

스마트 터널 기술위원회

Annual Technical Report

1. 생성형 AI
2. 국내외 BIM 정책 및 적용 현황
3. 디지털 매핑기술

2023

터널 지하 공간 학회
스마트 터널 기술위원회

■ 목 차 ■

1. 생성형 AI.....	1
1.1 개요.....	1
1.2 터널분야 적용 사례.....	4
2. 국내외 BIM 정책 및 적용 현황.....	9
2.1 정책 동향 개요.....	9
2.1.1 국내 정책 동향.....	11
2.1.1 국외 정책 동향.....	15
2.2 활용 사례	20
2.3 연구 사례	22
3. 디지털 매핑기술.....	27
3.1 디지털 매핑 개념.....	27
3.2 3D포인트 클라우드 생성 방법.....	29

1. 생성형 AI

1.1 개요

최근 OpenAI사의 ChatGPT에 관한 관심이 뜨거워지면서 생성형 AI에 대한 논의가 활발해졌다. ChatGPT는 GPT-3.5(현재는 GPT-4) 아키텍처를 기반으로 한 대화형 인공지능으로서, GPT(Generative Pre-trained Transformer)-3(’ 20.6.)는 대규모 텍스트 데이터 셋을 사용하여 머신러닝을 통해 문맥의 의미를 이해한 사전학습 후, 특정한 태스크에 대해 상황에 따라 수시로 미세조정을 적용하여 수행하는 자연어 이해 및 생성능력을 갖춘 인공지능 모델로 기존 버전에 비해 큰 주목을 받고 있다(KISTEP, 2023).

생성형 AI는 텍스트, 오디오, 이미지 등 기존 콘텐츠를 활용해 유사한 콘텐츠를 새롭게 만들어 내는 인공지능(AI) 기술이다. 일명 Generative AI라고도 불린다. 이 방식은 콘텐츠들의 패턴을 학습해 추론 결과로 새로운 콘텐츠를 만들어내는 것이다. 그래서 단어 및 입력 값이 주어지면 문장, 글, 그림, 음악, 코드 등을 생성하여 출력해줄 수 있다.

생성AI분야에는 GAN(Generative Adversarial Networks)과 Transformer라는 두 개의 주요 핵심 모델이 있다. 이 모델들은 컴퓨터비전의 경우 GAN(Generative Adversarial Networks)을 그리고 자연어처리는 Transformer를 기반으로 할 정도로 기본이 되는 이론이다.

GAN 모델은 Goodfellow et al.(2014)가 처음 소개한 이론으로서 당시 매우 혁신적인 아이디어로 평가받았다. 당시에는 흑백 수준의 가짜 인간을 만들어냈지만, 2018년에 이르러서는 실제 인간과 유사한 모습을 생성하는 수준이 되었다(그림 1.1).

GAN은 생성기(Generator)와 판별기(Discriminator)라는 두 개의 신경망으로 구성되어 있으며, 생성기는 실제 데이터와 비슷한 가짜 데이터를 만드는 역할을 수행하고 판별기는 실제 데이터와 가짜 데이터를 구별하는 학습을 수행한다. 예를 들어 생성기가 가짜 인물사진을 만들면 판별기가 그 인물사진을 구별하여 실제인지 가짜인지를 판별한다. 중요한 점은 초기에는 생성기의 학습이 덜 되어 판별기가 쉽게 가짜를 판별하지만, 점차 생성기가 반복학습을 통해 성공확률을 높이는 방향으로 발전하게 되면 판별기가 더 이상 가짜를 판별하기 어렵게 고도화된다. 이와 같이 생성기와 판별기로 구성된 신경망이 서로 적대적(Adversarial)으로 경쟁하기 때문에 Generative Adversarial Networks라고 한다. GAN의 위 두 가지 모델이 완성되면 생성기인 Generative model을 사용하여 생성형 AI 서비스를 제공하게 된다.



[그림 1.1] GAN의 발전(Goodfellow et al., 2019)



[그림 1.2] GAN의 생성기와 판별기

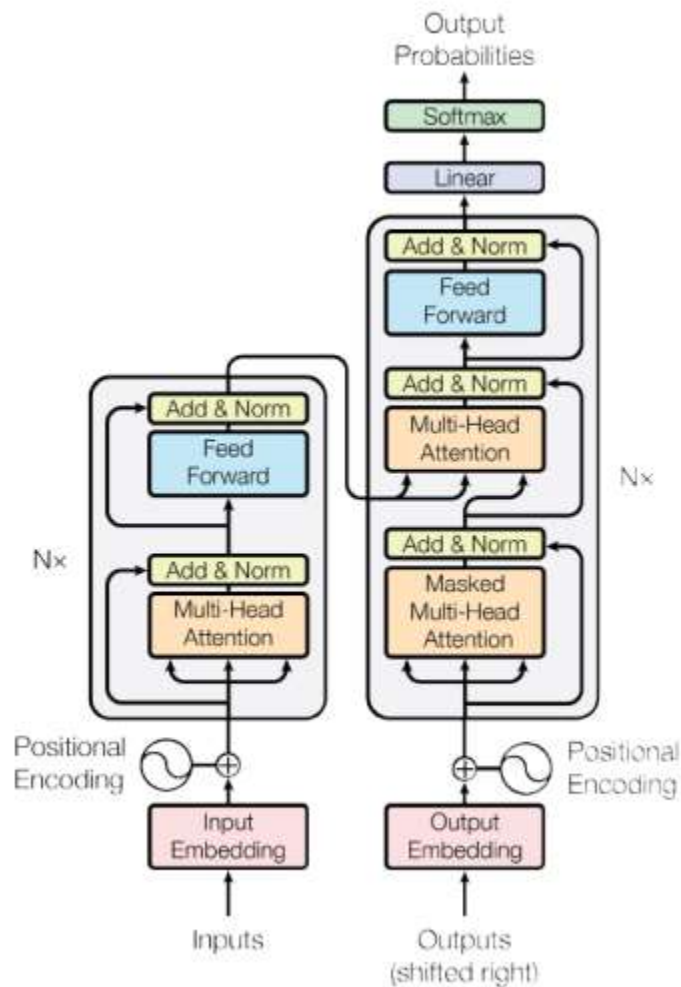
ChatGPT에서 GPT는 Generative Pretrained Transformer의 약자이다. 앞서 얘기한 생성AI의 핵심 모델인 Transformer는 GPT의 “T”에 해당하며, 이름에 들어가 있을 정도로 중요하다.

Transformer는 2017년 Google이 발표한 논문 'Attention Is All You Need'에서 처음 등장한 모델이며, 자연어 처리 모델 분야에서 선조격이라 할 수 있다. 이 강력한 모델의 등장으로 자연어 처리 분야는 평정되었고 이후 Transformer에서 가지치기한 모델이 자연어 처리 분야를 이끌고 있다(Vaswani et al., 2017)

인공지능이 학습할 수 있는 형태로 만드는 것을 데이터 라벨링이라 한다. Transformer는 라벨링 되지 않은 데이터 세트로 데이터 간의 관계를 스스로 추적해 판단할 수 있으며, 이러한 기능으로 CNN 또는 RNN과 같은 기존의 신경망 학습에 비해 시간 및 비용을 절감할 수 있으며, 병렬 연산에 적합하기 때문에 대규모 학습과 추론에 있어서 큰 장점을 가진다.

2017년에 발표된 이후 현재 가장 인기있는 딥러닝 모델이 된 Transformer는 그림 1.3과 같이 매우 어렵고 복잡하다. 위 논문 제목에서 알 수 있듯이, Transformer의 핵심은 “attention”, 더 정확히는 self-attention에 있다. 이 단어는 우리가 말을 할 때, 핵심이 1~2개 단어에 압축되어 있다는 점을 기반으로 모델이 언어 학습을 수행할 경우, 문장 내에서 단어간 중요도 차이가 있음을 “강조(attention)”로서 보여주는 것을 나타낸다.

Transformer를 활용해서 파라미터를 늘리면 AI의 능력이 향상된다는 점을 발견하면서 AI분야에서는 이 파라미터를 수천억개로 늘려보면서 학습시켜 Google의 PaLM과 OpenAI의 GPT와 같은 초거대 언어모델이 탄생하게 되었다. 이러한 모델들은 마치 사람과 대화하는 것과 같이 높은 수준의 자연어 처리가 가능하다. 예를 들어, 방금 전에 내가 한 말을 기억하고 맥락 속에서 답변해 주는 것이 가능해졌고 또한 사용자가 부탁하는 대로 글을 써주고, 그림을 그려주고, 코딩까지 해주는 것도 Transformer 기술 덕분이다.



[그림 1.3] Transformer 모델의 전체 구조도(Vaswani, 2017)

1.2 터널분야 적용 사례

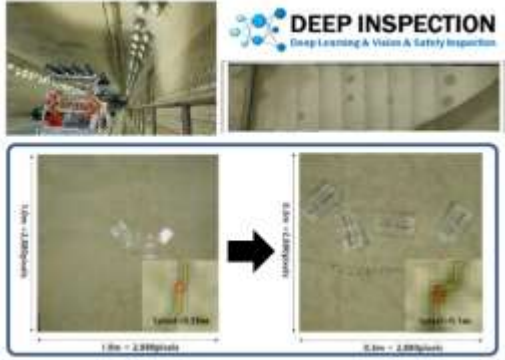
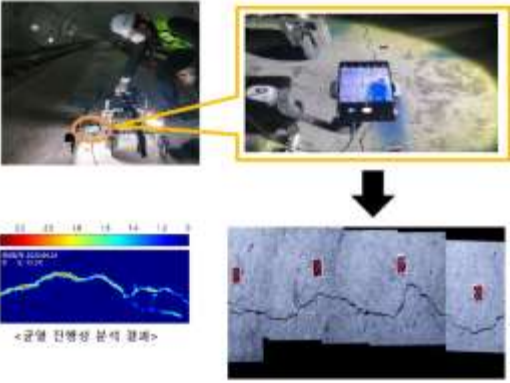
1) 터널 벽면 유지관리 현황

한국건설기술연구원 심승보(2023)는 한국터널지하공간학회 스마트터널기술위원회 기술세미나에서 “생성적 적대 신경망 기반 딥러닝 기술을 이용한 터널 결함 탐지 로봇 개발”을 주제로 발표하였다.

현재 도로터널의 유지관리에서 터널 벽면의 균열을 탐지하는 장비는 표 1.1과 같이 차량 탑재형과 작업자 휴대형으로 구분할 수 있다. 유지관리를 위한 벽면의 면적으로 고려할 때, 영상기반의 자동 균열검출은 필수적이 되었고, 이를 위해 다양한 기술들이 활용되고 있다. 특히 최신 경향에 기반하여 AI기반의 방법들이 적용되고 있지만, 데이터 기반의

AI모델들을 적용하기 위해서는 많은 데이터가 필요한 실정이다.

[표 1.1] 터널벽면 균열탐지 방법

구분	차량탑재형	작업자 휴대형
적용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 도로터널유지관리장비/시스템 • 딥러닝을활용한균열탐지기술 • 0.1mm 균열검출(20km/h) • 영상축척: 화소크기강제할당법 	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트폰을활용한균열측정장비 • 균열탐지/파노라마영상생성 • 초근접영상촬영기반균열진행성 • 영상축척: 스케일바기법(QR code)
적용사진		

현재 유지관리 분야에서 AI모델 적용을 위한 이슈는 다음과 같다.

- 컴퓨터 비전 분야에서 개발된 모델로서, 자기부호화기(Auto-encoder) 신경망 모델은 토목분야의 이슈를 해결하기에 부적합하다.
- 높은 성능을 위해서는 많은 라벨 영상이 필요하다는 점과 균열 영역을 표시하는 라벨링 작업에 많은 시간과 노력이 소요된다(이미지 당 약 12분 소요).
- 균열탐지를 위한 균열 영상이 부족하다. 균열을 학습시키기 위해서는 정상과 비정상 영상이 모두 필요하지만, 현재 균열 탐지용 학습 데이터는 다양성이 부족하다.
- 현재는 입력기반의 점검방식이라서 유지관리를 위한 작업자 수가 부족하다. 노동집약적 손상점검방식을 개선할 필요가 있다.

