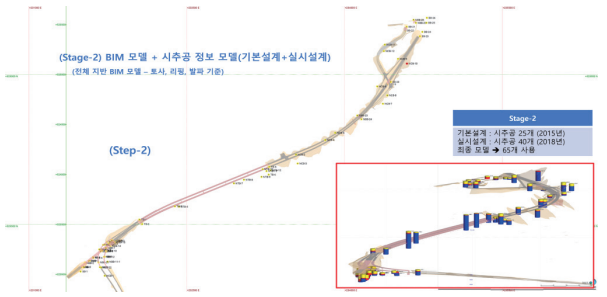
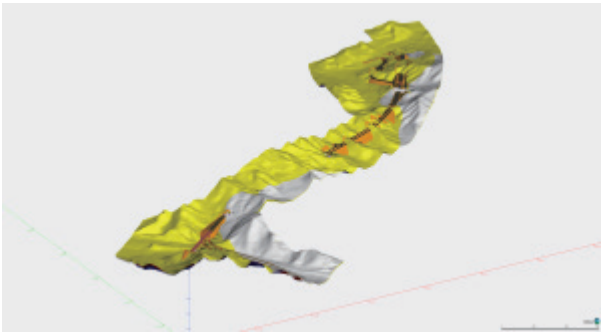
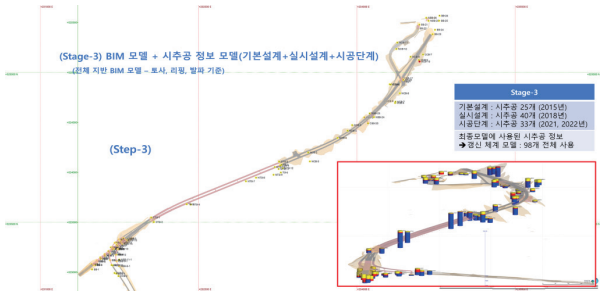
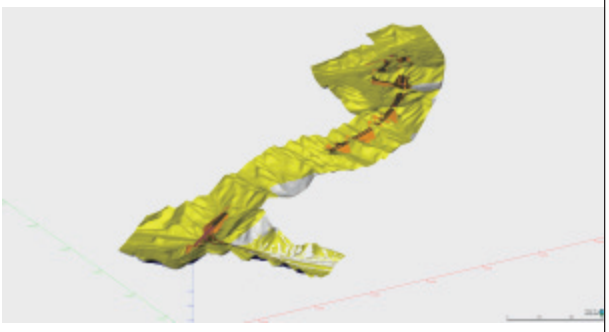
6.5.4 지반 BIM 모델의 업데이트

해당 모델은 기본설계 지반조사 자료부터 시작하여 시공 중 획득한 지반조사 자료까지 포함하여 총 3차례 지반 BIM 모델을 업데이트하여 완성했다. 본 과업에서는 기본설계부터 시공 중까지 일련의 과정에 대한 지반조사 자료가 한번에 준비되어 모델링부터 업데이트까지 지연기간 없이 수행할 수 있었다. 실제 도로공사 설계 및 시공과정에서는 각 단계별로 자료가 생성되는 기간의 차이가 존재하기 때문에 데이터를 획득하는 시기에 맞춰 모델을 구축하고 업데이트할 수 있다.

각각 획득하는 시기가 다른 데이터라도 데이터의 내용을 모두 같은 형태로 정리하여 보관하고 있다면 하나의 모델을 구축하는데 활용할 수 있는 업데이트 파일로 사용이 가능하다. 프로그램에서는 시추공데이터 불러오기 기능 중 [Append Data] 기능을 이용하여 추가 조사된 데이터를 반영할 수 있으며, 시추공 데이터를 추가하는 것만으로 기존에 만들어진 모델이 업데이트되는 것을 확인할 수 있다.

기본설계 시추공 데이터를 기준으로 1차 지반 BIM 모델을 구축하고 완성된 모델에 실시설계 및 시공단계에서 확보된 추가 시추공 데이터를 반영하여 모델을 업데이트 하게된다. 기본설계 데이터만을 이용하여 지반 BIM 모델을 구축하는 경우 광역적 범위에 대해 적은 수량의 시추공으로 모델이 생성되어 넓은 범위에 걸쳐 역전이 일어나는 형태로 나타나는 것으로 확인할 수 있다. 각 단계별로 업데이트된 모델을 확인하면 반영되는 시추공 데이터 수가 늘어나며 점차 역전이 발생되는 구간의 면적이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 다음 그림을 통해 단계별 시추공 데이터의 추가를 통해 생성된 지반 BIM 모델을 확인할 수 있다.

표 6.9 사업단계별 추가되는 지반조사결과를 반영한 지반BIM모델링

단계별 지반조사 내용	지반조사 누적반영한 모델
 기본설계 시추공 데이터 가시화 (25공)	 기본설계 데이터만 활용한 지반 BIM 모델
 기본설계 + 실시설계 데이터 (65공)	 기본+실시 데이터 반영 지반 BIM 모델
 기본+실시+시공 시추공 데이터(98공)	 기본+실시+시공 데이터 반영 지반 BIM 모델

6.6 지반 BIM 모델구축과 활용의 시사점

○ 본 연구에서는 실제 BIM 설계 및 시공이 이뤄지고 있는 현장의 데이터를 기반으로 지반 BIM 모델을 구축한 결과 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있었음.

- 전체 구간에 대한 지층 모델을 구축하는 경우 터널 구간에서 시추공 데이터의 수가 부족하기 때문에 역전 구간을 다수 확인할 수 있었음. 데이터가 부족한 구간을 제외하면 역전이 일어나지 않는 지반 모델을 구축할 수 있었으며 도로설계 분야에 있어 지반 BIM 모델은 과업 구간의 대표적 구조물별 별도의 모델을 구축하여 관리하는 것이 효과적일 것으로 판단됨.

- 구조물별 별도의 모델 생성은 전체 구간의 모델을 우선적으로 작성한 후에 구조물별 개별 모델을 구축할 수 있었음. 교량구간의 경우 다수의 시추공 데이터가 존재하여 역전이 일어나지 않는 형태의 모델을 확인할 수 있었으며, 터널구간의 경우 지반조사결과 중 암반등급도를 기반으로 모델을 구축하였음. 사면의 경우 기존 모델과 암판정을 통한 암선 변경 단면을 반영하는 형태의 모델을 구축할 수 있었음. 시추공 데이터만 사용한 교량 구간의 모델을 제외한 터널과 사면모델의 경우 이미지와 지층단면도를 활용한 모델링으로 기준이 되는 지점을 확인할 수 있는 형태의 이미지 및 단면이 존재한다면 더욱 정확한 단면 및 이미지를 반영하여 모델을 구축할 수 있을 것이라 판단됨.

- 구축된 3차원 지반 모델을 기반으로 설계에 활용하기 위한 방안을 확인하였음. 프로그램에서 제공하고 있는 종단 및 횡단 그리기 기능을 활용하여 구축된 모델 기반의 지반 종단면 및 횡단면을 생성할 수 있었으며, 해당 단면은 CAD파일 및 PDF형태로 내보내기가 가능한 것을 확인할 수 있었고, 또한 구조물(사면 및 터널)모델과 지반 모델을 결합하여 토공량을 사전에 파악할 수 있는 것을 확인하였음. 구축된 지반 모델을 기반으로 수치해석이 필요한 위치의 단면 및 영역을 설정하고 이를 수치해석 프로그램과 연계를 통해 해석을 수행할 수 있는 가능성을 확인하였음. 종단 및 횡단의 생성과 토공량 산정 및 해석이 필요한 임의의 지점을 해석과 모두 연계할 수 있다는 점에서 3차원 지반 모델을 구축하는 것이 효과적이라 판단됨.