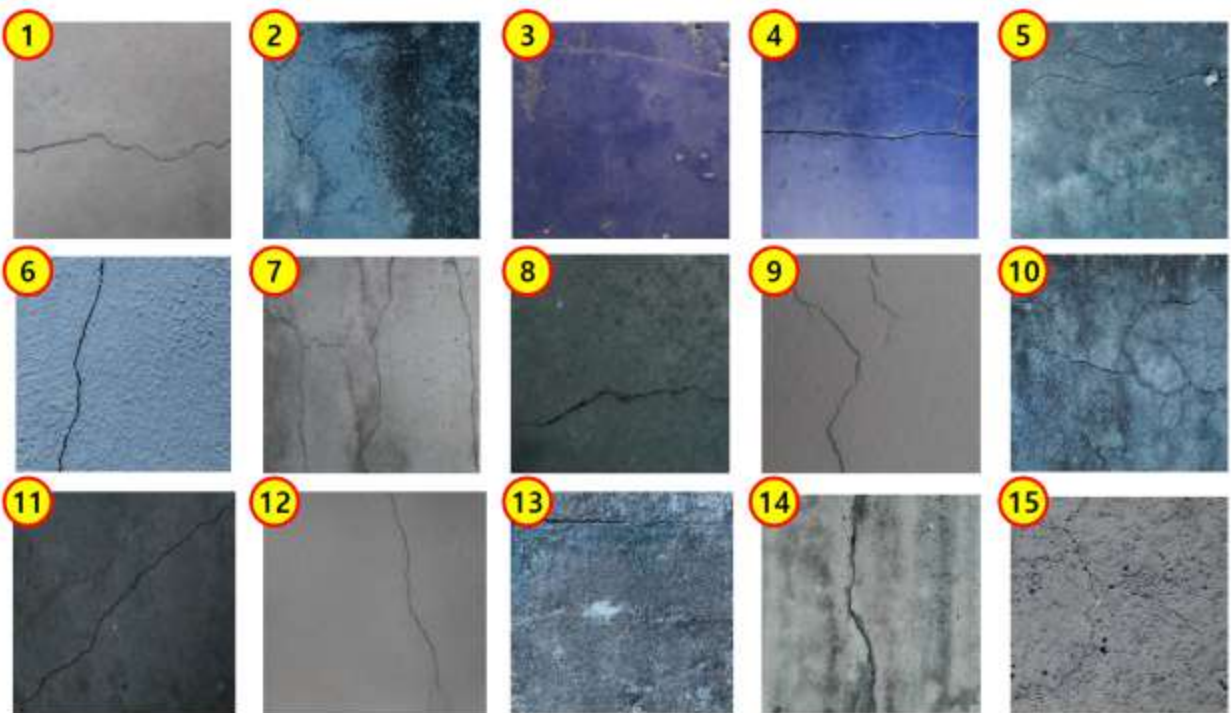
2) GAN 모델

영상분야의 생성AI의 대표적인 기술은 딥페이크(Deepfake) 기술이다. 딥페이크는

딥러닝(Deep learning)과 페이크(fake)가 합쳐진 용어로서, 딥러닝을 이용한 영상 간의 변환 기술 중 한 종류이다. 그 정의는 기존의 영상 또는 비디오 내의 사람을 다른 사람으로 변환하는 기술이다. 그 활용처는 제미니 맨(2019)에서 윌 스미스의 복제인간, 분노의 질주 7(2015)에서 작고한 폴 위커의 등장과 같이 영화 산업(컴퓨터그래픽)과 예술(영상-예술 그림)분야이다. 그러나 인터넷 상에서 더 많은 딥페이크 기술을 만날 수 있다.

그림 1.4는 기술세미나 중 발표자에 의해 제시된 퀴즈 화면으로 가짜 균열 영상을 찾는 것이 목적이다. 그러나 정답자는 없었다. 이것은 딥페이크 기술의 완성도가 높다는 점을 보여준다.

퀴즈: 5개의 가짜 균열 영상을 찾으시오.



[그림 1.4] 가짜 균열 영상

딥러닝 모델을 활용한 콘크리트 균열 탐지 기술의 개발 순서는 다음과 같다.

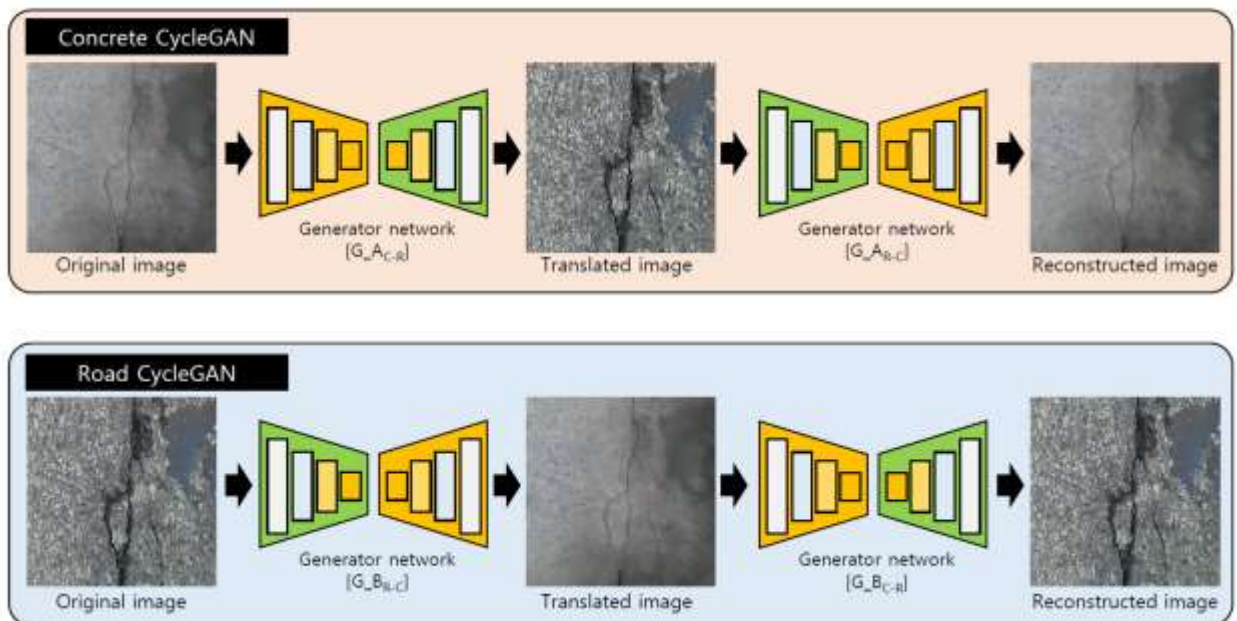
1. 임의의 터널을 선택하여 콘크리트 균열 촬영을 수행
2. 학습데이터 확보를 위한 라벨 영상을 확보
3. 여러구조를 가진 심층 신경망 모델을 활용하여 학습 수행
4. 학습된 모델을 측정장비에 적용하여 현장 균열 탐지를 수행

5. 탐지된 결과를 바탕으로 콘크리트 상태 진단 수행

위와 같이 임의 터널의 콘크리트 상태 진단결과는 다음과 같은 이유로 콘크리트 균열 탐지 성능의 감소가 발생할 수 있다.

- 학습데이터의 다양성 확보 이슈
- 공개된 콘크리트 균열 학습데이터의 수는 1만장 정도가 필요
- 영상들은 소수의 콘크리트 구조물에서 촬영된 영상 데이터란 점
- 따라서 적용 현장에 따라 탐지 성능의 차이가 발생

심승보(2023)는 균열 학습데이터가 부족한 콘크리트 균열 데이터에 더불어 그림 1.5와 같이 CycleGAN기술을 적용하여 도로포장의 균열 데이터를 활용하여 다양한 학습데이터를 확보하고자 하였다.

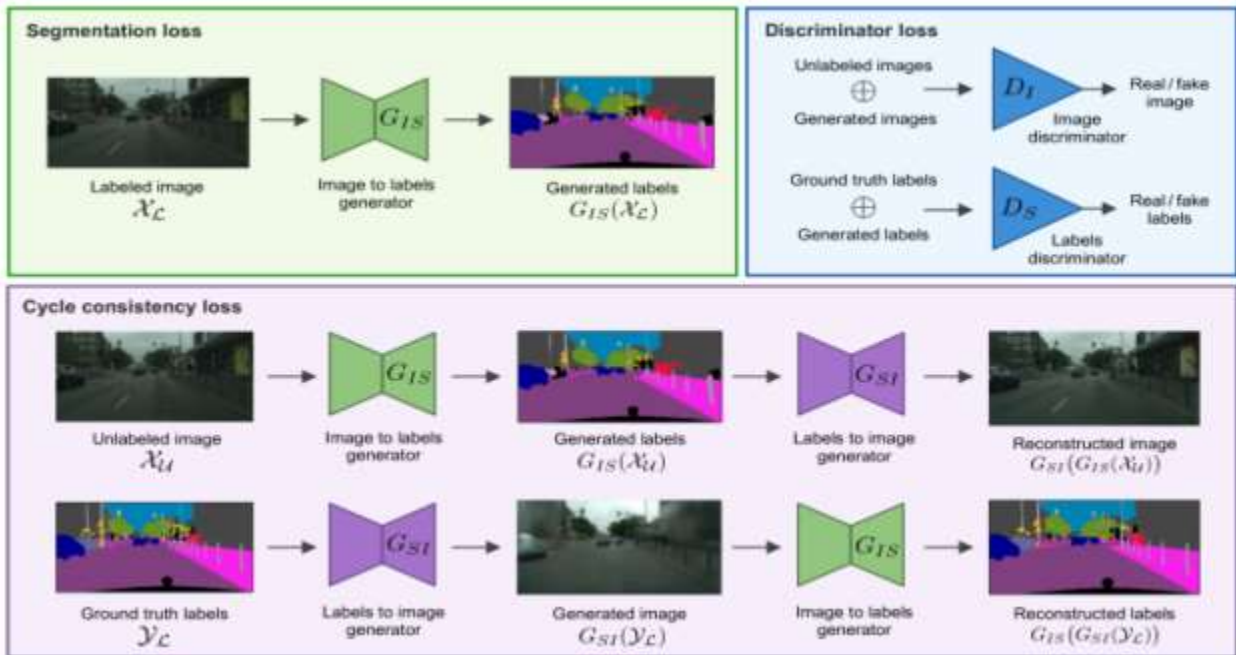


[그림 1.5] 콘크리트 균열과 도로포장 균열의 CycleGAN 적용

일반적으로 균열 영상과 라벨 영상이 소수이기 때문에 높은 탐지성능을 도출하기 위해서 생성적 적대 신경망(GAN, Generative Adversarial Network)을 활용한 준지도학습(semi-supervised learning)을 이용하였다. 신뢰도 맵(confidence map)을 이진 분할 맵으로 변환하여 Pseudo 라벨 영상을 만들어 내고 이 Pseudo 라벨 영상으로 분할 신경망(segmentation network)을 재학습하였다. 적대적 학습을 통해 Pseudo 라벨 영상의 신뢰성이

향상되었다.

균열 영상의 생성을 위해서 영상 간 변환 신경망(Domain adaptation)을 활용하였다. 앞서 말한 바와 같이 콘크리트 균열 영상 데이터 부족을 보완하기 위해서 타분야(도로 포장 균열)의 영상 데이터를 활용하였고 CycleGAN을 사용하여 이종데이터 간의 변환을 통해 다양한 학습데이터를 확보하였다.



[그림 1.6] CycleGAN을 활용한 영상변화 개요

참고문헌

1. 심승보(2023), “생성적 적대 신경망 기반 딥러닝 기술을 이용한 터널 결함 탐지 로봇 개발”, 한국터널지하공간학회 스마트터널기술위원회 기술세미나(2023.04.28.).
2. Goodfellow, I. J. et al.(2014), "Generative adversarial nets." Advances in neural information processing systems 27.
3. KISTEP(2023), “생성형 AI관련 주요 이슈 및 정책적 시사점”, KISTEP 브리프 66, 1-6.
4. Vaswani, A. et al.(2017), "Attention is all you need." Advances in neural information processing systems 30.

2. 국내외 BIM 정책 및 적용 현황

2.1 정책 동향 개요

- 건설산업의 디지털 전환 필요성은 우리 나라뿐 아니라 선진국들에서도 공통적으로 제기되고 있음. 특히, 낮은 디지털화와 인력 위주의 업무가 가지는 정체되거나 후퇴하는 생산성은 근본적인 극복과제로 제시되고 있음. 국가 인프라의 건설이 국가 경제의 근간을 이루기 때문에 정부의 재정지출 여력이 줄어들수록 건설산업에 요구되는 높은 생산성은 더욱 절실하게 됨.
- 높은 산업재해 사망자 문제는 사회적 이슈가 되고 있고 이는 기업의 생산성 증대 압박과 더불어 경험있는 인적 자원의 급감과 해외 인력 증가에 기인한 측면이 큼. 현장 위주의 대응 기술에 집중해 온 오랜기간 동안의 실무 관행과 시스템을 혁신해야 하는데 BIM으로 대표되는 디지털 전환이 산업 경쟁력의 핵심 과제로 대두됨.
- 2020년 7월 “한국판 뉴딜 종합계획”을 통해 디지털 혁신 및 역동성 촉진·확산을 위한 디지털 뉴딜, 친환경·저탄소전환 가속화를 위한 그린 뉴딜, 그리고 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜을 결합한 디지털·그린 융복합 추진전략과 10대 대표과제를 발표함. 10대 대표과제 중 디지털·그린 융복합 관련 과제는 그린 스마트 스쿨, 디지털트윈, 국민안전 SOC 디지털화, 스마트 그린 산단의 4가지로 2022년까지 총사업비 16.1조원, 2025년까지 총사업비 35.9조 원을 투자할 계획이라고 밝힘.
- 정부의 「제2차 산업융합발전(2019~2023)」에 따라 공공데이터 개방을 확대하여 빅데이터 활용 인프라를 조성하는 등 디지털 건설기술 적용을 위한 다양한 인프라가 이미 확보된 상황임. 따라서, 이를 활용한 디지털 기술 적용 전략을 수립해야 함.

[표 2.1] BIM 관련 주용 정책 현황 / 2023년도 추진현황

■ 주요 정책 현황

1) 스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030 발표 (2022.07)

국토교통부(이하 국토부)는 2022년 7월 20일 기존 건설방식에서 벗어나, 첨단기술 등을 활용한 스마트 건설의 활성화를 위해 기획재정부, 과학기술정보통신부 등 관계부처 협의를 거쳐 「스마트건설 활성화 방안」을 발표

※ 스마트 건설 활성화 방안 세부내용은 본 리포트의 8페이지 참조

[링크] http://molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/nti.jsp?cd=95086971

2) 건설산업 BIM 시행지침-발주자편, 설계자편, 시공자편 발간 (2022.07)

국토교통부(이하 국토부)는 2022년 7월 26일 건설산업 BIM 기본지침의 BIM 적용 원칙과 기준 등 방향에 따라 BIM 발주 및 적용시 성과품의 작성·납품 및 활용에 대한 방법과 절차 등에 대해 건설 주체별 공통 세부 기준을 다루는 「건설산업 BIM 시행지침」을 발표

※ 건설산업 BIM 시행지침 세부내용은 본 리포트의 10페이지 참조

[링크] <http://molit.go.kr/USR/policyData/>

3) 서울기술연구원-서울시 BIM 적용 가이드라인 및 로드맵 작성 연구 (2022.10)

서울기술연구원은 서울시의 건설사업에 BIM을 도입을 추진할 목적으로 국내의 전반적인 BIM 환경(제도, 정책, 서울시 현황 등) 분석을 통해 BIM 도입기반 마련, BIM을 통한 안전관리, BIM 활용환경 구축에 대한 로드맵 구성의 세부 방향성을 제시

※ 현재 서울시는 스마트 건설 TF 마련을 통해 BIM을 포함한 스마트건설 도입 추진

[링크] <https://www.sit.re.kr/upload/result/20221019193734898706.pdf>

4) 국토부, BIM 활성화 위한 교육지원 시범사업 추진 (2022.10)

국토교통부(이하 국토부)는 건설사업 BIM 기술의 산업 활성화 및 확대를 위해 실무 현장 차원에서 민간 교육지원 시범사업을 추진하기로 함. 이는 설계사 대상으로 소속 직원 등의 자체 교육 추진시 소요비용의 약 50% 지원 추진 계획으로 효과분석으로 확대 추진 예정

※ 본 교육비 지원 시범사업의 세부 내용은 본 리포트의 58페이지

[링크] <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148907280>

5) 조달청 시설사업 BIM 적용지침서 개정 발간 (2022.12)

조달청은 시설공사 맞춤형 서비스 대상사업에 적용하는 BIM의 모델 작성 및 납품, 활용, 관리기준을 반영한 '시설사업 BIM 적용 지침서'를 개정하여 2023년 1월 1일부터 발주하는 BIM 적용 공사의 '설계공모 지침', '설계용역 과업지침서' 및 '입찰안내서'에 적용 예정

※ 본 개정은 건설산업 BIM 시행지침 제정사항을 반영한 첫 적용지침 마련 사례임

[링크] <https://www.pps.go.kr/kor/bbs/view.do?bbsSn=2212280034&key=00324>

6) 국가건설기준센터-건설기준 디지털화 추진 (2022.12)

국가건설기준센터(건설연)는 2022-2027년까지 건설기준을 컴퓨터가 이해할 수 있도록 Ontology 형태로 디지털화하고 이를 개방하여 누구나 건설기준을 기반으로 한 설계기준 검토 및 설계 최적화 등에 활용할 수 있도록 설계·시공 기준맵 구축, 라이브러리 및 자동화 기반 구축 추진함. 2022년도 수행된 과제는 다음과 같음

- 데이터 포맷 표준화: 건설기준 디지털화 구축 데이터 표준화 연구 (고려대 컨소시엄)
- 건설기준-실무연계(교량): 교량분야 건설기준 연계 설계·시공 절차도 개발을 통한 건설기준 디지털화 기반 구축 연구 ((주)삼안 컨소시엄)
- 건설기준-실무연계(건축): 건축분야 건설기준 연계 설계·시공 절차도 개발을 통한 건설기준 디지털화 기반 구축 연구 ((사)대한건축학회 컨소시엄)

※ 상세한 내용은 추후 BIM Trend Report Vol.5(2023.06)에 담을 예정

■ 2023년도 주요 추진

건설산업 BIM 시행지침(안) 품질검토 및 유지관리자편 신규 마련(2023.12)

건설분야 참여주체별 BIM 납품 성과품에 대한 품질검토 가이드라인 성격의 「건설산업 BIM 시행지침(안)」, 품질검토면-토목, 건축(안) 마련과 유지관리자편 신규 시행지침 마련

발주청별 BIM 적용지침(안) 마련 등 지원(2023.01~계속)

「건설산업 BIM 시행지침」에 따라 국도, 고속국도, 국가철도, 항만 등 공공 발주청별 BIM 적용지침 마련 지원 및 「BIM 발주 지원 가이드라인」 등 후속 실무 가이드라인 마련*

* 적용지침의 구성 원칙 및 방향 제시, 절차적 구성방안 설정에 대한 기술적 가이드

<p>BIM 협의회 구성 및 운영(2023.01~계속)</p> <p>정보교류, 네트워크 구축, 정책 제언, 국내 BIM 추진동력 확보 등을 위해 산학연관 등으로 구성된 BIM 협의회(주요 민간별 소위원회 구성) 지속 운영</p>
<p>BIM 인력양성을 위한 표준 교육 커리큘럼 마련 및 교육지원(2023.06)</p> <p>발주자 BIM 교육 표준커리큘럼 적용 확대('23.6)* 및 민간 실무자(설계, 시공) 교육 커리큘럼 추가 개발('23.8)과 설계사 대상 교육비 및 강사로 지원('23.8)</p> <p>* 국토교통인재개발원 정규 교육 편성 추진 및 추가 공인 교육기관 교육과정 편성 확대</p>
<p>BIM 적용사업 한국형 성과평가모델 개선 및 가이드라인 개발(2023.12)</p> <p>BIM적용사업에 대한 한국형 성과평가 모델 고도화('23.6)를 통한 지원대상 확대('23.10) 및 성과평가 가이드라인 개발('23.12)</p> <p>* 수요조사 후 상반기 BIM 시범사업(공사 지방청·지자체) 지원 2건, 하반기 2건 지원</p>

※출처 : 한국건설기술연구원 BIM Trend Report

2.1.1 국내 정책 동향

- 국내는 건축분야가 조달청, 한국토지주택공사, 서울주택도시공사 등에서 활발하게 BIM 사업을 추진하고 있고 도로 및 철도 분야에서도 전면 BIM 도입을 진행하고 있음.
- 정보전달체계에 대한 국제표준인 ISO 19650 인증을 한국공항공사, 삼성물산 등이 획득.
- 국토교통부 “스마트건설기술개발사업”을 통해 설계와 시공단계의 데이터를 디지털 방식으로 수집, 이를 Data Lake에 축적하여 새로운 기술이나 서비스 개발에 활용되도록 추진.

[표 2.2] 국내 주요 기관별 BIM 발주현황 및 계획

기관명	현행	계획
조달청	○ '16년도부터 맞춤형 서비스사업 대상 공사에 BIM 적용	○ 맞춤형 서비스 관련 사업의 모든 단계로 BIM 적용 확대 ○ 기술형 입찰 대상 공사 및 심의 절차 내 BIM 항목 신설
한국토지주택공사	○ '06년 BIM 시범사업 후, BIM 설계공모 대상지구의 점진적 확대 적용	○ 신규 설계공모지구에 '20년 25%, '22년 50%, '24년 100% 확대 적용
서울주택도시공사	○ 1차 시범사업 적용 및 BIM 확대 도입 중장기 전략 마련 중	○ 2차 시범사업 추진 ○ '22년부터 점차적 BIM 적용 추진
경기주택도시공사	○ 경기 용인플랫폼시티 조성사업으로 시범사업 추진 중	○ '22년부터 공사비 300억원 이상에 BIM 적용 ○ '25년부터 모든 사업지구 전면 시행
한국도로공사	○ '11년 전면BIM 도입 ○ '19년 국내 최초 전면 BIM 설계 발주 및 계약 수행 중	○ '21년 50%, '22년 100% BIM 전면설계 발주
국가철도공단	○ 노반/건축 분야에 BIM 일부 시범 적용	○ '22년 전면설계 발주



[그림 2.1] 스마트건설기술개발사업에서 디지털 플랫폼 구성

[표 2.3] 스마트건설기술 관련 중앙정부 법제도 및 기준 현황

법제도 및 기준	내용	비고
스마트건설기술 활용 촉진을 위한 특별법안	• 다양한 건설규제와 스마트건설기술 활용 촉진, 개별사업 활성화를 위해 법안을 발의('20년 7월)하였으나 철회('20년 9월)	철회
대형공사 등의 입찰 방법 심의 기준	• 턴키 발주 가능 대상에 설계와 시공 단계까지 스마트건설기술을 일괄적으로 적용하려는 일반 공사도 포함	-
조달청 시설사업 BIM 적용 기본지침서	• 조달청에서 발주하는 200억 원 이상의 건축물 사업과 맞춤형 서비스로 집행하는 모든 공사에 BIM 설계 적용 의무화	-
공공공사 추락사고 방지에 관한 지침	• 총공사비 300억 원 이상인 공공공사에 대해 스마트 안전 장비 도입 의무화('19년 4월)	-
건설기술 진흥법 시행규칙	• 민간 건설 현장의 스마트 안전 장비 도입 의무화('20년 3월)	-
건설산업 BIM 기본지침	• 공사 및 공단, 조달청의 BIM 의무화 추진에 따른 통일된 기준을 제시하기 위해 수립하였으며, 기본지침의 사용 주체, 적용 대상, 적용 수준, 적용 절차 등을 제시	-

[표 2.4] 스마트건설공사의 선정기준과 검토 항목(건설기술 진흥법 시행령)

개정 전	개정 후
장대터널(3km 이상), 특수교량, 대형건축물(연면적 3만㎡ 이상) 등의 대형시설물 대상으로 턴키 발주 가능	설계와 시공단계까지 스마트건설기술을 일괄적으로 적용하려는 일반 공사 (스마트건설공사)도 심의를 통해 턴키 발주 가능

발주공사 유형	설계와 시공단계 전 과정에 스마트건설기술을 적용하려는 경우
대상공사 선정기준	1) BIM기반 스마트 설계기술을 설계 및 시공단계 전 과정에 적용하는 경우 2) 시공 전 과정에 자동화된 건설기계 운용 및 통합 관제, 공정 및 현장관리 고도화 기술을 적용하는 경우 3) 대상시설의 유지관리 과정에서 시설물 점검·진단의 자동화, 디지털트윈 기반 유지관리기술을 채택하기 위해 설계와 시공단계에 기술 적용이 필요한 경우
검토 항목	1) 스마트건설기술 적용 필요성(해당기술 채택 사유) 2) 설계와 시공단계 전 과정에 적용하는지 여부 (설계 등 일부분이나 단편적인 적용은 제외) 3) 스마트건설기술의 활용시 예상되는 변화 및 효과 검토(공기 단축, 공사비 절감, 품질, 안전, 유지관리 경제성 등) 4) 시설물 유지관리 고도화 및 디지털트윈 기반 유지관리를 위해 설계 및 시공과정에 이를 고려해야 할 필요성 5) 설계와 시공 분리발주시, 해당 스마트건설기술 적용이 불리한 지 여부

※ 출처: 대형공사 등의 입찰방법 심의기준(2019.02.25.)

[표 2.5] 스마트건설의 주요 대상기술(건설기술 진흥법 시행령)

BIM 기반 스마트 설계	- 지형·지반 모델링 자동화 - BIM설계 자동화
건설기계 자동화 및 관제	- 건설기계 자동화 - 건설기계 통합 운영 및 관제
공정 및 현장관리 고도화	- 시공 정밀제어 및 자동화 - ICT기반 현장 안전사고 예방기술 - BIM기반 공사관리 - 모듈화 또는 프리패브방식에 의한 시공
시설물 점검·진단 자동화	- IoT 센서 기반 시설물 모니터링 기술 - 드론·로봇 기반 시설물 진단
디지털트윈 기반 유지관리	- 시설물 정보통합 및 표준화 - SI기반 최적 유지관리

※ 출처: 대형공사 등의 입찰방법 심의기준(2019.02.25.)