○ 지반 BIM모델의 활용성과 관련하여 종합적인 시사점은 다음과 같음

- 현 단계에서 도로설계 및 건설 시 전 구간을 대상으로 지반 BIM 모델 작성은 한계가 있는 것으로 나타남. 2D 설계에서는 지반조사 수량이 충분한지, 그렇지 못한지를 확인하기 어려웠지만, 3D 지반 BIM 모델로 구축하기에 현재 지반조사 수량 기준은 불충분함. 특히, 도로 노선 외부에 대한 지반조사 자료가 없어 3D로 지반상태를 구축하기 어려움. 전반적인 지반시추조사 수량을 늘리거나, 연속적인 지반상태 확인이 가능한 물리탐사 수행 또는 지반조사가 충분한 구간 대상으로 지반 BIM 모델을 구축 활용 필요할 것임

- 충분한 지반조사를 통해 3D 지반 모델이 신뢰성 있게 구축된다면 노선 계획과 설계단계의 활용성은 충분히 높아질 것으로 판단됨. 지반에 대한 3D 디지털 모델을 기반으로 도면 작성, 수량산출, 위치 및 심도 검토, 적용공법의 결정 등 계획 및 설계시 소통과 다양한 의사결정을 빠르고 직관적으로 수행 가능함. 특히, 지반의 조건에 따라 지중 구조물의 위치나 기초의 심도를 다양하게 검토해 볼 수 있는데 이를 자동화시키면 비용 최적화 등 사업적인 측면의 효과도 가능해질 것임

- 지반 BIM 모델을 구축하고 성공적으로 활용한 경험과 사례를 확보해야 할 것으로 보임. 지반 BIM 모델의 구축과 활용은 프로젝트의 조건, 지반상태와 위험성, 구조물의 중요성, 지반BIM모델의 활용 목적 등에 다양한 상황에 따라 효용성이 차이를 나타냄. 국내에서 지반 BIM 모델의 활용을 아직 초기 단계로서 많은 시행착오가 있을 것으로 보이며, 앞으로 지반 BIM 모델을 활용하기 위해서는 다양한 조건과 목적에 따른 경험이 누적되어야 하고, 성공적인 지반 BIM 활용 사례를 널리 확산시켜야 할 것임

- 지반 BIM 모델 구축에 있어 기술자의 역할론과 가이드 필요함. 지반 BIM 모델의 구축은 지반분야와 BIM모델러의 협력이 필요한 작업임. 지반에 대한 이해도가 높은 기술자가 BIM을 동시에 활용하는 것이 바람직하지만 그렇지 않은 경우 지반 BIM 구축과정에 지반 기술자의 검토가 필요함. 보다 신뢰성 있는 지반 BIM 모델을 만들기 위한 최소한의 가이드가 마련되어야 함

제 7 장 지반 BIM 활용에 대한 의견 수렴

7.1 대내외 실무자 및 전문가 대상 의견 수렴

7.1.1 공사내 실무자 대상 의견수렴

○ 고속도로 설계, 건설, 유지관리 부문에서 지반 BIM 모델의 구축과 활용에 대한 의견 수렴

- 설계부문에서 지반 BIM 활용에 대한 의견은 설계처 BIM 담당자를 대상으로 의견을 청취하였고, 건설부문에서는 BIM을 시범적으로 적용중인 양평-이천 건설사업단 실무자를 대상으로 의견을 청취하였음. 유지관리 부문은 비탈면과 옹벽을 관리하는 재난관리처 비탈면 관리팀 실무자의 의견을 청취함. 각 부문별 실무자 의견은 <표 7.1>에 정리하였음.

표 7.1 공사 실무자 대상 지반 BIM모델 활용에 대한 의견

구분	의견
설계부문 (설계처)	• 고속도로 설계는 전면 BIM 설계를 도입하였고, 설계 과업지시서에 전문분야(도로, 구조, 토질, 배수, 부대, 터널)별 소관 설계를 BIM으로 모델링 하도록 요구하나, 실제는 분야별 2D로 설계한 내용을 BIM팀에서 BIM 모델로 전환 작성하는 상황 • 지반BIM모델은 지반조사 결과를 이용하여 2D지층 단면도를 작성하고, 이를 기반으로 3D 지층모델을 작성하는 상황. 3D 지층모델의 실질적 활용성은 높지 않음 • 지반BIM모델 작성은 설계사 지반팀 담당 업무이나, 아직 2D로 작업이 보편적임 • 지반 BIM모델 기반 설계는 아직 시기 상조임. 설계사가 제안하는 경우 활용 검토 또는 지반 BIM 모델의 장점이 부각되는 사업에 대해서 선별적 도입 검토 필요
건설부문 (양평이천 사업단)	• 양평이천 건설공사에는 2D로 설계된 내용을 3D BIM으로 전환 설계하고, 이를 공정관리와 기성관리에 시범 활용 중임 • BIM 모델을 기반으로 건설관리(공정, 기성)를 위해 전용BIM툴(projectworks)을 개발하여 활용중이나, BIM활용으르 위해서는 여러 가지 변화가 필요함 - 시공단계 BIM기반 설계검토, 설계변경, 상세도작성을 위한 전문인력 상주 필요 - BIM모델에 공정, 비용을 연결하여 관리하기 위해서는 비용내역 간소화 필요 • 3D 지반 BIM 모델이 시공 단계에 필요한지 모르겠음. 시공에서는 건설 대상물의 상세한 2D도면이 사용하기 더 쉬움. 지반도 2D단면도가 이해하기 쉬움.

구분	의견
유지관리 (비탈면 관리팀)	• 고속도로 유지관리는 시설물별로 관리 중. 아직 BIM으로 준공된 고속도로가 없는 상황으로서, BIM기반 건설사업이 준공되는 2030년 전에 논의 필요함 • 현재 도로통합플랫폼에 고속도로 시설물별(교량, 터널, 사면, 옹벽, 포장 등) 관리를 위한 정보가 포함되어 있음. 3D기반 BIM 필요성은 잘 모르겠음. • 다만, 정보관점에서 시공 중 문제가 발생했을 때의 검토보고서 및 변경사항, 시공 중 자료(암검측, 페이스매핑, 기술자문 등)가 BIM과 함께 유지관리 단계로 모두 이관된다면 정보 활용 측면에서 유용할 수 있을 것으로 보임 • 비탈면과 옹벽관리를 위해 3차원 드론 촬영을 통해 변위나 파괴 여부를 점검하고 있으나, 도로통합플랫폼에서 결과를 직접 활용하기 어려움.

7.1.2 외부 전문가 대상 의견 수렴

○ **지반분야 전문가(교수, 연구원)들을 대상으로 지반 BIM 필요성, 연구방향, 고속도로 활용 방안에 대한 자문회의를 통해 의견을 수렴함**

- 5인의 전문가를 대상으로 “지반 BIM 활용 방향성에 대한 자문” 회의를 개최하여 3가지 안건에 대한 의견을 청취하였음. (안건1) 지반분야 BIM필요성, 활용가능성, 활용분야. (안건2) 향후 필요한 연구사항, 추진방향성, 추진 방법론, (안건-3) 도로 설계, 건설, 유지관리 단계에서 지반 BIM 활용 방안. <표 7.2>에 각 안건별 전문가들의 의견을 정리하였음.