[표 2.6] BIM 설계 의무 적용 대상(조달청 시설사업 BIM 적용 기본지침서)(조달청)

구분	2011년	2013년	2016년	2020년
의무화 대상	500억 원 이상 설계 공모 및 턴키공사	500억 원 이상 모든 공사	모든 맞춤형 서비스* 대상 공사 (시설비예산액 기준)	200억 원 이상 300억 원 미만 중소규모 사업

* 맞춤형 서비스 : 조달청이 전문 인력이 부족한 수요기관의 시설공사에 대해 기획, 설계, 시공, 사후관리 등의 발주기관 업무를 대행하는 제도

총사업비 규모(원)	설계단계		적용범위
	현행	개선	
300억 이상	계획·중간·실시	계획·중간·실시	모든 공종*
200억~300억 미만	계획	계획·중간·실시	건축, 구조
100억~200억 미만	계획	계획	건축

* 건축, 구조, 기계, 토목(대지)이 해당되어 전기, 조경은 사업에 따라 선택 적용



2023년 하반기 건설공사 표준시장단가 / 총액1,0966						2023년 하반기					
구분	공종구분	단위	수량	단가	금액	공종구분	단위	수량	단가	금액	비고
공종	건축비	㎡	1,096.6	21,440	23,521,104	건축비	㎡	1,096.6	21,440	23,521,104	
	기계·토목(대지)	㎡	1,096.6	18,000	19,738,680	기계·토목(대지)	㎡	1,096.6	18,000	19,738,680	
합계					43,259,784					43,259,784	
단가											
평균 단가	㎡				39,440	㎡				39,440	

* 기본단가표 *					
상호번호	발명	단위	단위	비고	비고
WT	단위당 내지	300	㎡		
TK	단위당	30	㎡		
HT	단위당 높이	1600	㎡		
DOF	단위당 면적	180	㎡		
DO	단위당	340	㎡		
DA	단위당	900	㎡		
WT	단위당	200	㎡		
WT	단위당	200	㎡		
HT	단위당	200	㎡		
H2	단위당	100	㎡		
H3	단위당	280	㎡		
BO	단위당	1400	㎡		
H1	단위당	200	㎡		
H2	단위당	500	㎡		
H2b	단위당	200	㎡		
H2c	단위당	200	㎡		

[그림 2.2] 2023년 하반기 건설공사 표준시장단가 공종 및 단가 공고(국토교통부 공고 제2023-495호)

2.1.2 국외 정책 동향

1) 미국 사례

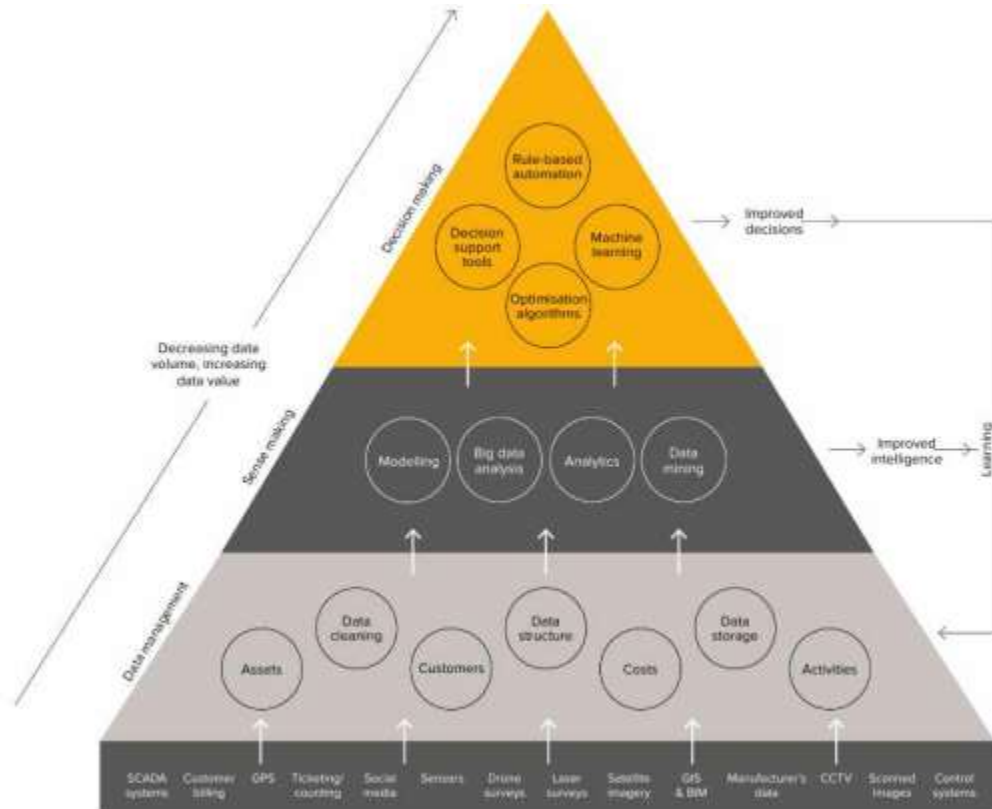
- 미국의 대규모 연방 인프라 투자 및 고용법(2021.10)을 계기로 건설 및 생애주기 디지털 트윈의 사용이 확대될 것으로 기대. 대규모 인프라 투자에서는 기존에 고속도로와 교량의 투자에 집중되었던 것과 달리, 초고속 통신망과 철도 등 다양한 분야가 포함되어 있어 디지털 트윈이 활용될 수 있는 환경이 조성될 것으로 기대됨. 일반적으로 인프라 투자에 있어 프로젝트의 수익성과 일정 등의 불확실성으로 인해 민간 투자 유치에 제한적이었으나, 디지털 트윈의 활용은 프로젝트 진행상황이나 성과물에 대한 가시성을 높이고 투자 수익성 산출에 대한 편차를 줄일 수 있기 때문에 민간 투자유치의 확대에 기여할 수 있음.
- 미국은 건설현장에서 활용 가능한 IoT 등 스마트 기술의 첨단화 및 설계·엔지니어링 역량 강화를 통해 시장 경쟁력을 확보하고 있으며, National Construction Goals를 수립하여 건설 자동화 분야에 약 12억 달러(1조3,600억원)를 배정하여 건설산업의 생산성 향상을 위해 노력하고 있음.



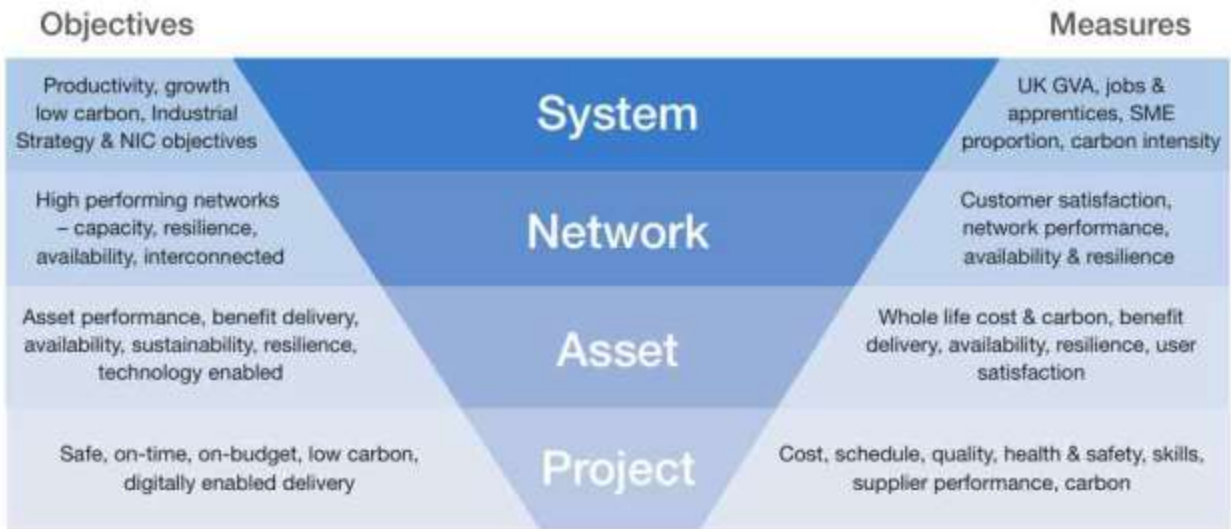
[그림 2.3] 미국의 Digital Delivery 사례

2) 유럽 사례

- 영국에서 “Digital Built Britain” 전략을 수립하고 건설산업에서의 분화된 업역구조, 품질과 설계에서의 부정확성, 장기적인 계획과 예측성의 부재로 인해 생기는 인프라 전체의 성능을 개선하기 위한 노력을 디지털화, 프리팹 구조에 기반한 OSC 확대로 구체화하고 있음.
- 영국은 2011년 정부 예산 확정과 함께 “Government’s Plan for Growth”를 발표하면서 국가 경제에서 건설산업이 차지하는 중요성을 강조함. 이후, 정부 주도하에 ICT 기술을 적용한 건설산업의 스마트화를 목표로 하는 “Construction 2025”를 수행 중이며, 정부와 산업계가 공동으로 노력해야 할 책무를 정하여 이에 대한 세부 추진과제를 수립, 추진하고 있음. “Construction 2025”은 사람, 스마트, 지속성, 성장, 리더십의 5개 키워드를 가지고 있으며 원가 및 사업 전 주기 비용 33% 절감, 탄소가스 50% 절감, 공사 기간 50% 단축, 건설 분야 수출입 격차 50% 감소를 목표로 함.
- 디지털 인프라의 데이터는 막대한 데이터량을 가지지만 데이터 가치를 높이고 의사결정에 활용하기 위해서는 데이터기반 엔지니어링과 의사결정 시스템을 통해 데이터의 가치를 높여서 자연스럽게 데이터가 생산되고 활용되도록 하는 체계가 필요함.



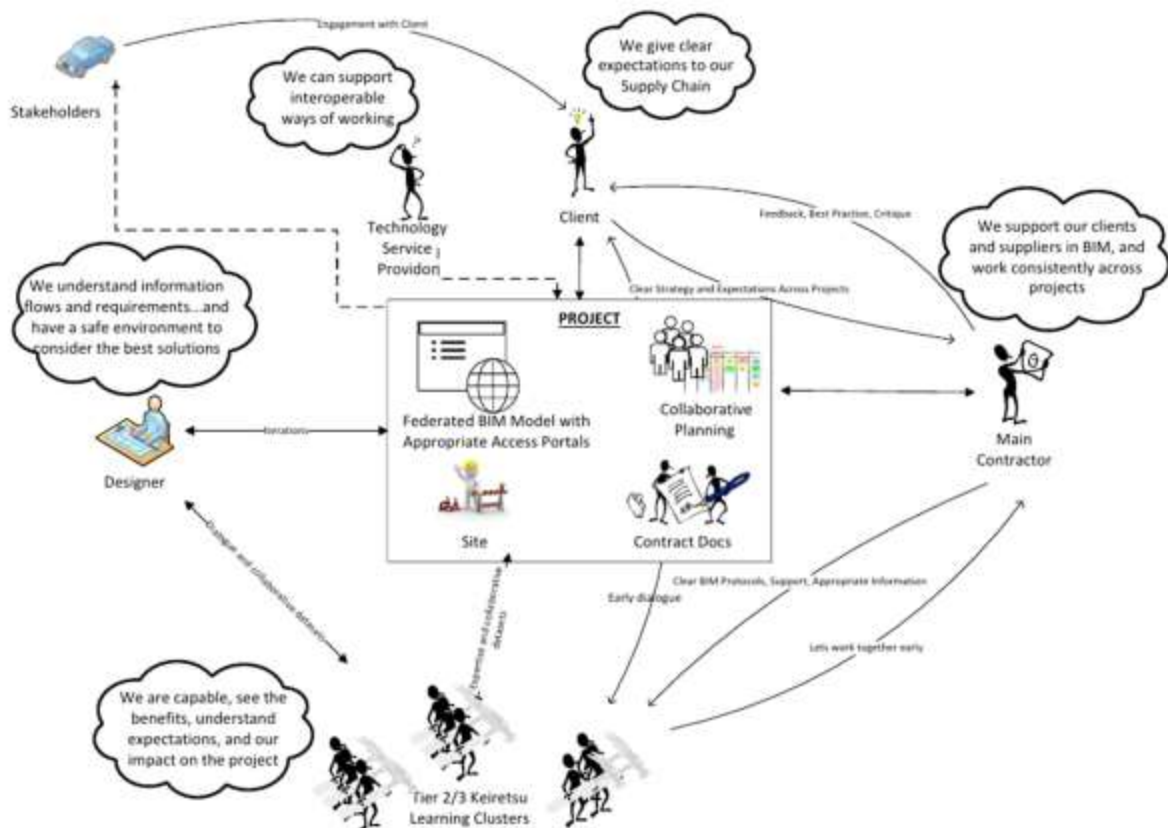
[그림 2.4] 디지털 인프라를 통한 데이터 용량 절감과 가치 증대 체계 (CSIC)