표 7.2 외부 전문가 대상 지반 BIM 활용에 대한 의견

구분	의견
지반 BIM 필요성	• **(지반정보 통합관리)** 지반 조사는 많은 노력과 비용이 소요되는 작업으로서 조사 자료의 보관과 활용은 매우 중요함. 기존의 종이 보고서로는 활용에 한계가 있으므로 지반 BIM 모델 기반 공간정보와 지반정보를 효율적으로 관리, 활용 필요 • **(설계,시공 활용성)** 사업초기단계에 지반BIM모델을 구축하면 설계도면 추출, 수량 산정, 해석 연계, 타분야와 BIM 협력을 가능하게 하여 사업효율성이 높아짐. 지반특성을 고려한 의사결정과 설계변경에 신속하고 효과적으로 대응 가능함 • **(소통, 협업 확대)** 지반분야는 다른 분야와 협업이 필수적임. 정보교환이 가능한 파일형식 기반으 지반BIM모델을 작성하면 소통과 협업이 향상될 것임 • **(지반 이해 증진)** 지반BIM모델과 GIS를 결합하면 넓은 지역에 대한 지질 및 지반

구분	의견
	특성을 3차원 공간에서 시각화시켜 이해할수 있고, 각종 시설물 분포와 함께 분석하는 경우 계획, 설계 단계에서 의사결정 신뢰도를 향상시킬수 있음 • **(지하구조물 시공, 유지관리)** 지반 BIM 모델은 지하에 시공하거나 또는 기 설치된 지하시설물 현황을 지반 조건과 함께 볼 수 있어 시공단계 문제파악이나 영향을 분석하는데 반드시 필요할 것임. 지하시설물과 지하공간에 대한 수요가 증가하고 있어 지반 BIM의 필요성과 활용은 더욱 필요할 것임 • **(스마트 기술 연계 활용)** 스마트 건설기술은 BIM을 핵심도구로 사용하고 있는 상황이며, 지반 BIM 모델도 지반분야 스마트기술 도입을 위해 반드시 필요한 내용임. 아직 지반 BIM모델과 스마트기술을 연계한 사례가 많지 않지만 앞으로 지반분야 스마트전환을 위해서 지반 BIM 활용은 반드시 필요
지반 BIM 연구방향	• **(지반정보 표준화 연구)** 지반정보는 시추조사, 물리탐사, 현장시험, 실내시험, 현장조사 및 건설과정의 매핑 등을 통해 다양한 형태의 데이터로 나타남. 이러한 데이터를 디지털 형태로 가공하고 BIM에 활용하기 위해서는 표준화 연구가 필요 • **(지반모델링 도구 개발)** 지반 BIM은 지반조사 정보를 이용하여 3차원적인 지질 및 지층구조에 지반정보를 포함시켜 모델링하는 기법이며, 국내의 독자적인 지반 BIM모델링 도구의 개발이 필요함 • **(지반모델링 기법 연구)** 이종 지반조사 형태(시추조사, 물리탐사)의 자료를 이용한 지층모델링 방법론, 제한된 정보를 이용한 신뢰성 있는 지층구성 방법론(공간보간 등) 등에 대한 연구 필요 • **(Scan-to-GeoBIM기법 연구)** 드론이나 3D스캐닝 기법, 인공지능 기술을 이용하여 지형, 굴착 단면, 터널 단면을 매핑하고 자동적으로 3D디지털 공간에 지반특성을 자동적으로 구분하여 분류하여 표기할 수 있는 기술 개발 필요 • **(지반시설물 특화 BIM 정보 구축 연구)** SOC시설물 관리에 있어 비탈면, 옹벽, 기초, 연약지반 등과 같이 지반관련 정보 필요성이 있는 경우가 많음. 이러한 시설물의 관리를 위한 지반 BIM 정보 구축과 활용방안 연구가 필요함.
도로건설 지반BIM 활용방안	• **(도로계획)** 도로 계획 노선에 대한 지반정보와 지형데이터 및 기존 시설물 정보를 지반 BIM모델을 작성하고, 지반 위험성이 높은 구간의 영향 분석, 도로건설이 기존 구조물에 미치는 영향 분석, 대안 계획의 수립, 계획된 구조물 위치에서의 지반문제 검토에 활용이 가능할 것임 • **(도로설계)** 지반조사를 통한 정확한 지반 BIM 모델을 작성하면, 이를 토대로 도로계획노선을 따른 종단면도, 횡단면도를 쉽게 추출할 수 있고, 교량위치에서서는 기초형식 결정, 토공구간은 토공량 산정, 터널계획 수립에 활용 가능함 • **(도로건설)** 시공전 단계에서 지반조건에 따른 시공계획(굴착, 기초 등), 장비 및 인력배치 최적화, 예상치 못한 지반조건에 신속하게 대응이 가능함 • **(유지관리)** 건설 과정에서 생성된 데이터를 지반 BIM모델에 저장관리하여 유지관리 단계에서 발생하는 문제해결에 활용 가능. 지반 BIM모델을 기반으로 유지관리 단계 점검, 손상확인, 상태평가

○ 전문가별 구체적인 의견은 다음과 같음

(1) 안건1 - 지반분야 BIM필요성, 활용가능성, 활용분야

- **(지반정보 통합관리)** 지반의 물성치는 공간적 변동성이 높으며, 정확한 지반조사를 통한 자료의 데이터 관리는 매우 중요함. 지반공학적 해석과 설계를 위해 현재는 지반조사보고서에 수록된 종이보고서 형태로 데이터를 관리하고 있는데, 지반BIM 모델을 통해 지반의 물리적, 공학적 특성 및 지질정보를 공간정보와 통합하여 효율적으로 관리할 수 있을 것으로 판단됨. 특히, 기존에 있는 지반데이터에 더해 추가적으로 조사하여 생성되는 데이터를 합쳐서 보다 정확한 3D지층 모델 구축하고 데이터를 관리하기 위해서는 BIM의 활용이 필요함
- **(설계와 시공의 활용)** 건설공사에서 BIM도입은 설계변경 발생시 변경사항 관리에 장점이 있음. 설계단계에서 여러분야가 3D형상으로 협력하여 모델을 작성함으로서 오류를 최소화시키고, 시공단계에 설계변경 발생시 신속하게 모델을 변경하고 변경이력을 관리함으로서 시공과정의 효율성을 높일 수 있음. 지반BIM도 이러한 설계변경을 관리하는데 도움이 될 것임.
- **(다른 분야와의 협업)** BIM은 다양한 S/W가 활용되고 있음. 동일한 플랫폼의 BIM S/W를 사용하거나 또는 교환형식을 동일하게 활용할 경우 다양한 참여자들간 협업이 가능할 것으로 판단되며, 특히, 지반공학 분야는 다른 전문 토목공학 분야와 협업이 필수적이므로 지반BIM의 활용가능성도 높아질 수 있음
- **(지층구조의 이해도 증진)** BIM과 GIS를 결합하게 되면, 넓은 지역에 대한 복잡한 지반구조와 공간적인 특성을 3차원으로 쉽게 시각화화고, 시설물에 대한 자세한 정보를 함께 고려할 수 있으므로 설계 정확도와 의사결정의 신뢰성을 높이고, 이해관계자들의 이해를 도울 수 있을 것으로 판단됨. 특히, 다양한 지반정보를 가지는 3차원 지반구조 모델을 생성한다면 지층의 공간적 분포에 대한 이해를 증진할 수 있을 것으로 기대됨.
- **(지하구조물의 시공 및 유지관리)** 현재도 지하에 많은 구조물과 시설물이 설치되었지만, 향후에 지하공간에 대한 수요는 더욱 증가할 것임. 이러한 지하 시설물의 시공뿐 아니라 추후 유지관리를 위해서도 지반의 상태확인이나 유지관리를 하는데 지반BIM을 활용할수 있을 것임
- **(기존 연구와 연계활용)** 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 굴착현장 안전관리지원 기술개발 사업(국토교통부 사업)과 연계하여 초연결 정밀 지하공간 순환 서비스 체계 실현에 활

용이 가능할 것임

> ** 국토부 지하공간 갱신 자동화 및 굴착현장 안전관리 지원기술 개발 사업
> <사업목적> 신뢰도 높은 지하시설물, 구조물, 지반정보 자동 데이터 구축 기술개발 및 확보, 활용목적은 지반 취약지역에 대한 계측장비 설치와 지반상태 확인, 상하수관 등 노후된 지하매설물의 보수보강의 기본자료로 활용
> <지반분야 BIM기술 도입 방법> 지하공간정보통합체계 시스템 내 지하정보 활용시스템은 지하시설물 7종, 지하구조물 6종, 지반3종, 주제도 14종등의 지하정보와 관련 정보를 조회, 분석, 제공 등 지하공간통합지도를 활용할 수 있는 시스템

- **(국토지반정보 포털시스템, geoinfo의 활용도 증대)** 지반조사결과 전산화 및 활용에 대한 지침에 따라 지반조사 DB가 일괄 구축중이나 입력주체, 수요자 니즈를 고려하지 못하고 있는 상황. 지반 BIM기술이 발전되면 지반조사 DB를 BIM설계도면, 코드, 파일 등으로 변환/호환하여 사용가능
- **(필요한 사항)** 지반 BIM의 필요성과 활용가능성을 높이기 위해서는 다음 사항 필요함
  (1) End user(BIM 도면 최종관리자) 또는 정책결정자의 요구사항 수집이 시급함.
  (2) 현재 지층단면 정보수준은?
  (3) Geo-BIM의 Level of Design (LOD) 수준에 대한 정의.
  (4) Geo-BIM의 경우, 보편화와 개념이 불명확, 실무자를 위한 show-case가 필요
- **(결　　론)** 스마트 건설기술 도입이 확대되고 있지만 지반분야에서는 스마트건설 전환의 핵심인 BIM에 대한 활용과 확대가 이루어지지 않고 있는 상황임. 현재 시추주상도 자료를 DB화한 국토지반정보 포털시스템이 있으나 단순 시추조사 자료만 모아놓는 수준으로서 정보 활용도가 매우 낮음. 향후, 지반분야 BIM이 도입되고 활용처가 확대된다면 지반모델링을 통한 관련 지반구조물 해석, 설계, 시공 및 유지관리까지 이점이 있을 것임

(2) 안건2 - 향후 필요한 연구사항, 추진방향성, 추진 방법론

- **(지반정보를 BIM에 통합하는 방법)** 지반조사데이터는 시추조사, 실내시험, 현장시험, 물리탐사 등 매우 다양함. 이러한 데이터를 표준화하여 BIM에 통합모델로 만드는 방법론이 필요함. 지반조사 데이터의 표준화는 지리정보시스템(GIS) 기반으로 지반을 정보화하는 연구가 진행되어 왔음. 이러한 표준체계를 지반BIM과 연계시킬 필요가 있음. 또한 GIS S/W와 BIM S/W가 매우 다양하게 있으며 데이터 교환 및 호환성을 높이기 위한 연구가 필요함
- **(지반모델링 도구 개발)** 지반 BIM은 3차원의 지층형상, 지질구조, 지층정보를 포함하게 되

므로 이러한 지층구조(토층분포, 지질구조 등)를 표현할 수 있는 방법론의 개발이 필요함. 크게 (1) 지층 구분을 3차원으로 하기 위해서는 충분한 수량의 시추조사가 필요하지만 현실에서는 그렇하지 못하므로, 적은 수량의 시추자료를 이용하여 최대한 신뢰성 높은 3D 지층을 형성하는 방법론의 개발. (2) 시추조사 자료와 물리탐사 자료를 통합하여 분석할 수 있는 이종지반조사 결과를 통합하여 지층을 구성하는 방법론에 대한 검토가 필요함. (3) 이에 더해 머신러닝 기법을 활용하여 지층분포와 거동패턴을 분석하고 예측하는 연구가 필요함

- **(교육 및 인력 양성)** 현재까지 지반BIM전문 인력을 양성하기 위한 교육이 전무하다고 볼 수 있음. 따라서 이에 대응하기 위한 교육과정 및 교재개발이 필요하다고 판단됨. 덧붙여 실무자들이 쉽게 따라할 수 있는 지반BIM 적용 지침서 등의 작성이 필요함.
- **(법제도적 정책 연구)** 지반 BIM의 실제 현장 적용을 위해서는 국내 또는 국제 표준을 개발하고 이를 강제규정이나 법제화할 필요가 있음. 특히 BIM적용시에 발생할 수 있는 법적 책임 및 계약관계에 대한 사회적 정책 연구가 필요한 시점이라고 판단됨. 선행 책임 문제 해결 후 정부차원에서 지반BIM도입 촉진을 위한 정책지원 방안을 마련하는 것이 필요
- **(시설물 특화 지반 BIM DB 구축)** 다양한 도로시설물(도로, 터널, 비탈면 등)의 복합적인 지반/지표/구조 특성을 체계적으로 통합관리하기 위한 BIM에 특화된 DB시스템 구축 필요
- **(지반정보의 3차원 통합 가시화)** 복잡한 지반 조건이나, 지하에 시공되어 있는 시설들에 대한 시각화가 필요할 것으로 판단함. 지반 조건을 3차원으로 시각화하는 연구, 지반 정보가 충분하지 않은 구역에 대해서 데이터를 채우는 방안 연구, 지하공간에 있는 구조물을 스캔하여 모델링 하는 방안 연구 등이 필요할 것으로 판단함.
- **(스캔-to-BIM 기술)** 드론 등 지형/지물 스캐닝 기술과 도로 하부지반 공간 모델링 기술과의 유기적인 접목을 위한 포인트 클라우드 기반의 지표 /지반공간모델링 기술 개발
- **(2D지반조사 결과의 3D공간모델 구현)** 지반공학 분야 지구통계학적 기법 설계기준(붙임2)은 국내 도입이 미비한 수준이므로 이에 대한 지반BIM과의 공동의 설계기준 도입이 필요함. 또한, 도로노선(터널, 비탈, 교량 등)을 지반조사(시추, 탐사)가 수행되므로 공간상 선형의 지반DB를 이용한 2차원/3차원 하부지반 공간모델 구현 연구가 필요함
- **(필요한 사항)** 지반 BIM 분야의 연구사항과 추진을 위해서는 다음의 사항이 필요함

  (1) 관련 국가R&D 현황(국토부? 산업부? 해수부?)

  (2) 민간에서 수행하는 지반구조물 설계와 유지관리 (협회/학회)

  (3) 현재 BIM이 활발하게 적용되는 건축분야의 경우, 자재의 종류가 많고 복잡할수록 BIM의 활용성이 커짐. 즉, 도심지굴착, 보강토옹벽, 시설물근접시공 같은 복잡한 지반구조

물을 선정해서 Geo-BIM의 도입필요성과 당위성을 설득할 수 있어야 함.

(4) Geo-BIM의 도입 당위성을 설득하기 위해, 유관 학회(협회) 등에서 활발히 의견을 개진할 필요가 있음.

- **(결　　론)** 지반분야 BIM을 구성하기 위한 데이터 항목의 설정이 필요함. 지반BIM 대상 시설물에 따라 데이터 항목이 달라질 수 있기 때문에 대상 시설물 또는 사업에 따른 필요 데이터 항목을 설정하고 표준화시킬 필요가 있음. 또한, BIM에서는 사용 소프트웨어 선정이 중요함. 현재 BIM 분야에서 널리 활용되고 있는 소프트웨어를 대상으로 지반 BIM 적용 가능성을 검토하여 야 함.
- **(향후대응)** 지반분야 BIM 아이템만으로는 연구단급 R&D 과제를 만들어내기는 어렵기 때문에, 설계 자동화 또는 2단계 스마트건설 사업 등과 함께 묶어서 과제를 제안하는 것을 추천함. 향후, KAIA 과제수요조사시 지반 BIM을 포함한 내용으로 수요조사 제출 및 국토부 담당부서와 미리 해당 내용에 대한 공감대 형성이 필요함