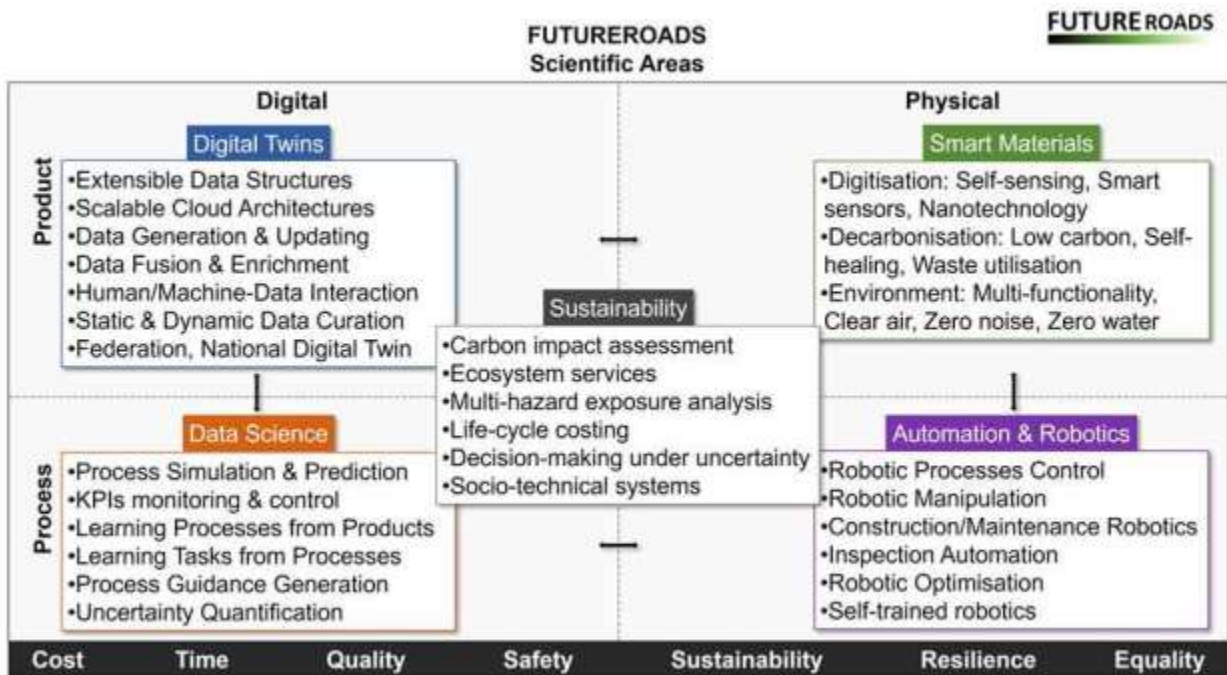
Source: IPA

[그림 2.5] 인프라 성능 전환의 목표와 평가 방법 (영국 IPA)

- 공공사업을 발주하고 운영 유지관리하는 주체는 데이터 관리가 생애주기에 걸쳐서 체계적으로 이루어지고 이를 활용한 새로운 서비스 창출이 이루어져야 진정한 디지털 전환이 달성될 수 있음.



[그림 2.6] 영국 Highway England의 데이터 파이프라인 사례



[그림 2.7] 영국의 Future Roads 개발 계획(CSIC)

- 2021년 12월, 지속 가능한 건설 제품의 선두 공급업체인 ‘Genuit’ 는 기업의 디지털 혁신 일환으로 제품 데이터를 구조화하고 표준화하기 위해 노르웨이 소프트웨어 회사인 ‘Cobuilder’ 와 전략적 계약을 체결함. 이 협력을 통해 Genuit은 내부정보 흐름을 개선하고 데이터를 구조화함. 공통 디지털 언어를 만들고 내부 부서와 시스템, 외부 이해 관계자 및 소프트웨어 플랫폼 간의 연결을 가능하게 하는 중요한 전제 조건으로 표준화된 데이터를 기반으로 하는 단일 소스 데이터 관리 전략을 구현하여 데이터 유지 관리에 투자되는 수작업을 줄여 운영 효율성을 최적화하는 것을 목표

3) 싱가포르의 사례

- 싱가포르는 국가사업에 BIM 적용을 의무화하고 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 분야 기술 로드맵을 발표하고, “Construction 2021” 을 통해 생산성 향상을 추진 중임.
- 싱가포르는 건축물 표준정보의 중앙 저장소(CORENET)를 만들고, 세계 최초로 BIM 전자 제출을 시작(2008)하였으며, 2015년부터 5,000 이상 프로젝트에 대하여 BIM 전자 제출을 의무화하였음. 또한, 싱가포르 건축국(Building and Construction Authority, BCA)에서는 2010년부터 BIM 교육, 컨설팅, 하드웨어 등에 대한 보조금을 지급하고, BIM 가이드라인과 라이브러리를 제공함.

- 싱가포르 정부는 ‘버추얼 싱가포르’ 프로젝트를 통해 국토 내 모든 건축과 지형 정보를 기반으로 3D 가상화 환경인 디지털 트윈을 구축하여 다양한 도시계획에 대한 사전 시뮬레이션이 가능하도록 함.
- 구축된 싱가포르형 디지털 트윈의 대표적인 활용 사례로 도시의 기온정보와 일조량에 대한 데이터 융합을 통해 신규 건물이 다른 건물의 일조량이나 온도에 미칠 영향을 미리 예측하여 인허가를 제공하는 ‘도시계획 시뮬레이션’ 과 빌딩의 높이 정보, 일조량 등 데이터 융합을 통해 태양광 발전 패널의 설치에 따른 에너지 생산량을 미리 예측하는 ‘태양광 발전에 따른 에너지 생산량 예측’ 등이 있음.

4) 일본의 사례

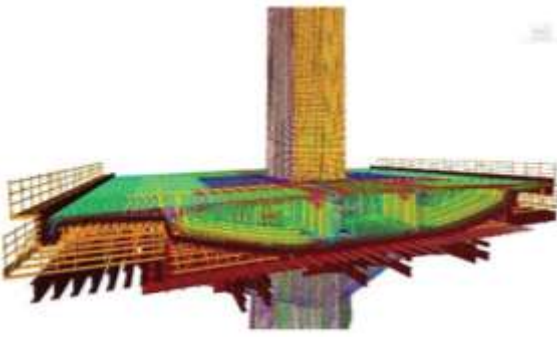
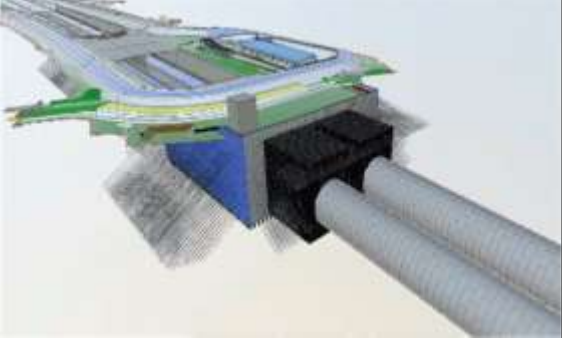
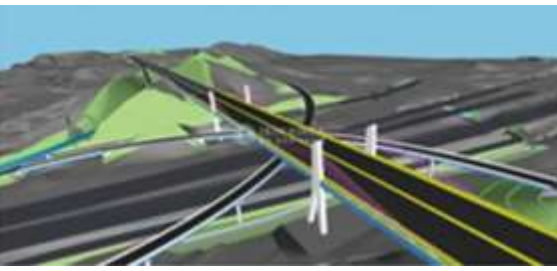
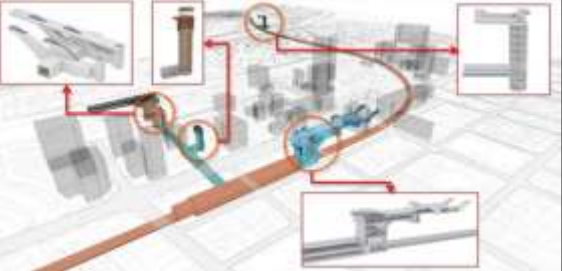
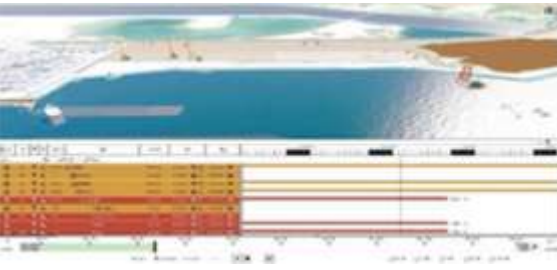

- 일본에서는 국토교통성(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT)과 일본건설정보종합센터(Japan Construction Information Center, JACIC)를 중심으로 2012년부터 터널, 교량, 댐 등 42개 프로젝트에 대하여 BIM 설계를 수행하였으며, 중국에서는 2017년 BIM 통일표준 및 건축 시공 BIM 응용표준이 제정되는 등 다양한 방법으로 BIM을 적용하고 있음.
- 기반시설 대상 DX 추진 사업으로 키타치바 도로 정비에 BIM, CIM, 설계도서 AI 검토 등의 시스템을 도입


[표 2.7] 국가별 BIM 의무화 추진내용

국가	BIM 의무화 추진 내용
미국	• 국가 차원의 BIM 의무화는 없으나, 공병단, 조달청 등 기관 차원의 의무화 추진
영국	• '16년부터 모든 정부 조달 건설사업에 BIM 레벨2 인증 의무화 - 2레벨 달성을 위한 정보관리 및 업무 표준 마련 - RIBA(왕립건축가협회) 주관 국가 BIM 표준 Library 구축 및 보급
싱가포르	• BCA 및 14개 건축 인허가 기관 대상 BIM 전자납품 의무화 - 연면적 2만m ² 이상 건축물('13) → 연면적 2만m ² 이상 구조, 설비('14) → 연면적 5천m ² 이상 건축물('15) - BIM 성과품 전자납품(BIM e-Submission)을 위한 4개(일반 요구사항, 건축, 구조, 설비) 표준 마련
일본	• CIM(construction Information Modeling)을 포함하는 i-Construction 정책을 통해 의무화 - '16년 4월부터 3억 달러 이상 도로, 하천제방 사업에 드론, 자동굴삭기 등을 활용한 CIM 기반 토공기술 의무화 - '20년까지 전체 건설공사로 확대 목표

※ 출처: 공공건설분야 BIM 로드맵 및 활성화 전략(2018.09)

2.2 활용 사례

사업명	세종~포천 고덕대교(2018)	김포~파주 한강터널(2020~2026)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •한국도로공사 BIM 시범현장 •BIM 시공관리 	<ul style="list-style-type: none"> •한국도로공사 스마트건설 시범현장 •BIM 및 가상건설
BIM 모델		
사업명	세종~포천 고속도로 12공구(2018~진행중)	월곶~판교 1,6공구(2020~2021)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •한국도로공사 •통합 BIM 구축 	<ul style="list-style-type: none"> •국가철도공단 •실시설계 BIM 구축
BIM 모델		
사업명	인천신항 1-2단계 하부공 실시설계(2021)	동북선 경전철 112 정거장
개요	<ul style="list-style-type: none"> •인천항만공사 •실시설계 BIM 구축 	<ul style="list-style-type: none"> •서울시 •BIM 수량산출, VR
BIM 모델		

사업명	부산항 신항 북권2단계 실시설계(2022)	GTX-C 실시설계(2022~진행중)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •부산항만공사 •Cube-BIM 활용한 BIM 구축 	<ul style="list-style-type: none"> •국가철도공단 •분야별 전면 BIM 구축
BIM 모델		
사업명	대산~당진간 고속도로 제4공구(2019~2021)	월드컵대교 남단 연결로 및 접속교(2021)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •한국도로공사 •전면 BIM 설계 	<ul style="list-style-type: none"> •서울시 •전환 BIM 설계
BIM 모델		
사업명	싱가포르 차량기지(2016~2023)	싱가포르 남북연결도로(2019~2026)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •세계 최초/최대 빌딩형 차량기지 •BIM 설계 및 시공관리 	<ul style="list-style-type: none"> •전체13개 공구 중 6개 공구 수행중 •BIM 설계 및 시공관리
BIM 모델		
사업명	키리-티카코스키 도로 프로젝트(2019~2023)	리스본-마드리드 고속철도 프로젝트(?)
개요	<ul style="list-style-type: none"> •29개 교량 있는 핀란드의 4번 고속도로 •BIM 설계 	<ul style="list-style-type: none"> •철도구간 최적화로 인프라 비용 10% 절감 •BIM 설계
BIM 모델		

2.3 연구 사례

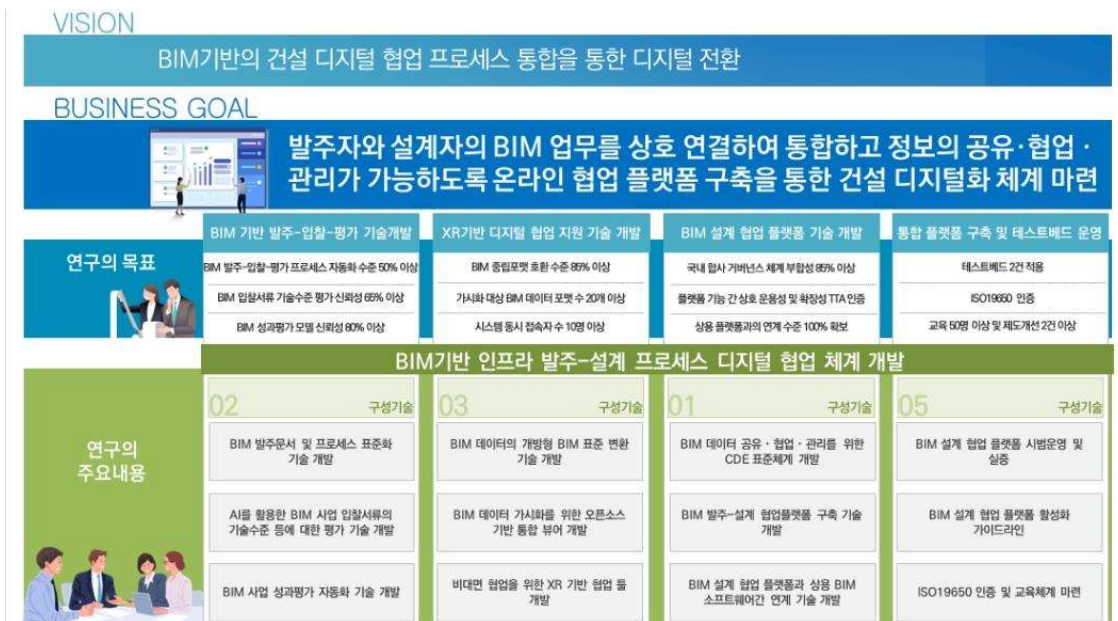
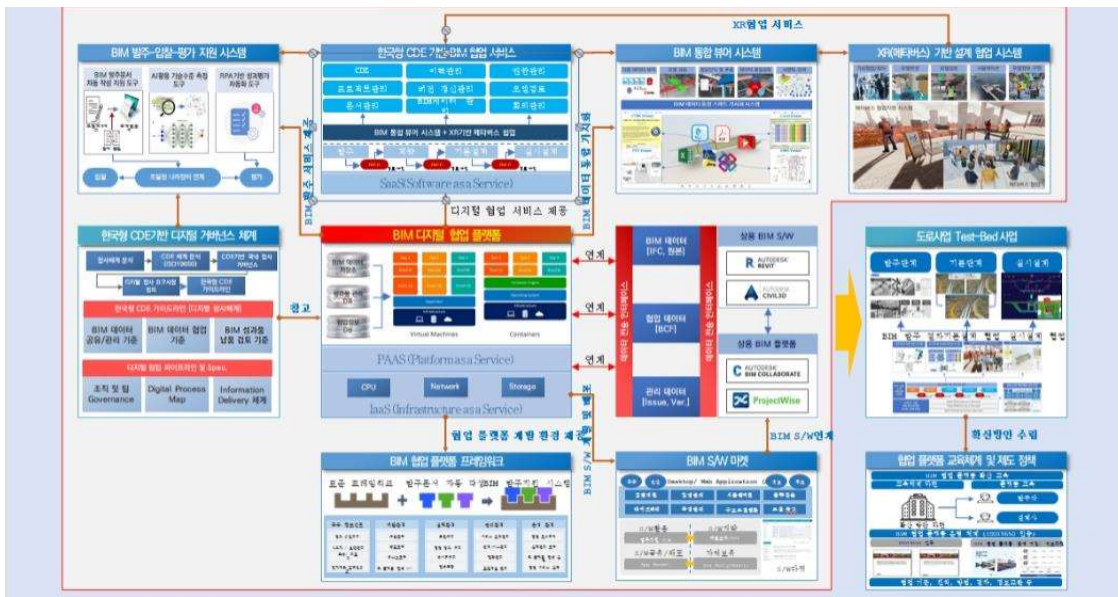
1) BIM 기반 인프라 발주-설계 프로세스 디지털 협업 체계 개발

- 연구단체 : 한국건설기술연구원

(국가 R&D, 2022~2024년, 총 21.32억(KICT 주관) 문현석 클러스터장/연구위원)

- 목표

기존의 오프라인 협업 체계를 온라인 협업체계로의 전환을 목표로 발주자와 설계자 사이의 공동데이터환경(CDE)기반의 디지털 협업 플랫폼 구축 기술 개발



[그림 2.7] BIM 기반 인프라 발주-설계 프로세스 디지털 협업 체계 개발

■ 주요내용

- BIM 발주문서 자동작성 및 AI기반 BIM 설계발주 문서 분석과 RPA 성과평가 기술개발
- 다중포맷의 통합 디지털 협업 뷰어 및 XR기반 협업 서비스 기술 개발
- 클라우드기반 디지털 협업 플랫폼 및 프레임워크 / 인터페이스 및 SW공유마켓 구축
- 실제 도로사업 대상(도로공사 TB)선정을 통한 플랫폼 실증 및 교육/제도 발굴

■ 기대효과

- 포스트 코로나 시대를 대비한 디지털화된 방식으로의 건설 협업 체계 패러다임 전환과 건설 생산성 및 디지털화 수준 개선 기여
- 도로 및 타 인프라 사업의 Paperless 기반 협업 체계 도입 가속화와 건설 디지털 정보의 통합 공유, 관리, 활용 체계 마련

2) 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발

■ 연구단체 : 한국건설기술연구원

(국가R&D(다부처), 2020~2024년, 19.38억 원, 홍창희 연구위원)

■ 목표

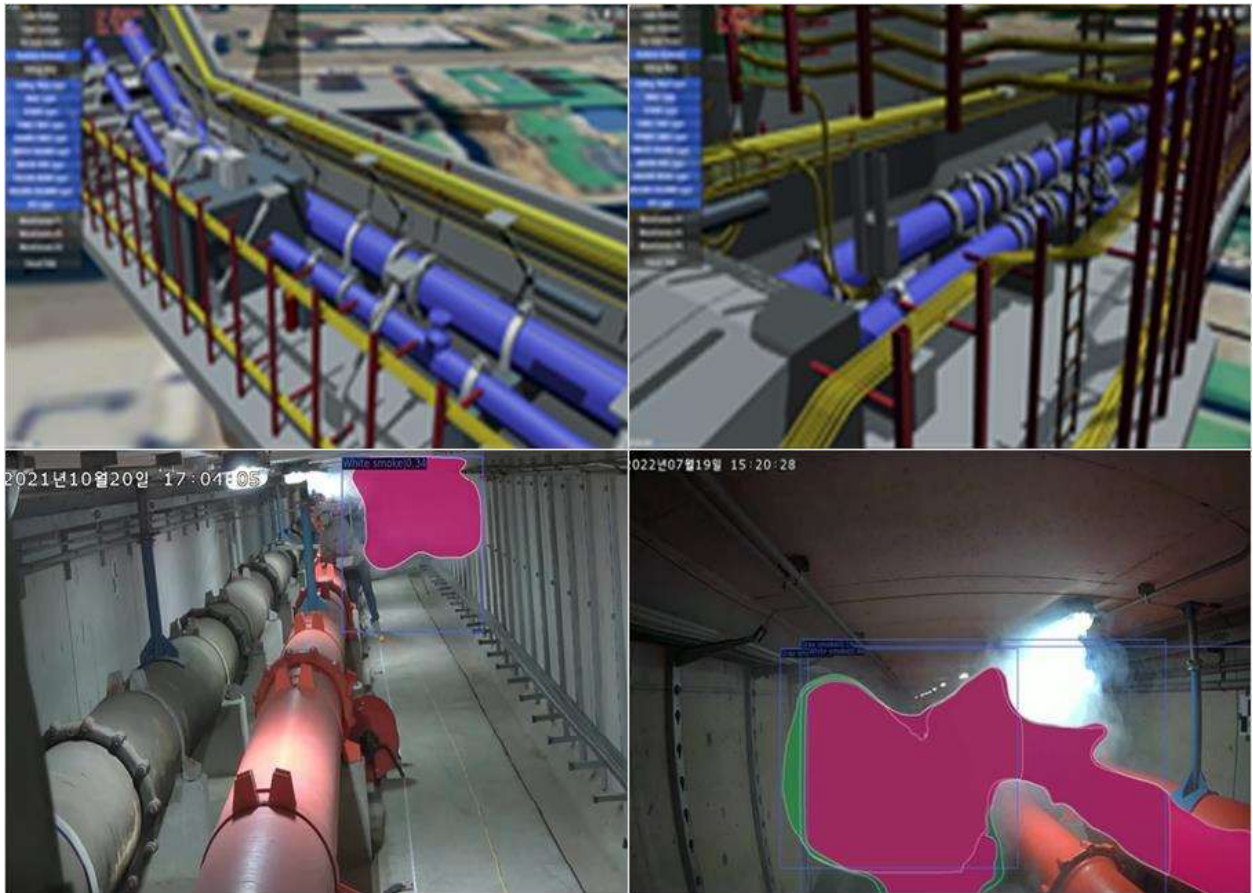
재난 상황 확산 예측 지원을 위한 3D 공간객체 생성 및 영상정보에 의한 실시간 탐지 기술 개발

■ 주요내용

- 고정밀 (관로형/구조물형) 디지털트윈 공간정보 세밀도 LOD4 이상 구축 (수직/수평 위치정확도 5cm 이내 달성) - 국내최초
- CCTV 영상 기반 지하공동구 불꽃/연기 AI 감지 90% 이상 기술개발 - 국내최초

■ 기대효과

- 디지털트윈 공간 구축기술(BIM 등) 개발로 디지털트윈 및 유사한 분야나 목적의 활용시스템 구축 시 글로벌 기술 경쟁력 확보
- IoT, AI, Big Data 등 첨단 요소 기술이 융합된 시스템 구축으로 글로벌 기술 경쟁력 확보



[그림 2.8] 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발

3) 정보통신설비 3차원 데이터 모델링 구현을 위한 BIM 라이브러리 표준개발

■ 연구단체 : 한국건설기술연구원

(국가R&D, 2023~2025년, 총3.5억(공동), 문현석 클러스터장/연구위원)

■ 목표

정보통신설비 BIM 라이브러리 및 라이브러리 작성, 활용 및 인증 가이드 마련을 통한 정보통신설비 시설의 BIM 기반 구축

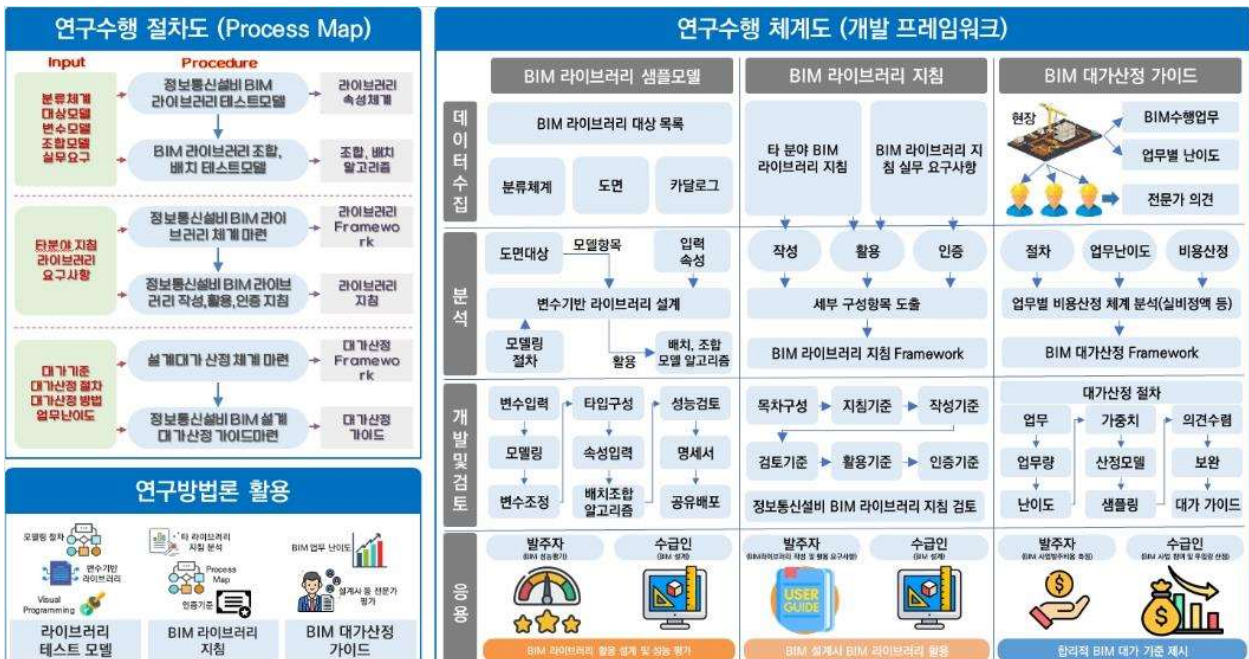
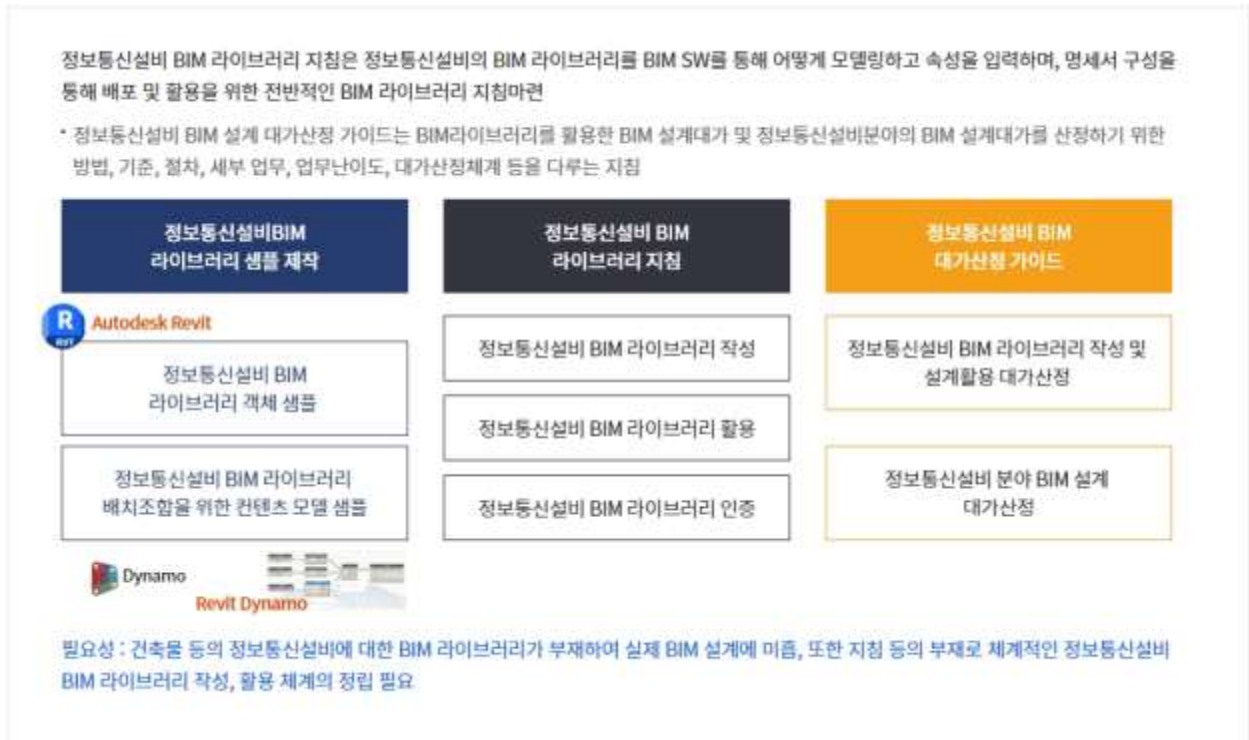
■ 주요내용