(3) 안건3 - 도로 설계, 건설, 유지관리 단계 지반BIM활용 방안

- **(지반 정보의 통합 및 3차원 가시화)** 지반강도, 토질특성, 지하수위 등 다양하고 복잡한 지반정보를 시각화화여 설계 정확도 향상
- **(지반-도로 구조물 상호작용 시뮬레이션)** 도로 구조물이 지반에 미치는 영향을 분석하고, 지반이 구조물의 안정성에 미치는 변수의 사전 시뮬레이션, 기초설계, 사면안정성, 지반침하 등의 가능성을 사전에 검토하고, 최적의 설계방안 도출
- **(최적 경로 설계 및 위험지역 분석)** 지반정보와 지형데이터를 기반으로 도로경로를 최적화하고 위험구간(예: 토사붕괴 위험지역, 연약지반, 군사 시설물 매립지역 등)을 미리 파악하여 설계에 반영, 도로가 붕괴될 예정인 지반에서 발생하는 문제를 미리 발견하여 대한 마련 가능
- **(시공관리 및 공정 최적화)** 지반조건에 따른 굴착 및 기초시공 최적화된 시공계획 수립, 장비 및 인력 배치의 최적화 등으로 시공과정에서 발생하는 여러 변수들을 통합 관리할 수 있음. 또한 현장에서 수집ㅈ된 지반 상태 데이터를 BIM모델과 실시간으로 연계하여 지반 상태를 계속 모니터링 하고 예상지 못한 지반거동이나 변형에 빠르게 대응 가능
- **(지반관련 문제의 해결)** 건설 및 유지관리 단계에서는 지반 관련 안전 사고 발생시 원인분석 파악에 지반 BIM모델의 활용이 가능할 것으로 보이며, 유지관리 단계의 시설물 관리시 지반에 대한 특성 분석이 쉽게 가능할 것으로 판단됨

- **(유지관리 단계에서 지반 및 도로 구조물의 정보 통합관리)** 건설 과정에서 생성된 모든 데이터를 BIM모델에 저장하고 이를 기반으로 유지관리 단계에서 도로 구조물과 지반정보를 통합하여 관리 가능
- **(정확한 지반정보, 해석연계 활용)** 지반조사에서 획득한 지반 정보들을 기존의 지반정보들과 통하하여 BIM 모델에 통합함으로서 효과적으로 지층구성과 설계 해석을 위한 지반정보(설계물성)를 도출할 수 있음. 이렇게 생성한 현장지반에 대한 BIM모델을 전산해석도구에 직접 불러들여 해석을 수행하고, BIM에 연계시킨 설계가 가능해질 것임. 건설단계에서는 시공 착수전에 3D 시각화를 통해 현장의 상황을 쉽게 파악하고, 현장 관계자들의 사업 및 공사 이해도를 높일 수 있음. 또한, 시공 중에 발생할 수 있는 문제를 사전에 파악하기 용이함. 더불어, BIM이 시공과정에서 실시간 또는 빠르게 업데이트 되어 다음 단계 시공준비에 활용된다면 시공정밀도와 공사품질을 높일 수 있을 것으로 판단함.
- **(시설물 관리에 활용)** 도로의 관리 대상 시설물별 명확한 관리번호, 위치(이정,구간)를 토대로 노반/포장/터널/비탈면의 유무 및 상태/특성(노후도 등)에 관한 정보의 일원화된 관리. 이때 지반 BIM 모델은 도로의 개축이나 유지관리 단계별로 활용 가능
  - 신설단계 : 설계노선 부지정보(지형, 지반, 주변인프라, 기상 등) DB가 반영된 지반 BIM 기초 자료를 이용하여 노반(원지반) 상태 및 절토사면/터널해석/설계를 위한 지반모델로 활용 가능
  - 유지관리 : 지능형교통시스템(ITS)내 차세대 지능형 도로포장 관리시스템과 연계하여 비탈면 변위, 도로손상 상태(이중 지반침하 관점)을 드론 및 차량을 통해 스캐닝, 이후 기타 모니터링 결과와 융합해석이 가능
- **(필요사항)** 도로 설계, 건설, 유지관리 BIM활용을 위해서는 다음이 필요함

(1) BIM기반의 기획(As-Planned), BIM기반 설계(As-Designed), BIM기반 시공(As-Built) 등 단계별 BIM 모델과 각종 자료관리가 이루어져야 하고, 이러한 BIM기반 작업이 궁극적으로는 생산성 향상, 업무 효율성 향상에 기여함을 확인되어야 함

(2) BIM은 매우 다양한 S/W를 이용하여 작성될 가능성이 높으므로, BIM모델의 형식과 품질에 대한 규정이 필요함. 또한 이에 따라 BIM모델과 도면자료를 열람관리할 수 있는 소프트웨어(또는 파일포맷)가 필요함. 이러한 열람관리용 S/W는 여러 포맷을 모두 열람할 수 있는 통합뷰어 또는 교환, 호환이 가능해야함. 예를 들어 Autodesk, Trimble, Leica, 3D-systems 등에서 고유 포맷과 상호 호환 포맷을 조사할 필요가 있음.

(3) 타 분야의 선진 BIM 활용사례, 활용기술을 조사하고 활용방안 모색 필요

- 건축BIM과 EPC분야 등 BIM 전문가 섭외와 자문

7.1.3 BIM 업무 관련자 의견수렴

○ BIM 업무에 종사하는 여러 분야의 실무자를 대상으로 의견 수렴

- 실제 BIM 업무에 종사하는 사람들 대상으로 지반 BIM에 대해서 어떠한 생각을 갖는지 확인하고자 설계회사의 BIM팀, BIM전문회사, BIM전문가를 대상으로 의견을 청취하였음. 주요 의견은 <표 7.3>에 정리하였음.

표 7.3 BIM 업무 관련자 대상 지반BIM모델 활용에 대한 의견

구분	의견
설계사 BIM팀	• 전면 BIM 설계가 도입되고 있는 상황에서 고속도로 설계시 BIM모델링을 하기 위해서는 3D 지형과 3D지층 모델이 필요함. 이를 토대로 도로선형, 교량, 터널 등 대부분의 다른 모델들을 만들 수 있으며, 지형 및 지반과 관련된 의사결정에 활용할 수 있음 • 하지만, 3D 지층모델의 작성은 매우 어려움. 우선적으로 BIM팀 자체적으로 3D지층모델을 작성하는 것은 어려움. 작성하더라도 내용의 신뢰성을 담보할수 없음. 지반팀과 협력하여 작성하고 있음 • 현재 3D지층모델은 전용 소프트웨어를 사용하는 경우, 지층의 역전현상으로 인해 활요이 어려움. 근본적으로 지반조사 수량이 충분하지 않기 때문임. 따라서 2D설계시 활용하는 종횡단별 지층단면도를 작성후 이를 3D모델로 변환하여 활용
시공BIM 전문회사	(A사) • 시공단계에서는 BIM이 시공계획 수립에 주로 활용하는데, 지반BIM의 활용성은 의문스러움. 시공단계 지반과 관련하여 BIM기반으로 상세모델링, 의사결정, 문제해결할 건수가 많지 않아 보임. • 만약 지반BIM모델링하고 이를 활용하라고 하면, 현장에서는 시공중 변화되는 사항을 update하는 수준, 문제발생시에 한번 해보는 수준이 될 것이며, 실제 건설관리에 어느 정도 효용성을 줄지 잘 모르겠음. (B사 - 건축시공bim) • 자체적으로 지반BIM모델을 만들어서 활용중이며, 특히 지반굴착공사에는 지반bim의 효용성이 매우 높음. 지층선 변경에 따라서 변경되어야 할 흙막이 벽체의 구조안정성, 말뚝시공심도, 지하수위에 따라서 배면그라우팅, CIP벽체 등 변경사항이 많아지는데, 이를 지층변경에 따른 자동화 요소로 만들어 활용할 경우 매우 유용함. • 상용 지반BIM S/W를 사용하는 경우 이러한 목적을 완벽하게 지원하기 어려움. 따라서 프로그램을 통해 자동화가 가능하도록 만들어서 활용해야만 효용성과 작업의 효율성이 높아질 것임

구분	의견
BIM 전문가	• 최근의 BIM은 가시화(visualization)를 넘어, 정보통합과 분석(data integration and data analytics), 자동화(automation)로 발전하고 있음 • 지반 BIM모델도 이러한 BIM의 발전 과정 관점에서 활용성을 충분히 찾을 수 있다고 보여짐. 특히 지반분야가 디지털화가 뒤쳐져 있음을 감안할 때, 지반 BIM모델을 건설사업관리에 제대로 포함시킨다면 효용성과 효율성이 특히 높아질 수 있을 것으로 사료됨. • 지반 BIM 활용성 향상을 기술적인 측면에서만 접근하면, 모두가 어려워 할 가능성이 높음. 사업에서의 생산성 향상에 목적을 두고 접근하는 것이 필요함. 예를 들면, 단순히 지반BIM모델기반 도면작성, 수량산정 업무보다는 지반 BIM모델기반으로 빠르게 대안을 비교하여 최적의 솔루션을 제시함으로서 시간과 비용절감이라는 효과를 부각시키는 것이 필요함.

7.2 의견 수렴 시사점

지반 BIM에 대한 내부, 지반분야 전문가, BIM업계의 의견을 청취해본 결과 각계의 의견은 다음과 같이 요약할 수 있음.

- **(공사 내 실무자)** 지반BIM 필요성에 대한 인식 낮음.
- **(지반분야전문가)** 지반BIM 도입 필요. 다양한 연구를 통한 활용 방안 모색 필요
- **(BIM 업무 종사자)** 지반BIM 필요성 일부 있음. 신뢰성과 활용성은 의문

이러한 의견의 시사점은 다음과 같음

- 지반BIM의 활용에 대해서 해당전문분야만 필요성을 강조하고, 그 외 분야는 관심이 없거나 적어 활용의 필요성에 대한 인식이 높지 않음. 만약, 지반BIM을 활용하고자 한다면, 타 분야에서 활용하기를 기대하기는 어려우며, 지반분야에서 자체적으로 BIM활용성을 높이는 노력이 필요함
- BIM 분야는 지속적으로 발전하고 있으며, 이러한 발전에 맞춰 지반분야도 BIM 활용에 대한 효용성을 갖춰나갈 필요가 있음. 기술적인 활용방법론 뿐만 아니라, 사업관리 측면에서 지반BIM을 도입하고 활용함으로서 얻을수 있는 효과를 최대한 부각시킬 필요가 있을 것임.
- 단기간에 지반BIM도입은 어려우며, 지속적인 활용성 향상을 위해 노력이 필요함.

제 8 장 지반분야 BIM 중장기 연구 방향

8.1 중장기 연구방향

○ **국내외 지반BIM 활용사례, 지반BIM 시범구축, 국내 전문가 및 실무자 의견수렴 결과를 토대로 앞으로 연구가 필요한 사항과 연구 방향성(목표, 내용)을 설정하였음.**

- 국내 지반분야는 여전히 종이 보고서, 2D형태의 도면이 주된 성과물 형태이며, 표준화된 지반정보데이터와 모델기반의 업무가 확립되어 있지 않음.
- 건설사업이 전면 BIM으로 전환되는 상황에서 지반분야 정보관리체계 도입과 지반 BIM 활성화를 목표로 중장기적인 연구 필요 사항을 <표 8.1>에 제시하였음.

표 8.1 지반 BIM 관련 중장기 연구 필요 사항

구분	주요 연구 방향
지반 정보 표준화	• 국내 지반정보관리체계는 여전히 미흡, 국내의 독자적 지반정보체계 확립 • 지반 BIM 모델과 연계 활용되는 디지털 지반정보표준화 및 정보체계 개발 • 국내의 지반정보관리시스템 개발 및 산업계 확산을 통한 디지털 전환 기반 마련
제도적 기반 마련	• 국내 건설사업에 지반 BIM 활용은 초보 수준. 활용 확대를 제도와 지원 필요 • 건설사업에 지반BIM모델 구축과 활용을 요구, 업무프로세스 및 성공사례 확보 • 지반분야 BIM모델링과 활용가이드 개발. 지반분야 BIM 기술교육 도입
지반 BIM 활용 사례	• 다양한 지반조건, 현장조건에서의 지반BIM 모델 구축 및 성공적 활용 사례 확보 • 각종 지반공사(굴착, 터널, 기초, 연약지반)의 설계시공시 지반 BIM 활용 • 지반의 붕괴, 침하와 주변 영향 분석과 같은 포렌식 조사에 지반 BIM 활용 • 지반 공사의 계획 단계에서 Value Engineering과 연계한 지반 BIM 활용 등
국가적 지반 정보화	• 현재 국토지반정보관리시스템 http://wwwgeoinifo.go.kr 체계를 GIS 및 BIM과 연계하여 지반 분야에서 쉽게 활용할 수 있도록 전면 개편 • Geoinfo를 활용한 지반BIM모델 구축과 활용 사례 경진대회 등 개최
시설물 관리 연계 활용	• SOC인프라 중 지반과 관련된 시설에 대해서 지반BIM모델의 구축과 활용 • 도로의 경우 절토비탈면, 성토구간, 옹벽, 터널, 구조물 기초 등 지반정보가 필요한 시설물에 대해 지반BIM모델과 시설정보모델의 연계 구축 방안 연구 • 시설물 유지관리 단계 지반BIM정보 모델의 활용 방안 연구
스마트 기술 연계 활용	• 지반 BIM모델을 스마트기술(AI, 자동화, IoT, Drone등)과 함께 활용 필요 • 건설 및 유지관리 단계에서 지반시설물에 대한 3D변위계측 관리 방안 연구 • 지반조사, 지반시설 건설시 지반BIM모델 연계한 자동화 방안 연구(MG/MC 등) • 지반시설에 대한 인공지능 연계한 안정성 해석 자동화 기술 개발 등

○ 지반 BIM의 활용에 일부 중장기 연구방향은 국가적 연구과제로 추진 필요

- 지반 BIM 관련 중장기 연구 사항들은 한국도로공사의 내부 연구과제보다는 대부분 공공부문, 학계, 산업계가 협력하여 지반분야 디지털 전환을 목표로 진행하고 합의를 이뤄야만 국내에 정착될 수 있는 사항들임.
- 특히, 지반정보 표준화 체계의 개발은 지반분야 디지털 전환을 위해 공공재의 성격으로 추진되어야 할 사항이고, 이러한 표준화 체계가 구축되면 이를 기반으로 민간업계에서는 지반정보관리 소프트웨어의 개발이 활발하게 진행될 것임.
- 지반 BIM 활성화를 위한 제도적 기반과 국가적인 지반정보화 시스템의 마련은 어느 한 기관에서 수행하기보다는 국가 연구과제로만 수행될 수 있을 것임
- 시설물 관리에 있어 지반BIM모델의 구축과 활용을 위한 연구는 SOC인프라를 관리하는 공공기관에서 독자적으로 수행이 가능한 부분임. 또한 지반 BIM모델과 스마트 기술의 연계 활용을 위한 연구는 공공부분뿐만 아니라 민간기업에서도 독자적으로 수행이 가능

표 8.2 지반 BIM 중장기 연구사항의 추진 방법론

구분	주요 연구 추진 방법론
지반 정보 표준화	국가지원 연구개발 사업 (산업계, 학계, 공공부문 협력적 수행)
제도적 기반 마련	
지반 BIM 활용 사례	
국가적 지반정보 DB화	
시설물 관리에 지반 BIM 활용	SOC인프라 관리 공공기관 독자 수행
스마트기술과 연계 활용	공공부문 및 민간부분 각자 필요에 따라 수행

8.2 후속 연구과제 제안

○ 후속 연구과제로 "고속도로 지반시설물 유지관리를 위한 지반 BIM 활용 방안 연구" 제안

- 고속도로 주요 지반시설물로 절토비탈면, 도로성토, 옹벽, 터널 등이 있으며 현재 각 시설물별 유지관리시스템을 Text, 보고서, 2D도면, 사진 위주의 정보로 관리 중
- 아직 3D 형태의 BIM 정보 및 지반에 대한 정보는 지반시설물의 관리시스템에 포함되어 있지 않음. Drone 측정이나 IoT계측을 실시하고 있으나 3D 시설관리체계 부재로 Drone 영상과 IoT시스템은 유지관리시스템과 별도의 시스템으로 구성되어 관리 중
- 고속도로 전면 BIM 설계와 시공이 진행되고 있고, 2030년에 준공정보가 BIM 형태로 이관되는 것이 예상되므로, 현 단계에서 BIM기반 유지관리 방안의 마련이 필요.