- 정보통신설비 BIM 라이브러리 및 동적 변수기반 조합 테스트 모델 개발
- 정보통신설비 BIM 라이브러리 작성, 활용, 인증 가이드라인 마련
- 정보통신설비 BIM 라이브러리 기반 설계 대가 가이드 마련

■ 기대효과

- 정보통신설비의 BIM 적용 대상 확대로 산업 전반의 BIM 확장 기반 마련
- 정보통신설비 BIM 라이브러리를 활용한 설계 생산성 개선

－ 정보통신설비와 건설분야의 융합을 통한 BIM 적용수준 고도화



[그림 2.9] 정보통신설비 3차원 데이터 모델링 구현을 위한 BIM 라이브러리 표준개발

4) BIM+융복합 주제를 고려한 특화 R&D 수행

- 연구단체 : 한국건설기술연구원
- 실검증

- 디지털 트윈과 PC공법을 이용한 수직구 시공 전주기 관리를 위한 SW시작품 개발 (실검증사업, 2023, 1.5억, 주관)
- 실제 수직구 공사 선정으로 수직구 BIM모델링 및 시공 시뮬레이션 프로그램 개발을 통한 실용화 확장
 - 적립금-학연
- 사용자 뇌파검측을 통한 BIM기반 Urban Metaverse 평가모델 연구 기획(자체, 2023, 0.4억, 이종호 전임연구원)
- 복합플랜트 건설 디지털화를 위한 파이프랙 설계 자동화 및 이상상황 구조물 해석 연계 알고리즘 구현(자체, 2023, 0.4억, 이재욱 수석연구원)
- 정보통신설비 BIM 라이브러리 기반 설계 대가 가이드 마련

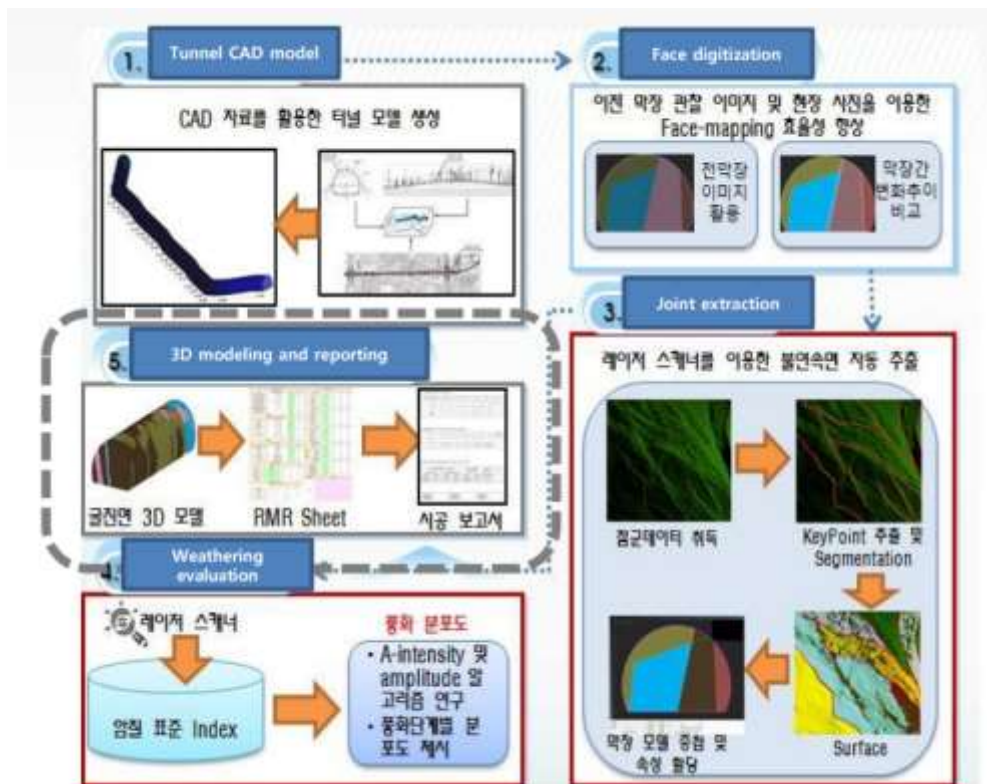
참고문헌

1. 한국건설기술연구원 BIM Trend Report, 한국건설기술연구원
2. 서울시 BIM 적용 가이드라인 및 로드맵 작성 연구, 서울기술연구원
3. BIM 관련 미래기술, 건설기술연구원, 2022.06.30.
4. BIM을 도입한 12개 프로젝트의 성공 비결, Autodesk, 2019
5. 한국건설기술연구원 사이트(<https://www.kict.re.kr>)
6. Trimble 사이트(<https://www.tekla.com>)

3. 디지털 매핑 기술

3.1 디지털매핑 개념

터널을 시공함에 있어 굴착면에 대한 암반의 상태를 파악하고 보강방법을 합리적으로 결정하기 위해서는 페이스매핑이 필수적이다. 일반적으로 터널 굴진면에 대한 조사와 페이스매핑 자료들은 수기로 작성되는 경우가 많으며, 최근에서는 각종 디지털기법들을 활용하여 터널 디지털매핑이 실제 현장에 적용되기 시작하고 있다. 디지털매핑에서는 입체사진측량과 LiDAR가 대표적으로 활용되고 있으며, 이를 자율주행로봇이나 드론 등에 설치하여 터널에서의 이미지나 계측정보들을 획득하고 있다. [그림 3.1]은 터널 디지털 매핑의 개념도를 나타내고 있으며, 어떠한 방식을 통해 디지털매핑을 수행하더라도 굴진면에 대한 포인트클라우드를 우선 획득한 후 이를 바탕으로 가상의 3D모델을 구성하고 매핑을 진행하는 과정은 거의 동일하다.



[그림 3.1] 터널 디지털 매핑의 개념(한국건설기술연구원, 2017)

이와 같은 이미지 기반의 사진측량기술은 터널 혹은 사면에 존재하는 암반조사를 목적으로 주로 활용되고 있으며, 기존에는 암반 내 분포하는 불연속면의 정보들을 획득하기 위한 연구가 주로 수행되었었지만 최근에는 암종판별, 암반강도추정, 암반의 풍화도판별 등 암반의 다양한 정보를 획득하는 데에도 적용범위가 확대되고 있는 상황이다. 막장면을 촬영한 사진의 정합과정을 거쳐 포인트클라우드와 3D모델이 획득되면[그림 3.2], 암반 내 불연속면의 정보를 취득하기 위한 불연속면 자동추출과정을 거치며 절리의 방향, 거칠기, 간격, 연속성 등 공학적으로 암반을 분류하는데 필요한 정보들이 획득된다[그림 3.3].



[그림 3.2] 암반면에 대한 3D포인트 클라우드 획득 과정



[그림 3.2] 디지털매핑에 의한 암반등급 평가 및 분류 (나상민, 2023)

디지털 매핑의 장점으로서는 매핑자료의 표준화 과정이 용이하며, 수동 측정의 오차나 편차를 최소화할 수 있고 객관성/신뢰성을 확보하기에도 유리하다. 또한 디지털화된 데이터로 관리가 쉬우므로 최근 각광받고 있는 AI, 빅데이터, 디지털트윈기술 등에 적용하기에도 용이하다.

3.2 3D포인트 클라우드 생성 방법

한편 [표 3.1]은 터널면에 대한 3D포인트 클라우드를 생성하는 대표적인 방법인 SfM(structure from motion)-MVS(multi view stereo)과 LiDAR의 장단점을 비교한 것이다. 2D 이미지를 통해 3D포인트 클라우드를 획득하는 방법은 저렴하지만, 영상 정합과정에서 후처리 시간이 필요하며 특히 어두운 터널 내부에서 조명의 영향을 많이 받는다는 한계점이 있다. 반면 LiDAR는 최근 광학, 전기, 레이저 기술의 발달에 큰 영향을 받아 터널 및 건설분야에도 활발하게 적용이 이루어지고 있는 기술이다. 정밀한데이터의 취득과 장비의 소형화를 강점으로 자율주행차, 증강현실, 스마트 IoT, 드론 산업 등 첨단산업의 핵심기술로 활용되고 있다. LiDAR는 대상물을 향해 조사된 레이저가 반사되어 다시 돌아오는 시간의 측정을 통해 거리를 계산하는 TOF(Time of Flight)방식과 특정한 주기를 갖는 레이저 파형을 대상물에 조사하여 반사되어 돌아오는 레이저 파형의 위상 차이를 통해 거리를 계산하는 phase-shift 방식으로 분류할 수 있다. LiDAR의 경우에는 조명의 영향을 받지 않고 굴착면에 대한 포인트클라우드를 직접적으로 획득할 수 있으나, 암반분류를 위해 요구되는 정밀도로 촬영을 하는 경우 너무 긴 시간이 소요된다는 한계점을 갖고 있다.

[표 3.1] 각종 조사기법의 장단점 비교

구 분	장점	단점
SfM-MVS	<ul style="list-style-type: none"> • 저렴한 비용 • 높은 촬영속도와 해상도 • 상대적으로 작은 데이터 양 • 표면 텍스처 정보 획득 	<ul style="list-style-type: none"> • 원거리에서 낮은 정밀도 • 영상처리 시간 필요 • 조명의 영향을 크게 받음
레이저스캐닝 (LiDAR)	<ul style="list-style-type: none"> • 원거리에서 높은 정밀도 • 조명의 영향 없음 • 3D 측정점 직접 접근/이용 • 반사율 정보 이용 	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 비용 • 상대적으로 많은 데이터 양 • 높은 정밀도 자료를 얻기위해 긴 시간 소요

최근에는 드론을 활용한 영상촬영이 활발하게 연구되고 있다[그림 3.3]. 드론을 활용하여

영상을 촬영하는 경우 신속한 촬영이 가능할 뿐만 아니라 위험한 구간에 대해서 원격으로 무인촬영이 가능하다는 장점을 가진다. 다만 비행 중 얻어지는 이미지나 영상에 대해서는 낮은 해상도와 정확도를 보이며, 이를 SfM-MVS에 의해 포인트클라우드로 변환하면 실측값과의 오차가 커질 수 있으므로 이를 보완하기 위한 고려가 필요하다. 다음 내용들은 SfM-MVS에서의 포인트클라우드 오차최소화하기 위한 기법으로 한국터널지하공간학회 스마트터널기술위원회에서 발표된 임준수와 송재준(2023)의 연구내용을 요약한 것이다.

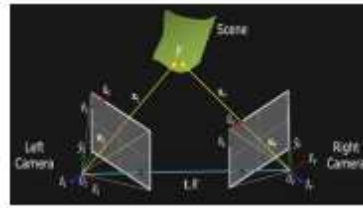


[그림 3.3] 드론을 활용한 터널 막장면 촬영 및 획득 데이터 예시

SfM-MVS에서의 이미지 처리과정을 살펴보면 이미지의 특성(feature)검출 단계, SfM, MVS 단계로 이루어진다[그림 3.4]. 특성검출단계란 이미지의 특성을 설명하는 알고리즘(SIFT, SURF 등)을 사용하여 특징점(key points)좌표와 주변픽셀과의 관계(크기, 각도, 경사도, 방향 등)를 검출하는 단계이다. Structure-From-Motion(SfM) 단계는 다중 이미지의 특징점을 이용한 영상정합(matching)과정으로 1차적으로 밀도가 낮은 포인트클라우드를 획득하는 단계이다. 이후 MVS(Multi-view-stereo)단계에서는 비특징점에 대한 영상정합이 수행되고 이에 따라 높은 밀도의 포인트 클라우드를 획득한다.