○ 고속도로의 지반시설물 관리 현황

- 고속도로 관리대상 지반시설물은 크게 절토사면, 성토사면, 원지반보강, 옹벽으로 구분되며, 그 외에도 배수, 암거, 포장, 터널, 교량의 관리시에도 지반관련 내용이 포함될수 있다. 그림 81.에 고속도로 지반시설물 관리 대상 범위를 나타내었다.
- 지반시설물중 사면, 옹벽 관리를 위해 MMS(Maintenance Management System)가 운영되고 있으며, 정보형태는 대부분 Text, 보고서, 2D도면, 사진위주이고, 최근에 드론기반 정사영상, Lidar기반 3D형상, IoT계측기반 경보시스템이 활용되고 있다.

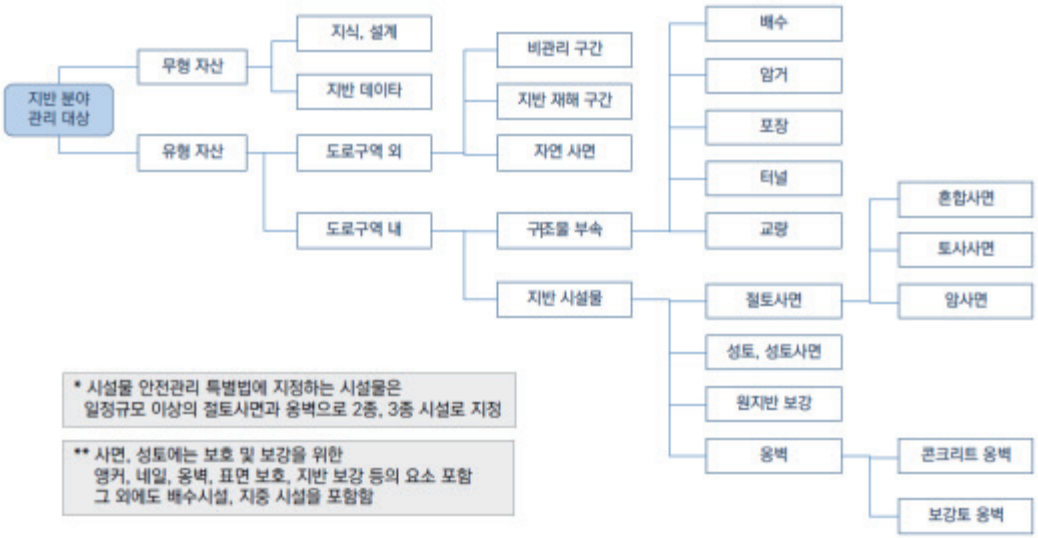


그림 8.1 고속도로 지반시설물 관리 대상 범위

○ **BIM 전면도입에 따른 디지털 전환시대 고속도로 지반시설물 유지관리에도 BIM 과 같은 도구가 필요하며, 이에 따른 정보관리 체계의 변화가 필요함.**

- 시설물 유지관리시스템(MMS)은 과거에는 종이 기반이었으나, DATABASE형태로 발전되었으며 최근에는 GIS기반, BIM 융합으로 발전하고 있음. 표 8.3에 각 시스템의 유형별 장단점과 활용성을 나타내었음.
- 대규모 도로 네트워크에 대하여 공간적 분석, 포괄적인 자산관리, 가시화, 설계-시공-유지관리 단계 통합 자료관리를 위해서는 GIS- 와 BIM-기반의 도구가 필요함
- 최근 국가 인프라의 유지관리에는 BIM-GIS연동되는 시스템 체계가 다수 도입되고 있음. 본 연구에서는 고속도로 지반 BIM 활용성과 연계하여 고속도로 지반시설물에 대한 BIM 기반 유지관리 체계를 연구함으로서 지반 BIM의 활용성을 향상시킬 수 있을 것임

표 8.3 유지관리 시스템의 종류별 장단점과 활용성

System	Advantages	Disadvantages	Best Use Case
Paper-Based	• Simple, Low cost • Widely accessible	• Time-consuming • Error-prone • Limited accessibility	• Small scale network • Low-tech environment
Text-Based Database	• Accurate • Fast retrieval	• Limited visualization • Static analysis	• Small-medium scale • Digital transition
GIS-Integrated	• Spatial visualization • Gain geospatial Insight	• High cost • Require GIS expertise	• Large scale road network • Geospatial analysis
BIM-Based	• 3D visualization • Life cycle management	• Significant cost • High complexity	• Comprehensive asset management simulations

○ **연구의 범위와 수행 내용**

- 연구제안 내용은 “고속도로 지반시설물 BIM기반 유지관리체계 연구” 이며, 향후 고속도로 전면 BIM설계에 따라 정보가 BIM모델로 이관될 때 이를 활용할수 있도록 하기 위한 시스템으로서, 지반BIM도 하나의 모델로서 포함시켜 유지관리 단계에 활용할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 주요 연구내용과 범위는 다음과 같다.

  • 지반시설물의 유지관리를 위한 정보표준체계 및 업무활용방안
  • 지반시설물 BIM기반 유지관리 활용 기술 (드론, LiDAR, IoT연계 활용 방안 등)
  • 비탈면 현장 점검을 위한 모바일 시스템 개발

제 9 장 요약 및 결론

국내외적으로 건설산업의 디지털 전환이 빠르게 진행되고 있으며 건설정보모델링(BIM) 기술이 핵심적인 도구로 부각되고 있으나, 국내 건설산업에서는 전문 엔지니어링 분야의 BIM 도입과 확산은 여전히 낮은 수준이고, 특히 지반분야의 업무방식은 여전히 과거방식에서 크게 변화되지 않고 있으며, BIM 모델 기반의 업무 활용은 거의 전무한 수준임. 본 연구는 고속도로 건설사업에 지반 BIM 활용 도입과 활성화를 위한 중장기적 연구방향 모색을 위해 수행하였고, 다음과 같은 결론을 제시함

○ 국외에서는 지반분야 정보관리표준체계를 기반으로 지반 BIM을 보편적으로 활용 중
- 영국 AGS협회에서 제시한 지반정보표준(AGS 표준)이 폭넓게 활용되고 있음
- 지반BIM은 중요 프로젝트, 지반분야 Value Engineering, 수치해석연계 등 다양하게 활용

○ 고속도로 건설을 위해 지반 BIM 모델 도입은 아직은 시기 상조임
- 고속도로 선형 SOC인프라로서 지반조사 수량이 적어 전구간 3D모델 작성 어려움
- 지반조사가 충분한 일부구간은 신뢰성 있는 지반BIM모델 구축과 활용이 가능
- 지반 BIM모델 구축의 신뢰성 향상을 위해 지반분야 전문가와 BIM작성자의 협력 필요

○ 우리 공사내 실무자와 지반분야 전문가의 지반BIM 도입과 활용에 대한 인식의 차이
- 우리공사 실무자는 건설관리 업무에 지반BIM 활용 필요성이 낮은 것으로 인식함
- 지반전문가는 지반정보관리 관점에서 지반BIM 필요성 인식, 다양한 연구사항 제시

○ 지반 BIM에 대한 국가연구 필요, 우리공사는 유지관리단계 지반BIM활용 연구 필요
- 정부, 산업계, 학계가 협력하여 지반정보표준화 체계를 마련하고, 이를 기반으로 지반 BIM모델 구축방법론, 활용 사례, 국가적 지반정보DB화 등의 연구가 필요
- 우리공사는 고속도로 지반시설물(비탈면, 성토, 옹벽 등)의 관리에 있어 지반BIM정보 기반으로 유지관리하는 방안의 연구가 필요할 것임.