(a) feature 검출



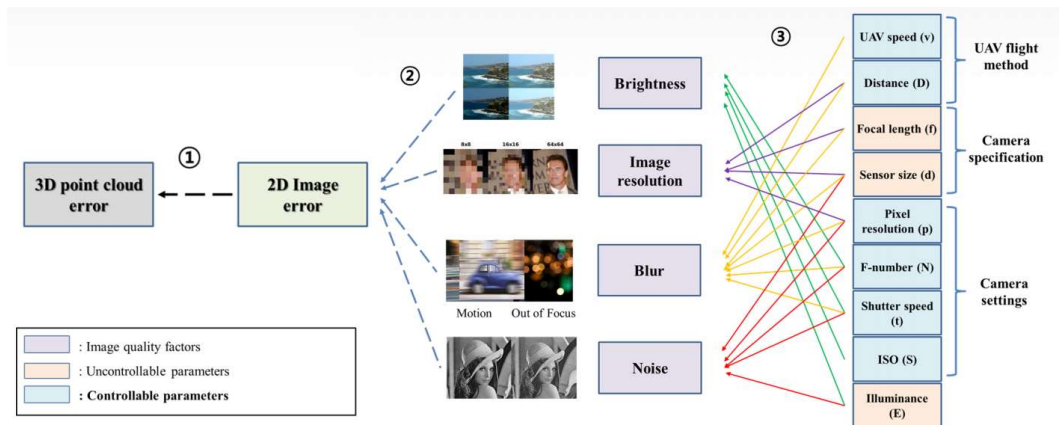
(b) SfM



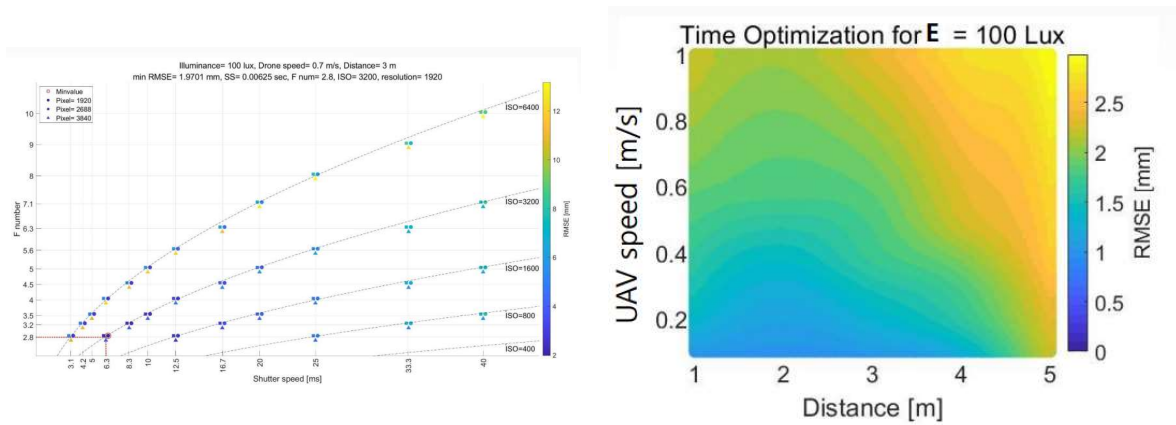
(c) MVS

[그림 3.4] 드론을 활용한 터널 막장면 촬영 및 획득 데이터 예시

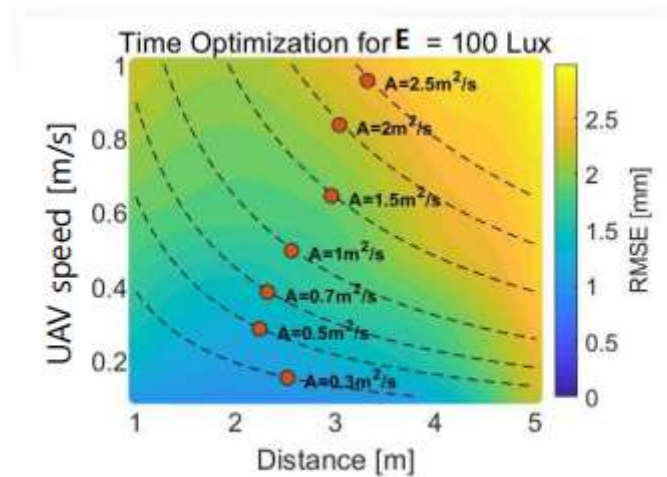
[그림 3.5]는 SfM-MVS에 의한 포인트클라우드 획득과정에서 오차를 야기하는 원인들을 분류한 것이다. 기본적으로는 2D이미지의 2차원좌표가 3D포인트 클라우드 생성을 위한 3차원 좌표로 변환되는 과정에서 오차가 증폭될 수 있다. 또한 이미지의 밝기(brightness), 해상도, 잔상(motion blur), 각종 노이즈들에 의해서도 오차가 발생할 수 있는데, 이미지의 품질과 관련된 요인들은 드론 및 카메라의 촬영조건에 영향을 받는다. 따라서 드론의 비행방법이나 환경, 드론에 설치된 카메라의 촬영조건에 따라 획득되는 포인트클라우드의 정확도가 달라질 수 있다는 의미이다. [그림 3.6]은 드론의 비행스피드와 촬영거리에 따른 포인트클라우드의 오차를 나타내고 있으며, 이러한 분석을 통해서 영상 촬영면적 등이 결정되면 포인트클라우드의 오차를 최소화할 수 있는 최적의 드론 비행속도, 이격거리, 카메라 세팅 등을 도출할 수 있다[그림 3.7].



[그림 3.5] SfM-MVS를 통해 획득되는 포인트클라우드 정확도에 영향을 미치는 변수

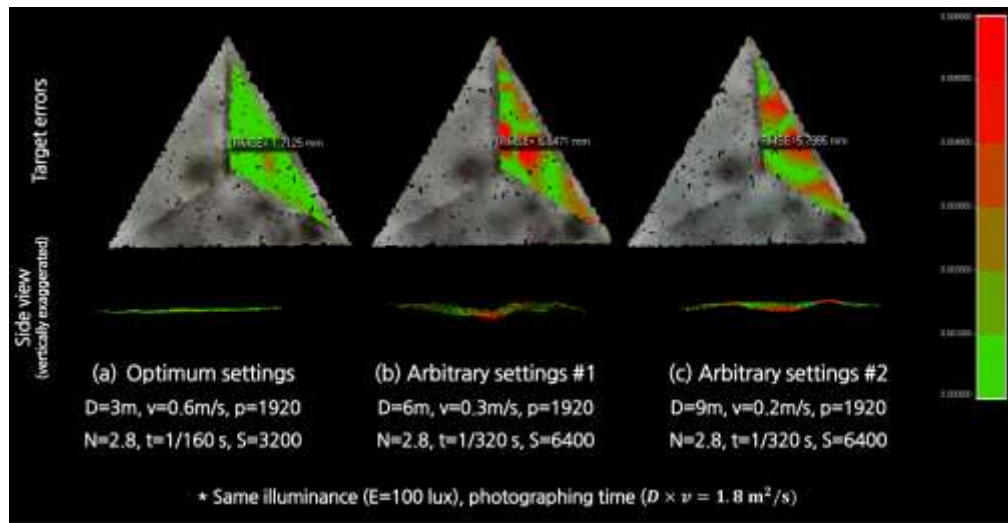


[그림 3.6] 드론의 촬영조건에 따른 3차원 포인트클라우드 획득 오차

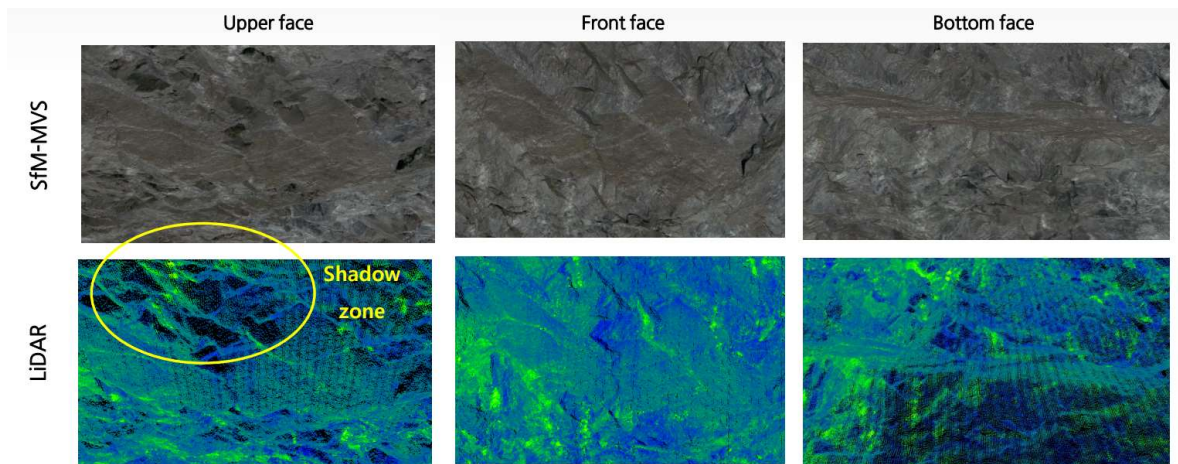


[그림 3.7] 촬영면적속도에 따른 최적 드론 비행속도와 이격거리 결정

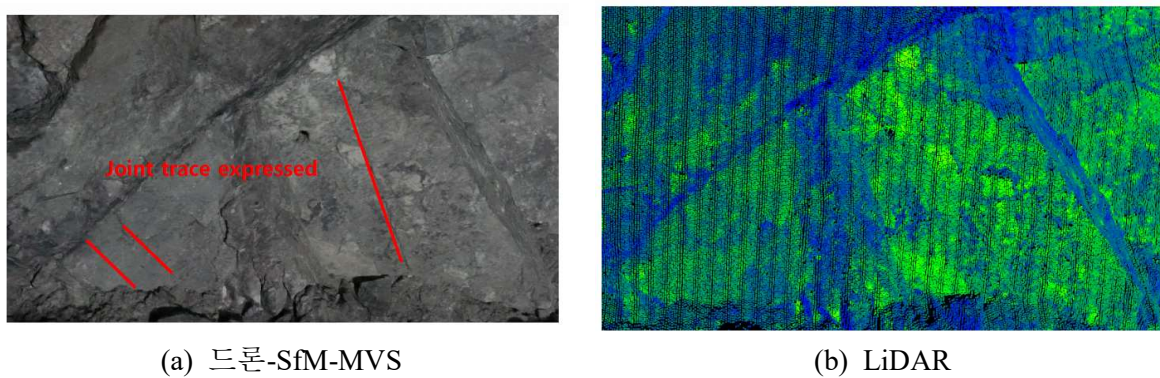
[그림 3.8]은 해당 분석을 통해 도출된 최적촬영조건과 임의의 두 촬영조건에서 얻은 3D 포인트클라우드를 비교한 결과이며, 최적촬영조건에서 촬영된 이미지를 통해 얻은 포인트클라우드의 품질이 낫다는 것을 명확히 확인할 수 있다. 한편 해당 기법에 대한 현장에서의 적용성 평가가 수행되었으며, 현장조건을 고려하여 최적세팅값을 도출하여 이미지를 획득하였다. 획득된 결과는 기존의 LiDAR를 통해 획득된 3차원 포인트클라우드와 상호비교되었다. [그림 3.9-3.10]는 드론촬영과 LiDAR를 통해 분석된 암반면의 절리면과 절리선 분석결과를 보여준다. 해당 연구에서는 각 기법을 통해 획득된 포인트클라우드의 정확도를 비교한 결과, 드론에 의한 영상촬영결과가 LiDAR보다 우수한 것으로 도출되었다. 드론이 LiDAR에 비교하여 갖는 장점은 비교적 저렴한 장비를 사용하며 빠른 촬영이 가능하다는 것이다. 토목 및 건설 분야에서 드론의 활용 및 적용사례가 증가하고 있는 만큼 드론의 비행조건 및 카메라의 촬영조건으로 인한 오차를 최소화 하고 각종 계측정보를 최적화하기 위하여 본 기술보고의 내용들은 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.



[그림 3.8] 드론의 비행조건 및 카메라 세팅에 따른 포인트클라우드 품질차이



[그림 3.9] 드론촬영과 LiDAR를 통한 암반면의 절리면 획득 예시



(a) 드론-SfM-MVS (b) LiDAR
[그림 3.10] 드론촬영과 LiDAR를 통한 암반면의 절리선 분석 예시

참고문헌

1. 임준수, 송재준, 2023, 드론을 이용한 입체영상촬영 최적화, 한국터널지하공간학회 스마트터널기술위원회 5차세미나.
2. 나상민, 2023, GS건설 스마트건설기술 적용현황_터널을 중심으로, 한국터널지하공간학회 스마트터널기술위원회 5차세미나.
3. 한국건설기술연구원, 2017, 터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델 개발 최종보고서