참고문헌

1. 국토교통부, (2018) 건설산업 혁신방안 (정책)

2. 국토교통부, (2018), 스마트 건설 로드맵 (정책)

3. 국토교통부, (2022) 스마트 건설 활성화 방안 (정책)

4. 국토교통부, (2020) 건설산업 BIM 기본지침

5. 안준상 (20) 지하공간 BIM 설계의 국내외 적용 사례, 한국터널지하공간학회지.제23권 4호.

4. Adam Lander, Camilla Gibbosns, Graham Rose, Philip Kirk (2019), Three dimensional geological models in ground engineering: when to use, how to build and review,benefits and potential pitfalls , NZ Geomechanics News, NZ Geotechnical Society

5. A. Henriques*, N. Silva, M. Lopes (2024) Use of BIM methodology in Geotechnical Projects –Construction of underground reservoirs, Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024, pp.538 – 541

6. Ben Gilson, Charlene Ting, Pietro Bologna (2021) Developing the digital sub-surfacemodel for Crossrail 2 : Unlocking the value of spatial data in a congested sub-terranean environment.

7. Brennan, E. (2021) An examination of the use of Geotechnical BIM to provide value engineering solutions for coastal infrastructure, Capstone Project from the MSc in aBIMM

8. FHWA, 2021, Building Information Modeling(BIM) Practices in Highway Infrastructure, RPT NO FHWA-PL-21-024)

9. Merdan, Berdigylyjov, Horaţiu (2019) The implementation and role of geotechnical data in BIM process, E3S Web of Conferences 85,

10. Zobl, F., Marchallinger,R. (2008) Subsurface geobuilding information modelling GeoBIM, GEOinformatics, vol.8. no.11, pp40-43

도 서 정 보

<table>
<tr><td colspan="2">1. 연구보고서 번호 :
연구원-2024-27-534.9607호</td><td>2. 도서목록번호</td><td>3. 수령번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">4. 제 목
고속도로 지반분야 BIM 활용 방안 연구</td><td>5. 발간년월일 : 2025년 2월</td></tr>
<tr><td>6. 연구수행 기관명 코드</td></tr>
<tr><td colspan="3">7. 연구담당자와 소속연구실
안전혁신연구실 김경석</td><td>8. 연구보고서 발간번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">9. 연구수행기관 또는 부서
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>10. 사업분류코드</td></tr>
<tr><td>11. 계약 또는 인가번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">12. 연구제안 부서 또는 기관명
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>13. 연구기관과 보고형태</td></tr>
<tr><td>14. 연구의뢰 기관명코드</td></tr>
<tr><td colspan="4">15. 기타사항</td></tr>
<tr><td colspan="4">16. 요 약 :
국내 건설 산업에 BIM이 전면적으로 도입되고 있지만 지반공학 분야는 여전히 2D 방식에 머물러 있다. 본 연구는 고속도로 건설에서 지반BIM 도입 방안과 활용성을 목적으로 국내외 동향 조사, 시범적 BIM 모델 구축, 대내외 전문가 설문조사를 수행하였다.
국제적으로는 표준화된 체계를 통해 지반BIM이 중요 프로젝트에서 활용되고 있는 것을 확인했고, 지반 BIM 모델을 위한 소프트웨어 및 방법론을 조사하였다. 국내 고속도로 프로젝트를 대상으로 시범적인 지반BIM모델을 구축하고 활용성을 확인해본 결과, 국내 고속도로 사업에서는 지반 조사 데이터 부족으로 전체 3D 모델 구축이 어렵다는 것을 확인하였다. 대내외 설문조사에서는 공사내 실무자들은 지반 BIM 필요성을 낮게 인식하나, 전문가들은 중요성을 강조한다. 정부, 산업, 학계의 협력을 통한 표준화 및 데이터 디지털화가 필요한 것으로 보이며, 향후 연구방향과 우리공사에서 수행할 차년도 연구를 제안하였다.</td></tr>
<tr><td colspan="3">17. 키워드 : 고속도로, BIM, 지반BIM</td><td>18. 발행부서 및 배포구분</td></tr>
<tr><td>19. 비밀구분</td><td>20. 비밀페이지</td><td>21. 총페이지 118</td><td>22. 가격</td></tr>
</table>

INFORMATION

<table>
<tr><td colspan="2">1. Report No.
KECRI-2024-27-534.9607</td><td>2. Accession No.</td><td colspan="2">3. Receipt No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">4. Title and Subtitle
A Study on Application of Geotechnical BIM in EXpressway</td><td colspan="2">5. Report Date : 2025. 2.</td></tr>
<tr><td colspan="2">6. Performing</td></tr>
<tr><td colspan="3">7. Researchers
Safety Innovation & Disaster Prevention Research Division
Kyungsuk Kim</td><td colspan="2">8. Performing Organization Report No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">9. Performing Organization Name or Department
Korea Expressway Corporation Research Institute</td><td colspan="2">10. Work Unit Code</td></tr>
<tr><td colspan="2">11. Contract or Grant No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">12. Sponsoring Agency Name and Address
Korea Expressway Corporation Research Institute</td><td colspan="2">13. Type of Report and Period Covered</td></tr>
<tr><td colspan="2">14. Sponsoring Agency</td></tr>
<tr><td colspan="5">15. Supplementary Note</td></tr>
<tr><td colspan="5">16. Abstract :
Although BIM is being fully adopted in the domestic construction industry, the geotechnical field remains reliant on 2D methods. This study explores the adoption and utilization of geotechnical BIM in highway construction through global trend analysis, a pilot BIM model, and expert surveys.
Internationally, standardized frameworks enable its use in major projects, and relevant software and methodologies were examined. A pilot geotechnical BIM model for domestic highway projects revealed challenges due to limited geotechnical data. While practitioners perceive low necessity, experts emphasize its importance. Standardization and data digitization through government, industry, and academic collaboration are needed, and future research directions were proposed.</td></tr>
<tr><td colspan="3">17. Key Word : Expressway, BIM, Geotechnical BIM</td><td colspan="2">18. Circulation and Distribution Statement</td></tr>
<tr><td>19. Security Classify</td><td>20. Security Page</td><td>21. No. of Page
118</td><td colspan="2">22. Price</td></tr>
</table>

보고서 집필 내역

구 분	소속 및 직책	성명	집필 부분	비고
연구책임자	안전혁신연구실 연구위원	김경석	총괄, 제1장~제9장	
참여연구자	안전혁신연구실 수석연구원	이상래	5장	
	안전혁신연구실 책임연구원	김영호	6장	
	안전혁신연구실 책임연구원	하용수	2장, 5장	

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행한 연구성과물로써 정부와 공사의 정책이나 견해와는 관계없으며, 공사의 승인없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

발 행 처 : 한국도로공사 도로교통연구원

우편번호 : 18489

주　　소 : 경기도 화성시 동탄순환대로 17길 24

전　　화 : 031-8098-6161

F A X : 031-8098-6149

홈페이지 : http://www.ex.co.kr

발 행 월 : 2025년 2월

고속도로 지반분야 BIM 활용 방안 연구

A Study on Application of Geotechnical BIM in Expressway

http://www.ex.co.kr/research/